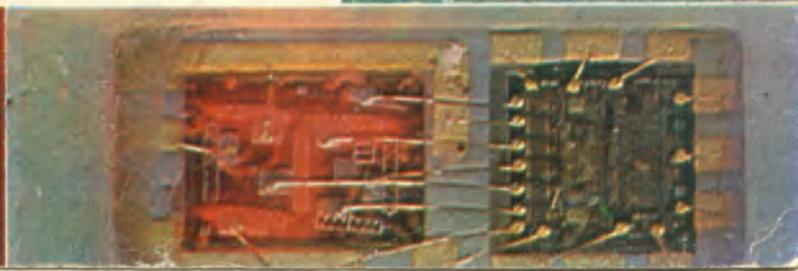
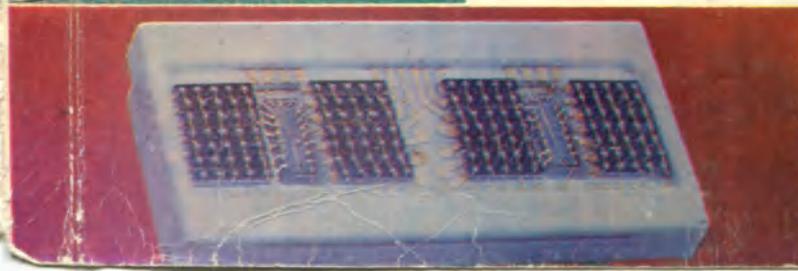
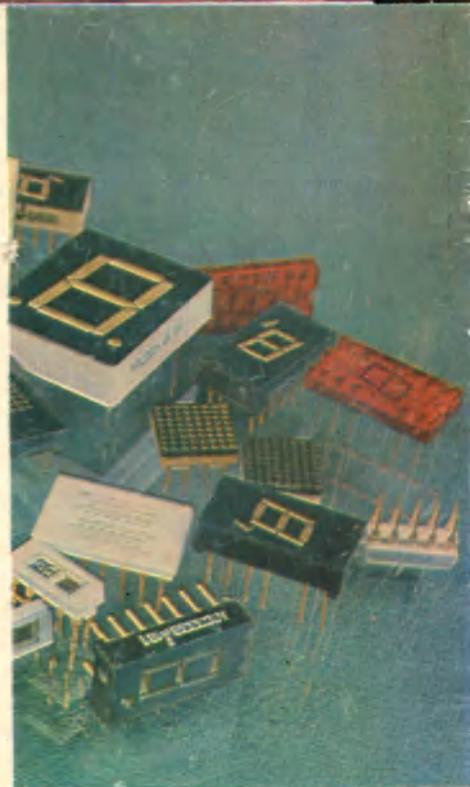
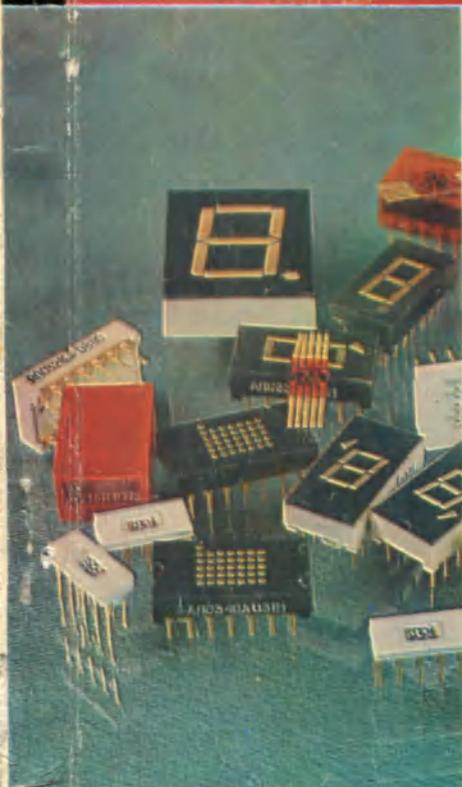
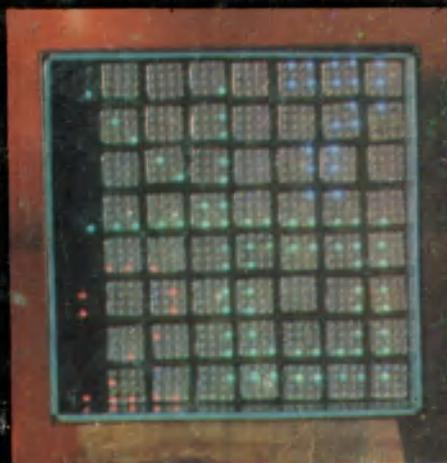
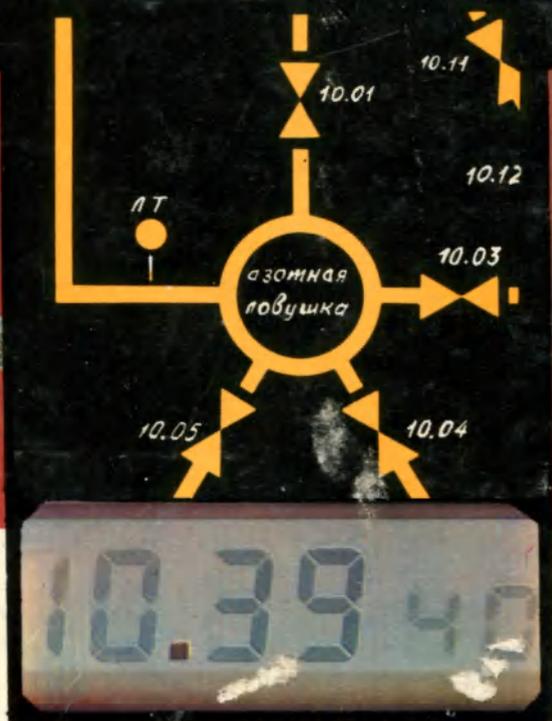




# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



# 1982

## МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. Чернышев  
*(главный редактор)*

В. А. Афанасьев  
Ф. И. Бусол  
А. А. Васенков  
И. Н. Воженин  
Г. Г. Горбунова  
*(ответственный секретарь)*

А. П. Грибачев  
Г. Я. Гуськов  
Н. Д. Девятков  
Г. М. Зверев  
В. И. Иванов  
А. Ф. Казаков  
А. А. Константинов  
Ю. Г. Кувшинников  
Э. А. Лукин  
А. А. Маклаков  
В. И. Машкин  
Ю. Б. Митюшин  
Ю. П. Поцелуев  
В. М. Пролейко *(зам.  
главного редактора)*

Ю. А. Райнов  
А. И. Савин  
А. А. Сорокин  
В. Д. Степанов  
В. Н. Сретенский  
П. М. Стуколов *(зам.  
главного редактора)*

И. Ф. Фадеев  
В. А. Федоров  
Я. А. Федотов  
О. В. Филатов  
С. К. Цаллагов

● В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке устройств отображения алфавитно-цифровой и графической информации, используемых в приборах индивидуального, группового и коллективного пользования.

● Жидкокристаллические индикаторы характеризуются простотой конструкции, технологичностью, малой потребляемой мощностью, низким уровнем управляющих напряжений, совместимостью с интегральными схемами.

● Полупроводниковые индикаторы перекрывают весь видимый диапазон спектра, отличаются ярким и чистым свечением, удобством управления, экономичны, технологичны и долговечны.

● Газоразрядные индикаторные панели характеризуются высокоточной цифровой матричной адресацией, совмещением функций индикации с адресацией и запоминанием информации, достаточно высокой механической прочностью и надежностью.

● Вакуумные люминесцентные индикаторы различного цвета свечения отличаются высокими эргономическими параметрами, непосредственной сопрягаемостью с МОП интегральными схемами, большим углом обзора и высокой экономичностью.

● В настоящем выпуске рассмотрены технические параметры, области применения и экономические показатели жидкокристаллических, полупроводниковых, газоразрядных, вакуумных люминесцентных и других индикаторных приборов.

# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1982 5-6  
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. - ВЫПУСК (111-112)

OldPC.su

музей компьютеров

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

- 3 Горфинкель Б.И., Севостьянов В.П., Попов А.И. Состояние и перспективы развития жидкокристаллических индикаторов
- 7 Ковшов Е.И., Севостьянов В.П. Жидкокристаллические материалы для индикаторов
- 11 Гусев А.Н., Бусурин В.И., Удалов Н.П. Знаковые световодные жидкокристаллические индикаторы
- 13 Марков В.Н., Соловьев А.Л., Удалов А.И. Жидкокристаллические световодные панели матричного типа с подсветкой от встроенных источников света
- 15 Дранников А.В., Макухин А.А., Митрохин В.В., Севостьянов В.П. Твист-нематические жидкокристаллические индикаторы с повышенной информативной плотностью
- 18 Вецнер С.И., Прозоровский Б.С., Троицкий В.Л. Жидкокристаллические индикаторы для микрокалькуляторов
- 18 Бобылев Ю.П., Петеримов С.В., Тагер С.А., Шошин В.М. Параллельное управление матричным жидкокристаллическим индикатором
- 20 Гребенкин М.Ф., Козунов В.А. Основные тенденции в разработке жидкокристаллических материалов для индикаторов на твист-эффекте
- 27 Григорьев В.И., Козунов В.А., Лукьянченко Е.С. Жидкокристаллические индикаторы на твист-эффекте
- 28 Азаров А.Д., Пашкова Т.В. Цифровой жидкокристаллический индикатор ИЖКП1-4/8
- 28 Горелик А.И., Максимова Т.А. Цифровой жидкокристаллический индикатор ИЖКП1-8/5
- 28 Горелик А.И., Максимова Т.А. Цифровые жидкокристаллические индикаторы ИЖКП3-6/17 и ИЖКП4-6/17
- 29 Дорошкин А.А., Максимова Т.А., Зеленова Л.А. Жидкокристаллические индикаторы для измерительной аппаратуры

- 29 Мазур А.И., Муртазина Н.Б., Свиридова Т.И., Горбась В.Г. Пространственно-временной матричный жидкокристаллический транспарант

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

- 31 Сушков В.П. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы
- 40 Коган Л.М., Рассохин И.Т. Свегоизлучающие диоды повышенной силы света
- 45 Абдуллаев О.Р., Абрамов В.С., Власкина С.Г., Сушков В.П. Высокоэффективный индикатор красного цвета свечения с малым потреблением тока
- 45 Вортман Ж.Я., Димитриев Ю.В., Кротова Т.А., Павличенко В.И. Полупроводниковые знаковые индикаторы и модули экрана с перекрестной коммутацией
- 49 Айриян Ю.А., Новиков В.П., Спаская Н.С., Скарин В.К. Полупроводниковые индикаторы с большой высотой знака на принципе рассеяния света
- 51 Айриян Ю.А., Новиков В.П. Полупроводниковый цифровой индикатор с управляемым цветом свечения
- 53 Аксенов В.Ф., Ермаков О.Н., Игнаткина Р.С., Сушков В.П. Пути повышения термостабильности силы света диодов на основе GaP
- 55 Ахмед-заде Н.Д., Кобелева С.Л., Мартынов В.Н., Славин М.Б., Соловьев А.Н. Излучательные элементы на основе гетероэпитаксиальных слоев полупроводников  $A_2B_6$
- 57 Дзюно В.Н., Кононок Н.Л., Скарин В.К., Щербаков Н.В. Автоматизация процессов сборки полупроводниковых индикаторов
- 58 Абрамов В.С., Леонов В.В., Платонов М.Н., Скарин В.К. Многоэлементные матричные полупроводниковые индикаторы со схемами управления
- 61 Шевцов А.П. Проектирование гибридных интегрированных индикаторов

## ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

- 63 Карпов В.Г., Карпухин В.С., Кашников Н.Г., Покрывайло А.Б. Газоразрядные индикаторные панели
- 68 Орлов Ю.И., Покрывайло А.Б. Крупноэлементные знакографические панели для наборных экранов
- 71 Горелова З.Н., Мясин В.А. Газоразрядная индикаторная крупноэлементная панель ИГП-32/32. Индикаторный модуль ИМГ-3
- 72 Ешуков А.Л., Милуков М.М. Принципы конструирования экранов коллективного пользования на ГИП
- 74 Козлов А.М. Газоразрядная индикаторная панель ИГП-17
- 75 Серов В.И. Универсальный индикаторный прибор
- 75 Гасан Ю.И. Газоразрядные индикаторные панели с самосканированием ГИПС-16-1 и ИГПС1-222/7
- 76 Коростылев И.Н., Лобан В.И. Газоразрядные матричные индикаторы ИМГ-1 и ИМГ-1-03

## ВАКУУМНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

- 77 Горфинкель Б.И., Коровкин А.И. Современное состояние и перспективы развития вакуумных люминесцентных индикаторов
- 81 Абабдуев Б.В. Низковольтные катодолуминофоры
- 88 Русина Е.В. Матричные индикаторы и панели на основе низковольтной катодолуминесценции
- 91 Колкер В.Е., Михайлов А.Н., Русина Е.В. Двухцветный цифровой индикатор на основе низковольтной катодолуминесценции
- 92 Горфинкель Б.И., Петров Е.Н. Методы моделирования вакуумных катодолуминесцентных индикаторов

## ИНДИКАТОРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

- 97 Бузников Ю.Н., Ворончева В.Р., Гельштейн М.И., Метлицкий Ю.Я., Перельмутер В.С., Рыбкина Э.И. Многоцветные ионно-пленочные индикаторы
- 99 Бузников Ю.Н., Шенкер Д.Д. Ионно-пленочные матричные тиратронные индикаторы в устройствах отображения информации
- 103 Кочкина Л.С., Першин Г.Г., Родкин М.А. Тонкопленочный матричный электролюминесцентный экран большого размера
- 104 Грачев В.Н., Мазур А.И. Электрохромный индикатор
- 106 Грачев В.Н., Мазур А.И. Электрохромный модулятор света
- 108 Григорьева М.И., Олейник А.С., Смоляков В.Ф. Термохромные индикаторы на основе материала ФТИРОС
- 111 Олейник А.С., Смоляков В.Ф., Степанов В.М., Руденко Н.М. Визуализатор на основе материала ФТИРОС
- 113 Видро Г.И., Кандыба П.Е., Сегалла А.Г., Степанов В.М. Матричные индикаторы на основе электрооптических эффектов в прозрачной сегнетокерамике

## ОБМЕН ОПЫТОМ

- 117 Абабдуев Б.В., Ермолаев А.М., Назарова Т.М., Попеленская Л.Ф. Автоматизированная очистка стеклянных пластин в производстве индикаторов

- 118 Аношкин А.В., Севостьянов В.П., Филиппенко В.Я. Исследование ориентации жидких кристаллов косонапыленными пленками монооксида германия
- 121 Воскресенская Н.В., Соболев И.В., Суханов Н.М., Федорова Д.Л., Хозлов А.И. Использование сфероидизированных порошков при сборке жидкокристаллических индикаторов
- 122 Аношкин А.В., Смоляков В.Ф., Шофман Г.С. Применение модернизированного напылительного оборудования в производстве катодолуминесцентных индикаторов
- 125 Гуткин И.И., Давыдова Е.Н., Мошалева Е.К., Перешивайлов К.И., Спирич Б.М., Шофман Г.С. Фотолитографический процесс в производстве вакуумных люминесцентных индикаторов
- 128 Бобров Г.В., Богачкин Н.А., Змиевской Ю.Н., Таран В.М., Шофман Г.С. Универсальная технология обработки деталей индикаторных приборов
- 130 Белевич Г.М., Грачев В.Н., Гуткин И.И., Кудряшова Н.А., Мельникова Н.И., Шапкин Г.А. Фотохимическая обработка деталей вакуумных люминесцентных индикаторов
- 134 Калюта С.Н., Смоляков В.Ф., Стриковский А.И., Федюкина Р.И., Фельдман В.С. Оборудование для изготовления прямонакальных оксидных катодов люминесцентных вакуумных индикаторов
- 135 Абабдуев Б.В., Алавердян Л.Е., Батарева Т.Ю., Карюк С.В., Кушнарера Л.А., Чувилина Л.Б. Вакуумные фосфатные цементы для катодолуминесцентных индикаторов
- 138 Колкер В.Е., Михайлов А.Н., Студенцова М.И. Измерение светотехнических и эргономических параметров вакуумных индикаторов
- 142 Колкер В.Е. Светотехнические параметры жидкокристаллических индикаторов без отражающего покрытия.

## РЕКЛАМА

- 30 Довгань Е.П., Гвоздева Н.В. Малогабаритная осциллографическая ЭЛТ 11Л09И
- 30 Гак Р.Ю., Гловацкий И.Г., Ивашкин В.И. Модернизированный кинескоп 16ЛКБ
- 95 Полуавтомат химической очистки стеклянных пластин И4.086.0111.0Т
- 96 Диденко З.И., Дужий Т.М. ЭЛТ для записи информации на электрографических носителях
- 96 Семенчик Г.И. Запоминающая бистабильная осциллографическая ЭЛТ 16ЛНЗ
- 116 Боксинер К.Л., Елькин А.А. Двухцветная индикаторная ЭЛТ
- 144 Установка биполярного нанесения люминофора И4.084.0022
- 144 Установка нанесения люминофора на держатели анодов И4.084.0909
- 3 стр. Лебединская И.С., Сиверс Л.Л. Малогабаритный обл. индикатор на волоконных элементах

# ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

УДК 621.383.932:532.783

Б.И.Горфинкель, В.П.Севостьянов,  
А.И.Попов

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

**Рассмотрены состояние и перспективы развития жидкокристаллических индикаторов на твист-эффекте, на эффекте «гость—хозяин», а также жидкокристаллических индикаторов с матричной адресацией.**

На 4-й Международной конференции по жидким кристаллам, состоявшейся в октябре 1981 г. в нашей стране, проф. В.Н. Цветков в своем сообщении "О ранних исследованиях жидких кристаллов в СССР" [1] сделал детальный исторический обзор научного поиска в области жидких кристаллов (ЖК), их промышленного использования в науке и технике. Были рассмотрены научно-исследовательские достижения в этой области. Отмечено, что наиболее практическое применение ЖК нашли в технике отображения визуальной информации. Началом использования нематических ЖК можно считать конец 1967 — начало 1968 гг., когда появилось первое сообщение об открытии эффекта динамического рассеяния света (ДРС) в ЖК [2], что и послужило мощным толчком для развития исследований в области ЖК, их широкого использования в жидкокристаллических индикаторах (ЖКИ).

Уже в 1972 г. промышленный выпуск ЖКИ был начат практически во всех странах, где нашла развитие радиоэлектронная техника. Основными разработчиками и производителями ЖКИ явились фирмы и предприятия электронной промышленности, выпускающие интегральные схемы и другие изделия микроэлектроники. Это объясняется рядом важных обстоятельств:

во-первых, для выпуска ЖКИ в ряде случаев применялись технологические процессы и оборудование, пригодные для производства интегральных схем;

во-вторых, эти предприятия и фирмы начали выпуск и сбыт готовых изделий (часы, микрокалькуляторы и т.д.) на собственных интегральных схемах и ЖКИ;

в-третьих, научно-технический потенциал этих фирм настолько высок, что с ними не могли конкурировать другие отрасли промышленности;

в-четвертых, основные (основополагающие) па-

тенты на эффекты в жидких кристаллах, на конструкцию и технологию изготовления ЖКИ были выданы или приобретены именно этими электронными фирмами.

В это же время было открыто еще несколько эффектов в нематических, холестерических и смектических мезофазах, наиболее перспективными из которых в индикаторной технике явились: твист-эффект, эффект управления полем фазового перехода (УПП), эффект памяти (ЭП) в холестериках, управление полем двойного лучепреломления (ДЛП) [3].

В нашей стране были разработаны первые ЖКИ для наручных электронных часов, работающие на эффекте ДРС. Индикаторы управлялись как переменным, так и постоянным полем. Последнее обстоятельство давало возможность реализовать экономичные по потребляемой мощности ЖКИ, хотя и во вред их ресурсу. Были разработаны специальные КМОП-схемы для управления этими индикаторами, созданы наручные электронные часы (НЭЧ).

Эти ЖКИ конструктивно представляли собой классическую систему типа "сэндвич". Зазор между электродами составлял 18–20 мкм. При эксплуатации индикаторов на постоянном токе анодом служило покрытие из золота, а катодом — прозрачное окисно-индиевое покрытие. В качестве ЖК материала применялась смесь ЖК-440, модифицированная мезофазными и изотропными добавками (смеси У-1 и У-2 [4]). При подче напряжения возбуждения на эти индикаторы, за счет проходящего через индикатор тока (механизм электрогидродинамической неустойчивости [3]), ЖК в объеме межэлектродного пространства "мутнел" вследствие появления множества центров рассеяния света. На одноцветном фоне (в данном случае золотисто-желтом) появляется белый рисунок, яркость которого обычно в 20–40 раз превышает яркость фона. Относясь к классу пассивных индикаторов, с увеличением внешнего освещения яркость высвечиваемого знака ЖКИ растет, контраст сохраняется.

На этом эффекте был разработан целый ряд ЖКИ отображения информации коллективного пользования (одноразрядные ЖКИ типа ЦИЖ-8 с высотой знака 40 мм; многоразрядные ЖКИ, например, типа ЦИЖ-7, ИЖКЦ1-8/8, ИЖКЦ1-17/6; дискретные шкалы и др.).

Выпущены настольные электронные часы "Электроника 3-1" [5, 6], "Электроника В6-205" [7] с индикацией отсчета времени в минутах и секундах. Параллельно производству ЖКИ для электрон-

ных часов был организован промышленный выпуск индикаторов для карманных микрокалькуляторов "Электроника БЗ-04" [7]. Индикаторы имели восемь разрядов и управлялись динамическим режимом со скважностью 1:3. При создании данного индикатора была разработана серийная технология воспроизводимой гомеотропной ориентации молекул ЖК.

При разработке ЖКИ на эффекте ДРС был решен ряд принципиальных технических проблем, связанных с герметизацией пакета ЖКИ, созданием оборудования, разработана технология защиты токопроводящих покрытий от электрохимической коррозии проходящего через индикатор тока.

Однако эффект ДРС не успел найти широкого применения в индикаторной технике. Этому обстоятельству послужило открытие эффекта вращения плоскости поляризации проходящего через индикатор света — твист-эффект (ТЭ) [8]. И хотя этот эффект вытеснил эффект ДРС в производстве ЖКИ, опыт разработок индикаторов на ДРС дал свои положительные результаты. Именно на этой базе было организовано массовое производство ЖКИ, их комплектующих и, в первую очередь, поляроидных пленок, жидкокристаллических материалов, а для управления индикаторов в НЭ и микрокалькуляторах — специализированных микросхем; определен (завоеван) рынок сбыта этих изделий.

В индикаторах на ТЭ при приложении электрического поля примерно той же величины, что и на эффекте ДРС, происходит переориентация первоначально "закрученной" структуры молекул ЖК, приводящей к изменению оптической плотности в объеме межэлектродного пространства индикатора. В результате на слабоокрашенном сером фоне появляется черный рисунок индикации. Конструктивно можно сделать наоборот, т.е. на черном фоне получить серую индикацию.

В процессе разработки ЖКИ и их выпуска был решен ряд технических проблем, связанных с получением прецизионных тонких ориентирующих молекулы ЖК слоев из неорганических (монооксиды кремния, германия, двуокиси кремния) и органических (полиимидных, фторуглеродистых, силановых) материалов и композиций, герметизацией пакетов ЖКИ стеклофриттой и органическими компаундами, герметизацией заливочной щели пакета металлизированными припоями, контактолами, органическими составами. Прделана большая работа по совместимости узлов и деталей пакета ЖКИ с ЖК материалами; проведены токсикологические исследования; осуществлена замена целого ряда легко воспламеняющих и отравляющих растворителей на более безопасные; спроектировано, разработано и изготовлено высокопроизводительное специализированное оборудование для массового производства ЖКИ; разработаны и приспособлены

к производству индикаторов различные материалы (стекло, поляроидные пленки, ЖК материалы, герметики, растворители и т.д.); разработаны специальные метрические приборы и методы испытаний индикаторов, включая ускоренные на долговечность.

ЖК индикаторы на твист-эффекте сразу же вошли в серийное производство, так как, во-первых, их изготовление основывалось на производстве ЖКИ на эффекте ДРС и, во-вторых, они имели перед последними принципиальные преимущества: так, более чем на два порядка увеличена их долговечность при эксплуатации.

Опыт работы по созданию и производству ЖКИ на ТЭ и эффекте ДРС позволил определить основные параметры индикаторов, выявил принципиальные (уникальные) преимущества ЖКИ, делающие их конкурентоспособными с другими индикаторами:

- малая потребляемая мощность. Так, в современных промышленных образцах индикаторов на ДРС потребляемая удельная мощность не превышает  $5-10$  мкВт/см<sup>2</sup> для постоянного тока (не более  $0,5-1,0$  мкА/см<sup>2</sup>) и не более  $50-200$  мкВт/см<sup>2</sup> для переменного тока ( $2-10$  мкА/см<sup>2</sup>). В индикаторах на ТЭ потребляемая удельная мощность не превышает  $10$  мкВт/см<sup>2</sup> (менее  $2$  мкА/см<sup>2</sup>). Приведенные цифры на четыре-пять порядков меньше потребляемой удельной мощности современных светоизлучающих диодов;

- увеличение яркости ЖКИ и сохранение контраста изображения при усилении внешнего освещения;

- возможность низковольтного управления индикаторами и прямая совместимость с КМОП ИС; рабочее напряжение для ЖКИ на ТЭ составляет  $2-5$  В, а для индикаторов на ДРС составляет  $10-20$  В;

- панельное плоское конструктивное оформление ЖКИ. Толщина индикаторов определяется практически толщиной двух применяемых электродных стекол. Унификация и простота конструктивного и технологического исполнения сложных, в том числе и многоразрядных ЖКИ;

- высокая долговечность (более  $30-40$  тыс.ч) на переменном токе.

Однако эти индикаторы имеют ряд недостатков. К ним относятся малый рабочий интервал температур эксплуатации и хранения [4] и малое быстроедействие срабатывания индикаторов, особенно при низких (минусовых) температурах, достигающее примерно десятков миллисекунд.

Исходя из положительных и отрицательных свойств ЖКИ на эффектах ДРС и ТЭ определено их основное применение. Это, главным образом, устройства, где экономичность индикатора является определяющим требованием (все электронные часы, в особенности, наручные, микрокалькуляторы с автономным питанием и ряд других устройств); многофункциональные цифровые измерительные приборы; дисплеи промышленных устройств управ-

ления и контроля, включая дисплеи для вывода информации с ЭВМ; приборные панели для электронных щитков автомобилей, летательных аппаратов, различных приемников, телевизоров и т.д.

Доминирующее положение в производстве индикаторов для НЭЧ заняли ЖКИ на ТЭ. До настоящего времени разработано более десяти типов ЖКИ (ЦИЖ-2, ЦИЖ-6, ЦИЖ-9, ИЖКЦ1-4/7, ИЖКЦ1-6/5, ИЖКЦ1-6/7, ИЖКЦ2-4/5, ИЖКЦ2-6/5, ИЖКЦ3-4/5 и др.), причем сверхминиатюрные индикаторы (размером  $15,2 \times 10,0$  мм – типа ИЖКЦ1-4/7 и ИЖКЦ2-4/3 для наручных женских часов). На базе указанных индикаторов серийно выпускаются различные типы НЭЧ (Б6-202, Б6-203, Б6-204, Б6-206, Б6-207, Б6-209 и др.) с индикацией часов, минут, секунд, числа месяца, таймером с подсветкой и другими функциями, точностью хода до 0,5 с/сутки [ 5 ].

Если ЖКИ первого выпуска (ЦИЖ-2, ЦИЖ-6, ЦИЖ-9) работали при напряжении возбуждения 4,5 В, то последующие модели индикаторов управлялись напряжением 2,4–3,0 В. Это достигалось тем, что слои, ориентирующие молекулы жидких кристаллов, были выполнены из монооксида германия [ 9 ], наносимой на поверхность электродных пластин методом "косого" напыления. При этом монооксид германия в отличие от традиционных материалов, например монооксида кремния, обладает рядом преимуществ, основными из которых являются, во-первых, ее способность одинаковым образом конденсироваться как на стекле, так и на токопроводящих (окисноиндиевых) покрытиях, и, во-вторых, реализует меньшие углы наклона молекул жидких кристаллов в объеме межэлектродного пространства индикаторов [ 10 ]. Первое обстоятельство не требует применения дорогостоящих предориентационных диэлектрических слоев, а второе – улучшает эргономические характеристики ЖКИ в целом.

Разработаны многофункциональные индикаторы больших размеров для отображения информации коллективного пользования (часы, измерительные приборы и пр.) шесть типов ЖКИ с высотой знака до 25–30 мм, а также дискретные, аналоговые и дискретно-аналоговые шкалы для электроизмерительных приборов.

Разработаны крупногабаритные (настольные) электронные часы на базе ЖКИ типа ИЖКЦ1-16/17 с высотой знака 16 мм [ 11 ] и "Электроника-16" на индикаторе ИЖКЦ2-4/24 с автономным питанием и с индикацией часов, минут, секунд, числа, дней недели, месяца; электронные малогабаритные настольные часы на основе индикатора с таймером и другими функциями и индикатор для вывода информации в переносных радиоприемниках и магнитолах (индикация поиска сигнала, частоты, функциями часов, отсчета метража магнитной ленты и пр.).

Одним из главных направлений по разработке ЖКИ является создание индикаторов для вывода

большого объема информации. При этом основная задача заключается в том, чтобы при увеличении информативности уменьшить количество выводов в индикаторе и тем самым упростить схему его управления. Эта задача решается применением динамического (мультиплексного) режима управления матричных ЖКИ. Продолжение этих работ должно привести к созданию на ЖК плоских телевизионных экранов от сверхбольших до миниатюрных, не уступающих по своим параметрам традиционным катодно-лучевым системам.

Выбрано несколько путей создания матричных ЖКИ, основанных на различных эффектах в ЖКИ, к которым, в первую очередь, относятся эффекты ДРС, УПФХ, ДАП, ЭП и ТЭ. Каждый из этих эффектов требует применения специально разработанных конструкций и технологий изготовления ЖКИ, рецептур ЖК материалов.

ЖК индикаторы на ТЭ со статическим режимом управления имеют достаточно широкий угол обзора, который в значительной мере зависит от напряжения насыщения, подаваемого на индикатор. В мультиплексном режиме на напряжение возбуждения накладывается ряд ограничений, в результате чего эффективное напряжение насыщения приближается к пороговому. В итоге угол обзора уменьшается с увеличением плотности отображаемой информации и появляется "мертвая" зона по количеству отображаемой информации элементов [ 12 ]. Поэтому необходимо проведение ряда конструктивных и технологических приемов (выбор состава и способов нанесения ориентирующих слоев, подбор ЖК-смесей, выбор величины зазора межэлектродного пространства и т.д.) для оптимизации параметров ЖКИ.

Кроме того, этим индикаторам присущ такой недостаток, как асимметрия индикатрисы проходящего (отражающего) через индикатор света. Поэтому для реализации оптимальных эргономических параметров ЖКИ на ТЭ с матричной индикацией необходимо иметь равномерные и малые (до 3–7 мкм) зазоры межэлектродного пространства, а также применять ЖК с уменьшенной степенью двулучепреломления. Это приводит к принципиальным трудностям в создании ЖКИ особенно больших геометрических размеров.

Серьезным недостатком этих ЖКИ является также "уход" параметров индикаторов с изменением температуры, в результате чего появляется эффект ложного считывания информации или, наоборот, ее отсутствие.

В настоящее время выпускаются однокристалльные карманные микрокалькуляторы "Электроника БЗ-30" [ 5, 13 ], изготовленные на ЖКИ с динамическим режимом управления со скважностью 1:3 в рабочем интервале температур от –1 до +40°С с напряжением возбуждения 6 В. Новая модификация этого микрокалькулятора "Электроника БЗ-39" [ 5 ]

имеет управляющее напряжение 3 В и гарантирует 800 ч непрерывной работы [14]. Разрабатываются ЖКИ с мультиплексированием 1:4 для телефонных аппаратов с режимом индикации "набор номера абонента", "калькулятор", "часы" и другими функциями.

Несмотря на то, что технология изготовления ЖКИ для наручных электронных часов и микрокалькуляторов различна, была поставлена и решена задача по унификации этих технологий. Было применено унифицированное высокопроизводительное оборудование механизированной линии с применением одних и тех же комплектующих и материалов (герметик — стеклофритта, ЖК — цианобифенилы). На этой основе был создан индикатор со следующими параметрами: контраст выбранного сегмента — более 90%, мультиплексирование — 1:3; величина напряжений порогового и насыщения 0,86–1,06 В и 2,6–3,2 В, соответственно; время включения и выключения — не более 350 мс (при 25°C) и до 700 мс (при 1°C).

На базе данных типов индикаторов освоен выпуск сверхминиатюрных микрокалькуляторов "Электроника БЗ-38" [5] для научных расчетов с накопителем информации. Кроме арифметических действий и вычислений тригонометрических, обратных тригонометрических, логарифмических, степенных функций он выполняет широкий спектр статистических расчетов. Так же как и "Электроника БЗ-39", микрокалькулятор гарантирует 800 ч непрерывной работы. Потребляемая мощность устройства в целом — около 600 мкВт.

В настоящее время для НЭТ выпускаются индикаторы с мультиплексированием 1:2 и выше.

Расчет и опыт конструирования ЖКИ с матричной адресацией показывают, что для оптимального применения индикаторов со скважностью более 1:8 целесообразно иметь электронную схему термокомпенсации, позволяющую снизить требования к изменению температур воздействия на индикатор и стабилизировать его работу в устройстве в целом.

В этом плане более перспективным, видимо, является усовершенствование технологии изготовления индикаторов. Так, например, температурный дрейф оптических параметров индикаторов значительно уменьшается с применением ориентирующих слоев из неорганических материалов, например, из окиси кремния, на которые методом натирания наносятся также неорганические мелкодисперсные составы. В частности, это позволило применить для герметизации пакетов ЖКИ герметики из стеклофритты и стабилизировать межэлектродный зазор в объеме индикатора.

Одновременно ведутся поиски по созданию матричных ЖКИ с использованием эффекта УПФП (холестерико-нематического фазового перехода). Основной трудностью при использовании данного эффекта является необходимость строгого соблюдения величины зазора межэлектродного прост-

ранства индикатора. При увеличении площади индикации ЖКИ эта трудность возрастает. Тем не менее, с разработкой схем управления этот эффект можно рассматривать как перспективный.

Возможность создания матричных ЖКИ на ДАП-эффекте и ЭП носят пока исследовательский характер, хотя имеется реальная перспектива применить, например, ДАП-эффект в матричных ЖКИ в проекционном варианте.

Перспективным может оказаться метод двухчастотного управления ЖКИ, предложенный для полевых эффектов. Сущность метода заключается в том, что ЖК может изменять знак диэлектрической анизотропии с положительной величины на отрицательную при переключении поля с низкочастотного до высокочастотного. Материалы такого типа уже выпускаются (ЖК-999, ЖК-1000 [4]). Управление матричными индикаторами осуществляется подачей на "выбранные" и "полувыбранные" сегменты комбинации низкочастотного и высокочастотного напряжения.

Чрезвычайно перспективным для создания высокоинформативных ЖКИ является использование смектических мезофаз, так как они обладают памятью и высокой крутизной вольтоконтактной характеристики, что позволяет получить максимальную плотность информации на ЖКИ. Однако основными ограничениями в применении данного эффекта являются конструктивные трудности в создании самого устройства и применении высоких напряжений возбуждения (до 30 В порогового и до 400 В насыщения) [12].

Таким образом, наиболее массовыми являются ЖКИ на основе ТЭ с матричной адресацией с мультиплексированием 1:3 и 1:4 без применения электронных схем термокомпенсации.

В настоящее время ведутся большие исследования в области создания ЖКИ на эффекте "гость-хозяин" (ГХ). Перспективность данного эффекта в том, что ЖКИ, изготовленные на его основе, обладают всеми положительными свойствами индикаторов на ТЭ, имеют различные цвета и большой (до 180°) угол обзора благодаря отсутствию поляроидов (поляроида). При использовании данного эффекта реализуются светлые цифры на темном (цветном) фоне (положительный дихроизм), либо, наоборот, темные (цветные) цифры на светлом фоне (отрицательный дихроизм).

ЖК индикаторы типа ИЖКЦ-4/24 имеют различные цвета (на голубом, малиновом или желтом фоне высвечиваются соответственно бледно-голубые, бледно-красные или желтоватые цифры). Разработан индикатор с бело-черной индикацией, близкий по своим техническим характеристикам к индикаторам на ТЭ, но с увеличенным углом обзора.

Достигнуты определенные успехи по разработке красителей для ЖКИ на эффекте ГХ с отрицательным дихроизмом (КД-36-44). На основе красителей КД1, КД-5 и других разрабатываются ЖКИ

различного назначения на базе существующих конструкций и технологий изготовления индикаторов на ТЭ.

ЖКИ на эффекте ГХ чрезвычайно перспективны, особенно для отображения информации в устройствах коллективного использования, в частности, в настольных электронных часах, электроизмерительных приборах, радиоаппаратуре и т.д.

Выпускается большая номенклатура (более 200 названий) жидкокристаллических материалов холестерического типа для изготовления на их основе индикаторов-визуализаторов температур. Разработаны также индикаторы для медицинских целей, измерения температур в жилых помещениях, салонах автомобилей и пр.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Н. О ранних исследованиях жидких кристаллов в СССР. — Четвертая Международная конференция социалистических стран по жидким кристаллам. — Тезисы докладов. — Тбилиси, 5–8 октября 1981 г.
2. Heilmeyer A.H., Zanoni L.A., Barton L.A. Dynamic scattering: A new electrooptic in certain glasses of nematic liquid crystals. — Proc. IEEE, 1968, vol.56, N 7, p.1162.
3. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. — М.: Наука, 1978, с. 114–232.
4. Ковшов Е.И., Севостьянов В.П. Жидкокристаллические материалы для индикаторов. — Наст. вып., с. 7–11
5. Микрокалькуляторы, электронные часы. — Электронная промышленность, 1981, вып. 3, с. 66–72.
6. Настольные электронные часы "Электроника З-1" / П.И.Воронцов, Л.Е.Липидус, Л.А.Пекеров, В.В.Шувалов. — Электронная промышленность, 1980, вып. 4, с. 15.
7. Калиский Г.С. Расширять ассортимент, увеличивать выпуск бытовой радиоэлектронной аппаратуры. — Электронная промышленность, 1977, вып. 6, с. 99.
8. Пат. 532261 (Швейцария). Lichtsteuerzelle / W.Helfrich, M.Schadt.
9. Пат. 4128314 (США). Liquid-crystal indicator / Sevostyanov et al.
10. Аношкин А.В., Севостьянов В.П., Филипенко В.Я. Исследование ориентации жидких кристаллов косонапыленными пленками монооксида германия. — Наст. вып. с. 118–120.
11. Белогорцев А.Ф., Гочияев Б.Р., Кормич О.Е. Крупногабаритные электронные часы. — Электронная промышленность, 1980, вып. 4, с. 46.
12. Бобышев Ю.П., Петеримов С.В., Шошин В.М. Мультиплексированное управление жидкокристаллическими индикаторами. — В сб.: Современные методы отображения информации / Под ред. М.И.Кривошеева, А.Я.Брейтбарта. — М.: Радио и связь, 1981, с. 109–117.
13. Антонова Г.Ф., Кузнецов Е.Ю., Минкин Л.К. "Электроника БЗ-30". — Электронная промышленность, 1979, вып. 6, с. 33.
14. "Электроника БЗ-39". Рекламное сообщение. — Электронная промышленность, 1981, вып. 7–8, (103–104), с. 146.

Статья поступила 12 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932:532.783

Е.И.Ковшов, В.П.Севостьянов

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИНДИКАТОРОВ

Рассматриваются жидкокристаллические материалы и возможность изготовления на их основе электрооптических устройств и индикаторов отображения визуальной информации индивидуального и коллективного пользования.

Создание первых жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) явилось стимулом для быстрого роста исследований в области физики и химии жидких кристаллов, а открытие целого ряда электрических эффектов [1] позволило конструировать различные ЖКИ и широко применять их в индикаторных устройствах отображения визуальной информации индивидуального и коллективного пользования (наручные и настольные электронные часы, микрокалькуляторы, табло, светоклапанные устройства и пр.). Такое широкое использование жидких кристаллов в индикаторной технике предъявило к ним целый ряд требований, учитывающих специфику каждого типа ЖКИ. Существует, однако, ряд общих требований, предъявляемых разработчиками к жидкокристаллическим материалам (ЖКМ), наиболее важными из которых являются:

- воспроизводимый и контролируемый химический состав;
- широкий температурный интервал существования мезофазы, включая температуры ниже комнатной, обеспечивающий реализацию рабочих параметров индикаторов, а также хранение и транспортировку как самих жидких кристаллов, так и устройств, изготовленных на их основе;
- способность ЖКМ растворять заданное количество токопроводящих, донорно-акцепторных и других добавок, исключая выпадения их в осадок во всем диапазоне температур, а также отсутствие взаимодействия между ЖКМ и добавками в процессе приготовления и эксплуатации материалов;
- инертность к токопроводящим покрытиям, ориентирующим слоям, герметикам и другим узлам и деталям, с которыми ЖКМ непосредственно контактирует;
- электрохимическая, термическая, радиационная, фотохимическая стабильность в условиях эксплуатации;
- высокая химическая стойкость к окислению, гидролизу, полимеризации и т.д.;
- минимальная вязкость в рабочем интервале температур;
- слабая зависимость анизотропных и вязкоупругих характеристик ЖКМ от температуры;
- минимальное давление насыщенных паров ЖКМ и отдельных входящих в них компонентов;
- отсутствие токсичных компонентов.

Химический состав жидкокристаллических материалов. Из всего многообразия жидкокристаллических веществ наиболее широко в производстве ЖКИ используются лишь ограниченные классы жидких кристаллов, к которым, в первую очередь,

относятся [1] производственные 4-алкил-4'-алкокситоланов, 4-алкил-(алкокси) - транс-циклогексановых кислот, 4-алкил-4'-цианофениловых эфиров 4'-алкил-(алкокси) - бензойных кислот, 4-замещенных фениловых эфиров терефталлиевых кислот, 4-алкил-(циано) - N - [4-алкокси - (циано) - бензилден] - анилинов, 4-алкокси - (ацинокси)-4'-алкил-азоксибензолов, 4-алкил-(алкокси)-4'-цианобифенилов, 4-алкил-(алкокси)-4 - цианотерфенилов, 5-алкил-2-[4-алкоксифенил] - пиримидинов; 4-алкокси-транс-алкил-циклогексанкарбоксилатов, транс-4-алкил-циклогексил-4 [транс - 4 - алкилциклогексил]- бензолов, 4 - цианофенил-4-[транс-4-алкилциклогексил]- бензоатов, транс-4 - алкил-(алкокси) - [4-цианофенил]- циклогексанов, транс-4-алкил - [4-цианобифенил-4]-цианогексанов и некоторые другие.

Ограничение в выборке компонентов для получения промышленных материалов определяется технологичностью синтеза веществ, доступностью их очистки и контроля качества, воспроизводимостью состава, себестоимостью.

**Интервал рабочих температур.** Возможность практического применения ЖКИ определяется диапазоном рабочих температур. Различают два диапазона температур: хранения и эксплуатации. Жидкокристаллические индикаторы, применяющиеся в производстве микрокалькуляторов, наручных и настольных электронных часов и многофункциональных приборов в промышленных устройствах управления и контроля, должны иметь диапазон температур хранения от -45 до +70°C, а эксплуатации — от 0 до +60°C. Индикаторные устройства для автомобильной промышленности дол-

Характеристики ЖКМ

Таблица 1

ЖКМ	Технические условия или состав	Температура, °С		Удельное сопротивление, $\times 10^9$ Ом·см	Диэлектрическая анизотропия		Анизотропия проводимости	Оптическая анизотропия	Пропускание при $\alpha=10$ мкм, нм	Вязкость при 25°C, сП
		плавления	просветления		$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{  }$				
ЖК-404	40-14.91	-12	+58	> 1,0	-0,42	4,73	1,4	-	-	34
ЖК-404И	40-14.91	-12	+58	< 0,01	-0,42	4,73	-	-	-	34
ЖК-440	335	< -5	+74	> 5,0	-0,40	4,9	1,55	0,24	-	22
ЖК-614	ЦБЭ.76	-7	+74	> 1,0	+18,3	25,9	-	0,22	-	25
ЖК-616	40-14.76	0	+69	> 1,0	+3,4	9,3	-	0,22	-	-
ЖК-654	40-14.76	0	+66	> 1,0	+10,7	17,2	-	0,20	-	27
ЖК-805	ЦГКК-138	< -27	+95	> 1,0	+0,17	2,5	-	0,081	-	25
ЖК-807	40-14.96	-5	+59	> 1,0	+13,4	19,5	0,81	0,05	280	35
ЖК-910	ЦГКК.138	< -27	+58	> 1,0	+1,8	5,0	-	0,044	-	14
ЖК-911	40-14.138	0	+79	> 1,0	+5,0	8,5	-	0,067	-	27
ЖК-912	ЦГКК	+5	+72	> 1,0	+12,3	8,2	-	0,075	-	30
ЖК-999	40-14.136	-3	+79	> 1,0	+2,1	9,5	-	0,24	-	36
					(при 200 Гц)					
					-2,2	5,2				
					(при 40 кГц)					
ЖК-1000	БЭ14.137	-9	+62	1,0	+2,6	10,1	-	0,126	-	62
					(при 200 Гц)					
					-2,7	4,8				
					(при 40 кГц)					
СЖК-(1-4)	АСДО.ТК	-2	+57	> 1,0	+14,3	18,7	0,75	0,22	280	32
У-1	АСДО.ТК	0	+72	< 0,01	-0,47	12,4	1,6	0,22	-	33
У-2	АСДО.ТК	< -8	+67	< 0,01	-0,51	14,5	1,62	0,20	-	44
У-3	АСДО.ТК	< -5	+70	> 1,0	+3,6	9,4	-	0,21	340	55
У-5	АСДО.ТК	-2	+71	> 1,0	+8,0	18,3	-	0,24	-	52
У-6	АСДО.ТК	< -7	+69	> 1,0	+9,9	16,3	-	0,22	345	55
У-8	АСДО.ТК	< -10	+65	> 1,0	+10,6	27,8	-	0,24	-	60
У-18	АСДО.ТК	< -4	+66	> 1,0	+19,5	27,7	-	0,22	-	-
У-24И	АСДО.ТК	< -8	+65	> 1,0	-3,6	5,5	1,74	0,12	-	53
NP-997	АБ, БЭ	-4	+73	10,0	-0,6	5,6	1,6	0,28	420	-
NP-1235	БЦГ, ФЦГ, ФЦГЭ, ЦТФ	-3	+63	> 1,0	+13,8	19,8	-	0,18	-	-
NP-1083	ФЦГ	-3	+52	> 10,0	+10,1	15,2	-	0,12	235	21
NP-1694	ФЦГ, БЦГ	< -20	+86	> 1,0	+6,5	10,4	-	0,13	-	-
RO-TN-200	ЦАМ	< -15	+65	> 0,01	18,3	26,0	-	0,276	-	84
RO-TN-403	ЦБ, ЦП	< -10	+81	> 0,01	+19,2	24,8	-	0,258	-	66
RO-TN-571	ЦБ, ЦТФ	< -10	+63	> 0,01	+13,8	18,8	-	0,22	-	42
RO-TN-617	-	< -5	+71	> 0,01	+6,5	11,7	-	0,121	-	36
E7	ЦБ, ЦТФ	-10	+60	> 1,0	+13,8	19,2	-	0,224	-	30
E24/24	-	-15	+67	1,0	-4,3	4,7	-	0,08	-	49
P23/23	БЭ, ФЦГЭ, ФЦГЭ	-15	+64	1,0	+10,2	6,4	-	0,125	-	31
P52/52	БЦГ, ФЦГЭ	-	+69	1,0	+7,7	12,9	-	0,134	-	40
P53/53	-	-	+68	1,0	+8,8	15,5	-	0,139	-	44
SP-36	ФЦГЭ	< -30	+68	> 1,0	-	-	-	-	-	45
SP-706C	ФЦГ, ЦБ	< -30	+65	> 1,0	-	-	-	-	-	40

Обозначения: АБ — азоксибензолы, БЦГ — бифенилциклогексаны, БЭ — бензоэфир, ФЦГ — фенилциклогексаны, ФЦГЭ — фенилциклогексановые эфиры, ЦАМ — цианоазометины, ЦБ — цианобифенилы, ЦБЭ — цианобензоэфир, ЦГКК — цианогексанкарбоновые кислоты, ЦП — цианопиримидины, ЦТФ — цианотерфенилы.

жны эксплуатироваться от  $-40$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  и храниться от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Вероятность синтеза индивидуального жидкокристаллического вещества с такими диапазонами температур чрезвычайно мала. Поэтому в производстве индикаторов в качестве рабочих ЖКМ применяются многокомпонентные эвтектические смеси.

Эти материалы, как правило, разрабатываются на базе одного определенного химического класса жидкокристаллического соединения, например, на основе азоксибензолов, бензоэфиров, основный шиффа, цианобифенилов и т.д. К этому материалу (базисному) добавляются мезофазные и изотропные компоненты, варьирующие электропроводность, температуры мезофазных переходов, анизотропные, вязкостно-упругие и другие параметры ЖКМ. Количество компонентов в конечном материале может достигнуть 12—15.

В табл. 1 приведены основные параметры некоторых выпускаемых ЖКМ, а также материалов, составленных из смесей индивидуальных компонентов.

Исследование ЖКМ показывает, что необходимый верхний предел температур реализуется достаточно легко, а нижний предел, вследствие существенного роста вязкости при пониженной температуре в настоящее время еще не достигнут. Существуют материалы, обеспечивающие надежное снижение температур до  $-5\text{...}-20^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее снижение температур до  $-30\text{...}-40^{\circ}\text{C}$  требует проведения дополнительных работ, связанных, видимо, со специальным схемным решением.

**Специализированные добавки в ЖКМ.** Применение ЖКМ в индикаторах, работающих на различных электрооптических эффектах, требует введения в них различных по составу и физико-химическим свойствам изотропных и мезофазных добавок. К этим веществам относятся, например, хиральные жидкие кристаллы и оптически-активные добавки, предназначенные главным образом для работы в ЖКИ на твист-эффекте и исключающие брак в индикаторах по появлению линий дисклинаций разворачивающегося по знаку твист-эффекта.

В табл. 2 представлены основные характеристики некоторых хиральных нематических жидких кристаллов и оптически-активных добавок, при-

меняющихся в серийном производстве индикаторов различного назначения.

Из донорно-акцепторных добавок, повышающих величину диэлектрической анизотропии ЖКМ, положительно зарекомендовали пара-аминобензонитрил и его производные [3].

При работе ЖКИ на эффекте динамического рассеяния света состав токопроводящих добавок в ЖКМ определяется конструкцией и конкретными условиями эксплуатации индикаторов. Тем не менее, при работе ЖКИ на постоянном токе возбуждения лучшими добавками считаются хлоранил, дихлордицианбензохинон, тетрацианэтилен в смеси с системой «пара-бензохинон-гидрохинон» с добавкой 4-метокси- или 4-гексилфенолов. При напряжении 10 В постоянного тока индикаторы на этих смесях имеют долговечность 5 тыс.ч [4].

На переменном токе возбуждения (напряжение 10—15 В и частота более 50 Гц) с использованием добавок на основе тетра-алкил-аммоний галогенид (где алкил—бутил, -амил или -гексил, а галогенид—хлор, бром или йод) достигнута долговечность 25—30 тыс.ч.

**Стабильность ЖКМ в процессе эксплуатации ЖКИ.** Одним из основных требований, предъявляемых к ЖКМ, является их инертность к узлам и деталям пакета ЖКИ в процессе изготовления и эксплуатации индикаторов.

Практически все ЖКМ, применяемые в индикаторах для наручных электронных часов и микрокалькуляторов, инертны к стеклу, оксидноиндиевым, оксиднооловянным и металлизированным токопроводящим покрытиям, ориентирующим пленкам из монооксида и окиси кремния, монооксида германия, герметизирующим материалам на основе стеклофритты и стеклоцементов, металлическим припоям. Что касается герметиков и ориентирующих слоев из органических материалов (поливинилальдегиды, поливинилловые спирты, полиимиды, различные эпоксидные и эпоксидно-новолачные системы, производные органосиланов и фторуглерода и другие аналогичные композиции), применение их в ЖКМ с высокой и минимальной низкой величиной диэлектрической анизотропии, в частности, ЖК-614, ЖК-654, ЖК-807, ЖК-911, СЖК-(1-4), У-18, У-24И из-за их частичного физико-химического взаимодействия ограничено. В процессе эксплуатации индикаторов с использованием этих материалов наблюдается рост потребляемых токов ЖКИ, падение контраста, разориентация жидких кристаллов в объеме межэлектродного пространства ЖКИ и другие дефекты. Поэтому при выборе конструкции индикаторов и технологии их изготовления необходимо проведение определенных типовых испытаний. Так, например, ЖКМ испытываются в готовых индикаторах в температурном диапазоне на 10—30 $^{\circ}\text{C}$  ниже и выше температур просветления и плавления ЖКМ и при напряжениях, на 10—30% превышающих рабочее напряжение ЖКИ.

В настоящее время разработаны ускоренные испытания ЖКМ, накоплен большой статистический материал по параметрам ЖКМ и ЖКИ в реальных условиях их эксплуатации и хранения. Оптимизирована соответствующая тара для транспортировки ЖКМ. Практически все ЖКМ, приведенные в табл. 1, прошли испытание в массовом производстве ЖКИ, а достигнутая гарантированная долговечность некоторых из

Таблица 2  
Характеристики хиральных жидких кристаллов и оптически активных добавок

Тип добавки	Удельное вращение $[\alpha]_{20}$ , в $\text{CHCl}_3$	Шаг спирали, мкм (в %-ном растворе (ЦБ))	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Энтальпия, ккал/моль	Оптимальная концентрация в ЦБ, вес. %
			плавления	перехода		
ВИХН-1	+28	—	$47 \pm 0,5$	—	—	—
ВИХН-2	$+9 \pm 0,5$	3(42)	$51 \pm 1$	$11 + 1$	3,3	0,5—1,0
ВИХН-3	-67,3	3,5(2)	—	—	—	0,02—0,1
ВИХН-4	>0	—	$40 \pm 1$	$64 \pm 1$	—	0,2—0,3
ВИХН-5	>0	—	$76 \pm 1$	139	—	0,3—0,4
ВИХН-6	>0	—	$90 \pm 1$	$96 \pm 0,5$	—	0,5—1,0
С-15	+11	3,7(40)	53,5	$9 + 3$	3,5	1,0
СВ-15	+13,5	1,5(10)	14	(-30)	1,5	1,0
СМ	—	14	86,4	—	—	—
СМ-10	—	15	83,1	107,2	—	—
СМ-20	—	10	54,4	125,7	—	—
РОСВ-5818С	+14	1,5(10)	14,6	—	—	—
РОСВ-5715А	+11	3,9(40)	53,5	—	—	—

них составила более 50 тыс.ч. Принципиально важным является стабильность ЖКМ к воздействию солнечной радиации в УФ-спектре частот.

Эксплуатация наручных электронных часов на жидких кристаллах показала, что все ЖКМ в той или иной степени «стареют» под воздействием УФ-излучения. В итоге отмечается рост потребляемого тока в ЖКИ, уменьшение контраста изображения за счет потемнения фона индикатора, в объеме межэлектродного пространства ЖКИ (в зоне индикации) появляются газовые пузыри и т.д.

Наименее стабильными являются ЖК-404, ЖК-404И, ЖК-440, У-3, У-6. Достаточно высокой стабильностью обладают ЖК-805, ЖК-807, СЖК-(1-4), У-8, У-18. Остальные материалы занимают промежуточное положение.

Однако требования к стабильности ЖКМ в индикаторах на воздействие солнечного света значительно снижены из-за широкого применения поляризаторов и фильтров, стойких к воздействию УФ излучения. Это позволяет разработчикам индикаторов использовать более широкий класс жидких кристаллов для составления ЖКМ, исключить использование антиоксидантов, гарантировать стабильность работы индикаторов в жестких условиях воздействия света.

Тем не менее, из-за высокой стоимости поляризаторов, конструктивных особенностей ЖКИ и условий их эксплуатации проблема стабилизации ЖКМ к воздействию УФ-излучения (в части поиска высокостабильных рецептур ЖКМ) в настоящее время не потеряла своей актуальности.

**Диэлектрические константы** жидкокристаллических материалов (диэлектрическая анизотропия, анизотропия электропроводности и вязкости, оптическая анизотропия и т.д.) характеризуются двумя постоянными — вдоль главной оси кристалла и поперек ее; разность между ними или отношение являются важными характеристиками ЖКМ. Диэлектрическая анизотропия наряду с вязкостью определяет такие основные параметры индикаторов, как рабочее напряжение, времена включения, крутизну вольт-контрастных кривых и т.д. При этом в ряде случаев необходимо учитывать не только диэлектрическую анизотропию, но и абсолютные значения отдельных диэлектрических констант.

В разработанных материалах величина диэлектрической анизотропии изменяется добавлением соответствующих компонентов и варьируется в довольно широких пределах. Так, например, на промышленно выпускаемых материалах достигнуты величины диэлектрической анизотропии от  $-5$  до  $+30$ , что позволяет применять эти ЖКМ в широком спектре напряжений, в индикаторах со статическим и динамическим режимами управления и т.д. Кроме того, созданы материалы для ЖКИ с двухчастотной адресацией (ЖК-999, ЖК-1000, см. табл. 1), в которых при низких частотах электрического поля диэлектрическая анизотропия положительна, а при высоких частотах — отрицательна. Смена знака диэлектрической анизотропии может происходить при относительно небольших частотах — порядка нескольких кГц.

**Электропроводность.** Для ЖКИ, работающих на полевых ориентационных эффектах, необходим ЖКМ с возможно более низкой электропроводно-

стью ( $10^{-10}$  Ом·см<sup>-1</sup> и ниже), что обеспечивает низкий уровень потребляемых токов в индикаторах и высокую стабильность материалов к электрохимическим реакциям. Для ЖКИ, работающих на эффекте динамического рассеяния света, необходима более высокая электропроводность ЖКМ — порядка  $10^{-8}$  Ом·см<sup>-1</sup>, так как протекание тока через индикатор является необходимым условием возникновения рассеяния света [2]. При этом существенным является не только указанное среднее значение электропроводности, но и величина анизотропии проводимости. Поэтому ЖКМ сначала подвергают глубокой очистке, а затем легируют до нужной электропроводности специально подобранными добавками [4]. В целом разработанные материалы удовлетворяют потребителей по величине параметра электропроводности (см. табл. 1).

Однако разработчикам ЖКИ важно учитывать такое обстоятельство, что многие электрооптические характеристики ЖКИ существенно зависят не только от параметров ЖКМ, но и от конструкции и технологии изготовления индикаторов и методик измерений. Сюда относятся способы ориентации молекул жидких кристаллов, толщина слоя в пакете ЖКИ, угол наблюдения, методики измерения диэлектрических параметров ЖКМ и т.д.

**Токсикологические свойства.** Разработанные в настоящее время ЖКМ представляют собой малотоксичные вещества. Кроме того, они малолетучи и имеют низкое давление насыщенного пара при комнатной температуре (для ЖК-440  $P = 1,33 \cdot 10^{-5}$  Па), что обуславливает их низкую концентрацию в воздухе рабочих зон.

В настоящее время известно свыше десятка электрооптических эффектов, пригодных для использования в ЖКИ различного вида.

**Материалы для эффекта динамического рассеяния света.** Эффект динамического рассеяния света был одним из первых реализованных в ЖКИ и для него впервые был создан (на основе азометинов) промышленный ЖКМ, работающий при комнатной температуре. В настоящее время для таких индикаторов изготавливается целый ряд материалов на основе азоксибензолов, азометинов, сложных эфиров бензойных и циклогексанкарбоновых кислот, толанов. Последним достижением в этой области является создание материала на основе фенилциклогексанов, обладающих пониженной вязкостью при низких температурах.

ЖК-материалы для использования в ЖКИ на эффекте динамического рассеяния света должны иметь небольшую отрицательную диэлектрическую анизотропию (до минус 0,5), анизотропию электропроводности (1,5:2,0) при средней электропроводности, равной  $10^{-9}$  (Ом·см) и удовлетворять общим требованиям.

В настоящее время ЖКИ на динамическом рассеянии света вытесняются индикаторами на других эффектах, хотя в некоторых перспективных областях применения они остаются.

**Материалы для твист-эффекта.** Индикаторы на твист-эффекте являются основными на рынке сбыта. Поэтому наибольший интерес проявляется и к материалам для твист-эффекта. Первыми материалами этого типа были смеси на основе цианоазометинов и эфиронитрилов (например R0-TN-200, см. табл. 1). Однако существуют определенные трудности в работе с цианоазометинами вследствие их чувствительности к влаге. Эфиронитрилы

высокой вязкости в настоящее время «в чистом» виде не используются, но применяются в качестве легирующих добавок для изменения диэлектрических свойств ЖКМ.

Очень перспективным классом жидких кристаллов оказались цианофенилы, на основе которых создан ряд ЖКМ, характеризующихся высокой электрохимической и радиационной стабильностью, бесцветностью, обеспечивающих низкие управляющие напряжения и небольшие времена срабатывания ЖКИ. Наибольшую популярность из этих материалов приобрела смесь E7 (см. табл. 1).

Разработка новых композиций на основе цианофенилциклогексанов, отличающихся от цианофенилов, тем, что одно из бензольных колец заменено на циклогексановое, позволила значительно снизить вязкость материалов и уменьшить времена срабатывания ЖКИ особенно при низких (минусовых) температурах.

Разработанные отечественной промышленностью как отдельные компоненты, так и готовые смеси, удовлетворяют значительным требованиям разработчиков по производству ЖКИ. Их можно разбить на несколько групп.

К первой группе относятся материалы ЖК-404, ЖК-404И, ЖК-440, ЖК-805, У-1, У-2, имеющие широкий температурный интервал нематической мезофазы и небольшое значение диэлектрической анизотропии. Эти материалы могут быть использованы в качестве основы для создания низкотемпературных смесей с различным знаком диэлектрической анизотропии для полевых электрооптических эффектов. При добавлении электропроводящей добавки могут быть созданы материалы для эффекта динамического рассеяния света.

Вторую группу составляют материалы ЖК-614, ЖК-616, ЖК-654, ЖК-807, СЖК-(1-4), У-3, У-6, имеющие широкий интервал нематической мезофазы, относительно большую анизотропию показателя преломления и положительную диэлектрическую анизотропию. Эти материалы пригодны для использования в различных электрооптических устройствах, основанных на полевых эффектах, например в ЖКИ на твист-эффекте.

Третья группа материалов ЖК-805, ЖК-910, ЖК-911 имеет также положительную величину диэлектрической анизотропии, но отличительной чертой является низкое значение анизотропии показателя преломления, что позволяет применить их не только в устройствах, где используются материалы второй группы, но и в цветных электрооптических устройствах на основе интерференционных S и B эффектов.

В четвертую группу материалов входят ЖК-999 и ЖК-1000, характерным свойством которых является изменение знака диэлектрической анизотропии при относительно низких частотах управляющего поля. Это позволяет использовать их в ЖКИ с двухчастотным режимом управления и осуществлять управляемое включение и выключение, что существенно сокращает и расширяет возможности применения индикаторов.

Таким образом в настоящее время разработчики ЖКИ предъявляют все больше требований в ЖКМ при оптимальном подборе характеристик материалов применительно к конкретным конструкциям и технологии изготовления индикаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Demus D., Demus H., Zschke H. Flüssige Kristalle in Tabellen. — Leipzig, DDR, 1975.

2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. — М.: Наука, 1978.

3. Пат. (США) 4128314. Liquid-Crystal Indicator / V.P. Sevostyanov et al.

4. Севостьянов В.П., Шошин В.М. Эффект динамического рассеяния света в жидких кристаллах на постоянном токе. — Электронная техника. Сер. 4. Электрорадиотехника и газоразрядные приборы, 1978, вып. 6, с. 18–25.

5. Merck E. Chemikalien. — Darmstadt Merck Licristal., Technical Information. 10/6939/1. 5/980. — 1977–1980.

6. Hoffmann F. — La Roch Sw. — Switzerland Liquid Crystals Components, Technical Information. — 1980.

7. BDH Chemicals Ltd. — England. Liquid Crystal Materials, Technical Information. 1189PP/3.0./0878.

8. Chisso Corp. — Japan, Lixon Bold. Liquid Crystal, — Technical Information. — 1980–1981.

9. Dai Nippon Teryo. — Japan, Dynex. Liquid Crystal, Technical Information. — 1980–1981.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.383.932:532.783

А.Н.Гусев, В.И.Бусурин, Н.П.Удалов

## ЗНАКОВЫЕ СВЕТОВОДНЫЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

**Четырехразрядные световодные жидкокристаллические индикаторы имеют высокие светотехнические характеристики при любых уровнях внешней освещенности, расширенный рабочий температурный диапазон за счет использования термостабилизации контраста, зависящего от интенсивности подсветки, а также низкие потребляемую мощность и стоимость.**

Традиционные жидкокристаллические светомодулирующие индикаторы имеют высокие значения контраста при высоких уровнях внешней освещенности, однако при низкой внешней освещенности или в темноте ЖКИ становятся неработоспособными, так как в основе их работы лежит взаимодействие видимого излучения со слоем жидкого кристалла, изменяющим свои электрооптические свойства под действием управляющего электрического поля. Создание различных ЖКИ с подсветкой от встроенного источника позволяет устранить указанный недостаток ЖКИ, но при этом усложняется их конструкция, увеличиваются габариты.

Световодные ЖКИ (СЖКИ) [1, 2], использующие в качестве источника подсветки некогерентный источник (миниатюрные лампы накаливания), сохраняют плоскостность конструкции, имеют высокие значения контраста, яркости при различных уровнях внешней освещенности и не требуют поляризаторов в отличие от ЖКИ на основе световодных структур с когерентными источниками подсветки [3].

Принцип действия четырехразрядного знакового СЖКИ, основанный на избыточном рассеянии излучения в жидком кристалле, находящемся

в состоянии динамического рассеяния света (ДРС), по сравнению с природным тепловым рассеянием излучения ориентированным слоем невозбужденного ЖК [2], определяет специфические свойства СЖКИ.

Первой особенностью СЖКИ является максимальный угол обзора ( $180^\circ$ ) при использовании двух источников подсветки с противоположных сторон индикаторного поля, а также высокое значение контраста. Это связано с увеличением интенсивности рассеянного излучения, выходящего из световодной структуры к наблюдателю, по мере увеличения угла наблюдения, измеряемого от нормали к индикаторному полю, что наглядно видно при использовании графоаналитического метода расчета индикатрисы рассеяния и контраста элементов СЖКИ [2].

Вторая важная особенность СЖКИ — зависимость контраста от интенсивности подсветки — была обнаружена при разработке СЖКИ. Зависимость контраста от интенсивности подсветки была измерена с помощью экспериментальной установки (см. рисунок) с источником монохроматического света, а также в разработанных СЖКИ с миниатюрными лампами накаливания типа СМН 9-60.

Применение в установке источника монохроматического света (лазер ЛГ-56 с длиной волны  $0,63 \text{ мкм}$ ) позволило устранить нестабильность спектра излучения, что свойственно другим источникам (светодиоды, лампы накаливания и т.д.) при изменении их режимов, а также исключить нагрев слоя жидкого кристалла за счет поглощения излучения источника вследствие малой его мощности.

Поляризатор, который может поворачиваться вокруг оси, перпендикулярной поляризатору и совпадающей с направлением распространения излучения, позволяет изменять интенсивность источника подсветки от нуля (при ориентации оси поляризатора перпендикулярно плоскости поляризации излучения источника) до максимального значения интенсивности излучения (при ориентации оси поляризатора параллельно плоскости поляризации излучения источника). Поворот поляризатора в пределах углов от  $0$  до  $90^\circ$  был предварительно

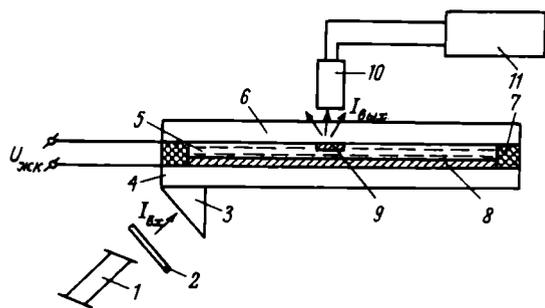


Схема установки: 1 — лазер; 2 — поляризатор; 3 — призма; 4, 6 — стеклянные пластины; 5 — жидкий кристалл; 7 — прокладки; 8, 9 — прозрачные электроды; 10 — фотодиод; 11 — микроамперметр

проградуирован при измерении интенсивности источника с помощью фотодиода ФД-8К, сигнал с которого изменялся в пределах от нуля до  $30 \text{ мкА}$ .

Измерение выходного излучения сегмента СЖКИ тем же фотодиодом ФД-8К для значений  $0$  и  $40 \text{ В}$  управляющего напряжения, подаваемого на ЖК при различных уровнях интенсивности подсветки, позволило рассчитать контраст СЖКИ и определить его зависимость от интенсивности подсветки монохроматическим источником излучения. Эта зависимость почти линейна и не имеет порога, а вольтконтрастные характеристики ЖК имеют ярко выраженное пороговое напряжение. В схеме разработанного четырехразрядного СЖКИ отсутствует поляризатор, поглощающий не менее  $50\%$  неполяризованного света [4]. Интенсивность ламп накаливания регулировалась изменением напряжения питания на них от нуля до номинального ( $9 \text{ В}$ ).

Полученная в этом случае зависимость контраста от напряжения является нелинейной вследствие нелинейной зависимости интенсивности свечения лампы накаливания от напряжения, однако при напряжениях, близких к номинальному, зависимость контраста от напряжения близка к линейной.

Наличие зависимости контраста в СЖКИ от интенсивности подсветки связано с различным изменением интенсивности выходного излучения элементом СЖКИ для невозбужденного и возбужденного ЖК, во-первых, из-за различной природы рассеяния излучения невозбужденным и возбужденным ЖК (рассеяние невозбужденного жидкого кристалла объясняется тепловыми флуктуациями длинных осей молекул кристалла [5], а рассеяние кристалла в ДРС происходит вследствие образования турбулентных областей в слое кристалла), и, во-вторых, вследствие нелинейности взаимодействия излучения с жидким кристаллом, находящимся в ДРС.

Зависимость контраста может быть использована либо для повышения термостабильности контраста в заданном рабочем температурном диапазоне, либо для расширения диапазона рабочих температур при заданной неравномерности контраста.

Экспериментально получено расширение рабочего диапазона температуры СЖКИ при неравномерности контраста не более  $10\%$  до температуры  $335,5 \text{ К}$  по сравнению с  $323 \text{ К}$  для  $1,5 \text{ ЖК}$  Ц18 и ему аналогичных при использовании одного и того же типа жидкого кристалла.

Предложенный способ термостабилизации прост в управлении по сравнению с известными способами, когда контраст стабилизируется за счет изменения с температурой управляющего напряжения, подаваемого на выбранные схемой управления сегменты ЖК [6]. Стабилизация зависит от общего числа сегментов всех разрядов ЖК,

а в предложенном способе выборка сегментов не влияет на процесс термостабилизации контраста.

#### Основные характеристики индикатора

Размеры знака, мм	5 × 10
Контраст, %	не менее 60
Неравномерность контраста, %	не более 10
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	не менее 65
Угол обзора, град	180
Управляющее напряжение (частота 50 Гц), В	40 ± 10%
Время включения, мс	50–100
Время выключения, мс	150–250
Диапазон рабочих температур, К	268–335,5
Номинальное напряжение источника подсветки, В	9
Удельная потребляемая мощность на сегмент, мВт	38
Габариты оптической части, мм	55 × 17 × 9

Потребляемая мощность СЖКИ меньше, чем у аналогичного четырехразрядного светодиодного индикатора АЛ308. Стоимость СЖКИ невысока, так как в его конструкцию входят стандартные лампы накаливания и призмы ввода из оптического стекла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Удалов Н.П., Лярский В.Ф., Гусев А.Н. и др. Современные устройства отображения информации. — Электронная техника. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты, 1980, вып. 1, с. 32–36.
2. Гусев А.Н. Жидкокристаллический индикатор на основе световодной структуры с управляемым светорассеянием. В сб.: Новые электронные приборы и устройства. — М.: МДНТП, 1982, с. 100–106.
3. Цветков В.А. Жидкие кристаллы в узлах и устройствах оптической обработки информации. — Зарубежная радиоэлектроника, 1980, № 4, с. 76–96.
4. Индикаторные устройства на жидких кристаллах/ Под ред. З.Ю. Готры. — М.: Сов.радио, 1980, — 240 с.
5. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. — М.: Мир, 1977, — 400 с.
6. Заявка ФРГ № 2327091 от 30.03.78 г. МКИ G02F1/13.

Статья поступила 9 февраля 1982 г.

УДК 681.7.068.4:532.783

В.Н.Марков, А.Л.Соловьев, А.И.Удалов

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕТОВОДНЫЕ ПАНЕЛИ МАТРИЧНОГО ТИПА С ПОДСВЕТКОЙ ОТ ВСТРОЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Получены эмпирические соотношения, позволяющие проектировать жидкокристаллические индикаторные панели матричного типа со световодной подсветкой на основе управляемого оптического канала по заданным светотехническим параметрам.

При разработке систем информационно-измерительных комплексов большое внимание уделяется средствам ввода и вывода информации, в том

числе устройствам визуального отображения информации. Простота конструкций, низкая стоимость, технологичность, чрезвычайно малая потребляемая мощность и низкий уровень управляющих напряжений, совместимость с современной базой интегральных схем для управления — все это создает большие перспективы для исследования, разработки и применения жидкокристаллических индикаторов в самых разнообразных информационно-измерительных комплексах [1]. Разработано большое количество жидкокристаллических материалов, накоплен достаточный опыт по технологии изготовления ЖКИ и улучшению их светотехнических и динамических параметров конструктивными и схмотехническими методами, разработаны способы повышения надежности и долговечности ЖКИ. Однако существуют еще нерешенные проблемы. Так, не удается добиться высокого быстродействия, работоспособности ЖКИ в широком диапазоне отрицательных температур. Кроме того, контраст и его разброс по площади индикаторного поля ЖКИ сильно зависят от уровня освещенности слоя жидких кристаллов и поэтому в условиях темноты или низком уровне внешней освещенности ЖКИ нуждаются в высокоэффективной подсветке от встроенных источников оптического излучения.

Существенно повысить светотехнические характеристики ЖКИ позволяет световодная подсветка на основе управляемого оптического канала (УОК) [2]. Принцип действия жидкокристаллической индикаторной панели с матричным управлением со световодной подсветкой на основе УОК (ЖКСП) заключается в выводе к наблюдателю через переднюю прозрачную пластину света, введенного в заднюю световодную пластину с помощью призм от источников излучения при подаче номинального управляющего напряжения на прозрачные тонкие электроды в местах их перекрещивания (рис.1).

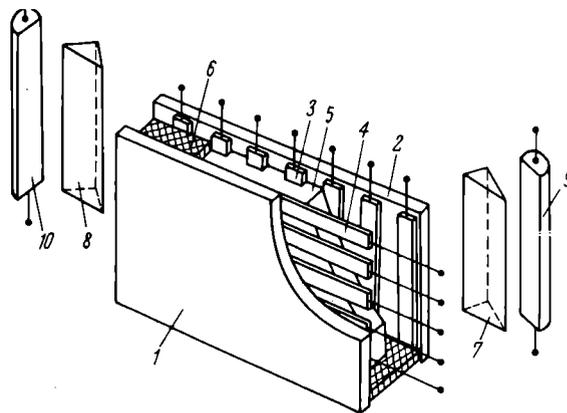


Рис. 1. Конструкция ЖКСП: 1 — передняя прозрачная пластина; 2 — задняя световодная пластина; 3, 4 — прозрачные электроды; 5 — слой жидкого кристалла; 6 — поливинилбутиральные прокладки; 7, 8 — прозрачные призмы; 9, 10 — источники излучения

Вывод света из световодной пластины основан на свойстве материала жидких кристаллов изменять свои оптические параметры под действием электрического поля, приложенному к его слою при помощи прозрачных электродов. Это свойство характеризуется численными значениями диэлектрической и оптической анизотропий, а также первоначальной ориентацией молекул жидких кристаллов относительно электрического вектора падающей световой волны.

В случае планарной ориентации молекул жидких кристаллов относительно поверхности световодной пластины, когда длинные оси нематического жидкого кристалла с отрицательной диэлектрической анизотропией перпендикулярны электрическому вектору падающего параллельного светового потока в отсутствие продольного электрического поля или численном его значении меньше порогового, показатель преломления приграничного слоя жидких кристаллов  $n_{жк}$  не будет зависеть от угла распространения светового потока  $\phi$  и численно равен  $n_0$ . При подаче управляющего напряжения выше порогового в тонком слое жидких кристаллов образуются доменные структуры, сопровождающиеся изменением ориентации приграничного слоя и, как следствие, показатель преломления приграничного слоя возрастает.

Если ввести световой поток в световодную пластину так, чтобы угол распространения световых потоков  $\phi_1$  и  $\phi_2$  превысил численное значение критического угла полного внутреннего отражения света (ПВО), то свет не будет выходить из световодной пластины, а будет распространяться вдоль нее путем полных внутренних отражений практически без потерь:

$$\phi_1 = \text{arc sin } n_0 / n_2,$$

где  $n_2$  — показатель преломления световодной пластины.

При номинальном напряжении управления, значительно превышающем пороговую величину  $U_{пор}$  (в три раза при режиме управления 1/3), численное значение показателя преломления приграничного слоя жидких кристаллов достигает значения  $n_{жк}$ . В этом случае численное значение крити-

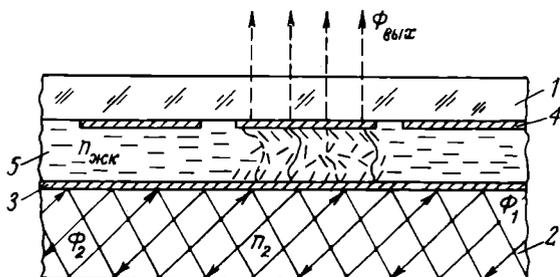


Рис. 2. Индикаторное поле ЖКСП в разрезе

ческого угла ПВО определяется из соотношения

$$\phi_3 = \text{arc sin } n_{жк} / n_2.$$

В случае, если угол ввода световых потоков  $\phi_1$  и  $\phi_2$  превышает численное значение угла  $\phi_3$ , то явление ПВО в световодной пластине при номинальном напряжении сохранится и свет не будет проникать в слой жидких кристаллов и, тем более, к наблюдателю (рис.2). Если же угол распространения световых потоков в световодной пластине оказался в диапазоне углов  $\phi_1 < \phi < \phi_3$ , то при номинальном напряжении управления явление ПВО сохраниться не сможет, и часть светового потока, определяемая по формулам Френеля, выйдет в слой жидкого кристалла. Благодаря сильному рассеянию света на доменных структурах при номинальном напряжении управления, при которых возможен эффект динамического рассеяния света, прошедший в слой жидкого кристалла свет меняет направление своего распространения и выходит к наблюдателю, теряя часть световой энергии в слое жидкокристаллического материала передней пластины, а также при отражении от границ раздела оптических сред.

Коэффициент пропускания светового потока от источника подсветки до наблюдателя определяется геометрическими параметрами световодной пластины, свойствами ее материала поглощать световую энергию, углом распространения светового потока  $\phi$ , температурой, толщиной, номинальным напряжением управления и типом жидкокристаллического материала. Не менее важно и значение показателя преломления приграничного слоя жидкого кристалла, которое является функцией угла падения светового потока, температуры и приложенного к слою жидкого кристалла управляющего напряжения. Зная эти параметры, можно определить коэффициент отражения приграничного слоя жидкого кристалла, который необходимо учитывать при расчете распределения светового потока по длине световодной пластины ЖКСП.

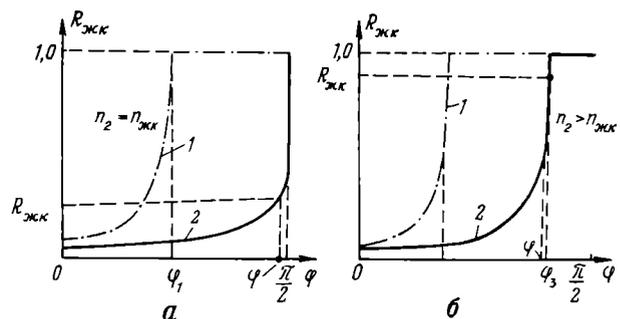


Рис. 3. Зависимости коэффициентов отражения светового потока от угла распространения при  $n_2 = n_{жк}$  (а) и  $n_2 > n_{жк}$  (б):  
1 —  $U_{упр} < U_{пор}$ ; 2 —  $U_{упр} = U_{ном}$

В случае выбора угла распространения светового потока вблизи значения критического уровня ПВО  $\phi_3$ , при определенных номинальном напряжении управления и температуре можно добиться численного значения коэффициента отражения приграничного слоя жидкого кристалла  $R_{жк}$  на уровне 0,8–0,99 (рис.3, а). Однако, как следует из экспериментальных зависимостей (рис.4), для повышения эффективности индикации необходимо выбирать угол распространения светового потока как можно круче к поверхности световодной пластины. Это достигается при условии, что показатель преломления световодной пластины больше показателя преломления приграничного слоя жидкого кристалла при номинальном напряжении управления (рис.3, б).

В результате проведенных исследований получены эмпирические соотношения, позволяющие рассчитывать контраст и разброс яркости по площади индикаторного поля ЖКСП, а также проектировать ЖКСП по заданным светотехническим параметрам.

На основе полученных данных изготовлена ЖКСП, в которой в качестве световодной пластины использовано оптическое стекло ТФЗ с показателем преломления  $n_2 = 1,723$ .

Техническая характеристика ЖКСП

Число строк и столбцов .....	64
Шаг строки и столбцов, мм .....	1
Ширина прозрачных электродов, мм .....	0,7
Габаритные размеры, мм	
прибора .....	110 × 84 × 8
индикаторного поля .....	65 × 65
Номинальное управляющее напряжение, В .....	36
Яркость, кд/м <sup>2</sup> .....	не менее 170
Контраст, % .....	не менее 70
Разброс яркости, % .....	не более 16

В качестве жидкокристаллического материала использована смесь типа ЖК-440 с отрицательной диэлектрической анизотропией, позволяющая работать в диапазоне температур от -15 до +75°С. Толщина жидкокристаллического слоя задавалась поливинилбу-

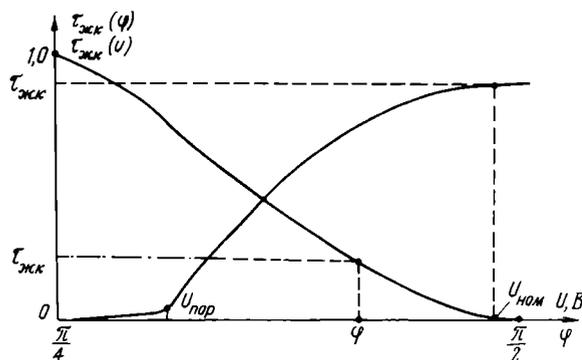


Рис. 4. Зависимости коэффициентов пропускания светового потока от управляющего напряжения  $\tau_{жк}(U)$  и от угла падения света на границу жидкого кристалла  $\tau_{жк}(\phi)$

тиральными прокладками толщиной 10 мкм. Время включения составляло 40–60 мс, время выключения 100–150 мс в диапазоне температур 15–40°С; при этом изменение яркости под действием изменения температуры составило около 6%. Причем, расчетные кривые хорошо совпадают с экспериментальными, что позволяет сделать вывод о применимости расчетных соотношений для проектирования данного типа ЖКСП с подсветкой на основе УОК с учетом допущения о параллельности входного светового потока и о перспективности таких устройств визуального отображения информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индикаторные устройства на жидких кристаллах / Под ред. З.Ю.Готры. – М.: Сов.радио, 1980. – 240 с.
2. Удалов А.И. Плоская жидкокристаллическая панель с матричным управлением на основе управляемого оптического канала и основы ее расчета. В сб.: Новые электронные приборы и устройства. – М.: МДНП, 1982, с.95–99.

Статья поступила 9 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932:532.783

А.В.Драников, А.А.Макухин,  
В.В.Митрохин, В.П.Севостьянов

**ТВИСТ-НЕМАТИЧЕСКИЕ  
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ  
ИНДИКАТОРЫ С ПОВЫШЕННОЙ  
ИНФОРМАТИВНОЙ  
ПЛОТНОСТЬЮ**

Разработка устройств отображения на основе индикаторов с повышенной информативной плотностью требует в каждом конкретном случае выбора конструкции индикатора и присутствия ей принципов управления.

Малая потребляемая мощность, большая разрешающая способность, хорошая видимость изображения независимо от освещенности делают ЖКИ весьма перспективными приборами для отображения больших массивов информации. Однако отсутствие памяти, приводящее к необходимости применения ЗУ регенерации изображения, ограниченные возможности ЖКИ к мультиплексированию не позволяют использовать эти индикаторы для отображения информации с произвольной выборкой по всему информационному полю [1]. Поэтому ЖКИ с повышенной информативной плотностью находят в основном применение при отображении информации с произвольной выборкой при ограниченном числе адресных шин индикатора и при отображении информации, с ог-

раниченной выборкой, но с независимым числом адресных шин.

В данной статье рассмотрен принцип построения индикаторов для отображения информации с произвольной выборкой при ограниченном числе адресных шин индикатора.

**Анализ свойств индикатора.** В общем случае для индикаторов с произвольной выборкой зависимость количества выводов индикатора  $N$  от его структуры и принципов управления можно выразить:

$$N = \frac{M}{Q} n + Q, \quad (1)$$

где  $M$  — число элементов (точек, сегментов) в знакоместе;  $n$  — число знакомест;  $Q$  — число адресных шин.

Для управления матричными индикаторами с диодной характеристикой используется принцип временной развертки, предполагающий последовательное во времени распределение информационных и адресных сигналов управления по шинам индикатора.

Яркость свечения элементов таких индикаторов является функцией эффективной величины прикладываемого напряжения. Изменение скважности управляющих сигналов при соответствующем выборе амплитуды управляющего сигнала не влияет на яркость свечения индикатора.

Количество адресных шин индикатора может определяться числом знакомест, сегментов, символов, по которым производится развертка.

При  $Q = n$  зависимость (1) преобразуется в вид:

$$N = M + n. \quad (2)$$

Полученная зависимость показывает, что для активных индикаторов с диодной характеристикой количество выводов не зависит от скважности, а определяется числом знакомест и элементов в знакоместе.

Для управления матричными ЖКИ в мультиплексном режиме используется в основном принцип амплитудной селекции. Этот принцип предполагает постоянное напряжение как на включенном, так и на выключенном сегментах.

Управляющее напряжение, прикладываемое к сегменту индикатора, представляет собой разность между напряжениями, поступающими по адресной и информационной шинам. На адресные шины постоянно подаются фиксированные законом развертки формы управляющих напряжений.

Форма напряжения на информационной шине зависит от отображаемой на сегментах информации. Эффективная величина управляющего (результатирующего) сигнала на включенном сегменте находится в зоне насыщения вольтконтрастной характеристики, а на выключенном сегменте — в предпороговой зоне. Эффективная величина результирующих напряжений на включенном и вы-

ключенном сегментах определяется формулами

$$U_{\text{вкл}} = \sqrt{\frac{U_1^2}{Q} + \frac{U_2^2(Q-1)}{Q}};$$

$$U_{\text{выкл}} = \sqrt{\frac{(U_1 - 2U_2)^2}{Q} + \frac{U_2^2(Q-1)}{Q}}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{вкл}}$ ,  $U_{\text{выкл}}$  — эффективная величина напряжения на включенном и выключенном сегментах;  $U_1$ ,  $U_2$  — максимальное амплитудное напряжение на включенном и выключенном сегментах;  $Q$  — скважность (число адресных шин).

При таком принципе управления рабочий режим индикатора определяется не только величиной управляющего напряжения, но и диапазоном величин между напряжением включения и выключения. Поэтому в ЖКИ скважность есть функция свойств индикатора, которую можно выразить так:

$$Q \leq \left( \frac{\rho^2 + 1}{\rho^2 - 1} \right)^2, \quad (4)$$

где  $\rho$  — коэффициент четкости порогового напряжения (определяется как отношение между напряжением насыщения и пороговым напряжением).

Соотношения (3) и (4) справедливы при соблюдении теоретического условия оптимальности контраста [3], которое записывается

$$U_1 = U_2 (\sqrt{Q} + 1). \quad (5)$$

Однако выражения (4) и (5) справедливы только при постоянной температуре. Изменение температуры приводит к дрейфу вольтконтрастной характеристики, что может привести либо к подсветке выключенных сегментов, либо к потере контраста включенных.

Поэтому в реальных условиях эксплуатации зависимость скважности носит более сложный характер:

$$Q_{\text{max}}(T_1 \dots T_2) \leq \left( \frac{A^2 + 1}{A^2 - 1} \right)^2, \quad (6)$$

где  $A = \frac{U_{\text{пор}} \rho + \sigma (T - T_2)}{U_{\text{пор}} - \sigma (T_1 - T)}$ ;  $U_{\text{пор}}$  — пороговое напряжение при номинальной температуре;  $\sigma$  — коэффициент температурного дрейфа порогового напряжения;  $T$ ;  $T_1$ ;  $T_2$  — номинальная, максимальная и минимальная температура эксплуатации.

Из формулы (6) следует, что увеличение температурного диапазона или снижение величины порогового напряжения связано с резким уменьшением допустимой скважности.

Кроме того, управление ЖКИ по принципу амплитудной селекции в реальных устройствах осуществляется методом цифровой логики и из-за

технической сложности реализации условия (5) используются приближенные режимы:

$$U = KU_2, \quad (7)$$

где  $K$  – целое число.

На практике используют режимы  $U: 2U; U: 3U; U: 4U$ , что приводит к дополнительным ограничениям по скважности.

В настоящее время развитие микроэлектроники привело к разработке БИС общего применения – микропроцессорного комплекта. В микропроцессорных устройствах только путем замены запрограммированных ПЗУ удается получить специализированные вычислительные устройства для использования в различных областях науки и техники, в том числе для реализации таких функций, как сбор, обработка и передача данных, отображение информации и т.д.

Низковольтный девятиразрядный ЖКИ для микрокалькуляторов. Отличительной особенностью микрокалькуляторов на ЖКИ является их малое потребление мощности порядка нескольких микроватт, что позволяет (при равных функциональных возможностях) создавать микрокалькуляторы меньших размеров с большим сроком работы на одном комплекте источников автономного питания. Однако применяемые до настоящего времени ЖКИ (с амплитудой управляющего напряжения до 6 В и выше) предполагают использование дополнительных преобразователей напряжения, что в свою очередь приводит к нежелательному увеличению размеров микрокалькуляторов и уменьшению времени их автономной работы. Поэтому одним из основных требований при разработке микрокалькулятора с низкороговым БИС является создание низковольтного высокоинформативного ЖКИ. Согласование количества выводов БИС с требуемой информативностью и низковольтностью ЖКИ определили количество мультиплексных шин, равное 3, и величину порогового напряжения, равное 1,2 В.

Для работоспособности в интервале температур от 0 до +40°C коэффициент четкости порогового напряжения ЖКИ согласно вышеприведенным расчетам должен быть не хуже 1,30–1,34 при соответствующем коэффициенте температурного дрейфа 6–8 мВ/°С. Для достижения таких характеристик были применены ориентирующие слои, выполненные методом механического натирания неорганических веществ ( $\text{SiO}_2$ ), и жидкокристаллические материалы на основе 4-алкил (алкокси) – 4' – цианобифенилов. Натирание  $\text{SiO}_2$  позволило получить углы наклона молекул жидких кристаллов к поверхности электродных пластин, не превышающими 2–5°, что в совокупности с примененным жидкокристаллическим веществом дало

возможность реализовать коэффициент температурного дрейфа, равным 6 мВ/°С и коэффициент четкости порогового напряжения на уровне 1,34.

Разработанный ЖКИ работоспособен в температурном диапазоне от 0 до +40°C в мультиплексном режиме  $V: 3V$  со скважностью 3. Амплитуда напряжения на включенном сегменте составляет 2,6–3,2 В, на выключенном от –0,86 до 1,06 В.

Контраст знака по отношению к фону не менее 83,3%. Измерения проводились в наиболее жестких условиях, что выражалось в минимальном эффективном значении напряжения, при котором может эксплуатироваться индикатор.

#### Техническая характеристика

Потребляемый ток индикатора, мкА .....	не более 2
Время реакции и релаксации, мс	
при $T = 25^\circ\text{C}$ .....	не более 350
при $T = 1^\circ\text{C}$ .....	не более 700

Испытания данного индикатора показали, что имеется достаточный запас по измеряемым параметрам.

Описанный ЖКИ полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к микрокалькулятору для инженерных расчетов БЗ-38.

Многострочный буквенно-цифровой индикатор. Создание универсального индикаторного буквенно-цифрового устройства с унифицированными каналами управления стало возможным с введением микропроцессорного управления.

Принцип микропроцессорного управления индикаторами предполагает введение в состав модуля полного комплекта схем, обеспечивающих память, формирование всех сигналов регенерации изображения, адресацию положения каждого элемента в знакоместе и каждого знакоместа в отдельности, унифицированную связь с шинами микропроцессора [5]. Это устраняет необходимость непрерывной передачи данных на индикатор. Данные в модуль вводятся командными программами с микропроцессора в те моменты, когда необходимо сменить символ или все изображение на индикаторе.

Информационный модуль независимо от микропроцессора производит хранение и отображение информации, формируя для этого весь набор необходимых управляющих сигналов. Основным требованием, которому должна отвечать конструкция такого модуля, является обеспечение оптимальных характеристик восприятия всего объема отображаемой информации при минимальных схемотехнических затратах.

Для информационного устройства отображения разработан 64-знакоместный четырехстрочный буквенно-цифровой ЖК-индикатор. Выбор 16-сегментной структуры знакоместа в индикаторе произведен исходя из требований многострочно-

OldPC.su

...

музей компьютеров

сти при работоспособности индикатора в диапазоне рабочих температур 5–40°С.

#### Параметры индикатора

Контраст знака по отношению к фону, % ..... не менее 83,3  
 Коэффициент четкости порогового напряжения ..... 1,44  
 Пороговое напряжение, В ..... 1,2

Использование принципа межэлектродного соединения по двум одноименным знакоместам соседних строк при одновременном разделении каждого знакоместа на две части позволило создать четырехстрочный индикатор с двумя независимыми структурами. Каждая структура включает в себя две строки по 16 знакомест в каждой. Число адресных шин в структуре равно 4. Управление структурами независимое.

Для управления элементами индикатора используется трехуровневый способ задания режима, позволяющий создать наиболее оптимальный режим  $V:3V$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Turner L. Which data-terminal display: plasma panel or CRT? — Electronics, 1977, vol. 50, N 4, p. 91–96.
2. Smith P. Multiplexing liquid-crystal displays. — Electronics, 1978, vol. 51, N 11, p. 113–121.
3. Bigelow J.E., Kashnow R.A., Atein C.R. Contrast optimization in matrix-addressed liquid-crystal displays. — IEEE Trans. Electron. Devices, 1975, vol. ED-22, p. 22–24.
4. Robusto P.F., Lipton L.T. Multiplexing and contrast ratio optimization for matrix addressed liquid-crystal displays. — IEEE Trans. Electron. Devices, 1976, vol. ED-23, N 12, p. 1344–1345.
5. Ваида Ф., Чакань А. Микро-ЭВМ. Пер. с венг. — М.: Энергия, 1980.
6. Davies D., Fisher W., Force G., Harrison K., Lu S. Practical liquid-crystal display forms forty characters. — Electronics, 1980, vol. 53, N 1, p. 151–156.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.383.932:532.783

С.И.Вещер, Б.С.Прозоровский,  
В.Л.Троицкий

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ДЛЯ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ

Жидкокристаллические индикаторы на твист-эффекте предназначены для отображения информации в виде цифр и вспомогательных символов в микрокалькуляторах. Цвет цифр и символов — черный на сером или зеленом фоне (в зависимости от цвета пропускающего поляроида). Индикаторы отличаются высоким контрастом, малой потребляемой мощностью, невысоким управляющим напряжением, небольшими массой и габаритными

размерами. Используются в микрокалькуляторах различного назначения (см. таблицу).

#### Основные характеристики индикаторов, используемых в микрокалькуляторах

Наименование параметра индикатора	Микрокалькулятор						
	"Электроника Б1-30" (для арифметических расчетов)	"Электроника Б1-38" и "Елс-18" (для инженерных расчетов)	"Электроника МК-53" и "Елс-53" (с часами, календарем, будильником, секундомером)	"Елс-58" (для арифметических расчетов, с памятью)	"Электроника МК-51" (для инженерных расчетов)	"Электроника Б1-39" (для арифметических расчетов)	"Электроника МК-60" (для арифметических расчетов, с памятью, на солнечных элементах питания)
Число цифровых разрядов	8	9	8	9	9	8	8
Число символов	3	9	16 15 (Елс-58)	3	8	3	3
Высота воспроизводимой цифры, мм	5	4,5	5	4,5	6	5	5
Управляющее напряжение (номинальное), В	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,5	3,0
Ток потребления при $U_{ном}$ и $F = 120$ Гц (не более), мкА	8	5	5	5	8	8	3
Масса индикатора (не более), г	9	4,5	5	5	11	9	8
Контраст при $U_{ном}$ (не менее), %	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5
Время реакции при $U_{ном}$ , мс	350	350	350	350	350	350	200
Время релаксации при $U_{ном}$ , мс	350	350	350	350	350	350	250
Габаритные размеры, мм	57,24×3,2	40×18×2,5	40×18×2,5	40×18×2,5	60,22×3,2	57×24×3,2	56×18×2,9
Контактные выводы							
число	27	30	30	30	30	27	27
шаг, мм	2,0	1,2	1,25	1,25	1,7	2,0	1,5
ширина, мм	1,5	0,64	0,65	0,65	1,0	1,5	1,0

Частота управляющего напряжения для всех индикаторов — 60 кГц (минимальная) и 180 кГц (максимальная), степень мультиплексирования — 1:3.

Статья поступила 9 марта 1982 г.

УДК 621.383.932:532.783

Ю.П.Бобылев, С.В.Петеримов,  
С.А.Тагер, В.М.Шошин

## ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАТРИЧНЫМ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ИНДИКАТОРОМ

Метод управления жидкокристаллическими матричными индикаторами, основанный на одновременной подаче сигнала на все электроды индикатора, лег в основу создания индикатора с числом элементов 128×128 и временем смены информации 0,5 с.

При отображении информации на матричном экране осциллографа одной однозначной кривой возможен упрощенный режим управления индикатором без сканирования (параллельная адресация) с помощью последовательных периодически повторяющихся импульсных кодовых сигналов. В этом случае каждой строке матричного индикатора соот-

ветствует определенный кодовый управляющий сигнал, а порядок сигналов, подаваемых на столбцы матрицы, задается видом отображаемой кривой (см. рисунок). Время записи кадра равно времени реакции электрооптического материала, а число строк матрицы определяется только видом управляющих сигналов и может быть произвольно большим.

Индикатор работает в инверсном режиме — на индицируемых элементах разностное напряжение равно нулю и рабочее вещество не возбуждено, а фоновые элементы, находящиеся на пересечении строки и столбца с разными кодами, возбуждены. Чтобы эффективное разностное напряжение для всех фоновых элементов было одинаково и фон был возбужден однородно, кодовые сигналы представляют собой линейно-независимые изогональные многомерные векторы [ 1, 2]. Все коды изогонального кодового набора могут быть получены последовательным сдвигом базисного кода. Эффективное разностное напряжение на фоновых элементах максимально по отношению к амплитудному.

Параллельное управление матричным индикатором можно обобщить на случай адресации в столбце нескольких точек, т.е. отображения нескольких однозначных кривых. При таком способе управления, похожем на матричное сканирование, эффективное напряжение на выбранных элементах не равно нулю и меньше порогового напряжения электрооптического эффекта. Напряжение на фоновых элементах равно напряжению насыщения эффекта. Число отображаемых кривых  $K$  определяется кру-

тизной  $p = \frac{U_{нас}}{U_{пор}} - 1$  вольтконтрастной характеристики (ВКХ)

$$K = \frac{(p + 1)^2 + 1}{(p + 1)^2 - 1} .$$

В этом случае на строки матрицы постоянно подаются все коды данного кодового набора, а на столбцы в течение кадра подаются информационные сигналы, сформированные из  $K$  кодов, необходимых для адресации данных  $K$  точек в столбце.

Возможно параллельное управление матричным экраном, при котором прибор работает не в инверсном, как обычно, а в прямом режиме: на индицируемых элементах разностное напряжение близко к напряжению насыщения электрооптического эффекта, а на фоновых элементах оно меньше порогового и фоновые элементы не возбуждены. Для реализации этого режима информационные сигналы, подаваемые на столбцы, должны быть сформированы из кодов, инвертированных относительно исходного кодового набора, подаваемого на строки. При отображении  $K$  точек в столбце (или  $K$  кривых на экране) напряжение на выбранных

элементах в прямом режиме управления

$$U_{в} = U_{max} \sqrt{(K + 3)/4K} ,$$

а на фоновых элементах

$$U_{ф} = U_{max} \sqrt{(K + 1)/4K} .$$

Необходимая для прямого управления крутизна ВКХ связана с числом отображаемых кривых  $K$  следующей зависимостью:

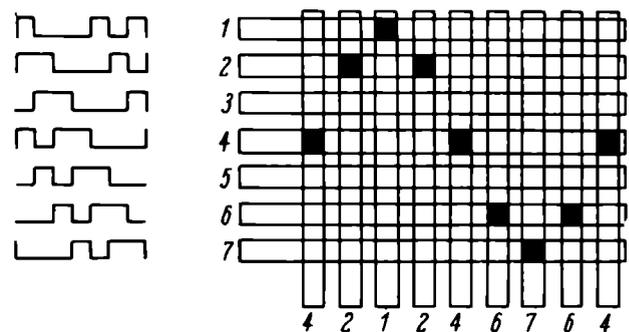
$$p = \sqrt{\frac{3 + K}{1 + K}} - 1 .$$

Значения крутизны ВКХ жидкого кристалла, необходимой для отображения различного числа кривых на экране, приведены в таблице.

Число отображаемых кривых, $K$	Крутизна ВКХ, $p$	
	в инверсном режиме	в прямом режиме
1	—	0,414
2	0,732	0,291
3	0,414	0,225
4	0,291	0,182
5	0,225	0,152

На основе описанного способа управления изготвлен осциллографический экран на твист-эффекте с размером рабочего поля  $80 \times 80$  мм, числом элементов  $128 \times 128$ . В качестве жидкокристаллической композиции использована смесь веществ из класса цианбифенилов. Толщина слоя жидкого кристалла — 10 мкм. Планарная ориентация молекул на подложках задавалась путем нанесения на поверхность электродов органического полимерного покрытия с последующим натиранием. На индикаторе отображаются две кривые при управляющем напряжении 9 В. Время смены информации составляет 0,5 с.

Поступающая для отображения аналоговая информация преобразуется с помощью АЦП в совокупность двоичных сигналов цифровых координат точек на экране. Под воздействием этих сигналов генератор изогонального кода вырабатывает электрические сигналы кода, распределяемые далее с помощью распределителей по строкам и столбцам матрицы.



Параллельное управление матричным индикатором

Предлагаемый способ управления матричными индикаторами позволяет использовать для отображения графической информации любой электрооптический эффект в жидких кристаллах. Достижимые при этом параметры дисплея практически не хуже, чем для мозаичных (не мультиплексированных) индикаторов, что невозможно при других способах управления матричными экранами.

На основе графического жидкокристаллического дисплея создан плоский портативный осциллограф, который можно использовать в качестве измерительного прибора высокой точности, поскольку отображаемая информация представляется в дискретном виде и степень дискретности (разрешение) определяет класс точности. Благодаря низким управляющим напряжениям матричный экран на жидких кристаллах для графического дисплея полностью совместим с интегральными схемами и с автономными источниками питания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shanks I.A., Holland P.A. Addressing methods for non-multiplexed liquid crystal oscilloscope. — SID-79 Digest, p. 112—113.
2. Холл М. Комбинаторика. — М.: Мир, 1970.

Статья поступила 29 января 1982 г.

УДК 532.783.004

М.Ф.Гребенкин, В.А.Козунов

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНДИКАТОРОВ НА ТВИСТ-ЭФФЕКТЕ

**В создании жидкокристаллических индикаторных устройств наилучших результатов удалось достичь при комплексном подходе с учетом определенных свойств жидкокристаллических материалов и технологических параметров твист-ячеек.**

В последние годы твист-эффект в нематических жидких кристаллах [1—3] нашел широкое применение в индикаторной технике [4]. Быстро растет выпуск жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) для электронных часов и микрокалькуляторов, для различной радио- и измерительной аппаратуры, электронных переводчиков, приборных щитков автомобилей, расходомеров бензоколонок, дисплеев микро-ЭВМ и т.п. Основными достоинствами ЖКИ на твист-эффекте являются чрезвычайно малая потребляемая мощность ( $\approx 1$  мкВт/см<sup>2</sup>), низкие управляющие напряжения (1,5—10 В), хороший контраст при высоком уровне внешней засветки, совместимость с интегральными схемами управления,

причем ЖКИ на твист-эффекте являются в настоящее время, по-видимому, единственными индикаторами, удовлетворяющими требованиям совместимости с БИС.

В производстве жидкокристаллических материалов (ЖКМ) для твист-эффекта используются жидкокристаллические вещества (ЖКВ) различных химических классов — основания Шиффа, азоксисоединения, сложные эфиры, бифенилы, фенилциклогексаны и др., которые обеспечивают разнообразие физико-химических свойств ЖКМ и возможность оптимизации их характеристик.

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые ЖКМ с улучшенными характеристиками. При этом отчетливо прослеживается несколько основных направлений, по которым ведутся разработки: расширение интервала рабочих температур, снижение вязкости ЖКМ (особенно в области низких температур), снижение управляющих напряжений и улучшение мультиплексных характеристик ЖКМ. Решение этих проблем обеспечивается как синтезом новых ЖКВ, так и разработкой композиций ЖКВ из уже известных классов. Одновременно существенного улучшения характеристик ЖКИ добиваются за счет технологических решений (конструкция, технология изготовления).

В данном обзоре в основном рассмотрены вопросы, касающиеся разработки жидкокристаллических материалов для твист-эффекта (за исключением ЖКМ с низкочастотной инверсией знака диэлектрической анизотропии) и некоторые требования к конструкции индикатора. При этом следует иметь в виду, что современный жидкокристаллический материал представляет собой сложную композицию ЖКВ и специальных добавок, не обладающих жидкокристаллическими свойствами, которая обеспечивает совокупность определенных физико-химических параметров [3], заданную конкретными условиями применения.

Расширение интервала рабочих температур. Под интервалом рабочих температур следует понимать тот диапазон, внутри которого сохраняются в каждом конкретном случае определенные физико-химические параметры ЖКМ. Такой интервал меньше нематического интервала, хотя может быть и весьма близок к последнему. Рассмотрим возможность расширения собственно нематического интервала как предельный случай для интервала рабочих температур.

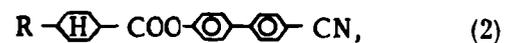
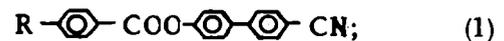
Температурный интервал существования нематической мезофазы для большинства используемых в настоящее время ЖКМ лежит в пределах от  $-10$  до  $+70^\circ\text{C}$  [5—7]. В то же время применение ЖКИ в новых устройствах, работающих в полевых условиях, например, в автономных полевых измерительных приборах, в приборных щитках автомобилей, в расходомерах бензоколонок и т.п., требует существенного расширения интервала рабочих температур как в сторону более низких (до  $-40^\circ\text{C}$ ), так и в сторону более высоких (до  $100^\circ\text{C}$ ) температур.

Температуру плавления ЖКМ снижают за счет использования в многокомпонентной смеси (число компонентов — четыре, пять и более) низкоплавких веществ с заметной различающимися значениями энthalпии плавления. В случае эвтектической смеси может наблюдаться значительная депрессия точки плавления [8]. Для расчета эвтектик в ряде случаев (например, для цианобифенилов) удается использовать уравнение Шредера-Ван-Лаара [9]. Успешно применяется при поиске эвтектик симплексный метод планирования эксперимента [8].

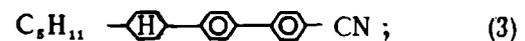
Однако составление многокомпонентных жидкокристаллических смесей эвтектического состава остается трудной экспериментальной задачей. Осложняется она еще и тем, что многокомпонентные смеси часто оказываются склонными к переохлаждению (т.е. сохраняют нематическую мезофазу при охлаждении даже ниже точки плавления), а при дальнейшем снижении температуры переходят в стеклообразное состояние. Вместе с тем, именно это обстоятельство позволяет использовать многие ЖКМ для работы и при отрицательных температурах — иногда даже до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Для многих новых ЖКМ не приводится точное значение точки плавления ( $T_{\text{пл}}$ ), а указывается, например, что температура перехода в нематическую фазу лежит ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Необходимо, однако, учитывать, что при составлении смесей существенным становится не просто снижение  $T_{\text{пл}}$ , а получение ЖКМ с возможно более низким значением вязкости при отрицательных температурах и с удовлетворительными величинами других параметров. Вопросы снижения вязкости ЖКМ будут рассмотрены ниже. Отметим, что использование так называемых изотропных добавок (немезоморфных соединений, например, тетрадекана, нитрила циклогексанкарбоновой кислоты, некоторых соединений ряда бифенилов и др. [10,11]) для снижения  $T_{\text{пл}}$  часто оказывается неоправданным из-за одновременного существенного снижения температуры прояснения ЖКМ.

Температура прояснения смеси гораздо проще поддается оценке, исходя из величин  $T_{\text{пр}}$  компонентов, — на основании правила аддитивности [8]. Повышение температуры прояснения ЖКМ достигается выбором взятых за основу смеси жидкокристаллических веществ с высокими значениями  $T_{\text{пр}}$  и/или введением в выбранную смесь малых (по концентрации) добавок ЖКВ с высоким (более  $100-200^{\circ}\text{C}$ ) значением  $T_{\text{пр}}$ , эффективно повышающих температуру прояснения смеси и мало изменяющих другие ее свойства. Выбор того или иного подхода зависит от конкретных обстоятельств. Например, в случае цианобифенилов алкоксипроизводные обладают достаточно высокими температурами прояснения ( $60-70^{\circ}\text{C}$ ), так что и смеси на их основе будут иметь соответствующие температуры прояснения [6]. Однако алкоксипроизводные цианобифенилов имеют большую вязкость, чем алкилпроизводные [12], что снижает быстродействие

электрооптических устройств. Поэтому оказывается предпочтительней брать за основу смесь алкилпроизводных цианобифенилов, хотя у них температура прояснения заметно ниже [6], и легировать ее добавками ЖКВ с высокой температурой прояснения [7, 13]. Следовательно, общая тенденция такова, что за основу берут маловязкие смеси ЖКВ даже с невысокими  $T_{\text{пр}}$  и путем введения небольших добавок ЖКВ с высокими значениями  $T_{\text{пр}}$  добиваются нужного значения температуры прояснения ЖКМ. В настоящее время ассортимент добавок, используемых для повышения  $T_{\text{пр}}$ , достаточно велик. Так, применяются 4-циано-4'-н-алкил-п-терфенилы, а также соединения типа (1) и (2):



для которых, например, при  $\text{R} = \text{C}_7\text{H}_{11}$  интервалы нематической фазы составляют соответственно  $107-239$  и  $85-241^{\circ}\text{C}$  [6]. Разработаны также добавки [7], имеющие соответственно структурные формулы (3) и (4):



В качестве добавок стараются выбирать вещества, которые эффективно повышают точку прояснения смеси, хорошо в ней растворяются и мало изменяют ее вязкость.

Таким образом, расширение интервала рабочих температур обеспечивается снижением температуры плавления (за счет использования многокомпонентных смесей низкоплавких ЖКВ с учетом их склонности к переохлаждению) и повышением температуры прояснения (за счет эффективного использования в качестве добавок ЖКВ с высокими значениями  $T_{\text{пр}}$ ).

**Снижение вязкости ЖКМ.** Вязкость является одной из важнейших характеристик ЖКМ, поскольку наряду с некоторыми другими параметрами определяет быстродействие электрооптических устройств [2, 3]. Времена переключения  $\tau$  пропорциональны отношению  $\eta/K$ , где  $\eta$  — эффективный коэффициент вязкости, а  $K$  — эффективная константа упругости. Однако, пока точно не известна та комбинация коэффициентов вязкости, определяемых по Лесли [2, 14] или по Гевиллеру [2, 15], которая строго описывает процессы переключения твист-эффекта. При напряжениях, близких к порогу перехода Фредерикса, определяющую роль должен играть коэффициент вязкости [2, 16], однако экспериментальных данных по определению именно этого коэффициента в ЖКМ крайне мало. На практике чаще всего определяют некий объем-

ный коэффициент вязкости  $\eta$  при течении жидкого кристалла по капилляру. При определенных условиях он близок к коэффициенту по Гевиллеру [17]. Экспериментально установлена хорошая корреляция времен срабатывания твист-эффекта со значением  $\eta$  [10, 12], что оправдывает сравнительный анализ разных ЖКМ по этому параметру применительно к быстродействию. Здесь важно отметить, что, исходя из общих физических соображений, сравнение коэффициентов вязкости для разных веществ следует проводить при одинаковой абсолютной температуре, причем вблизи точки прояснения необходимо учитывать возможное влияние степени упорядоченности жидкого кристалла на значение  $\eta$ .

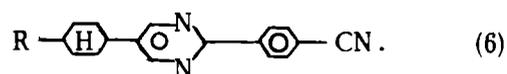
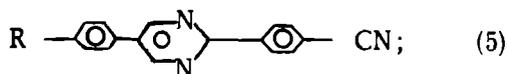
Анализ экспериментальных данных по вязкости различных ЖКВ и ЖКМ позволяет выявить следующие особенности.

Во-первых, для веществ из разных классов в целом наблюдаются различные значения эффективной вязкости. Так, например, вязкость увеличивается в ряду: алкилцианобифенилы (22 сП), цианопиримидины (33 сП), цианофениловые эфиры алкилциклогексанкарбоновых кислот (34 сП), цианопроизводные оснований Шиффа (48, 5 сП), цианофениловые эфиры алкилбензойных кислот (54 сП), алкоксицианобифенилы (58 сП). Значения коэффициентов вязкости  $\eta$  получены при 30°C, для смесей 40 и 60 мол. % амил- и гептил-аналогов [18].

Во-вторых, вязкость ЖКВ с алкильными заместителями обычно ниже вязкости аналогичных веществ с алкокси-заместителями [12].

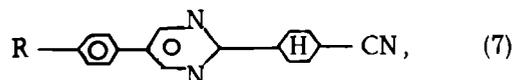
В-третьих, в гомологическом ряду веществ одного класса члены с меньшей длиной алкильной цепи имеют меньшее значение вязкости, как это установлено для алкилцианобифенилов [12]. Та же закономерность наблюдается и для цианопроизводных фенилциклогексанов с учетом чет-нечетной альтерации [19].

В-четвертых, замена в определенном классе соединений одного бензольного кольца на циклогексановое обычно приводит к общему снижению вязкости. Такая закономерность наблюдается на примере следующих пар соединений: алкилцианопроизводные бифенилов и фенилциклогексанов [19], цианофениловые эфиры алкилбензойных и алкилциклогексанкарбоновых кислот [18]. Она оказывается справедливой и для трехкольчатых соединений, в частности для производных пиримидина [20] — соединений (5) и (6):



Интересно отметить, что гидрирование кольца, смежного с циано-группой, чаще сопровождается не уменьшением, а увеличением вязкости, например, при переходе от соединений типа (5) к веще-

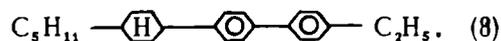
ствам типа (7) [20]:



а также в случае полностью гидрированных аналогов цианобифенилов (т.е. цианоциклогексилциклогексанов) [7, 19].

На вязкость ЖКМ определенное влияние оказывают различные добавки, применяемые для тех или иных целей. Существуют специально разработанные добавки, предназначенные для снижения вязкости ЖКМ. Например, алкилалкоксипроизводные бифенилов, не являющиеся мезоморфными веществами, эффективно снижают вязкость ЖКМ, состоящих из сложных эфиров. Наименьшими значениями вязкости обладают гидрированные аналоги вышеуказанных соединений, например, экстраполированное значение вязкости для 4-транс-(4-пропил)циклогексил-этилбензола равно всего 4 сСт при 20°C [11]. Вместе с тем, все такие добавки одновременно существенно снижают температуру прояснения ЖКМ, что несколько ограничивает их применение.

Рассмотренные в предыдущем разделе добавки, используемые для повышения температуры прояснения ЖКМ, обычно одновременно увеличивают и вязкость смеси, поскольку молекулы этих веществ содержат три или четыре бензольных и/или циклогексановых кольца, а трехкольчатые (и тем более четырехкольчатые) соединения более вязкие, чем двухкольчатые. Однако среди них известны и такие вещества, которые практически не меняют вязкость основной смеси или даже снижают ее, как, например, соединение со структурной формулой (8) [11]:



При рассмотрении влияния вязкости ЖКМ на их быстродействие в электрооптических устройствах необходимо учитывать также сильную зависимость вязкости от температуры, которая определяется величиной энергии активации  $A(\eta = C \cdot \exp A/K T)$ . Для ЖКМ, обладающих меньшим значением энергии активации, наблюдается и меньшая температурная зависимость вязкости и, как следствие, — меньшая температурная зависимость времен переключения. Это оказывается особенно существенным при необходимости работать в области низких температур, где преимущество получают ЖКМ с меньшими значениями  $A$  даже по сравнению с ЖКМ, обладающими меньшей вязкостью при комнатной температуре, но большим значением энергии активации. При снижении температуры первые ЖКМ за счет меньшей температурной зависимости обеспечивают лучшее быстродействие. К сожалению, данных по энергиям активации для ЖКМ из разных классов пока недостаточно. В работе [18] на примере смесей амил- и гептил-аналогов (40 и

60 мол.% соответственно) разных химических классов ЖКВ показано, что энергия активации для объемной (bulk) вязкости увеличивается в ряду: цианопроизводные фенилпиримидинов ( $A = 0,376eV$ ), цианофениловые эфиры алкилциклогексанкарбоновых кислот (0,387), алкилцианобифенилы (0,407), цианопроизводные оснований Шиффа (0,463), алкоксицианобифенилы (0,477), цианофениловые эфиры алкилбензойных кислот (0,489). Цианопроизводные алкилфенилциклогексанов помимо меньших абсолютных значений вязкости по сравнению с цианобифенилами имеют и меньшие значения энергии активации, что делает эти вещества весьма перспективными для практического применения.

Таким образом, с целью снижения вязкости ЖКМ следует использовать смеси ЖКВ из классов, обладающих меньшими значениями вязкости, уменьшая при этом содержание алкоксипроизводных в смеси в пользу алкилпроизводных и отдавая предпочтение членам гомологического ряда с возможно более короткими алкильными цепями. Необходимо учитывать также, что ЖКВ, содержащие циклогексановые кольца (взамен бензольных), обладают меньшими значениями как вязкости, так и энергии активации. Кроме того, следует активизировать поиск новых ЖКВ в ряду гетероциклических соединений и среди гидрированных аналогов известных ЖКВ с целью получения веществ с возможно более низкими значениями  $\eta$  и  $A$ .

**Снижение рабочих напряжений.** Постановка этой проблемы обусловлена необходимостью совмещения ЖКИ с управляющими схемами на современных БИС, а также обеспечения функционирования ЖКИ (особенно для часов и микрокалькуляторов) от одного элемента без использования преобразователей напряжения или от солнечных батарей небольшого размера. Значения порогового ( $U_{\text{п}}$ ) и рабочего ( $U_{\text{раб}}$ ) напряжений твист-эффекта зависят как от

свойств самого ЖКМ, так и от метода измерений (угол падения луча света, угол наблюдения, уровень отсчета сигнала и т.д.) и конструкции электрооптической ячейки (толщина слоя ЖКМ, ориентация ЖКМ на электродах). Различные условия измерений затрудняют сравнение величин  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$ .

Для того, чтобы пороговое и рабочее напряжения характеризовали жидкокристаллический материал, следует, по-видимому, использовать нормальное падение света на ячейку и регистрировать прошедший свет также по нормали к плоскости ячейки. Ориентация ЖКМ на электродах должна быть такой, чтобы угол наклона директора к плоскости электрода был близок к нулю, а толщину слоя ЖКМ следует выбирать из условий практического применения. При этом величина  $U_{\text{п}}$  определяется как напряжение, при котором пропускание ячейки изменяется на 10% от исходного ( $U = 0$ ), а  $U_{\text{раб}}$  — как напряжение, при котором пропускание меня-

ется на 90% (выходит на насыщение).

Пороговое напряжение обычно составляет 1,4–2,0 В, тогда как требуется снизить его до 1,0 В при одновременном уменьшении  $U_{\text{раб}}$  до 1,4–1,5 В.

Исходя из того, что  $U_{\text{п}} \sim (K/\Delta\epsilon)^{1/2}$ , наиболее естественным путем снижения  $U_{\text{п}}$  является увеличение значения диэлектрической анизотропии ( $\Delta\epsilon$ ) для ЖКМ. К снижению  $U_{\text{п}}$  ведет также и уменьшение константы упругости ( $K$ ) материалов. Так, в работе [10] приведены добавки, снижающие пороговое напряжение, по-видимому, именно за счет снижения константы упругости.

В гомологических рядах цианопроизводных ЖКВ наблюдается отчетливая закономерность: чем короче алкильная цепь, тем больше  $\Delta\epsilon$  и меньше  $U_{\text{п}}$ . Это показано, например, для алкил- и алкоксицианобифенилов [6, 21] и цианофенилциклогексанов [19], причем обнаружено, что четные гомологи имеют меньшие значения  $U_{\text{п}}$ , чем нечетные. С

использованием этих тенденций удалось разработать низковольтные ЖКМ с величинами  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$  равными соответственно 1,16 и 1,50 В [6, 21].

Для ЖКВ из разных химических классов большие значения  $\Delta\epsilon$  (и, следовательно, — меньшие значения  $U_{\text{п}}$ ) наблюдаются для веществ с большим продольным (вдоль длинной оси молекулы) дипольным моментом и меньшим поперечным. Это условие обеспечивается выбором соответствующей структурной формы молекулы жидкого кристалла — в виде жесткой основы с полярными концевыми заместителями. Так, в случае цианопроизводных фенилпиримидинов дипольный момент пиримидинового кольца складывается с дипольным моментом цианогруппы и оба они направлены вдоль длинной оси молекулы, что приводит к высокому значению  $\Delta\epsilon$ . Использование в смесях ЖКВ с большой диэлектрической анизотропией (алкилцианобифенилпиримидины, цианофениловые эфиры алкилбензойных кислот) обеспечило разработку серии низковольтных ЖКМ [5].

Таким образом, для снижения рабочих напряжений твист-эффекта требуется разработка новых ЖКМ с возможно большими значениями  $\Delta\epsilon$ , при этом необходимо комплексное решение проблемы с учетом и других свойств ЖКМ (вязкости, нематического интервала и др.).

**Расширение мультиплексных возможностей ЖКМ.** Если первые индикаторы на твист-эффекте для наручных электронных часов имели мозаичную схему питания, то уже в ЖКИ для микрокалькуляторов нашла применение матричная схема управления с мультиплексным отношением 1:3 — 1:4 (мультиплексное отношение характеризует число сканируемых строк в матрице) [2]. Необходимость

дальнейшего расширения информативной емкости индикаторных устройств потребовало создания матриц на твист-эффекте с мультиплексным отношением 1:7 — 1:10 (индикаторы микрокалькуляторов и электронных переводчиков) и даже 1:16 (многофункциональные индикаторные панели, например, выходные дисплеи микро-ЭВМ и т.п.) [21, 22]. Ведутся экспериментальные проработки телевизионных экранов на твист-эффекте с мультиплексным отношением 1:60 [23].

Мультиплексные возможности электрооптического эффекта определяются главным образом формой вольтконтрастной характеристики. Подробно этот вопрос рассмотрен в работе [24], в которой показано, что максимальное число сканируемых строк  $N_{\max}$  связано с параметром крутизны  $p = (U_{\text{раб}} - U_{\text{п}}) / U_{\text{п}}$  следующим соотношением:  $N_{\max} = \{ [(1+p)^2 + 1] / [(1+p)^2 - 1] \}^2$ , т.е. чем меньше величина  $p$  (чем круче вольтконтрастная кривая), тем с большим числом сканируемых строк без потери контраста можно построить матрицу. Крутизна вольтконтрастных характеристик твист-эффекта, вообще говоря, невелика и зависит как от физических параметров самого жидкого кристалла, так и от конструкции ячейки и условий ее наблюдения.

При использовании твист-эффекта в матричных устройствах с мультиплексным режимом питания приходится сталкиваться с тремя основными взаимосвязанными проблемами: выбор ЖКМ с оптимальными параметрами; учет температурного дрейфа  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$ ; расширение угла обзора индикаторного устройства. Угол обзора зависит от оптических свойств твист-ячейки в рабочем режиме; этот вопрос будет кратко рассмотрен в следующем разделе. Температурный дрейф порогового и рабочего напряжений твист-эффекта заметно ухудшает мультиплексные характеристики устройства. Решение этой проблемы заключается в поиске ЖКМ с наименьшими температурными зависимостями  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$ \*, а также в разработке специальных схем управления, в которых управляющие напряжения меняются в зависимости от окружающей температуры так, чтобы наилучшим образом соответствовать  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$  данного ЖКМ (схемы температурной компенсации [21, 26]). Рассмотрим вопрос оптимизации характеристик жидкокристаллического материала в предположении неизменной температуры и нормального угла падения и наблюдения твист-ячейки.

В работе [27] был проведен теоретический расчет вольтконтрастных характеристик твист-ячейки при нормальных углах падения света и на-

блюдения, причем угол наклона директора к плоскости подложек был принят равным  $0^\circ$ , толщина слоя жидкого кристалла выбиралась равной 14 мкм, а параметры жидкокристаллического материала, от которых зависит форма вольтконтрастной кривой, менялись в следующих пределах:  $0,5 < K_{33}/K_{11} \leq 3,5$ ;  $1,5 \leq K_{33}/K_{22} \leq 4,5$ ;  $0 < \Delta\epsilon/\epsilon_{\perp} < 4$ ;  $0,1 \leq \Delta n \leq 0,3$ . За основу при расчетах были выбраны типичные значения параметров:  $K_{33}/K_{11} = 1,5$ ;  $K_{33}/K_{22} = 2,5$ ;  $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp} = 2$ ;  $\Delta n = 0,2$  и  $n_o = 1,5$ ; здесь  $K_{11}$ ,  $K_{33}$  и  $K_{22}$  — константы упругости жидкого кристалла соответственно для деформации продольного и поперечного изгиба и кручения,  $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$  (где  $\epsilon_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\perp}$  — диэлектрические постоянные, измеренные вдоль направления преимущественной ориентации жидкого кристалла и перпендикулярно ему),  $\Delta n = n_e - n_o$  ( $n_o$  и  $n_e$  — показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей). Рассчитанное пропускание твист-ячейки строилось на графике в зависимости от величины приведенного напряжения  $U/U_F$ , где  $U_F$  — порог перехода Фредерикса [2]  $U_F^2 = 4\pi^2 [K_{11} + 1/4(K_{33} - 2K_{22})]$ , что делало удобным сравнение полученных результатов. Крутизна вольтконтрастной кривой увеличивается при уменьшении  $K_{33}/K_{11}$ ,  $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$  и/или  $\Delta n$  и при увеличении  $K_{33}/K_{22}$ , причем наиболее существенной является зависимость от отношений  $K_{33}/K_{11}$  и  $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ . Аналогичные теоретические результаты были получены также в работе [28], в которой рассматривались еще и угловые зависимости для вольтконтрастных кривых.

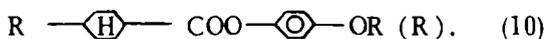
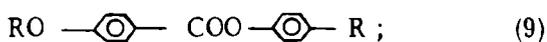
Теоретические выводы [27, 28] получили в дальнейшем экспериментальное подтверждение. Эти данные позволяют заключить, что для улучшения мультиплексных характеристик необходимо разрабатывать ЖКМ с малым отношением  $K_{33}/K_{11}$ , большим  $K_{33}/K_{22}$ , а величину отношения  $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$  следует выбирать не больше, чем это необходимо для выбранной схемы адресации (здесь ситуация противоречива: при уменьшении  $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$  улучшаются мультиплексные характеристики, но одновременно увеличиваются управляющие напряжения). Что же касается величины оптической анизотропии  $\Delta n$ , то известно, что оптические свойства твист-ячеек с равными значениями произведения  $d \cdot \Delta n$  приблизительно одинаковы, поэтому выбор величины  $\Delta n$  связан с толщиной слоя ЖКМ в индикаторном устройстве.

Экспериментальные данные по константам упругости жидкокристаллических материалов с  $\Delta\epsilon \gg 0$  пока немногочисленны [10, 18, 29]. В частности, найдено, что величина  $K_{33}/K_{11}$  для большинства материалов лежит в интервале 1,5—2,0. Вместе с тем, в работе [18] показано, что по сравнению с ЖКМ из других химических классов, наименьшее значение  $K_{33}/K_{11}$ , равное 1,07 при  $20^\circ\text{C}$ , имеют алкилпроизводные цианофенилпиримидинов. Это обстоятельство делает их весьма перспективными

\*В этом направлении представляется интересным недавнее сообщение [25] о создании так называемых компенсированных смесей, для которых величины температурного дрейфа пороговых напряжений практически равны нулю.

при разработке ЖКМ для устройств с мультиплексным режимом питания.

Поиск ЖКМ с наилучшими мультиплексными характеристиками велся также и экспериментальным путем, когда для разных материалов измерялись вольтконтрастные зависимости твист-эффекта, и полученные результаты анализировались с точки зрения проблемы мультиплексирования. Такой подход, осуществленный в работе [30], показал, что лучшими мультиплексными характеристиками обладают ЖКМ, представляющие собой смеси жидких кристаллов с  $\Delta\epsilon \gg 0$  и жидких кристаллов с  $\Delta\epsilon \leq 0$ . В качестве ЖКМ с  $\Delta\epsilon \gg 0$  используют цианопроизводные бифенилов, фенилциклогексанов, пиримидинов, сложных эфиров и т.п., а в качестве материалов с  $\Delta\epsilon \leq 0$  — смеси азоксисоединений [7], смеси различных сложных эфиров типа (9) и (10):



Примером такого решения может служить ЖКМ, предназначенный для твист-индикатора дисплея микро-ЭВМ с мультиплексным режимом питания 1:7 [21]. В его составе использованы п-амил-, п-гептил- и п-гексилокси-п'-цианобифенилы и п-амил-п'-цианотерфенил (20, 15, 10 и 10 масс.% соответственно) — ЖКВ с  $\Delta\epsilon \gg 0$ , а также п'-амилфениловые эфиры п-метокси- и п-гексилоксибензойных кислот (30 и 15 масс.% соответственно) — ЖКВ с  $\Delta\epsilon \leq 0$ . Для смесей такого типа величина отношения  $K_{33}/K_{11}$  оказывается порядка 1,0–1,3, т.е. меньше, чем для большинства ЖКМ с  $\Delta\epsilon \gg 0$ ; кроме того, отношение  $\Delta\epsilon/\epsilon_1$  сравнительно мало, что согласно расчетам, выполненным в работах [27, 28], должно объяснять лучшие мультиплексные характеристики.

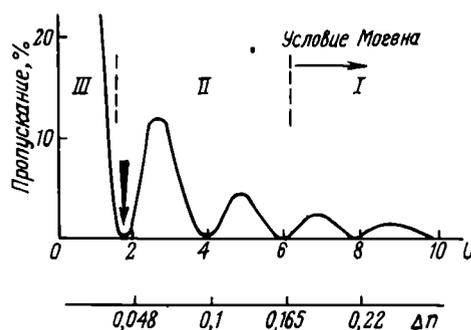
По принципу смешивания ЖКМ с  $\Delta\epsilon \gg 0$  и ЖКМ с  $\Delta\epsilon \leq 0$  составлено большинство коммерческих жидкокристаллических материалов, предназначенных для использования в твист-индикаторах с мультиплексным режимом питания. Такие смеси имеют несколько большие значения рабочих напряжений, чем лучшие смеси для статического (не мультиплексного) управления. Для облегчения точной подгонки величин  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$  к управляющим напряжениям конкретных схем питания разработаны двухкомпонентные (смешивающиеся друг с другом без ограничения) материалы, каждый из которых является готовым ЖКМ для мультиплексного режима питания, но с различными значениями  $U_{\text{п}}$  у обоих компонентов (от 1,4 до 2,0 В): смешивая их в определенной пропорции, можно варьировать  $U_{\text{п}}$  и  $U_{\text{раб}}$  [6, 7].

Таким образом, основным направлением при разработке ЖКМ с улучшенными мультиплексными характеристиками следует считать поиск ЖКМ (причем как из новых ЖКВ, так и новых смесей из

известных веществ), обладающих оптимальным набором физических параметров — возможно меньшие значения  $K_{33}/K_{11}$ , соответствующие величины  $\Delta\epsilon$ ,  $\Delta n$  и т.д.

О режиме работы твист-ячейки при малых значениях произведения  $d \cdot \Delta n$ . Уменьшение оптической анизотропии ( $\Delta n$ ) жидкокристаллического материала, как известно, приводит к улучшению оптических характеристик твист-ячейки: увеличиваются углы обзора [31] и крутизна вольтконтрастной кривой [27, 28]. Вместе с тем, существует объективный предел уменьшения  $\Delta n$ . Как уже отмечалось, оптические свойства твист-ячейки зависят не от самой величины  $\Delta n$ , а от произведения  $d \cdot \Delta n$ , где  $d$  — толщина слоя ЖКМ. Уменьшение  $\Delta n$  при фиксированной толщине, равно как снижение  $d$  при заданном значении  $\Delta n$ , или одновременное уменьшение  $d$  и  $\Delta n$ , приводит к нарушению работы твист-ячейки, так как проходящий через нее свет из линейно-поляризованного становится эллиптически-поляризованным. Это нарушение наступает, когда перестает удовлетворяться условие Могена [32]:  $d \cdot \Delta n \gg \lambda/2$ , где  $\lambda$  — длина волны падающего света. На практике снижение  $d$  и  $\Delta n$  приводит к появлению интерференционной окраски поля индикатора, что является, естественно, нежелательным. Оказалось, однако, что существует специальный режим работы твист-ячейки при малом значении произведения  $d \cdot \Delta n$ , который хотя и не удовлетворяет классическому соотношению Могена, тем не менее может не только обеспечить работоспособность индикаторного устройства при этих условиях, но и заметно улучшить его оптические характеристики.

В работе [33] было показано, что при уменьшении произведения  $d \cdot \Delta n$  пропускание твист-ячейки меняется так, как это представлено на рисунке. В зоне I, где выполняется условие Могена, наблюдается обычная (классическая) работа твист-ячейки; в зоне III твист-эффект невозможен, так как оптическая активность слоя жидкого кристалла отсутствует, а зоне II является промежуточной. Переход из зоны I в зону II ухудшает оптические свойства индикаторного устройства (появ-



Пропускание закрученной нематической структуры (твист-ячейки) в зависимости от параметра  $U = 2d \cdot \Delta n / \lambda$ ; поляроиды параллельны, напряжение на ячейке отсутствует. Нижняя шкала соответствует рассчитанным значениям  $\Delta n$  при  $d = 10$  мкм и  $\lambda = 550$  нм [34]

ление цветных областей, ухудшение контраста). Но, как видно из рисунка, хорошие условия работы твист-ячейки возможны в точке кривой, отмеченной стрелкой (первый минимум пропускания), в которой режим Могена нарушен, но при этом слой ЖКМ все же обладает оптической активностью. Для того, чтобы попасть в этот режим работы твист-ячейки, необходимо при заданной толщине ячейки подбирать ЖКМ с определенным значением  $\Delta n$ , и наоборот, для данного ЖКМ существует оптимальное значение толщины его слоя:

$$\Delta n \dots 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,2$$

$$d, \text{ мкм} \dots 9,39; 6,26; 4,69; 3,13; 2,35.$$

Заметим, что положение максимумов и минимумов на кривой пропускания (см. рисунок) зависит от длины волны падающего света. Однако при заданной толщине ячейки в первом минимуме эта зависимость незначительна, хотя и требует выполнения достаточно жестких условий по однородности ячейки по толщине.

Применение описанного режима позволяет значительно улучшить угловые характеристики индикаторных устройств на твист-эффекте, в том числе и при мультиплексном режиме питания [28, 34]. По-видимому, для работы можно в принципе использовать не только первый, но также второй и последующие минимумы на кривой пропускания (см. рисунок).

Полученные результаты показывают, что при толщинах ячейки 8—10 мкм необходимо использовать ЖКМ с  $\Delta n$  порядка 0,05. Однако другие важные параметры таких смесей (в частности,  $\Delta \epsilon$ ) обычно далеки от оптимальных. Уменьшение толщины слоя до 5—6 мкм позволяет использовать ЖКМ на основе алкилцианофенилциклогексанов [7], у которых  $\Delta n$  составляет величину порядка 0,13, с добавками ЖКВ, снижающих  $\Delta n$  до значений 0,075—0,09. Необходимо отметить, что изготовленные твист-индикаторы с толщиной слоя порядка 5—6 мкм, да еще с весьма жесткими требованиями к однородности зазора по площади индикатора, представляет собой достаточно сложную технологическую задачу. Однако преодоление этих трудностей оправдано выигрышем не только в оптических, но и во временных характеристиках, так как уменьшение толщины влечет за собой значительное снижение времен переключения твист-эффекта ( $\tau \sim d^{-2}$ , [2, 3]). Этот путь представляется перспективным и для решения проблемы удовлетворительной работы индикаторов при низких (от 0 до  $-30^\circ\text{C}$ ) температурах. В частности, при использовании маловязких ЖКМ на основе цианопроизводных алкилфенилциклогексанов можно достичь приемлемых значений времен отклика — порядка 1 с при температуре от  $-20$  до  $-30^\circ\text{C}$ .

Таким образом, правильный подбор ЖКМ с необходимым значением оптической анизотропии (и других параметров) и переход на более тонкие твист-ячейки должны в совокупности обеспечить значительное улучшение эксплуатационных харак-

теристик индикаторных устройств, работающих как в статическом режиме управления (особенно при низких температурах), так и при мультиплексных схемах адресации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Schadt M., Helfrich W. Voltage dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal. — *Appl. Phys. Lett.*, 1971, vol. 18, p. 127—128.
- Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. — М.: Наука, 1978.
- Жидкие кристаллы/Под ред. С.И.Жданова. — М.: Химия, 1979.
- Clark M.G., Harrison K.J., Raynes E.P. Liquid crystal materials and devices. — *Phys. Technol.*, 1980, vol. 11, N 6, p. 232—240.
- Рекламный проспект фирмы F. Hoffmann — La Roche and Co. Limited Company, Basle, Switzerland.
- Рекламный проспект фирмы BDH Chemical Ltd., England.
- Рекламный проспект фирмы Merck, E.Merck, Darmstadt, ФРГ.
- Ивашенко А.В., Титов В.В. О методах поиска эвтектик в поликомпонентных жидкокристаллических системах. — *Ж. физ. химии*, 1977, т. 51, № 7, с. 1581—1585.
- Hulme D.S., Raynes E.P., Harrison K.J. Eutectic mixtures of nematic 4'-substituted 4-cyanobiphenyls. — *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, 1974, vol. 98, p. 1549—1552.
- Schadt M., Müller F. Physical properties of new liquid crystal mixtures and electrooptical performance in twisted nematic displays. — *IEEE Trans. Electron Devices*, 1978, Ed-25, N 9, p. 1125—1137.
- Eidenschink R., Erdmann D., Krause J., Pohl L. Neue nematische Kohlenwasserstoffe geringer Polarität. — *Proceedings of 10 Freiburger Arbeitstagung Flüssig Kristalle*, March, 1980.
- Constant J., Raynes E.P. Flow aligned viscosities of cyanobiphenyls. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1980, vol. 62, N 1—2, p. 115—124.
- Raynes E.P., Tough R.J.A., Davies K.A. Voltage dependence of the capacitance of a twisted nematic liquid crystal layer. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst. Letters*, 1979, vol. 56, N 2, p. 63—68.
- Leslie F.M. Viscometry of nematic liquid crystals. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1981, vol. 63, p. 111—128.
- Gähwiler Ch. Direct determination of the five independent viscosity coefficients of nematic liquid crystals. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1973, vol. 20, p. 301—318.
- Ду Жень П. Физика жидких кристаллов. — М.: Мир, 1977.
- De Jeu W.H. Physical properties of liquid crystal-line materials in relation to their application. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1981, vol. 63, p. 83—110.
- Schadt M., Müller F. Class specific electric, viscous, optical and dielectric properties of some nematic liquid crystals and correlations with their performance in twisted nematic displays. — *Rev. Phys. Appl.*, 1979, vol. 14, p. 265—274.
- Weber G., Del Pino F., Pohl L. Struktur und Eigenschaften von Flüssigkristallinen Einzelsubstanzen und ihr Einfluß auf Eigenschaften Flüssigkristalliner Mischungen. — *Proceedings of 10 Freiburger Arbeitstagung Flüssigkristalle*, March, 1980.
- Villiger A., Boller A., Schadt M. Synthesis and mesomorphic properties of new liquid crystalline cyclohexyl-phenyl and dicyclohexylpyrimidines. — *Z. Naturforsch.*, 1979, B. 34, N II, S. 1535—1541.
- Odawara K., Ishibashi T., Toriyama K., Kohyama M., Sakurada H. Alphanumeric liquid-crystal display system for portable computer terminals. — *Proceeding of the S.J.D.*, 1978, vol. 19/2, second quarter, p. 55—61.
- Sasaki T. Liquid crystal display research in Japan. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1981, vol. 63, p. 281—306.
- Kaneke E., Kawakami H., Hamura H. Liquid crystal television display. — *Proceeding of the S.J.D.*, 1978, vol. 19/2, second quarter, p. 49—54.
- Alt P.M., Pleshko P. Scanning limitations of liquid crystal display. — *IEEE Trans. Electron. Devices.*, 1974, vol. ED-21, p. 146—155.
- Gerber P.R. Compensation of temperature dependence of the transmission characteristics of TN-LCDs. — *Phys. Lett.*, 1980, 78A, p. 285—288.

26. Hilsu m C., Holden R.J., Raynes E.P. Novel method of temperature compensation for multiplexed liquid crystal displays. — *Electronic Letters*, 1978, vol. 14, N 14, p. 430–432.

27. Ne hrin g J. Matrix-addressed liquid-crystal displays. *Advances in liquid crystal research and applications*, Ed. L. Bata, Pergamon Press, Oxford-Akademiai Kiado, Budapest. — 1980, p. 1155–1178.

28. Ba ur G. The influence of material and device parameters on the optical characteristics of liquid crystal displays. — *Mol. Cryst. and Liquid Cryst.*, 1981, vol. 63, p. 45–58.

29. Mira ldi E., Trossi L., Valabrega P.T., Oldano C. Generalized method for nematic-liquid-crystal viscoelastic-constant determination by quasi-elastic light scattering. — *Il Nuovo Cimento della Soc. Italiana di fisica*, 1980, vol. 60 B, N 2, p. 165–186.

30. Toriyama K., Suzuki K., Nakagomi T., Ishibashi T., Odawara K. A design of liquid crystal material for multiplexed liquid crystal displays. — *J. de Physique, Colloque C3*, 1979, vol. 40, p. C3–317.

31. Meyerhofer D. Optical transmission of liquid-crystal field-effect cells. — *J. Appl. Phys.*, 1977, vol. 48, p. 1179–1185.

32. Mauguin Ch. *Über Lehmanns flüssige Krystalle.* *Bull. Soc. Franc. Mineral.*, 1911, vol. 34, p. 71–117.

33. Gooch C.H., Tarry H.A. The optical properties of twisted nematic liquid crystal structures with twist angles  $< 90^\circ$ . — *J. Phys. D.: Appl. Phys.*, 1975, vol. 8, p. 1575–1584.

34. Pohl L., Weber G., Eidenschink R., Ba ur G., Fehrenbach W. Low- $\Delta n$ -Twisted nematic cell with improved optical properties. — *Appl. Phys. Lett.*, 1981, vol. 38, N 7, p. 497–499.

Статья поступила 5 февраля 1982 г.

УДК 532.783.004

В.И.Григос, В.А.Козунов, Е.С.Лукьянченко

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ НА ТВИСТ-ЭФФЕКТЕ

Для изготовления жидкокристаллических индикаторов с высоким качеством изображения, работающих на твист-эффекте, необходимо получать тонкие слои жидкокристаллического материала с однородной гомогенной ориентацией по всему полю индикатора. Наличие областей с направлением директора, отличающимся от заданного (жидкокристаллических доменов), приводит к ухудшению электрооптических характеристик ЖКИ и качества изображения. Дефекты изображения могут наблюдаться как без приложения напряжения (неоднородная ориентация, границы доменов закручивания), так и в работающем индикаторе (двойной край, участки с различным контрастом).

Цель данной работы — изучение зависимости качества изображения от условий создания ориентирующих слоев на основе полиимидных пленок и поливинилового спирта, широко используемых в технологии изготовления ЖКИ на твист-эффекте [1]. Исследования показали, что ориентация молекул жидкого кристалла на основе азоксисоединений и цианоэфиров сильно зависит от поверхности, на которую наносится ориентирующий слой. Неоднородная ориентация жидкого кристалла на стекле и проводящем окисле может привести к ухудшению изображения; при этом рисунок электродов четко

выделяется на мутном фоне без приложения напряжения. Использование методов электронной микроскопии и измерения краевого угла смачивания показали, что этот дефект связан с плохой адгезией ориентирующей пленки к стеклу и вследствие этого с ее частичным разрушением при натирке щетками. Однородная ориентация жидкого кристалла достигается либо увеличением толщины ориентирующего слоя при нанесении его из более концентрированных пленкообразующих растворов, либо использованием окиси кремния в качестве подслоя, улучшающего адгезию ориентирующего покрытия.

Домены закручивания в твист-структуре образуются в тех случаях, когда оба направления закручивания молекул нематического жидкого кристалла равновероятны. Они выглядят как участки с резкими границами (изменяющимися при механическом воздействии), видимые без приложения электрического поля. Для уменьшения вероятности их образования используют угол закручивания меньше  $90^\circ$  или вводят в нематическую смесь холестерическую добавку. Так, появления доменов закручивания не наблюдается, если индикаторы заполняют жидкокристаллической смесью, содержащей малые добавки (около 0,03–0,1 масс.%) холестерилноноата.

Появление на электродах участков с различным контрастом при приложении напряжения обусловлено отсутствием преобладающего наклона молекул жидкого кристалла к подложке. Беспорядочные тепловые колебания или колебания тока могут приводить к переориентации директора под действием поля в различных направлениях. Области с противоположным наклоном директора образуют домены наклона [2]. Образование двойного края также связано с доменами наклона. Измерения угла наклона директора методом экстремального сдвига фаз [3] показали, что натирка полиимидной пленки приводит к ориентации молекул жидкого кристалла под углом  $1,1 \pm 0,2^\circ$  к поверхности, в то время как при вытягивании пленки поливинилового спирта из ориентированного монослоя на поверхности воды преобладающего наклона не образуется, что приводит к появлению доменов наклона.

Изучение различных вариантов натирки ориентирующего слоя показало, что преобладающий наклон молекул жидкого кристалла по всей толщине ячейки при левой закрутке спирали твист-структуры достигается только тогда, когда направление натирки нижней пластины повернуто относительно верхней на  $90^\circ$  по часовой стрелке. Образования доменов наклона в таком индикаторе не наблюдается.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов В.П., Копоть С.И., Солодовников А.А. Применение полиимидных пленок в качестве ориентантов жидких кристаллов. — *Электронная техника*. Сер. 6, 1981, вып. 6 (155), с. 75–80.

2. Gurtler R.W., Casey T.W. Surface tilt distribution of homogeneously aligned liquid crystals. — *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 1976, v. 35, p. 275–306.

3. Birecki H., Kahn F. Accurate optical measurement of small tilt angles in thin twisted nematic layers. In: *The Physics and Chemistry of Liquid Crystal Devices* / Ed. by G. Sprokel, New York-London, 1979, p. 115–123.

Статья поступила 4 марта 1982 г.

# ЦИФРОВЫЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

**ИЖКЦ**  
**1-4/8**

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МАЛОГАБАРИТНЫХ СЧЕТЧИКАХ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ТИПА «СТРИЖ».

Выводы тока индикатора выполнены в виде дорожек, что позволяет применять для контактов токопроводящую резину.

Число разрядов ..... 4  
Высота знака, мм ..... 8  
Время реакции, мс ..... не более 250  
Время релаксации, мс ..... не более 300  
Управляющее напряжение, В ..... 3—15  
Ток индикатора, мкА ..... не более 12  
Габаритные размеры, мм ..... 51x26x3  
Гарантийная наработка на отказ, ч ..... не менее 15000  
Рабочая температура окружающей среды, °С ..... +55...-20

*А.Д.Азаров, Т.В.Пашкова*

**ИЖКЦ**  
**1-8/5**

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРИБОРАХ С АВТОНОМНЫМ ПИТАНИЕМ, ТАКИХ КАК МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР БЗ-30.

Прибор работает в отраженном свете.

Число разрядов ..... 8,5  
Высота знака, мм ..... 5  
Время реакции и релаксации, мс ..... не более 350  
Управляющее напряжение, В ..... 5,4—6,3  
Ток индикатора, мкА ..... не более 8  
Степень мультиплексации ..... 3:1  
Габаритные размеры, мм ..... 57x24,5x3,2  
Рабочая температура окружающей среды, °С ..... 40 - 1

*А.И.Горелик, Т.А.Максимова*

**ИЖКЦ**  
**3-6/17**  
**ИЖКЦ**  
**4-6/17**

ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИБОРАХ С АВТОНОМНЫМ ПИТАНИЕМ, В ЧАСТНОСТИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИИ ЧАСТОТЫ НАСТРОЙКИ В ТРАНСЛЯЦИОННЫХ РАДИОПРИЕМНИКАХ ТИПА «ИШИМ-003».

Индикатор ИЖКЦ3-6/17 работает на про-свет, а индикатор ИЖКЦ4-6/17 — на отражение.

Число разрядов ..... 6  
Высота знака, мм ..... 16,6  
Время реакции и релаксации, мс ..... не более 300  
Управляющее напряжение, В ..... 4—0  
Ток индикатора, мкА ..... не более 70  
Габаритные размеры, мм ..... 111x40,5x7,6  
Гарантийная наработка на отказ, ч ..... не менее 15000  
Рабочая температура окружающей среды, °С ..... +55...-10

*А.И.Горелик, Т.А.Максимова*

# ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

## ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

**ЧЕТЫРЕХРАЗРЯДНЫЙ ИНДИКАТОР** со служебными знаками может использоваться в мультиметрах для измерения емкости, сопротивления, напряжения и тока, а также в аппаратуре для измерения температуры, веса и временных интервалов.

**ПЯТИРАЗРЯДНЫЙ ИНДИКАТОР** со служебными знаками может использоваться в аппаратуре для измерения частоты.

**ШЕСТИРАЗРЯДНЫЙ ИНДИКАТОР** без служебных знаков является индикатором широкого применения.

Конструкция всех типов индикаторов предусматривает двухстороннюю разводку, что позволяет применять для контактопроводящую резину. Индикаторы могут работать в отраженном свете или на просвет.

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (при температуре окружающей среды 25°C)

Управляющее напряжение знакопеременное без постоянной составляющей, В .....	3 - 10
Частота управляющего напряжения, Гц .....	30 - 1000
Потребляемый ток при частоте 64 Гц, мкА .....	6 - 25
Время реакции при напряжении 9 В, мс .....	20 - 150
Время релаксации при напряжении 9 В, мс .....	60 - 250
Контраст при работе на просвет .....	10:1 - 80:1
при работе на отражение .....	6:1 - 60:1
Гарантийная наработка на отказ, ч .....	60000

А.А.Дорошкин,  
Т.А.Максимова,  
Л.А.Зеленова

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ

## МАТРИЧНЫЙ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ТРАНСПАРАНТ

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ.

Высокий контраст достигается введением в конструкцию транспаранта непрозрачной для излучения маски с  $\lambda = 632,8$  нм.

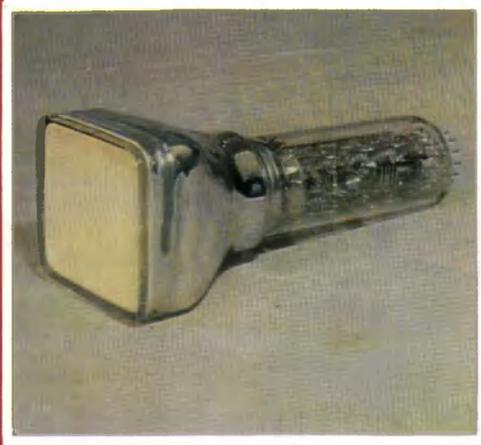
Транспарант помещен в корпус с ориентацией строк и столбцов относительно посадочных отверстий.

Число битовых ячеек .....	32x32; 64x64
Размер битовой ячейки, мкм .....	60
Шаг битовых ячеек, мкм .....	250
Контраст (в угловой апертуре не более 2,5 ), % .....	не менее 90
Время записи строки, мс .....	не более 80
Время стирания кадра, с .....	не более 0,4
Напряжение смещения, В .....	не более 40
Напряжение возбуждения, В .....	не более 120

А.И.Мазур, Н.В.Муртазина, Т.И.Свиридова, В.Г.Горбась

РЕКЛАМА · ЭП · РЕКЛАМА

МАЛО ГАБАРИТНАЯ



МАЛО

ГРАФИЧЕСКАЯ

ОСЦИЛЛО

ЭЛТ Т109И

ОБЛАДАЕТ ВЫСОКОЙ ЯРКОСТЬЮ СВЕЧЕНИЯ ЭКРАНА.

ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ С ПОЛОСой ПРОПУСКАНИЯ ДО 50 МГц И МОЖЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ДВУХКАНАЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ.

Для получения минимальной длины ЭЛТ с достаточно большим рабочим полем применена сеточная система послесвечения.

Режим работы ЭЛТ определяется напряжением на третьей линзе, усиливающей отклонение электронного луча, и выбирается из условий фокусировки триплетом скрещенных линз.

Экран прибора имеет внутреннюю шкалу беспараллаксного отсчета размером 60x80 мм с восемью делениями в направлении отклонения сигнальными пластинами и десятью — временными.

Яркость свечения экрана, кд/м <sup>2</sup>	не менее 80
Чувствительность, мм/В	не менее 14
сигнальной системы	не менее 0,8
временной системы	не более 0,6
Ширина линии, мм	8000
Напряжение экрана, В	800
Напряжение катода (отрицательное), В	6,3
Напряжение накала, В	25—75
Напряжение модуляции, В	0,085—0,105
Ток накала, А	не более 0,6
Масса, кг	не более 225
Длина прибора, мм	не менее 1000
Долговечность, ч	

Е.П.Довгань, Н.В.Гвоздева

РЕКЛАМА · ЭП · РЕКЛАМА

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ КИНЕСКОП 16ЛКБ

Имеет повышенную яркость свечения экрана и улучшенное качество телевизионного изображения в условиях высокой внешней засветки.

Применение электронно-оптической системы новой конструкции с усиленной линзой предварительной фокусировки и улучшенными параметрами главной фокусирующей линзы позволило повысить разрешающую способность и уменьшить ее зависимость от величины тока. Для повышения жесткости арматуры электронно-оптической системы изменена конструкция крепления ее деталей в стеклянных изоляторах. Кинескоп предназначен для использования в переносных телевизионных приемниках. Модернизированный кинескоп имеет режим работы, одинаковый с кинескопом 16ЛК1Б, но превосходит его по основным светотехническим параметрам.

Размер экрана по диагонали, см	16
Угол отклонения, град	70
Диаметр горловины, мм	13
Яркость свечения экрана, кд/м <sup>2</sup>	200
Разрешающая способность, линий	
в центре	600
в углах	550
Напряжение анода, кВ	10

Р.Ю.Гак, И.Г.Гловацкий, В.И.Ивашкин

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

УДК 621.383.085.3

В.П.Сушков

## МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Рассмотрено состояние и перспективы развития многоэлементных индикаторов на основе соединений  $A^{III}B^V$  и их твердых растворов. Показано, что на основе разработанных полупроводниковых индикаторов можно конструировать системы отображения информации самого различного назначения.

Значительные успехи, достигнутые за последние годы в области цифровых полупроводниковых интегральных схем, стимулировали широкий фронт работ по созданию цифровых и знаковых индикаторов на различных принципах.

Сравнительный анализ [1] пассивных и активных индикаторов показывает, что хотя ни один из существующих классов знаковосинтезирующих индикаторов не в состоянии претендовать на абсолютное первенство, полупроводниковые индикаторы можно назвать универсальными, так как на их основе можно конструировать устройства и системы отображения информации различного характера (от светящейся точки до текстов и графиков) и назначения (индивидуального, группового и даже коллективного пользования).

Принцип действия полупроводникового индикатора состоит в преобразовании энергии неосновных неравновесных носителей заряда (ННЗ), инжектированных в активную область элемента индикатора, в энергию спонтанного излучения в видимой области спектра. Основным физическим параметром элемента индикатора является КПД преобразования электрической энергии в энергию излучения:

$$\eta = \eta_{\text{вн}} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{вн}}$  — внутренний квантовый выход (отношение числа квантов, генерируемых в активной области элемента, к числу ННЗ, инжектированных в эту область);  $K_1$  — эффективность инжекции (отношение числа ННЗ, инжектированных в активную область элемента полупроводникового индикатора, к полному числу электронов и дырок, участвующих в токе через элемент);  $K_2$  — эффективность вывода излучения (отношение числа квантов, генерированных внутри элемента, к числу ННЗ);

$$K_3 = \frac{h\nu}{eU} \quad (h\nu - \text{энергия кванта, } e - \text{заряд электро-}$$

на,  $U$  — напряжение на элементе индикатора).

Излучение с необходимой длиной волны генерируется либо внутри полупроводникового элемента в одноступенчатом процессе излучательной рекомбинации экситонов или электронов и дырок, либо в результате более сложных двухступенчатых процессов — генерации квантов инфракрасного излучения внутри полупроводникового элемента с последующим возбуждением внешнего слоя антистоксового люминофора. Из-за малой величины  $\eta = (10^{-4} \div 10^{-1})\%$  второй способ генерации излучения имеет ограниченное применение.

В диапазоне рабочих температур индикатора от  $-60$  до  $+85^\circ\text{C}$  наибольшую величину внутреннего квантового выхода обеспечивают процессы межзонной рекомбинации электронов и дырок в прямозонных полупроводниках типа  $A^{III}B^V$  и  $A^{II}B^{VI}$  и рекомбинации экситонов, связанных на изоэлектронных центрах азота, в непрямозонных полупроводниках типа  $A^{III}B^V$  (рис. 1). По-видимому, не

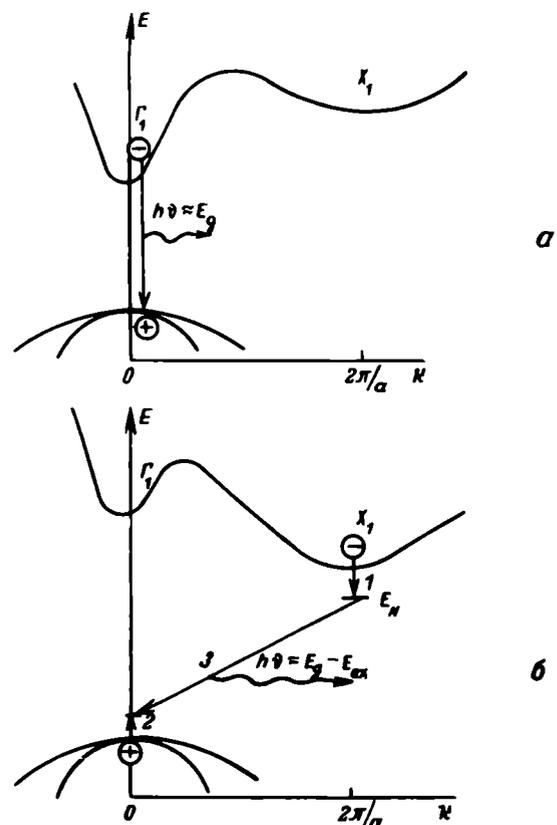


Рис. 1. Механизмы излучательной рекомбинации: а — в прямозонных полупроводниках электроны из  $\Gamma_1$  (минимума зоны проводимости) рекомбинируют с дырками в валентной зоне; б — в непрямозонных полупроводниках рекомбинируют экситоны, связанные на изоэлектронных центрах (характеризуется тремя стадиями: 1 — захват электрона на  $X_1$  — минимума на уровень  $E_N$  изоэлектронного центра; 2 — формирование связанного экситона с энергией связи  $E_{e2}$ ; 3 — излучательная рекомбинация

существует принципиальных теоретических ограничений для получения 100%-ного внутреннего квантового выхода в прямозонных твердых растворах  $A^{III}B^V$  в красной ( $Al_{0,35}Ga_{0,65}As$ ,  $GaAs_{0,60}P_{0,40}$ ) и желто-зеленой ( $In_{0,33}Ga_{0,67}P$ ) областях спектра. В непрямозонных соединениях и твердых растворах,  $A^{III}B^V$ , легированных азотом, по современным теоретическим представлениям предельно достижимые значения внутреннего квантового выхода составляют ~ 100 % в красно-оранжевой области ( $GaAs_{0,35}P_{0,65}$ ), ~ 20 % в желтой области ( $GaAs_{0,15}P_{0,85}$ ) и ~ 10 % в зеленой области ( $GaP$ ) спектра.

По способу инжекции НЗ в активную область элементы индикатора можно подразделять на диоды с прямосмещенным  $p-n$ -переходом, обратносмещенным  $p-n$ -переходом в режиме лавинного пробоя и диоды с барьером Шотки. У лавинно-пробойных диодов рабочее напряжение составляет 10–20 В, так что  $K_3 \approx 10\%$  и КПД преобразования мал. У диодов с барьером Шотки эффективность инжекции составляет ( $10^{-2} - 1$ ) %, что приводит к очень малым значениям КПД даже при большой величине внутреннего квантового выхода. У диодов с прямосмещенным  $p-n$ -гомопереходом эффективность инжекции составляет не менее 50 % (с  $p-n$ -гетеропереходом — 100 % и  $K_3 \approx 100\%$ ). Таким образом, сочетание больших значений  $\eta_{вн}$ ,  $K_1$  и  $K_3$  привело к доминирующему развитию излучающих диодов с прямосмещенным  $p-n$ -гомо- или гетеропереходом на основе соединений и твердых растворов  $A^{III}B^V$ . (В широкозонных соединениях  $A^{II}B^{VI}$ , вероятно, принципиально невозможно создать  $p-n$ -переход; они в настоящее время находят лишь ограниченное применение в разработках светоизлучающих диодов голубого цвета свечения на основе диодов с барьером Шотки).

**Классификация и параметрические ряды полупроводниковых индикаторов.** В настоящее время в мире выпускается около 1000 типов многоэлементных индикаторов. Такое многообразие не случайно, так как разновидности индикаторов (знаковые, модули шкалы и модули экрана) отличаются друг от друга числом светящихся элементов, цветом свечения, размерами поля изображения, размерами и конструкцией светящихся элементов.

Знаковые индикаторы, наиболее широко используемые, в основном предназначены для отображения цифровой и буквенной информации (символов). В пределах рабочего поля знакового индикатора может одновременно изображаться один (одноразрядные) или несколько (многозарядные индикаторы) символов. Определенное количество элементов индикатора с определенным взаимным

расположением в пределах рабочего поля одного разряда характеризуют индикатор по типу знака.

Следует выделить четыре типа знака: I — 7-элементный, II — 9-элементный, III — 35-элементный и IV — 5-элементный. Отображение всего ряда цифр с приемлемым эстетическим качеством и малой вероятностью ошибок считывания обеспечивают наиболее простые индикаторы I типа. Размещение десятичной точки справа, в центре или слева позволяет в разных странах отображать сложные числа привычным способом. Индикаторы II типа позволяют наряду с цифрами отображать ограниченный набор букв русского и латинского алфавитов. Наиболее универсальными, хотя и более дорогими и сложными в управлении, являются индикаторы III типа. Они способны отображать, например, все 64 символа, входящие в стандартный алфавит ASCII. По желанию потребитель может либо модифицировать начертание отдельных символов, либо вводить свои специальные символы. Индикаторы IV типа дополняют индикаторы I и II типов и предназначены для отображения символов полярности и переполнения в цифровых устройствах с неполным числом разрядов.

Хорошее качество и безошибочность считывания отображаемого текста определяется отношением ширины знака к его высоте  $b_{зн} / h_{зн}$ , отношением ширины элемента к высоте знака  $b_{эл} / h_{зн}$  и шагом между знаками  $d_{зн}$ . Обобщение данных эргономических исследований [2–4] позволило установить следующие оптимальные значения характеристик:  $b_{зн} / h_{зн} = 0,6$ ;  $b_{эл} / h_{зн} \approx 0,1$ ;  $d_{эл} / h_{зн} = 1 \div 1,5$ . Высота знака  $h_{зн}$  является таким образом базовым размером рабочего поля знакового индикатора; кроме того, она определяет еще одно важное качество прибора — оптимальное расстояние наблюдения. Для нормального зрения предельное угловое разрешение составляет около одной угловой минуты [2], а минимально различимый размер элемента изображения  $a_{мин}$  связан с расстоянием наблюдения  $l$  соотношением  $a_{мин} \approx 3 \cdot 10^{-4} l$ . Так, например, минимальный угловой размер символа, отображаемого 35-элементным индикатором типа III, составляет  $7'$ . Для определения оптимального расстояния знака от места наблюдения при оптимальном угловом размере знака  $20'$  по многочисленным экспериментальным данным, обобщенным в работе [2], была построена зависимость, представленная на рис. 2.

Из рисунка видно, что  $h_{зн.опт}$  сильно изменяется при малых расстояниях наблюдения ( $30 \div 80$  см). Следовательно, набор типовых значений  $h_{зн}$  у индикаторов для устройств отображения информации

индивидуального пользования (калькуляторы, часы, кино- фотоаппаратура и т.п.) должен быть достаточно велик.

На современном этапе развития полупроводниковых индикаторов наиболее прогрессивной тенденцией в построении различных линейных шкал, табло и экранов является использование ограниченного количества унифицированных модулей шкал и экранов со стандартными геометрическими размерами, конструкция которых должна обеспечивать возможность бесшовной стыковки модулей в одном (модули шкал) или двух (модули экранов) измерениях. Размеры модулей должны быть сравнительно небольшими (5–20 мм). При этом

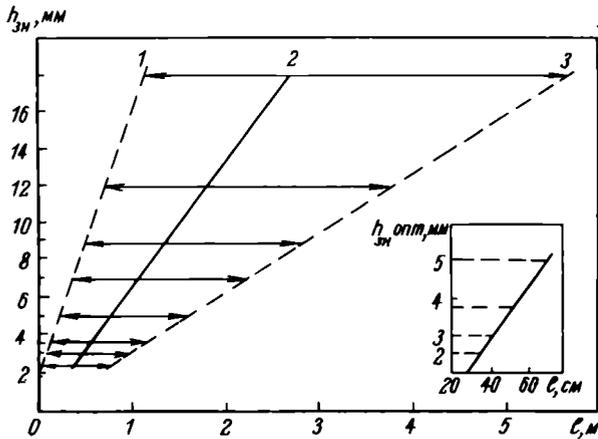


Рис. 2. Зависимость высоты знака  $h_{zn}$  от расстояния наблюдения  $l$ : 1 – высота неудобочитаемого знака; 2 – оптимальная высота знака; 3 – высота предельно различимого знака; горизонтальные линии – области нормальной работы оператора

возможна компоновка не только одноцветных шкал, табло и экранов, но и многоцветных на основе модулей с различными цветами свечения. Важное значение имеет также высокая ремонтоспособность шкал и экранов модульного типа.

Безошибочность считывания информации в исключительной степени зависит от яркости и размеров светящихся элементов. Уточненное выражение, связывающее контрастность изображения с силой света, площадью и спектральными характеристиками светящегося элемента и внешних светофильтров, по сравнению с выражением, представленным в работе [1], имеет вид:

$$C = \frac{66 \pi \cdot I_v}{\rho_d \cdot A_{эл} \cdot K_s \cdot \Delta \lambda_{0,5} \cdot E_s} \cdot \frac{1}{r_{\phi}} + 1, \quad (2)$$

где  $C$  – контрастность;  $I_v$  – сила света элемента;  $A_{эл}$  – площадь светящегося элемента,  $m^2$ ;  $\rho_d$  – коэффициент отражения элемента;  $E_s$  – внешняя освещенность,  $лм/м^2$ ;  $\Delta \lambda_{0,5}$  – ширина спектра светового потока элемента на уровне 0,5 от максимума спектра,  $нм$ ;  $K_s$  – спектральный коэффициент засветки при  $\lambda_{\max}$ ,  $нм^{-1}$ ;  $r_{\phi}$  – коэффициент пропускания полосового фильтра с полосой пропускания, равной  $\Delta \lambda_{0,5}$ . (Оптимальные значения  $r_{\phi} = 0,2 \div 0,5$ ). Спектры световых потоков индикаторов на основе  $A^{III}B^V$  приведены на рис. 3.

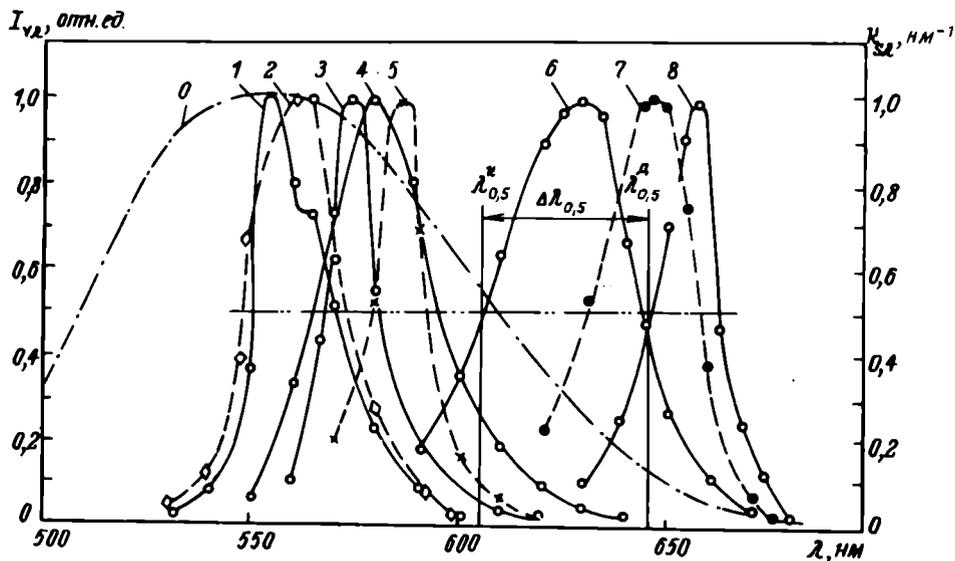


Рис. 3. Нормализованные спектры световых потоков индикаторов на основе  $A^{III}B^V$  и солнечной засветки: 0 – солнечная засветка; 1 –  $n^+GaP-nGaP:N-pGaP:N$  (ГЗ); 2 –  $n^+GaP-nGaP:N-pGaP:N$  (ЖЗ); 3 –  $n^+GaAs_{0,7}P_{0,3}-nIn_{0,1}Ga_{0,9}P-pIn_{0,1}Ga_{0,9}P$  (ЖЗ); 4 –  $n^+GaP-nGaAs_{0,15}P_{0,85}:N-pGaAs_{0,15}P_{0,85}:N$  (ГЗ); 5 –  $n^+GaP-nIn_{0,33}Ga_{0,67}P-pIn_{0,33}Ga_{0,67}P$  (ГЗ); 6 –  $n^+GaP-nGaAs_{0,15}P_{0,85}:N-pGaAs_{0,15}P_{0,85}:N$  (ГЗ); 7 –  $n^+GaAs-nGaAs_{0,6}P_{0,4}-pGaAs_{0,6}P_{0,4}$  (ГЗ); 8 –  $p^+GaAs-pAl_{0,33}Ga_{0,67}As-nAl_{0,48}Ga_{0,52}As$  (ЖЗ)

Систематизация требований к контрастности и яркости изображения в работах [2, 3] показала, что для безошибочного считывания однотоновой информации (знаки, тексты, графики) необходимо выполнение одновременно двух условий: контрастность изображения должна быть не менее 1,4, а видимая яркость элемента не менее необходимой

яркости адаптации  $L_{ад} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{E_s}{\pi}$ , при ко-

торой обеспечивается быстрая адаптация наблюдателя к нормальной работе после кратковременного ослепления прямой солнечной засветкой.

Расчеты минимальной яркости элемента полупроводниковых индикаторов, достаточной для получения контрастности изображения не менее 1,4 при освещенности солнцем  $3,5 \cdot 10^4$  и  $1 \cdot 10^5$  лм/м<sup>2</sup> для монокристаллических индикаторов с коэффициентом отражения, равным 0,1, и индикаторов, работающих на принципе рассеяния света с коэффициентом отражения 1,0 (рис. 4), показали, что без применения фильтров требуемая минимальная яркость элемента весьма велика, особенно у индикаторов на принципе рассеяния света. Применение полосовых фильтров ( $\tau_{\phi} = 0,5$ ) радикально снижает требования к минимальной яркости, в особенности в красной области спектра, причем уровень минимальной яркости монокристаллических планарных индикаторов всех цветов свечения определяется необходимостью превышения яркости адаптации и составляет 175 (500) кд/м<sup>2</sup> при засветке  $3,5 \cdot 10^4$  ( $1 \cdot 10^5$ ) лм/м<sup>2</sup> (контрастность при этом может существенно пре-

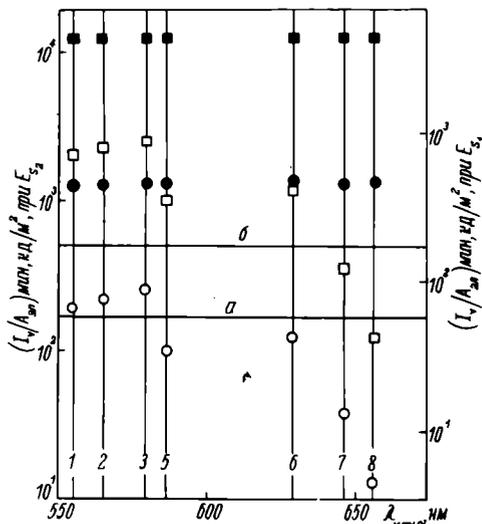


Рис. 4. Минимальная яркость индикатора при солнечной засветке  $E_{S1} = 3,5 \cdot 10^4$  и  $E_{S2} = 1 \cdot 10^5$  лм/м<sup>2</sup> для монокристаллических индикаторов (● — без фильтра, ○ — с полосовым фильтром) и индикаторов, работающих на принципе рассеяния света (■ — без фильтра, □ — с полосовым фильтром); минимальная яркость адаптации без фильтра (а), с фильтром (б). Обозначения структур (1–3, 5–8) те же, что и на рис. 3

вышать требуемую величину 1,4); уровень минимальной яркости индикаторов на принципе рассеяния света, излучающих в желтой и зеленой областях спектра, определяется необходимостью обеспечения  $C = 1,4$  и составляет 700 ( $2 \cdot 10^3$ ) кд/м<sup>2</sup> при засветке  $3,5 \cdot 10^4$  ( $1 \cdot 10^5$ ) лм/м<sup>2</sup>. У индикаторов красного цвета свечения на основе твердых растворов GaAs<sub>0,60</sub>P<sub>0,40</sub> и Al<sub>0,35</sub>Ga<sub>0,65</sub>As минимальная яркость элемента определяется необходимостью превышения яркости адаптации и равна 175 (500) кд/м<sup>2</sup> при засветке  $3,5 \cdot 10^4$  ( $1 \cdot 10^5$ ) лм/м<sup>2</sup>; наибольшую контрастность при фиксированной яркости элемента имеют индикаторы на основе прямозонных твердых растворов с узкими спектрами излучения (с наименьшей величиной  $\Delta\lambda_{0,5}$ ) In<sub>0,33</sub>Ga<sub>0,67</sub>P (желтый цвет свечения), GaAs<sub>0,60</sub>P<sub>0,40</sub> и Al<sub>0,35</sub>Ga<sub>0,65</sub>As (красный цвет свечения).

Как отмечалось выше, у индикаторов с определенной высотой знака площадь элемента изображения имеет минимально допустимую величину, которая определяется оптимальным расстоянием наблюдения и предельным углом разрешения глаза (см. рис. 2). Таким образом, исходя из мини-

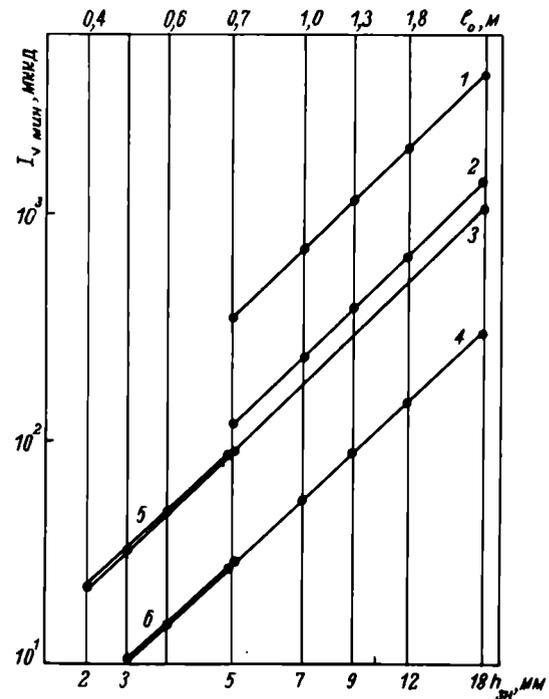


Рис. 5. Минимальная сила света элемента ПИ, обеспечивающая контрастность не менее 1,4 и быструю адаптацию оператора при оптимальном расстоянии наблюдения (внешняя засветка  $3,5 \cdot 10^4$  лм/м<sup>2</sup>): 1 — знаковые индикаторы на принципе рассеяния света желтого и зеленого цвета (типы знака I, II, IV); 2 — знаковые индикаторы на принципе рассеяния света желтого и зеленого цвета (тип знака III) и модули шкал и экранов с шагом 1,0; 1,25 и 2,5 мм; 3 — знаковые индикаторы на принципе рассеяния света красного цвета (типы знака I, II, IV); 4 — знаковые индикаторы на принципе рассеяния света красного цвета (тип знака III) и модули шкал и экранов с шагом 1,0; 1,25 и 2,5; 5 — монокристаллические индикаторы любого цвета (типы знака I, II, IV); 6 — монокристаллические индикаторы любого цвета (тип знака III)

мальной требуемой яркости элемента и минимально допустимой площади элемента, можно рассчитать минимально требуемую силу света  $I_v$  мин для индикаторов с данным типом знака и с определенной его высотой, обеспечивающую безошибочное считывание на оптимальном расстоянии при заданном уровне внешней засветки (рис. 5). Данные, приведенные на рис. 5, позволяют выбрать конкретный индикатор, предназначенный для эксплуатации на расстоянии оптимального видения при заданном уровне внешней засветки (если уровень засветки  $E_s$  отличается от уровня  $E_s^0$  -

$$= 3,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^2/\text{м}^2, \text{ то } I_{v \text{ мин}}(E_s) = I_{v \text{ мин}}(E_s^0) \frac{E_s}{E_s^0},$$

где  $I_{v \text{ мин}}(E_s^0)$  определяется из рисунка).

Таким образом, сила света элемента полупроводникового индикатора является важнейшим интегральным светотехническим параметром, измерение которого легко поддается автоматизации в условиях массового производства.

Независимо от конструкции полупроводниковых индикаторов можно определить следующие общие пути увеличения силы света элемента при фиксированном значении тока через элемент:

- увеличение внутреннего квантового выхода

(увеличение скорости излучательной и уменьшение скорости безызлучательной рекомбинации в активной области  $p-n$ -структуры) за счет оптимизации конструкции кристалла и совершенствования технологии получения эпитаксиальных и диффузионных слоев);

- увеличение эффективности вывода излучения из кристалла наружу за счет оптимизации конструкции светоизлучающего элемента индикатора;

- использование в качестве дополнительного элемента конструкции линзы, увеличивающей коэффициент направленности излучения (если у индикатора допускается сужение диаграммы направленности).

**Конструкции полупроводниковых индикаторов.** У индикатора конкретного типа необходимые размеры поля изображения, число, размеры и конфигурация светящихся элементов и их взаимное расположение обеспечиваются либо определенной топологией светящихся элементов монокристалла (бескорпусные многоэлементные индикаторы), либо определенным размещением одноэлементных или многоэлементных кристаллов на основании корпуса и конструкцией корпуса (герметизированные индикаторы).

Разработанные бескорпусные монокристалльные приборы достаточно многообразны: от простейших

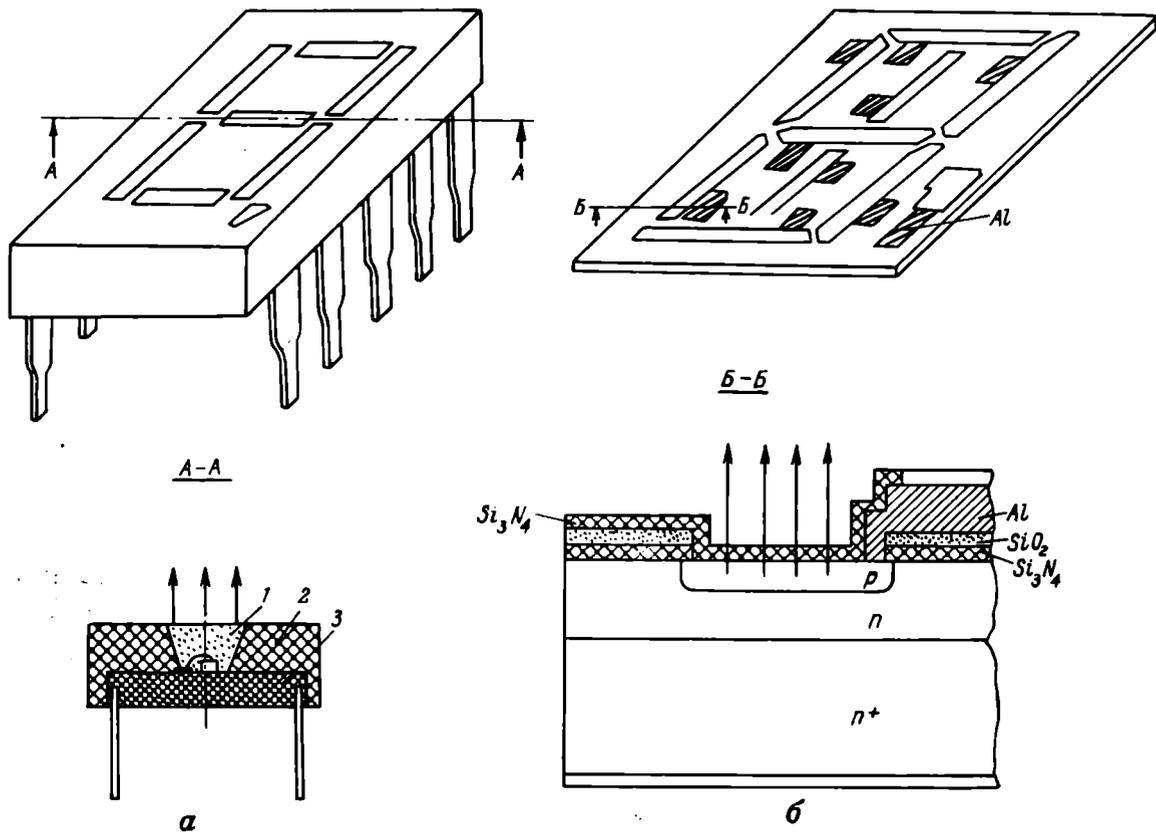


Рис. 6. Основные конструкции полупроводниковых индикаторов: а - гибридная на принципе рассеяния света (1 - светорассеивающая пластмасса; 2 - светопровод с отражающими стенками; 3 - керамический или рамочный держатель); б - монокристалльная планарная на основе эпитаксиальных структур, выращенных на непрозрачных подложках  $GeAs$

цифровых 7-сегментных (АЛС313А-5, НР5082-7861) и 9-сегментных (АЛС322А-5, АЛС323А-5, НР5082-7862) индикаторов до 100-элементных линейных индикаторов АЛС345А-5 (рис. 6, б).

Преимущество монолитных индикаторов в том, что они дают возможность создавать большое число светящихся элементов любой конфигурации с любыми, в том числе исключительно малыми, размерами и точным взаимным расположением элементов, однако они характеризуются таким недостатком, как высокий расход полупроводникового материала при малой плотности размещения элементов изображения.

Разработка всего многообразия герметизированных индикаторов осуществляется на основе трех базовых конструкций: гибридной, монолитной многоэлементной, монолитной многоразрядной.

Гибридная конструкция на принципе рассеяния света (рис. 6, а) — набор одноэлементных кристаллов с малыми размерами размещается на основании корпуса. Взаимное расположение элементов изображения определяется взаимным расположением кристаллов на основании, а размеры элементов формируются специальным монолитным пластмассовым светопроводом. Оптическое преобразование изображения точечного источника света (кристалла) в изображение светящегося элемента индикатора осуществляется путем многократного рассеяния света внутри каждой из полостей светопровода, оптически изолированных друг от друга. Рассеяние света внутри полости обеспечивается или ее заполнением светорассеивающей пластмассой во время герметизации прибора (цифровые индикаторы АЛС321, АЛС324, АЛС326, АЛС328, АЛС332, АЛС333, АЛС334, АЛС335, MAN71А, MAN51А, MAN6760 и т.п.) или диффузно рассеивающей пленкой, помещенной на лицевой поверхности светопровода (цифровые индикаторы АЛС309, FND70). Вместо набора одноэлементных кристаллов в знаковых индикаторах может быть использован набор линейных многоэлементных кристаллов (АЛС340А, HDS P-2000). Наконец, светопровод может быть составной частью керамического основания. Преимуществом рассмотренной конструкции является резкое снижение расхода материала.

Монолитный многоэлементный кристалл, аналогичный бескорпусному индикатору, помещается в полый герметичный корпус с плоским окном (цифровые индикаторы АЛС339, TIL-310). Эта конструкция в наибольшей степени удовлетворяет жестким требованиям механического и климатического воздействия.

Монолитная многоразрядная конструкция с оптическим увеличением (несколько монолитных многоэлементных кристаллов помещены на общее основание) позволяет значительно увеличить силу света элемента и одновременно резко уменьшить

расход материала в многоразрядных индикаторах с высотой знака 2,5—5 мм.

В индикаторах на основе многоэлементных планарных кристаллов (см. рис. 6, б) для создания оптической изоляции элементов необходимо либо использовать эпитаксиальные структуры на поглощающих подложках, либо создавать в кристалле специальный поглощающий слой (маску) при использовании структур на прозрачных подложках. При этом эффективность вывода излучения и, следовательно, КПД в принципе весьма малы, так как полезным излучением является лишь та часть светового потока, генерируемого в активной области, которая падает на верхнюю грань кристалла в пределах телесного угла полного внутреннего отражения. Некоторое увеличение значений этих параметров можно получить лишь с помощью диэлектрического просветляющего покрытия (например,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), нанесенного на поверхность кристалла, позволяющего, кроме того, резко уменьшить диффузное отражение и, следовательно, увеличить контрастность изображения.

В гибридных полупроводниковых индикаторах на основе одноэлементных кристаллов оптическая изоляция элементов обеспечивается конструкцией светопровода (см. рис. 6, а). Полезным излучением в таком кристалле является не только излучение через верхнюю грань, но и через его боковые грани. Использование эпитаксиальных структур на прозрачных подложках и нанесение отражающего омического контакта на нижнюю грань кристалла (рис. 7) позволяет резко увеличить эффективность вывода излучения и, следовательно, силу света. Увеличение вывода излучения может быть получено благодаря уменьшению поглощения излучения в пластмассе, заполняющей объем сегмента, и увеличению коэффициента отражения боковых стенок светопровода. Следует, однако, отметить, что увеличение этих величин сопровождается нежелательным увеличением диффузионного отражения, так что величина контрастности изобра-

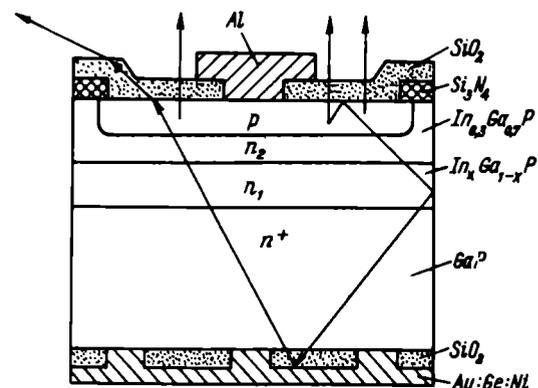


Рис. 7. Конструкция кристалла для высокоэффективных индикаторов на принципе рассеяния света

жения остается неизменной. Поэтому требования к оптическим свойствам пластмасс могут быть существенно снижены без ухудшения эргономических характеристик прибора.

**Соединения и твердые растворы  $A^{III}B^V$  для полупроводниковых индикаторов.** Совокупность соединений и твердых растворов  $A^{III}B^V$ , наиболее пригодных для создания индикаторов красного, желтого и зеленого цвета свечения, была установлена в конце 60-х – начале 70-х годов [1, 4].

Сравнительные характеристики эпитаксиальных структур  $A^{III}B^V$  приведена в табл. 1. Измерения силы света элемента проведены при токе 10 мА и плотности тока 10 А/см<sup>2</sup> на кристаллах в форме параллелепипеда с ребром 0,3–0,4 мм. При оценке перспектив использования тех или иных структур в индикаторах определенной конструкции значения силы света необходимо умножить на коэффициент  $\chi_M$  для многоэлементных монокристаллических полупроводниковых индикаторов) или на коэффициент  $\chi_r$  для гибридных индикаторов на принципе рассеяния света ( $\chi_M$  и  $\chi_r$  получены в результате обобщения экспериментальных данных). Если сегменты гибридных индикаторов на принципе рассеяния света заполнены пластмассой, то это производство необходимо еще умножить на коэффициент 1,5–2. Дальнейшее рассмотрение целесообразно систематизировать по цвету свечения индикатора.

В индикаторах зеленого цвета свечения могут быть использованы структуры GaP: N, выращенные методами газовой (ГЭ) и жидкофазной (ЖЭ) эпитаксии. ГЭ-структуры превосходят ЖЭ-структуры по экономическим показателям, но уступают по силе света, так как в ЖЭ-структурах p-n-переход создается в процессе эпитаксии. ГЭ-структуры более универсальны. Они могут использоваться и в монокристаллических и в гибридных индикаторах, в то время как ЖЭ-структуры – только

в гибридных с повышенной силой света. Таким образом, в настоящее время в качестве основного материала для многоэлементных индикаторов слугат ГЭ-структуры типа  $n^+n$ , а для гибридных полупроводниковых индикаторов ЖЭ-структуры типа  $n^+np$ .

В индикаторах желтого цвета свечения наибольшее применение нашли ГЭ-структуры GaAs<sub>0,35</sub>P<sub>0,65</sub>: N типа  $n^+n$ . В то же время теоретические расчеты [4] и экспериментальные результаты свидетельствуют об исключительной перспективности ГЭ-структур In<sub>0,33</sub>Ga<sub>0,67</sub>P типа  $n^+n$ .

В индикаторах красного цвета свечения в принципе может быть использовано большое многообразие структур (см. табл. 1). Структуры GaP: (Zn, O), по-видимому, не в состоянии претендовать на роль основного материала для многоэлементных индикаторов из-за исключительно высокой прозрачности GaP и невозможности мультиплексного управления. Кроме того, эти структуры наиболее дорогие.

Структуры GaAs<sub>0,60</sub>P<sub>0,40</sub> типа  $n^+n$  на подложках GaAs, выращенные методом газовой эпитаксии, характеризуются низкой стоимостью, большой площадью (10–20 см<sup>2</sup>), высоким качеством поверхности и малым разбросом параметров по поверхности, что сделало их основным материалом для создания и массового производства всех типов многоэлементных индикаторов, в особенности монокристаллических и монокристаллическо-гибридных.

Анализ достоинств и недостатков ГЭ-структур GaAs<sub>0,35</sub>P<sub>0,65</sub>: N типа  $n^+n$  на подложках GaP по сравнению с ЖЭ-структурами Al<sub>0,35</sub>Ga<sub>0,65</sub>As типа  $p^+pn$  на подложках GaAs привел к выводу, что последние структуры являются более перспективными: они пригодны как для монокристаллических, так и для гибридных индикаторов и превосходят структуры GaAs<sub>0,35</sub>P<sub>0,65</sub>: N по экономическим показателям. Следует отметить, что индикаторы на основе структур Al<sub>0,35</sub>Ga<sub>0,65</sub>As имеют высокие значения силы света элемента (в среднем 3000 – 4000 мккд при токе 20 мА).

Таблица 1

Характеристики эпитаксиальных структур  $A^{III}B^V$ 

Тип $A^{III}B^V$ и состав активной области p-n-структуры	Технология эпитаксии, тип подложки	Цвет свечения	Длина волны в максимуме спектра $\lambda_M$ , нм	$\Delta\lambda_{0,5}$ , нм	Сила света элемента $I_v$ , мккд		$\chi_M$	$\chi_r$
					1976 г.	1981 г.		
GaP: N	ГЭ, $n^+$ GaP	Зеленый	560	22	140	170	0,4	3
GaP: N*	ЖЭ, $n^+$ GaP	то же	565	24	750	2000	0,4	3
GaAs <sub>0,15</sub> P <sub>0,85</sub> : N	ГЭ, $n^+$ GaP	Желтый	580	31	180	350	0,4	3
In <sub>0,33</sub> Ga <sub>0,67</sub> P	ГЭ, $n^+$ GaP	то же	585	16	500	2000	0,4	3
GaAs <sub>0,35</sub> P <sub>0,65</sub> : N	ГЭ, $n^+$ GaP	Красный	620	38	230	350	0,4	3
GaAs <sub>0,60</sub> P <sub>0,40</sub>	ГЭ, $n^+$ GaAs	то же	650	27	170	250	1	1
Al <sub>0,35</sub> Ga <sub>0,65</sub> As*	ЖЭ, $p^+$ GaAs	"	665	16	400	1000	1	1
GaP: (Zn, O)*	ЖЭ, $n^+$ GaP	"	690	45	1000	1000	0,25	5

\*p-n-переход создается в процессе эпитаксии, в остальных структурах – диффузией цинка.

Технология производства индикаторов. Создание широкой номенклатуры многоэлементных индикаторов возможно лишь при максимальной унификации конструктивных компонентов индикаторов: кристаллов, корпусов, светопроводов.

Созданная в настоящее время базовая промышленная технология позволяет:

— изготавливать многоэлементные монокристаллы и одноэлементные кристаллы индикаторов на принципе рассеяния света по планарной технологии на основе структур  $GaP:N, GaAs_{0,15}P_{0,85}:N, In_{0,33}Ga_{0,67}P$  и  $GaAs_{0,60}P_{0,40}$  типа  $n^+n$  и структур  $Al_{0,35}Ga_{0,65}As$  типа  $p^+pn$ . При этом все основные технологические процессы унифицированы как по легирующим примесям и конструкционным материалам, так и по режимам и применяемому оборудованию: химическая обработка поверхности, нанесение и локальное удаление диэлектрических покрытий, получение локальных диффузионных  $p-n$ -переходов, нанесение просветляющих и оптически изолирующих диэлектрических покрытий, получение омических контактов;

— изготавливать одноэлементные кристаллы для полупроводниковых индикаторов на принципе рассеяния света по меза-технологии на основе эпитаксиальных структур  $GaP:N$  типа  $n^+nr$  и

$Al_{0,35}Ga_{0,65}As$  типа  $p^+pn$ . При этом оборудование и режимы проведения основных технологических операций идентичны указанным выше;

— осуществлять высокопроизводительную и надежную сборку и герметизацию приборов;

— проводить на автоматизированных измерительных комплексах с высокой точностью и производительностью измерения светотехнических и электрических параметров кристаллов на пластинах и герметизированных полупроводниковых индикаторов (создан государственный эталон силы света).

Реализация базовой технологии позволила резко увеличить воспроизводимость параметров и надежность всех типов полупроводниковых индикаторов, повысить выход годных индикаторов, в несколько раз уменьшить количество используемого оборудования за счет гибкого маневрирования объемами выпуска конкретных типов индикаторов в условиях массового производства широкой номенклатуры изделий и, в конечном счете, добиться высокой производительности труда и низкой себестоимости продукции.

Номенклатура многоэлементных полупроводниковых индикаторов. Комплексные разработки многоэлементных индикаторов, включающие

Таблица 2

Тип индикатора	Число разрядов	Число элементов в разряде	Высота знака, мм	Цвет свечения	Минимальная удельная сила света элемента, мккд/мА	Номинальный ток, мА	Максимальное рабочее напряжение, В	Диапазон рабочих температур, °С	Схема включения	Корпус
АЛС 323А-5	1	9	2,0	Красный	17,0	3	1,65	-10...+60	ОК	Бескорпусной
АЛС 313А-5	1	7	2,5	то же	12,0	5	1,65	-10...+60	ОК	то же
АЛС 313Е	1	7 + д.т.	2,5	"	12	5	16,5	-60...+70	ОК	"
АЛ 304А	1	7 + д.т.	2,5	"	350*	5	2,0	-60...+70	ОК	Пластмассовый
АЛ 304Г	1	7 + д.т.	2,5	"	350*	10	3,5	-60...+70	ОК	то же
АЛ 314А	1	7 + д.т.	2,5	"	7,5	5	2,0	-60...+70	ОК	"
АЛС 339А	1	7 + д.т.	2,5	"	20,0	3	1,9	-60...+70	ОК	Стеклокерамический
К49ОИП1	1	7 + д.т.	2,5	"	10,0	—	4,5	-60...+70	СУ	то же
АЛС 322А-5	1	9	2,5	"	12,0	5	1,65	-10...+60	ОК	Бескорпусной
АЛС 339А	1	8	2,5	"	20	3	1,8	-60...+70	ОК	"
АЛС 348А	1	8	2,5	Зеленый	6	5	2,3	-60...+70	ОК	"
КЛШ 301А-5	1	8	2,5	то же	6	5	2,3	-25...+70	ОК	Бескорпусной
КЛ 105Б	1	7	5,0	Желтый	40—80	10	2,2—3,5	-60...+70	ОК	Пластмассовый
АЛС 320Б	1	7 + д.т.	5,0	Красный	60,0	10	2,0	-60...+70	ОА	то же
АЛС 320Г	1	7 + д.т.	5,0	Зеленый	25,0	10	2,8	-60...+70	ОК	"
АЛС 326А	1	4	7,0	Красный	7,5	20	2,5	-60...+70	ПС	Пластмассовый
АЛС 326Б	1	4	7,0	то же	7,5	20	2,5	-60...+70	ПО	то же
АЛС 327А	1	4	7,0	Зеленый	6,0	20	3,6	-60...+70	ПС	"
АЛС 327Б	1	4	7,0	то же	6,0	20	3,6	-60...+70	ПО	"
АЛ 305А	1	7 + д.т.	7,0	Красный	350	20	4,0	-60...+70	ОА	"
АЛС 321А	1	7 + д.т.	7,0	Жел.-зел.	6,0	20	3,6	-60...+70	ОК	"
АЛС 321Б	1	7 + д.т.	7,0	то же	6,0	20	3,6	-60...+70	ОА	"
АЛС 324А	1	7 + д.т.	7,0	Красный	7,5	20	2,5	-60...+70	ОК	Пластмассовый
АЛС 324Б	1	7 + д.т.	7,0	то же	7,5	20	2,5	-60...+70	ОА	то же
АЛС 312А	1	7 + д.т.	7,0	"	350	10	2,0	-60...+70	ОА	"
АЛС 324В	1	5 + д.т.	7,0	"	7,5	20	2,5	-60...+70	ПС	"
АЛС 338В	1	5 + д.т.	7,0	Зеленый	7,5	20	3,5	-60...+70	ПС	"
КИПЦ-01А(Б)1/7к	1	7 + д.т.	7	Красный	50	20	3,0	-60...+70	ОК(ОА)	"
КИПЦ-01В(Г)1/7к	1	7 + д.т.	7	то же	25	20	3,0	-60...+70	ОК(ОА)	"
КИПЦ-01Д(Е)1/7к	1	7 + д.т.	7	"	30	5	3,0	-60...+70	ОК(ОА)	"

Продолжение табл. 2

Тип индикатора	Число разрядов	Число элементов в разряде	Высота знака, мм	Цвет свечения	Минимальная удельная сила света элемента, мкк/мА	Номинальный ток, мА	Максимальное рабочее напряжение, В	Диапазон рабочих температур, °С	Схема включения	Корпус
АЛС 340А	1	7×5+д.т.	9,0	"	12,5	10	2,5	-60...+70	ПК	Пластмассовый
АЛС 357А	1	7×5+д.т.	9,0	Желтый	4	10	4	-60...+70	ПК	"
АЛС 358А	1	7×5+д.т.	9,0	Зеленый	6	10	4	-60...+70	ПК	Стеклокерамический
К490ИП2	1	7+д.т.	9	Красный	10	-	4,5	-60...+70	СУ	Пластмассовый
АЛС 332А	1	7+д.т.	12,0	то же	80,0	20	2,5	-60...+70	ОК	то же
АЛС 332Б	1	7+д.т.	12,0	"	80,0	20	2,5	-60...+70	ОА	"
АЛС 333А	1	7+д.т.	12,0	"	10,0	20	2,0	-60...+70	ОК	"
АЛС 333Б	1	7+д.т.	12,0	"	10,0	20	2,0	-60...+70	ОА	"
АЛС 334А	1	7+д.т.	12,0	Желтый	20,0	20	3,3	-60...+70	ОК	"
АЛС 334Б	1	7+д.т.	12,0	то же	20,0	20	3,3	-60...+70	ОА	"
АЛС 335А	1	7+д.т.	12,0	Зеленый	12,5	20	3,5	-60...+70	ОК	"
АЛС 335Б	1	7+д.т.	12,0	то же	12,5	20	3,5	-60...+70	ОА	"
КЛШ 201А(Б)	1	7+д.т.	18,0	Красный	100	20	4,0	-25...+70	ОК	"
КЛШ 202А(Б)	1	7+д.т.	18,0	то же	25	20	4,0	-60...+70	ОА	"
КЛШ 402А(Б)	1	7+д.т.	18,0	Желтый	100	20	6,0	-60...+70	ОА	"
КЛШ 401А	1	7+д.т.	18,0	то же	25	20	6,0	-60...+70	ОА	"
КЛШ 302А(Б)	1	7+д.т.	18,0	Зеленый	100	20	6,0	-60...+70	ОА	"
АЛС 347А	1	8×8	10×10	Красный	12,5	10	2,5	-60...+70	ПК	"
АЛС 330 ДЕ	2	7+д.т. (ц+с)	3,75	то же	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 330 В,Г	2	7+д.т. (п+с)	3,75	Красный	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	Пластмассовый
АЛС 330 И,К	2	7+д.т. (п+с)	5,0	то же	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	то же
АЛС 329 Д,Е	3	7+д.т. (п+с)	2,5	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 329 К,Л	3	7+д.т. (п+с)	2,5	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 329 В,Г	3	7+д.т. (п+с)	2,5	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 329 М,Н	3	7+д.т. (п+с)	3,75	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 330 А,Б	3	7+д.т. (п+с)	3,75	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 330 Ж	3	7+д.т. (п+с)	5,0	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 355 А-5	4	20 12	1,2	"	6	3-17	1,75	-25...+70	ОК	Бескорпусной
АЛ 308А	4	7	2,5	"	2,5	10	1,65	-10...+50	ОК	Пластмассовый
АЛС 311Б	4	7+д.т.	2,5	"	5,0	9,6	2,0	-10...+50	ОК	то же
АЛС 329 А,Б	4	7+д.т. (ц+с)	2,5	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 329 Ж,И	4	7+д.т. (ц+с)	3,75	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 317 Б	5	1	1,6	Красный	35,0	10	2,0	-60...+70	ОК	Пластмассовый
АЛС 317 Г	5	1	1,6	Зеленый	16,0	10	3,0	-60...+70	ОК	то же
АЛС 317 Д	5	1	1,6	то же	32,0	10	3,0	-60...+70	ОК	"
АЛС 311 А	5	7+д.т.	2,5	Красный	5,0	9,6	2,0	-10...+55	ОК	"
АЛС 328 А,Б	5	7+д.т. (ц+с)	2,5	то же	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 328 В,Г	5	7+д.т. (ц+с)	3,75	"	17,0	3	1,85	-25...+70	ОК	"
АЛС 318 А	9	7+д.т. (ц+с)	2,5	"	24,0	5	1,9	-25...+55	ОК	"
АЛС 318 Б(1 разряд неполный)	9	7+д.т. (ц+с)	2,5	"	24,0	5	1,9	-25...+70	ОА	"
АЛС 343 А-5	-	100	-	то же	5	1	1,8	-60...+70	ОК	Бескорпусной
АЛС 354 А	12	96	2,5; 3,1	Красный	24	5	1,9	-25...+70	ОК	Пластмассовый
АЛС 356 А	9	72	2,5	Зеленый	8	5	2,5	-25...+70	ОК	"
АЛС 364 А-5	-	32	-	то же	5	1	1,8	-60...+70	ОК	то же
КЛШ 301 А-5	1	8	2,5	Зеленый	6	5	2,3	-25...+70	ОК	"

Обозначения: ОА — с общим анодом; ОК — с общим катодом; СУ — со схемой управления в едином корпусе; ПК — с перекрестной коммутацией; ПС — посегментно; ПО — последовательно; д.т. — десятичная точка; (ц+с) — в центре и справа.

создание технологии получения высокоэффективных эпитаксиальных структур соединений  $A^{III}B^V$  и их твердых растворов, исследования излучательной и безызлучательной рекомбинаций в этих структурах, разработка оптимальных конструкций светоизлучающих элементов и базовых конструкций индикаторов, создание оригинальной базовой технологии промышленного производства различных типов индикаторов позволили создать широкую номенклатуру изделий с высокой силой света в красной, желтой и зеленой областях спектра (табл. 2).

Основным результатом является достижение высокой силы света у всех наиболее массовых типов монолитных и гибридных индикаторов красного цвета свечения на основе ГЭ-структур  $GaAs_{0,60}P_{0,40}$  типа  $n^+n$  — самого дешевого и технологичного материала. Создано семейство индикаторов с повышенной силой света, пригодных для эксплуатации в условиях прямой солнечной засветки на основе гетероструктур  $Al_{0,35}Ga_{0,65}As$  (АЛС 332А, КИПЦ-01А (Б) 1/7 к КЛЦ201А (Б)) красного цвета свечения и высокоэффективных структур  $GaP:N$  желтого (КЛЦ402А (Б)) и зеленого (КЛЦ302А (Б)) цвета свечения.

Особо перспективны монолитные планарные индикаторы на основе гетероструктур  $Al_{0,35}Ga_{0,65}As$  с малым потреблением электроэнергии — для генерации изображения с силой света элемента 60 мккд требуется ток 1 мА. На основе этих новых индикаторов могут быть созданы системы отображения цифровой и буквенной информации для широкой номенклатуры изделий массового применения (калькуляторы, электронные наручные часы, кинофотоаппаратура, радиоприемники) с автономным питанием, так как при таком малом потребляемом токе отпадает необходимость в применении схем управления на биполярных транзисторах и срок службы комплекта батарей может быть увеличен в 5—10 раз.

Дальнейшее развитие многоэлементных полупроводниковых индикаторов как основной элементной базы для построения различных устройств и систем отображения информации будет зависеть от успешного решения следующих проблем:

— усовершенствования технологии существующих и создания новых типов эпитаксиальных структур твердых растворов соединений  $A^{III}B^V$ , в особенности гетероструктур в системах  $Al_xGa_{1-x}As$ ,  $In_{1-x}Ga_xP_yAs_{1-y}$ ;

— реализации эффективных способов электрической инжекции неосновных носителей зарядов в структурах на основе бинарных соединений и твердых растворов  $A^{II}B^{VI}$  ( $ZnSe$ ,  $ZnS$  и т.п.);

— совершенствования планарной технологии изготовления кристаллов индикаторов с целью увеличения приведенной силы света до значений 200—1000 мккд/мА и уменьшения рабочих токов

до 1—0,1 мА;

— создания интегральных схем управления в объеме кристалла, содержащего светоизлучающие элементы, т.е. реализации "активных" многоэлементных знаковых индикаторов и экранов;

— разработки устройств отображения информации, полностью использующих такие неоспоримые преимущества полупроводниковых индикаторов, как широкий спектр цветов свечения, высокое быстродействие, большой срок службы и исключительно высокую надежность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сушков В.П. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы для отображения информации на соединениях  $A^{III}B^V$  и их твердых растворах. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 3—29.
2. Обзоры по электронной технике: Индикаторы на борту летательных аппаратов/В.П. Сушков, С.И. Юрков. — М.: 1978 — Вып. 1(521). Сер. Полупроводниковые приборы. — 67 с.
3. Обзоры по электронной технике: Применение индикаторов на борту летательных аппаратов в зависимости от условий внешней освещенности/В.С. Абрамов, В.П. Сушков, С.И. Юрков. — М., 1978, вып. 2. Сер. Полупроводниковые приборы.
4. Берг А., Дин П. Светодиоды. — М., Мир, 1979. — с.
5. Вокер R.L. Luminance-brightness of LED alpha-numeric sources at suprathreshold levels. — J. Opt. Soc. Am., 1978, vol. 68, N 7, p. 949—956.

Статья поступила 7 апреля 1982 г.

УДК 681.327.11:621.383.933

Л.М.Коган, И.Т.Рассохин

## СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ ПОВЫШЕННОЙ СИЛЫ СВЕТА

**Разработанные светоизлучающие диоды повышенной силы света эффективно используются для панельной и внутрисхемной сигнальной индикации, для подсветки, табло индивидуального, группового и коллективного пользования и др.**

В развитии физики и технологии светоизлучающих диодов в последние годы следует отметить значительные достижения. Исследования гетеропереходов в системе  $AlAs-GaAs$  позволили разработать приборы с внутренним квантовым выходом излучения, близким к 100% [1]. Благодаря изучению и использованию эффекта "переизлучения" фотонов [2, 3] при одновременном использовании эффектов "широкозонного окна", "электронного ограничения" и других существенно повышен внешний квантовый выход излучения: до 4% — для красного цвета свечения и до 10% — для инфракрасного излучения диодов с полимерной герметизацией [4, 5]. Исследования излучательной рекомбинации связанных экситонов на изоэлектронных центрах в фосфиде галлия и арсениде фос-

фиде галлия [ 6 ], а также излучательной рекомбинации с участием двух изоэлектронных центров [ 7, 8 ] привели к повышению эффективности электролюминесценции в зеленой области спектра до 0,3–0,5% [ 9 ] и к созданию эффективных светоизлучающих диодов желтого цвета свечения [ 6, 7 ].

Оптимизированы конструкции светоизлучающих диодов. Применены контакты ограниченной площади (отражающие свет) для уменьшения поглощения света на контактах в структурах, прозрачных для генерируемого излучения, используются кристаллы с мезаструктурой для повышения квантового выхода излучения в структурах со сверхлинейной зависимостью светового потока от тока, полимерные линзы высокой прозрачности с рассеивающим свет поверхностным слоем, встроенные отражатели света и т.д.

Таким образом, в настоящее время существенно улучшены параметры светоизлучающих диодов, а разработанная высокопроизводительная технология изготовления приборов на основе использования групповых методов создания омических контактов, многокадровых рамочных держателей, групповых процессов герметизации, специализированных корпусов, применения ЭВМ для контроля фотометрических параметров и т.п., позволила благодаря снижению трудоемкости резко расширить выпуск приборов, уменьшить их стоимость.

Разработанные светоизлучающие диоды находят широкое применение в различных областях техники. Высокоэффективные светоизлучающие диоды (например, типа АЛ341, ЗЛ341, АЛ307КМ-ИМ) позволяют осуществлять сигнальную индикацию в трех цветах свечения (красном, зеленом и желтом). Для малогабаритной аппаратуры (фотоаппаратов, радиоприемников) созданы миниатюрные светоизлучающие диоды, которые также могут быть использованы для контроля функционирования БИС и микропроцессоров. Разрабатываются табло индивидуального, группового и коллективного пользования на основе светоизлучающих диодов. Для сокращения их габаритов и веса созданы светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения (например типа АЛС331А, ЗЛС331А). С помощью светоизлучающих диодов с прямоугольной, круглой и другой светоизлучающей поверхностью отображается мнемоническая информация. Подсветка постоянных надписей и меток осуществляется светоизлучающими диодами с узкой диаграммой направленности излучения (например, типа АЛ336). Все более расширяется использование излучающих диодов с красным и инфракрасным излучением (диоды типов ЗЛ365, АЛ108АМ и др.) в фотоэлектрических устройствах.

Светоизлучающие диоды изготавливаются на основе ряда эпитаксиальных структур: гетероэпитаксиальных структур в системе  $AlAs-GaAs$  (красное свечение, инфракрасное излучение) [ 3, 4 ],

двухслойных эпитаксиальных структур фосфида галлия  $GaP: Zn-O$  (красное свечение) [ 11, 12 ],  $GaP: N$  (зеленое свечение),  $GaP: N, Zn-O$  (желтое свечение) [ 10, 11 ], двухпереходных эпитаксиальных структур фосфида галлия с красным и зеленым цветом свечения [ 13 ].

Омические контакты к светоизлучающим структурам изготавливаются на основе тонкопленочных металлических покрытий  $Ni-Au-Sn$  (к  $n$ - и  $p$ -типам  $GaP$ , к  $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ ),  $Ni-Au-Zn$  (к  $p$ -типу  $GaP$ ),  $Ni-Au$  (к  $p-GaAs$ ) [ 7 ]. Покрытия наносятся химико-гальваническим методом. Для создания низкоомных омических контактов поверхностная концентрация дырок в эпитаксиальных слоях фосфида галлия  $p$ -типа повышается с помощью диффузионного долегирирования цинком до уровня не менее  $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$  [ 14, 15 ].

Светоизлучающие кристаллы приборов, предназначенных для сигнальной индикации, изготавливаются плоской конфигурации размером около  $0,5 \times 0,5 \times 0,3 \text{ мм}$  (рис.1). Площадь омического контакта к световыводящей стороне кристалла не превышает 20% площади грани (см.рис. 1, а, г). Нижний омический контакт изготавливается либо сплошным (см.рис.1, д – для кристаллов, непрозрачных для генерируемого излучения), либо площадью, не превышающей 30–40% площади нижней грани (см.рис.1, б, в, е – для кристаллов прозрач-

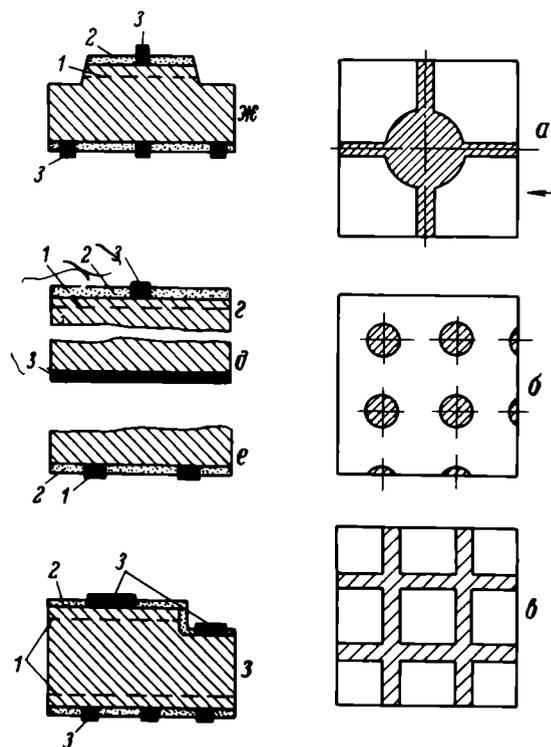


Рис. 1. Устройство светоизлучающих кристаллов плоской конфигурации (а–е); с мезаструктурой (ж); с двумя  $p-n$  переходами для приборов с управляемым цветом свечения (з); 1 –  $p-n$  переход; 2 – слой диэлектрика; 3 – омический контакт

ных для генерируемого излучения). Применение нижних контактов ограниченной площади увеличивает внешний квантовый выход излучения для кристаллов из GaP: Zn — O в 2–3 раза, из GaP: N — в 1,5 раза [ 11 ].

Кристаллы из структур GaP: N и GaP: N, Zn — O для приборов с повышенной эффективностью изготавливаются с мезаструктурой с площадью  $p-n$  перехода около  $0,08 \text{ мм}^2$  (рис.1, ж ). Повышение эффективности в 1,3–1,5 раз обусловлено сверхлинейной зависимостью квантового выхода излучения от плотности тока ( $\eta \approx j^n$ , где  $n \approx 1,5$  для плотностей тока вплоть до  $200 \text{ А/см}^2$ ). Сила света кристаллов из GaP: N с мезаструктурой составляет 500–800 мккд при токе 10 мА.

Кристаллы из гетероструктур  $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$  для приборов, предназначенных для подсветки, изготавливаются с мезаструктурой диаметром 0,3–0,35 мм. Это позволяет получить более узкую диаграмму направленности излучения и повысить силу света приборов. Сила света кристаллов составляет 800–1600 мккд при 10 мА.

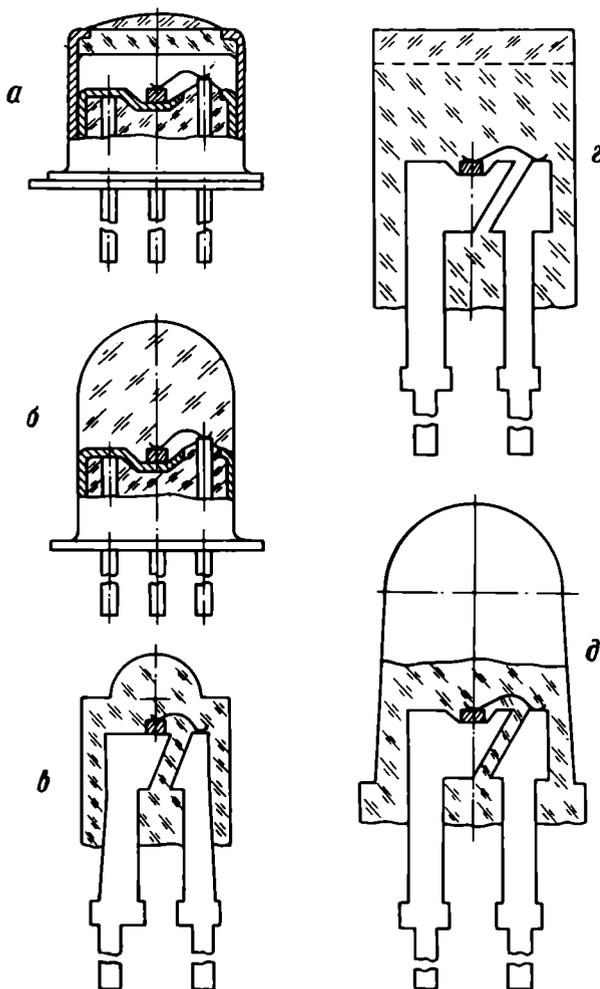


Рис.2. Устройство некоторых типов светоизлучающих диодов: а — ЗЛ341, ЗЛС331А; б — АЛС331А; в — миниатюрный светоизлучающий диод и ИК-диод АЛ108АМ; г — диод с прямоугольной светоизлучающей поверхностью  $5 \times 2,5 \text{ мм}$ ; д — АЛ336

Кристалл светоизлучающего диода с управляемым цветом свечения (рис.1, з) содержит два  $p-n$  перехода в структуре GaP, один из которых легирован Zn и O и излучает красный свет, другой — N и излучает зеленый свет. Со стороны одного из  $p-n$  переходов кристалл содержит мезаструктуру для выявления базовой  $n$ -области. Принцип действия диода с управляемым цветом свечения следующий: при включении одного из  $p-n$  переходов диод излучает красный или зеленый свет, при включении обоих  $p-n$  переходов благодаря прозрачности фосфида галлия может быть получено свечение желтого, оранжевого и других цветов между красным и зеленым, в зависимости от величины токов через  $p-n$  переходы.

Пространственное распределение излучения кристаллов из  $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$  — ламбертовское, кристаллов из GaP — более широкое, чем ламбертовское (типичная величина угла излучения —  $170^\circ$ ) благодаря прозрачности фосфида галлия для генерируемого излучения.

Конструкции некоторых типов светоизлучающих диодов приведены на рис.2. Диоды типов АЛ341, ЗЛ341, ЗЛС331А изготавливаются в специализированном металлокерамическом корпусе КИ-1. Ножка корпуса содержит посадочное место для кристалла с отражающими свет наклонными стенками, что позволяет повысить эффективность приборов за счет использования бокового излучения кристаллов. На световыводящее стеклянное окно диаметром 3,5 мм нанесена полимерная линза со светорассеивающим наполнителем. Полимерная линза увеличивает светящееся пятно и улучшает восприятие свечения. Угол излучения диодов составляет  $60^\circ$ .

Светоизлучающие диоды типа АЛ307, АЛ336 и АЛС331А изготавливаются в конструкции с монолитной полимерной герметизацией с полусферическим прозрачным куполом с использованием либо медного кристаллодержателя (АЛ307, АЛ336), либо держателя в виде стандартной ножки (АЛС331А). Угол излучения таких приборов определяется отношением  $S/R$ , где  $S$  — высота полимерного купола над кристаллом, а  $R$  — радиус полусферы полимерного купола [ 11 ]. Для диодов с широкоугольным излучением, например типа АЛ307,  $S/R = 1,6$ , что позволяет получить угол излучения  $50 \pm 10^\circ$ . Диоды с узкой диаграммой направленности излучения (типа АЛ336) изготавливаются с  $S/R \approx 2$ , что при условии  $R/r \geq 15$  ( $r$  — эффективный радиус светящейся поверхности кристалла) позволяет получить угол излучения в пределах  $6-20^\circ$  при типичном значении  $8-15^\circ$ . Для диодов с широкой диаграммой направленности излучения применение держателя с встроенным отражателем света значительно повышает эффективность приборов. Угол излучения и восприятие приборов, предназначенных для сигнальной индикации, повыша-

ются за счет введения в полимер светорассеивающего наполнителя.

Миниатюрные светоизлучающие диоды и излучающие диоды инфракрасного диапазона (например типа АЛ108АМ) также изготавливаются в конструкции с монокристаллической полимерной герметизацией с использованием медного многокадрового держателя. Габариты прибора со световыводящей стороны не превышают 2,5 × 4 мм (см. рис. 2, в), а диаметр линзы — около 2,5 мм. Поскольку такие светоизлучающие диоды часто применяются в устройствах с автономным питанием, их параметры установлены при токе 5 мА: сила света приборов красного цвета свечения — не менее 0,9 мкд, зеленого цвета свечения — не менее 0,5 мкд. Приборы обладают достаточной яркостью свечения уже при токах 0,5–1 мА. Излучающий диод инфракрасного диапазона типа АЛ108АМ изготавливается на основе эпитаксиальных гетероструктур в системе AlAs — GaAs [3] и характеризуется мощностью излучения в угле 90° 3–5 мВт при токе 100 мА и быстродействием 40–60 нс. Длина волны в максимуме спектральной полосы излучения 840–860 нм. Благодаря малым габаритным размерам прибор может быть использован в устройствах ввода-вывода информации в ЭВМ.

Светоизлучающие диоды с прямоугольной, круглой, треугольной или другой светоизлучающей поверхностью, предназначенные для отображения мнемонической информации, изготавливаются в конструкции с монокристаллической полимерной герметизацией, содержащей прозрачный объем и светорассеивающий поверхностный слой. Сила света диодов превышает 1 мкд при токе 10 мА. Изготавли-

ваются также приборы со светящейся площадью 1–2 см², содержащие несколько кристаллов. Эти изделия предназначаются для систем отображения информации коллективного пользования.

Фотометрические параметры некоторых типов светоизлучающих диодов приведены в таблице. Для диодов типа АЛ336 сила света при токе 50 мА достигает 0,5 кд (красное свечение) и 0,3 кд (зеленое свечение). При импульсном электрическом питании могут быть получены существенно большие амплитудные значения силы света. Для диодов из GaP: N в связи с сверхлинейной зависимостью силы света от тока применение импульсного режима повышает эффективность приборов. Дифференциальное сопротивление диодов на почти линейном участке вольт-амперной характеристики составляет 0,7–1,2 Ом (для Ga<sub>0,7</sub>Al<sub>0,3</sub>As) и 3–10 Ом (для GaP).

Для диодов с мезаструктурой высокие значения внешнего квантового выхода излучения достигаются при малых токах (0,5–2 мА), благодаря чему приборы могут быть использованы при малом потреблении энергии. Наличие значительного интервала токов (5–50 мА) с практически постоянной величиной квантового выхода излучения позволяет использовать приборы в аналоговых устройствах. По абсолютной величине квантовый выход излучения составляет 2–4% для диодов из Ga<sub>0,7</sub>Al<sub>0,3</sub>As и около 0,1% для диодов из GaP: N.

Оптическая эффективность приборов может быть выражена отношением силы света к потребляемой мощности [16]. Для диодов с красным свечением типа АЛ336 это отношение достигает 10 кд/Вт, для диодов с зеленым свечением

Фотометрические и электрические параметры некоторых типов светоизлучающих диодов

Тип светоизлучающего диода	Эпитаксиальная структура	Корпус	Цвет свечения, длина волны, нм	Сила света при токе 10 мА, мкд		Угол излучения (типичное значение), град.	Прямое напряжение (не более), В
				мин.	макс.		
ЗЛ341Б АЛ341Б	GaP: Zn-O	Металло-стеклянный	Красный, λ <sub>макс</sub> = 700 нм	0,5	1,5	60	2,8
ЗЛ341Г АЛ341Г	GaP: N	Металло-стеклянный	Зеленый, λ <sub>макс</sub> = 565 нм	0,5	1,5	60	2,8
ЗЛ341Е АЛ341Е	GaP: N, Zn-O	Металло-стеклянный	Желтый, λ <sub>эфф</sub> = 580 нм	0,5	1,5	60	2,8
АЛ336Б АЛ336К	Ga <sub>0,7</sub> Al <sub>0,3</sub> As	Полимерный	Красный, λ <sub>макс</sub> = 660 нм	20	50	18 10	2,0 2,0
АЛ336Г АЛ336И	GaP: N	Полимерный	Зеленый, λ <sub>макс</sub> = 565 нм	15	25	15	2,8 2,8
АЛ336Е АЛ336Ж	GaP: N, Zn-O	Полимерный	Желтый, λ <sub>эфф</sub> = 580 нм	10	20	15	2,8 2,8
АЛ307КМ	Ga <sub>0,7</sub> Al <sub>0,3</sub> As	Полимерный	Красный, λ <sub>макс</sub> = 660 нм	2	5	50	2,0
АЛ307НМ	GaP: N	Полимерный	Зеленый, λ <sub>макс</sub> = 565 нм	6	10	50	2,8
АЛС331А	GaP	Полимерный	Красный, } зеленый }	0,8	1,5	40	4,0
ВЛС331А	GaP	Металло-стеклянный	Красный, } зеленый }	0,25	1,0	60	3,0

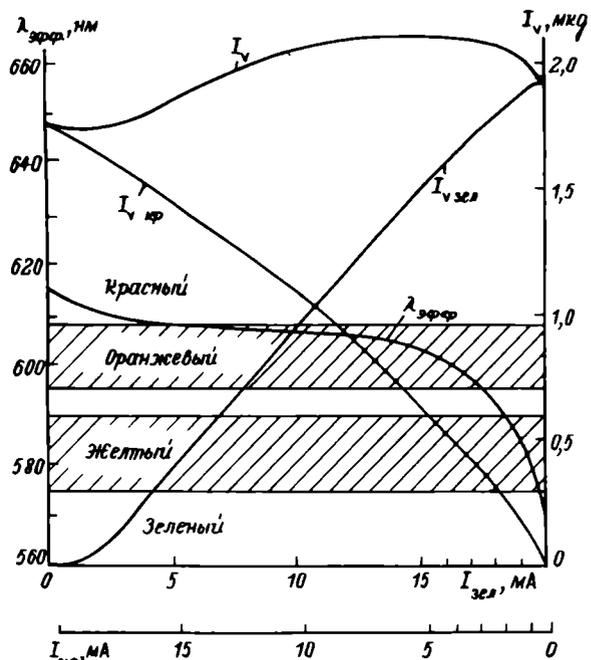


Рис. 3. Зависимость цвета свечения от величины тока через р-я переходы для светоизлучающего диода с управляемым цветом свечения

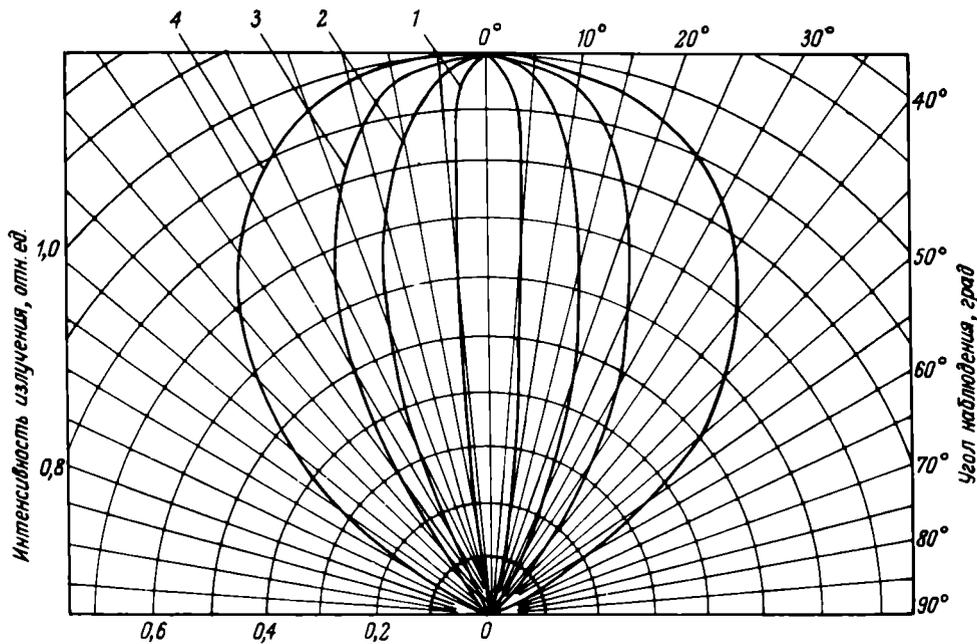


Рис. 4. Типичные диаграммы направленности излучения некоторых типов светоизлучающих диодов: 1 – АЛ336, 2 – АЛ307, АЛС331А; 3 – АЛ341, ЗЛ341, ЗЛС331А, АЛ108АМ; 4 – для отображения мнемонической информации

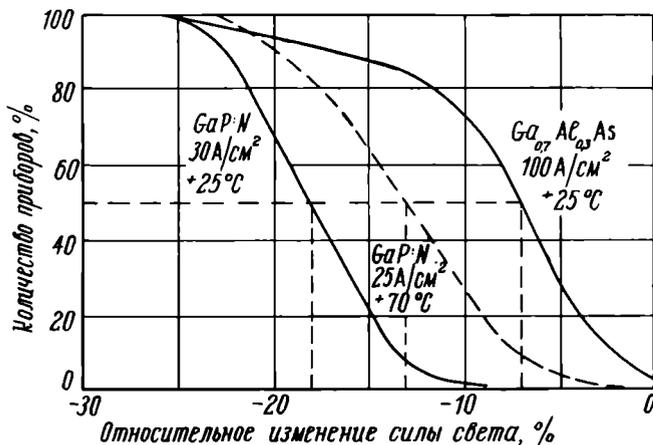


Рис. 5. Относительное изменение силы света светоизлучающих диодов в результате работы в течение 500 ч

2,5 кд/Вт, что значительно превышает соответствующие значения для миниатюрных окрашенных ламп накаливания [16].

Быстродействие светоизлучающих диодов находится в пределах 50–80 нс (для диодов из  $Ga_{0,7}Al_{0,3}As$ ) и в пределах 250–400 нс (для диодов из GaP).

Зависимость цвета свечения от величины токов через  $p-n$  переходы светоизлучающего диода с управляемым цветом свечения приведена на рис. 3. Как видно, диод позволяет изменять цвет свечения от красного до зеленого с получением промежуточных цветов.

Типичные диаграммы направленности излучения некоторых типов приборов приведены на рис. 4.

В результате введения тонкопленочных омических контактов, улучшения теплоотвода, создания

мезаструктур существенно повышена стабильность параметров приборов в процессе эксплуатации. Для диодов с мезаструктурой значения плотности тока, при которых деградация параметров невелика, составляют 25–30 А/см<sup>2</sup> для диодов из GaP:N и 50–100 А/см<sup>2</sup> для диодов из  $Ga_{0,7}Al_{0,3}As$  (рис. 5).

#### ЛИТЕРАТУРА

- 100%-ый внутренний квантовый выход излучательной комбинации в трехслойных гетеросветодиодах на основе системы AlAs–GaAs / Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, Д.З. Гарбузов и др. – Физика и техника полупроводников, 1975, т. 9, вып. 3, с. 462–469.
- Многопроходные гетероструктуры. II. Внешний квантовый выход / Ж.И. Алферов, В.Г. Агафонов, Д.З. Гарбузов и др. – Физика и техника полупроводников, 1976, т. 10, вып. 8, с. 1497–1506.
- Переизлучающие гетероэпитаксиальные структуры  $Al_xGa_{1-x}As$  для систем передачи и отображения информации / С.А. Бондарь, Н.В. Брагин, Д.В. Галченков и др. – Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 57–65.
- Гетеросветодиоды красного цвета свечения на основе твердых растворов  $Ga_{1-x}Al_xAs$  с внешним квантовым выходом  $\eta_{вн} \approx 4\%$  / Д.В. Галченков, Л.М. Коган, С.А. Бондарь, Н.И. Ковырева. – Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, вып. 15, с. 736–741.
- Эффективные двухслойные гетероструктуры в системе GaAs–AlAs для ИК-излучателей в активной области, легированной Ge и Zn / Д.В. Галченков, Л.М. Коган, С.А. Бондарь, Н.И. Ковырева. – В кн.: Аннотации и тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Дальнейшее развитие оптоэлектроники". М.: 1977, с. 35–36.
- Craford M.G. Recent development in light-emitting-diode technology. – IEEE Transactions on Electron Devices, 1977, vol. 24, N 7, p. 935–943.
- Эффективные эпитаксиальные диодные источники из фосфида галлия с свечением зеленого, желтого и оранжевого цвета / Л.М. Коган, Б.И. Вишневская, А.Л. Гофштейн-Гардт и др. – Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1976, вып. 6, с. 67–76.
- Излучательная рекомбинация в структурах  $p-GaP(Zn, O) - n-GaP(Te, N)$  для желтых и оранжевых светодиодов / Э.Ю. Барينو-ва, Б.И. Вишневская, А.Ю. Голубев и др. – Физика и техника полупроводников, 1979, т. 13, вып. 3, с. 478–487.
- High-efficiency GaP green LED's with double n-LPE

layers /M.Iwamoto, M.Tashiro, T.Berpu, A.Kasami. — Japanese Journal of Applied Physics, 1980, vol.19, N 11, p.2157–2163.

10. Высокотехнологичные светоизлучающие диоды зеленого и желтого свечения на основе жидкофазных GaP *p-n* структур/Б.И.Вишневская, Л.М.Коган, М.С.Минаждинов и др. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып.6, с.60–64.

11. Коган Л.М. Светоизлучающие диоды. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып.3, с.100–111.

12. Диодные источники красного излучения из GaP, полученного методом Чохральского/В.И.Амосов, А.П.Изергин, Л.М.Коган и др. — Электронная техника. Сер.6. Материалы, 1972, вып.1, с.121–123.

13. Двухпереходные GaP светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения/В.Л.Воробьев, В.Н.Гришин, Л.М.Коган и др. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1977, вып.4, с.33–36.

14. Исследование влияния термообработок различных типов на интенсивность катодолюминесценции эпитаксиальных GaP *p-n* структур, легированных азотом/В.И.Петров, Ю.А.Голубев, Л.М.Коган, В.А.Рубисова. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1978, вып.4, с.27–32.

15. Исследование влияния условий термообработок на интенсивность катодолюминесценции GaP:Zn, O *p-n* структур/Ю.А.Голубев, Л.М.Коган, В.И.Петров, В.А.Рубисова. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1979, вып.6, с.51–54.

16. Техничко-экономические вопросы применения светодиодов в качестве элементов индикации и подсветки в системах отображения информации/С.А.Дохман, С.М.Ковыкин, Л.М.Коган и др. — Светотехника, 1977, № 8, с.10–12.

Статья поступила 15 марта 1982 г.

УДК 621.387.322.3

О.Р.Абдуллаев, В.С.Абрамов,  
С.Г.Власкина, В.П.Сущков

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ИНДИКАТОР КРАСНОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ С МАЛЫМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТОКА

Разработанный индикатор с током потребления 1 мА на сегмент и силой света не менее 60 мккд позволит качественно улучшить структуру и параметры систем управления и контроля с автономным питанием. Применение такого индикатора в электронных наручных часах позволяет изготавливать часы с одной КМОП СБИС (в настоящее время в электронных часах используются две интегральные схемы) и прямым управлением индикаторов от этой схемы, при этом гарантированный срок службы комплекта батарей электронных часов увеличивается вдвое.

Исходным материалом для создания индикаторов с малым потреблением тока были специально разработанные эпитаксиальные структуры Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As прямозонного состава *p<sup>+</sup>-p-n*-типа (структура типа САГА-2000, характеризующаяся минимальным значением яркости 5000 кд/м<sup>2</sup> при плотности тока 4,65 А/см<sup>2</sup>).

Индикатор содержит десять элементов (девять сегментов с децимальной точкой) с высотой отображаемого знака 2,5 мм. Ширина излучающего элемента — 120 мкм. Топология кристалла позво-

ляет использовать его либо в качестве бескорпусного индикатора в электронных часах и других гибридных микросхемах, либо в качестве кристалла однозарядных (АЛС 314) и многозарядных индикаторов (АЛС328–АЛС330).

К особенностям разработанной планарной технологии на Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As следует отнести: использование в качестве защитного покрытия при проведении разделительной диффузии композиции поликремния с двуокисью кремния; травление диэлектрических покрытий и снятие фоторезиста, проводимые в одном процессе на установке "Плазма-600"; использование в качестве омического контакта к *n*-области Au:Ge:As, к *p*-области — Au-Zn. Разделительная диффузия цинка (источник диффузии ZnAs<sub>2</sub>) проводится в течение 2 ч при температуре 700°С.

Основные параметры индикатора:

Сила света элемента при прямом токе 1 мА, мккд . . . . .	60–200
Прямое падение напряжения на элементе, В . . . . .	1,5–1,8
Отношение силы света наиболее яркого элемента к силе света наименее яркого элемента . . . . .	1,3–1,9
Рабочий диапазон температур, °С . . . . .	– 60 . . . . . 70

Применение линз увеличивает видимый размер знака и силу света элемента в 1,5–3 раза за счет сужения диаграммы направленности. Кристаллы, собранные в корпусе АЛС328, обеспечивают надежное считывание информации при постоянном прямом токе 0,1–0,2 мА через излучающий элемент. Дальнейшее снижение потребляемого тока связано с переходом от статического к мультиплексному режиму работы.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932

Ж.Я.Вортман, Ю.В.Димитриев,  
Т.А.Кротова, В.И.Павличенко

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЗНАКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ И МОДУЛИ ЭКРАНА С ПЕРЕКРЕСТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ

На основе использования матричных индикаторов и модулей экрана можно создать полупроводниковые многофункциональные устройства отображения информации, которые существенно упростят приборные панели и пульта многих технических объектов, а также позволят изготовить многорежимные пульта управления.

В самых различных областях техники используются малогабаритные средства информации, по-

звонящие воспроизводить на табло цифровую, матричную и графическую информацию. Широкое применение в этих устройствах нашли полупроводниковые матричные индикаторы, которые благодаря большому сроку службы, малым габаритам и весу имеют существенное преимущество в сравнении с электролюминесцентными матричными индикаторами на эффекте тлеющего разряда.

В статье рассмотрены конструкция, технология изготовления и электролюминесцентные параметры матричных индикаторов красного, желтого и зеленого цвета свечения с перекрестной коммутацией.

Индикаторы красного, желтого и зеленого цвета свечения изготавливаются по базовой планарной технологии. В качестве исходного материала используются эпитаксиальные структуры  $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$  красные,  $\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}$  желтые,  $\text{GaP}$  зеленые.

Светоизлучающие  $p-n$  переходы красного цвета свечения формируются путем локальной диф-

фузии цинка в пластины, проводимой в отпаянной ампуле из источника цинк-галлий в присутствии паров фосфора. В качестве омического контакта к  $p$ -области используется слой алюминия, к  $n$ -области — слой сплава золото-германий. Аналогично получают  $p-n$  переходы желтого цвета свечения на эпитаксиальных структурах  $\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}$  на подложке  $\text{GaP}$ , изготовленных методом газофазной эпитаксии.

Светоизлучающие  $p-n$  переходы зеленого цвета изготавливаются на легированных азотом эпитаксиальных структурах  $\text{GaP}$ , полученных жидкофазной эпитаксией. Перед нанесением омических контактов в  $p$ -области этих структур формируется поверхностный низкоомный слой глубиной 1–5 мкм в результате диффузионного отжига структур в отпаянной ампуле из источника цинка в присутствии паров фосфора. Омическим контактом к  $p$ -области является слой алюминия, к  $n$ -области — слой сплава золото-германий, причем последний наносится на 20–40% нижней поверхности кристалла, остальная часть которой покрыта слоем  $\text{SiO}_2$ .

При выборе конструкции корпуса для матричного полупроводникового индикатора учитывались весьма высокие технологические требования к сборке, обусловленные необходимостью высокой точности размещения большого количества кристаллов; требования, определяемые необходимостью реализации перекрестной коммутации, осуществляемой внутри корпуса (так как матричные индикаторы целесообразно эксплуатировать в мультиплексном режиме); а также требования, обусловленные оптической системой индикатора, т.е. связанные с необходимостью размещения в светопроводящей крышке большого количества конических отверстий малого размера (с диаметром 1–2 мм), расположенных друг относительно друга на расстоянии 0,2–0,4 мм. Всем этим требованиям оптимально соответствует конструкция, собранная на многослойном керамическом держателе, представляющая собой вместе со светопроводом монолитную герметичную конструкцию (рис. 1, *a–г*). Технология многослойных керамических держателей позволяет реализовать и такие сложные конструкции, как полупроводниковые модули экрана с бесшовной стыковкой, без потери шага между элементами.

Разработанные по данной технологии знаковые индикаторы имеют эффективную световую изоляцию между элементами во избежание возможности появления ошибки в считывании выводимой информации. В обоих вариантах конструктивного оформления прибора кристаллы полупроводниковых соединений  $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$  и  $\text{GaP}$  размером 0,4×0,4 мм с электролюминесцирующим  $p-n$  переходом в количестве 36 шт. наклеивали на керамическую плату в семь рядов на предварительно металлизированные полоски, осуществляющие электрическое соединение кристаллов в ряду по нижнему омическо-

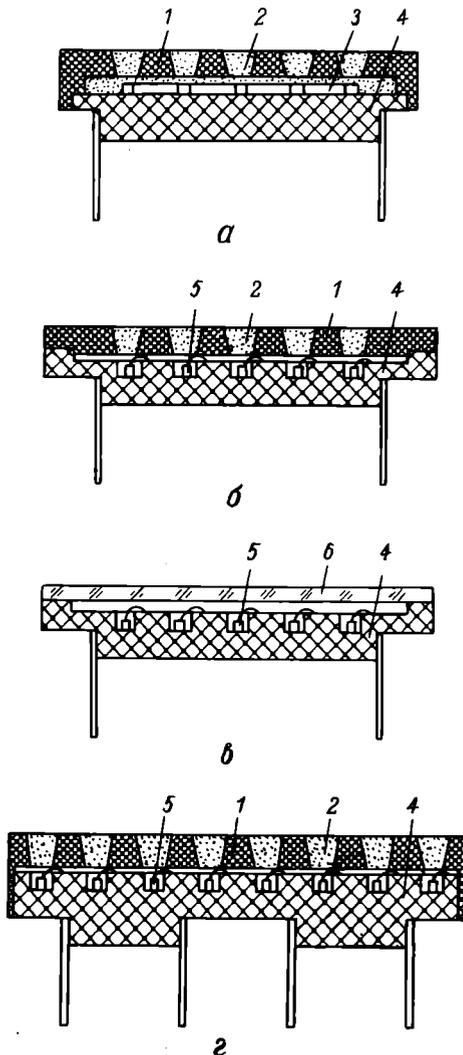


Рис. 1. Конструкция знаковых индикаторов: *a* — монолитная; *б* — поляя со светорассеивающей крышкой; *в* — поляя со стеклянной пластиной; *г* — модуль экранов; 1 — светопровод; 2 — компунд; 3 — монолитный кристалл; 4 — керамический держатель; 5 — дискретный кристалл; 6 — стеклянная крышка

му контакту, а затем разводили золотой проволокой в пять столбцов, расположенных в направлении, перпендикулярном рядам (для обеспечения электрического соединения кристаллов в столбце по верхнему омическому контакту). Данный гибридный вариант многоэлементного источника света позволяет снизить расход дорогостоящего полупроводникового материала и, следовательно, себестоимость изготовления прибора. Кроме того, он позволяет сравнительно просто решить проблему оптической изоляции элементов, особенно трудно решаемую в случае использования монолитных кристаллов полупроводниковых соединений с непрямой структурой зон, например, фосфида галлия. В этом случае изображение с высотой знака 9 мм формируется с помощью световода, образуемого отражающими свет стенками светопроводящей пластмассы, которая обеспечивает направленно рассеянное прохождение света и оптическую изоляцию отдельных элементов в светопроводе необходимых размеров. Размер одного элемента на лицевой панели составляет в диаметре 0,8–1,0 мм. Использование светопроводящей крышки с сеткой конических отверстий, металлизированных изнутри серебром, позволяет обеспечить эффективную оптическую развязку между элементами, а также повышенную и воспроизводимую точность в размещении элементов. Засветка элементов индикатора, расположенных рядом с подключенным элементом, не превышает 3–8%, причем меньшие значения соответствуют приборам красного цвета свечения на основе  $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ , а большие — приборам зеленого цвета свечения на основе GaP.

Знаковый индикатор зеленого цвета свечения выполнен в стеклокерамическом корпусе (см. рис. 1, *г*). В данном случае 36 дискретных кристаллов (35 элементов и десятичная точка) с электролюминесцирующими *p-n* переходами размещены в посадочных местах ("колодцах") многослойного керамического держателя, к которому приклеена стеклянная пластина, через которую осуществляется вывод света наружу. Оптимально простой вариант достижения высокой контрастности изображения данного конструктивного оформления прибора связан с использованием держателя из керамики черного цвета. При этом значительно улучшается видимость при считывании информации, несмотря на некоторое снижение силы света в сравнении с использованием белой керамики. Повышение контрастности изображения может быть осуществлено также и в результате напыления на стеклянную пластину светопоглощающего слоя поликремния с последующей фотолитографией, с помощью которой вскрываются окна различной конфигурации (круглые или квадратные) для вывода излучения. Однако это покрытие существенно снижает угол обзора. Химическое и механическое матирование стекла обеспечивает необходимый эффект рассеяния и значительно (почти вдвое) снижа-

ет выходную силу света прибора. Стеклянная пластина может быть заменена пластмассовой непрозрачной пластиной, сквозные отверстия которой заполнены прозрачным компаундом с рассеивающей добавкой (см. рис. 1, *б*).

На рис. 2, *б* представлен внешний вид полупроводниковых знаковых индикаторов в пластмассовом и стеклокерамическом корпусах с числом элементов 7×5 и десятичной точкой. Высота знака составляет 9 мм. Пластмассовый корпус имеет размер 19,5×10,2 мм, а стеклокерамический — 18,0×12,0 мм. Данные знаковые индикаторы позволяют высвечивать 64 различных символа.

Представляют интерес знаковые индикаторы на монолитных брусках (линейках) полупроводникового материала (рис. 3, *а*), изготовленные гибридным способом. В данном случае на керамическую плату наклеивают семь параллельных брусков шириной 0,3–0,5 мм с локальными *p-n* переходами, разделенными участками полупроводникового материала без *p-n* перехода. В случае непрямо-зонных полупроводников (например, GaP) на нижний контакт кристаллов наносятся слои поликремния толщиной 0,5–1,0 мкм (напыляемые из кремниевой мишени в атмосфере аргона) во избежание распространения света по бруску от элемента к элементу. Этот вариант позволяет существенно снизить трудоемкость сборки матричных индикаторов и повысить выход годных приборов (более чем в два-три раза). Кроме того, уменьшается деградация люминесцентных свойств локальных *p-n* переходов из-за оптимального распространения давления под иглой по бруску при присоединении золотой проволоки к омическому контакту в отличие от гибридного варианта сборки кристаллов с размером сторон 0,4×0,4 мм и повышается надежность прибора.

Основные технические характеристики матричных индикаторов приведены в таблице. Сила света знакового индикатора красного цвета свечения при токе 10 мА через один элемент составляет 120–600 мккд. Использование в качестве исходного материала твердого раствора арсенид галлия — ар-

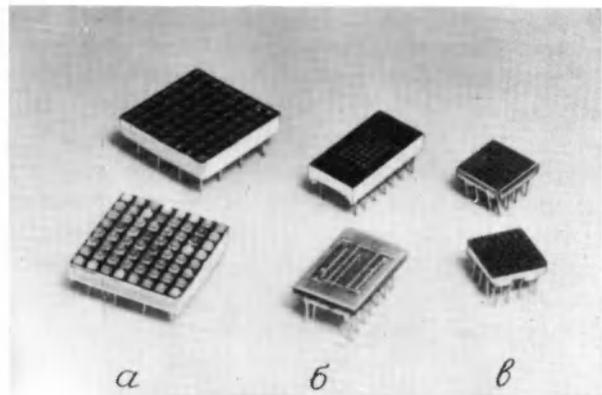


Рис. 2. Внешний вид знаковых индикаторов и модулей экранов: *а* — модули экранов размером 20×20 мм; *б* — знаковые индикаторы в пластмассовом и стеклокерамическом корпусе; *в* — модули экранов размером 10×10 мм

сенид алюминия позволяет достигнуть при том же токе силы света 700–1500 мккд, а также обеспечивает возможность снижения тока потребления на элемент до 1–5 мА при силе света соответственно 100–500 мккд.

Основные технические характеристики полупроводниковых знаковых индикаторов и модулей экрана

Наименование	Знаковые индикаторы			Модуль экрана	
	красного цвета свечения	желтого цвета свечения	зеленого цвета свечения	красного цвета свечения	зеленого цвета свечения
Сила света элемента индикатора, усредненная по всем его элементам, при токе через элемент 10 мА, мккд	120–600 (700–1500)*	60–200	100–400	150–600 (700–1500)*	100–400
Прямое напряжение на элементе при токе 10 мА, В	1,7–2,5	2,3–4,0	2,3–4,0	1,7–2,5	2,3–4,0
Габаритные размеры, мм	19,5×10,2	19,5×10,2	18×12	10×10 20×20	10×10 20×20
Количество внешних выводов, шт.	13	13	13	16	16
Шаг внешних выводов, мм	2,5	2,5	2,5	2,5 и 5	2,5 и 5

\* для структур на основе GaAlAs.

Сила света элементов знакового индикатора желтого и зеленого цвета свечения составляет 100–400 мккд при токе 10 мА. Более высокие значения силы света у последних индикаторов достигаются при дополнительном диффузионном легировании цинком поверхностного слоя *p*-области при температуре 780–800°C, а также при введении отражающего покрытия на *n*-стороне фосфидагаллиевых кристаллов.

Необходимо отметить, что при креплении кристаллов к держателю по нижнему омическому контакту методом пайки на основе эвтектического сплава Au–Ge из-за хороших отражающих свойств расплывшегося вокруг кристалла сплава интенсивность излучения увеличивается в сравнении с креплением кристаллов токопроводящим клеем на 20–30%.

Относительный разброс силы света свечения между элементами индикатора не превышает ± 60%.

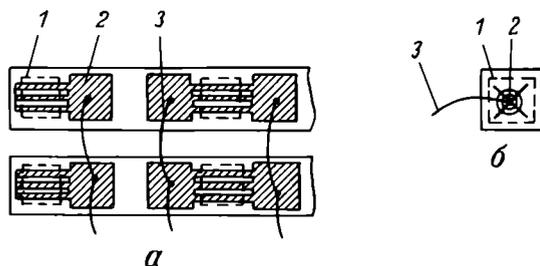


Рис. 3. Внешний вид дискретного (а) и монолитного (б) кристаллов с разводкой золотой проволокой: 1 – область *p-n* перехода; 2 – контактная площадка; 3 – золотая проволока

т.е. максимальное значение силы света одного элемента не превышает минимального значения силы света другого элемента (в одном индикаторе) более чем в четыре раза. Однако у большинства индикаторов разброс не превышал +33%. С повышением величины пропускаемого через элемент тока этот разброс по силе света свечения неуклонно снижается, так как снижается доля тока утечки, шунтирующего *p-n* переход.

Зависимость силы света элементов индикатора от тока в диапазоне токов 1–150 мА для элементов на GaAs<sub>0,6</sub>P<sub>0,4</sub> и 1–300 мА для элементов на GaP сверхлинейна (как правило близка к квадратичной) и лишь при больших плотностях тока она становится близкой к линейной.

Сила света свечения знаковых индикаторов снижается при повышении температуры до 100°C и существенно повышается при снижении температуры до –60°C. В диапазоне температур от –60 до +85°C сила света свечения изменяется в несколько раз.

Спектральное распределение излучения индикаторов красного цвета свечения имеет максимум при 655 нм, а у приборов желтого и зеленого цвета свечения – при 590 и 565 нм соответственно.

На рис. 2, а изображен внешний вид 64-элементного индикатора – модуля экрана с бесшовной стыковкой размером 10×10 мм. Предлагаемый модуль экрана обеспечивает размещение и коммутацию 64 гибридных кристаллов (рис. 3, б) с *p-n* переходом и омическими контактами с обеих сторон (светодиодов) и является ячейкой для бесшовного набора различных типов экранов квадратной или прямоугольной формы с различным числом строк и столбцов.

Исходя из необходимости рассеяния значительной мощности, выделяемой каждым из светодиодов, а также с учетом повышенных температур и значительных механических воздействий при эксплуатации, в качестве исходного материала держателя выбрана высокоглиноземистая керамика. Держатель содержит 64 монтажных "колодца" под кристаллы светодиодов и 16 внешних ленточных выводов, обеспечивающих связь между всеми светодиодами и внешним монтажом схемы управления. Электрическая схема держателя формирует восьмиразрядную матрицу (восемь строк и восемь столбцов), причем каждая строка и столбец соединены с внешними выводами. В верхнем слое монолитной четырехслойной керамической платы размещены 64 монтажных "колодца" и восемь топологических дорожек для присоединения анодных выводов кристаллов светодиодов к "строчным" выводам. На втором слое выполнена монтажная схема для соединения катодов кристаллов светодиодов к "столбцевым" выводам. На остальных слоях выполнено монтажное соединение, обеспечивающее вывод "столбцевых" и "строчных" дорожек на нижнюю часть платы для присоединения к внешним выводам. На нижней стороне платы предусмотре-

ны два бортика для крепления внешних выводов. Торцевая распайка выводов позволяет осуществить бесшовную стыковку отдельных держателей и соответственно модулей экрана в большие экраны.

Модули экрана красного и зеленого цвета свечения изготавливаются на тех же электролюминоэцирующих кристаллах арсенид-фосфид галлия и фосфида галлия, что и знаковые индикаторы, и имеют аналогичные параметры. Предлагаемая конструкция модулей экрана в пластмассовом корпусе со светопроводом впервые позволила стыковать их друг с другом бесшовно, т.е. без потери шага между элементами. Бесшовная стыковка модулей экрана друг с другом обеспечивает формирование непрерывных индикаторных полей произвольной формы с высокой контрастностью изображения типа световой газеты.

Наряду с монолитной конструкцией пластмассового корпуса, обеспечивающей оптимальный вывод света, разрабатываются и многоэлементные индикаторы в полой корпусе. Действительно, у приборов монолитной конструкции наличие больших масс полимерного компаунда в местах присоединения тонкой разводящей проволоки ( $\phi$  30–40 мм) на кристалле вызывает при изменении температуры значительные механические воздействия со стороны этого компаунда. Так, модуль экрана размером 20×20 мм выполняется в полой конструкции. В данном случае непрозрачная белого цвета светопроводящая крышка из полимерного материала (ДАИФ-БЛ) покрыта со стороны лицевой поверхности слоем краски темного цвета для повышения контраста изображения и соединена по внутреннему периметру своих боковых поверхностей с боковыми поверхностями основания через слой компаунда по всей границе их контактирования. Во избежание механических повреждений разводки между поверхностью кристалла и внутренней поверхностью передней стороны крышки имеется фиксированный воздушный зазор около 0,2 мм, обеспечиваемый наличием расположенных между отверстиями выступов на этой поверхности, выполняющих функцию ограничителей посадки держателя в крышку. В сквозных отверстиях этой стороны светопроводящей крышки с лицевой ее поверхности и над ней (в форме линзы над каждым отверстием) нанесен прозрачный слой полимерного материала с рассеивающей и окрашивающей добавками. При размерах прибора 20×20 мм уже удается сочетать отсутствие потери шага между элементами для периферийных (по периметру) элементов (что необходимо для реализации бесшовной стыковки приборов друг с другом по длине и высоте) с возможностью осуществления боковых сторон светопроводящей крышки толщиной не менее 0,5 мм. При этом толщина части прозрачного слоя, расположенного внутри отверстий передней стороны крышки с лицевой поверхности, составляет не менее 0,5 мм.

При разработке матриц возникла существенная проблема с выводом токоведущих шин от отдель-

ных модулей (кристаллов) на контактные площадки общей подложки. Действительно, установление межсоединений между отдельными кристаллами нецелесообразно вследствие невысокой надежности такой сборки, а также из-за ограничений, накладываемых предельно допустимыми значениями тока через элемент и шину при увеличении количества элементов в строке (столбце) экрана. С другой стороны, вывод токоведущих шин от каждого модуля на свои контактные площадки общей подложки приводит к увеличению количества выводов, что значительно затрудняет возможность осуществления бесшовной стыковки.

Стоит подчеркнуть, что снижение количества выводов в многоэлементных экранах является весьма важной проблемой, и от решения ее зависит возможность практической реализации многоэлементных экранов. Решение данной задачи зависит как от формирования экрана в целом, так и от конкретных областей применения этих экранов.

Дальнейшее развитие полупроводниковых матриц с уменьшенным количеством выводов предусматривает создание многослойных керамических держателей с "колодцами" для светоизлучающих диодов и для кремниевых интегральных схем. Такая конструкция позволит выпускать полупроводниковые индикаторы с законченными функциональными свойствами — модули экрана с бесшовной стыковкой и схемами управления, из которых могут быть набраны большие информационные поля.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932:621.382

Ю.А. Айриян, В.П. Новиков,  
Н.С. Спасская, В.К. Скарин

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ С БОЛЬШОЙ ВЫСОТОЙ ЗНАКА НА ПРИНЦИПЕ РАССЕЯНИЯ СВЕТА

**Индикаторы на принципе рассеяния света полностью реализуют такие достоинства СИД, как полная совместимость с современными электронными системами, высокая надежность, устойчивость к внешним воздействиям. Они имеют высокие эргономические характеристики.**

Среди полупроводниковых семисегментных индикаторов с высотой знака более 5 мм основное распространение получила конструкция корпуса с рассеянием света в объеме и отражающими стен-

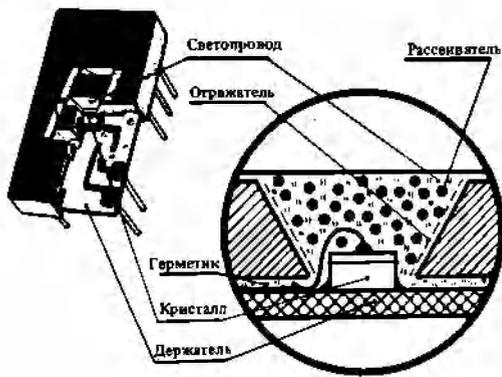


Рис. 1. Схема индикатора на принципе рассеяния света

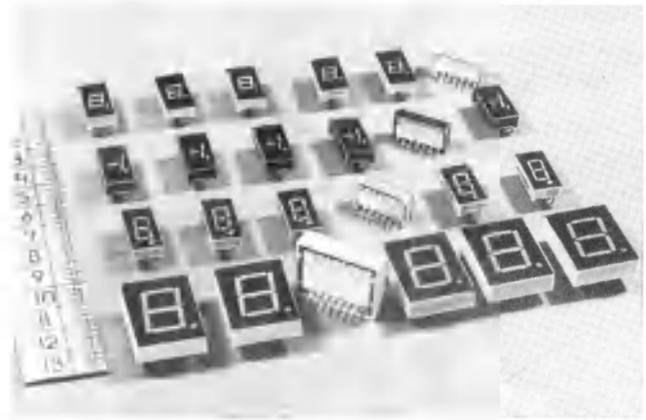


Рис. 2. Внешний вид полупроводниковых индикаторов

Тип индикатора	Полупроводниковые структуры	Цвет свечения индикатора	Высота знака, мм	Длина волны в максимуме, нм	Сила света сегмента, мккд		Прямое напряжение, В	
					мин.	тип.	макс.	тип.
АЛС324А(Б)	$GaAs_{0,6}P_{0,4}/GaAs$	Красный	7	660	150	450	2,5	1,7
АЛС324В	$GaAs_{0,6}P_{0,4}/GaAs$		7	660	150	450	2,5	1,7
КИПЦ-01А(Б) 1/7К	$Ga_{0,66}Al_{0,33}As/GaAs$		7	660	1000		3,0	1,7
КИПЦ-01В(Г) 1/7К	$Ga_{0,66}Al_{0,33}As/GaAs$		7	660	500		3,0	1,7
КИПЦ-01Д(Е) 1/7К	$Ga_{0,66}Al_{0,33}As/GaAs$		7	660	150		2,5	1,6
АЛС332А(Б)	$Ga_{0,66}Al_{0,33}As/GaAs$		12	660	1600		2,5	
АЛС333А(Б)	$GaAs_{0,6}P_{0,4}/GaAs$		12	660	200		2,0	1,7
КЛЦ201А(Б)	$Ga_{0,66}Al_{0,33}As/GaAs$	18	660	2000		4,0		
КЛЦ202А(Б)	$GaAs_{0,6}P_{0,4}/GaAs$	18	660	500	1200		4,0	3,3
АЛС342А(Б)	$GaAs_{0,15}P_{0,85} : N/GaP$	Желтый	7	585	150	500	3,5	2,4
АЛС334А(Б)	$GaP : N, Zn-O/GaP$		12	565, 700	200		3,3	2,4
КЛЦ402А(Б)	$GaP : N, Zn-O/GaP$		18	565, 700	2000		6,0	
КЛЦ401А	$GaAs_{0,15}P_{0,85} : N/GaP$		18	585	500	1200		6,0
АЛС321А(Б)	$GaP : N/GaP$	Зеленый	7	565	120	350	3,6	2,4
АЛС338А(Б)	$GaP : N/GaP$		7	565	150	750	3,5	2,4
АЛС338В	$GaP : N/GaP$		7	565	150	750	3,5	2,4
АЛС335А(Б)	$GaP : N/GaP$		12	565	250		3,5	2,4
КЛЦ302А(Б)	$GaP : N/GaP$		18	565	2000		6,0	4,8

\* П р и м е ч а н и я: 1. Индикаторы АЛС324В и АЛС338В предназначены для отображения знака полярности и переполнения, остальные — для отображения цифр.  
2. Параметры индикатора КИПЦ-01Д(Е) 1/7К приведены при силе тока 5 мА, остальных приборов — при 20 мА.

ками светопровода\* (рис. 1). Индикатор состоит из кристалла (излучателя), держателя и оптической системы, представляющей собой щель светопровода с отражающими поверхностями и рассеивателем.

Разработаны и серийно выпускаются индикаторы красного, желтого и зеленого цвета свечения с высотой знака 7, 12 и 18 мм (рис. 2). Цвет свечения индикаторов определяется полупроводниковым материалом, применяемым для изготовления СИД-кристаллов, а размеры и форма отображаемых знаков — размерами и формой светопроводящих щелей.

Цифровые индикаторы имеют семь сегментов, с помощью которых отображается любая цифра, и правый десятичный знак в виде запятой (в 7- и 12-мм сериях) или точки (в 18-мм серии). Указанные цифровые индикаторы

выпускаются с двумя различными схемами коммутации; с общим катодом и общим анодом. Наряду с семисегментными индикаторами 7-мм серия укомплектована индикатором "Знак полярности и переполнения" (АЛС 324 В и АЛС 338 В), который предназначен для индикации полярности и тенденции изменения отображаемой информации на цифровом табло. Основные параметры и характеристики индикаторов при температуре окружающей среды 25°C представлены в таблице.

Излучение индикаторов близко к монохроматическому (полуширина спектра ~40 нм) и имеет один максимум. Исключение составляют индикаторы на основе  $GaP : N, Zn-O$ , спектр излучения которых содержит два максимума. Соотношение интенсивностей красной и зеленой составляющей излучения зависит от уровня инжекции и поэтому при изменении прямого тока данные индикаторы могут в определенных пределах изменять цвет свечения. Для всех индикаторов характерна зависимость положения спектра излу-

\* Полупроводниковые индикаторы на принципе рассеяния света/Ю.А. Айриян, В.П. Новиков, В.К. Скарин и др. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 73—81.

чения от температуры и электрического режима эксплуатации, что связано с разогревом *p-n* перехода (температурный коэффициент положения максимума излучения  $d\lambda_{\text{макс}}/dT = 0,3 \text{ нм/град}$ ).

Сила света является основным параметром индикаторов и имеет близкую к линейной зависимость от прямого тока. Относительный разброс силы света между сегментами в одном индикаторе, определяемый как отношение силы света наиболее яркого сегмента к силе света наименее яркого, не превышает 3. В пределах угла наблюдения  $100^\circ$  сила света составляет не менее половины величины силы света в направлении фотометрической оси.

К основным параметрам индикаторов относится также прямое напряжение на элементе индикатора при фиксированном токе, которое линейно зависит от температуры. Температурный коэффициент изменения прямого напряжения отрицателен и имеет величину около 2 мВ/град (для индикаторов 7- и 12-мм серий) и 4 мВ/град (для 18-мм серии). Вольт-амперные характеристики имеют типичный для полупроводниковых диодов вид.

Индикаторы на СИД обладают высоким быстродействием: время нарастания и спада импульса излучения не превышает 100 нс.

Достоинством полупроводниковых цифровых индикаторов монолитной конструкции является их высокая устойчивость к различным климатическим и механическим воздействиям. Допустимые условия эксплуатации индикаторов: температура окружающей среды – от  $-60$  до  $+70^\circ\text{C}$ ; относительная влажность воздуха при температуре  $35^\circ\text{C}$  – до 98%; вибрационные нагрузки в диапазоне частот до 600 Гц с ускорением до 10 *g*; многократные удары с ускорением до 75 *g*; линейные нагрузки с ускорением до 25 *g*. Результаты исследований показали, что индикаторы выдерживают и существенно более высокие механические нагрузки.

Эксплуатация индикаторов может осуществляться как в режиме постоянного, так и в режиме импульсного тока. Постоянный прямой ток через элемент не должен превышать величину максимально допустимого ( $I_{\text{пр,макс}} = 25 \text{ мА}$  при температурах до  $35^\circ\text{C}$ , а затем линейно снижается до 7,5 мА при температуре  $70^\circ\text{C}$ ). При эксплуатации индикаторов в импульсном режиме ограничивается пиковое значение импульсного тока ( $I_{\text{пр,имп,макс}} = 180 \div 200 \text{ мА}$  при температуре до  $35^\circ\text{C}$ , а затем линейно снижается до 60 мА при  $70^\circ\text{C}$ ) и среднее значение импульсного тока  $I_{\text{ср}} \leq I_{\text{пр}}/Q^n$ , где  $Q$  – скважность, а  $n = 0,25 \div 0,5$ ). Длительность импульса не должна превышать 2,5–10 мс.

Метод формирования излучающих элементов с использованием рассеивающей и отражающей оп-

тики дает возможность создавать семисегментные цифровые и многоэлементные цифро-буквенные индикаторы с самой разнообразной формой элементов.

Имеются перспективы дальнейшего улучшения параметров индикаторов. Так, например, увеличение силы света в 1,5–2 раза позволит уменьшить потребляемую мощность. Вновь разработанный индикатор КИПЦ-01Д(Е) 1/7 К (см. таблицу) может работать при токе 5 мА, силе света сегмента 150 мккд. Последнее достигнуто за счет использования высокоэффективных полупроводниковых структур на основе тройных соединений  $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$ .

Снижение потребляемой мощности индикаторов позволяет расширить их применение в переносной аппаратуре с автономным питанием.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.387.322.3

Ю.А. Айриян, В.П. Новиков

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЦИФРОВОЙ ИНДИКАТОР С УПРАВЛЯЕМЫМ ЦВЕТОМ СВЕЧЕНИЯ

За последние годы резко увеличилось производство индикаторов на светоизлучающих диодах. Один из путей дальнейшего расширения функциональных возможностей систем отображения информации на светоизлучающих диодах – применение индикаторов с управляемым цветом свечения. Такие индикаторы дадут возможность представлять информацию не только в виде числового значения параметра, но и одновременно в виде цветового сигнала. Последнее позволит либо отделять параметры по видам (например: давление – температура, высота – дальность и др.), либо указывать в какой из возможных областей находится данный параметр (безопасный – аварийный режимы; нормальный – форсированный и др.).

Вопросу создания излучателей для индикаторов с управляемым цветом свечения уделяется много внимания [1–6]. Два метода нашли промышленное применение. Это – излучатель, состоящий из диодов красного и зеленого цветов свечения, создаваемых на отдельных кристаллах и объединенных в один излучающий элемент [1] и кристалл фосфида галлия с двумя *p-n* переходами, один из которых излучает в красной области спектра ( $\text{GaP: Zn-O}$ ), другой – в зеленой ( $\text{GaP: N}$ ) [2–4].

В разработанном индикаторе был использован двухкристальный вариант излучателя, так как он полностью основывается на стандартных отработанных технологических процессах, применяемых в производстве одноцветных индикаторов, и позволяет получать хороший цветовой контраст (отличимость цветовых режимов работы прибора) и наиболее высокие параметры, тогда как двухпереходные GaP-структуры пока не обеспечивают достаточного цветового контраста (из-за наличия побочных составляющих в спектрах излучения) и таких высоких параметров, а кроме того имеются технологические сложности в процессах изготовления кристаллов и их монтажа.

В конструкции индикатора были применены диоды красного цвета свечения на основе структур

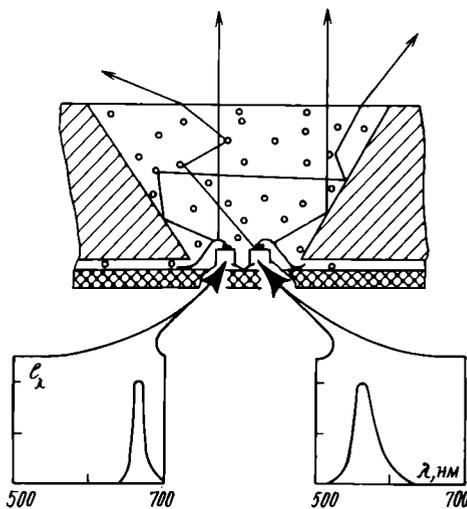


Рис. 1. Принцип построения двухкристального излучателя

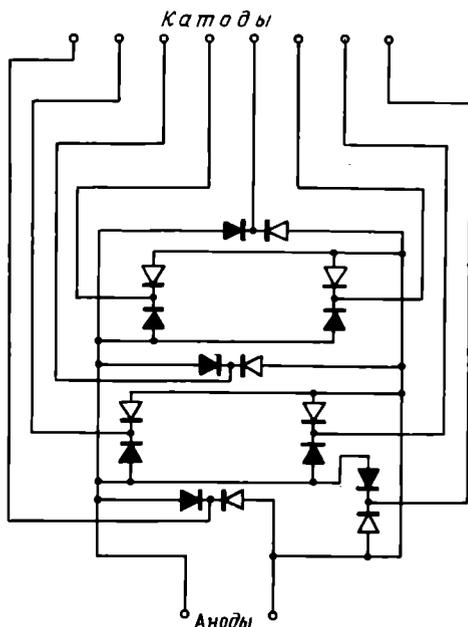


Рис. 2. Электрическая схема цифрового индикатора с управляемым цветом свечения (  $\nabla$  — СИД зеленого цвета свечения;  $\blacktriangle$  — СИД красного цвета свечения)

$\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}/\text{GaAs}$ , зеленого —  $\text{GaP:N}/\text{GaP}$  и монолитный корпус с рассеянием света в объеме [7]. Принцип построения излучающего элемента представлен на рис. 1. Индикаторы в таких корпусах обладают высокой устойчивостью к воздействию механических и климатических факторов, наилучшей светоотдачей, высокими эргономическими характеристиками.

Электрическая схема индикатора (рис. 2) содержит восемь выводов, которые объединяют парно катоды "разноцветных" светодиодов, расположенных в одном элементе индикатора. Общие аноды выведены отдельно для диодов красного и зеленого цвета свечения. Такая коммутация обеспечивает наиболее простое управление: для подключения индикаторов можно использовать ту же схему, что и для управления одноцветными индикаторами с общим анодом, дополнив ее ключом (на анодах), управляющим цветом свечения. Например, в качестве схемы управления можно применить микросхему К514ИД2, которая специально предназначена для работы с полупроводниковыми индикаторами.

#### Основные характеристики цифрового индикатора

Высота отображаемого знака, мм	..... 9
Габаритные размеры, мм	..... 19,5×10,2×5,2
Цвет свечения	..... красный ( $\lambda_{\text{макс}} = 660 \text{ нм}$ ); ..... зеленый ( $\lambda_{\text{макс}} = 565 \text{ нм}$ )
Сила света сегмента при токе 20 мА, мккл	..... 250–750
Прямое напряжение на элементе при токе 20 мА, В	..... 2,0–3,0
в режиме зеленого цвета свечения	..... 2,0–3,0
в режиме красного цвета свечения	..... 1,7–2,0

Применение двухкристальной конструкции излучателя со стандартными кристаллами и монолитного корпуса предопределило соответствие световых и электрических характеристик полученных индикаторов характеристикам обычных одноцветных  $\text{GaP:N}$  и  $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$  индикаторов на принципе рассеяния света [7], а также соответствие их режимов и условий эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. (США) 3.875.456
2. Светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения / А.И. Коган, Б.И. Вишневская, С.М. Ковыкин и др. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 112–116.
3. Цифровые индикаторы с регулируемым цветом свечения / Е.Б. Любаницкая, В.Л. Воробьев, Л.А. Титова. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 95–99.
4. Electronics, 1980, v. 53, N 7, p. 63.
5. Пат. (США) 4.148.045.
6. Однопереходные GaP светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения / Л.М. Коган, Б.И. Вишневская, М.Л. Водовозова, Л.Ф. Лапаева. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 1978, вып. 7, с. 103–107.
7. Полупроводниковые индикаторы на принципе рассеяния света / Ю.А. Айриян, В.П. Новиков, В.К. Скарин и др. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 73–81.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.383.933

В.Ф.Аксенов, О.Н.Ермаков,  
Р.С.Игнаткина, В.П.Сушков

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ СИЛЫ СВЕТА ДИОДОВ НА ОСНОВЕ GaP

Введение Al и Te в эпитаксиальные структуры на основе GaP усиливает излучательную рекомбинацию свободных экситонов и тем самым приводит к смещению краевой полосы люминесценции в зеленую область спектра. При этом СИД на исследуемых структурах имеют увеличенную температурную стабильность.

Широко используемым материалом для создания дискретных СИД и цифро-знаковых индикаторов зеленого цвета свечения является GaP [1–3], легирование которого изозлектронной примесью азота позволяет получать эффективную люминесценцию в желто-зеленой области спектра, обусловленную рекомбинацией экситонов, связанных на центрах азота [4]. На основе GaP получены приборы, обладающие внешним квантовым выходом излучения 0,7% [5]. Однако недостатком СИД на основе GaP является существенная температурная зависимость силы света (порядка 1%/°C) [2].

Одним из путей повышения температурной стабильности силы света СИД на основе GaP является использование специальных схем включения прибора, простейшей из которых является последовательное соединение СИД и терморезистора. Другим способом повышения температурной стабильности излучения является создание гибридных приборов, состоящих из двух последовательно соединенных СИД на основе GaP и SiC [6]. В этом случае эффект термостабилизации достигается за счет того, что SiC обладает аномальной температурной зависимостью эффективности излучения, а GaP — нормальной температурной зависимостью [6].

К числу недостатков указанных способов повышения температурной стабильности излучения относится их нетехнологичность, а в случае использования гибридной схемы включения двух СИД — уширение спектров излучения, обусловленное различием спектров излучения SiC и GaP. В связи с этим представляет интерес использование таких механизмов излучательной рекомбинации в GaP, которые обладали бы слабой температурной зависимостью эффективности излучения. К числу таких механизмов относится рекомбинация свободных экситонов с участием фононов. Как было установлено в работах [7, 8], при определенных технологических режимах получения *p-n* структур на основе нелегированного GaP в этом материале доминирует собственная экситонная рекомбинация, характеризующаяся слабой аномальной температур-

ной зависимостью эффективности излучения.

Целью настоящей работы являлось изучение технологических условий процесса жидкостной эпитаксии, позволяющих усилить канал рекомбинации свободных экситонов.

Исследуемые эпитаксиальные структуры на основе GaP выращивали методом жидкостной эпитаксии с принудительным охлаждением расплава при контролируемом давлении паров фосфора. В качестве донорной и акцепторной примесей использовали соответственно теллур и цинк.

Типичные спектры электролюминесценции *p-n* структур, выращенных из расплава, не содержащего примесей Al и In, имели вид, аналогичный спектрам излучения типичных GaP:N-структур, легированных азотом. В спектрах электролюминесценции (кривая 1 на рис. 1) доминирует коротковолновая полоса излучения с максимумом при 562 нм ( $T = 300$  К), имеющая характерную асимметричную форму с затянутым длинноволновым склоном и обычно приписываемая рекомбинации экситонов на центрах азота [4]. В длинноволновой области спектра при  $T = 300$  К присутствует широкая красная полоса излучения  $D_1$ , приписываемая рекомбинации с участием Zn—O комплексов [4].

Введение в расплав In приводит к смещению краевой полосы излучения в коротковолновую сторону и затяжке ее коротковолнового склона (см. кривую 2 на рис. 1), что может быть обусловлено увеличением вклада в формирование краевой полосы излучения бесфононной полосы аннигиляции свободного экситона [9]. Увеличение концентрации In в расплаве до величины, превышающей 40%, приводит к резкому уменьшению эффективности излучательной рекомбинации, обусловленному, по-видимому, увеличением плотности дислокаций, и связанному с этим возрастанием мощности

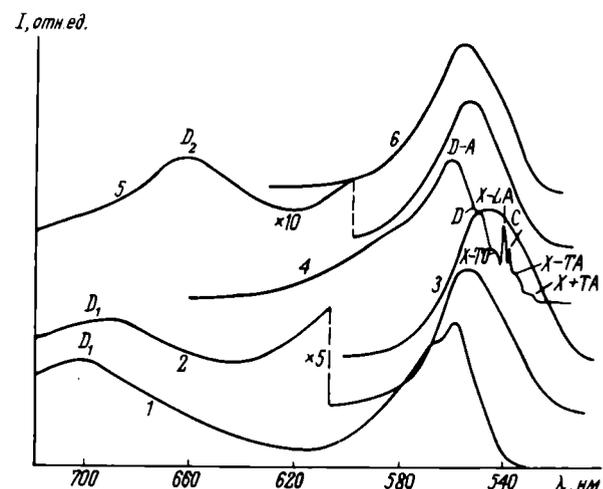


Рис. 1. Спектры электролюминесценции эпитаксиальных структур на основе GaP:N (1), GaP:In (2), GaP:Al (3, 4), Ga<sub>0,99</sub>Al<sub>0,01</sub>P (5), GaP:Al:Te (6) при  $T = 300$  К (1–3, 5, 6) и  $T = 77$  К (4) при плотности тока через *p-n* переход  $j = 5$  А/см<sup>2</sup> (1),  $j = 20$  А/см<sup>2</sup> (2–6)

каналов безызлучательной рекомбинации.

В полученных структурах наблюдается более слабая температурная зависимость силы света (порядка  $0,2\%/^{\circ}\text{C}$ ) по сравнению с  $p$ - $n$  структурами на основе  $\text{GaP:N}$  (см. кривые 2 и 3 на рис. 2).

Введение в расплав  $\text{Al}$  приводит к смещению краевой полосы излучения в коротковолновую сторону ( $\lambda_m \approx 552\text{ нм}$ ) и она становится асимметричной с затянутым коротковолновым склоном (см. кривую 3 на рис. 1). Такая спектральная форма краевой полосы в сочетании с очень малой интенсивностью красной полосы в рассматриваемых структурах приводит к тому, что указанные структуры излучают насыщенную зеленую люминесценцию с доминирующей длиной волны  $\lambda_D = 545\text{ нм}$ , что позволяет существенно продвинуться в более коротковолновую сторону по сравнению с обычными  $\text{GaP:N}$ -структурами с  $\lambda_D = 565\text{ нм}$ , свечение которых воспринимается как желто-зеленое. Полученные результаты, видимо, связаны с одной стороны, с высокой активностью  $\text{Al}$  в расплаве, который является хорошим геттером, эффективно связывающим растворенный в расплаве  $\text{N}$  и  $\text{O}$  [7, 10] и тем самым уменьшает содержание этих примесей в эпитаксиальных слоях и обуславливает ослабление примесных каналов рекомбинации (рекомбинации экситонов, связанных на центрах азота и  $\text{Zn-O}$  комплексах), а с другой стороны, присутствие  $\text{Al}$  в эпитаксиальных слоях приводит к усилению бесфононной компоненты в спектре излучения свободных экситонов [9].

Уменьшение температуры приводит к смещению спектральной полосы в коротковолновую сторону и появлению при  $T = 77\text{ К}$  тонкой структуры спектров излучения (см. кривую 4 на рис. 1), обусловленной рекомбинацией свободных экситонов с

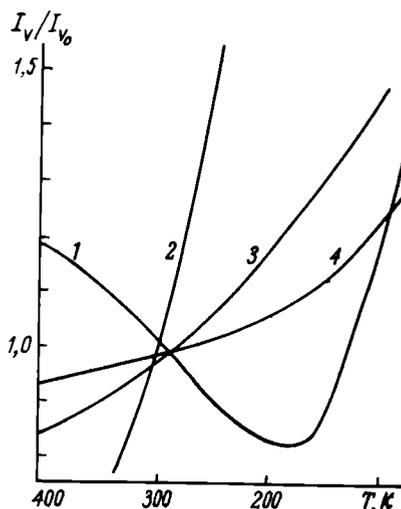


Рис. 2. Зависимости приведенной силы света  $I_v/I_{v0}$  ( $I_{v0}$  — сила света при  $T = 300\text{ К}$ ) от температуры эпитаксиальных структур на основе  $\text{GaP:Al}$  (1),  $\text{GaP:N}$  (2),  $\text{GaP:In}$  (3),  $\text{GaP:Al, Te}$  (4)

участием  $\text{TA-}$ ,  $\text{LA-}$ ,  $\text{TO-}$  фононов (линии  $X - \text{TA}$ ,  $X + \text{TA}$ ,  $X - \text{TO}$  и  $X - \text{LA}$ ) рекомбинации экситонов, связанных на нейтральных донорах (линия  $C$ ) рекомбинацией дырок на нейтральных донорах (полоса  $D$ ) и донорно-акцепторной рекомбинацией (полоса  $D - A$ ) [4].

При этом в структурах на основе  $\text{GaP:Al}$  в широком температурном диапазоне наблюдается аномальная температурная зависимость силы света порядка  $0,15\%/^{\circ}\text{C}$  (см. кривую 1 на рис. 2).

Увеличение содержания  $\text{Al}$  в твердой фазе до  $5\%$  приводит к аномальному смещению в длинноволновую сторону (несмотря на возрастание ширины непрямой запрещенной зоны). При этом краевая полоса становится более симметричной (см. кривую 5 на рис. 1). Одновременно с этим становится заметным присутствие в спектрах электролюминесценции длинноволновой полосы  $D_2$ , имеющей меньшую полуширину по сравнению с  $D_1$  и расположенную в более коротковолновой области по сравнению с полосой рекомбинации на  $\text{Zn-O}$  комплексах. Видимо, это связано со сложным характером краевой полосы люминесценции [11], образованной наложением полосы рекомбинации свободных экситонов и полосы рекомбинации дырок на нейтральных донорах  $D$ . Как показано в работах [10, 12], увеличение содержания  $\text{Al}$  в расплаве приводит к увеличению концентрации в эпитаксиальных слоях сопутствующей примеси  $\text{Si}$ , которая и приводит к усилению полосы рекомбинации дырок на нейтральных донорах по сравнению с образцами с малым содержанием  $\text{Al}$ .

Введение в содержащий  $\text{Al}$  расплав донорной примеси  $\text{Te}$  приводит к смещению краевой полосы в длинноволновую сторону ( $\lambda_m \approx 560\text{ нм}$ , см. кривую 6 на рис. 1). При этом наблюдается наиболее слабая температурная зависимость силы света от температуры (см. кривую 4 на рис. 2). Это может быть связано с частичной взаимной компенсацией механизма собственной экситонной рекомбинации и механизма рекомбинации дырок на нейтральных донорах.

Максимальная сила света в структурах, выращенных из расплава, содержащего  $\text{Al}$  и  $\text{Te}$ , составила при  $T = 300\text{ К}$  и  $I = 20\text{ мА}$ ,  $I_v = 200\text{ мккд}$ , а в СИД со сферической линзой на их основе  $I_v \approx 1,5\text{ мкд}$ , температурная зависимость силы света не более  $0,1\%/^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, наиболее перспективной для повышения температурной стабильности источников зеленого света на основе  $\text{GaP}$  является оптимизация процесса эпитаксии  $p$ - $n$  структур из расплавов, содержащих  $\text{Al}$  и  $\text{Te}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берг А., Дин П. Светодиоды: Пер. с англ. / Под ред. А.Э. Юнговича. — М.: Мир, 1979. — 686 с.

2. Индикаторы желтого цвета свечения на основе GaP, полупроводниковой жидкостной эпитаксией / Т.А. Кротова, В.П. Новиков, В.И. Павличенко, В.П. Сушков. – Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1978, вып. 4, с. 40–45.
3. Эффективная электролюминесценция эпитаксиальных и диффузионных структур GaP / Р.С. Игнаткина, Б.А. Красюк, С.С. Мескин и др. – ДАН СССР, 1968, т. 179, с. 593–597.
4. Юнович А.Э. Излучательная рекомбинация и оптические свойства фосфида галлия. – В сб.: Излучательная рекомбинация в полупроводниках. М.: Наука, 1972, с. 224–304.
5. Lada n y I., Kressel H. Efficient green electroluminescent diodes by double bin liquid phase epitaxy. – Proc. IEEE, 1972, v. 60, p. 1101–1103.
6. Рыжиков И.В., Сушков В.П., Касаткин И.Л. Термовременной стабильный светодиод. – Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, с. 541–544.
7. Ермаков О.Н., Сушков В.П. Спектроскопия изоэлектронной примеси азота в эпитаксиальных структурах на основе GaP. – ЖПС, 1981, т. 35, с. 844–850.
8. Electroluminescence and electrical properties of high-purity vapour-grown GaP / M.G. Craford, W.O. Groves, A.H. Herzog, D.E. Hill. – J. of Appl. Phys., 1971, v. 42, p. 2751–2757.
9. Гарбузов Д.З., Копьев П.С., Мишурный В.А. Свободный экситон в спектрах излучения нелегированного фосфида галлия, а также GaP: Al и GaP: In. – ФТП, 1974, т. 8, с. 418–422.
10. Muga u P.C., Bhargava R.N. Oxygen gettering in green GaP: NLED's grown by overcompensated LPE. – J. of Electroch. Soc., 1976, v. 123, p. 728–732.
11. Спектры люминесценции  $p-n-GaP-n-Ga_{1-x}Al_xP$  структур, легированных Si / В.В. Евстропов, А.Н. Именков, Б.Н. Калинин и др. – ФТП, 1978, т. 12, с. 1077–1080.
12. Излучательная рекомбинация с участием изоэлектронных центров в твердых растворах  $In_{1-x}Ga_xP$  и  $Ga_{1-y}Al_yP$  / В.С. Вавилов, О.Н. Ермаков, В.П. Сушков, М.В. Чукичев. – ФТП, 1978, т. 12, с. 1686–1690.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.315.592

Н.Д. Ахмед-заде, С.П. Кобелева, В.Н. Мартынов,  
М.Б. Славин, А.Н. Соловьев

## ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ $A_2B_6$

Из гетероэпитаксиальных слоев  $A_2B_6$  изготовлены лазерные мишени с генерацией излучения при 77 К, с коэффициентом оптического усиления свыше 100 см<sup>-1</sup>, а также излучательные элементы для имитаторов лазерного излучения с электронным возбуждением, работающих при комнатной температуре в частотном режиме с высоким КПД (до 3 %) и мощностью излучения 4·10<sup>3</sup> Вт.

Широкозонные полупроводники  $A_2B_6$  обладают эффективной излучательной рекомбинацией, поэтому представляют интерес для разработки излучающих приборов. Например, на основе монокристаллов CdS, CdSe, CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> создан новый тип лазерных излучателей [1]. Применение эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений  $A_2B_6$  в излучающих приборах сдерживается

плохой воспроизводимостью излучательных характеристик.

Исследования условий роста слоев  $A_2B_6$  на сапфире вакуумной эпитаксией показали, что для получения воспроизводимых результатов необходимо использовать шихту, очищенную от остаточных примесей и приведенную к составу, отвечающему минимальному общему давлению компонентов [2, 3, 4]. Применение такой шихты позволяет выращивать слои в условиях, когда состав растущего слоя конгруэнтен составу паровой фазы, и исключить отрицательные явления при кристаллизации слоя, связанные с оттеснением избыточного компонента. Из исследования состава паровой фазы по экспериментальным температурным зависимостям отношений равновесных парциальных давлений компонентов соединения, определенных оптическим методом [5], были определены температурные режимы монокристаллического роста слоев  $A_2B_6$ .

Указанным методом были выращены слои полупроводников  $A_2B_6$  (ZnSe, CdS, CdSe, CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>, CdTe) толщиной (20–120 мкм) на подложках из лейкосапфира ( $\alpha - Al_2O_3$ ) диаметром до 40 мм.

Гетероэпитаксиальные слои имеют совершенную монокристаллическую структуру:

CdS, CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>, CdSe – однофазную гексагональную;  
ZnSe и CdTe – однофазную кубическую структуру: (0001) CdS || (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (0001) CdSe || (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (111) ZnSe || (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (110) ZnSe || (1120) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (111) CdTe || (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (0001) CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> || (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Слои полупроводников  $A_2B_6$  обладают эффективной излучательной рекомбинацией при оптическом возбуждении и возбуждении пучком ускоренных электронов и характеризуются однородностью свойств по площади слоя. При слабом возбуждении спектры спонтанного излучения при  $T = 77$  К обусловлены излучательным распадом экситонов и их взаимодействием с LO-фононами (рис. 1), а при  $T = 300$  К – межзонной излучательной рекомбинацией.

При сильном возбуждении спектры спонтанного излучения при комнатной температуре обусловлены межзонной излучательной рекомбинацией (рис. 2, кривые 3), а при низких температурах (10 и 77 К) – экситонной рекомбинацией (рис. 2, кривые 1, 2).

Исследование излучательных свойств слоев  $A_2B_6$  показало, что они перспективны для изготовления лазерных излучательных элементов, предназначенных для лазеров с электронной накачкой и излучающих при комнатной температуре в режиме спонтанного излучения при электронном возбуждении [6]. Экспериментальные исследования величины коэффициента оптического усиления и его спектральной зависимости на CdS, CdSe, CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>, ZnSe

при 77 К показали, что на них достигается коэффициент усиления выше  $100 \text{ см}^{-1}$ . Усиление наблюдается при экситон-фононном взаимодействии или в результате излучения вырожденной электрон-дырочной плазмы.

Достаточно высокие значения коэффициента оптического усиления позволяют использовать слои для изготовления лазерных мишеней, излучающих приборов на основе сканирующих лазеров с электронным возбуждением, а также существенно упростить технологию изготовления лазерных мишеней [7].

Для имитаторов лазерного излучения [6] при возбуждении пучком электронов при комнатной температуре эффективными являются поликристаллические слои  $A_2B_6$  на сапфире. Излучательные свойства элементов на основе поликристал-

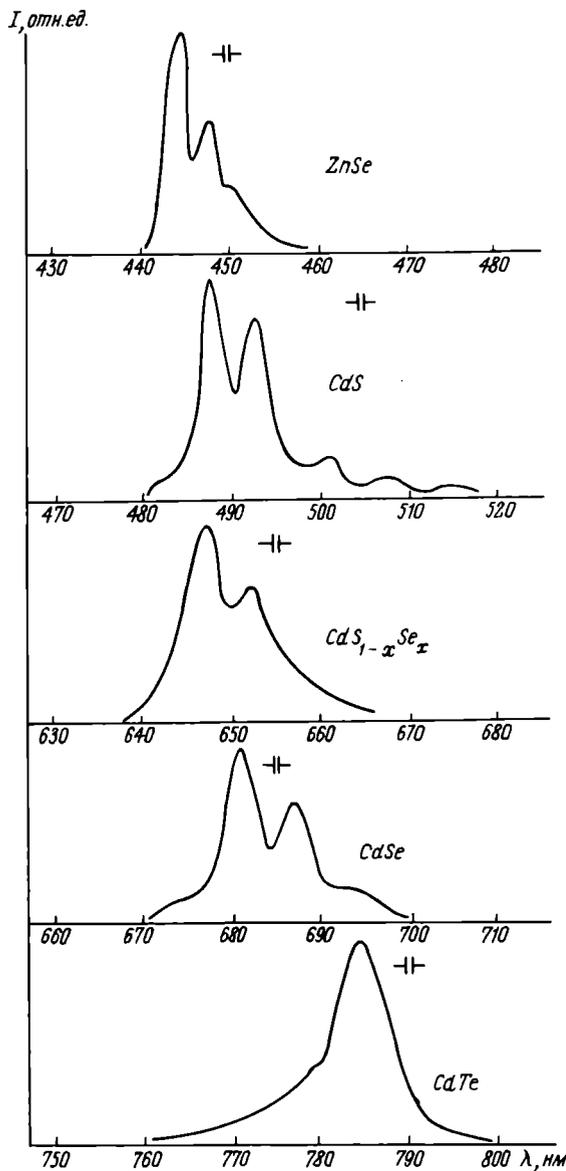


Рис. 1. Спектры излучения слоев  $A_2B_6$  при слабом возбуждении при 77 К

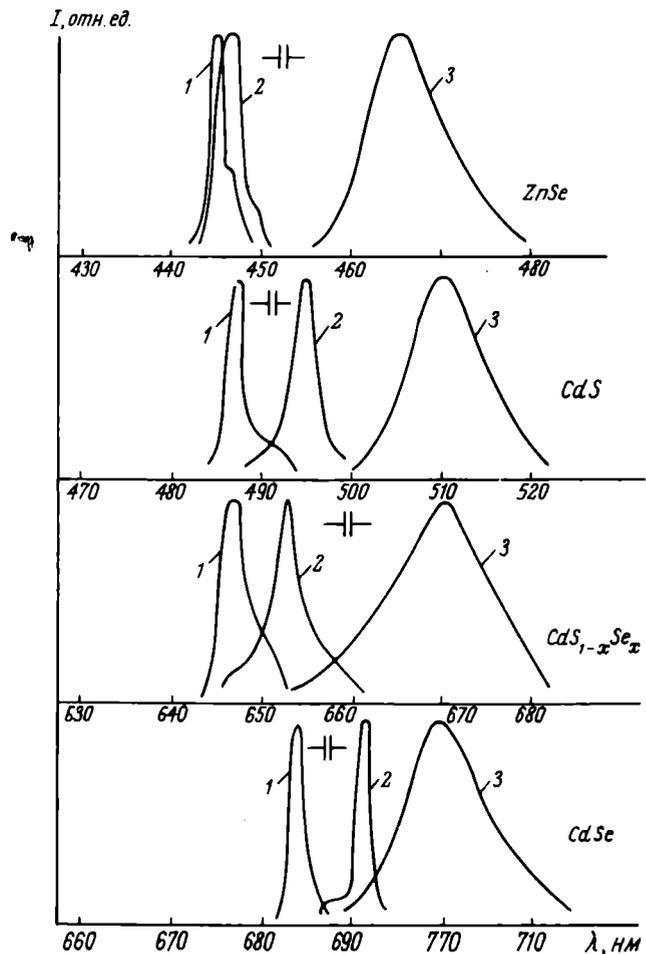


Рис. 2. Спектры излучения слоев  $A_2B_6$  при сильном возбуждении при 10 К (кривые 1), 77 К (кривые 2) и 300 К (кривые 3)

лических слоев зависят от структуры слоев. Наилучшие результаты достигнуты на слоях, имеющих "столбчатую" структуру и определенные размеры кристаллитов.

При возбуждении пучком быстрых электронов двухэлектродной трубки ИМАЗ излучательных элементов на основе слоев  $A_2B_6$  (ZnSe, CdS, CdSe,  $CdS_{1-x}Se_x$ , CdTe) при  $T = 300 \text{ К}$  в режиме многократных включений получены световые импульсы в диапазоне  $0,3-0,9 \text{ мкм}$  с мощностью до  $4 \cdot 10^3 \text{ Вт}$  и коэффициентом полезного действия до 3%. Достаточно высокий КПД связан со спецификой вывода излучения из поликристаллического элемента без оптического резонатора во внешнюю среду [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О возможности применения квантоскопов на основе сканирующих полупроводниковых лазеров с электронным возбуждением для создания цветных проекционных телевизионных устройств с большим экраном / В.И. Григорьев, В.Н. Кацап, В.П. Куклев и др. — Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 3, с. 489–494.
2. Экситонная структура спектров поглощения, фотолюминесценции и фотопроводимости эпитаксиальных слоев сульфида кадмия на сапфире / В.Н. Мартынов, С.А. Медведев, Л.Л. Аксенова, Ю.Д. Авчухов. — Кристаллография, 1979, т. 24, № 6, с. 1298–1300.

3. Мартынов В.Н., Медведев С.А., Авчуков Ю.Д. Эпитаксиальные слои сульфида кадмия с экситонным спектром. — Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы, 1980, т. 16, № 10, с. 1746–1749.

4. Влияние сублимационной перекристаллизации на фотолуминесцентные свойства сульфида кадмия / С.А. Медведев, В.Н. Мартынов, Ж.Т. Мильдзихов, Ю.Д. Авчуков. — Электронная техника, Сер. Материалы, 1976, т. 14, вып. 4, с. 48–53.

5. Медведев С.А., Мартынов В.Н., Кобелева С.П. Исследование температурной зависимости парциальных давлений компонентов над теллуром кадмия. — Электронная техника, Сер. Материалы, 1980, вып. 6, с. 53–58.

6. Имитаторы лазерного излучения на основе широкозонных соединений  $A^{II}B^{VI}$  / В.Н. Мартынов, С.А. Медведев, В.С. Каракашев, А.Ф. Романов и др. — Первая Всесоюзная конференция по радиооптике (Тезисы докладов), 1981, с. 298.

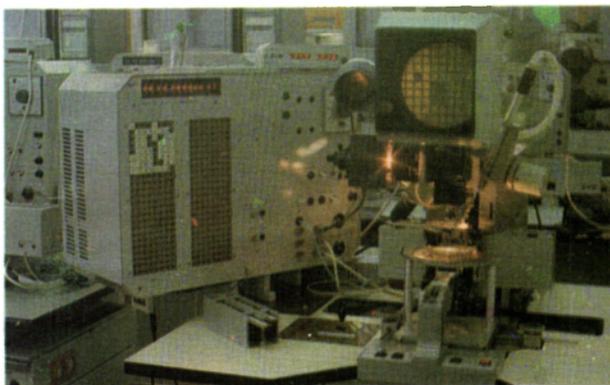
7. О механизме генерации в лазерных экранах, выполненных из полупроводниковых соединений  $A^{II}B^{VI}$  / В.И. Козловский, А.С. Насибов, А.Н. Печенов, Ю.М. Попов. — Квантовая электроника, 1979, т. 6, № 1, с. 189–196.

Статья поступила 16 марта 1982 г.

УДК 621.383.932.049.77

В.Н.Дзидо, Н.Л.Кононок,  
В.К.Скарич, Н.В.Щербаков

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНДИКАТОРОВ



Создание широкой номенклатуры полупроводниковых индикаторов открыло большие возможности в проектировании различных систем отображения информации [1], что в свою очередь выдвинуло ряд серьезных проблем по организации крупносерийного производства полупроводниковых индикаторов. Одной из наиболее актуальных проблем является автоматизация сборочных процессов гибридных полупроводниковых индикаторов, которая позволяет значительно повысить надежность и качество выпускаемой продукции при одновременном увеличении производительности труда.

Конструкция гибридных полупроводниковых индикаторов состоит из трех основных деталей: кристалла (излучателя), кристаллодержателя (керамического основания с выводами) и светопровода (пластмассовой крышки со светоотражающими щелями). Посадка кристалла на специальные посадочные площадки топологии держателя осуществ-

ляется с помощью токопроводящего клея или эвтектического припоя, затем производится проволочный монтаж каждого кристалла по электрической схеме, и последний этап процесса сборки заканчивается монтажом светопровода [2].

Операции посадки и проволочного монтажа кристаллов традиционны для технологии сборки как ИС так и ГИС [3], однако сборка гибридных полупроводниковых индикаторов сложнее сборки ГИС и отличается прежде всего необходимостью вывода светового излучения в щели светопровода, что в свою очередь предъявляет повышенные требования к точности посадки кристаллов на держатель. Такие особенности гибридных полупроводниковых индикаторов, как повышенные требования к точности посадки кристаллов на держатель ( $\pm 0,05$  мм), большая номенклатура выпускаемых индикаторов (как по высоте знака — 7, 9, 12, 18, 25 мм, так и по различному числу световых излучающих кристаллов — от единиц до нескольких десятков), малые размеры присоединяемых кристаллов ( $0,38 \times 0,38 \times 0,25$ ), различные полупроводниковые структуры и омические контакты усложняют автоматизацию процесса сборки и не позволяют применить серийно выпускаемое оборудование. Поэтому возникла необходимость модернизировать существующие установки.

За базовые модели были выбраны установка посадки кристаллов ЭМ-438М и установка присоединения проволочных выводов с программным управлением ЭМ-490. Эти модели отвечали почти всем необходимым требованиям, однако установка ЭМ-438М не обеспечивала многопозиционной посадки кристаллов на держатель с заданной точностью. Поэтому координатный стол, блок управления и пульт установки ЭМ-490 были скомпонованы на установке ЭМ-438М таким образом, чтобы механизм подачи кассет с держателями располагался на координатном столе. Блоки управления обеих частей установок были согласованы и связаны единым алгоритмом, позволяющим задать кинематический цикл работы координатного стола установки ЭМ-490 и механизма перемещения установки ЭМ-438М. Такая модернизация обеспечила перемещение держателя по заданной программе. При этом оператор совмещает на установке первую посадочную площадку держателя с меткой на экране видеоконтрольного устройства, совмещает кристалл на адгезионном носителе с меткой на экране проектора, управляет координатным столом установки, загружает и выгружает кассеты-носители с держателями в направляющие механизма подачи установок.

Конструкция установки предусматривает работу в трех режимах: в непрерывном автоматическом режиме по программе, в полуавтоматическом режиме по программе с остановкой после посадки каждого кристалла для работы с неориентированными кристаллами, в режиме «ремонт» для повторной посадки кристалла в заданную точку держателя.

Использование в созданной установке (см. рисунок) дополнительного наборного поля позволило осуществить посадку до 100 кристаллов с точностью не хуже  $\pm 0,03$  мм и автоматизировать следующую операцию проволочного монтажа гибридных полупроводниковых индикаторов на серийной установке ЭМ-490. Таким образом, представилась возможность создать технологическую линию, состоящую из установки разделения полупроводниковых пластин на кри-

сталлы типа ЭМ-215, модернизированной установки посадки кристаллов на базе установок ЭМ-438М и ЭМ-490, установки проволочного монтажа ЭМ-490. Кроме того, проведенная модернизация позволила повысить надежность и качество выпускаемой продукции и увеличить производительность труда.

Основным результатом работы по созданию автоматизированной линии сборки полупроводниковых индикаторов явилось претворение в жизнь принципа модульной компоновки нового технологического оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сушков В.П. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы для отображения информации на соединениях  $A^{III}B^V$  и их твердых растворах. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 3—11.
2. Полупроводниковые индикаторы на принципе рассеяния света / Ю.А. Айриян, В.П. Новиков, В.К. Скарин и др. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3, с. 73—74.
3. Емельянов И.Б. Автоматизация проволочного монтажа гибридных интегральных схем. — Радиотехника за рубежом, 1979, вып. 17, с. 19, 20.

Статья поступила 9 марта 1982 г.

УДК 621.383.933

В.С.Абрамов, В.В.Леонов,  
М.Н.Платонов, В.К.Скарин

## МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ СО СХЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

С расширением выпуска микропроцессоров и однокристалльных микро-ЭВМ стало возможным создание «разумных» дисплеев с большими функциональными возможностями для отображения цифро-буквенной информации.

Современные многоэлементные индикаторы на основе светоизлучающих диодов по своим свойствам можно отнести к классу наиболее универсальных приборов для отображения информации. К настоящему времени освоена широкая номенклатура многоэлементных полупроводниковых индикаторов [1—3], основная часть которых выпускается без встроенных схем управления. При конструировании аппаратуры с использованием таких индикаторов возникают трудности, связанные с необходимостью разработки схемы управления для каждого конкретного применения. В результате резко возрастает стоимость сборки устройств отображения информации, растут их габаритные размеры. Преодоление этих трудностей возможно за счет введения схем

управления непосредственно в состав полупроводниковых индикаторов. Если учесть идеальную совместимость полупроводниковых индикаторов и кремниевых интегральных схем, то объединение индикаторной части и схемы управления в одном корпусе представляется единственным приемлемым решением. Однако вопрос экономической целесообразности использования индикаторов со схемой управления во многом зависит от конструктивного решения, в котором учтено назначение прибора.

В последние годы для отображения цифро-буквенной информации используются полупроводниковые матрицы форматом 7x5 или 14-, 16- и 18-элементные индикаторы, которые выпускаются в виде многоэлектродных приборов на четыре или восемь знакомест со встроенными схемами управления или без них. С экономической точки зрения, использование одной схемы управления на одно знакоместо является дорогим решением, поэтому одноэлектродные индикаторы выпускаются без схем управления. Задача удешевления решается за счет использования мультиплексного режима работы, встраивания в индикатор одной схемы управления на несколько знакомест или даже создания на отдельной плате контроллера, управляющего строкой индикаторов на 16—40 знакомест. В последнем случае некоторое расширение универсальности достигается за счет расширения функциональных возможностей контроллера, таких как управление длиной строки, реализация нескольких способов ввода информации, редактирование текста и т.д. Эти особенности позволяют рассматривать такие устройства, как «разумные» дисплеи и использовать их не только для отображения информации, но и в качестве интерактивных устройств.

Первый разработанный «разумный» дисплей представляет собой гибридную сборку на печатной плате четырех 14-элементных монокристаллических индикаторных кристаллов и встроенной схемы управления, включающей ОЗУ, ПЗУ-генератор знаков, счетчики, дешифраторы и ключи [4, 5]. Однако вопрос экономической целесообразности использования столь сложной схемы всего на четыре знакоместа является спорным, о чем говорит тот факт, что параллельно выпускается также 14- и 18-элементные индикаторы на четыре и восемь знакомест без встроенных схем управления [3, 4]. На основе таких индикаторов созданы «разумные» индикаторные модули с одной текстовой строкой на 16—40 знакомест, представляющие собой портативные блоки из двух плат, на одной из которых монтируются индикаторы, а на другой — управляющий контроллер. Платы могут располагаться отдельно и связываться плоским кабелем или объединяются в единую конструкцию. Контроллер изготавливается на основе однокри-

стального микрокомпьютера [3, 5], что не только позволяет реализовать широкие функциональные возможности контроллера (ввод информации слева и справа, с записью в ОЗУ, редактирование текста, сопрягаемость с любыми мини- и микрокомпьютерными системами и т.д.), но и приводит к существенному сокращению корпусов микросхем, необходимых для создания контроллера. Кроме того, отпадает необходимость изготовления индикаторов со встроенными схемами управления.

Одна из наиболее удачных конструкций матричных индикаторов со встроенными схемами управления объединяет в едином стеклокерамическом корпусе размером 10x20 мм четыре матрицы светоизлучающих диодов форматом 7x5 и два кристалла схемы управления, каждый из которых включает последовательный 14-разрядный регистр сдвига и 14 формирователей тока светоизлучающих диодов. Одноименные столбцы матриц объединены в пять групп. Высота знака составляет 3,7 мм, шаг между знаками — 5 мм. Двенадцать выводов индикатора расположены в два ряда с шагом 2,5 мм между выводами и 7,5 мм между рядами выводов; пять выводов предназначены для подключения столбцов, шесть выводов — для ввода и вывода информации, ввода тактовых импульсов и импульсов гашения, подключения питания и земли, один вывод — свободный. Этот индикатор позволяет формировать панель для отображения цифро-буквенной информации с шагом между знаками в строке 5 мм и минимальным шагом между строками 10 мм. Следует отметить, что корпус этого же индикатора, но без схемы управления имел бы 28 внешних выводов и минимальную длину 35 мм. В данном случае, очевидно, что именно стремление создать компактный прибор с малой высотой знака послужило основной причиной встраивания в прибор схемы управления. На основе аналогичных 4-разрядных индикаторов выпускается серия однострочных «разумных» дисплеев на 16, 24, 32 и 40 знаков с контроллером на микрокомпьютере, близких по выполняемым функциям к «разумным» дисплеям на 18 сегментных индикаторах [3]. Цифро-буквенные индикаторы и «разумные» дисплеи находят широкое применение в периферийных устройствах компьютеров, в системах управления технологическими процессами, в терминалах ввода данных, в электронных испытательных и медицинских приборах. Заметному росту рынка «разумных» дисплеев способствует разветвленная сеть вычислительных систем и систем цифровой обработки информации, расширение парка ЭВМ и бурное развитие производства микропроцессоров и однокристалльных микрокомпьютеров.

Успехи, достигнутые за последние 10 лет в области полупроводниковой микроэлектро-

ники, стимулировали интенсивные исследования в области разработок многоэлементных матричных экранов и плоских панелей для отображения цифро-буквенной, символьной и графической информации. Глубокий интерес к этому классу индикаторных устройств вызван большими потенциальными возможностями таких устройств по сравнению с традиционно используемыми для аналогичных целей катодно-лучевыми трубками.

Разрешающая способность индикаторной матрицы зависит от технологии ее изготовления. Экраны с матричной адресацией на основе светоизлучающих диодов позволяют реализовать наибольшую плотность информационные точек на единицу площади (длины) [6]. Благодаря своему исключительно высокому быстродействию (10—100 нс) полупроводниковые матрицы наилучшим образом соответствуют требованиям мультиплексного управления, что дает им неоспоримое преимущество по сравнению с другими типами индикаторных матриц.

Сообщения о создании экспериментальных образцов полупроводниковых матриц с большим числом элементов (32x32 и более) появились уже давно. Они изготавливались на основе различных соединений  $A^{III}B^V$  по монокристаллической или гибридной технологии [6—9], однако из-за исключительно высокой стоимости и сложности использования в качестве комплектующих изделий эти приборы не нашли промышленного применения.

Общей тенденцией в разработке конструкций многоэлементных экранов и плоских панелей является принцип построения этих устройств из отдельных модулей со встроенной схемой управления, допускающих их стыковку с сохранением для всего устройства шага между излучающими элементами (бесшовная стыковка). В то же время общие вопросы проектирования и принципы построения таких систем продолжают оставаться предметом изучения и обсуждения [10].

Объединение матрицы светоизлучающих элементов в одном корпусе со схемой управления не только упрощает задачу управления экранами, но и позволяет преодолеть одно из основных конструктивных ограничений многоэлементных устройств матричного типа — радикально снизить число внешних выводов. Например, для индикаторной матрицы с числом элементов 100x100 без схемы управления число выводов равно 200. Для этой же матрицы со схемой управления (активный модуль) общее число выводов может быть снижено до 10—12 независимо от числа строк и столбцов собственно индикаторной матрицы [11].

Реализовать матрицу светоизлучающих диодов с наибольшим количеством элементов (свыше 1000) и наименьшим шагом между элементами (200—600 мкм) можно по планарной

технологии, в которой применяются методы формирования структур, аналогичные применяемым при изготовлении кремниевых интегральных схем. Качество современных полупроводниковых материалов позволяет изготовить монокристалл полупроводниковой матрицы размером 2,5x2,5 см, на которой можно разместить около 4 тыс. светозлучающих элементов при шаге между элементами 0,4 мм [6]. Если объем отображаемой информации невелик, то такой монокристалл можно использовать в качестве экрана для отображения информации любого типа. Управлять таким экраном целесообразно с помощью стандартных микросхем.

Конструктивные особенности полупроводниковых модулей экрана определяют сложность их использования в качестве комплектующих изделий. Наиболее целесообразно проводить разработку полупроводникового экрана применительно к конкретной системе отображения информации. Такой подход позволяет оптимизировать параметры и режимы работы устройства в целом (а не отдельных узлов) на всех этапах разработки, начиная от технических требований к системе, отдельным узлам и блокам. Эффективность такого подхода была показана разработчиками экрана зеленого цвета свечения размером 15,2x12,7 см с числом элементов 384x320, средней яркостью элемента 400 кд/см<sup>2</sup> и разрешающей способностью 25 лин/см [12]. Задача формирования изображения на таком экране распределяется между четырьмя компьютерами: основной ЭВМ системы и тремя микрокомпьютерами дисплея, формирующими отрезки прямых линий, цифро-буквенные и специальные символы и образующие генератор изображения. Основная ЭВМ обрабатывает сигналы датчиков системы, преобразует их в цифровую форму, определяет, какие символы должны отображаться, и посылает соответствующую последовательность команд процессору изображения дисплея с частотой 50 Гц. Последний в свою очередь адресует необходимые светозлучающие диоды и регенерирует изображение с частотой 500 Гц. Конструктивно дисплей образован из 30 модулей размером 2,5x2,5 см. Каждый модуль содержит матрицу из 64x64 светозлучающих диодов с шагом между диодами 0,4 мм и схемы ключей и формирователей тока. Модули набираются в матрицу 6x5 модулей, образуя экран с числом элементов 384x320. Генератор изображения собирается на отдельных печатных платах.

В конструкции дисплея были учтены все требования системы и ограничения, присутствующие светодиодам. Требования к яркости элемента экрана отражают особенности его эксплуатации в условиях высокой засветки. Ограничение по предельно допустимой величине плотности тока через светозлучающий

диод при условии построчной и кадровой развертки приводит к тому, что число элементов в строке или столбце не должно превышать 64, т.е. экран набирается из отдельных модулей 64x64, и развертка изображения производится одновременно для всех модулей. Это, в свою очередь, приводит к необходимости разбивать информацию на блоки в соответствии с модульной организацией экрана, параллельно ее обрабатывать, а также предусматривать отдельные схемы управления и развертки для каждого модуля. В случае, если требования к яркости элемента экрана менее жесткие, то число элементов может быть больше или модульный принцип конструирования может вообще не применяться. Состав схем управления зависит от назначения экрана. Например, схема управления телевизионным дисплеем [13] значительно проще, так как телевизионный сигнал уже содержит полную информацию. Технология изготовления экрана зависит от его назначения и от требований системы. При величине шага между элементами 0,8—1,25 мм применяется гибридная технология изготовления экрана из отдельных кристаллов светодиодов с помощью автоматического сборочного оборудования [13], а при шаге менее 0,8 мм изготавливаются монокристаллы матрицы модулей и используется сборка методом перевернутого кристалла [12].

Таким образом, несмотря на сложность конструирования и высокую стоимость многоэлементных полупроводниковых матричных экранов, их разработка перспективна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сушков В.П. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы для отображения информации на соединениях  $A^{III}B^V$  и их твердых растворах. — Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3 (138), с. 3—29.
2. Optoelectronics (DATA), 1977, vol. 1, p. 83—95.
3. Optoelectronics Designer's Catalog, Hewlett-Packard, 1981, p.26—60.
4. Аллен Р. Современные индикаторы: борьба за области применения. — Электроника (пер. журн. США "Electronics"), 1980, № 6, с. 52—69.
5. "Разумный" светодиодный индикатор со встроенными регистрами-фиксаторами. — Электроника (пер. журн. "Electronics"), 1980, № 26, с. 98, 99.
6. Frescura B.L., Leechinger M., Bittman C.A. Large high-density monolithic XY-addressable arrays for flat panel LED display. — IEEE Trans., 1977, vol. ED-24, N 7, p.891—897.
7. Diguët D., Lebaillly J. Desposit d'affichage-electroluminescent de structure XY intégrée, utilisant le GaAlAs et GaAsP. — L'onde électrique, 1973, vol.53, N 6, p.206—211.
8. Monolithic GaP green-emitting LED adressible arrays/D.L. Keune, M.G. Craford, W.O. Groves, A.D. Johnson. — IEEE Trans., 1973, v. ED-20, N 19, p. 1074—1077.
9. Ramey D. Electro-optical displays: a packaging component. — Electronic packaging and production, 1977, April, p.45—50.
10. Hillsom C. A constructive philosophy of display research. — IEEE Trans., 1977, vol.ED-24, N 7, p. 791.
11. Greenech E.W. Thin-film wides scanner and driver

circuit for solid-state flat-panel display. — IEEE Trans., 1977, vol. ED-24, N 7, p. 898–902.

12. Aircraft flat panel displays relieve cockpit real estate. — Canadian electronics engineering, 1979, March, p. 18, 20, 21.

13. Niina T., Curada S., Takecada H. A high-brightness GaP green LED flat-panel device for character and TV display. — IEEE Trans., 1979, vol. ED-26, N 8, p. 1182–1186.

Статья поступила 18 марта 1982 г.

УДК 621.383.932.049.77

А.П.Шевьев

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНДИКАТОРОВ

**Предложенная методика обеспечивает корректное решение задачи проектирования гибридных интегрированных индикаторов со сложной конфигурацией свободного монтажного пространства, а также в условиях его малой площади.**

Предполагается, что основу будущих поколений индикаторных приборов составят интегрированные индикаторы, т.е. индикаторы, в которых индикаторные элементы объединены с управляющей ИС (УИС) в единую интегральную конструкцию [1, 2]. Физическая интеграция индикаторных элементов с УИС может быть осуществлена многими способами [3], наиболее приемлемый из которых реализует гибридную технологию [4, 5]. Отдельные виды гибридных интегрированных индикаторов (ГИИ), выпускаемые в настоящее время и находящиеся в процессе разработки, являются сравнительно простыми приборами. Однако в ближайшей перспективе в виде ГИИ планируется изготовление также сложных устройств индикации, включая многофункциональные индикаторные табло, для проектирования которых предлагается данная методика.

Типичная конструкция электро- и катодолюминесцентных [6] ГИИ показана на рис.1 и 2. Кристаллы УИС располагаются на плате индикаторной панели по ее периферии или на свободных участках платы, а их контактные площадки соединяются с электродами индикаторных элементов и внешними контактными площадками. Примерно аналогичную конструкцию могут иметь газоразрядные, жидкокристаллические и другие ГИИ на основе плоских индикаторных панелей, а также некоторые виды светодиодных ГИИ [7].

По своей компоновочной схеме ГИИ во многом аналогичны большим гибридным ИС (БГИС). Тем не менее, известные методы проектирования БГИС оказываются неприемлемыми для ГИИ, отлича-

вшимися пространственно-распределенной и пространственно-упорядоченной конструкцией. Поэтому необходимо учитывать пространственные характеристики элементов на всех этапах конструкторского проектирования, включая этап компоновки элементов УИС по кристаллам. В противном случае имеется вероятность получения разбиения, для которого нельзя найти корректное решение задачи размещения и трассировки.

Однородность структуры, свойственная для ГИИ, является положительным фактором, благодаря чему задача разбиения УИС по кристаллам утрачивает комбинаторный характер, а число связей между элементами ГИИ при выбранной схеме техники кристаллов УИС оказывается пропорциональным числу кристаллов и не зависит от разбиения УИС по кристаллам [8]. Кроме того, следует учитывать, что строго фиксированное положение на плате занимают только индикаторные элементы и в некоторых случаях — внешние контактные площадки, а расположение кристаллов УИС в пределах свободного монтажного пространства может быть произвольным; ограничения накладываются на суммарное сечение соединительных трасс, которое не должно превышать величину соответствующих сечений свободного монтажного пространства.

Таким образом, задача оптимального конструкторского проектирования ГИИ сводится к последовательной минимизации параметров: числа кристаллов и протяженности разводки с учетом ограничений на величину сечений свободного монтажного пространства, а также обычных для кон-

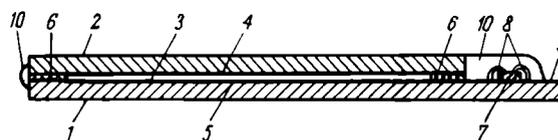


Рис.1. Конструкция электролюминесцентного гибридного интегрированного индикатора:

1 — нижняя плата; 2 — верхняя плата; 3 — люминофор; 4, 5 — электроды индикаторной панели и соединительные проводники; 6 — прослойка; 7 — кристалл управляющей ИС; 8 — соединительные микропроволочки; 9 — внешние контактные площадки; 10 — герметизация

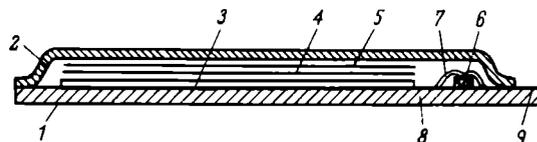


Рис.2. Конструкция катодолюминесцентного гибридного интегрированного индикатора:

1 — плата; 2 — верхняя стенка вакуумного баллона; 3 — люминофор; 4 — сетка; 5 — катод; 6 — кристалл управляющей ИС; 7 — соединительные микропроволочки; 8 — анодные электроды индикаторной панели и соединительные проводники; 9 — внешние контактные площадки

структурского проектирования ограничений в отношении физической и критической площади кристаллов и числа контактных площадок на них.

Конструкторское проектирование ГИИ начинается с ряда предварительных преобразований. Элементы УИС разбиваются на отдельные управляющие ячейки; в типичной УИС, состоящей из регистра сдвига и управляющих ключевых элементов, в качестве управляющих ячеек выделяются разряд регистра сдвига и ключевой элемент, ответственные за управление связанного с ним индикаторного элемента. Выделяется область свободного монтажного пространства  $V$ , предназначенная для размещения кристаллов, и осуществляется разводка трасс от индикаторных элементов и внешних контактных площадок до границы области  $V$ ; места пересечения трасс с границей области  $V$  принимаются в качестве граничных позиций (рис. 3). Управляющие ячейки распределяются по граничным позициям, соответствующим управляемым индикаторным элементам.

Затем начинается процесс компоновки управляющих ячеек по кристаллам, который состоит в стягивании ячеек в более крупные фрагменты, перемещении фрагментов по граничным позициям и проверке условий реализуемости разводки. Последовательность выполнения данного процесса состоит в следующем. Выбирается первая управляющая ячейка, в качестве которой принимается ячейка, связанная только с одной соседней ячейкой. Первая управляющая ячейка соединяется со второй управляющей ячейкой и полученный фрагмент помещается на позицию, занимаемую второй ячейкой. Проверяется возможность реализации разводки для полученного фрагмента. Если условия реализации разводки соблюдаются, то фрагмент соединяется с третьей управляющей ячейкой и помещается на позицию, занимаемую третьей

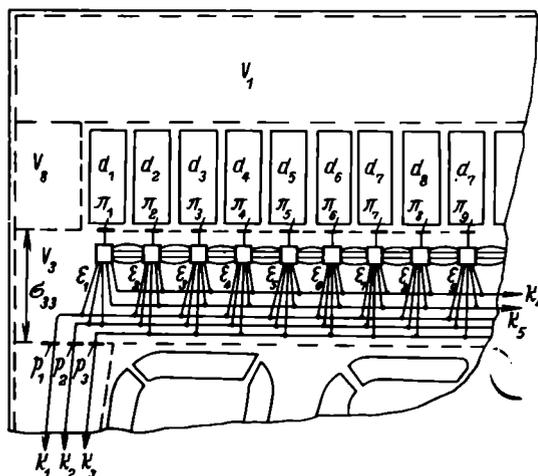


Рис.3. Расположение граничных позиций  $\pi_j$ ,  $p_i$  и управляющих ячеек  $\alpha_j$  в области  $V$  при проектировании гибридного интегрированного индикатора

ячейкой. Далее снова проверяется возможность реализации разводки и т.д.

Данный процесс продолжается до нарушения условий реализуемости разводки, т.е. когда имеющееся сечение свободного монтажного пространства не позволяет подвести нужное число трасс к формируемому фрагменту. В этом случае фрагмент фиксируется на позиции последней управляющей ячейки, к которой он присоединяется, и дальнейшее формирование фрагмента осуществляется присоединением связанных с ним ячеек путем перенесения ячеек с занимаемых ими позиций на позицию, занимаемую фрагментом. После каждого акта присоединения осуществляется проверка условий реализуемости разводки. После нарушения условий реализуемости разводки заканчивается компоновка первого кристалла УИС, который предварительно считается размещенным на позиции, на которой был зафиксирован формируемый фрагмент кристалла. Далее аналогичным образом компонуются остальные кристаллы УИС.

Затем следует этап точного размещения кристаллов УИС, для чего может быть использован любой известный алгоритм, минимизирующий протяженность разводки [9] и трассировка соединений. Разработана машинная программа реализации данной методики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. — М.: Сов.радио, 1977. — 230 с.
2. Rosenzweig W., Johnson B.H., Schumaker N.E.A. GaP electroluminescent diode matrix display system. — IEEE Trans. on Electron Devices, 1971, v.18, p.633—641.
3. Brody T.P. Integrated electro-optic displays. — In: Nonemissive electro-optic displays. — Ed. by Kmetz A.R., von Willisen F.K. Plenum Press, N.-Y., — London, 1975, p.303—341.
4. Hilsom C.A. A constructive philosophy on display research. — IEEE Trans. on Electron Devices, 1977, v.24, N 7, p.791—794.
5. Горохов В.А., Рыбаков В.С., Шевьев А.П. Интегральные устройства индикации для контрольно-измерительной аппаратуры. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы/Под ред. А.А.Васенкова, Я.А.Федотова. — М.: Сов.радио, 1980, вып.5, с.254—267.
6. Dubois R. Integrated display device. Заявка Великобритании № 2, 009, 492, кл. H1D, опубл.1979.
7. Берг А., Дин П. Светодиоды. — М.: Мир, 1979. — 686 с.
8. Горохов В.А., Шевьев А.П. Системотехника интегральных устройств индикации. — Электронная техника. Сер. 10, Микроэлектронные устройства, 1981, вып.5, с.3—8.
9. Деньдобренко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА. — М.: Высшая школа, 1980. — 383 с.

Статья поступила 8 февраля 1982 г.

# ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

УДК 681.327.11:621.387

В.Г.Карпов, В.С.Карпухин,  
Н.Г.Кашников, А.Б.Покрываило

## ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИНДИКАТОРНЫЕ ПАНЕЛИ

Газоразрядные индикаторные панели — перспективный класс приборов для отображения информации — характеризуются высокой точной цифровой матричной адресацией (жесткой привязкой к координатам), совмещением функций индикации с адресацией и запоминанием информации, устойчивостью к электрическим и магнитным полям, возможностью работы в режиме «бегущей газеты» и совмещения оптического и электронного изображения.

В устройствах отображения буквенно-цифровой и графической информации широко используются газоразрядные индикаторные панели (ГИП) с различными физическими принципами действия, конструктивно-технологическими особенностями и, соответственно, функциональным назначением: сегментные цифровые, знаковые, знакографические постоянного тока, знакографические переменного тока и панели для экранов коллективного пользования (ЭКП).

Плоская компактная конструкция ГИП, достаточно высокая механическая прочность и надежность, небольшой вес, габариты и потребляемая мощность, возможность сопряжения их с интегральными схемами отвечают основной тенденции в конструировании радиоэлектронной аппаратуры — комплексной миниатюризации.

ГИП позволяют синтезировать знаки малых (3 мм) и больших (до 100 мм и более) размеров и отображать на одном приборе от единиц до нескольких тысяч знаков. При создании устройств для отображения графической информации и больших массивов буквенно-цифровой информации в настоящее время кроме традиционных ЭЛТ используются только знакографические ГИП, практически не имеющие конкурирующих приборов среди других классов плоских матричных индикаторов, а при отображении информации коллективного пользования — специально созданные для этого крупноэлементные не имеющие аналогов ГИП. Разработаны и выпускаются ГИП постоянного и переменного тока.

В качестве источника свечения в большинстве ГИП используется собственное излучение газа. Преобразование электрической энергии в световую происходит при возбуждении атомов газа электронным ударом и их последующем гашении с выделением видимого излучения. При разряде в условиях соб-

ственного излучения газа (неона с добавлением аргона или ксенона) ГИП, как правило, имеют оранжевый цвет свечения. Для получения зеленого, желтого, синего и красного цветов используются специальные фотолуминофоры, возбуждаемые ультрафиолетовым излучением газа (гелия или неона с добавлением ксенона или криптона). Газовое наполнение ГИП выбирается с учетом обеспечения заданных частотных характеристик и яркости излучения, минимально возможных напряжений возникновения разряда и потребляемой мощности, возможно меньшей скорости распыления материалов катода, определяющей долговечность прибора.

Основные технические характеристики ГИП переменного тока приведены в таблице.

**Сегментные цифровые ГИП.** В серийном производстве выпускаются индикаторы с информационной емкостью до 17 знакомест, предназначенные для отображения информации в настольных ЭКВМ, вычислительной технике и др. Цифровая ГИП, в отличие от других типов панелей, представляет собой строку из одноразрядных газовых индикаторов, объединенных в одном плоском стеклянном корпусе. Выпускаемая ИГП-17 является базовой конструкцией, на основе которой могут быть разработаны цифровые ГИП с различными информационной емкостью и количеством зна-

Основные технические характеристики  
ГИП переменного тока

Наименование параметров	ГИП-16384	ИГТВ-256/256	ИГТВ1-512/512
Информационная емкость			
индикаторных элементов	16384	65536	262144
знаков (5 × 7 эл)	252	1050	4135
Разрешающая способность, эл/см	14	16	20
Размеры информационного поля, мм	90 × 90	153 × 153	256 × 256
Цвет свечения	Оранжево-красный		
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	100–150		
Контрастность, %	69–90		
Питающее напряжение, В	100 ± 10		
Управляющее напряжение, В	80 ± 10		
Потребляемая мощность (со схемой управления), мВт			
элементом	0,5–1		
знаком	10–20		
экраном	2 · 10 <sup>4</sup>	4 · 10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Долговечность, ч	15000	15000	2000
Габариты, мм	146 × 146 × 20	220 × 220 × 11	350 × 350 × 11
Масса, кг	0,65	1,2	2,5

комест. Панель работает в мультиплексном режиме и обеспечивает надежное считывание информации на расстоянии до 1,5 м.

**Знакографические ГИП постоянного тока** выпускаются с количеством световых элементов 100х100, диаметром ячеек 0,6 мм и шагом 1 мм. Панели содержат две ортогональные системы электродов (катодов и анодов), расположенных между стеклянными пластинами и разделенных диэлектрической матричной решеткой, отверстия которой совпадают с перекрестиями электродов. Для формирования изображения применяется режим построчной развертки с частотой 50 Гц, что предотвращает мелькание изображения. Максимальный размер информационного поля таких ГИП определяется количеством строк, которых может быть не более 150—200, так как яркость с их ростом уменьшается. При этом количество элементов в строке определяется током оконечного ключевого элемента. Панель предназначена для приема информации и отображения ее в виде графиков, гистограмм, знаков и символов любого начертания и нашла широкое практическое применение в составе серийных индикаторных модулей серии ИМГ-1.

**Знаковые ГИП.** Газоразрядные индикаторные панели с самосканированием (ГИПС)

используются преимущественно в системах отображения информации с малой и средней информационной емкостью (до десятков знакомест). В настоящее время выпускаются ГИПС на 16 и 32 знакоместа оранжевого цвета свечения (рис. 1) и зеленого на 16 знакомест. Панели представляют собой плоские стеклянные приборы двухслойной конструкции: сканирующей и индикаторной. Сканирующая часть отделена общей системой катодов от лицевой (индикаторной) части ГИП.

Принцип работы панелей основан на направленном переносе разряда по системе сканирования вдоль строки и снижении напряжения возникновения разряда в ячейках индикации в результате проникновения иницирующей частицы из ячеек сканирования через отверстия в катодах в ячейки индикации. Использование в этих индикаторах внутреннего сканирования существенно упрощает схему управления, практически устраняет мерцание и разброс по яркости индикаторных ячеек.

На базе ГИП с самосканированием серийно выпускаются устройства визуализации информации, мини-ЭВМ (например, 15ВУМС-32-001, 15ВВП-80-004), наборно-программируемые аппараты ЭФПВ-500, ЭВПВ-1000 и др.



Рис. 1. Газоразрядная индикаторная панель с самосканированием ИГПС1-222/7

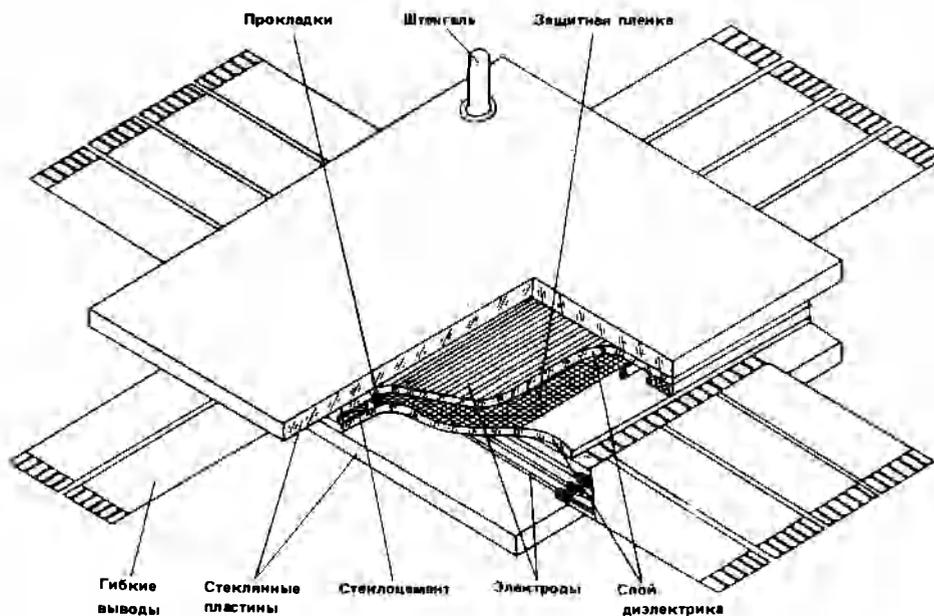


Рис. 2. Конструкция ГИП переменного тока

*Знакографические высокочастотные ГИП переменного тока (ИГПВ).* В настоящее время выпускается серия панелей переменного тока с информационной емкостью 128x128, 256x256 и 512x512 элементов отображения. ИГПВ имеют следующие особенности: внутреннюю память (в результате чего электрические и эргономические параметры остаются почти неизменными с ростом количества элементов в строке и размеров панелей), большую разрешающую способность (до 25 эл/см), отсутствие мельканий изображения и строб-эффекта. К основным практическим достоинствам ИГПВ относится возможность простого совмещения оптического и электронного изображения за счет прозрачности панелей.

ГИП переменного тока (рис. 2) состоит из двух стеклянных пластин, на внутренней поверхности которых методом пленочной технологии сформированы системы параллельных электродов шириной  $100 \pm 10$  мкм, покрытых тонким (40 мкм) слоем прозрачного диэлектрика. На диэлектрик нанесено стабилизирующее покрытие ( $MqO$ ) толщиной 0,3–0,5 мкм, которое уменьшает рабочее напряжение и обеспечивает стабильность параметров в течение всего срока службы панелей. Равномерный зазор между пластинами (100 мкм) обеспечивается калиброванными стеклянными прокладками, вплавленными в диэлектрик на одну из пластин.

Идентичность параметров всех элементов панели определяется ее геометрией, поэтому к ширине электродов, толщине и однородности диэлектрического и стабилизирующего покрытий и особенно к расстоянию между электродными пластинами предъявляются жесткие требования.

При работе панели на все электроды подается знакопеременное поддерживающее напряжение частотой 50 кГц, амплитуда ко-

торого (90–120 В) меньше напряжения возникновения разряда в ячейках ГИП, но достаточна для поддержания разряда после его возникновения. С помощью блоков адресации на выбранную пару ортогональных электродов подаются импульсы напряжения записи. При этом в месте пересечения электродов суммарное управляющее напряжение (170–190 В) вызывает возникновение разряда, который продолжает существовать за счет поддерживающего напряжения, т.е. обеспечивается запоминание записанной информации. Гашение разряда (стирание информации) производится за счет коротких импульсов напряжения.

Диапазон применения ИГПВ весьма широк. Это — устройства ввода-вывода данных ЭВМ, АСУ, переносные измерительные приборы, системы управления движением транспорта, автоматизированные системы обучения, машинного проектирования, системы с ЧПУ.

Дальнейшее развитие этого типа панелей связано с увеличением информационной емкости, созданием ГИП зеленого цвета свечения и двухцветных.

*ГИП для экранов коллективного пользования.* Новым оригинальным направлением газоразрядных индикаторных панелей стали крупноэлементные ГИП постоянного тока для создания наборных информационных экранов коллективного пользования (ЭКП). Выпускается панель с информационной емкостью 1024 (32x32) элементов отображения с размером элемента 3x3 мм зеленого цвета свечения. В пластинах сформирована система пазов и выступов. В пазы уложены электроды, а выступы обеспечивают жесткую фиксацию электродов и формируют разрядные ячейки (рис. 3).

Оригинальным в такой панели является получение узкого шва герметизации, обеспечивающего стыковку панели без потери шага

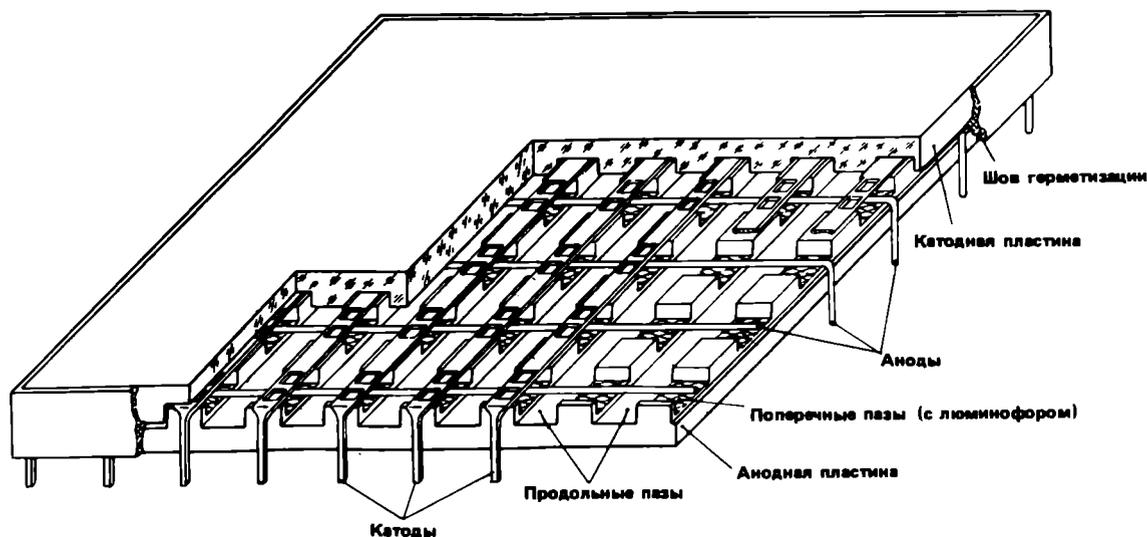


Рис. 3. Конструкция крупноэлементной ГИП для экранов коллективного пользования

элементов, что позволяет строить информационные экраны на них практически неограниченных размеров и любых конфигураций.

ЭКП на ГИП предназначены для отображения цифровой, текстовой и графической информации в центрах управления движением всех видов транспортных средств, в контрольных службах энергосистем, в системах отображения информации о ходе производственных процессов, судейских табло в закрытых спортивных комплексах, системах коллективного обучения, электронных настенных часах и др.

Проведенные в последнее время работы по повышению яркости свечения элементов с 160 до 300 кд/м<sup>2</sup> и яркостного контраста с 65 до 95% позволяют использовать ГИП в условиях повышенной освещенности (1000 лк и более). Перспективы развития этого типа панелей связаны с созданием ГИП многоцветных и с повышенной разрешающей способностью (размер элемента 1,5x1,5 мм), что существенно расширит области их применения.

*Индикаторные модули на ГИП как электронный прибор* требует сложной схемы управления, оптимальность разработки которой определяет технико-экономическую эффективность всего устройства отображения. Исходя из этого разработка и выпуск ГИП, конструктивно объединенных с теми элементами схемы управления (в первую очередь, высоковольтными оконечными элементами), которые являются общими для самых разных применений ГИП отвечает задачам массового и быстрого внедрения ГИП в радиоэлектронную аппаратуру широкого применения. Однако до последнего времени схемы управления ГИП разрабатывались на дискретных электронных компонентах. ИС высокой интеграции использовались только в логической части схемы, что приводило к ухудшению технико-экономических показателей индикаторных устройств

и не позволяло полностью реализовать возможности плоской конструкции и цифрового управления ГИП.

В настоящее время разработаны или разрабатываются специальные высоковольтные ИС для управления всеми типами ГИП, что позволило существенно уменьшить габариты, снизить себестоимость устройств на ГИП и создать условия для их широкого использования в аппаратуре. Так, для непосредственного сопряжения цифровой панели ИГП-17 с логическим устройством управления промышленностью выпускаются 8-канальные высоковольтные интегральные микросхемы анодных и катодных коммутаторов серий К1109КТ1 и К1109КН2.

На основе ГИП-1000 с использованием ИС серии К1НТ661А разработан модуль ИМГ-1 (рис. 4), который нашел широкое применение во многих отраслях народного хозяйства:

— в измерительной технике (цифровой осциллограф С9-5, специальный осциллограф С9-6);

— в приборостроении (семь типов устройств числового программного управления металлорежущими станками, например типа 2М43, УКМ-772, рентгеновская аппаратура для оперативного структурно-спектрального анализа);

— в медицине (диагностическая медицинская аппаратура — прибор для исследований функций легких методом плетизмографии и пневмотахографии);

— в ядерной физике (универсальный дисплей типа БВН-98 для измерения интенсивности и профиля пучков заряженных частиц);

— в судостроении (унифицированная аппаратура автоматизированного управления средствами световой и звуковой сигнализации);

— в нефтехимии (аппаратура контроля



Рис. 4. Индикатор матричный газоразрядный ИМГ-1



Рис. 5. Знаковый индикатор матричный газоразрядный ИМГ-1-03



Рис. 6. Экран коллективного пользования размером 1,6 × 0,8 м на ИМГ-3

и управления объектами нефтедобычи).

При отображении гистограммы и графической информации модуль обеспечивает точность считывания информации до 1%.

Серийно выпускается также модификация модуля — ИМГ-1-03 со встроенным знакогенератором русских и латинских букв и специальных знаков, ОЗУ К565РУ2А на 4 кадра по 160 знакомест, элементами развертки и сигнализации (рис. 5).

На основе ГИП с самосканированием ГИПС-16-1 выпускается прибор индикаторный универсальный (ПИУ), выполненный в виде прибора щитового типа. Прибор выпускается в двух модификациях (ПИУ-1 и ПИУ-2) и позволяет индицировать все прописные и строчные буквы русского и латинского алфавитов, многие буквы греческого, арабские цифры, математические и специальные знаки (всего 192). С помощью ПИУ можно полностью гасить индикаторное поле без нарушений записанной информации и хранить ее во внутренней (схемной) памяти, работать в режиме «бегущей газеты».

На основе четырех крупноэлементных панелей ИГПП-32/32 выпускаются две модификации модуля ИМГ-3 — с битовым и байтовым входом, имеющие одинаковое конструктивное исполнение. Встроенная память модуля — 4096 бит.

ИМГ-3 обеспечивает построение как позиционного, так и динамического табло, (рис. 6), а также совмещение статической и динамической информации, графиков и мнемосхем с буквами и цифрами. Скорость записи информации —  $5 \cdot 10^5$  бит/с (для модификации ИМГ-3-01) и  $5 \cdot 10^5$  байт/с (для модификации ИМГ-3-02). Сплошное матричное поле экрана позволяет масштабировать изображение, получать знаки произвольной формы. Благодаря широким возможностям ЭКП на ИМГ-3 центр тяжести в проектировании

систем отображения информации перенесен из области аппаратных средств в область программ, что отвечает современной тенденции развития вычислительных систем на базе микропроцессоров.

Применение модуля существенно упрощает эксплуатацию и разработку ЭКП и сводит ее до типовых решений. На базе ИМГ-3 можно также строить экономичные табло с малой энергоемкостью. Так, экран размерами 3,2x1,6 м при отображении 1000 знаков потребляет вместе со схемой управления 200 Вт.

Дальнейшие перспективы развития ГИП связаны с получением на них полутоновых изображений и созданием на панелях плоских телевизионных экранов индивидуального и коллективного пользования. Разработчиками ГИП созданы фрагменты монохромных и цветных ГИП, которые показывают принципиальную возможность получения необходимого диапазона градации яркости и телевизионного изображения. Однако анализ лучших мировых достижений в этом направлении показывает, что яркость и светоотдача таких ГИП еще недостаточны, а их конструкция и технология изготовления непригодны для промышленного производства. Можно ожидать, что наборные телевизионные экраны группового и коллективного пользования на ГИП размером около 3 м<sup>2</sup> ближе к практической реализации, чем монолитные плоские экраны индивидуального пользования размером 0,6—0,7 м<sup>2</sup>.

Статья поступила 1 апреля 1982 г.

УДК 621.383.932.002

Ю.И.Орлов, А.Б.Покрываило

## КРУПНОЭЛЕМЕНТНЫЕ ЗНАКОГРАФИЧЕСКИЕ ПАНЕЛИ ДЛЯ НАБОРНЫХ ЭКРАНОВ

Разработанные крупноэлементные панели обеспечивают создание экранов коллективного пользования практически любых размеров и конфигурации. Для ИГПП-32/32 оптимально использование четырех панелей в одном блоке. Каждый блок, имеющий автономное управление, обеспечивает высокую надежность и ремонтнопригодность при эксплуатации. Панели ИГПП-16/32 рекомендуются для применения в электронных часах и в табло с относительно небольшой информационной емкостью.

Разработка газоразрядных индикаторных панелей (ГИП), объединяющих в единое целое элементарные разрядные промежутки, позволила упростить схему управления устройством индикации. При информационной емкости ГИП, определяемой произведением  $n \cdot m$ , где  $n$  — число строк разложения по горизонтали, а  $m$  — число столбцов по вертикали, количество управляющих входов панели составляет сумму этих величин ( $n + m$ ), а в случае использования встроенного регистра сдвига число входов еще более уменьшается.

Достоинством ГИП является то, что благодаря дискретности элементов отображения и координатному принципу ввода информации адресация сигналов с высокой точностью производится в соответствующую точку индикаторного поля. Это сочетается с плоскостностью конструкции, высокой яркостью и контрастностью изображения.

Широкое распространение получили ГИП индивидуального пользования. Большой практический интерес представляет также проблема создания ГИП для экранов коллективного пользования (ЭКП). Наиболее приемлемый способ построения светоизлучающих ЭКП на тиратронах типа ТХ17, ТХ19А очень трудоемок. Эксплуатация такого экрана затруднительна ввиду сложности ремонтных и профилактических работ. Кроме того, он обладает недостаточной разрешающей способностью и экономичностью.

В данной статье рассмотрены возможности устранения перечисленных недостатков путем создания ЭКП на газоразрядных индикаторных панелях постоянного тока.

Принцип построения ГИП для ЭКП. При создании ГИП для составного ЭКП основное внимание уделялось оптимизации размеров панелей, с тем, чтобы каждая из них имела достаточно высокую информационную емкость и чтобы можно было быстро и удобно производить ее замену, а также простое техническое обслуживание и ремонт многометровых экранов. Размер ГИП не должен быть

слишком велик, что является требованием завод-изготовителей для максимального использования существующего серийного прогрессивного оборудования и опробированных технологических процессов.

С целью обеспечения универсальных функциональных возможностей панели для ЭКП должны иметь шов герметизации шириной, примерно равной половине расстояния между световыми элементами (ячейками). В этом случае крайние ячейки стыкуемых панелей по обеим координатам будут расположены практически с тем же шагом, что и остальные ячейки панелей. Равномерное распределение ячеек по полю большого экрана позволяет осуществлять произвольное размещение знаковой информации, изменение масштаба знаков, построение графиков, таблиц, фигур, мнемосхем. Открывается путь к построению больших телеэкранов на ГИП (рис. 1).

Рассматривая возможности технологии группового создания световых элементов, можно отметить, что до определенного предела, обусловленного габаритными размерами, себестоимость светового элемента снижается по мере увеличения информационной емкости. Так, при шаге 6 мм себестоимость снижается в два—три раза при повышении информационной емкости от 256 до 1024 ячеек вследствие снижения удельных (на ячейку) затрат. При переходе к информационной емкости 4096 ячеек себестоимость ячейки начинает увеличиваться. Это объясняется ростом технологических потерь материалов и труда, связанных со сложностью обработки деталей, узлов и приборов больших размеров (500×500 мм).

**Конструктивные особенности ГИП.** Индикаторная панель для ЭКП содержит две обкладочные пластины из плоского полированного стекла. Впазы на внутренней поверхности стеклопластин уложены катодные и анодные электродные системы. Диэлектрическая матричная решетка, разделяющая световые элементы, является неотъемлемой частью стеклопластин. На каждый световый элемент



Рис. 1. Экран коллективного пользования

нанесен слой люминофора. Панель наполняется смесью инертных газов, обеспечивающих необходимый выход ультрафиолета при возбуждении газового разряда и соответствующую люминесценцию в зеленой области спектра.

Светоэлемент в плане имеет форму квадрата со стороной 3 мм, шаг размещения ячеек по обеим координатам равен 6 мм. Боковые ячейки панели прилегают к торцевому шву герметизации, ширина которого около 1,5 мм.

Разработаны два варианта панели, различающиеся по размерам и информационной емкости: ИГПП-16/32 и ИГПП-32/32. Информационная емкость первого варианта — 512, а второго — 1024 ячейки с размерами (по лицевой части панели) 97×193 и 193×193 мм соответственно. Электроды панели, выступая из газоразрядного пространства, обгибают нижнюю стеклопластину и выходят на печатную плату, прикрепленную к ней компаундом. Подсоединение панели к схеме управления осуществляется при помощи кабеля, изготовленного печатным методом, а крепление ее к ЭКП — винтовыми соединениями. Материалы деталей ГИП и стеклоцемент, герметизирующий ее по периметру, имеют практически равные коэффициенты линейного термического расширения в необходимом диапазоне температур, что обеспечивает надежность шва герметизации в процессе изготовления и технологических обработок, а также при эксплуатационных перегрузках.

Основными технологическими операциями изготовления ГИП являются: нарезка пазов в стеклопластинах, изготовление электродных систем, нанесение люминофорных и контрастных покрытий, монтаж пакета прибора, термическая герметизация, откачка, прикрепление платы, распайка выводов, оформление торцевой части панели, электрическая тренировка.

Таким образом, рассмотренные конструкция и технология изготовления панелей для ЭКП позволили обеспечить их массовое производство.

**Работа и основные характеристики панели.** Разрядные ячейки, входящие в состав ГИП, как и другие газоразрядные приборы, подключаются к источнику питания через балластные резисторы. Последние устанавливаются по одной из координат, обычно в цепь анодов (по строкам). В результате одна ячейка каждой строки приобретает свойство запоминания ионизованного (информационного) состояния, и информационные сигналы таким образом могут подаваться по всем строкам одновременно.

Адресация ячейки по столбцам определяется режимом подачи напряжения на катоды. Отметим, что при одновременном поступлении сигналов на все катоды произойдет пробой в наиболее низковольтной ячейке. В результате возникновения разряда в этой ячейке и прохождения тока напряжение

перераспределится между балластным резистором и внутренним сопротивлением ячейки и станет недостаточным для пробоя остальных ячеек. Ячейки в этом случае находятся в состоянии конкуренции. В связи с этим в рассматриваемых ГИП подача сигналов по столбцам производится в режиме разделения во времени при сканировании.

Панель имеет пороговые электрические характеристики, т.е. ограниченные значения напряжения возникновения разряда, при котором происходит переход от непроводящего состояния ячейки к проводящему, и напряжения поддержания разряда, при котором проводящее состояние стабилизируется. При определенном напряжении прекращается разряд и происходит обратный процесс — переход к непроводящему состоянию ячейки.

Управляющее напряжение ГИП зависит от напряжения возникновения разряда  $U_B$  и времени запаздывания. Величина  $U_B$  (определяется при медленном нарастании напряжения и высокой внешней освещенности) зависит от конструкции ячейки, газового наполнения и состояния поверхности катода. Напряжение возникновения разряда в ячейках лежит в пределах 230–260 В.

Запаздывание возникновения разряда вызывает необходимость повышения напряжения источника питания по сравнению с величиной  $U_B$ . Время запаздывания содержит статистическую составляющую  $t_c$  и составляющую, определяемую скоростью формирования разряда  $t_f$ .

Время  $t_c$  в ячейках ГИП определяется в основном тремя факторами: уровнем перенапряжения, частотой следования импульсов и степенью облучения ячеек внешним источником. Время формирования разряда определяется перенапряжением и при постоянном значении стабилизируется.

Запаздывание пробоя разрядной ячейки оказывает двойное действие на ее светотехнические характеристики. Во-первых, уменьшается длительность импульса тока, что снижает степень возбуждения люминофора и уровень яркости. Степень сокращения импульса тока определяется суммой времени формирования разряда и среднего значения времени  $t_c$ . Во-вторых, значительный разброс статистической составляющей может привести к нестабильности свечения ячейки, особенно если значения времени запаздывания сравнимы с длительностью импульсов напряжения, а кадровая частота низка.

На рис. 2 показана функция распределения статистической составляющей времени запаздывания при различных частотах следования импульсов питания ячеек. Увеличение частоты на порядок (от 80 до 800 Гц) примерно в такой же степени уменьшает разброс и среднее значение  $t_c$ . Сниже-

ние времени  $\tau_c$  при повышении частоты происходит в связи с увеличением числа остаточных зарядов от предыдущих пробоев и повышением вероятности образования эффективного лавинного процесса.

Зависимость среднего времени запаздывания возникновения разряда от перенапряжения показана на рис. 3. Среднее время запаздывания значительно уменьшается при увеличении перенапряжения. Приемлемую с точки зрения режимов управления величину  $\tau_c$  на уровне единиц микросекунд можно обеспечить при перенапряжении более 40% и частоте следования импульсов выше 300 Гц.

Облучение панели внешним источником снижает время запаздывания пробоя (рис. 4). С увеличением уровня облучения естественным светом 1–150 лк; среднее время запаздывания снижается примерно на 15%. В области больших значений времени запаздывания, влияющих на стабильность свечения, разброс уменьшается на 20–30%. На рис. 4 (кривая 3) показана также функция распределения при облучении панели источником типа КГМ 6,3–15, расположенным на расстоянии около 3 м. Источник представляет собой лампочку накалива-

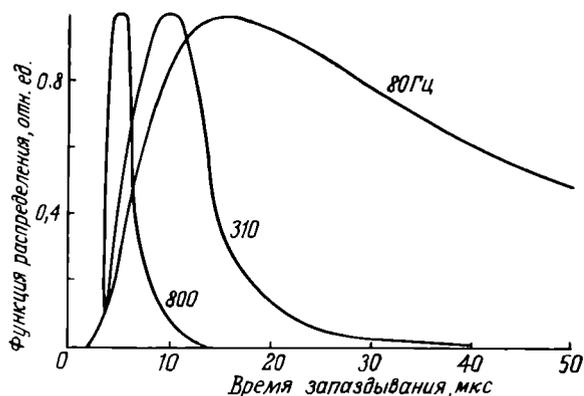


Рис. 2. Функция распределения статистической составляющей времени запаздывания возникновения разряда при различных частотах следования импульсов, перенапряжении 40% и освещенности 1 лк

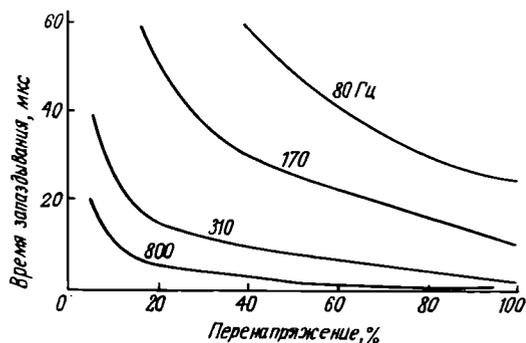


Рис. 3. Зависимость среднего времени статистического запаздывания возникновения разряда от перенапряжения при различной частоте следования импульсов

ния, имеющую выход ультрафиолета через кварцевую оболочку. Облучение источником эффективней естественного света, проникающего через оконные проемы, а освещение панели в видимой области спектра существенно слабее (20 лк). Снижение времени запаздывания при облучении связано с внешним фотоэффектом катода.

Время формирования разряда в ячейках панели при перенапряжении более 20% лежит на уровне единиц микросекунд и определяется как расстояние между нулевой точкой отсчета и началом кривых функций распределения (см. рис. 2 и 4).

Вольт-амперная характеристика типичной ячейки панели и нагрузочная прямая при напряжении источника питания 400 В показана на рис. 5. Ячейка работает в слабоаномальном режиме. Напряжение поддержания разряда при токе (в импульсе) 8 мА равно 222 В. Разброс в напряжении поддержания по полю ячеек лежит в пределах 208–235 В и имеет зону пересечения с функцией распределения напряжения возникновения. При увеличении тока и перемещении рабочей точки по кривой 1 вправо зона пересечения расширится, а при уменьшении тока и переходе в нормальную область разряда пересечения не будет.

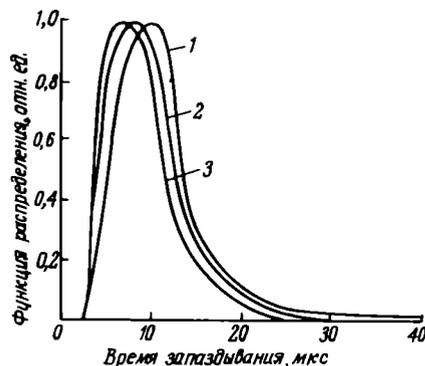


Рис. 4. Функции распределения статистической составляющей времени запаздывания возникновения разряда при различном освещении, перенапряжении 40%, частоте следования импульсов 310 Гц: 1 – 1 лк; 2 – 150 лк; 3 – источник КГМ 6,3–15

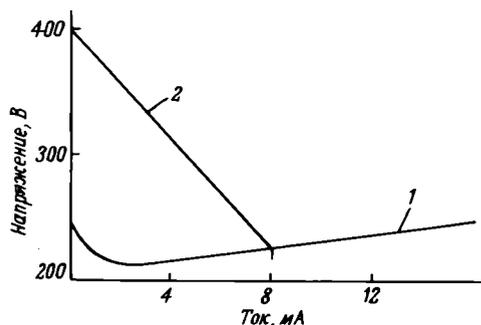


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика ячейки (1) и нагрузочная прямая (2)

В процессе эксплуатации ГИП возможно некоторое изменение  $U_n$  и  $U_B$  вследствие отклонений в состоянии поверхностных свойств катода. Ячейки ГИП являются импульсными источниками света, однако наблюдатель воспринимает усредненное значение яркости. Так, яркость свечения по ячейкам панели, определенная по некоторым средним во времени значениям с помощью измерителя типа АФМ и измеренная при токе 8 мА, лежит в пределах 220–300 кд/м<sup>2</sup>.

Приведенные характеристики панелей позволяют сделать несколько практических рекомендаций по выбору режимов управления ГИП в составе ЭКП. Прежде всего, нужно отметить важность управления панелью при достаточно высокой кадровой частоте сканирования по катодам. Так, при частоте не менее 300 Гц устраняется нестабильность свечения ячеек, определяемая статистическим временем запаздывания, и эффект мерцания изображения в кадре вследствие того, что рабочая частота значительно превышает критическую. Повышение частоты должно сопровождаться перенапряжением на разрядном промежутке не менее чем на 40 %, которое приведет к значительному снижению времени статистического запаздывания и времени формирования разряда.

Целесообразно облучение ГИП внешним источником. При этом статистическое запаздывание существенно уменьшится, что даст возможность устранить мерцания в свечении ячеек и обеспечит высокое качество изображения. Для облучения можно использовать искусственные источники, обладающие излучением в области ультрафиолета, например лампочку КГМ 6,3–15.

Управление панелью осуществляется в режиме коммутации двух полувыборок напряжения: путем сканирования по катодам и информационным кодом по анодам. При этом сумма полувыборок должна обеспечивать возникновение разряда с приемлемым временем запаздывания и соответствующее высвечивание ячейки, а при одной полувыборке осуществляется гашение разряда и не происходит его возбуждения. Выбор оптимальных режимов применения обеспечивает ресурс работы аппаратуры отображения 10000 ч без смены ГИП.

Дальнейшими направлениями в области разработок ГИП для экранов коллективного пользования являются повышение информационной емкости за счет уменьшения шага элементов, создание многоцветных панелей различных цветов и многоцветных, повышение ресурса работы до 30000–50000 ч.

Статья поступила 1 декабря 1981 г.

УДК 621.387

З.Н.Горелова, В.А.Мясин

## ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ИНДИКАТОРНАЯ КРУПНОЭЛЕМЕНТНАЯ ПАНЕЛЬ ИГПП-32/32. ИНДИКАТОРНЫЙ МОДУЛЬ ИМГ-3

**ИГПП-32/32 и ИМГ-3 на ее основе позволяют обеспечить построение экономичных экранов коллективного пользования. На этих экранах можно представить разнообразную знакографическую информацию: цифры, буквы, знаки, графики, таблицы, движущиеся объекты, чертежи.**

Газоразрядная индикаторная панель ИГПП-32/32 позволяет собирать экраны коллективного пользования из крупных блоков, а не из множества отдельных знакомест или дискретных компонентов, что значительно упрощает схему управления, конструкцию экрана и снижает потребляемую мощность [ 1 ].

Высокая точность адресации сигналов в любую ячейку индикаторного поля обеспечивает точное и четкое отображение информации, а достаточно яркое, немерцающее изображение – уверенное восприятие информации с расстояния 15–20 м. ИГПП-32/32 отличается от других газоразрядных индикаторных панелей (ГИП) постоянного тока простотой конструкции: функции сложной матричной решетки выполняет система пазов и выступов, сформированных на стеклянных обкладочных пластинах [ 2 ].

### Техническая характеристика ИГПП-32/32

Информационная емкость, световых элементов . . . . .	1024
Размер элемента, мм . . . . .	3×3
Шаг элемента, мм . . . . .	6
Яркость свечения, кд/м <sup>2</sup> . . . . .	не менее 160
Цвет свечения . . . . .	зеленый
Угол обзора, град . . . . .	не менее 45
Гарантийная долговечность, ч . . . . .	5000
Мощность, потребляемая на один элемент, мВт . . . . .	не более 20
Габариты, мм . . . . .	193×193×28
Масса, г . . . . .	1200

Каждая индикаторная ячейка, покрытая слоем люминофора, заполнена смесью инертных газов, при возбуждении которых возникает ультрафиолетовое излучение, вызывающее люминесценцию люминофора в зеленой области спектра.

Интеграция большого числа элементов в одном объеме позволяет обрабатывать все элементы в едином технологическом цикле, что обеспечивает высокую однородность параметров по всему индикаторному полю и стабильность характеристик при длительной эксплуатации и хранении.

Узкий шов герметизации (не более 1,5 мм) позволяет собирать экраны без потери шага элементов в местах стыковки панелей.

Расположенные на обратной стороне прибора винты обеспечивают удобное и надежное крепление панелей в экранах вплотную друг к другу. Подсоединение к внешней схеме может осуществляться плоским стандартным кабелем.

Отображение информации на ГИП постоянного тока осуществляется, как правило, в режиме построчного сканирования, т.е. последовательной и периодической подачи управляющих сигналов на строки матрицы (развертка катодов ГИП) и одновременно с включением строки подачей информационных сигналов параллельно на все столбцы матрицы (аноды ГИП). Таким образом, для отображения информации необходимо определенное схемотехническое обеспечение [3].

Для удобства потребителей, а также с целью унификации конструкции и сокращения затрат на разработку систем отображения информации, на основе ИГПП-32/32 создан и серийно выпускается матричный газоразрядный модуль ИМГ-3. Он включает в себя индикаторное поле, набранное из четырех ИГПП-32/32, и схему управления, позволяющую принимать и хранить информацию в виде двоичных кодов, и отображать ее в виде сочетания светящихся индикаторных элементов ГИП. Разработаны две модификации индикатора — с битовым (ИМГ-3-01) и байтовым (ИМГ-3-02) вводом информации.

По структуре ИМГ-3 представляет собой блок памяти с произвольной выборкой на 4096 бит. Состояние каждого бита отображается на индикаторном поле. Ячейки памяти и индикаторные элементы соответствуют друг другу. В процессе регенерации изображения информация из памяти синхронно с включением строки выводится на буферный регистр, длина которого равна количеству анодов. После заполнения буферного регистра происходит индикация элементов строки в соответствии с кодом, хранящимся в буферном регистре. Управляющие напряжения формируются анодными ключами, входы которых подключены к буферному регистру, и катодными ключами, соединенными с распределителем, выполненным по схеме "счетчик—дешифратор".

ИМГ-3 имеет 8 линий выбора блока, позволяющих соединять в экран до 256 блоков без дополнительной дешифрации адресов. Выбор индикаторного элемента (для ИМГ-3-01) или группы из 8 элементов, расположенных горизонтально рядом (байтовый вход в ИМГ-3-02), осуществляется по 12 (ИМГ-3-01) или 8 (ИМГ-3-02) линиям адреса. Имеются управляющие линии "Запись", "Стирание" "Сброс", сочетание сигналов на которых выбирает режим работы индикатора (индикация записанной информации, запись информации, полное стирание информации). На время циклов записи и полного стирания на линии "Запрет" вырабатывается сигнал, который может быть использован для обес-

печения асинхронной работы с индикатором.

Параметры матричного индикатора ИМГ-3 аналогичны соответствующим параметрам ИГПП-32/32.

#### Техническая характеристика ИМГ-3

Информационная емкость световых элементов .....	4096 (64 × 64)
Скорость записи информации	
ИМГ-3-01, бит/с .....	5 · 10 <sup>4</sup>
ИМГ-3-02, байт/с .....	5 · 10 <sup>4</sup>
Уровни управляющих сигналов, В	
лог. "0" .....	не более 0,6
лог. "1" .....	не менее 7,5
Напряжение питания, В .....	9; 200
Потребляемая мощность, Вт	
при полной засветке .....	100
удельная на элемент .....	0,025
Габаритные размеры, мм .....	386 × 386 × 190
Масса, кг .....	11

ИМГ-3 по сравнению с аналогичными приборами на тиратронах и лампах накаливания обеспечивает построение экономичных, с высокой степенью унификации экранов коллективного пользования, имеющих сплошное матричное поле, что расширяет функциональные возможности по отображению. Обладая высокой скоростью записи, простотой обслуживания сопряжения с ЭВМ, высокими эргономическими показателями, индикаторный модуль на крупноэлементной ГИП постоянного тока представляет интерес для разработчиков АСУ, информационной и вычислительной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Экраны коллективного пользования на дискретных элементах / Н.В. Григорьев, В.Г. Карпов, М.М. Милоков, Ю.И. Орлов. — М., 1981. Вып. 5 (815). Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы.
2. Обзоры по электронной технике: Газоразрядные индикаторные панели постоянного тока / Ю.И. Орлов. — М., 1981. Вып. 2 (803). Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы.
3. Карпов В.Г., Козлов А.М., Мясин В.А. Индикатор ИМГ-3 на ГИП — универсальный модуль для набора больших экранов. — Электронная техника. Сер. Электровакuumные и газоразрядные приборы, 1981, вып. 2 (85), с. 83—86.

Статья поступила 28 февраля 1982 г.

УДК 621.387.322.31

А.Л.Ешуков, М.М.Милоков

## ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭКРАНОВ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГИП

Экраны коллективного пользования (ЭКП) используются в крупных АСУ для отображения больших массивов знакографической информации.

ЭКП на дискретных элементах. В проектировании системы отображения информации (СОИ) на дискретных элементах

[1] можно условно выделить четыре этапа: разработку индикатора, индикаторного модуля, ЭКП и системы отображения информации. Однако при разработке и выпуске СОИ с использованием ЭКП предприятия выполняют только три последних этапа работ и не занимаются разработкой конструкции и технологии самих индикаторов, так как имеется большая номенклатура серийных индикаторов. Это приводит к тому, что не выявляются и не реализуются в полной мере возможности каждого типа индикаторов при использовании в СОИ конкретного назначения. Так, например, при разработке ЭКП на лампах накаливания и тиратронах среди широкой номенклатуры ламп накаливания нет типов, специально предназначенных для работы в экранах, объединенных общим корпусом или имеющих общие выводы. Поэтому разработчики СОИ вынуждены использовать их с индивидуальной арматурой (патронами), объединять в матрицы, конструктивно отделять друг от друга специальными перегородками, устанавливать светофильтры и т.д., что приводит к снижению технологичности ЭКП.

Широкий диапазон применения ЭКП на лампах накаливания, обусловленный относительной простотой управления и доступностью индикаторов этого типа, приводит к значительному снижению унификации ЭКП, так как каждый потребитель изготавливает экран строго определенного назначения.

Проектирование индикаторного модуля на дискретных элементах сводится к конструктивному объединению индикаторов в матрицу 5x7 элементов для знаковых ЭКП. Недостатком такого метода является малая степень интеграции элементов в модуле, что приводит к значительному увеличению объема монтажа в составе ЭКП, трудности в конструировании ряда ЭКП с различной информационной емкостью и для широкого диапазона дальности считывания.

При модульном построении ЭКП на дискретных элементах фактически все логические и коммутирующие цепи располагаются вне модуля, что также препятствует повышению унификации СОИ.

Необходимость изменения высоты знака влечет за собой изменения габаритов и электрических параметров индикатора, а следовательно, и конструкции экрана. ЭКП, собранные из модулей-знакомест, имеют количество разъемов, равное, по крайней мере, числу знаков, а ЭКП, работающее с бликерными элементами, — удвоенное количество, что отрицательно сказывается на надежности СОИ.

Опыт конструирования знакового ЭКП на вакуумно-люминесцентных индикаторах типа П204А указывает на необходи-

мость при проектировании ЭКП разработки промежуточного звена модуля. При разработке требований к габаритам и массе модуля следует учитывать ремонтпригодность в условиях эксплуатации, а также быструю замену его с лицевой или задней стороны экрана. Очень большое влияние на эргономические показатели экрана оказывает плотность расположения элементов индикации (отношение активной площади индикаторного поля к общей при полной засветке). Желательно, чтобы эта площадь была не менее 0,5, контрастность — не менее 0,8, цвет свечения — зеленый.

*Конструирование ЭКП на ГИП.* Описанные выше особенности следует учитывать при конструировании ЭКП на крупноэлементных ГИП. Как правило, такие ЭКП строятся по модульному принципу [2] и предназначены для отображения знакографической информации внутри помещений, в АСУ, системах управления движением транспорта, информационных системах и т.д. Конструирование модулей должно проводиться одновременно с проработкой конструкции всего ЭКП для максимального упрощения элементов конструкции. Необходимы по крайней мере две модификации модулей (и соответственно экранов) — для установки в ЭКП сзади и спереди, так как число потребителей, предпочитающих ту или иную конструкцию, примерно одинаково. Модуль массой 7—10 кг обеспечивает удобство в обслуживании и достаточно широкие функциональные возможности. В состав такой конструкции входят четыре ГИП (по 1,2 кг каждая) и 4—10 печатных плат. Печатные платы, объединенные арматурой, могут располагаться параллельно или перпендикулярно к поверхности ГИП. Оба способа позволяют получить приблизительно одинаковую глубину модуля — около 200 мм.

При размерах индикаторного поля модуля 387x387 мм параллельное расположение печатных плат размером 350x350 мм позволяет более полно использовать их поверхность для компоновки элементов схемы, но имеет технологические ограничения. Перпендикулярное расположение печатных плат исключает межплатный объемный монтаж благодаря использованию соединительной платы, расположенной параллельно ГИП. Этот вариант, однако, имеет ограничения при разработке модулей на ГИП с повышенной информационной емкостью. В целом конструкция модуля должна обеспечивать возможность увеличения числа печатных плат.

В связи с тем, что ГИП являются достаточно надежным элементом отображения и долговечность их сравнима с ИС, целесообразно осуществлять безразъемное

(например, с использованием гибкого печатного кабеля) соединение их с коммутирующими элементами схемы.

Для получения широкого номенклатурного ряда ЭКП при проектировании целесообразно группировать модули в секции, которые стыкуются между собой по горизонтали или (и) по вертикали без потери шага элементов индикации на стыках. Разработку новых ГИП с повышенной разрешающей способностью и многоцветных для ЭКП целесообразно проводить с учетом возможности сохранения установочных и присоединительных размеров ранее разработанных модулей, что позволяет проектировать типовую конструкцию модуля, секции и ЭКП для существенно различных по виду, назначению и применению СОИ. Число модулей в секции можно варьировать (от 2 до 8) в зависимости от информационной емкости используемых в модуле ГИП и требуемого минимального объема отображаемой информации. Несколько вариантов секции разрабатываются исходя из наиболее вероятных применений ЭКП.

Очень важным моментом при проектировании модуля и секции является разработка узла стыковки, так как от простоты и надежности этого элемента конструкции зависит технологичность сборки, ремонтпригодность и удобство эксплуатации ЭКП. Для компенсации разбросов размеров индикаторного поля модулей при наборе их вдоль ЭКП могут использоваться два хорошо зарекомендовавших себя метода: модули устанавливаются в секцию на места, жестко «привязанные» относительно друг друга с обеспечением гарантированного зазора между торцами ГИП; модули устанавливаются в секцию на «плавающие» места с последующей юстировкой положения модулей и фиксацией в процессе сборки. Для этих методов характерны легкость замены модулей и допустимая потеря шага элементов индикации на стыках ГИП, которая не должна превышать 30—40%.

Функциональные возможности модуля должны определяться не только с учетом распределения аппаратных средств между ЭКП и его устройством управления, но и из расчета минимального расхода проводов в межблочных соединениях секций. Одним из вариантов функционального состава модуля может служить серийный прибор ИМГ-3 [3]. В секции целесообразно размещать общий источник питания (если он не входит в состав самих модулей) и плату сопряжения с линией связи при удалении устройства управления более чем на 3—10 м.

Рекомендуемый агрегатированный метод построения ЭКП на ГИП позволяет су-

щественно усовершенствовать производство ряда экранов и обеспечить требования большинства потребителей СОИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Экраны коллективного пользования на дискретных элементах/Ю.И. Орлов, Н.В. Григорьева, В.Г. Карпов, М.М. Милоков. — М.: 1981. — Вып. 5(815). Сер. Электроракумные и газоразрядные приборы. — 20 с.
2. Дедковский В.П., Карпов В.Г., Мясин В.А. Знакографический матричный экран коллективного пользования. — Обмен опытом в радиопромышленности, 1980, № 4, с. 63.
3. Индикатор ИМГ-3 на ГИП — универсальный модуль для набора больших экранов/В.Г. Карпов, А.М. Козлов, В.А. Мясин. — Электронная техника. Сер. Электроракумные и газоразрядные приборы, 1981, вып. 2, с. 83—86.

Статья поступила 14 апреля 1982 г.

## ЭП РЕКЛАМА

### ПАНЕЛЬ ИГП-17

Предназначена для мультиплексного режима работы с частотой выборки более 50 Гц. Для управления панелью разработаны и освоены высоковольтные интегральные схемы.

Газоразрядная панель ИГП-17 представляет собой плоский прибор в стеклянном оформлении на 17 знакомест. Каждое знакоместо состоит из семи сегментов и десятичной точки, 17-е знакоместо выполнено в виде операционного знака « $\frac{1}{2}$ ».

Применение ИГП-17 по сравнению с газоразрядными индикаторами пакетной конструкции позволяет снизить в 5 раз трудоемкость монтажа блоков и индикации, в 1,5 раза уменьшить их массу и габариты, в 1,6 раза — потребляемую мощность.

Четкость отображения, высокая контрастность, яркость и равномерность свечения, механическая прочность гарантируются в течение всего срока службы панели. Отсутствие мерцаний, большой угол обзора, стабильная яркость создают удобства в работе.

Панель ИГП-17 является базовой конструкцией для разработки серии цифровых индикаторных панелей с различной информационной емкостью.

Размер знака, мм	12x5,5
Яркость свечения, кд/м <sup>2</sup>	не менее 100
Цвет свечения	оранжево-красный
Контраст, %	60
Горизонтальный угол обзора при дальности считывания 0,6—0,8 м, град	±60
Напряжение источника питания (импульсное), В	не менее 190
Ток индикации сегмента, мкА	
средний	25—35
импульсный	300—700
Длительность импульса напряжения на аноде, мкс	200
Температура окружающей среды, °С	1 55
Средний ресурс, ч	10000
Габариты, мм	175x45x26
Масса, г	150

А.М.Козлов

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНДИКАТОРНЫЙ ПРИБОР



**ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ВИЗУАЛЬНУЮ ИНФОРМАЦИЮ И ОТОБРАЖЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИ ЛЮБОЙ ЗНАКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.**

Прибор обеспечивает

- индикацию прописных и строчных букв русского и латинского алфавитов, а также некоторых букв греческого, арабских цифр, математических и специальных знаков;
- хранение информации во внутренней памяти;
- полное гашение индикаторного поля с сохранением информации;
- ввод информации с клавиатуры или от других внешних устройств со скоростью до 20000 знаков/с.

Индикатор выполнен на основе газоразрядной матричной панели ГИПС-16-1.

Возможны два режима ввода информации. При синхронном режиме скорость ввода информации не превышает 100 знаков/с, вводимый

знак появляется на крайнем правом знако-месте, вся информация, отображаемая на индикаторе, сдвигается влево на одно знако-место, а крайний левый знак теряется. При асинхронном режиме знаки вводятся со скоростью до 20000 знаков/с, однако вся записанная ранее информация исчезает.

С помощью стандартного разъема 2РМ прибор легко встраивается в аппаратуру, прост в управлении. Может подключаться к вычислительным устройствам без промежуточных сопрягающих схем. Не требует высоковольтного питания, так как имеет встроенный вторичный источник питания. Сохраняет хорошие светотехнические и эргономические характеристики при круглосуточной работе.

Индикатор может широко применяться в ЭВМ, аппаратуре АСУ, станках с ЧПУ, промышленных роботах, фотонаборном и контрольно-измерительном оборудовании.

Количество знакомест	16
Размеры знака (при формате 5x7 элементов), мм	7x10
Ассортимент знаков	192
Регулируемая яркость, кд/м <sup>2</sup>	40 150
Цвет свечения	оранжево-красный
Напряжение питания, В	-5±0,15; -12,6±0,2
Уровни управляющих сигналов	ТТЛ
Температура окружающей среды, °С	-5...+40
Средняя наработка на отказ, ч	2000
Габаритные размеры, мм	220x72x180
Масса, кг	2,5
Потребляемая мощность, Вт	..... 8

В.И.Серов

## ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИНДИКАТОРНЫЕ ПАНЕЛИ С САМОСКАНИРОВАНИЕМ

## ГИПС-16-1; ИГПС-1-222/7

Разработанные газоразрядные индикаторные панели предназначены для отображения буквенно-цифровой и символической информации в устройствах индивидуального пользования с малой и средней информационной емкостью.

Панели могут применяться в блоках ввода и вывода информации в ЭВМ, в устройствах с ЧПУ, а также в АСУТП и КИП.

Панели представляют собой плоские стеклянные приборы в пластмассовом корпусе. Индикаторное поле состоит из отдельных ячеек, при свечении которых синтезируются любые символы. Цвет свечения — оранжево-красный. Оптимальное расстояние от оператора до панели при считывании информации 0,5-1,5 м. Конструктивно панели состоят из двух частей: вспомогательной (сканирующей) и индикаторной. Электродная система содержит объединенные в группы катоды сканирования, аноды сканирования и аноды индикации. Образованные ими два разрядных промежутка (сканирования и индикации) имеют диффузионную связь за счет микроскопических инжекционных отверстий в катодах сканирования. Панель управляется посредством перемещения разряда по системе сканирования

с последующей выборочной подачей импульсов напряжения на аноды индикации.

Панели могут использоваться самостоятельно или в составе специальных индикаторных универсальных модулей. Например, панели ГИПС-16-1 применяются в составе серийно выпускаемых моделей ПИУ-1, ПИУ-2, а ИГПС-1-222/7 — в составе вычислительной управляющей микросхемы 15ВУМС-32-001.

	ГИПС-16-1	ИГПС-1-222/7
Напряжение источников питания		
анодов сканирования, В . . . . .	250	250
Амплитуда импульсов, В		
управляющих . . . . .	-105	-100
индикации . . . . .	150	150
Потребляемая мощность, Вт.. не более	2	2
Размер знака (5x7 элементов), мм..	10x7	6,5x4,5
Число индикаторных ячеек . . . . .	111x7	222x7
Средняя яркость свечения, кд/м <sup>2</sup> ..	140	140
Угол обзора, град . . . . .	не менее ±45	не менее ±45
Средний ресурс, ч . . . . .	5000	5000
Габаритные размеры, мм . . . . .	220x65x40	270x40x50
Масса, г . . . . .	не более 500	не более 500
Расстояние между световыми элементами, мм . . . . .	1,5	1,0
Количество отображаемых символов . . . . .	16—18	32—34
Формат индикаторного поля, ячеек . . . . .	111x7	222x7

Ю.И.Гасан

# ИМГ-1 ИМГ-1-03 ИНДИКАТОРЫ МАТРИЧНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ

**ИМГ-1** — индикатор матричного типа с плоским экраном, управляемый от стандартных ИС. Экраном является газоразрядная индикаторная панель постоянного тока с информационной емкостью 10000 световых элементов, обеспечивающая отображение универсальной (знакографической) информации.

Выполнен в виде индикаторного модуля щитового типа. Электрическое соединение обеспечивается при помощи четырех гибких печатных кабелей на 128 (32x4) контактов. Предусмотрена установка внешних светофильтров и шкал с лицевой стороны прибора и монтажной платы для размещения электрических компонентов с тыльной стороны.

Компактность и высокие эргономические характеристики прибора определили его широкое применение в различных устройствах вычислительной и измерительной техники (видеотерминалах, цифровых осциллографах), в медицине, приборостроении и станкостроении.

Информационная емкость, элементов	100x100
Шаг световых элементов, мм	1
Средняя яркость свечения, кд/м <sup>2</sup>	не менее 50
Цвет свечения	оранжево-красный
Напряжение источников питания, В	5(100 мА) 250(40 мА)

<b>Входные управляющие сигналы</b>	
по координате X (развертка)	двоично-десятичный двухразрядный код (X <sub>1</sub> —X <sub>2</sub> )
по координате Y (информация)	параллельный 100-разрядный двоичный код (Y <sub>1</sub> —Y <sub>100</sub> )

<b>Уровни управляющих сигналов, В</b>	
лог. «0»	-0,5...0,4
лог. «1»	2,4...5,5
<b>Частота регенерации изображения по координате X, Гц</b>	
	10—100
<b>Рабочая температура окружающей среды, °С</b>	
	-10...+45
<b>Минимальная наработка на отказ, ч</b>	
	2000
<b>Габариты (с монтажной платой потребителя), мм</b>	
	145x145x67
<b>Масса, кг</b>	
	не более 0,8

На основе ИМГ-1 разрабатываются законченные устройства отображения информации конкретного типа: знаковой, графической, гистограммной, что сокращает сроки проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

**ИНДИКАТОР ИМГ-1-03** — преобразует сигналы двоичного кода в изображение букв русского и латинского алфавитов, арабских цифр, специальных знаков.

Работает в двух основных режимах: записи информации и отображения. Обеспечивает запись и последовательную индикацию четырех страниц информации (за страницу принимается объем информации в 160 знакомест). Выбор необходимой страницы осуществляется подачей двухразрядного кода.

Выполнен на микросхемах серии К155. Содержит, кроме ИМГ-1, знакогенератор, оперативное запоминающее устройство, элементы развертки и синхронизации, встроенный источник высоковольтного питания. Электрическое соединение прибора с устройствами управления и питания осуществляется с помощью стандартного разъема СНП 58. Обеспечивает построение экономичных устройств отображения знаковой информации с цифровым управлением и создает возможность для комплексной микроминиатюризации вычислительной и измерительной техники, операторских пультов управления, различной диагностической медицинской и прочей аппаратуры.

Информационная емкость, знакомест	160
Число знакомест в строке	16
Количество отображаемых знаков	96
Размер знака (при формате 5x7 элементов), мм	4,6x6,6
Яркость свечения, кд/м <sup>2</sup>	не менее 50
Цвет свечения	оранжево-красный
<b>Входные управляющие сигналы:</b>	
код знака	7-разрядный
код знакоместа	параллельный двоичный 8-разрядный параллельный двоичный

<b>Уровни входных управляющих сигналов, В</b>	
лог. «0»	-0,5...+0,4
лог. «1»	2,4...5,5
<b>Частота записи информации, кГц</b>	
	не более 200
<b>Напряжение источников питания, В</b>	
	5±5%; 12±3%
<b>Потребляемая мощность, Вт</b>	
	22
<b>Рабочая температура окружающей среды, °С</b>	
	-10...+50
<b>Минимальная наработка на отказ, ч</b>	
	2000
<b>Габаритные размеры, мм</b>	
	145x145x100
<b>Масса, кг</b>	
	не более 1,4

И.Н. Коростелев, В.И. Лобан

# ВАКУУМНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

УДК 681.327.11:535.37

Б.И.Горфинкель, А.И.Коровкин

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВАКУУМНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Рассмотрены состояние и перспективы развития индикаторных приборов на основе низковольтной катодолюминесценции, обладающих высокими эргономическими и светотехническими параметрами.

Появление в начале 70-х годов отечественных вакуумных люминесцентных индикаторов (ВЛИ) явилось началом нового направления в электронном приборостроении [1]. Сегментный низковольтный индикатор с плоским изображением цифры, высвечиваемой оптимальным для восприятия глазом голубовато-зеленым цветом, был использован при разработке нового поколения электронных клавишных вычислительных машин. Эти калькуляторы пришли на смену громоздким машинам, в которых в качестве индикаторов применялись высоковольтные газоразрядные приборы. Дальнейшее совершенствование как самих конструкций, так и их функциональных возможностей ВЛИ, а также разработка в короткие сроки десятков типов новых приборов создали предпосылки для их массового применения.

Индикаторы широко используются в микрокалькуляторах индивидуального пользования, кассовых аппаратах, настольных часах, диспетчерских пультах различных систем, в том числе информационных табло, АСУ коллективного пользования. В последнее время ВЛИ начинают находить широкое применение в измерительной технике, автомобильной электронике, бытовой и профессиональной радиоаппаратуре.

Характерным для ВЛИ является их использование в устройствах, построенных на современной элементной базе.

Быстрому развитию этого класса приборов способствовали их уникальные свойства: непосредственная сопрягаемость с МОП интегральными схемами, высокие эргономические параметры и высокая яркость свечения, большой угол обзора, высокая экономичность, возможность отображения информации в приборах индивидуального, группового и коллективного пользования, возможность работы в условиях экстремальных климатических и механических воздействий, отсутствие в конструкциях приборов дефицитных материалов и их низкая стоимость.

В настоящее время выпускаются [2, 3] буквенно-цифровые индикаторы, семейства многоцветных приборов, в том числе оригинальные матричные знакоместа, шкальные индикаторы, интегральные индикаторы со схемами управления.

Параметрический ряд отечественных одноразрядных ВЛИ состоит из следующих типов: ИВ-1, ИВ-3, ИВ-3А, ИВ-4, ИВ-6, ИВ-8, ИВ-11, ИВ-12, ИВ-17, ИВ-22, ИВЛ1-18/1 (рис.1). Индикаторы этого ряда позволяют иметь достаточное поле разброса габаритов знака.

По числу разрядов параметрический ряд многоразрядных ВЛИ в основном ориентирован на конкретные устройства (электронные цифровые часы, настольные, переносные и карманные калькуляторы и т.д.). При этом отечественные индикаторы по числу разрядов ограничены рядом: 4, 6, 9, 12, 13, 14, 17.

Разработаны цифровые многоразрядные индикаторы цилиндрической формы — ИВ-18, ИВ-21, ИВ-27 (рис.2,а) и плоские — ИВ-28А, ИВ-28Б, ИВЛ1-8/12, ИВЛ2-8/12, ИВЛ1-8/13, ИВЛ1-8/17, ИВЛ1-7/5, ИВЛ2-7/5, ИВЛ3-7/5 (рис.2,б,в).

Нашли применение в аппаратуре многоразрядных ВЛИ, отличающиеся высокой устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям ИЦЛ1-9/8Л, ИЦЛ2-8/13, ИЦЛ1-14/8Л, буквенно-цифровой восьмиразрядный индикатор ИВЛ1-8/16Л и ряд других приборов.

Созданы также аналоговые шкальные ВЛИ. Эти индикаторы (рис.3), сопряженные с преобразователями кода, фактически заменяют стрелочные приборы. Так, например, ИВЛ1-8/13 представляет собой дискретно-аналоговую шкалу, имеющую 101 риску. Она предназначена для измерительных целей.

Большое практическое применение получили шкальные приборы со сравнительно

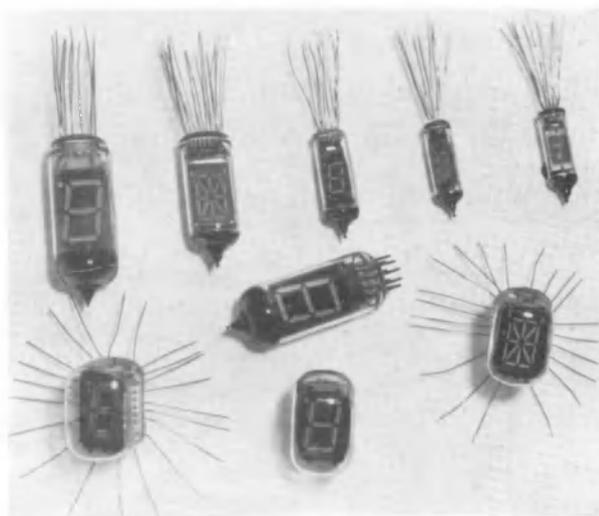


Рис. 1. Различные типы одноразрядных вакуумных люминесцентных индикаторов

малым числом индексов отсчета, предназначенные для индикации уровня сигналов в приемниках, магнитофонах и многих других уст-

ройствах. Такие ВЛИ характеризуются улучшенной эргономикой и удовлетворяют самым высоким современным требованиям к оформ-

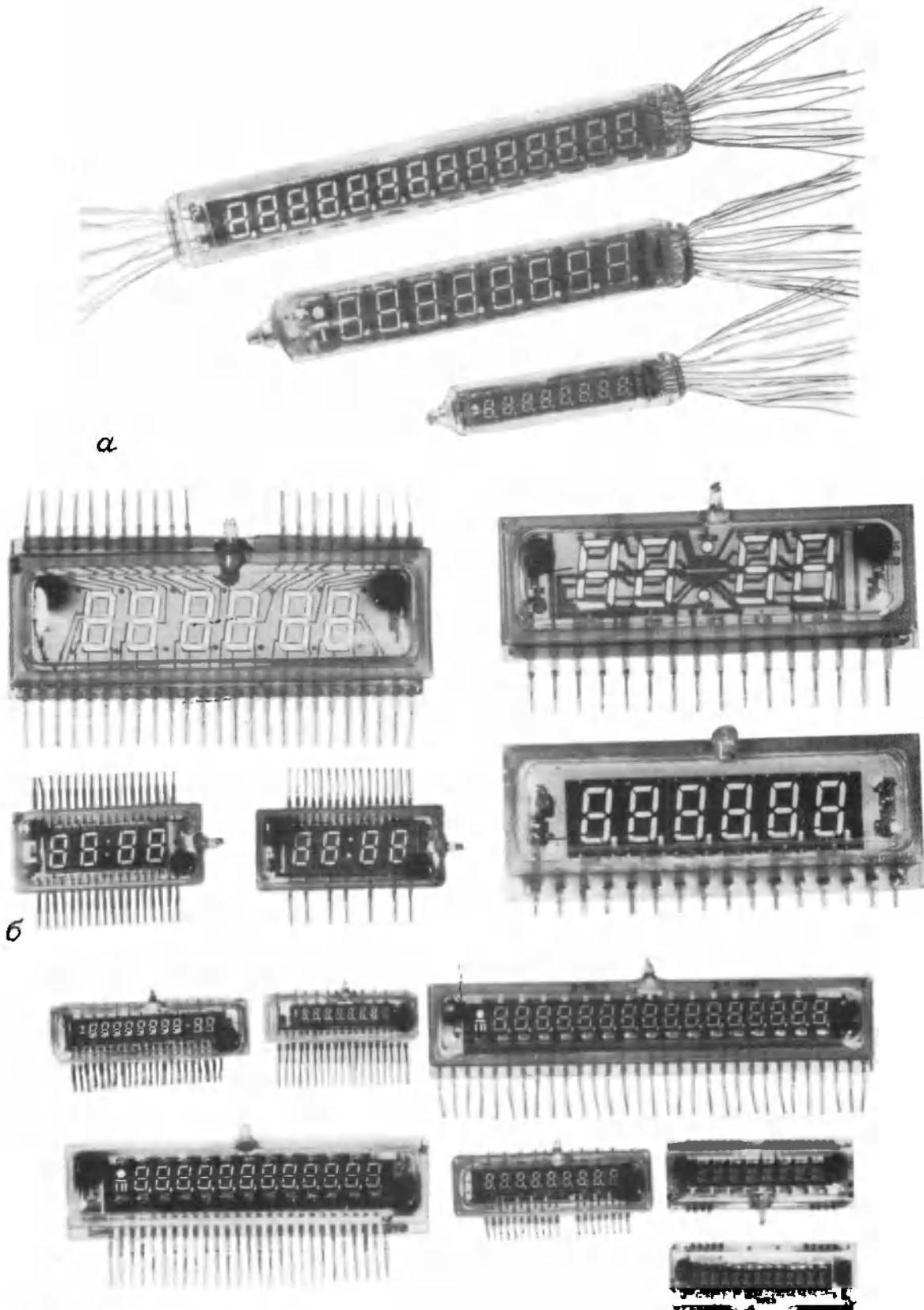


Рис. 2. Цифровые многоразрядные вакуумные люминесцентные индикаторы цилиндрической формы (а) и плоские (б, в)

лению бытовой электронной аппаратуры.

Особый интерес представляют шкальные индикаторы со встроенными микросхемами. Примером такого индикатора является плоский дисплей ИВЛШУ1-11/2 для индикации уровня записи и воспроизведения в стереофонических системах. Индикатор имеет 22 индекса отсчета. Встроенная микросхема является аналого-позиционным преобразователем. Весьма интересны выпускаемые промышленностью три типа универсальных шкал (цифро-аналоговая шкала ИВЛ1-51/5, ИВЛШ1-8/13 и ИВЛШ1-11/1).

Наиболее универсальными ВЛИ являются матричные индикаторы (рис.4), предназначен-

ные для формирования разнообразных знаков, цифр, букв, символов и т.д.

Выпускаются одно-, двух- и трехцветные матричные индикаторы с высотой знака 40 и 80 мм: ИВЛМ1-5/7, ИВЛМ2-5/7, ИВЛМ3-5/7, ИВЛМ21-5/7, ИВЛМ22-5/7, ИВЛМ23-5/7. Они представляют собой универсальное знакоместо с 35 светоизлучающими элементами в каждом цвете. ИВЛИ1-5/7-45Л — это панель, содержащая три строки по 15 знакомест. Знакоместо содержит 5x7 светоизлучающих элементов.

Цилиндрические индикаторы ИВ-25 и ИВ-26, состоящие из семи светоизлучающих элементов, представляют собой фрагмент слож-

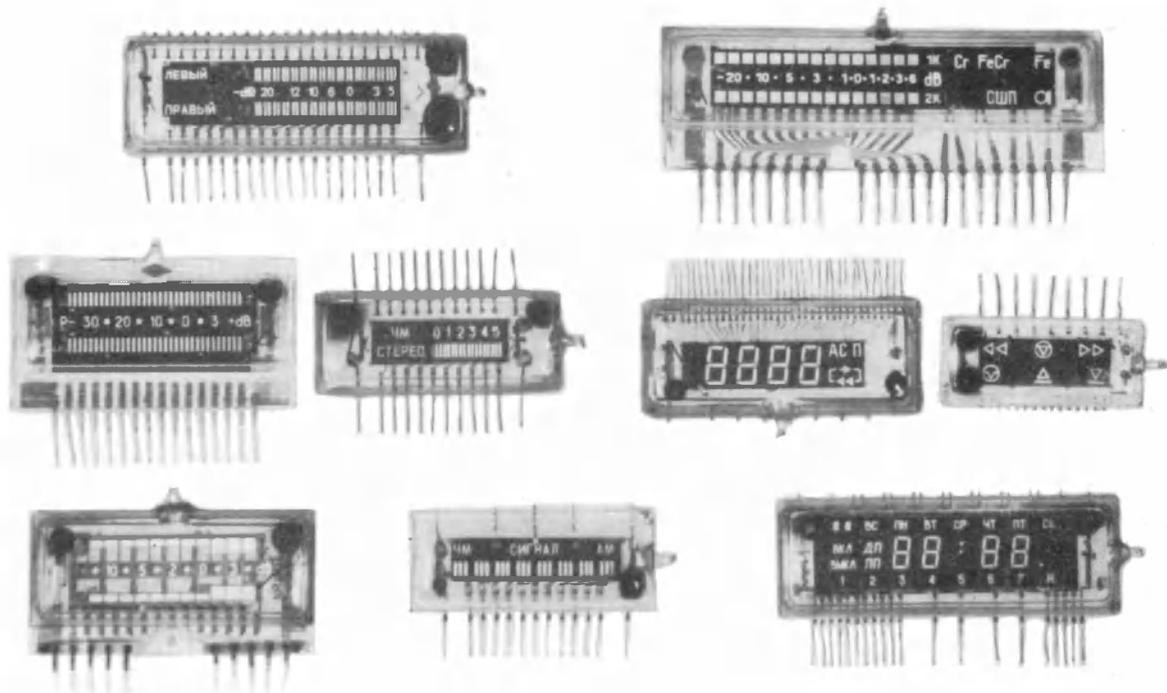


Рис. 3. Аналоговые (шкальные) вакуумные люминесцентные индикаторы

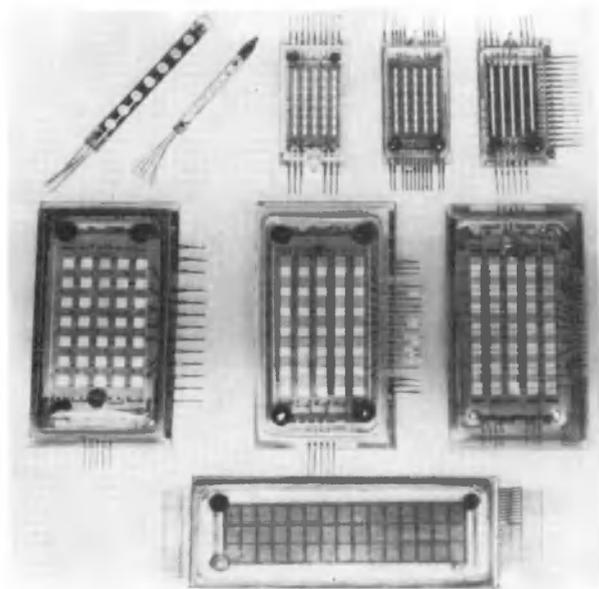


Рис. 4. Матричные вакуумные люминесцентные индикаторы

ного универсального информационного поля, например, протяженной строки.

Большие матричные панели ИВЛГ1-32/128Л, ИВЛГ1-128/128Л (с числом элементов 32x128 и 128x128) могут отображать текстовую и графическую информацию.

ВЛИ получили перспективное развитие в новых направлениях благодаря следующим научно-техническим возможностям, выявленным в процессе разработки конструкции и технологии изготовления предыдущих поколений приборов:

- возможности обеспечения высокой яркости и малоцветности в одном баллоне при экономичном и простом управлении;

- абсолютной технологической совместимости платы дисплея с кристаллами ИС и возможности создания гибридных вакуумно-полупроводниковых дисплеев;

- возможности эффективного управления неупорядоченным, равномерно распределенным на анодной плате электронным потоком. При этом сравнительно легко реализуется матричная адресация без возбуждения паразитных подсветок, модуляция яркости с

обеспечением, при необходимости, нужной гаммы полутонов в изображении.

Можно проследить ряд перспективных направлений в развитии индикаторов. Это — многоцветные индикаторы для контроля работы и состояния всевозможных устройств машин и агрегатов. Широкое применение в последнее время они получили для отображения текущей и диагностической информации в автомобилях [4, 5, 14, 15], аппаратуре магнитной записи и др. (рис.5). Эти индикаторы представляют собой приборы частичного применения. Наиболее часто встречаются среди них аналоговые шкалы-указатели уровня параметров, мозаичные мнемосхемные индикаторы, содержащие условные сведения о состоянии деталей, узлов и систем в целом. Кроме того, к ним относятся цифровые индикаторы с дополнительной символикой. Во многих типах таких индикаторов используется цветное кодирование информации.

Все многообразие мозаичных мнемосхемных индикаторов представляет собой унифицированный класс многоэлементных дисплеев, работающих в статическом режиме с заранее программируемой информацией. Он состоит из восьми—десяти базовых конструкций с легко изменяемой топологией светоизлучающих элементов. Яркость таких дисплеев достигает 1500—2000 кд/м<sup>2</sup>, что обеспечивает возможность считывания информации при высокой внешней освещенности.

В жимах, можно использовать (в отличие от динамических режимов) существенно меньшие питающие напряжения, что обеспечивает высокую экономичность и позволяет применять конструкции с изображением «на просвет» (рис.6).

Описанные выше отсчетные устройства являются лишь частным случаем индикаторов, интегрированных со схемным управлением. Предполагается, что наличие встроенной управляющей интегральной схемы является характерной чертой индикатора следующих поколений.

Интенсивное развитие в последние годы получили разработки панелей матричного типа, используемые в виде дисплеев в различного рода видеотерминальных устройствах. Сравнительно сложная триодная структура управления дисплеем ограничивает получение высокой разрешающей способности. Отсутствие «внутренней памяти» ведет к снижению яркости при увеличении информационной емкости дисплея. Вместе с тем найденные технические решения позволяют реализовать довольно сложные системы, обеспечивая разрешающую способность до 15 элементов/см за счет применения камерной конструкции управляющих электродов и введения дополнительных электродов [7]. Эти обстоятельства наряду со способностью ВЛИ работать при низких питающих напряжениях позволяют уже сегодня весьма эффективно использовать

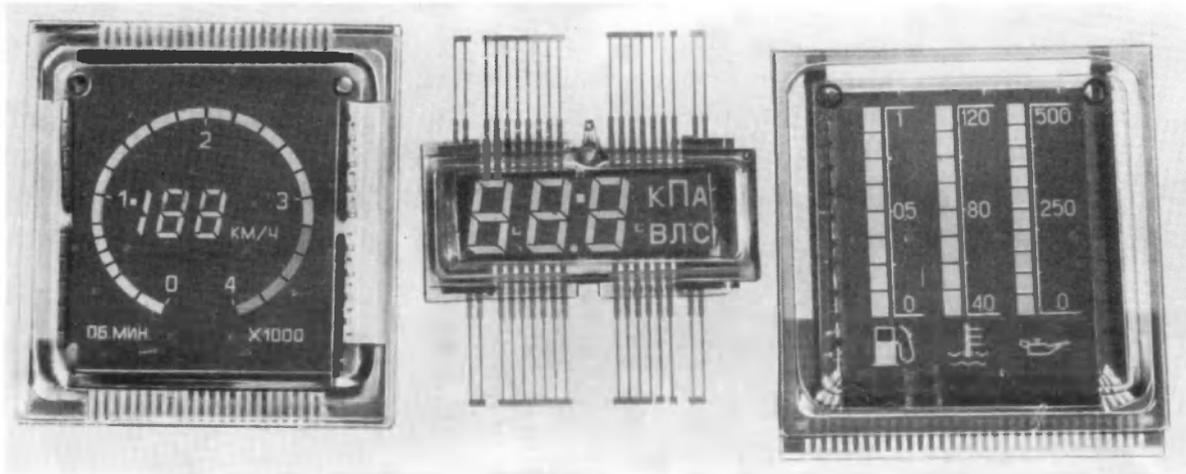


Рис. 5. Многоцветные вакуумные люминесцентные индикаторы

Весьма перспективным направлением является дальнейшее развитие гибридных вакуумно-полупроводниковых сборок. Создан унифицированный ряд отсчетных вакуумно-люминесцентных устройств (шкалы). Такие шкалы, содержащие до 100 отсчетных рисок, имеют четыре внешних вывода. В качестве навесных элементов в гибридной вакуумно-полупроводниковой сборке используются многоэлектродные сдвиговые регистры.

Использование кристаллоинтегральной схемы в качестве конструктивного элемента коренным образом упрощает внутреннюю арматуру дисплея и обеспечивает его работу в статическом режиме с яркостью порядка 2000 кд/м<sup>2</sup>. Однако столь высокая величина яркости свечения не всегда нужна, поэтому в системах, работающих в статических ре-

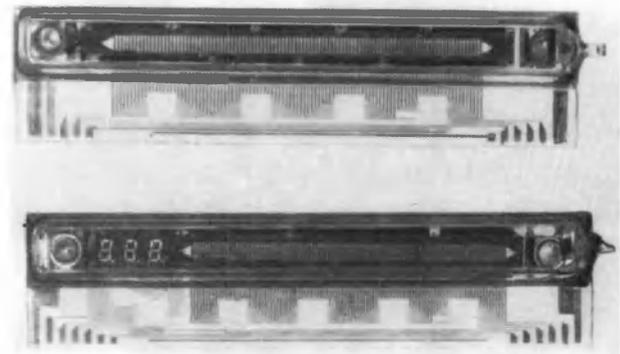


Рис. 6. Вакуумные люминесцентные индикаторы с изображением «на просвет»

ВЛИ — панели в видеотерминальных устройствах.

Индивидуальные экранные терминалы стали распространенными устройствами ввода-вывода информации [8]. Среди видеотерминальных дисплеев представляет большой интерес вакуумная люминесцентная панель на 240 знаков.

В настоящее время имеются модели матричной панели на 480 знаков (12 строк по 40 знаков, состоящих из 5x7 элементов), а также панель для воспроизведения графической информации, содержащая 256x64 элементов [12] и являющаяся фрагментом панели, имеющей по 256 столбцов и строк. Надо отметить, что разработка таких панелей рассматривается как предпосылка к созданию в будущем плоского телевизионного экрана [13].

Развитие ВЛИ в 70-е годы характеризовалось также широким кругом материало-ведческих и технологических работ. За это время были разработаны и освоены промышленностью оригинальные составы многоцветных низковольтных катодолуминофоров, нашла широкое внедрение оригинальная технология изготовления анодных плат для индикаторов, разработано множество эффективных технологических процессов, создано высокопроизводительное специализированное оборудование для производства ВЛИ. Проведенные исследования свидетельствуют о потенциальных возможностях существенного повышения эффективности низковольтной катодолуминесценции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Низковольтные вакуумные люминесцентные индикаторные лампы / Б.И.Горфинкель, Р.С.Медведев и др. — Электронная техника. Сер. 10. Микроэлектронные устройства, 1971, вып. 8, с. 23.
2. Горфинкель Б.И., Коровкин А.И. Вакуумные катодолуминесцентные индикаторы. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы, вып. 6, с. 3-14.
3. Знакомизирующие индикаторы на основе эффекта низковольтной катодолуминесценции / Б.И. Горфинкель, Б.В.Абальдуев, А.И.Коровкин и др. — В кн.: Современные методы и устройства отображения информации / Под ред. М.И.Кривошеевой и А.Я. Брейтбарта. — М.: Радио и связь, 1981, с. 89.
4. Electronic Business, 1980, April, p. 109-112.
5. Flat fluorescent display tube has many applications for automobiles. — IEE, 1981, 18, N 169, p. 32-36.
6. Русина Е.В. Универсальные индикаторы, панели матричного типа и дискретно-аналоговые шкалы на основе катодолуминесценции. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы, 1977, вып. 4, с. 87.
7. Русина Е.В. Матричные индикаторы и панели на основе низковольтной катодолуминесценции. — Наст. вып., с. 88-90.
8. Электроника (пер. журн. США "Electronics"), 1980, т. 53, № 9, с. 210-248.
9. Vacuum fluorescent displays increasing sophistication. IEE, 1981, 18, N 169, p. 37-41.
10. Graphic fluorescent indicator panel features high capability, low profile. — EDN, Nov., 1981, p. 320.
11. Электроника (пер. журн. США "Electronics"), 1981, № 20, p. 23.
12. Vacuum fluorescent dot-matrix panel exhibits alphanumeric. — EDN, Sept., 1981, N 17, p. 154.
13. Электроника (пер. журн. США "Electronics"), 1980, т. 53, № 6 с. 52.
14. Шведов А.Н., Королькевич В.А. Современное состояние и направление развития автомобильной электроники. Зарубежная электронная техника, 1981, вып. 9, с. 3-27.
15. Автомобильная электроника / В.Н.Велицкий и др. — Зарубежная радиоэлектроника, 1982, № 2, с. 85-88.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 621.385.032.36.032.21

Б.В.Абальдуев

## НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КАТОДОЛЮМИНОФОРЫ

**Рассмотрены особенности возбуждения катодолуминесценции медленными электронами и характерные свойства эффективных низковольтных катодолуминофоров.**

В катодолуминесцентных приборах рабочее вещество — кристаллофосфор — трансформирует кинетическую энергию бомбардирующих его электронов в электронные возбуждения твердого тела, а затем в электромагнитное излучение. При этом энергия первоначально воспринимается кристаллической основой, поскольку прямое возбуждение центров люминесценции хотя и возможно, но из-за малой концентрации центров маловероятно и не играет существенной роли.

Соударение электронов с твердым телом вызывает дифракцию электронов на кристаллической решетке, упругое и неупругое отражение, вторичную электронную эмиссию, рентгеновское излучение и т.д. В самом твердом теле возникают одночастичные электронные возбуждения (свободные электроны и дырки), коллективные электронные возбуждения (объемные поверхностные и линейные плазмоны), а также тепловые колебания решетки (фононы и др.). Особое значение имеют взаимодействия бомбардирующих электронов с кристаллом, приводящие к генерации электронно-дырочных пар, в результате рекомбинации которых и возникает люминесцентное излучение. Важны, конечно, и другие виды взаимодействий, так как, протекая безызлучательно, они уменьшают эффективность люминесцентного преобразования энергии.

Низковольтной считается катодолуминесценция, происходящая под воздействием медленных электронов (понятие медленных электронов трактуется у разных авторов по-разному). Поэтому при низковольтной катодолуминесценции (НВК-люминесценция) граница для медленных электронов порядка 100 эВ может быть принята более или менее обоснованно лишь с учетом особенностей возбуждения люминесценции потоком электронов [1].

Рассмотрим особенности передачи энергии возбуждения кристаллу, сопоставим условия рождения и рекомбинации электронно-дырочных пар и учтем специфику конструкции низковольтных катодолуминесцентных индикаторов и организацию электронного потока в них.

Из числа особенностей возбуждения НВК-люминесценции наиболее очевидна малая глубина проникновения медленных электронов в твердое тело. Применительно к условиям возбуждения

высоковольтной катодолуминесценции в интервале энергий 0,5–10 кэВ экспериментальным данным наиболее хорошо соответствует формула Бронштейна и Фраймана [3]:

$$L = 6 \cdot 10^{-2} \frac{A}{z\rho} E^{1,4},$$

где  $L$  — глубина проникновения (мкм);  $A$  — атомный номер;  $z$  — атомный вес;  $\rho$  — плотность кристалла (г/см<sup>3</sup>);  $E$  — энергия падающих электронов (кэВ).

Из этой формулы видно, что при энергии 10 кэВ глубина проникновения будет измеряться микрометрами, что сопоставимо с поперечником зерен кристаллофосфоров. При напряжении на экране порядка 10 В зависимость глубины проникновения электронов от их энергии немонотонна, с минимумами, соответствующими некоторым характеристическим потерям [4]. При высоковольтном возбуждении электроны "проскакивают" поверхность и электронные возбуждения возникают на некоторой глубине, а при низковольтном возбуждении — у поверхности (рис. 1).

Таким образом, с известным физическим основанием катодолуминесценцию можно отнести к низковольтной, если зона непосредственного возбуждения охватывает лишь граничный слой кристалла [5]. Однако это не означает, что все электронные процессы, приводящие к излучению, протекают только в этом слое. Биполярный характер генерации свободных носителей обуславливает возможность их миграции в глубинные слои кристалла, и, следовательно, зона люминесценции распространяется за пределы зоны непосредственного возбуждения (см. рис. 1). Это важное обстоятельство в известной мере подтверждает также установленное большое сходство спектров свечения при низковольтном и высоковольтном возбуждении, в то время как при радикалорекомбинационном возбуждении имеются весьма заметные различия [6].

Возбуждение кристалла с образованием свободных носителей, миграция и воссоединение — таковы основные процессы, характерные для рекомбинационной люминесценции [7]. В соответствии с этим рассмотрим два основных фактора: эффективность возбуждения кристалла медленными электронами (число электронно-дырочных пар, порождаемых в среднем одним падающим электроном) и эффективность люминесцентной рекомбинации (отношение числа актов излучательной рекомбинации к общему числу актов рекомбинации).

Электрон, приближающийся к поверхности и вступивший в пределы твердого тела, взаимодействует со всеми его частицами. Среди различных видов взаимодействий выделим как наиболее важные: взаимодействие с атомными остовами, со слабо связанными (валентными) электронами и,

наконец, с так называемой плазмой твердого тела — всеми взаимно связанными электронами в целом.

Кванты видимого излучения имеют энергию 1,7–3,1 эВ, поэтому энергия возбуждений, с которыми связана люминесценция, также должна быть значительной.

Наиболее простым является механизм столкновения бомбардирующих электронов с атомными остовами. Такие столкновения просто не могут сопровождаться передачей порций энергии, сопоставимой с энергией квантов излучения. Однако подобные квазиупругие столкновения все же заслуживают внимания, так как вносят значительный вклад в довольно сильно выраженное отражение медленных электронов от поверхностей [2], в результате чего не каждый электрон с первой попытки проникает в твердое тело. Когда же электрон проникает в кристалл, то любое столкновение резко меняет направление его движения и глубина проникновения уменьшается.

Более результативным может оказаться столкновение падающего электрона с одним из валентных электронов твердого тела, в результате чего он перейдет в зону проводимости. Минимальная энергия процесса, очевидно, равна ширине запрещенной зоны. Однако при детальном рассмотрении [8] видно, что необходимость одновременного выполнения законов сохранения энергии и импульса приводит к тому, что в этом процессе в основном участвуют электроны, расположенные на некоторой глубине валентной зоны, и они забрасываются выше дна зоны проводимости. Следовательно, первоначально генерируются "горячие" электроны и дырки, которые за время порядка  $10^{-12}$  с растрчивают свою избыточную энергию на бесполезный нагрев кристалла. Численные оценки КПД люминесцентного преобразования энергии без учета потерь на безызлучательную рекомбинацию показали, что при таком механизме возбуждения он не может превысить 30% [8]. Между тем, исследования характеристических потерь

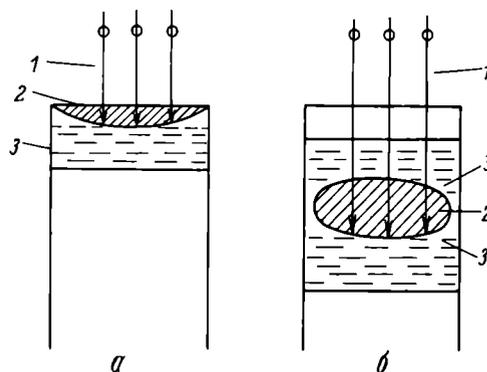


Рис. 1. Схемы низковольтного (а) и высоковольтного (б) возбуждения кристаллофосфоров: 1 — поток возбуждающих электронов; 2 — зона непосредственного возбуждения; 3 — зона люминесценции

Энергии электронами, прошедшими через тонкие пленки или отраженными твердым телом, показали, что весьма эффективным путем передачи энергии является также возбуждение плазменных колебаний [2, 9].

Когда возбуждающий электрон приближается к поверхности, он упруго деформирует электронную подсистему кристалла, образуя волну сжатия. Если скорость пролетающего электрона больше фазовой скорости объемных плазменных колебаний, он может оторваться от созданных им коллективных возбуждений, оставляя твердому телу энергию, равную энергии плазмона. Теоретически и экспериментально установлено, что для ZnO, ZnS и CdS энергии первых объемных плазмонов соответственно равны 20,1; 16,3 и 14,5 эВ. Плазменные колебания крайне недолговечны и за время порядка  $10^{-15}$  с затухают. При этом в результате внутренней конверсии может произойти переброс одного электрона через запрещенную зону. Существенно важно, что при таком механизме передачи энергии кристаллу на образование пары свободных носителей потребуется энергия, фактически равная энергии образования плазмона. В связи с этим предпринимались попытки найти корреляцию между эффективностью высоковольтной катодолуминесценции и энергией образования объемных плазмонов [10, 11].

Теоретические и экспериментальные данные, однако, свидетельствуют, что по мере уменьшения скорости бомбардирующих электронов вероятность возбуждения объемных плазмонов уменьшается, и они уступают место поверхностным плазменным колебаниям [2, 9].

С этих позиций можно в какой-то мере учесть специфику возбуждения кристаллов в условиях НВК-люминесценции. Так как энергия поверхностных плазмонов в кристаллах, находящихся в вакууме, в  $\sqrt{2}$  раз меньше энергии объемных плазмонов [2, 9], возбуждение кристаллофосфоров с образованием электронно-дырочных пар по этому механизму должно происходить более экономно и теоретически допустимый КПД НВК-люминесценции в принципе мог бы быть более высоким, чем при высоковольтном возбуждении.

С других позиций вопрос эффективности высоковольтной катодолуминесценции рассмотрен в работе [12]. В этой работе внимание обращено на то, что среднюю энергию, необходимую для рождения пары  $\hbar\omega_{cp}$ , можно считать равной средней энергии оптических переходов в известной формуле для электронной составляющей диэлектрической проницаемости, которую в свою очередь можно принять равной квадрату показателя преломления в длинноволновой части спектра. При этом

$$\hbar\omega_{cp} = \frac{\hbar\omega_{o.p.}}{\sqrt{n^2 - 1}},$$

где  $\hbar\omega_{o.p.}$  — энергия объемного плазмона,  $n$  — показатель преломления кристаллофосфора.

На примере ZnS показано, что  $\hbar\omega_{cp} = 8,7$  эВ и, следовательно, КПД равен примерно 30%.

Такой подход также можно распространить на НВК-люминесценцию, если принять, что энергия плазменных колебаний является параметром возбуждения и при переходе к поверхностной моде колебаний. При этом вывод о возможности принципиально более высокой экономичности возбуждения кристаллофосфора медленными электронами остается в силе.

При рассмотрении проблемы возбуждения кристаллов некоторый интерес представляют также попытки связать энергию, затрачиваемую на рождение свободных носителей при бомбардировке кристаллов быстрыми электронами, с линейными плазменными колебаниями [10].

Таким образом, механизм возбуждения кристаллофосфоров при бомбардировке электронами оказался более сложным, чем это представлялось ранее. Несомненно, что в общем случае одновременно работают несколько механизмов, хотя в тех или иных условиях один из них может резко преобладать.

В связи с этим важно отметить, что вполне определенные экспериментальные сведения о механизме возбуждения кристаллов медленными электронами содержатся в начальной области возбуждения НВК-люминесценции. При этом достаточно указать лишь величину потенциала начала свечения — минимального напряжения на экране, при котором начинается люминесцентное излучение.

Так, установлено [13], что свечение ZnO · Zn начинается примерно с 3 В, потенциал начала свечения кристаллофосфора на основе (Zn, Cd)S равен примерно 4,5 В. Свечение кристаллофосфоров на основе ZnS начинается с 6,5 В. Следовательно, образование электронно-дырочных пар может начинаться задолго до достижения бомбардирующими электронами энергии первых объемных или поверхностных плазмонов. В этой области энергий бомбардирующие электроны вначале взаимодействуют с коллективом валентных электронов, даже если плазмон не является хорошо определенной квазичастицей. Затем в результате внутренней конверсии взаимодействие переходит в парное и, наконец, заканчивается межзонным перебросом. Поэтому энергия поверхностных плазмонов является характеристическим параметром возбуждения НВК-люминесценции.

Важным этапом люминесцентного преобразования энергии кристаллофосфором является также воссоединение свободных носителей. В случае НВК-люминесценции процесс рекомбинации резко возрастает, а во многих случаях становится решающим, поскольку генерация свободных носите-

лей, как уже отмечалось, происходит в приповерхностном слое кристалла, где обычно сосредоточиваются дефекты различной природы, способные играть роль центров безызлучательной рекомбинации. Когда рекомбинация происходит по нескольким параллельным каналам и только некоторые из них являются излучательными, КПД люминесценции, естественно, падает.

Эффективность НВК-люминесценции повышается благодаря таким факторам, как уменьшение концентрации центров безызлучательной рекомбинации за счет максимального совершенства структуры поверхности и специального модифицирования поверхности, увеличение (в пределах допустимого) концентрации люминесцентных центров в граничном слое кристалла, создание условий, необходимых для стока свободных носителей в глубинные слои кристалла, где эффективность излучательной рекомбинации выше.

Изучая природу люминесценции, конструируя низковольтный прибор или анализируя состояние производства, крайне важно опираться на физически обоснованную функцию возбуждения, т.е. на зависимость яркости свечения экрана от плотности тока и напряжения на экране [14]. Функцию возбуждения высоковольтной катодолуминесценции можно представить в виде

$$B = kf(I)(U - U_M)^n,$$

где  $B$  — яркость свечения экрана;  $k$  — постоянная, характеризующая люминофор;  $I$  — плотность тока;  $U$  — напряжение на экране;  $U_M$  — "мертвый" потенциал;  $n$  — коэффициент нелинейности.

"Мертвый" потенциал связан с энергией, необходимой электрону, чтобы проскочить через люминесцентно-неактивный приповерхностный слой. Коэффициент нелинейности связан с миграцией электронных возбуждений в люминесцентно-неактивные слои и некоторыми другими процессами. Однако интерпретация в обоих случаях не очень убедительна. Более того, для хорошего описания реальной функции возбуждения в различных интервалах изменяющихся параметров приходится использовать разные значения этих величин.

Так как известный в литературе "мертвый" потенциал высоковольтной катодолуминесценции для  $ZnO \cdot Zn$  равен 10–20 В и коэффициент нелинейности 1,5 [15], а для  $ZnS$  эти величины соответственно равны 50–500 и 1,6–1,8 В, то простая экстраполяция высоковольтной функции возбуждения с такими параметрами в области малых энергий возбуждающих электронов невозможна.

Экспериментальные исследования закономерностей НВК-люминесценции на примере  $ZnO \cdot Zn$  показали, что описать функцию возбуждения одним уравнением во всем интервале энергии невозможно. Как уже отмечалось, при напряжениях на

экране до 3 В энергия возбуждающих электронов слишком мала и экран вовсе не светится. При повышении напряжения до 7–9 В достаточно четко прослеживается ступенчатый ход зависимости [16], т.е. проявляется дискретный характер расходования энергии на рождение электронно-дырочных пар. Дальнейшее повышение напряжения ступенчатый ход полностью сглаживается, и в интервале 10–30 В в первом приближении соблюдается линейная зависимость яркости как от напряжения, так и от плотности тока:

$$B = kIU.$$

Эта формула практически верна для напряжения 100 В и более.

Так как приведенная функция возбуждения описывает НВК-люминесценцию несколько идеализированно, на практике приходится учитывать возможность различных осложнений, связанных, например, с зарядом поверхности, с температурным гашением люминесценции при недостаточном отводе тепла и адсорбционно-десорбционными явлениями.

Другая весьма важная особенность возбуждения катодолуминесценции медленными электронами связана с тем, что для подавляющего большинства твердых тел при энергии бомбардирующих электронов менее 50–100 эВ коэффициент вторичной электронной эмиссии меньше единицы [3]. Поэтому в низковольтных катодолуминесцентных приборах электрический ток должен проходить непосредственно через люминесцирующий экран. Он должен обладать явно выраженной электропроводностью и располагаться на токопроводящей подложке (рис.2). При недостаточной электропроводности экран заряжается. Одновременно уменьшается плотность тока на экран и кинетическая энергия бомбардирующих электронов. Яркость свечения катастрофически падает.

В высоковольтных приборах с рабочим напряжением в промежутке между критическими точками электрическая цепь может замыкаться за счет вторичной электронной эмиссии люминофора. По-

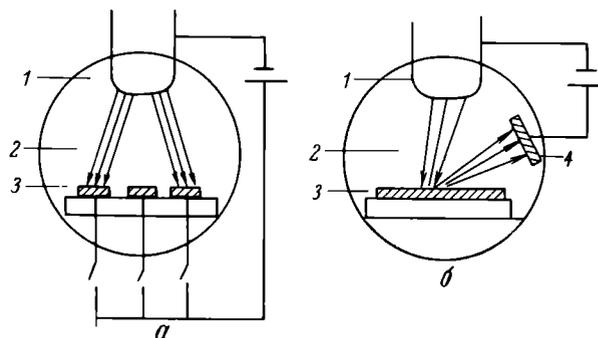


Рис.2. Схема прохождения тока в низковольтном (а) и высоковольтном (б) катодолуминесцентных приборах: 1 — катод; 2 — поток электронов в вакууме; 3 — экран; 4 — анод

этому он может обладать очень малой электропроводностью (подавляющее большинство высоковольтных катодолуминофоров действительно является изоляторами или почти полностью компенсированными полупроводниками [17]) и лежать на изолирующей подложке.

Очевидны также различия в возможных величинах условного квантового выхода высоковольтной и низковольтной катодолуминесценции. Так, при напряжении на экране 10 кэВ энергии одного электрона в принципе достаточно для возбуждения нескольких тысяч квантов видимого излучения, в то время как медленный электрон с энергией порядка 10 эВ может вызвать лишь несколько квантов. На практике в высоковольтных приборах условный квантовый выход излучения измеряется сотнями и тысячами [17], а в низковольтных — только приближается к единице. Поэтому чтобы достичь равной яркости свечения, в низковольтных индикаторах должна быть обеспечена средняя плотность тока на экран на два-три порядка больше, чем, например, в высоковольтных кинескопах [5].

Если в кинескопах формируется узкий пучок электронов, последовательно оббегающий всю поверхность экрана, и люминофор фактически работает в режиме гигантской скважности, то в низковольтных индикаторах электроны одновременно "засевают" большие площади подключенных сегментов (см.рис.2) и скважность не превышает 50–100.

В условиях возбуждения НВК-люминесценции практическое значение приобретают свойства люминофоров и экранов, обусловленных их порошковой структурой. Это прежде всего электропроводность, поскольку она в большей степени зависит от контактов между зернами порошка.

Энергетическая схема поликристаллического образца приведена на рис.3. Теоретическое обсуждение этой схемы [18] показало, что плотность тока, проходящего через образец, в первом приближении описывается формулой:

$$I = M n \exp\left(\frac{-\phi}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{U}{N} \frac{1}{kT}\right) - 1 \right],$$

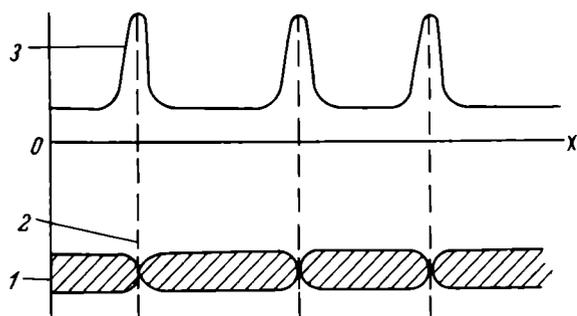


Рис.3. Потенциальный рельеф в слое порошкового материала: 1 — зерна порошка; 2 — граница между зернами; 3 — потенциальные барьеры на контактах

где  $M$  — коэффициент, зависящий от формы барьера;  $\phi$  — высота потенциального барьера;  $n$  — концентрация носителей вблизи барьера;  $U$  — падение напряжения на образце;  $N$  — число барьеров на единице длины образца.

Из формулы следует, что электропроводность сильно зависит от числа преодолеваемых барьеров (гранулометрический состав порошка), а также от высоты и профиля барьера (характер упаковки зерен, степень сжатия порошка, адсорбционно-десорбционные явления). Поэтому становится понятным, почему электропроводность люминесцентного экрана на основе  $ZnO \cdot Zn$  при десорбции кислорода во время откачки прибора возрастает на пять-шесть порядков [5]. Не удивительно также, что факторы, приводящие к увеличению плотности люминесцентного слоя, обычно резко увеличивают и его электропроводность.

Другое серьезное осложнение, обусловленное порошковой структурой, связано с проблемой обеспечения механической прочности экрана. Известно, что в кинескопах зерна люминофора закрепляются силикатными или фосфатными связками. Поэтому бомбардирующие электроны затрачивают весьма заметную часть своей энергии на то, чтобы пробиться к зернам кристаллофосфора. Предельно малая глубина проникновения медленных электронов в твердое тело резко ограничивает или вообще исключает возможность использования биндеров [5].

Ключ к решению вопроса дает рациональное использование адгезии порошков к твердым поверхностям за счет сил Ван-дер-Ваальса, тех самых, которые связывают частицы в молекулярных жидкостях и кристаллах, а также являются причиной физической адсорбции газов. Действуя между двумя молекулами, эти силы, как известно, убывают обратно пропорционально шестой степени расстояния. Однако при совокупном действии сил между всеми молекулами в поверхностных слоях соприкасающихся тел силы притяжения становятся гораздо более длиннодействующими. Это обстоятельство в данном случае очень важно, поскольку контакт между твердыми телами никогда не бывает совершенным. Так, в работе [19] показано, что при благоприятных условиях силы адгезии частиц диаметром до 10 мкм к твердой поверхности способны противостоять ударам с ускорениями до 10 000  $g$ .

Другим важным показателем качества люминесцентного слоя, зависящим от порошковой структуры, является теплопроводность. Теплопроводность в достаточно рыхлых слоях материалов, находящихся в вакууме, в 10–100 раз меньше, чем у монокристаллов [20]. Но так как низковольтным экранам приходится рассеивать мощность порядка 0,1 Вт/см<sup>2</sup>, то может наступить перегрев верхнего слоя люминофора, приводящий

сначала к обратимому температурному гашению, а затем и к необратимой деструкции кристаллофосфора.

Принципиально важным является также вопрос о старении низковольтного катодолуминесцентного экрана. Оно не должно ограничивать долговечности прибора и устройства в целом.

Согласно работе [21], старение в основном зависит от числа электронов, соприкоснувшихся с экраном, и слабо зависит от их энергии.

Для ряда люминофоров, в том числе для  $ZnO \cdot Zn$  и для люминофоров на основе  $(ZnCd)S$ , определены постоянные старения. Если теоретически рассматривать эту закономерность для НВК-люминесценции при рабочей плотности тока  $4 \text{ mA/cm}^2$ , то можно ожидать крайне малую долговечность низковольтных приборов. Однако реальная кривая зависимости яркости свечения индикатора ИВ-6 с низковольтным катодолуминофором на основе  $ZnO$  от длительности эксплуатации радикально отличается от теоретической [5, 22]. Это свидетельствует о том, что деградация кристаллофосфора под воздействием бомбардировки медленными электронами ограничивается тончайшим приповерхностным слоем и быстро затухает.

Опыт изготовления и длительного испытания низковольтных катодолуминесцентных приборов показал, что старение зависит главным образом от степени очистки внутренней арматуры, тщательности ее обезгаживания и правильности выбора рабочей температуры оксидного катода. В оптимальных условиях старение выражено очень слабо и прогнозируемая долговечность приборов может достигать  $100\,000 \text{ ч}$  [23].

Описанные выше закономерности проявления НВК-люминесценции позволяют считать, что характерными для НВК-люминофоров являются протекание основных электрооптических процессов в приповерхностных слоях твердого тела и явно выраженная электропроводность кристаллофосфоров.

При выработке требований к эффективным НВК-люминофорам "модельным" кристаллофосфором стал  $ZnO \cdot Zn$ .

Самоактивированная окись цинка как кристаллофосфор и полупроводник обладает рядом исключительных свойств, благоприятных для проявления НВК-люминесценции. Так, при прогреве в атмосфере нейтральных или восстановительных газов, а также при прогреве в вакууме из кристаллов окиси цинка происходит преимущественное удаление кислорода и появляется сверхстехиометрический цинк. Благодаря этому в кристаллах возникают локальные уровни вблизи зоны проводимости и обеспечивается высокое расположение уровня Ферми. В кристаллах с большой шириной запрещенной зоны оба эти условия, как известно, являются необходимыми и достаточными для обе-

спечения высокой концентрации свободных электронов в зоне проводимости.

Центрами зеленой люминесценции, по-видимому, являются атомы избыточного цинка в междузлиях, хотя некоторые исследователи связывают люминесценцию с образованием вакансий в кислородной подрешетке. Однако существенно важно, что интеркристаллические реакции образования люминесцентных центров происходят в условиях, благоприятных также и для получения продукта с высокой проводимостью.

На воздухе кристаллы окиси цинка хемосорбируют кислород, проявляющий электроакцепторные свойства. Однако поверхность все же остается  $n$ -полупроводником, чему способствует преимущественное расположение сверхстехиометрического цинка именно в граничных слоях. Вакуумирование с прогревом приводит к десорбции кислорода, концентрация акцепторных уровней резко уменьшается и край зоны проводимости может опуститься даже ниже уровня Ферми [24]. При этом появляется слой с гигантской поверхностной плотностью свободных электронов (до  $10^{14} \text{ см}^{-2}$ ) и поверхностная проводимость возрастает на несколько порядков. Практическая важность этого эффекта в формировании электропроводности низковольтных катодолуминесцентных экранов совершенно очевидна. Поскольку данный кристаллофосфор относится к числу люминофоров окисного типа, он обладает высокой химической стойкостью к воздействию кислорода воздуха на термических операциях изготовления вакуумных приборов.

Самоактивированная окись цинка является наиболее эффективным НВК-люминофором. Светоотдача экрана достигает  $5 \text{ лм/Вт}$ . В видимой области спектра окись цинка имеет одну широкую полосу (рис. 4). Поэтому с применением светофильтров видимый цвет свечения можно изменять в довольно широких пределах.

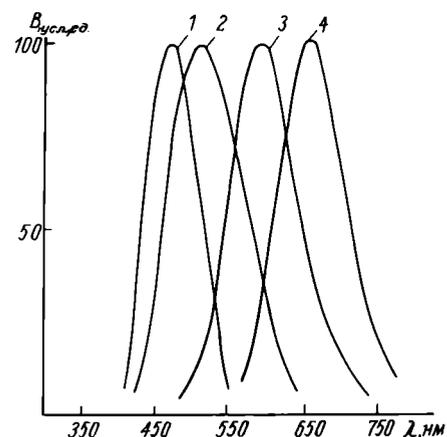


Рис. 4. Спектры НВК-люминесценции ряда кристаллофосфоров: 1 —  $ZnS \cdot Cl$ ; 2 —  $ZnO \cdot Zn$ ; 3 —  $(Zn, Cd)S \cdot Ag \cdot In$ ; 4 —  $(Zn, Cd)S \cdot Au \cdot In$

Сфера применения НВК-люминесценции резко расширяется при использовании НВК-люминофоров с другими цветами свечения. На этой основе могут создаваться экраны с цветовым кодированием информации, а также цветосинтезирующие экраны [25]. В настоящее время ведется интенсивный поиск эффективных люминофоров и разработка многоцветных приборов. При этом наибольшие трудности связаны с необходимостью обеспечения электропроводности люминесцентного покрытия экрана.

Использование электронно-возбужденной проводимости в фоточувствительных матрицах на классической высоковольтной основе  $ZnS-CdS$ , дающей всю гамму цветов видимого излучения, удается лишь в системах с преобладанием  $CdS$ . Область составов, пригодных для практического использования, расширяется по мере увеличения напряжения и плотности тока на экран.

Сульфидные люминофоры можно использовать без ограничений по составу, если в порошок люминофора ввести токопроводящую кристаллическую добавку, например, окись цинка, галлия, индия или олова [26, 27] (см. рис. 4). Благодаря добавкам в слое кристаллофосфора создается ажурный токопроводящий каркас, по которому стекает заряд. В подобных композициях довольно значительны потери яркости за счет прямого перехвата части бомбардирующих электронов, а также дополнительного поглощения люминесцентного излучения. Однако в настоящее время композиции, по-видимому, все же являются наиболее эффективными "цветными" НВК-люминофорами. Особенно важно, что по этому принципу могут быть созданы довольно эффективные композиции на основе узкополосных люминофоров, активированных редкоземельными элементами [28].

Исследуется также возможность создания на зернах известных высоковольтных катодолюминофоров тонких токопроводящих пленок и включений из окислов и сульфидов. Однако наиболее заманчивым является применение токопроводящих кристаллических матриц на основе окислов индия, галлия и олова и их твердых растворов, особенно при активировании редкоземельными элементами. Такие узкополосные однокомпонентные НВК-люминофоры могут оказаться очень эффективными.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Абалдуев Б.В. Некоторые особенности низковольтной катодолюминесценции. *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы*, 1972, № 1, с. 12–15.
- Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. — М.: Наука, 1976. — 540 с.
- Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. — М.: Наука, 1969.
- Комолов С.А., Герасимов Н.Б. Длина свободного пробега медленных электронов в тонких пленках. — *ФТТ*, 1978, т. 20, № 12, с. 3567.
- Обзоры по электронной технике: Низковольтная катодолюминесценция/Б.В.Абалдуев. — М.: 1977. — Вып. 1. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы. — 32 с.
- Исследование факторов, определяющих эффективность низковольтной (5–20 В) катодолюминесценции/Б.В.Абалдуев, М.И.Вескер и др. — *Изв. АН СССР. Сер. Физическая*, 1974, т. 38, № 6, с. 1216.
- Левшин В.Л. Люминесценция как явление и как наука. — *Изв. АН СССР. Сер. Физическая*, 1970, т. 34, № 3, с. 483.
- Попов Ю.М. Возможные энергетические потери при катодолюминесценции. *Материалы 7-го совещания по люминесценции*. Тарту, 1969.
- Пайне Д. Элементарные возбуждения в твердых телах. — М.: Мир, 1965. — 382 с.
- Сошин Н.П. Управление характеристиками излучения и энергетический выход промышленных катодолюминофоров. — *Изв. АН СССР. Сер. Физическая*, 1979, т. 43, № 6, с. 1212–1217.
- Rothwarf A. Plasmon theory of electron-hole pair production efficiency of cathode ray phosphors. — *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, N 2, p. 752–756.
- Тимофеев Ю.П., Фок М.В. Кинетика рекомбинационного взаимодействия примесных центров в кристаллофосфорах. — *Труды ФИАН СССР*, 1980, № 117, с. 3–53.
- Shrader R.E., Kaisal S.F. Excitation of ZnO phosphors of low energy electrons. — *I.O.S.A.*, 1954, v. 44, N 2, p. 135.
- Абалдуев Б.В., Градек Е.К. Функция возбуждения низковольтной катодолюминесценции. — *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы*, 1973, № 7, с. 3.
- Сошин Н.П. Барьерная катодолюминесценция и некоторые возможности ее использования. — *Изв. АН СССР. Сер. Физическая*, 1971, т. 35, № 7, с. 1487.
- Ребане К.С.К. Люминесценция. Ч. III. — Тарту: Тартуский ун-в., 1969.
- Москвин А.В. Катодолюминесценция. Ч. I и II. — М. — Л.: Техтеориздат, 1948–1949.
- Киселев В.Ф., Крылов О.В. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. — М.: Наука, 1979. — 236 с.
- Дерягин Б.В., Зимин А.Д. — *Коллоидный журнал*, 1961, т. 23, № 5, с. 544.
- Оценка коэффициента теплопроводности люминофорного слоя экрана электронно-лучевой трубки/А.Ф.Ведехин, Н.И.Лукьяченко и др. — *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы*, 1975, № 4, с. 27–31.
- Пфанль. Старение катодолюминофоров в электронно-лучевых трубках. — В сб.: *Техника электронных ламп*. — М.: ИЛ, 1963.
- О некоторых факторах, определяющих уровень и стабильность параметров низковольтных катодолюминесцентных индикаторов/Б.В.Абалдуев, Б.И.Горфинкель и др. *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы*, 1974, вып. 9, с. 3–11.
- Риземан М. Расширение ассортимента индикаторных приборов. — *Электроника. Пер. журн. США "Electronics"*, 1973, т. 46, № 8, с. 28.
- Мэни А. Связь между физическими и химическими процессами на поверхности полупроводников. — В кн.: *Новое в исследовании поверхности твердого тела*. — М.: Мир, 1977, т. 2, 306–343.
- Абалдуев Б.В. Многоцветные низковольтные катодолюминесцентные экраны. — *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы*, 1979, вып. 6, с. 15–17.
- Properties of ZnO containing phosphors under low voltage cathode ray excitation/M. Hiraki, A. Kagami, Haset, K. Narita, I. Mimura. — *J. Lum.*, 1976, N 12–13, p. 941.
- Низковольтный катодолюминофор с токопроводящей кристаллической добавкой Б.В.Абалдуев, А.Ф.Ведехин, Л.И. Вескер и др. — В сб.: *Люминесцентные материалы и полупродукты для них*. — Ставрополь, 1978, с. 13–16.
- Narita K., Kagami A., Mimura I. Behavior of phosphors under low voltage cathode ray excitation. — *J. Electrochem. Soc.*, 1980, v. 127, N 8, p. 1794.

УДК 621.385.032.36

Е.В.Русина

## МАТРИЧНЫЕ ИНДИКАТОРЫ И ПАНЕЛИ НА ОСНОВЕ НИЗКОВОЛЬТНОЙ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Серия катодолюминесцентных универсальных индикаторов матричного типа предназначена для построения разнообразных информационных табло группового и коллективного пользования. В серию входит шесть типов матричных индикаторов: одноцветные, двухцветные и трехцветные с высотой знака 40 и 80 мм для считывания информации с расстояния 10 и 20 м соответственно.

Катодолюминесцентный матричный индикатор представляет собой набор 35 светоизлучающих анодов-сегментов, расположенных в семи строках, и, соответственно, пяти столбцах. Это международно признанное начертание универсального знакоместа, позволяющего синтезировать любые знаки, символы, цифры и буквы любого алфавита. Аноды-сегменты, расположенные в каждой из семи строк, электрически соединены и имеют общий вывод от каждой строки. Для осуществления динамического, мультиплексного режима управления введены вторые управляющие электроды, которые объединяют разноименные аноды, расположенные по столбцам.

Основные электрические и светотехнические параметры матричных одноцветных, двухцветных

и трехцветных индикаторов с высотой знака 40 и 80 мм для считывания информации с расстояния 10 и 20 м приведены в таблице.

Одноцветный матричный индикатор типа ИВЛМ1-5/7 (рис. 1) представляет собой, аналогично многоцветным цифровым индикаторам, набор триодов в одном вакуумном объеме с прямоканальными оксидными катодами, сеточными модуляторными электродами и анодами-сегментами, покрытыми классическим низковольтным катодолуминофором  $ZnO \cdot Zn$ , имеющим насыщенное зеленое свечение при  $\lambda = 510$  нм.

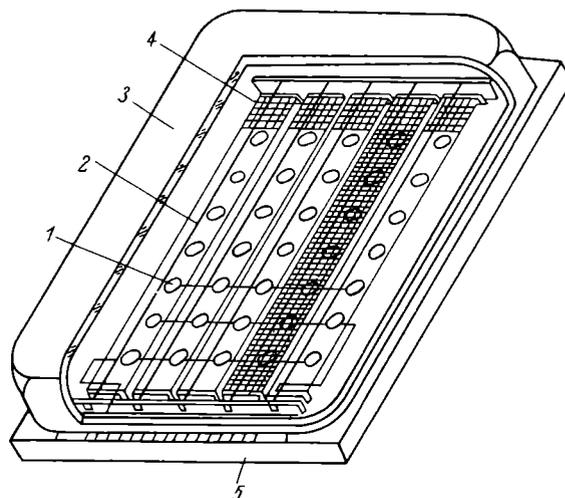


Рис. 1. Внешний вид одноцветного матричного индикатора: 1 — светоизлучающие анодные сегменты; 2 — прямоканальный оксидный катод; 3 — баллон; 4 — модуляторные (управляющие) электроды; 5 — изолирующая основа

Электрические и светотехнические параметры катодолюминесцентных индикаторов и панелей матричного типа

Тип и наименование	Количество СИЭ	Размер СИЭ, мм	Цвет свечения	$U_a$ , В	$U_c$ , В	$U_{к-с}$ , В	$P_n$ , Вт	$P_{упр}$ , Вт	Сквозность	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	Долговечность, ч	Расстояние считывания, м
Одноцветная матрица с высотой знака 40 мм (ИВЛМ1-5/7)	1(5×7)	∅ 4,0	Зеленый	25	25	—	0,56	0,5	5	600	10000	до 10
	1(5×7)	∅ 8,0	Зеленый	25	25	—	1,5	1,5-2,0	5	400-500	5000-10000	до 15-20
Двухцветная матрица с высотой знака 40 мм (ИВЛМ2-5/7)	2(5×7)	∅ 2,4	Зеленый	25	25	—	0,56	0,5	5	500	5000	до 10
	с высотой знака 80 мм	∅ 4,0	Красный	50	25	—	0,56	0,5	5	200	5000	до 10
			Зеленый	25	25	—	1,5-2,0	—	5	400	5000	до 15
Красный	50	25	—	1,5-2,0	—	5	200	5000	до 15			
Трехцветная матрица с высотой знака 40 мм (ИВЛМ3-5/7)	3(5×7)	∅ 2,0	Зеленый	25	25	—	0,56	0,5	5	400	3000	до 6-8
			Красный	50	25	—	0,56	0,5	5	170	3000	до 6-8
			Синий	50	25	—	0,56	0,5	5	200	3000	до 6-8
	с высотой знака 80 мм	∅ 3,5	Зеленый	25	25	—	1,5	1,5-2,0	5	400	5000	до 10-12
			Красный	50	25	—	1,5	1,5-2,0	5	200	5000	до 10-12
Синий	50	25	—	1,5	1,5-2,0	5	200	5000	до 10-12			
Матричная панель с высотой знака от 7 до 32	32×128	0,5×0,5	Зеленый	50	+20	+20	—	—	30	500	—	—
Матричная панель	128×128	0,5×0,5	Зеленый	70	±20	+20	—	—	64	400	—	—
Трехстрочная матричная панель на 45 (3×15) знакомест	45(5×7)	—	Зеленый	35	35	35	2,5	—	20	800	—	—

Конструктивно-технологические способы построения одноцветных матриц аналогичны много-разрядным плоским индикаторам. Анодная плата выполнена на стеклянной пластине, на которую наносится слой металла с последующим формированием анодного рисунка. Затем наносится слой темного диэлектрика для повышения контрастности и экранировки разводки от нанесения люминофора.

Необходимость сборки матричных индикаторов в табло с минимальными зазорами между индикаторами в строке определила конструктивное исполнение матриц, несколько отличное от плоских монодисплеев по креплению катодов и вторых управляющих электродов. Аналогично монодисплеям, считывание информации происходит со стороны баллона — "на отражение". При напряжениях на аноде и сетке 25 В и скважности, равной 5, обеспечивается яркость порядка  $600 \text{ кд/м}^2$ . Потребляемая мощность нагрузки ( $P_{\text{н}}$ ) 0,6 Вт, а управления ( $P_{\text{упр}}$ ) 0,5 Вт (см. таблицу).

**Многоцветные матрицы.** Базовая конструкция одноцветной матрицы типа ИВЛМ1-5/7 легла в основу создания многоцветных, в частности, двух- и трехцветных матричных индикаторов типов ИВЛМ2-5/7 и ИВЛМ3-5/7 (рис. 2).

Следует различать цветосинтезирующие индикаторы, которые подобно цветному телевизору должны воспроизводить возможно более широкую гамму цветов, и индикаторы, где цвет используется для кодирования информации, т.е. четкого разделения информации по цвету. Разработанные двух- и трехцветные матрицы являются универ-

сальными знакосинтезирующими индикаторами и предназначены для вывода информации с цветовым кодированием. Двухцветная матрица обеспечивает отображение информации в красном и зеленом цвете, трехцветная — в любом из трех цветов (зеленом, красном и синем в одном и том же индикаторном знаке практически без заметного на глаз смещения изображения в плоскости). Для этой цели каждый анодный сегмент цветной матрицы выполнен в виде электрически изолированных элементов, число которых равно требуемому количеству цветов. Так, в двухцветной матрице — из двух элементов, в трехцветной — из трех.

Каждый элемент покрыт различным катодолюминофором, состав которого определяет цвет свечения. Так, в качестве красной компоненты применяется люминофор ( $\text{Zn} \cdot \text{Cd} \cdot \text{S}$ ) Ag с оранжево-красным свечением ( $\lambda = 650 \text{ нм}$ ). В качестве синей компоненты используется композиция на основе самоактивированного сульфида цинка  $\text{Zn} \cdot \text{S} \cdot \text{Cl} + \text{ZnO}$  ( $\lambda = 465 \text{ нм}$ ).

Так же, как и в одноцветной матрице, анодные сегменты и элементы объединены в строки, электрически соединенные между собой. Таким образом, образуется 14 ( $7 \times 2$ ) строк элементов для двух- и 21 ( $7 \times 3$ ) - строк элементов для трехцветной матрицы.

Второй управляющий электрод объединяет разноименные строки независимо от цвета, т.е. количество вторых управляющих электродов сохраняется равным пяти. Аналогично одноцветной матрице происходит последовательная подача информации с разложением ее на пять столбцов, соответственно скважность равна 5. Выборка цвета осуществляется по анодным элементам (строкам).

Количество внешних выводов управления увеличивается по сравнению с одноцветной матрицей, соответственно на 7 — для двухцветной и на 14 — для трехцветной. Индикаторы характеризуются сравнительно высокой стабильностью.

Цветовое кодирование информации резко увеличивает информационную емкость табло и уменьшает длительность поиска сигнала. Однако возможность цветового кодирования при использовании низковольтных катодолюминесцентных приборов приводит к ряду специфических требований к табло и экранам. Разные по яркости источники вызывают неодинаковые зрительные ощущения. В этой связи при работе с многоцветными катодолюминесцентными экранами (табло) в условиях нормальной освещенности белым светом не следует добиваться одинаковой яркости индикаторов с различными цветами, как это справедливо требуется для многоцветных электролюминесцентных индикаторов. Так как абсолютная яркость свечения электролюминесцентных индикаторов мала

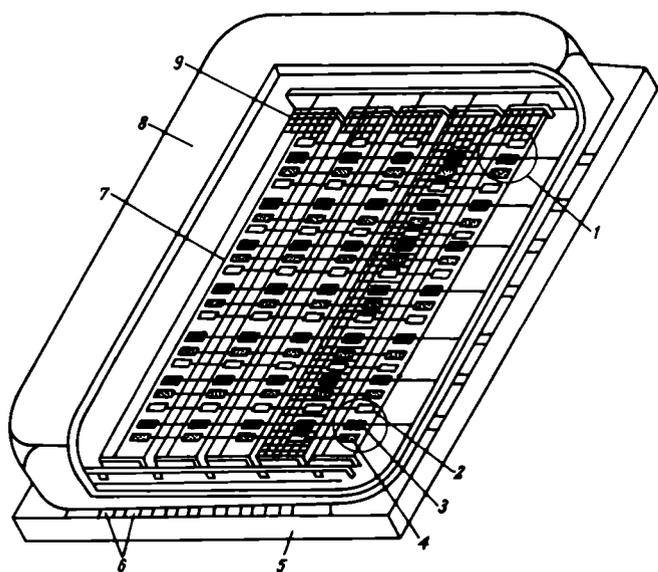


Рис. 2. Внешний вид трехцветного матричного индикатора: 1 — светоизлучающие анодные сегменты; 2-4 — элементы анодного сегмента; 5 — изолирующая основа; 6 — внешние выводы; 7 — прямоугольный оксидный катод; 8 — баллон; 9 — управляющий электрод

и они эксплуатируются в затемненных условиях, то требуются одинаковые яркости. При адаптации же глаза к белому свету, в котором насыщенные опорные цвета зеленый, красный и синий входят в пропорции 4,6—1,0—0,06 лк соответственно, единичные стимулы у световых потоков разных цветов различны, глаз наиболее чувствителен к добавлению синего излучения, менее чувствителен к красному и менее всего к зеленому.

Требования по тональности цвета и степени насыщенности каждого являются также весьма важными и в сочетании с оптимально выбранными требованиями по яркостным характеристикам, внешней освещенности и расстоянию считывания определяют комфортность условий работы оператора и правильность считывания информации, закодированной в цвете.

Следует отметить, что теория о восприятии цвета для табло с цветовым кодированием информации разработана еще недостаточно. Для управления тремя типами матричных индикаторов с высотой знака 40 мм (ИВЛМ1—5/7; ИВЛМ2—5/7 и ИВЛМ3—5/7), а также для разработки серии с высотой знака 80 мм специально разработана БИС типа К120ЛХ1 + К120ЛХ7, содержащая помимо функциональной схемы высоковольтные ключи для каждого из цветов. Необходимость разработки серии матричных индикаторов с высотой знака 80 мм вызвана созданием табло со считыванием информации с расстояний до 20 метров.

*Катодолюминесцентные панели матричного типа.* Для построения видеотерминалов ЭВМ и ряда других устройств отображения знакографической информации, где необходимо отображение большого числа (до нескольких тысяч) разнообразных знаков, графиков, рисунков и обеспечение связи между экраном и оператором, используется ЭЛТ. Ее достоинствами являются универсальность, многоцветность, высокая светоотдача (до 5 лм/Вт), простота ввода информации. Однако такие недостатки, как высоковольтное управление и большое напряжение питания, большие габариты и вес, неплоскостность конструкции, низкая механическая прочность и несовместимость с современной интегральной электроникой обуславливают развитие новых типов индикаторных приборов, способных заменить ЭЛТ.

Газоразрядные панели наиболее близки к индикаторам такого типа. Наличие внутренней памяти является одним из главных преимуществ газоразрядных индикаторных приборов, позволяющих создать панели, содержащие до  $1024 \times 1024$  СИЭ для отображения больших объемов информации.

Основное ограничение при создании панелей большой емкости на основе низковольтной катодолюминесценции — это отсутствие внутренней памяти и, соответственно, снижение яркости в

$n$  или  $Q$  раз, где  $n$  — количество строк панели, а  $Q$  — скважность. При построчном сканировании практически  $L_{\text{вид}} = L_{\text{и}}/Q = L_{\text{и}}/n$  ( $L_{\text{вид}}$  и  $L_{\text{и}}$  — яркости видимая и импульсная). Однако проводятся исследования по созданию катодолюминесцентных панелей на ограниченное количество строк и СИЭ (панелей, содержащих  $32 \times 128$  и  $128 \times 128$  СИЭ). Исследуемая разработанная панель, содержащая 32 строки по 128 элементов (анодов-сегментов), т.е. содержащей порядка 4000 элементов, либо 4 строки по 20 универсальных знакомест ( $5 \times 7$ ) и, аналогично матричному индикатору, содержит две системы управляющих электродов  $x$  и  $y$ . Аноды-сегменты (первая система управляющих электродов —  $x$ ), расположенные в одном столбце, соединены электрически и имеют общий вывод. Группировка по строкам осуществляется введением специального электрода, расположенного ортогонально относительно системы анодов.

Разрешающая способность панели, т.е. количество СИЭ в 1 см, равна 10. При напряжении на аноде, равном 50—100 В, обеспечивается сравнительно высокая яркость, порядка  $600 \text{ кд/м}^2$  (при  $Q = 30$ ). Эта панель может быть использована в качестве видеотерминала с отображением любой знаковой и графической информации, может так же найти применение в качестве экрана для электронных автономных игр; в информационно-измерительных устройствах в качестве дискретно-аналоговых и цифроаналоговых шкал с универсальной оцифровкой.

Предполагается проведение специальных конструктивных мероприятий в панели ( $128 \times 128$ ) СИЭ по обеспечению вывода информации на 128 строк со скважностью, равной 64, что позволит обеспечить яркость, приемлемую для эксплуатации при нормальной внешней освещенности.

Проведены исследования по созданию трехстрочной панели, содержащей по 15 универсальных знакомест в каждой строке. Каждое знакоместо построено из 35 ( $5 \times 7$ ) СИЭ.

Для управления панелями отображения знаковой и знакографической информации предполагается создание специальных интегральных схем управления (ИСУ). В настоящее время управление можно осуществлять набором стандартных ИСУ, выпускаемых серийно. Например, ИСК161КН2 (КН1) — в качестве анодных и сеточных ключей; ИСК161ПК1 (ПК2) — в качестве регистровых схем, для управления знаковыми панелями состав ИСУ можно дополнить узлами знакогенерации, выполненными на ИСК505.

Статья поступила 12 февраля 1982 г.

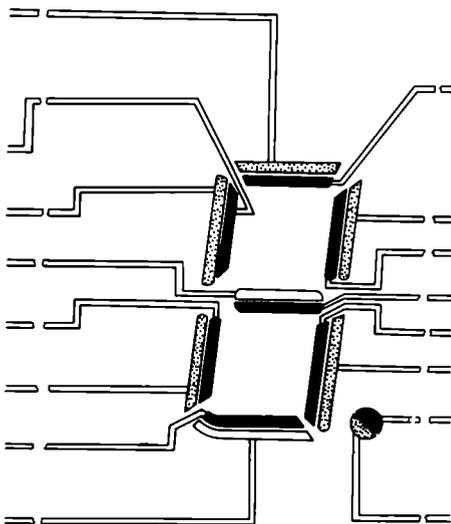
УДК 621.387

В.Е.Колкер, А.Н.Михайлов, Е.В.Русина

### ДВУХЦВЕТНЫЙ ЦИФРОВОЙ ИНДИКАТОР НА ОСНОВЕ НИЗКОВОЛЬТНОЙ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Рассмотрена возможность создания индикатора для отображения цифровой информации в двух цветах, например, зеленом и красном. Конструктивное исполнение анодных сегментов обеспечивает изменение цвета в одном и том же знаменном месте без заметного на глаз смещения цифры, что позволяет практически вдвое увеличить объем отображения информации без увеличения потребляемой мощности и габаритов табла.

Исследуемый двухцветный цифровой индикатор выполнен на базе одноцветного низковольтного катодолюминесцентного индикатора типа ИВ-22, предназначенного для отображения цифровой информации в одном, в частности зеленом, цвете свечения. По сравнению с аналогом каждый анодный сегмент (см. рисунок) в нем состоит из двух электрически изолированных элементов. Элементы покрыты различными катодолуминофорами, состав которых определяет цвет свечения. Каждый элемент имеет собственный внешний вывод. Несколько отличается от индикатора ИВ-22 и конструктивное исполнение несущей керамической анодной платы. Для двухцветного цифрового индикатора используются пленочные анодные сегменты на плате, что обеспечивает четкое их начертание и исключает необходимость использования маски, электрически соединенной с сеткой. В результате существенно снижается потребляемая мощность индикатора. Основные параметры индикатора приведены в табл. 1.



Начертание анодных сегментов двухцветного цифрового индикатора

Таблица 1

Наименование параметров	Значение			Режим измерения стат. (номинал), В			
	мин.	ном.	макс.	$U_n$	красный	зеленый	$U_c$
Ток накала, мА	85	100	115	1,2	-	-	-
Ток сетки, мА	-	-	6,0	1,2	-	27	27
Ток анода (суммарный восьми сегментов), мА							
красного цвета свечения	-	-	3,5	1,2	35	-	27
зеленого цвета свечения	-	-	3,0	1,2	-	27	27
Яркость, кд/м <sup>2</sup>							
красного цвета свечения	100	200	-	1,2	35	-	27
зеленого цвета свечения	400	1000	-	1,2	-	27	27

Таблица 2

Цвет	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	$l_{\text{макс}}$ , м		$E_{\text{макс}}$ , лк		Угол обзора, град	
		без фильтра	с фильтром	без фильтра	с фильтром	горизонтальный	вертикальный
Красный	160	5,5	8,0	2000	- 10000	+ 66	+ 60
Зеленый	700	7,5	8,0	5000	- 10000	- 60	- 58
Зеленый	160	4,5	7,0	2000	- 10100	- 60	- 58

При напряжении на аноде 70 В обеспечиваются яркости до 1000 кд/м<sup>2</sup> для красного и до 8000 кд/м<sup>2</sup> для зеленого цветов свечения.

Индикаторы характеризуются высокой стабильностью при испытании на долговечность в течение  $\approx 10000$  ч при нормальной температуре окружающей среды. При повышении температуры окружающей среды до 85°C наблюдается заметное снижение яркости, и потому долговечность гарантируется при температуре 70°C. Индикаторы устойчивы к механическим и климатическим воздействиям. Результаты исследования эргономических параметров индикаторов (предельно допустимого значения угла обзора, расстояния наблюдения  $l_{\text{макс}}$ , внешней освещенности  $E_{\text{макс}}$ ) приведены в табл.2. Полученные результаты измерений указывают на широкие возможности применения индикаторов в различной аппаратуре.

Статья поступила 12 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932.001.573

Б.И.Горфинкель, Е.Н.Петров

## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Представлены методы и результаты теоретического этапа разработки индикаторов — анализа и синтеза (оптимизации) численных моделей индикаторов.

Теоретический этап разработки индикаторов, включающий анализ индикатора, сводился к решению следующей задачи: для заданных конструкций и электрического режима работы индикатора определялся общий уровень и распределение электронного потока по поверхности анодов. Для замкнутой двумерной области с границей  $G_K + \Gamma_l$  требовалось решить систему дифференциальных уравнений:

$$\Delta \phi = -4 \pi \rho(\bar{r}),$$

$$\frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial t^2} = -\frac{e}{m} \text{grad } \phi(\bar{r}),$$

$$\text{div } j(\bar{r}) = 0$$

при краевых условиях для потенциала  $\phi$

$$\phi_{G_K} = G_K(\bar{r}), \quad \phi_{\Gamma_K} = \Gamma_K(\bar{r})$$

и при начальных условиях для движения электронов

$$\bar{r}_{t=0} = \bar{r}_{G_{K_1}}, \quad \left. \frac{d\bar{r}}{dt} \right|_{t=0} = 0,$$

где  $G_K$  — фрагмент проводящей или диэлектрической границы вакуумного объема индикатора;  $\Gamma_l$  —  $l$ -й фрагмент вакуумной (воображаемой) границы основной части индикатора;  $\phi(\bar{r})$ ,  $\rho(\bar{r})$ ,  $j(\bar{r})$  — потенциал, объемный заряд и плотность тока в текущей точке  $\bar{r}$  межэлектродного пространства;  $t$  — текущее время;  $e$  и  $m$  — заряд и масса электрона;  $G_{K_1}$  — эмиссионно-активный элемент границы  $G$  (катод).

Для решения такой задачи использованы методы [1] численного моделирования в программных реализациях [2], корректность которых установлена [3].

Основная задача синтеза конструкции индикатора — обеспечить равномерное облучение электронами анода при заданных размерах и конструкции и общем уровне тока.

В идеализированной модели индикатора анод ( $y = 0$ ) и диэлектрическая оболочка ( $y = b$ ) считаются неограниченными параллельными эквипотенциальными плоскостями, а катод — системой нитей, расположенных на расстоянии  $y = a$  от анода с шагом  $2c$  (рис.1). Потенциал анода  $\phi_a$  выбран равным 25 В относительно потенциала катода, принятого за нуль, потенциал диэлектрической оболочки  $\phi_{y=0} = 0$  (последнее по факту

заряда диэлектрической поверхности электронами, эмиттированными катодом). Ограничивающие с боковых сторон области (см.рис.1) считаются плоскостями симметрии конструкции и, соответственно, плоскостями симметрии электрического поля  $\left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=c} = 0$ . Диаметр катода с учетом толщины оксидного слоя  $\phi_K = 50$  мкм,

количественные оценки токоотбора с катода (в диоде — анодного тока)  $I_K$  даются в расчете на длину системы (1 см) по оси  $z$  декартовой системы координат.

Анализ диода, представленный на рис.1, является базовым для более сложных конструкций индикаторов. Результаты анализа диода, приведенные на рис.2 и 3, позволяют сделать следующие выводы:

1. Несмотря на миниатюрность катода и относительно высокий потенциал анода, корректный анализ электрического режима работы индикаторов можно выполнить лишь при учете объемного заряда электронов.

2. Локальная плотность первичного электронного облучения анода монотонно убывает от центральной части анода к периферии. При практически допустимом различии локальной плотности облучения 50% ширина полосы эффективного первичного облучения превышает диаметр катода не более, чем на два порядка.

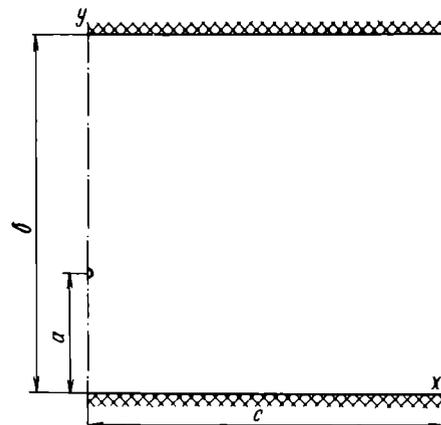


Рис.1. Фрагмент простейшего катодолюминесцентного индикатора с прямоугольным оксидным катодом (в поперечном сечении)

3. Наиболее удаленные от катода участки анода облучаются электронами, эмиттированными боковыми сторонами катода.

4. Увеличение расстояния между катодом и анодом расширяет полосу облучения анода, но уменьшает общий уровень анодного тока.

5. Увеличение расстояния между катодом и баллоном расширяет полосу облучения анода и увеличивает анодный ток.

Для решения основной задачи выводы 3, 4 и 5 практически не учитывались, так как изменения, вызываемые увеличением параметров  $a$  и  $b$  (см. рис. 3) незначительны. Поэтому были исследованы

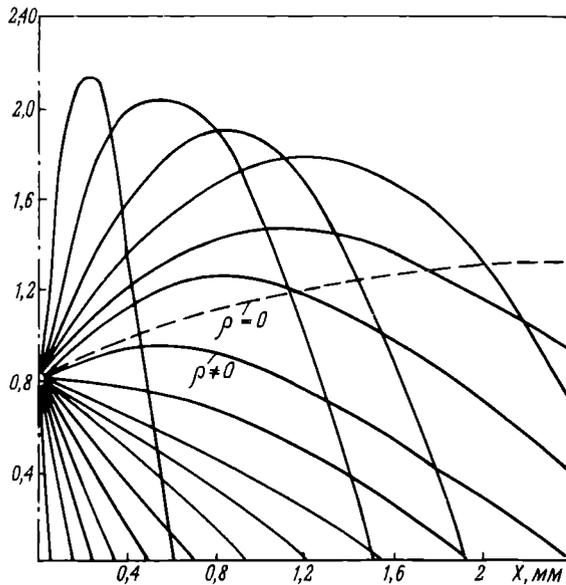


Рис. 2. Распределение электронного потока в диоде с учетом объемного заряда при значениях параметров  $a = 0,8$  мм;  $1,3$  мм;  $b = 2,4$  мм;  $4,8$  мм;  $9,6$  мм;  $c = 2,4$  мм. Пунктирной линией обозначена траектория, рассчитанная без учета объемного заряда

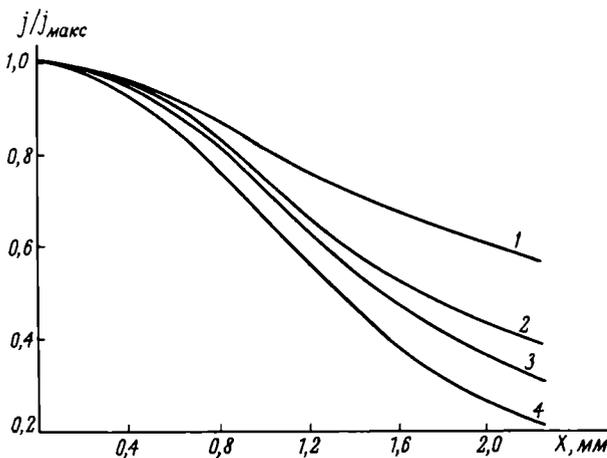


Рис. 3. Распределение в диоде локальной плотности первичного электронного облучения анода: 1 -  $a = 1,3$  мм;  $b = 4,8$  мм;  $c = 2,4$  мм;  $I_K = 1,5$  мА; 2 -  $a = 0,8$  мм;  $b = 9,6$  мм;  $c = 2,4$  мм;  $I_K = 4,3$  мА; 3 -  $a = 0,8$  мм;  $b = 4,8$  мм;  $c = 2,4$  мм;  $I_K = 4,2$  мА; 4 -  $a = 0,8$  мм;  $b = 2,4$  мм;  $c = 2,4$  мм;  $I_K = 3,7$  мА

эффекты, возникающие при рассеянии электронов анодом и диэлектрическими элементами конструкции и за счет применения специальных дополнительных электронов.

Влияние рассеяния электронов плоским эквипотенциальным анодом исследовано в предположении упругого зеркального отражения электронов от анода при значениях коэффициента отражения  $\tau = 0,5$ ;  $0,75$  и  $0,875$ . Соответствующие распределения локальной плотности анодного тока представлены на рис. 4. Сопоставление данных рис. 1 и 4 показало, что высокое значение  $\sigma$  является фактором существенного расширения полосы эффективной электронной бомбардировки\* и привело к выводу, что фактически значение  $\sigma > 0,6$ .

Как отмечено выше, в характерных практических случаях анод индикатора является системой компланарных, расположенных на диэлектрической подложке, анодных сегментов, поэтому возникает необходимость определения специфики электронного потока, рассеянного диэлектрической подложкой, несущей сегментные аноды.

Для этих целей исследовалась модель индикатора (рис. 5) с анодом в виде двух широких сегментов, разделенных по месту проекции катода на плоскость сегментов полосой диэлектрика шириной  $2d = 2$  мм. Подобная структура анода является, как это видно из рис. 4, также существенным фактором рассеяния электронного потока. Однако токоотбор с катода при этом существенно снижен с  $4,2$  мА (см. рис. 3) до  $0,8$  мА (см. рис. 4), поэтому необходимо применение дополнительных

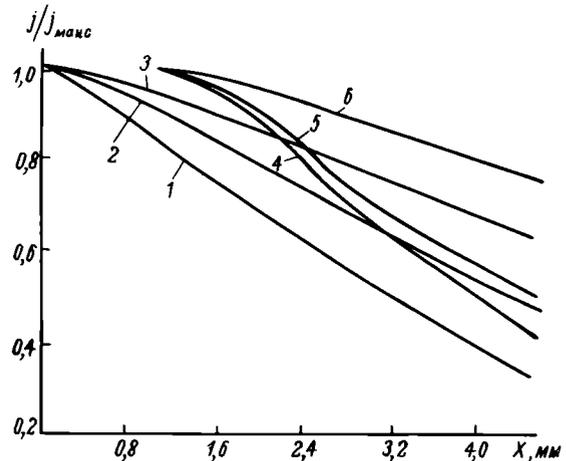


Рис. 4. Распределение локальной плотности анодного тока для диода с параметрами  $a = 0,8$  мм;  $b = 4,8$  мм;  $c = 4,8$  мм: 1 -  $\sigma = 0,51$ ; 2 -  $\sigma = 0,75$ ; 3 -  $\sigma = 0,875$  и для диодов при  $d = 1$  мм и  $\sigma = 0$ ; 4 - без вытягивающего электрода и  $I_K = 0,8$  мА; 5 - с плоским вытягивающим электродом и  $I_K = 4,3$  мА; 6 - с цилиндрическим вытягивающим электродом и  $I_K = 6,1$  мА

\* Контрольные расчеты распределения локальной плотности анодного тока соответственно закону Ламберта рассеяния электронов анодом, а не зеркального отражения, не дали существенных поправок к указанным оценкам эффекта.

средств повышения общего уровня анодного тока. Такими средствами могут быть либо дополнительные катоды (уменьшение параметра  $c$ ) либо специальные вытягивающие электроды. Простейшими средствами вытягивающего электрода являются сетки и спирали, которые способны обеспечить высокий уровень токоотбора с катода независимо от конструкции остальных электродов.

При выборе модели вытягивающего электрода в соответствующих задачах анализа оказалось выгодным учесть требование, согласно которому в рабочем электрическом режиме электрод должен иметь потенциал анода или катода. Электронно-оп-

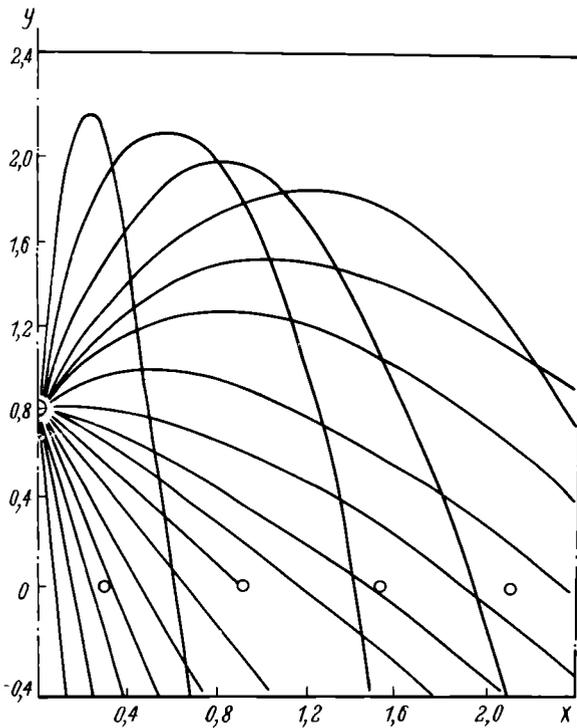


Рис.5. Фрагмент индикатора с сегментным анодом (в поперечном сечении)

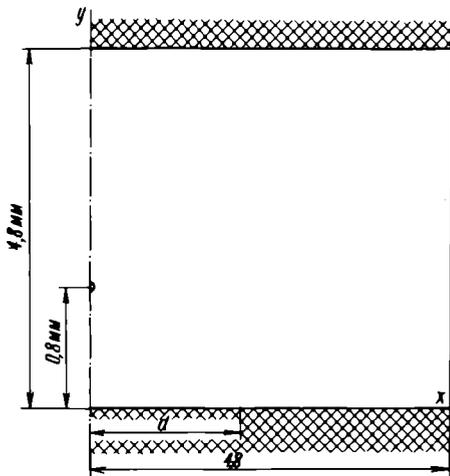


Рис.6. Распределение электронного потока в присутствии сетки

тическое действие сетки, несущей потенциал анода, выражено слабо (рис.6), так что для решения данной задачи сетка может быть в первом приближении представлена в виде эквипотенциальной металлической пленки, прозрачной для электронного потока. Подобная идеализация является одной из важнейших в классической теории электронных ламп, в практике численного моделирования индикаторов она является фактором существенного расширения возможностей моделирования.

С учетом приведенных соображений в качестве индикатора с плоской сеткой выбрана модель с параметрами  $a = 0,8$  мм;  $b = 4,8$  мм;  $c = 4,8$  мм;  $d = 1$  мм;  $l = 0,5$  мм (рис.7, а).

Введение плоской сетки не только обеспечивает высокий общий уровень анодного тока, но и качественно улучшает распределение локальной плотности электронной бомбардировки (свечения) анода (см.рис.4). Еще более существенные преимущества как в отношении ширины эффективного

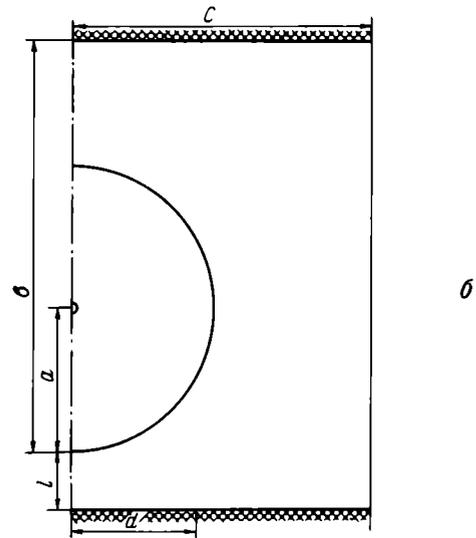
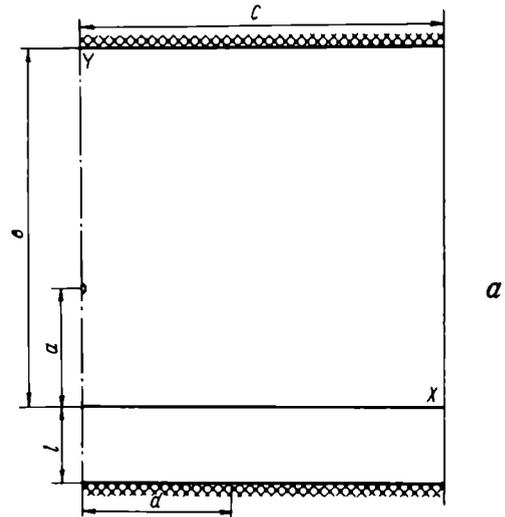


Рис.7. Фрагменты индикаторов с идеальным плоским (а) и цилиндрическим (б) сетчатым вытягивающим электродом

электронного облучения анода, так и в отношении уровня токоотбора с катода имеет цилиндрический сетчатый или спиральный (бестраверсный) вытягивающий электрод при параметрах модели  $a = 1,25$  мм;  $b = 9,4$  мм;  $c = 4,8$  мм;  $d = 1$  мм;  $l = 0,5$  мм (рис.7, б).

Указанные параметры моделей (см.рис.7, а и б) близки к оптимальным по совокупности требований массового производства и применения практических аналогов этих моделей, которые могут являться решениями соответствующих основных задач синтеза.

В практике моделирования индикаторов исходная модель не всегда оказывается оптимальной. В таком случае, основываясь на результатах анализа, опыта и интуиции, выбирается последователь-

но вторая модель, затем третья и т.д. Несколько этапов к оптимизации модели оказываются достаточными для создания опытного образца индикатора, удовлетворяющего требованиям технического задания на разработку серийного прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kirstein P.T., Hornsby I.S. — IEEE Trans. on El. Dev., 1964, v.ED-11, N 5, p.195-203.

2. Методы расчета электронно-оптических систем/И.М. Блейвас, Б.И.Голубцов, В.П.Ильин, Б.Д.Хомутинников. — Труды III Всесоюзного семинара (ВЦ СО АН СССР, Новосибирск), 1970, с.170-177.

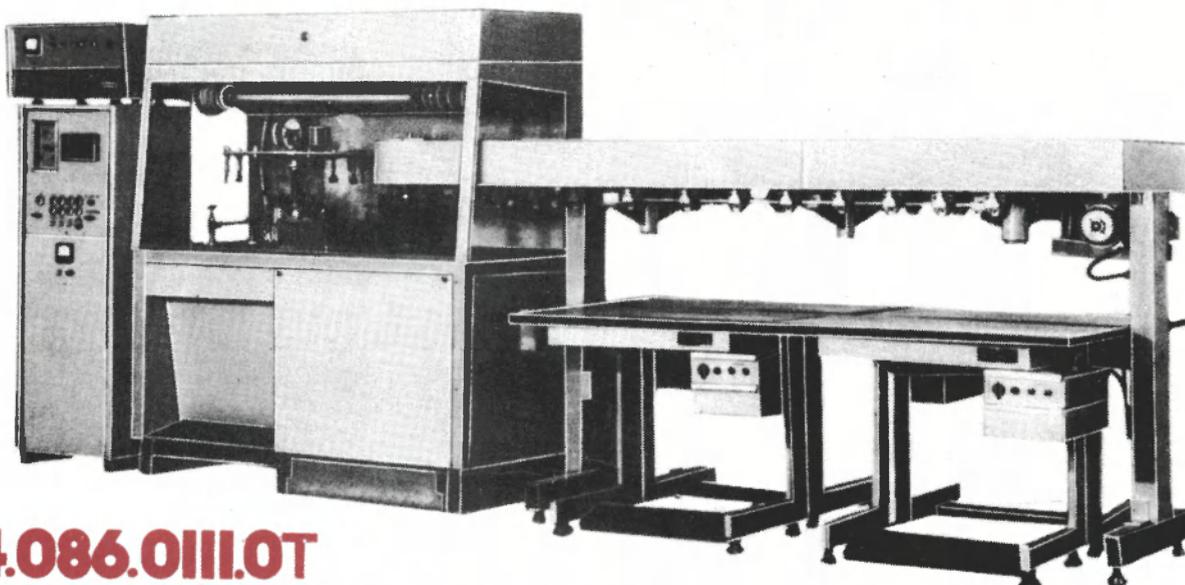
3. Ильин В.П., Петров Е.Н. Методы расчета электронно-оптических систем. — Труды III Всесоюзного семинара (ВЦ СО АН СССР, Новосибирск), 1970, с.181-188.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

РЕКЛАМА

ПОЛУАВТОМАТ

ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТЕКЛЯННЫХ ПЛАСТИН



И4.086.0111.0Т

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТЕКЛЯННЫХ ПЛАТ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ И ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ.

Последовательно выполняет следующие операции:

- грубое обезжиривание и удаление механических загрязнений в водном растворе ПАВ при стимулирующем воздействии ультразвука;
- финишное химическое обезжиривание в водном растворе перекиси водорода и аммиака;

- финишное удаление солевых загрязнений в деионизованной воде;
- сброс капель воды и сушку пластин в обеспыленном воздухе.

Производительность установки: 380 шт/ч — для пластин размером 105x24x1 мм и 3000 шт/ч — для пластин размером 16x24x0,8 мм. Общая потребляемая мощность — 30 кВт.

В комплект полуавтомата входят блок подачи технологических сред И4.950.0265; пульт управления И4.650.0792; установка ионнообменной очистки воды УФ-400; ультразвуковой генератор УЗГ.5.—1,6.

В случае прерывания поступления очищающих сред блокировочное устройство системы включает сигнальные лампы на пульте управления и отключает установку.

РЕКЛАМА ЭП

## РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

# ЗАПОМИНАЮЩАЯ БИСТАБИЛЬНАЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЭЛТ 16ЛНЗ



ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗАПОМИНАЮЩИХ ОСЦИЛЛОГРАФАХ И УСТРОЙСТВАХ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ.



Может работать как в осциллографическом режиме, так и в режиме длительного воспроизведения изображения.



Экран имеет беспараллаксную шкалу. Фокусировка и отклонение — электростатические.

Скорость записи, км/с	не менее 250
Чувствительность к отклонению, мм/В	
по оси сигналов	не менее 1,2
по оси времени	не менее 0,55
Яркость изображения, кд/м <sup>2</sup>	не менее 60
Контраст изображения	не менее 3,5
Время сохранения изображения, мин	не менее 30
Ширина линии, мм	не более 0,8
Геометрические искажения, %	не более 3
Нелинейность отклонения, %	не более 3
Длина, мм	не более 470
Рабочие размеры экрана, мм	76x95
Масса, кг	2,3
Цвет свечения экрана	желто-зеленый
Напряжение катода записывающего прожектора (относительно земли), кВ	-3
Напряжение катода производящего прожектора, системы коллимации и блока памяти (относительно земли), кВ	3
Напряжение экрана (относительно катода производящего прожектора, системы коллимации и блока памяти), кВ	4
Напряжение модуляции записывающего прожектора, В	не более 80

Г.И.Семенук

## РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

# ЭЛТ ДЛЯ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ НА ЭЛЕКТРОГРАФИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЯХ



ЭЛТ высокого разрешения применяется в устройствах электрографии для записи информации на бессеребряных слоях, чувствительность которых максимальна в ближней УФ области спектра (320—380 нм). Использование ЭЛТ с УФ излучением не требует влажного проявления при получении копий на бессеребряных фотослоях, исключает сенсбилизацию фотослоев, что упрощает и ускоряет процесс записи информации и улучшает качество получаемых диапозитивов.

На рабочем поле экрана диаметром 150 мм возможна высококачественная регистрация большого объема информации, что позволяет передавать ее с оптическим увеличением не менее 1:5.

Благодаря использованию устойчивого к электронному облучению мелкоструктурного люминофора, изготовленного на основе цирконата кальция, ЭЛТ обеспечивает запись при больших скоростях и большой плотности тока экрана.

Тетродная электронно-оптическая система трубки формирует электронный луч большой плотности, минимального диаметра и с минимальными искажениями.

Фокусировка луча осуществляется электростатической линзой, выполненной в виде резистивной спирали на цилиндрической части прибора, что значительно упрощает схему управления лучом.

Трубка обладает повышенной устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям.

Цвет свечения ..... фиолетовый  
Спектральный максимум излучения, нм ..... 350±10  
Люминофор ..... типа Л с коротким

послесвечением  
Фокусировка луча ..... электростатическая  
Отклонение ..... электромагнитное  
Угол отклонения, град ..... не более 45  
Ориентация трубки ..... произвольная  
Напряжение на аноде, кВ ..... 15  
Разрешающая способность, лин/мм ..... 40  
Глубина модуляции, % ..... 60  
Долговечность, ч ..... 1000  
Диаметр горловины, мм ..... 36  
Общая длина (максимальная), мм ..... 360  
Масса с высоковольтным выводом  
(максимальная), кг ..... 1

З.И.Диденко, Т.М.Дужий

УДК 621.383.932.049.77

Ю.Н.Бузников, В.Р.Ворончева,  
М.М.Гельштгейн, Ю.Я.Метлицкий,  
В.С.Перельмутер, Э.М.Рыбкина

## МНОГОЦВЕТНЫЕ ИОННО-ПЛЕНОЧНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Новый класс индикаторных приборов — многоцветные ионно-пленочные индикаторы — созданы на базе индикаторных тиратронов тлеющего разряда и являются групповыми приборами, содержащими в общем баллоне несколько однотипных тиратронных ячеек, а также элементы схемы включения (резисторы).

В настоящее время выпускаются следующие типы индикаторов (рис.1): индикаторы тиратронные матричные ИТМ1 (с зеленым свечением) и ИТМ2 (четыре цветов), содержащие по 16 элементов разложения (ячеек), для построения наборных индикаторных устройств с равномерным шагом между ячейками по всему полю; индикатор тиратронный сегментный ИТС1, содержащий 7 элементов разложения, для отображения цифровой информации; индикатор тиратронный, содержащий 40 элементов для отображения буквенно-цифровой информации.

Перспективность применения рассматриваемого класса индикаторов определяется такими свойствами, как наличие собственной памяти, совместимость по входам записи информации с низковольтными стандартными микросхемами, многокоординатная адресация элементов разложения, многоцветность, высокая яркость свечения элементов без ее снижения в процессе работы приборов.

Каждая ячейка индикатора, обеспечивающая свечение одного элемента разложения, представляет собой модуль, состоящий из индикаторного тиратрона тлеющего разряда и резистора. Тиратрон содержит подкатод (ПК), являющийся катодом подготовительного и анодных разрядов, две или три сетки ( $C_1, C_2, C_3$ ); катод (К), выполняющий роль тормозящего электрода, первый и второй аноды ( $A_1, A_2$ ) (рис.2). С подкатодом соединен резистор, выполненный по технологии толстых пленок и предназначенный для ограничения разрядных токов. Промежуток ПК- $A_1$  является частью тиратрона, в которой производится запись информации и ее хранение, промежуток  $A_1-A_2$  является светоизлучающей частью тиратрона, так как в нем помещен излучатель с нанесенным люминофором, который возбуждается ультрафиолетовым

излучением разряда, горящего на  $A_2$ . Использование люминесцентных излучателей позволяет получить высокие яркости свечения элементов, а также реализовать в одном индикаторе элементы разложения разного цвета свечения. Так, индикатор ИТМ2 содержит элементы разложения четырех цветов свечения, которые объединены в четыре однотипные группы.

Механизм действия сеток тиратронной ячейки, являющихся входами записи информации, заключается в управлении потенциалом плазменного источника начальных электронов, формируемого подготовительным разрядом [1, 2]. Благодаря специализированной форме характеристики зажигания, определяющей соотношения между отпирающими напряжениями сеток, входы записи ячейки работают по схеме совпадения. Зажигание разряда на  $A_1$  и, следовательно, на  $A_2$ , вызывающее свечение, происходит лишь при одновременном присутствии управляющих сигналов на всех сетках



Рис. 1. Различные типы ионно-пленочных индикаторов

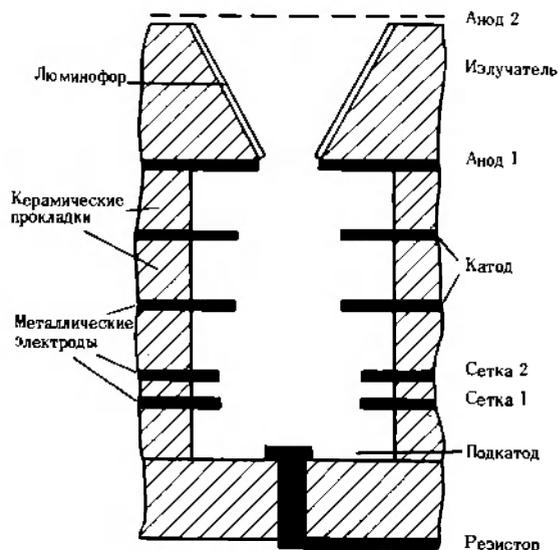


Рис. 2. Ячейка ионно-пленочного индикатора

ячейки. Для гашения анодного разряда (для стирания записанной информации) необходимо на некоторое регламентируемое время понизить напряжение на аноде до величины, не превышающей нескольких единиц вольт (отсчет потенциалов всех электродов ведется относительно потенциала катода).

Сетки индивидуальных ячеек индикатора соединены таким образом, чтобы обеспечить двух- или трехкоординатную адресацию элемента разложения. В индикаторах ИТМ1 и ИТМ2 одноименные сетки ячеек соединены соответственно по четырем строкам и четырем столбцам, что позволяет производить матричную выборку элемента разложения. В цифровом индикаторе ИТС1 семь первых сеток управляют сегментами независимо, а вторые сетки соединены вместе и образуют общий вход, предназначенный для выбора индикатора. В 40-элементном индикаторе соединение первых и вторых сеток — матричное. Все третьи сетки со-

единены вместе и образуют общий вход для выбора знакоместа.

Во всех индикаторах свечение наблюдается со стороны плоского выходного окна, имеющего либо квадратную —  $13 \times 13$  мм (ИТМ1, ИТМ2), либо прямоугольную (ИТС1, буквенно-цифровой индикатор) форму. Такое исполнение позволяет удобно компоновать приборы в индикаторном устройстве. Конструкция индикаторов ИТМ1 и ИТМ2 обеспечивает построение наборных индикаторных полей с равномерным шагом между элементами разложения.

В таблице приведены основные параметры индикаторов. Потребляемая мощность и яркость свечения приведены в режиме постоянного напряжения. Минимальная наработка на отказ для этих приборов составляла 5000 ч. Несветящемуся элементу разложения соответствует состояние ячейки, при котором в ней горит только подготовительный разряд. При светящемся состоянии элемента разложения в ячейке горит разряд на  $A_2$ .

Во всех ячейках индикатора постоянно присутствует подготовительный разряд, горящий между подкатодом и одной из сеток, имеющей в данный момент наиболее высокий потенциал. Следовательно, в индикаторном устройстве потребляют мощность как светящиеся, так и несветящиеся элементы разложения. В связи с тем, что резисторы, ограничивающие разрядные токи, находятся в объеме индикатора, управлять величиной потребляемой индикаторным устройством мощности можно лишь путем изменения величины питающих напряжений электродов во времени.

Мощность, выделяющаяся на  $1 \text{ м}^2$  сплошного индикаторного поля, построенного на индикаторах ИТМ1, составляет  $1 \text{ кВт/м}^2$  при питании подкатодов постоянным напряжением для 15%-ной загрузки поля светящимися элементами и  $1,4 \text{ кВт/м}^2$  — для 30%-ной загрузки, а при питании подкатодов

Параметры	ИТМ1	ИТМ2	ИТС1	Буквенно-цифровой индикатор
<b>Параметры входов записи</b>				
Управляющее напряжение, В	10	10	4	10
Мощность цепи управления элементов разложения, Вт	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$
Длительность управляющих сигналов, мкс	50	40	100	50
Число входов в элементе разложения	2	2	2	3
Способы соединения одноименных входов элементов разложения в индикаторе	по строкам и столбцам	по строкам и столбцам	первые — индивидуально; вторые — соединены все вместе	первые и вторые — по строкам и столбцам; третьи — соединены все вместе
<b>Параметры выхода</b>				
Число элементов разложения	16	16	7	40
Яркость и цвет свечения (не менее), $\text{кд/м}^2$	200 (зеленый)	400 (зеленый) 200 (красный) 200 (желтый) 100 (синий)	80 (зеленый)	200 (зеленый)
Форма и размеры элемента разложения (цифры), мм	круглая $\phi 1,4$	круглая $\phi 2$	цифра $18,6 \times 28,5$	круглая $\phi 1,6$
Шаг между элементами разложения, мм	2,8	2,8	—	2,8
<b>Параметры цепей питания</b>				
Мощность, потребляемая элементами разложения, Вт				
в несветящемся состоянии	0,006	0,007	0,012	0,006
в светящемся состоянии	0,03	0,03	0,05	0,03
Напряжения питания, В	115; 50; -250	150; 85; -265	100; 40; -250	115; 50; -250

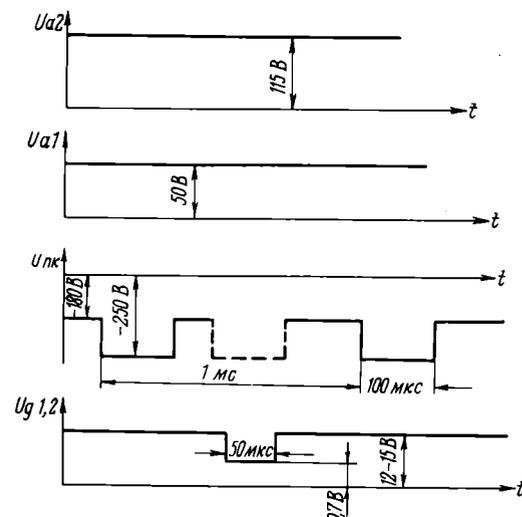


Рис.3. Временные диаграммы напряжений на электродах в режиме с пульсирующим напряжением питания подкатода

пульсирующим напряжением —  $0,4 \text{ кВт/м}^2$  для 15%-ной загрузки и  $0,65 \text{ кВт/м}^2$  для 30%-ной загрузки поля светящимися элементами.

Временные диаграммы для пульсирующего напряжения приведены на рис.3. Выигрыш в мощности, наблюдающийся при питании подкатодов пульсирующим напряжением, достигается в основном за счет снижения мощности, потребляемой несветящимися элементами.

Таким образом, за счет использования режима с пульсирующим напряжением подкатода удается снизить потребляемую мощность более, чем в два раза. Для индикаторов ИТМ2 были получены близкие результаты.

Индикаторы обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям и сохраняют работоспособность при эксплуатации в диапазоне температур окружающей среды от  $-60$  до  $+85^\circ\text{C}$ , при вибрационных воздействиях до  $5 g$  и ударных воздействиях до  $40 g$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Индикаторные тиратроны тлеющего разряда/В.Р.Ворончева, Н.А.Васильева, Э.И.Губанцева и др. — Электронная промышленность, 1973, вып.8, с.20.
2. Ворончева В.Р. Управление зажиганием индикаторных тиратронов тлеющего разряда с плазменным катодом. — Электронная техника, сер.4, 1973, № 8, с.71.

Статья поступила 27 февраля 1982 г.

УДК 621.387.132.22

Ю.Н.Бузников, Д.Д.Шенкер

## ИОННО-ПЛЕНОЧНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ТИРАТРОННЫЕ ИНДИКАТОРЫ В УСТРОЙСТВАХ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Матричные тиратронные индикаторы обладают такими уникальными свойствами как внутренняя память, низковольтное и маломощное управление, высокая яркость свечения, многоцветность. Это предопределяет широкие возможности их использования в устройствах отображения информации различного назначения. Индикаторы позволяют набирать экраны и табло практически любой информационной емкости (от нескольких штук до десятков и даже сотен тысяч) и отображать информацию в виде графиков, цифр, букв и т.п.

За последние годы наблюдается тенденция разработки индикаторов вместе со схемами управления, составляющими их непосредственное обрамление. Схемы управления, учитывающие специфику

индикаторов, их принцип действия, физику процессов, позволяют полнее и эффективнее реализовать возможности, заложенные в индикаторах, и в ряде случаев повысить их эксплуатационные параметры. Матричный тиратронный индикатор (МТИ) любого типа может рассматриваться как функциональный аналог цифрового статического ЗУ с матричной адресацией. Основное различие между ними состоит в оптическом характере считывания информации из МТИ. При этом с помощью матрично организованных шин первой и второй сеток обеспечивается произвольный доступ к любой ячейке МТИ в режиме записи информации, а общие для всех ячеек катод и первый анод служат для разрешения записи. Одно из функциональных назначений второго анода — разрешение считывания, т.е. индцирование записанной информации. Кроме того, оба анода МТИ при одновременно низких уровнях напряжения на них обеспечивают стирание записанной информации.

Эквивалентная функциональная модель ячейки МТИ, представляющей собой статический элемент памяти с пятью логическими потенциальными входами и оптическим выходом, представлена для позитивной логики на рис. 1, а. В устройствах отображения информации (УОИ) на МТИ предпочтительно использование так называемого режима памяти по двум анодам, при котором анодные напряжения одновременно принимают либо высокие значения (при записи и хранении информации с ее отображением), либо низкие значения (при стирании информации). Хотя в указанном режиме несколько сужаются функциональные возможности МТИ, однако при этом могут быть существенно упрощены некоторые вопросы питания и управления в УОИ. Соответственно этому, в режиме памяти по двум анодам упрощается и функциональная модель ячейки МТИ (рис. 1, б).

Характерной особенностью МТИ, которую необходимо учитывать при проектировании для них схем управления, является двунаправленный характер токов сеток, в зависимости от записанной информации и, в отдельных случаях, от уровня напряжения на них. Кроме того, направление тока первого анода для возбужденной (светящейся) ячейки также зависит от наличия на нем напряжения. Основные ситуации токораспределения в

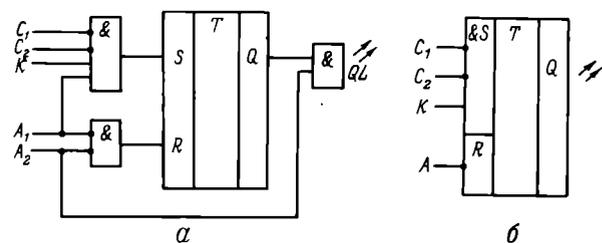


Рис. 1. Функциональная модель ячейки в общем случае (а) и в режиме памяти по двум анодам (б)

МТИ показаны на примере ячейки 40-элементной матрицы (рис. 2).

Учитывая особенности сеточного управления МТИ, целесообразно применять пары двунаправленных ключей с парафазным управлением или комплементарные ключевые схемы с дополнительными элементами для обеспечения протекания тока обратного направления. Для сеточного управления ограниченным количеством МТИ можно рекомендовать применение 6-элементных буферных КМДП ИС К561ПУЧ, К561ЛН1 и К561ЛН2. Кроме того, могут быть использованы некоторые ТТЛ ИС с повышенным напряжением для выходных транзисторов с открытым коллектором (например, типа К155ЛА11), а также ИС токовых ключей типа К149КТ1В. Все перечисленные микросхемы позволяют управлять сеточной шиной, к которой подключены до 50–400 ячеек МТИ или до 10–100 матриц. Для управления анодами МТИ рекомендуется схема анодного гашения со стабилизацией анодных напряжений, обеспечивающая режим памяти по двум анодам (рис. 3). При записи и хранении информации с ее отображением транзистор  $T_1$  закрыт и анодные напряжения  $U_{a1}$  и  $U_{a2}$  определяются напряжениями стабилизации элементов  $D_2$  и  $D_1$  соответственно. В режиме гашения транзистор  $T_1$  открывается положительным сигналом анодного гашения САГ, что ведет к снижению анодных напряжений. Величина резистора  $R_2$  должна обеспечивать минимальный ток стабилизатора  $D_2$  при отсутствии тока первого анода в случае отсутствия светящихся ячеек на анодной шине. Важным преимуществом рассмотренной схемы является отсутствие источника питания первого анода и исключение схем коммутации напряжения первых анодов.

Следует отметить, что управление анодами МТИ также может быть организовано групповым координатным способом, что позволяет осуществлять селективное обновление отображаемой информации и тем самым использовать собственную

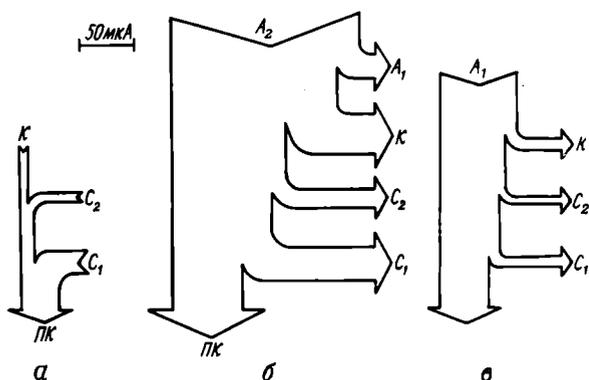


Рис. 2. Токораспределение ячейки 40-элементной матрицы в невозбужденном (а) и возбужденном (б) состояниях, а также в режиме памяти по первому аноду (в)

память МТИ. Для этого, помимо обычного способа логического управления схемами анодного гашения, можно использовать матричную организацию анодных шин с дополнительными диодами в узлах матрицы и естественную для двуханодных МТИ матричную структуру, при которой первые аноды объединены по строкам матрицы, а вторые аноды — по ее столбцам. Элементами подобных матриц могут быть как отдельные приборы, так и целые модули или блоки табло или экранов.

При проектировании УОИ на МТИ важным этапом является выбор оптимальной структуры соединений между элементами табло или экрана. Это обстоятельство связано с тем, что возможности трехкоординатной адресации и координатно-организованного группового гашения, а также относительно малая степень интеграции матриц позволяют реализовать весьма широкий набор вариантов трассировки межсоединений, обеспечивающих различные параметры проектируемого табло или экрана, такие как быстродействие, количество требуемых схем обрамления и степень разбиения на однотипные узлы.

При создании экранов для отображения информации, состоящих из матричных тиратронных индикаторов типа ИТМ-2, являющихся индикаторами с относительно небольшим числом элементов разложения в одном баллоне, возникает проблема оптимального механического, электрического и теплового объединения этих индикаторов.

Рассмотрим один из вариантов решения этой проблемы в виде квадратного модуля, объединяющего 64 индикатора с общим числом элементов разложения, равным 1024 (рис. 4).

Модули обладают электрическим разъемом, состыковываются без потери шага между элементами разложения и позволяют набирать сплошные экраны неограниченной информационной емкости для отображения информации в виде многоцветных символов, графиков и т.п. На рис. 5 показан модуль в разрезе. Индикаторы напаяны на печатную плату. Проводящие дорожки, расположенные с обеих сторон платы, образуют ортогональную систему электродов, позволяющую осуществлять матричное управление элементами разложения. Печатная плата закрепляется на ре-

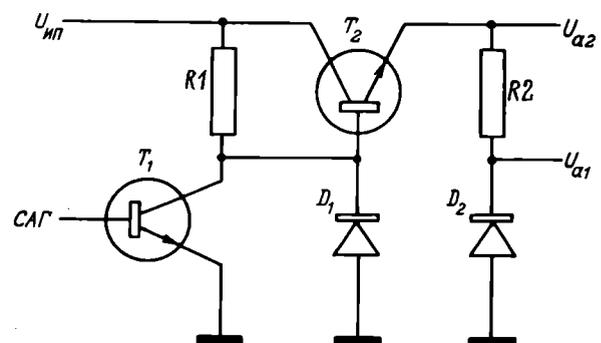


Рис. 3. Схема управления анодами

шетке из дюралюминия. Попадание выводов индикаторов в отверстия печатной платы при монтаже облегчается специальными кубиками. Пространственное взаимное расположение индикаторов определяется разделителем, выполняющим также роль тепловода. С помощью специальных стоек решетка, а следовательно, и весь модуль механически соединяется с каркасом. Тепловая мощность, выделяемая при работе индикаторов, составляет 400 Вт на квадратный метр экрана при его 15%-ной загрузке. Конструкция модуля позволяет отвести часть выделяемой мощности от лицевой части экрана к его задней стенке, где эту мощность относительно легко локализовать и эффективно рассеять. Конструкция модуля позволяет легко заменять отказавшие индикаторы с помощью группового паяльника и иглы, выталкивающей дефект-

ный индикатор из ячейки модуля через отверстие в печатной плате.

В экранах небольшого размера можно использовать модули упрощенной конструкции, без решетки и разделителя.

В качестве примеров построения УОИ на МТИ рассмотрим варианты организации устройств двух классов.

Устройство цветного отображения графической информации (рис. 6) позволяет с помощью табло на основе ИТМ-2, имеющего формат в  $2^{M+1}$  строк и  $2(S+1)$  столбцов, индировать по команде любой из  $2^{N+1}$  графических кадров, окрашенных по выбору в один из четырех цветов

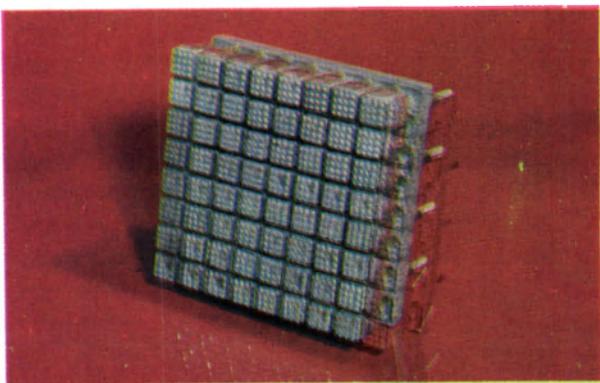


Рис. 4. Модуль на тиратронных матричных индикаторах типа ИТМ2

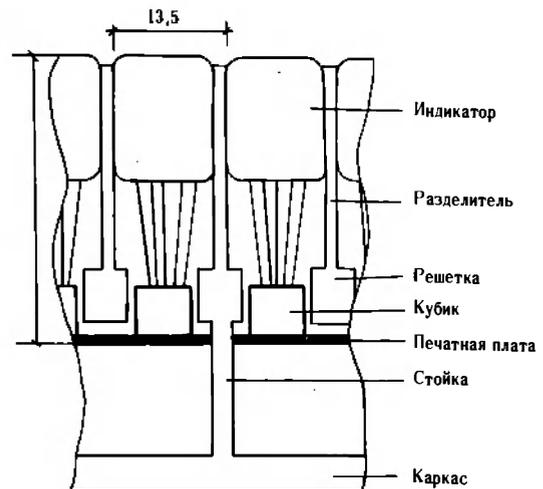


Рис. 5. Модуль в разрезе

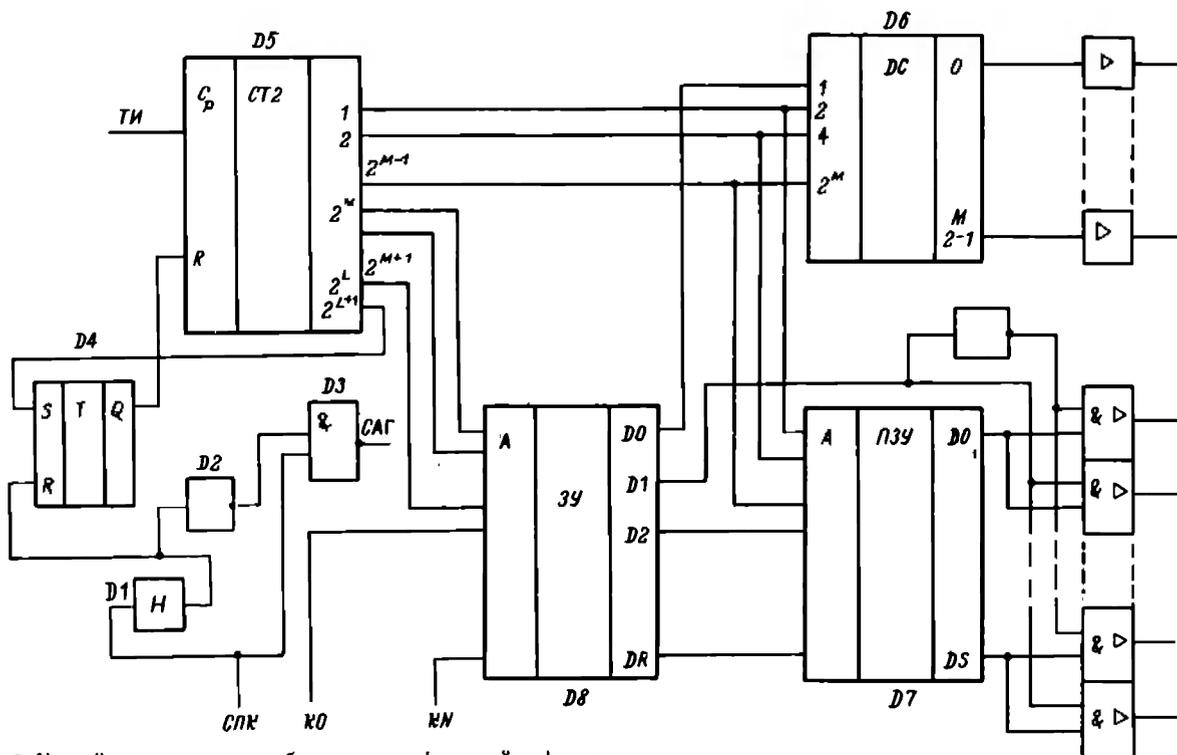


Рис. 6. Устройство цветного отображения графической информации

(красный, зеленый, желтый, синий) или в их произвольную смесь (целиком или частично). Каждый кадр может быть сформирован из  $2^{L-M+1}$  первичных графических изображений любого цвета свечения, выбираемых из списка длиной  $2R-2$  изображений.

После поступления в устройство кода кадра КО...KN и сигнала подтверждения кода СПК (см. рис. 6) с помощью элемента задержки D1 и логических элементов D2, D3 обеспечивается генерация сигнала анодного гашения, предваряющего процесс записи информации. Через 0,4 мс, т.е. по окончании процесса стирания, триггер D4 переходит в нулевое состояние и деблокирует счетчик D5. Наличие на счетчиках тактовых импульсов (ТИ) с периодом 50 мкс обеспечивает последовательное сканирование табло через дешифратор D6 и одновременно ПЗУ изображений D7. Код сканируемого первичного изображения определяется содержимым ЗУ кадров D8, на входы которого вместе с кодом кадра поступает код выбираемого в кадре первичного изображения, а выходы D0, D1 определяют код цвета, присваиваемого первичному изображению.

Устройство цветного отображения графической информации реализовано на основе описанного выше индикаторного модуля форматом  $32 \times 32$  ячейки (т.е. при  $M = 4, S = 15$ ) для 16 первичных изображений ( $R = 6$ ) и при формировании любого из 32 кадров ( $N = 4$ ) с участием до 8 изображений ( $L = 6$ ). В устройстве использовано ЗУ кадров объемом 1024 бит и ПЗУ первичных изо-

бражений (4096 бит), а также микросхемы КМДП (схемы обрамления) и ТТЛ серий, всего около 30 корпусов. Время ввода кадра составляет при этом 1,2–6,8 мс (в зависимости от его содержания), а средняя потребляемая мощность — около 15 Вт.

Устройство подобного типа может быть рекомендовано для отображения мнемонической информации в сложных системах с гибкой структурой, так как имеет ряд преимуществ. Конфигурация, цветовые и динамические особенности отображаемых мнемонических символов задаются программным способом и, следовательно, могут быть при необходимости быстро изменены без затраты аппаратных средств. Алфавит мнемосимволов практически не ограничен. Возможна реализация эффектов, трудно или вовсе не осуществимых в иных мнемоструктурах.

Устройство отображения текстовых сообщений (рис. 7) использует табло на основе 40-точечных матриц с объединенными одноименными сетками (всего 13 выводов) и отдельными выводами катода, играющего роль третьей сетки (число выводов равно числу используемых в табло индикаторов, т.е. числу знакомест). Ниже приведены основные данные устройства:

Число знакомест	13 (т.е. $l = 13, M = 3$ )
Длина алфавита, знаков	64 ( $R = 5$ )
Максимальная длина текста, символов	512 ( $N = 8$ )
Время записи, мс	5,5
Потребляемая мощность, Вт	10

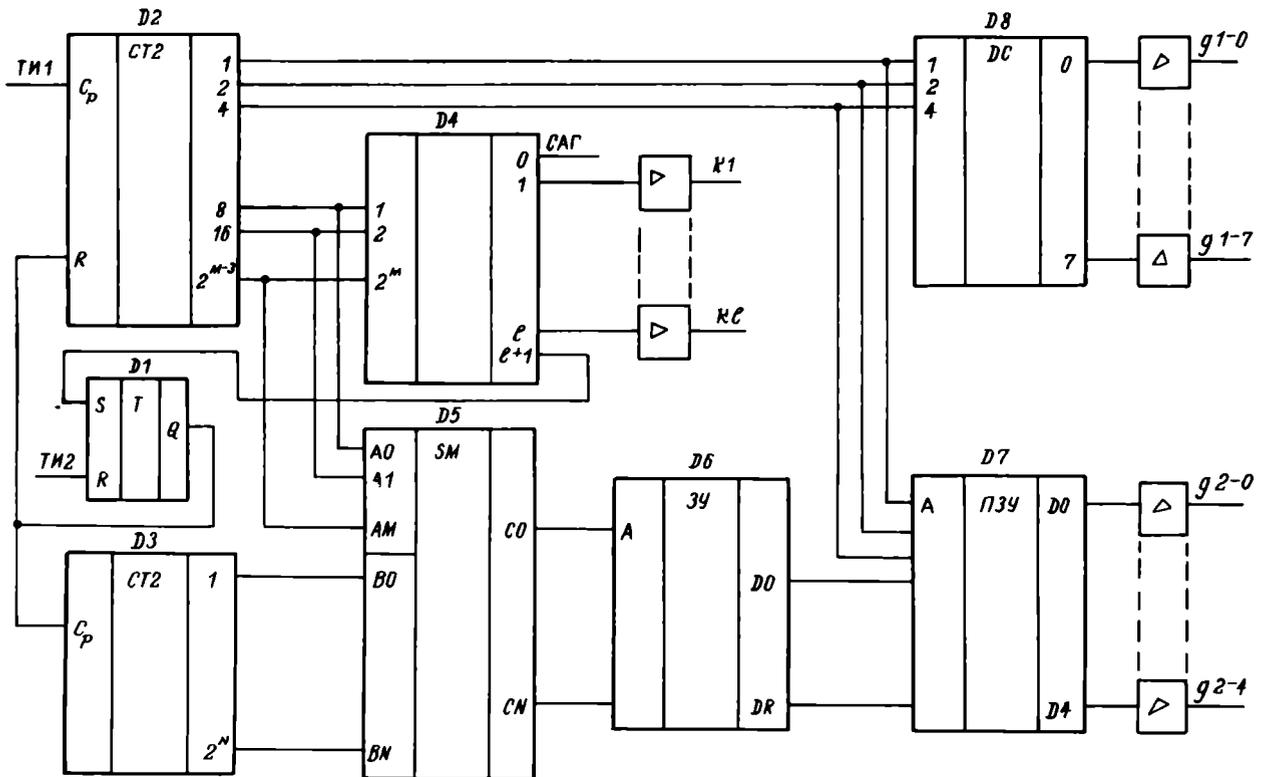


Рис. 7. Устройство отображения текстовых сообщений

Устройство позволяет с помощью табло ограниченной емкости ( $l$  составляет 10–30 знакомест) отображать алфавитно-цифровой текст произвольной длины ( $2^{N+1}$  символов), используя принцип "бегущей газеты". Кодовые данные отображаемого текста хранятся в ЗУ текста D6 (см. рис. 7), алфавит длиной  $2^R+1$  символов содержится в ПЗУ знакогенератора D7. В процессе записи сумматор D5 последовательно прибавляет к коду начальной позиции текста, поступающему от счетчика циклов D3, текущий код знакоместа А0...АМ. В устройстве используются два вида тактовых сигналов ТИ1 и ТИ2 с периодами 50 мкс и 0,3–0,6 мс соответственно.

Статья поступила 28 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932.085.345:535.376

Л.С.Кочкина, Г.Г.Першин, М.А.Родкин

## ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ МАТРИЧНЫЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ЭКРАН БОЛЬШОГО РАЗМЕРА

Конструкция тонкопленочного экрана, в котором излучающая электролюминесцентная пленка активированного марганцем сульфида цинка заключена между двумя высококачественными изолирующими слоями (например, между пленками окиси иттрия), позволяет значительно повысить интегральную яркость и контрастность матричных электролюминесцентных приборов.

Тонкопленочный матричный электролюминесцентный экран с числом элементов разложения 128x128 на рабочей площади 135x180 мм представляет собой многослойные тонкопленочные структуры с активным слоем легированного марганцем сульфида цинка, заключенного между двумя изолирующими пленками окиси иттрия, на внешних поверхностях которых расположены взаимно перпендикулярные растры прозрачных и непрозрачных электродов двуокиси олова и алюминия. Тонкопленочный электролюминесцентный экран сформирован на стеклянной подложке размером 220x175 мм, первоначально покрытой сплошной пленкой двуокиси олова с удельным поверхностным сопротивлением 5–10 Ом/квadrat. Растр прозрачных электродов на основе пленки двуокиси олова с контактными площадками сформирован методом фотолитографии.

Рабочие пленки легированного марганцем сульфида цинка и окиси иттрия наносились на подложку с растром прозрачных электродов путем электронно-лучевого испарения в вакууме. В процессе формирования активного и изолирующего слоев контролировались температура подложки, текущие толщина и скорость напыления, скорость испарения исходных веществ и степень разрежения в напылительной камере.

Нанесение активного и изолирующих слоев производилось на установке вакуумного напыления УРМЗ.279.011, снабженной трехкиловаттным электронно-лучевым испарителем, а измерение скорости испарения напыляемого вещества — на стандартном приборе ИСТИ-1 ионизационного типа, входящем в комплект установки вакуумного напыления УВН-71ПЗ. Измерение толщин пленок непосредственно на подложке изготавливаемого прибора проводилось на модернизированной системе оптического контроля, позволяющей обеспечить независимость точности измерения от различных технологических параметров (например, скорости испарения и температуры подложки). Для поддержания требуемой температуры подложки использован ИК нагреватель специальной конструкции и система автоматического нагрева и стабилизации заданной температуры подложки.

В качестве испаряемых веществ использовались прессованные таблетки окиси иттрия и сульфида цинка, легированного марганцем (содержание марганца в таблетках сульфида цинка составляло до 5 вес. %). Слой окиси иттрия толщиной 0,15–0,4 мкм напылялся на подложку, нагретую до температуры 100–200°C со скоростью до 0,06 мкм/мин. Активный слой легированного марганцем сульфида цинка формировался при температуре подложки около 250°C со скоростью до 0,3 мкм/мин. Последующий отжиг в вакууме проводился при температуре 550°C. Второй слой окиси иттрия напылялся аналогично первому. Растр непрозрачных алюминиевых электродов наносился испарением в вакууме с помощью специального трафарета.

Изготовленные мозаичные и матричные трехслойные тонкопленочные индикаторы имеют следующие параметры: максимальную яркость 5000–6000 кд/м<sup>2</sup> при непрерывном возбуждении на частоте 5 кГц, удельную емкость экрана около 8000 пФ/см<sup>2</sup>, время послесвечения — 3 мс, цвет свечения — желто-оранжевый, рабочее напряжение 200–250 В.

На вольтяркостных характеристиках приборов обнаружены гистерезисные петли. Ширина гистерезисной петли по напряжению у различных образцов колеблется от 1 до 17 В. Гистерезисная петля имеет множество промежуточных значений с установившейся яркостью, что указывает на возможность запоминания многоградационных изображений. С целью оптимизации светотехнических характеристик тонкопленочного экрана проведено исследование зависимости параметров от длительности возбуждающих биполярных импульсов напряжения. Коэффициент нелинейности зависимости яркости от амплитуды возбуждающих биполярных импульсов напряжения при фиксированной частоте приблизительно обратно пропорционален длительности этих импульсов. Например, на частоте 50 Гц при длительностях импульса 75 и 150 мкс коэффициент нелинейности составляет 20 и 12 соответственно.

Зависимость яркости от длительности возбуждающих импульсов при постоянных амплитуде и частоте имеет тенденцию к насыщению. Так, например, на частоте 50 Гц при амплитуде 230 В яркость составляет приблизительно 50 и 75 кд/м<sup>2</sup> при длительностях 75 и 150 мкс соответственно.

Исследования показали, что в малострочных экранах для повышения контраста воспроизводимого изображения следует уменьшать длительность возбуждающих импульсов и одновременно повы-

шать их частоту следования. Таким образом, для замкнутых телевизионных систем выгоднее уменьшать длительность строки воспроизводимого изображения и повышать частоту кадров. Кроме того, при конструировании телевизионного приемника на тонкопленочном матричном экране предпочтительнее использовать для воспроизведения многоградационного изображения широтно-импульсную модуляцию, при которой полтона телевизионного изображения воспроизводятся значительно лучше, чем при амплитудной модуляции.

С целью выяснения возможности использования тонкопленочного электролюминесцентного экрана для воспроизведения телевизионного изображения сконструирована установка отображения картины шахматного поля, с помощью которой на изготовленных тонкопленочных экранах в режиме построчного сканирования получена средняя яркость 50—100 кд/м<sup>2</sup> при контрасте крупных деталей 15—30.

По мере повышения напряжения крутое увеличение яркости сменяется тенденцией к насыщению. Динамический диапазон регулировки яркости при возбуждении на частоте 50 Гц биполярными импульсами напряжения длительностью 156 мкс составляет 50—60 В. При повышении напряжения неравномерность яркости по рабочему полю экрана уменьшается до 8—10%.

Проведенные исследования показали, что тонкопленочные матричные экраны могут быть использованы для устройств отображения цифровой и графической информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Першин Г.Г., Родкин М.А., Кочкина Л.С. Тонкопленочный матричный ЭЛ экран большого размера на основе ZnS: Mn с изолирующими слоями V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. В кн.: Электролюминесцентные тонкопленочные излучатели и их применение. Тез. докл. на семинаре. Ровно (сентябрь 1981), с. 39—40.
2. Першин Г.Г., Родкин М.А. Тонкопленочные электролюминесцентные приборы на основе ZnS: Mn с изолирующими слоями из окиси иттрия. Тез. докл. на шестой Всесоюзной конференции по электролюминесценции. Днепропетровск (сентябрь 1977), с. 94—95.

Статья поступила 28 февраля 1982 г.

УДК 621.387.3

В.Н.Грачев, А.И.Мазур

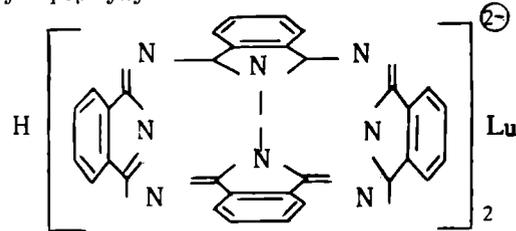
## ЭЛЕКТРОХРОМНЫЙ ИНДИКАТОР

Электрохромный индикатор может быть использован для отображения знаковой и цифровой информации в устройствах с ограниченной емкостью источника тока.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию электрохромных индикаторов (ЭХИ). Повышенный интерес к ЭХИ объясняется рядом преимуществ перед индикаторами других типов (жидкокристаллическими, светодиодными, плазменными и др.) — низким потреблением энергии, работоспособностью в широком температур-

ном диапазоне, широким углом обзора, хорошим контрастом, наличием оптической памяти, совместимостью по уровню управляющих сигналов с интегральными схемами [1].

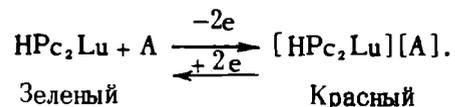
Одним из наиболее перспективных типов ЭХИ является индикатор на дифталоцианине лютеция (HPC<sub>2</sub>Lu). Это вещество имеет следующую структурную формулу:



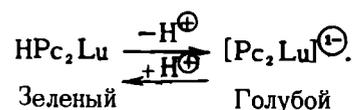
Пленка дифталоцианина лютеция окрашена в зеленый цвет, является полупроводником с хорошей электронной проводимостью, нерастворима в воде и слабо растворима в некоторых органических растворителях, не разлагается при нагревании до 600°С [2—6].

Тонкая пленка дифталоцианина лютеция на поверхности электрода (нанесенная вакуумным напылением или натиранием), помещенного в водный раствор какой-либо соли, способна обратимо изменять свою окраску при изменении потенциала электрода.

Изменение окраски пленки дифталоцианина лютеция происходит по следующему механизму. При подаче на рабочий электрод положительного потенциала 1,0—1,5 В (относительно насыщенного каломельного электрода) молекулы дифталоцианина присоединяют анионы фонового электролита с образованием соединения, окрашенного в красный цвет



При подаче на рабочий электрод отрицательного потенциала от -0,5 до -1,0 В (относительно насыщенного каломельного электрода) молекулы дифталоцианина диссоциируют с образованием соединения, окрашенного в голубой цвет:



Более детально механизм изменения окраски дифталоцианина приводится в работах [4—6].

Индикаторы на основе дифталоцианина редкоземельных элементов обладают "памятью", т.е. способностью хранить записанную информацию после размыкания электрической цепи между электродами. "Память" по красному и голубому цвету примерно одинакова и составляет 20 мин, однако "память" по красному цвету можно увеличить до

нескольких месяцев путем добавки в Электролит солей иода.

На рис. 1 представлены спектры поглощения всех трех окрашенных форм дифталоцианина лютеция, которые послужили основой для расчета контраста ЭХИ, т.е. отношения светопропускания зеленой формы к светопропусканию красной и голубой форм дифталоцианина лютеция. Установлено, что наиболее контрастным является цветовой переход зеленый – красный. Следует отметить, что несмотря на невысокое значение контраста ЭХИ на основе дифталоцианина лютеция читаемость информации на таком индикаторе хорошая, поскольку человеческий глаз реагирует не только на изменение светопропускания, но и на изменение длины волны света, преимущественно пропускаемого индикатором. На рис. 2 представлена конструкция разработанного индикатора.

Параметры ЭХИ на основе дифталоцианина лютеция (для цветового перехода зеленый – красный)

Время записи и стирания, с .....	0,4
Время запоминания, мин .....	20
Контраст	
средний для видимой области спектра .....	1,6:1
для длины волны $\lambda = 510$ нм .....	5:1
Срок службы, циклов срабатывания .....	не менее $10^6$
Напряжение, В .....	1,5–1,9
Потребление энергии на 1 цикл срабатывания, Кл .....	$10^{-4}$
Температура, °С .....	от –50 до +50
Емкость, мкФ .....	17
Сохраняемость, год .....	не менее 1
Габаритные размеры, мм .....	$40 \times 24 \times 6$

Установлено, что для цветового перехода зеленый – голубой срок службы ЭХИ вдвое меньше по сравнению с цветовым переходом зеленый – красный. При записи информации на рабочие сегменты индикатора подается положительный потенциал +1,9 В, а при стирании – отрицательный потенциал менее –0,5 В, или сегменты закорачиваются со вспомогательным электродом.

Заполнение индикатора электролитом и его герметизация производится в азотной атмосфере с целью исключения попадания кислорода, присутствие которого в электролите ведет к снижению срока службы вследствие протекания необратимых электрохимических реакций. Срок службы правильно заполненного индикатора в основном ограничивается отслаиванием пленки дифталоцианина лютеция от поверхности электрода из-за изменения поверхностного натяжения электрода при изменении его потенциала. Установлено, что сохраняемость индикатора определяется скоростью испарения растворителя (воды) через микроразрывы в герметике.

При подключении индикатора к источнику напряжения у поверхности рабочего и вспомогательного электродов скапливаются противоположно заряженные ионы, т.е. образуются двойные эле-

ктрические слои, которые в первом приближении можно рассматривать как конденсаторы с емкостью  $\sim 20$  мкФ/см<sup>2</sup> [7]. Таким образом, при работе ЭХИ на его рабочем электроде электрическая энергия расходуется на зарядку двойного электрического слоя и на протекание электрохимической реакции, а на вспомогательном электроде такое же количество электричества расхо-

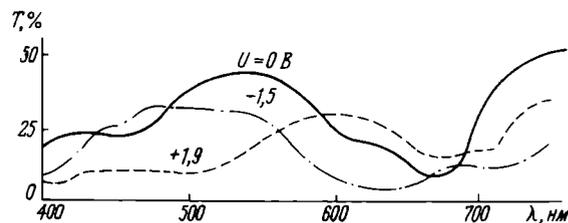


Рис. 1. Спектры пропускания красной ( $U = +1,9$  В), зеленой ( $U = 0$  В) и голубой ( $U = -1,5$  В) пленок дифталоцианина лютеция на поверхности прозрачного токопроводящего покрытия из окиси индия (толщина слоя дифталоцианина лютеция – 0,25 мкм)

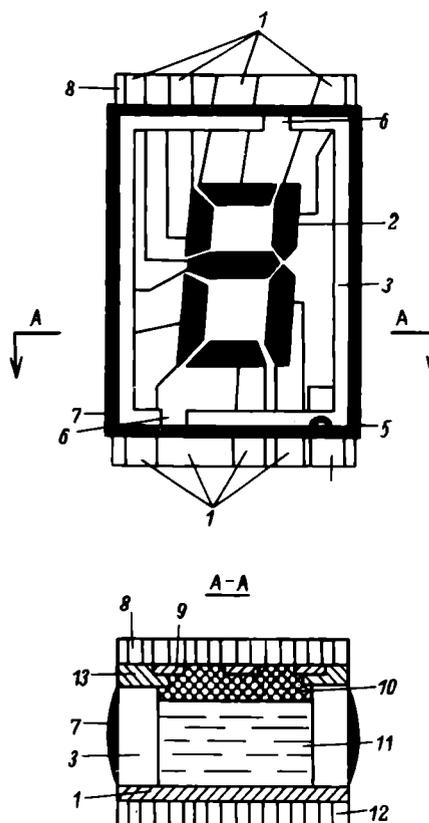


Рис. 2. Конструкция электрохромного индикатора на основе дифталоцианина лютеция: 1 – прозрачные токопроводящие выводы из окиси индия от сегментов; 2 – сегменты индикатора (из окиси индия); 3 – прокладка, задающая расстояние между электродами; 4 – токоперевод; 5 – вывод вспомогательного электрода; 6 – отверстие для заполнения индикатора; 7 – герметик на основе Эпоксидного клея; 8 – подложка рабочего электрода; 9 – выводы и сегменты из окиси индия; 10 – слой дифталоцианина лютеция; 11 – электролит – водный раствор 3,85 М  $\text{CaCl}_2$ ; 12 – подложка вспомогательного электрода; 13 – диэлектрик на выводах – смола на Эпоксидной основе

дуется только на зарядку двойного электрического слоя

Эквивалентную электрическую схему ЭХИ можно представить в виде двух последовательно включенных конденсаторов, соответствующих емкостям двойных слоев на рабочем и вспомогательном электродах, между которыми включено сопротивление, соответствующее суммарному сопротивлению электродов и электролита, а параллельно этой цепи включена емкость, соответствующая емкости системы анод — катод. Поскольку расстояние между рабочим и вспомогательным электродами измеряется в микронах, а толщина двойного слоя порядка  $10^{-4}$  мкм, то величина емкости системы анод — катод на несколько порядков меньше емкости двойного слоя рабочего электрода и емкости двойного слоя вспомогательного электрода. При этом площадь вспомогательного электрода в знаковомых индикаторах всегда значительно больше площади рабочего электрода, поэтому емкость всего индикатора определяется емкостью двойного слоя рабочего электрода.

Таким образом, для уменьшения времени срабатывания индикатора, т.е. времени зарядки конденсатора, надо уменьшать площадь рабочего электрода, сопротивление индикатора и увеличивать напряжение. Однако рабочее напряжение не должно превышать 2 В, чтобы исключить необратимое электрохимическое разложение электролита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Луценко В.А., Мазур А.И. Электрохимические индикаторы. — Зарубежная электронная техника, 1977, № 16, с.3—42.
2. Москалев П.Н., Кирич И.С. Спектрометрическое исследование свойств сульфированных дифталочланинов иттрия, гадолиния и лютеция в водных растворах. — Журнал неорганической химии, 1971, т. 16, № 1, с. 110—115.
3. Москалев П.Н., Кирич И.С., Шапкин Г.Н. Сравнительная устойчивость дифталочланинов лантанидов и эффект тетраэд. — Журнал неорганической химии, 1973, т. 18, № 12, с. 3229—3233.
4. Corker G.A., Grant B., Clesak N.J. An explanation of the lutetium diphthalocyanine. — J. Electrochem. Soc., 1979, vol. 126, N 8, p. 1339—1349.
5. Nicholson M.M., Pizzarello F.A. Charge transport in oxidation product of lutetium diphthalocyanine. — J. Electrochem. Soc., 1979, vol. 126, N 9, p. 1490—1495.
6. Nicholson M.M., Pizzarello F.A. Effects of the gaseous environment on propagation of anodic reaction boundaries in lutetium diphthalocyanine films. — J. Electrochem. Soc., 1980, vol. 127, N 12, p. 2617—2620.
7. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. — М.: Высшая школа, 1975, с. 56.

Статья поступила 29 января 1982 г.

УДК 535.241.13

В.Н.Грачев, А.И.Мазур

## ЭЛЕКТРОХРОМНЫЙ МОДУЛЯТОР СВЕТА

Электрохромный модулятор света работает от источника постоянного напряжения 0,7—1,7 В. Обладает способностью изменять свою оптическую плотность от 0,1 до 4 за 0,8 с.

Электрохромный модулятор света (ЭХМ) представляет собой два параллельно склеенных стеклянных диска (рис. 1) с прозрачным токопроводящим покрытием из окиси индия на обращенных друг к другу сторонах и разделенных тефлоновой прокладкой толщиной 150 мкм. Пространство между электродами заполнено раствором электрохромных веществ (0,05 М раствор дихлората метилвиолена [1] и 0,1 М раствор ферроцена [2] в пропиленкарбонате с добавкой (1—2 % вес) полиметилметакрилата для увеличения вязкости). Заполнение модулятора осуществляется в вакууме (1,33 Па) через торцевое отверстие путем погружения в раствор.

Невключенный ЭХМ имеет слегка желтоватую окраску, обусловленную присутствием в растворе ферроцена. При подаче на электроды постоянного напряжения 0,7—1,7 В на катоде дикаатионы метилвиологена начинают обратимо электрохимически восстанавливаться до интенсивно окрашенных в синий цвет катион-радикалов. На аноде в это вре-

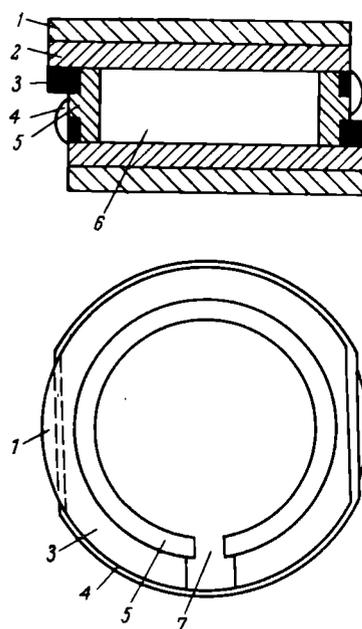


Рис. 1. Конструкция электрохромного модулятора света: 1 — прозрачное стекло; 2 — прозрачное токопроводящее покрытие из  $\text{In}_2\text{O}_3$ , с  $R \leq 10 \text{ Ом/см}^2$ ; 3 — слой металла (медь, инвар) толщиной 0,2 мкм; 4 — герметик; 5 — тефлоновая прокладка толщиной 150 мкм; 6 — раствор электрохромных веществ; 7 — отверстие для заполнения

мя молекулы ферроцена обратимо окисляются до окрашенных в бледно-голубой цвет катионов феррициния [1, 3, 4]. Окраска ЭХМ однородна по всей поверхности и разрешающая способность модулятора определяется исключительно качеством стекла. Спектры поглощения ЭХМ при различных напряжениях приведены на рис. 2.

ЭХМ, как и все электрохимические приборы, имеет большую емкость (7 мФ/см<sup>2</sup>), поэтому для  $\lambda = 632$  нм его контраст (относительное светопропускание во включенном и выключенном состояниях) при включении возрастает во времени по экспоненте. При закорачивании электродов ЭХМ полностью обесцвечивается от максимального контраста примерно за 5 с за счет дезактивации продуктов окисления-восстановления в глубине раствора и на поверхности электродов. Время обесцвечивания от максимального контраста можно уменьшить до 0,5 с путем подачи на электроды переменного напряжения с изменяющимся полупериодом и амплитудой импульсов, равной напряжению окрашивания. В таких условиях в модуляторе образуется ряд слоев параллельных электродов, с чередующейся окраской, что приводит к дополнительному уменьшению диффузионной длины, которую продуктам окисления-восстановления надо пройти, чтобы встретиться и дезактивироваться. При использовании такого способа обесцвечивания ЭХМ время подачи первого импульса обратной полярности равно времени, в течение которого контраст при окрашивании ЭХМ достигает своего половинного значения. Время подачи каждого последующего импульса вдвое меньше времени подачи предыдущего импульса.

Вольт-амперная характеристика ЭХМ имеет две ступени, обусловленные способностью дикатионов метилвиологена восстанавливаться в две одноэлектронные обратимые стадии. Первой ступени соответствует процесс восстановления дикатионов метилвиологена до катион-радикалов  $MV^{2+} + e \rightarrow MV^+$ , а второй ступени – восстановление до незаряженной молекулы  $MV^+ + e \rightarrow MV^0$ . Однако вследствие большого значения для метилвиологена константы образования семихинона [5] продукты второй стадии восстановления быстро реагируют в растворе с дикатионами метилвиологена с образованием катион-радикалов  $MV^0 + MV^{2+} \rightarrow 2 MV^+$ .

Вольтконтрастная характеристика ЭХМ также имеет две ступени, соответствующие двум стадиям восстановления, однако высота второй ступени вчетверо больше высоты первой ступени из-за увеличения скорости образования катион-радикалов.

При уменьшении зазора между электродами рабочие параметры ЭХМ изменяются: максимально

возможный контраст и сопротивление уменьшаются, а исходное светопропускание увеличивается прямо пропорционально зазору из-за уменьшения толщины слоя жидкости; время обесцвечивания при закорачивании электродов уменьшается пропорционально величине квадрата зазора; емкость уменьшается примерно пропорционально зазору из-за уменьшения количества электрохромных веществ между электродами.

При увеличении концентрации  $C$  ферроцена и метилвиологена (в соотношении 2:1) время окрашивания ЭХМ уменьшается пропорционально  $C^2$  [4], а оптическая плотность и ток возрастают пропорционально  $C$ , однако при этом увеличивается температура, при которой раствор становится насыщенным и уменьшается исходное светопропускание из-за увеличения концентрации ферроцена.

Время окрашивания ЭХМ пропорционально величине тока, протекающего через модулятор, который на 67 % состоит из диффузионной и на 33 % из миграционной составляющих [5].

Вместо метилвиологена в разработанном ЭХМ можно использовать другие электрохромные вещества. Например, ЭХМ с раствором цианфенилвиологена имеет зеленый цвет [3], а с бромидом *N*-амил-4,4'-пиридилпиридиния [6] – красный цвет (максимум поглощения при  $\lambda = 542$  нм).

Для увеличения оптической плотности целесообразно изготавливать многослойные модуляторы. Так, например, двухслойный ЭХМ состоит из трех параллельно склеенных стекол с токопроводящим покрытием на обращенных друг к другу сторонах.

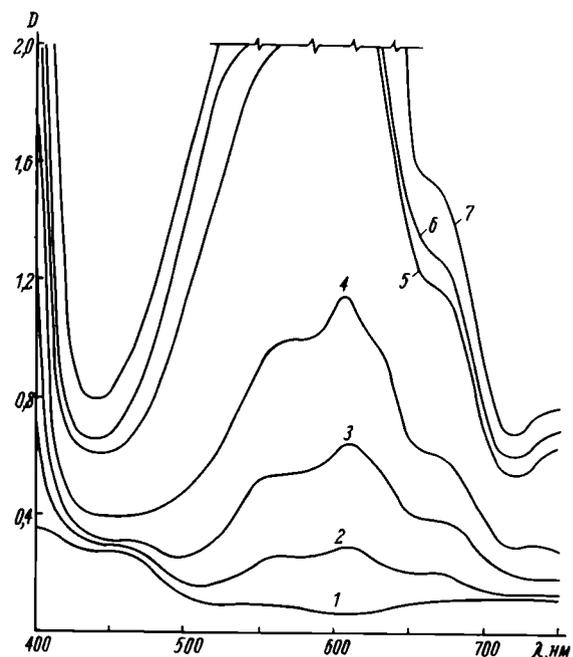


Рис. 2. Зависимость оптической плотности электрохромного модулятора света при различных длинах волн от напряжения: 1 – 0 В; 2 – 0,7 В; 3 – 0,8 В; 4 – 0,9 В; 5 – 1,2 В; 6 – 1,5 В; 7 – 1,7 В

Основные параметры двухслойного электрохромного модулятора света с зазором 150 мкм

Исходное светопропускание, %	80
Максимальный контраст	$6,7 \cdot 10^4 : 1$
Время окрашивания, с	
до контраста 4000:1	0,8
до контраста 10000:1	0,2
Время полного обесцвечивания от максимальной оптической плотности, с	
при закорачивании электродов	5
при использовании переменного напряжения	0,5
Длина волны максимально поглощаемого света, нм	605
Рабочее напряжение, В	0,7—1,7
Сопротивление модулятора, Ом	360
Емкость, мФ	11
Срок службы, циклов срабатывания	10 <sup>7</sup>
Диаметр рабочего поля, мм	10
Габаритные размеры, мм	$\phi 16 \times 4$

Разработанный электрохромный модулятор света предназначен для регулировки светового потока на входе в различные фотоприемные устройства, например, телекамеры черно-белого изображения, кино-фотоаппаратуру, а также для модуляции лазерного излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев В.Н., Жданов С.И., Супин Г.С. Исследование электрохимических свойств бис-(О,О-диметилфосфат)-N, N'-диметил-4,4'-дипиридилля методами классической и переменноточковой полярографии. — *Электрохимия*, 1978, т. 14, № 9, с.1353—1362.
2. Манн Ч., Барнес К. Электрохимические реакции в неводных системах. — *М., Химия*, 1974, с. 382—395.
3. Луценко В.А., Мазур А.И. Электрохромные индикаторы. — *Зарубежная электронная техника*, 1977, № 16, с.3—42.
4. Электрохромизм органических соединений / О.А.Ушаков, И.В. Шелепин, В.А.Барачевский, Е.Г.Катышев. — *Электрохимия*, 1978, № 2, с. 319—322.
5. Гейровский Я., Кута Я. Основы полярографии. — *М.: Мир*, 1965, с. 162—167.
6. Грачев В.Н., Жданов С.И. Исследование электрохимических свойств N-этил-4,4'-пиридилпиридиния методами классической и переменноточковой полярографии. — *Электрохимия*, 1979, т. 15, № 1, с. 63—69.

Статья поступила 19 февраля 1982 г.

УДК 621.383.932.049.77

М.И.Григорьева, А.С.Олейник, В.Ф.Смоляков

## ТЕРМОХРОМНЫЕ ИНДИКАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА ФТИРОС

Информационные устройства на основе термохромных индикаторов эксплуатируются при интенсивной внешней освещенности, отличаются высокими эргономическими показателями, малым весом, высокой надежностью и потребляют не менее чем на порядок меньшую мощность по сравнению с табло на лампах накаливания.

Термохромные индикаторы на основе материала ФТИРОС с фазовым переходом металл—полу-

проводник (ФПМП) [ 1 ] относятся к числу пассивных индикаторных устройств, работающих при внешнем освещении и предназначенных для отображения различной информации. Фазовый переход в окиснованадиевом слое характеризуется тем, что при определенной температуре резко и обратимо изменяются его оптические характеристики и электропроводность. Это позволяет использовать материал для индикации оптической информации путем фиксирования контрастного изменения его цвета или скачка электропроводности в нем. Поскольку структура ФТИРОС обладает достаточно широкой гистерезисной петлей изменения оптических и электрических свойств [ 2 ], то ее можно использовать не только для записи, но и для хранения оптической информации. Время хранения информации практически не ограничено.

Конструктивно индикатор представляет собой пленочный окиснованадиевый слой с металлическим подслоем, нанесенным на диэлектрическую подложку. В зависимости от конкретных областей применения индикаторов возможны различные способы нагрева окиснованадиевого слоя от температуры фазового перехода.

На индикатор, в котором окиснованадиевый слой нагревается путем пропускания тока в продольном направлении, с двух противоположных торцов слоя наносят электропроводящие контакты (при этом отсутствует металлический подслой). Однако такая конструкция требует высокой однородности проводимости окиснованадиевого слоя. При частичной неоднородности проводимости этого слоя возникают отдельные токовые шнуры, приводящие к неоднородности цветового рельефа в момент переключения. Это предъявляет жесткие требования к технологическому процессу изготовления индикаторов с большой площадью рабочего поля (например, 36 см<sup>2</sup>).

Неоднородность окиснованадиевой структуры не имеет существенного значения, если нагрев окиснованадиевого слоя осуществляется путем пропускания через него тока в поперечном направлении, для чего на материал ФТИРОС наносят прозрачный для видимого света пленочный слой, служащий электродом, другим электродом служит металлический отражающий подслой.

Для управления индикаторным элементом необходимо сопрягать его со схемой управления. Однако из-за малого диапазона изменения удельного сопротивления окиснованадиевого слоя величина сопротивления элемента может изменяться в определенных пределах, что накладывает ограничения на условия сопряжения.

В том случае, когда окиснованадиевый слой нагревается с помощью пленочного резистивного нагревателя, отделенного от термохромной структуры слоем диэлектрика, которым может служить сама диэлектрическая подложка, сопротивление

резистивного слоя определяется величиной управляющего напряжения источника питания. Указанная конструкция обеспечивает хорошее сопряжение индикаторного элемента со схемой управления.

Время реакции и релаксации индикаторов определяется их конструкцией, габаритами, величиной проводимой мощности и условиями эксплуатации. Выбор оптимальных величин указанных характеристик и обеспечение экономичной работы индикаторов можно осуществить на основе анализа их температурного режима.

На рис.1 изображен один из вариантов конструкции термохромного индикатора. Подложкой индикатора служит слюдяная пластина марки СТ толщиной 40–60 мкм и площадью 36 см<sup>2</sup>, на одну сторону которой нанесена пленочная структура ФТИРОС, на другую – пленочный резистивный нагреватель с контактными выводами. Так как индикатор представляет собой плоскую конструкцию, то для анализа его теплового режима решена задача нестационарной теплопроводности для пластины с источником тепла, равномерно распределенным на одной из ее ограничивающих поверхностей. Теплообмен пластины с окружающей средой происходит за счет конвекции и излучения. Расчет данных проводили на ЭВМ БЭСМ-4М.

Кривые нагрева и охлаждения термохромного индикатора в зависимости от величины подаваемой мощности при температуре окружающей среды 20°C приведены на рис.2. Величина подаваемой мощности определяет время реакции индикатора (изменение его цвета) и максимально достижимую температуру его поверхности. На основе приведенных данных с учетом температуры фазового перехода около 70°C и ширины петли гистерезиса изменения оптических свойств окиснованадиевой структуры около 10°C можно определить также оптимальные характеристики импульсного режима нагрева индикатора, при котором сохраняется записанное изображение.

Импульсный режим нагрева является более экономичным по сравнению со стационарным. Длительность начального импульса определяется временем реакции индикатора и зависит от величины подводимой мощности. Последующие импульсы следуют со скажностью, так что средняя подводимая мощность остается постоянной и равна теплотерям индикатора при температуре фазового перехода.

Величина удельной мощности индикатора зависит от условий его эксплуатации и корректируется при изменении температуры окружающей среды. На рис.3 приведены результаты расчета величины удельной мощности индикатора, обеспечивающей необходимое время реакции индикатора в диапазоне температуры окружающей среды от –40 до +40°C. Расчетные данные хорошо совпадают с экспериментальными.

При изменении температуры окружающей среды в диапазоне от –60 до +60°C время реакции и релаксации остается практически постоянным, но при этом удельная потребляемая мощность линейно изменяется в пределах 0,62–0,04 Вт/см<sup>2</sup>. Время реакции и релаксации зависит от размера индикаторов. На основании экспериментальных дан-

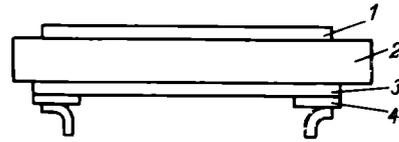


Рис.1. Термохромный индикатор: 1 – окиснованадиевый слой с отражающим подслоем; 2 – диэлектрическая подложка; 3 – резистивный слой; 4 – контактные выводы

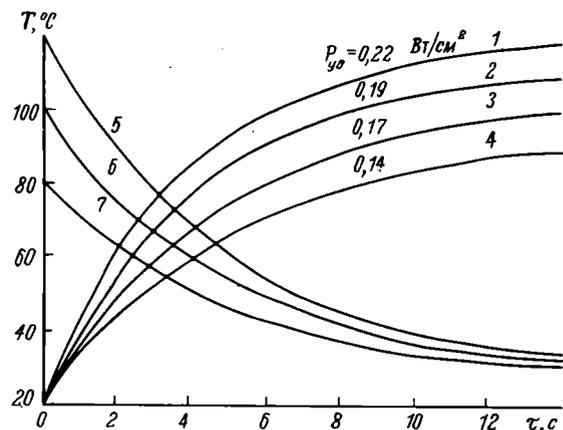


Рис.2. Кривые нагрева (1–4) и охлаждения (5–7) термохромного индикатора со слюдяной подложкой толщиной 40 мкм

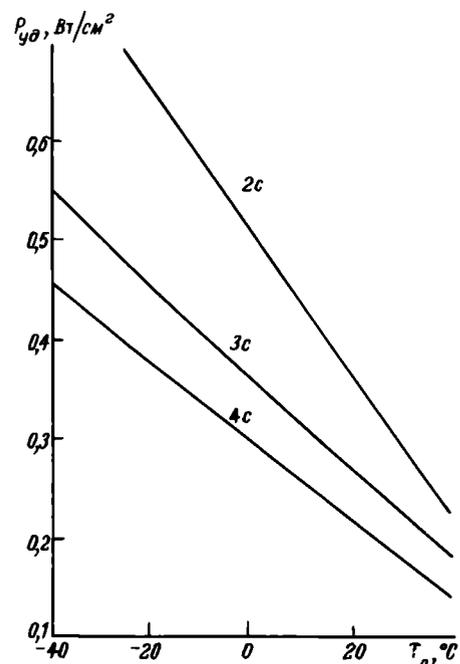


Рис.3. Величина удельной мощности, подводимой к термохромному индикатору со слюдяной подложкой толщиной 40 мкм, в зависимости от температуры окружающей среды

ных для индикаторов с размером рабочего поля  $1-16 \text{ см}^2$  при постоянной величине потребляемой мощности  $0,25 \text{ Вт/см}^2$  время реакции и релаксации составляет соответственно  $2-4$  и  $3-7$  с. С уменьшением размеров индикаторов повышается их быстроедействие. Так как изменение цвета индикатора происходит в результате термически индуцируемого процесса, время реакции и релаксации зависит также от толщины и теплопроводности подложки. Чем толще подложка, тем больше мощность переключения, а также больше время реакции и релаксации индикатора и наоборот. Высокая теплопроводность подложки уменьшает время реакции, но повышает мощность переключения. Соответствующим выбором теплопроводности подложки можно установить оптимальное время реакции и релаксации индикатора при определенной величине подводимой мощности. Например, для двух индикаторов, изготовленных на слюдяной и полиимидных подложках одинакового размера ( $4 \text{ см}^2$ ) и толщины ( $40 \text{ мкм}$ ) время реакции и релаксации составляет:  $2$  и  $3$  с — для слюдяной подложки,  $1$  и  $2$  с — для полиимидной при удельной потребляемой мощности  $0,25$  и  $0,3 \text{ Вт/см}^2$  соответственно.

Технологический процесс изготовления индикаторов позволяет получать различные цветовые переходы: голубой—синий, синий—пурпурный и т.д. Эти цветовые сочетания соответствуют рекомендуемым цветам кода [3] для устройств отображения информации [4].

Термохромные индикаторы обладают достаточно большим по величине яркостным контрастом [5, 6], причем различным цветовым переходам соответствует определенная величина яркостного контраста, например,  $64,2$  и  $27,2\%$  соответственно для цветовых переходов голубой—синий и синий—пурпурный. Величину яркостного контраста можно значительно повысить без существенного изменения благоприятных пар цветов, используя светофильтры на основе оптического стекла марок ОС11 и ЗС8 [7], при этом для указанных цветовых переходов величины яркостных контрастов составят соответственно  $84,2$  и  $57,1\%$ . Можно использовать диэлектрические пленки из  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ , а также лаки АК-113Ф, КО-979 [8]. Кроме того, пленочные покрытия дополнительно защищают оксиднованадиевый слой от воздействия окружающей среды и при этом не изменяют величину потребляемой мощности индикатором и время его реакции и релаксации.

К достоинствам термохромных индикаторов относится независимость контрастности от уровня внешней освещенности, поэтому они хорошо воспринимаются в условиях освещенности выше некоторого минимума ( $100-200 \text{ лк}$ ). Термохромные индикаторы обладают большим углом обзора. Измерения угла обзора проводились по методике,

приведенной в работах [9, 10], в которых осуществляется безошибочное восприятие информации термохромных структур ФТИРОС. Значения углов обзора для индикаторов с различными цветовыми переходами составляют не менее  $\pm 60^\circ$ , причем значения углов не зависят от азимута наблюдения.

Термохромные индикаторы обладают высокой долговечностью (не менее  $10000 \text{ ч}$ ) [1]. Вес термохромного индикатора с размером рабочего поля  $36 \text{ см}^2$  не превышает  $0,8 \text{ г}$ .

В настоящее время на основе материала ФТИРОС разработан ряд индикаторов. К ним относятся одноразрядный цифровой индикатор с высотой знака  $40 \text{ мм}$ , временем реакции и релаксации  $1 \text{ с}$ , максимально потребляемой мощностью  $1,25 \text{ Вт}$  и индикатор с размером рабочего поля  $36 \text{ см}^2$ , временем реакции не более  $5 \text{ с}$ , временем релаксации не более  $10 \text{ с}$ , максимальной потребляемой мощностью  $7 \text{ Вт}$  (с изменением цвета по всему полю).

На основе знаковосинтезирующего индикатора созданы настольные электронные часы с индикацией отсчета времени в часах и минутах. Разработан образец мозаичного экрана, состоящего из  $54$  термохромных индикаторов с размером рабочего поля  $36 \text{ см}^2$ , предназначенного для визуального отображения цифр от  $0$  до  $9$ , с высотой знака  $420 \text{ мм}$ , временем реакции  $5 \text{ с}$ , временем релаксации  $17 \text{ с}$ , максимальной потребляемой мощностью  $100 \text{ Вт}$ . Цифру формируют  $20$  индикаторов, остальные составляют фон. Используя четыре таких экрана, можно реализовать электронные часы коллективного пользования с минутным отсчетом времени.

Основными областями применения термохромных индикаторов на основе материала ФТИРОС могут быть крупногабаритные устройства отображения информации, где не требуется быстрая смена информации. К ним можно отнести различные мнемосхемы, в которых индикаторы с разными цветовыми переходами позволяют осуществить цветное кодирование информации, а также табло, отображающие расписание движения поездов, судов, самолетов, рекламные устройства и т.д.

Использование гистерезисной характеристики зависимости оптических свойств материала ФТИРОС позволит создать средства отображения информации с запоминанием. К таким средствам относятся проекционные запоминающие экраны произвольных размеров с записью тепловым лучом, например лазерным, и мозаичные экраны. Регулируя величину напряжения источника питания, осуществляют нагрев термохромных индикаторов до температуры термостатирования, соответствующей середине петли гистерезиса оксиднованадиевого слоя, что обеспечивает режим долговременной памяти. Стирание изображения производится сбросом напряжения источника пита-

ния. Возможно создание запоминающего экрана любых размеров, представляющего собой несущую подложку, на которой размещаются термохромные индикаторы, образующие сплошное поле. Термостатирование экрана осуществляется либо с помощью пленочных резистивных нагревателей, либо путем равномерной засветки оптическим лучом, при этом температура термостатирования экрана должна быть ниже начала петли гистерезиса. Запись, хранение и стирание информации в нужной точке экрана производится изменением интенсивности сканирующего луча в соответствующий момент времени, подобно процессу, происходящему в кинескопе.

Интенсивность сканирующего луча в разные моменты времени записи должна быть достаточной для нагрева участков экрана до температуры фазового перехода (запись), температуры, соответствующей середине петли гистерезиса (хранение), и температуры ниже начала петли гистерезиса (стирание). Достоинство указанного способа записи заключается в простоте и скорости смены информации на запоминающем экране произвольных размеров, так как в этом случае глубина теплового воздействия луча не превышает толщину окиснованадиевого слоя и скорость записи определяется временем фазового перехода в слое.

К преимуществам индикаторов и устройств отображения информации на основе материала ФТИРОС следует прежде всего отнести их простоту, технологичность, невысокую стоимость. Кроме того, для них характерны следующие достоинства: различные цветовые переходы со значительными цветовыми и яркостными контрастами, обеспечивающих уверенное считывание информации при угле обзора не менее  $\pm 60^\circ\text{C}$ ; способность сохранять работоспособность при высоких уровнях внешней освещенности и температурном диапазоне эксплуатации от  $-60$  до  $+60^\circ\text{C}$ ; высокая долговечность, малый вес и высокие эргономические показатели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Термохромные индикаторы на основе фазового перехода металл-полупроводник в окислах ванадия / А.С.Олейник, Б.В.Абалдуев, Б.П.Захарченя, Ф.А.Чудновский. — ИФЖ, 1977, т.23, № 5, с.931–934.
2. Фазово-трансформационный интерференционный реверсивный отражатель света / Б.П.Захарченя, И.К.Мешковский, Е.И.Теруков, Ф.А.Чудновский. — Письма в ЖТФ, 1975, т.1, № 1, с.8–11.
3. ГОСТ 21829–76. Система человек–машина. Кодирование зрительной информации.
4. Литвак Н.И., Ломов Б.Ф., Соловейчик И.Е. Основы построения аппаратуры отображения в автоматизированных системах / Под ред. А.Я.Брейтбарта. — М.: Советское радио, 1976. — 352 с.
5. Костюк В.И., Ходаков В.Е. Система отображения информации и инженерная психология. — Киев: Высшая школа, 1977. — 192 с.
6. ГОСТ 23596–0–79 – ГОСТ 23596–2–79. Индикаторы вакуумные. Методы измерений светотехнических параметров.
7. ГОСТ 9411–66. Стекло цветное оптическое.

8. Патент 3.834.793 (США).

9. Олейник А.С., Старшов М.А. Зависимость цветового контраста пленочных отражательных окиснованадиевых структур. — Электронная техника. Сер.4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1979, вып.6, с.59–61.

10. Измерение углов обзора одноэлектронных знаков синтезирующих индикаторов в условиях производства / Н.И.Литвак, В.Г.Боков, М.Д.Густяков и др. — Электронная техника. Сер.4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1978, вып.6, с.69–72.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.317.78:621.373.826.095

А.С.Олейник, В.Ф.Смоляков,  
В.М.Степанов, Н.М.Руденко

## ВИЗУАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА ФТИРОС

**Визуализатор излучения на основе материала ФТИРОС представляет собой устройство, обеспечивающее запись, запоминание и стирание оптической информации в широком спектральном диапазоне. Прибор отличается простотой и высокой надежностью в эксплуатации и может применяться для экспрессной диагностики параметров лазерного излучения.**

С развитием лазерной техники и расширением отраслей ее применения в народном хозяйстве возникла необходимость разработки материалов и устройств для визуализации и измерения характеристик и параметров когерентного излучения в широком спектральном и широких энергетических и пространственно-временных интервалах [1–2]. Прямая регистрация изображения лазерного излучения в области с длиной волн до 1,3 мкм производится с помощью электронно-оптических преобразователей, люминесцентных трубок и фотоматериалов [1–3]. Недостатком этих приборов и материалов является отсутствие памяти, что не позволяет осуществить многократную перезапись информации.

В настоящее время для визуализации лазерного излучения, оперативной записи и хранения оптической информации в инфракрасной области спектра используются различные материалы: жидкие кристаллы [4], кристаллофосфоры [5], термомагнитные материалы [6] и материалы на основе фазового перехода металл–полупроводник [7]. Специфика физических и физико-химических эффектов, лежащих в основе работы указанных материалов, и возможности технологических процессов получения определяют конструкцию и параметры визуализаторов излучений на их основе. В таблице приводятся характеристики материалов, предназначенных для записи и хранения оптической информации.

Материал	Принцип работы	Энергия записи, Дж/см <sup>2</sup>	Разрешающая способность, линий/мм
Холестерические жидкие кристаллы	Селективное рассеяние падающего света (время реакции 0,2–5 с)	10 <sup>-3</sup>	1
Кристаллофосфоры	Температурное гашение люминесценции (используется стационарное УФ возбуждение)	10 <sup>-3</sup>	1–2
Магнитные пленки	Тепловое перемагничивание (используется внешнее магнитное поле)	10 <sup>-3</sup>	1000
ФТИРОС	Фазовый переход металл-полупроводник в окислах ванадия (используется термостатирование)	10 <sup>-4</sup>	2000

Сравнительный анализ материалов, предназначенных для визуализации импульсного лазерного излучения, показывает, что ФТИРОС обладает большей чувствительностью по сравнению с другими указанными материалами, высокой величиной разрешающей способности, режимом долговременной реверсивной памяти, простотой стирания изображения.

Визуализатор излучения на основе термохромного материала ФТИРОС [8] предназначен для контрольно-юстировочных работ в ИК области спектра, исследования распределения энергии по поперечному сечению лазерного луча, экспрессного измерения угла расхождения и может быть использован в качестве голографического транспаранта. Прибор обеспечивает регистрацию и запоминание структуры ИК полей в реальном масштабе времени. Это позволяет наблюдать различные изменения в структуре ИК полей при регулировках и настройках их источников, а также исключает ошибки при регистрации ИК полей, вызванных дрейфом выходных характеристик аппаратуры записи поля по точкам и потери части информации за счет дискретности отсчетов, например, в случае применения измерителя распределения энергии ИРЭ-100.

Визуализатор излучения состоит из блоков регистрации и питания. Блок регистрации представляет собой плоскую конструкцию, в которой размещены диэлектрическая подложка с термохромной регистрирующей структурой на основе материала ФТИРОС размером 100×100 мм и плоский электронагреватель. С помощью штатива блок регистрации может быть закреплен, например, в рейтере оптической скамьи типа ОСК. Блок питания состоит из переносного прямоугольного кожуха, в котором на шасси смонтирована электронная схема, а на панели — элементы управления и сигнализации, обеспечивающие термостатирование регистрирующей структуры.



Визуализатор излучения на материале ФТИРОС

#### Техническая характеристика

Спектральный диапазон регистрируемых излучений, мкм ...	0,3–25
Диаметр рабочего поля, мм .....	90
Пороговая чувствительность, Дж/см <sup>2</sup>	
в спектральном диапазоне 0,337–3,39 мкм .....	10 <sup>-4</sup>
5–10,6 мкм .....	10 <sup>-3</sup>
Порог разрушения материала в режиме термостатирования, Дж/см <sup>2</sup>	
в спектральном диапазоне 0,337–3,39 мкм .....	более 0,2
5–10,6 мкм .....	более 1,5
Неравномерность распределения пороговой чувствительности по рабочему полю визуализатора, % .....	не более 10
Разрешение по рабочему полю при длительности импульса 10 <sup>-4</sup> с, лин/мм	
в спектральном диапазоне 0,337–1,06 мкм ...	не менее 1000
Минимальная длительность регистрируемого импульса излучения, с .....	10 <sup>-11</sup>
Контрастность изображения, % .....	не менее 30–50
Время хранения записанной информации .....	неограничено
Число циклов запись–стирание .....	не менее 10 <sup>6</sup>
Время стирания информации, с .....	не более 10
Потребляемая мощность, Вт .....	не более 30
Масса, кг .....	не более 4

В основе эффекта визуализации лежит явление фазового перехода полупроводник — металл (ФППМ) в окиснованадиевом слое пластины экрана, происходящее при нагреве его до температуры 65°C под действием регистрируемого излучения. При фазовом переходе наблюдается резкое и обратимое изменение цвета материала вследствие перераспределения хода спектрального коэффициента отражения окиснованадиевого слоя в видимой области спектра.

Визуализатор работает в двух режимах: динамическом и режиме запоминания.

При работе в динамическом режиме нагрев термохромного слоя пластины экрана под действием регистрируемого излучения осуществляется от температуры окружающей среды до температуры фазового перехода, при этом цвет экрана изменяется от желто-голубого до ярко-синего. В этом режиме не обеспечивается запоминание регистрируемого излучения и визуализатор может эксплуатироваться без блока питания.

При работе в режиме запоминания используется явление температурного гистерезиса в окиснованадиевом слое пластины экрана, которое позволяет осуществить режим долговременной памяти изображения регистрируемого излучения. С помощью плоского электронагревателя осуществляется предварительный нагрев экрана до температуры термостатирования (середины петли гистерезиса). Ширина петли —  $10^{\circ}\text{C}$ . Регистрируемое излучение нагревает термохромный слой экрана до температур фазового перехода, при этом осуществляется запись. После прекращения излучения изображение на экране сохраняется практически неограниченное время. При охлаждении пластины изображение стирается, экран приобретает первоначальный цвет. При большей длительности импульса излучения глубина его теплового воздействия превышает толщину окиснованадиевого слоя экрана, благодаря чему на величину разрешающей способности будет оказывать влияние теплопроводность подложки. Поэтому при исследовании энергии излучения непрерывных источников излучения для предотвращения расплывания цветового рельефа на экране визуализатора рекомендуется применение модулятора излучения.

Высокая точность термостатирования термохромной пластины экрана ( $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ) и возможность регулировки температуры термостатирования в широких пределах позволяет изменять пороговую чувствительность визуализатора. Ввиду неселективности материала в широком спектральном диапазоне визуализатор обладает постоянной пороговой чувствительностью и его можно использовать для количественного анализа пространственного распределения энергии лазерного излучения [9]. Для этого перед визуализатором помещается набор калиброванных светофильтров и по конфигурации цветового рельефа экрана, отображающего границы изощренных сечений лазерного излучения, с учетом коэффициента пропускания светофильтра определяют распределение плотности энергии в сечении пучка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х и р д Г. Измерение лазерных параметров. — М.: Мир, 1970. — 539 с.
2. Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии: Справочник / Под ред. Б.М. Степанова. — М.: Атомиздат, 1979. — 137 с.
3. И н з у к а К. Новый метод измерения напряженности элект-

рического поля. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1968, т. 40, № 8, с. 40—42.

4. С о н и н А.С., Ш и б а е в И.И., Э п ш т е й н М.И. Визуализатор с большим динамическим диапазоном. — Квантовая электроника, 1977, т. 4, № 3, с. 531—535.

5. Радиовизор — приемник прямого видения ИК-СВЧ-излучения с применением кристаллофосфоров / А.П. Бажулия, Е.А. Виноградов, Н.А. Ирисова и др. — В кн.: Рекомбинационная люминесценция и лазерная спектроскопия (Труды ФИАН, т. 117). — М.: Наука, 1980, с. 122—132.

6. Тонкие магнитные пленки для регистрации оптической информации. (Науч. труды. ВНИИ физ.-тех. и радиотехнич. измерений). — М.: 1979. — 80 с.

7. Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. — Л.: Наука, 1979. — 183 с.

8. Визуализатор излучения ВИ-1. — В сб.: Местный производственный опыт в промышленности. — М.: ГОСИНТИ, 1980, с. 17, 18.

9. Исследование пространственных характеристик излучения импульсных лазеров / Б.П. Захарченя, Е.И. Теруков, Ф.А. Чудновский, З.И. Штейнгольц. — Письма в ЖТФ, 1978, т. 4, вып. 18, с. 1130—1132.

Статья поступила 22 февраля 1982 г.

УДК 621.363.932

Г.И. Видро, П.Е. Кандыба,  
А.Г. Сегалла, В.М. Степанов

## МАТРИЧНЫЕ ИНДИКАТОРЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ПРОЗРАЧНОЙ СЕГНЕТОКЕРАМИКЕ

Для разработки плоского экрана на основе сегнетокерамики созданы и испытаны матричные индикаторы, работающие на различных электрооптических эффектах в сегнетокерамике. Наиболее высокий контраст обеспечивается при работе индикаторов с поперечным эффектом управляемого двулучепреломления, а при работе индикаторов с совмещенными электрооптическими ячейками проявляется наиболее выраженный порог характеристики.

Разработка матричных индикаторов для плоских экранов является важной проблемой в создании систем отображения информации. В последние годы появились индикаторы нового типа, в которых в качестве рабочего материала использована электрооптическая сегнетокерамика системы ЦТСЛ (цирконат-титанат свинца, легированный лантаном). Эти индикаторы имеют хороший контраст и разрешающую способность, высокое быстродействие, большой угол обзора и малую потребляемую мощность, обладают свойством памяти и широким диапазоном рабочих температур [1—9]. Такие параметры достигнуты за счет возникновения в индикаторных устройствах эффекта управляемого двулучепреломления, которое также позволяет осуществить разовую модуляцию, а следовательно, возможность получения цветного изображения.

Принципиальная схема матричных индикаторных устройств, работающих на основе эффектов управляемого двулучепреломления в электрооптической сегнетокерамике, аналогична в общем случае схеме цифровых индикаторов с мозаичной системой адресации.

Ниже рассмотрены матричные индикаторы, работающие на различных электрооптических эффектах. У матричных индикаторов с краевым эффектом управляемого двулучепреломления и асимметричной деформацией проводящие электроды представляют собой пленки  $\text{In}_2\text{O}_3$ , нанесенные на обе поверхности пластины СК ортогонально друг другу. Контактные площадки металлизированы.

При краевом эффекте ширина электродов составляет 150 мкм, межэлектродные промежутки — 300 мкм. Геометрия электродов выбрана экспериментально для пластин сегнетокерамики толщиной 200—250 мкм. В случае эффекта асимметричной деформации ширина электродов на одной поверхности пластины равна 1400 мкм, на другой — 200 мкм (электроды резные; межэлектродные промежутки — 900 мкм). Размер элемента матрицы 1,4×1,4 мм. В связи с тем, что в этом случае ширина электродов на одной плоскости пластины сегнетокерамики больше, чем на другой, двулучепреломление наблюдается не только на краях электродов, но и в межэлектродной области рабочей пластины, что повышает параметры устройства.

В матричном индикаторе с поперечным эффектом управляемого двулучепреломления система разнополярных электродов нанесена на одну сторону пластины сегнетокерамики. Электроды столбцов и строк изолированы посредством прозрачного диэлектрического слоя, состоящего из нитрида кремния и двуоксида кремния. Соединение электродов элементов строки осуществлено с помощью электродных шин либо из пленок  $\text{In}_2\text{O}_3$ , либо из пленок V—Al через окна в изолирующем покрытии. Проводящие электроды столбцов и строк представляют собой пленки V—Ni. При поперечном эффекте двулучепреломление практически одинаково во всем рабочем промежутке, что позволяет получить высокий контраст индикатора. Недостатком такого матричного индикатора является сложная конструкция, требующая проведения трех операций фотолитографии, и трудность получения беспористой межслойной изоляции.

Принципиально отличается от описанных выше матричное устройство, основанное на поперечном эффекте с двумя совмещенными оптическими ячейками: строк и столбцов, каждая из которых состоит из пластины сегнетокерамики с нанесенными на ее поверхность электродами, помещенными между скрещенными поляроидами [10]. Поляриод, расположенный между пластинами, одновременно служит анализатором первой электрооптической ячейки и поляризатором второй. Такая система пропускает свет в

местах пересечения одновременно включенных строк и столбцов. Электроды представляют собой пленки V—Ni шириной 150 мкм (межэлектродные промежутки — 150 мкм).

Расположение строк и столбцов индикатора на отдельных пластинах исключает необходимость использования дополнительных диэлектрических слоев, что существенно упрощает технологию изготовления устройства. Поперечный эффект двулучепреломления приводит к равномерному распределению светопропускания внутри каждого элемента. Недостаток такого индикатора — невозможность использования материала с внутренней памятью.

Вольтконтрастные характеристики исследуемых матричных индикаторов в статическом режиме работы приведены на рис. 1. Все индикаторы были изготовлены из одной партии сегнетокерамики системы ЦТСЛ 9/65/35 методом горячего прессования в вакууме [11], с поляроидами, имеющими одинаковые величины главных пропусканий. Наиболее четко выраженный порог у характеристик устройств с совмещенными ЭО ячейками, что обуславливает наличие опорного напряжения и невысокого управляющего напряжения. Менее выраженный порог характеристики, но высокий контраст имеют устройства, работающие на поперечном эффекте. Для визуального восприятия изображения матричного индикатора, изготовленного из материала, не обладающего внутренней памятью (ЦТСЛ 9/65/35), может быть использовано импульсное управление с периодом не более 1/25 с и скважностью, равной числу строк (или столбцов). На рис. 2 приведены вольтконтрастные характеристики матричного индикатора с совмещенными ячейками, работающего в различных режимах. (Аналогичные результаты получены для матричного индикатора, работающего

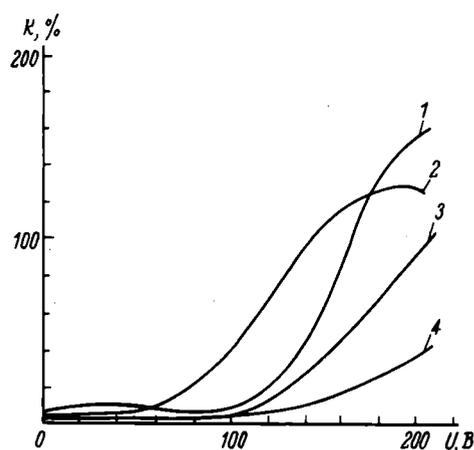


Рис. 1. Вольтконтрастные характеристики матричных индикаторов на сегнетокерамике в статическом режиме работы: 1 — индикатор с совмещенными электрооптическими ячейками; 2 — поперечный ЭО эффект; 3 — эффект асимметричной деформации; 4 — краевой ЭО эффект

на эффекте асимметричной деформации). Схема управления таким индикатором состояла из задающего генератора прямоугольных импульсов, формирователя импульсов управления и выходного ключа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что управление разработанными матричными индикаторами на сегнетокерамике, не обладающей внутренней памятью, может быть импульсным с амплитудой 180–200 В, длительностью 2–5 мс и скважностью 5. Таким образом, эти матричные индикаторы могут применяться как универсальное знакоместо с числом элементов  $5 \times 7$  для отображения буквенно-цифровой информации.

При использовании в матричных индикаторах на сегнетокерамике рабочего материала, обладающего памятью, важнейшей проблемой является стирание записанной информации. Известно, что на материале состава ЦТСЛ 8/65/35 при подаче электрического сигнала обратного знака образец не полностью деполяризуется и, следовательно, не обеспечивается полное стирание информации. Поэтому для этого материала был опробован метод перевода матричного элемента в термически деполяризованное состояние путем подачи переменного напряжения малой амплитуды с высокой частотой [7]. Запись информации на матричный элемент индикатора, работающего на поперечном эффекте, осуществлялась подачей импульса напряжения амплитудой 150 В и длительностью 10 мкс. Стирание записываемой информации производилось знакопеременным напряжением прямоугольной формы с частотой 1 МГц и амплитудой 25 В. Полное стирание имело место при длительности пачки переменного напряжения 2–5 с. Частичный разогрев материала, который происходит при рассмотренном методе стирания, приводит к тому, что для записи повторной информации требуется предварительное время на остывание

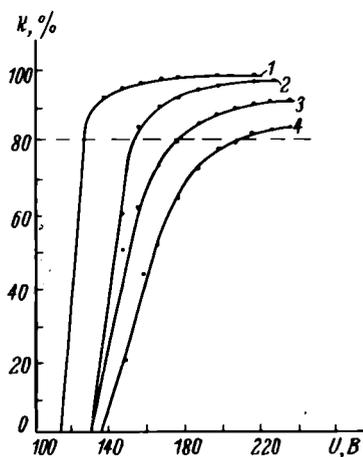


Рис. 2. Вольтконтрастные характеристики элемента матричного индикатора с совмещенными ячейками: 1 — статический режим; 2 — импульсный режим со скважностью  $Q=2$  и длительностью импульса  $\tau=2$  мс; 3 —  $Q=5$ ,  $\tau=5$  мс; 4 —  $Q=10$ ,  $\tau=5$  мс

образца, что существенно ограничивает быстродействие матричного индикатора.

С целью эффективного стирания информации в работе [12] предложен метод, в котором на обе стороны керамической пластины наносилось по дополнительному электроду в виде сплошной высокоомной прозрачной пленки. Стирание осуществлялось более длинным, чем при записи, импульсом напряжения, который подавался на ту же систему электродов, что и при записи. За время импульса стирания электрический заряд успевает растечься по дополнительному электроду по всей площади матрицы. В результате возникает электрическое поле, вызывающее переориентацию доменов сегнетокерамики. Таким образом, материал работает в режиме  $90^\circ$  переключения. Время стирания определяется  $RC$ -цепями устройства.

Таким образом, для получения хорошего быстродействия требуется оптимизация сопротивления стирающего электрода, что вызывает значительные трудности. Кроме того, введение дополнительных электродов усложняет конструкцию и технологию получения матричного индикатора.

Однако этот метод стирания может стать одним из направлений создания матричного индикатора на сегнетокерамике системы ЦТСЛ 8/65/35, обладающей внутренней памятью.

В качестве оптимального материала для создания матричных устройств предложена сегнетокерамика системы ЦТСЛ 7,9/70/30 [13]. Эта керамика обладает двойной петлей диэлектрического гистерезиса: имеет широкую часть в области рабочих напряжений и узкую — при напряжениях, близких к нулю. При подаче напряжения обеспечивается запись, а стирание осуществляется закорачиванием. Крутой наклон петли электрического гистерезиса позволяет иметь близкую к пороговой характеристику, а также большие скорости коммутации. В работе [14] на основе такой керамики получен матричный экран объемом  $30 \times 30$  элементов, получено изображение при частоте 10–15 кадров/с и напряжении 200 В.

Были испытаны образцы сегнетокерамики состава, близкого к указанному выше, полученные методом горячего прессования в вакууме [11]. Установлено, что использование импульсного управления матричным индикатором, выполненным на этой сегнетокерамике, позволяет работать при амплитуде управляющего напряжения с большей скважностью ( $Q \approx 10$ ). Однако для реализации внутренней памяти петля гистерезиса должна быть шире, в противном случае реализуемый контраст устройства неудовлетворителен для визуального восприятия.

Основное направление в создании многоэлементных матричных индикаторов на сегнетокерамике — разработка электрооптической керамики, обладающей свойством внутренней памяти, эле-

ктрически деполяризующейся и обеспечивающей в устройствах высокую крутизну и четко выраженный порог характеристики, необходимые для осуществления матричного управления с большими скоростями коммутации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лэнд С., Течер Ф. Электрооптические материалы на основе сегнетоэлектрической керамики и приборы. — ТИИЭР, 1969, т. 57, № 5, с. 13.
2. PLZT ceramics open up display horizons. — Design news, 1975, N 5, p. 19.
3. Исследование температурной стабильности параметров индикаторных устройств на основе электрооптической керамики системы ЦТСЛ/Г.И.: Видро, М.Ю. Горюнова, В.М. Степанов, А.Г. Сегалла. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1980, вып. 4, с. 34.
4. Drake M.D. PLZT Matrix-type block data composers. — Appl. Optics, 1974, v. 13, N 2, p. 347.
5. Состояние проблемы и опыт создания управляемых транспарантов из прозрачной сегнетокерамики/А.Э. Капениекс, Э.Э. Круминьш, А.Э. Круминьш, А.Р. Штеренберг. — Автометрия, 1976, №4, с. 43.
6. Компанец И.Н., Семочкин П.Н., Соболев А.П. Управляемый транспарант на основе электрооптической керамики. Пространственные модуляторы света. — Л.: 1977, с. 107—113.
7. Поперечный электрооптический эффект в матрично-адресуемом транспаранте на основе ЦТСЛ-керамики/Т.Н. Бакунова, И.Н. Компанец, А.С. Левичев и др. — Квантовая электроника, 1978, №5, с. 1034.
8. Малдонадо Дж., Фрезер Д., Мейцлер А. Применение PLZT-керамики в устройствах отображения информации. — Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений. — М.: 1979, т. 2, с. 78.
9. Land C.E., Paerisy P.S. — Proc. of IEEE—SID, Biennial Display Conf., New York, 1976, p. 1.
10. Taylor C.W. A method of matrix addressing polarisation rotating or retarding light-valve arrays. — Proc. of the IEEE, 1970, v. 58, N 11, p. 1812.
11. Исследование влияния вакуумного горячего прессования сегнетокерамики ЦТС на ее керамические и электрофизические характеристики/А.Г. Сегалла, В.В. Белов и др. — Тезисы доклада на VI межотраслевой конференции, Донецк, 1978.
12. Исследования по созданию матрично-адресуемого управляемого транспаранта на основе ЦТСЛ-керамики/И.И. Климов, И.Н. Компанец, А.С. Левичев и др. — Квантовая электроника, 1977, т. 4, № 11, с. 2360.
13. Kumada A., Toda G., Omoto Y. — Proc. of the 11th Conf. on Solid State Devices, Tokio, 1973; J. Jap. Soc. Appl. Phys., 1974, v. 43, Suppl, 150—153.
14. Suzuki Kenkichi, Kitta K, Toda Gyozo, Kumada Akio. PLZT matrix display. — J. Jap. Appl. Phys., 1976, 15, Suppl, N 1, p. 131.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

10001101100  
 1011010011001100  
 011000111000111000

### ДВУХЦВЕТНАЯ ИНДИКАТОРНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

01101100110011001101  
 10011000110111001101  
 1011010011001100  
 10110101101001  
 01100110

Предназначена для воспроизведения и визуального наблюдения знаковой и графической информации в двух цветах, что создает благоприятные условия для оператора при работе с насыщенным буквенно-цифровым или графическим изображением, например, при выводе информации из ЭЦВМ или в других видеоконтрольных устройствах.

Отличается простотой управления цветом свечения, изменяющимся от красновато-оранжевого до желтовато-зеленого. Обладает повышенной четкостью изображения, механической прочностью и климатической устойчивостью.

Размер экрана, мм  
 по диагонали . . . . . 250  
 рабочей части . . . . . 138x185  
 Фокусировка . . . . . электростатическая  
 Отклонение . . . . . электромагнитное  
 Угол отклонения, град . . . . . 90  
 Ширина линии в красновато-оранжевом цвете, мм  
 в центре . . . . . не более 0,22  
 на краю . . . . . не более 0,25  
 Ширина линии в желтовато-зеленом цвете, мм  
 в центре . . . . . не более 0,25  
 на краю . . . . . не более 0,28  
 Яркость свечения, кд/м<sup>2</sup>  
 в красновато-оранжевом цвете . . . не менее 20  
 в желтовато-зеленом цвете . . . не менее 150  
 Напряжение запирающее (отрицательное), В . . . 40—90  
 Напряжение модуляции, В  
 в красновато-оранжевом цвете . . . не более 20  
 в желтовато-зеленом цвете . . . . . не более 40  
 Координаты цветности в красновато-оранжевом  
 цвете  
 X . . . . . не менее 0,55  
 Y . . . . . не более 0,42  
 Координаты цветности в желтовато-зеленом цвете  
 X . . . . . не более 0,49  
 Y . . . . . не менее 0,44

К.Л.Боксинер, А.А.Елькин

УДК 621.7.02

**Б.В.Абалдуев, А.М.Ермолаев,  
Т.М.Назарова, Л.Ф.Попеленская**

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЧИСТКА СТЕКЛЯННЫХ ПЛАСТИН В ПРОИЗВОДСТВЕ ИНДИКАТОРОВ**

**Автоматизация очистки стеклянных пластин в массовом производстве катодолюминесцентных и жидкокристаллических индикаторов обеспечивает высокую эффективность процесса при стабильном выходе годных изделий.**

В настоящее время в качестве конструкционного материала катодолюминесцентных и жидкокристаллических индикаторов применяется известково-натриевое стекло. В этих приборах стекло служит не только оболочкой. На нем методом тонкопленочной или толстопленочной технологии формируется система электродов. При этом от состояния поверхности стекла зависит адгезия наносимых материалов. В жидкокристаллических индикаторах состояние поверхности стекла влияет на ориентацию жидкокристаллического вещества, в вакуумных приборах — на газоотделение.

В процессе транспортировки и хранения стекла его поверхность загрязняется. Во влажной и агрессивной среде на поверхности стекла появляются дефекты различной природы в виде матовых и радужных пятен. В связи с этим очистка поверхности стеклянных пластин является важным элементом технологии изготовления приборов. Очистка должна предусматривать природу загрязнений первичных и попадающих на пластины в ходе изготовления приборов, а также отвечать требованиям, предъявляемым к чистоте поверхности.

Загрязнения на поверхности стекла можно классифицировать следующим образом: механические загрязнения — стеклянная крошка, пыль и другие прилипшие к поверхности частицы; неорганические — соли, попадающие на поверхность извне или образующиеся в результате разрушения поверхности стекла; органические или жировые — масла, загрязнения от рук операторов и др.

Стекло можно считать переохлажденным расплавом окислов с преобладанием двуокиси кремния. Поэтому все стекла, и особенно с малым содержанием  $\text{SiO}_2$  и большим содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$ , разрушаются водой. В результате гидролитического разрушения и ионного обмена на поверхности образуются группы  $\text{Si-O-Si}$  и  $\text{Si-OH}$ , т.е. поверхность стекла покрывается слоем геля, к которому

легко прилипают посторонние частицы [1]. Кроме того, продукты разрушения могут вступить во вторичные реакции с содержащимися в воздухе  $\text{CO}_2$  и  $\text{SC}_2$  с образованием карбонатов, сульфатов и других соединений.

Для удаления частиц пыли и порошков обычно требуются механические воздействия, особенно если контакт стекла с ними был продолжительным [2]. В производстве для этого применяется протирка тканью, смоченной растворителем. Однако эта операция трудно поддается механизации и требует расхода дефицитных материалов.

Более рационально использование промывки в присутствии поверхностно активных веществ, стимулированной ультразвуком. Во избежание повторного оседания отделившихся частиц операцию целесообразно проводить в потоке жидкости. Этот процесс легко поддается автоматизации.

Наибольшие затруднения при очистке связаны с обезжириванием поверхностей. Так как многие типы жировых загрязнений хорошо растворяются в органических растворителях, для их удаления можно использовать промывку. Однако это сопряжено с большим расходом горючих и токсичных веществ.

Эффективным методом удаления органических загрязнений является их сжигание путем прокаливания деталей на воздухе при температурах выше  $450-500^\circ\text{C}$  или в среде активированных газов при более низких температурах [3]. Но этот процесс еще недостаточно отработан.

Жировые загрязнения могут быть удалены также путем "мокрого сжигания" в хромовой смеси или в смесях на основе перекиси водорода [4-7]. Очистка стеклянных пластин в хромовой смеси широко используется в производстве. Использование столь агрессивного реактива в крупносерийном производстве требует применения специальных мер техники безопасности, связано с расходом дефицитных материалов и требует утилизации отходов. Достаточно эффективным и свободным от многих упомянутых недостатков является метод "мокрого сжигания" в водных растворах перекиси водорода и в смесях ее с муравьиной кислотой или аммиаком [5, 6, 8].

Перекисно-аммиачная смесь (особенно нагретая) интенсивно окисляет органические вещества. Если окисление почему-либо оказывается неполным, они превращаются в водорастворимые соединения и также удаляются с поверхности. Этому в значительной степени способствует также щелочная реакция очищающей среды, обусловленная присутствием в растворе гидроксида аммония. В состав очищающей смеси не входят компоненты, загрязняющие поверхность стекла или окружающую

среду. В процессе очистки аммиак сгорает в избытке перекиси водорода с образованием воды и азота.

Для удаления солевых загрязнений используется их растворимость в воде, которая увеличивается с повышением температуры жидкости, а также при интенсивном ее перемешивании. Нерастворимые соединения на поверхности стекла встречаются редко. В случае необходимости для их удаления используют кислотную и щелочную обработку.

Разработан технологический процесс, который содержит комплекс операций, обеспечивающих достаточно высокую степень очистки стеклянных плат низковольтных катодолуминесцентных и жидкокристаллических индикаторов:

- очистку от механических загрязнений в водном растворе поверхностно активного вещества "Прогресс" при одновременном воздействии ультразвука. На этой операции происходит также эмульгирование и предварительное удаление жировых загрязнений;

- химическое финишное обезжиривание в перекисно-аммиачной среде при температуре  $60 \pm 10^\circ\text{C}$ ;

- удаление солевых растворимых соединений в горячей деионизованной воде;

- центрифугирование и сушка пластин в нагретом обеспыленном воздухе.

В процессе очистки стеклянных плат механическое воздействие кавитаций обеспечивает практически полное удаление механических загрязнений. Обезжиривание гарантируется последовательным выполнением двух различающихся по принципу действия операций, эмульгирования и "мокрого сжигания". Проведение всего очистительного цикла в водных средах делает процесс безопасным в пожарном отношении.

Для осуществления комплекса операций в условиях крупносерийного производства разработан восьмипозиционный полуавтомат карусельного типа. Его кинематическая схема обеспечивает поворот и опускание карусели с кассетами, а также вращение кассет на каждой позиции во время обработки. Реле времени позволяет изменять ритм работы в пределах 3—10 мин. Регулировка расхода технологических сред обеспечивается изменением расхода воздуха, подаваемого в баки с жидкостями, и контролируется ротаметрами. Нагрев воздуха в камере сушки осуществляется ИК лампами, напряжение которых регулируется посредством изменения угла запаздывания по фазе между напряжением анодного питания тиратрона и напряжением на его управляющем электроде. Правильность поддержания режимов выполнения всех операций контролируется блокировочными устройствами и сигнальными лампами. Ручная загрузка и выгрузка кассет производится на полуавтомате одним оператором.

Автоматизированное последовательное выполнение операций в едином технологическом цикле позволяет проводить обработку в потоках технологических сред. Это особенно важно для использования перекисно-аммиачной смеси, которая имеет

небольшой срок годности [8], особенно в присутствии ионов тяжелых металлов [4].

Эксплуатация полуавтомата в массовом производстве низковольтных катодолуминесцентных и жидкокристаллических индикаторов позволяет высокоэффективно проводить очистку стеклянных пластин при обеспечении стабильного выхода годных изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. — М.: Химия, 1979, — 570 с.

2. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. — М.: Химия, 1967, — 380 с.

3. Mittal K.L. Surface contamination: an overview, † in surface contamination: its genesis detection and control. — Ed. by K.L.Mittal. — Plenum Press, New York, 1979, vol. 1, p. 3—46.

4. Fekula R.G., Flood W.G., Rehrig D.L. De-composition of hydrogen peroxide cleaning solutions by selectively plated leadframes and its implications with respect to circuit yield, in surface contamination: its genesis, detection and control. — Ed. by K.L.Mittal. — Plenum Press, New York, 1979, vol. 1, p. 149—164.

5. Кунц Д.Е., Томас К.О., Крафт В.Т., Эмрон И. Получение ультрачистых деталей электронных ламп химическим травлением. В кн.: Очистка деталей электронных приборов/ Под ред. Б.Д.Луфт, А.Л.Шустиной. М. — Л.: Энергия, 1964, с. 135—143.

6. Обзоры по электронной технике: Очистка поверхности полупроводниковых пластин в производстве интегральных схем/Л.Ф.Ронская, Е.А.Бродянский, В.Д.Скубрияев. — М.: 1971. — Вып. 3. Сер.3. Микроэлектроника.

7. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. — М.: Энергия, 1967, с. 34—38.

8. Kern W., Puotinen D. Cleaning solutions based on hydrogen peroxide for use in silicon semiconductor technology. — RCA Review, 1970, N 31(2), p. 187.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 539.216.2:532.783

А.В.Аношкин, В.П.Севостьянов,  
В.Я.Филиппченко

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ КОСОНАПЫЛЕННЫМИ ПЛЕНКАМИ МОНООКСИ ГЕРМАНИЯ

Использование для ориентации жидких кристаллов тонких косонапыленных пленок  $\text{GeO}$  обеспечивает угол наклона директора жидких кристаллов, оптимальный для получения высоких электрооптических параметров индикаторов.

Физической основой жидкокристаллических твист-индикаторов (ЖКИ) является оптический эффект вращения плоскости поляризации света в гомогенно ориентированном слое жидкого кристалла с закрученным на  $90^\circ$  директором [1, 2]. Гомогенная ориентация достигается соответствующей обработкой подложек. От величины угла

между директором и плоскостью подложки зависят основные электрооптические параметры прибора — контрастность, угол обзора, времена реакции, релаксации и т.д. [3, 4]. Наиболее оптимальной во многих отношениях является ориентация жидких кристаллов, получаемая направленным механическим натиранием подложки [5], однако этот способ пока несовместим с технологией приборов, где герметизация пакета осуществляется стеклотриттой при температуре 470–500°C. В этом случае для ориентации жидких кристаллов используются главным образом тонкие пленки неорганических веществ, нанесенные на подложки вакуумным испарением под малыми углами, так называемое косое напыление [6].

В настоящей работе экспериментально изучены особенности применения для ориентации жидких кристаллов косонапыленных пленок монооксида германия GeO [7].

Для напыления пленок использовалась вакуумная установка УВН-71-П4 с барабанным размещением кассет. Испарение гранулированной монооксида германия осуществлялось из длинной молибденовой лодочки при температуре 800–850°C в вакууме не хуже  $6,65 \cdot 10^{-7}$ – $1,33 \cdot 10^{-8}$  Па. Угол между плоскостью молекулярного потока и плоскостью подложки составлял 5–8°. Скорость конденсации пленок при этих условиях (в расчете на среднюю толщину  $d$ ) равнялась  $(2-3) \cdot 10^9$  мкм/с, толщина  $d = 0,3 \div 0,4$  мкм. Поверхностная структура ориентированных пленок изучалась на просвечивающем электронном микроскопе типа УЭМВ-100К с помощью оттененных углеродных реплик. Фазовый состав анализировался электронографически и на оже-спектрометре типа 00-ИОС. Исследование ориентирующих свойств пленок проводилось методами оптической поляризационной микроскопии. Угол между директором жидкого кристалла и плоскостью подложки (угол преднаклона  $\theta$ ) определялся по интерференционным коноскопическим изображениям в сходящемся пучке поляризованного света.

Как следует из микрофотографий реплик (рис. 1, а и б), поверхностный рельеф косонапыленных пленок GeO образуется наклонными колоннами, имеющими несимметричную форму. Колонны наклонены в сторону источника молекулярного потока и распределяются по поверхности хаотично, не объединяясь в какие-либо ориентированные образования. Судя по морфологической идентичности пленок на различных областях подложки, покрытых токопроводящим слоем  $\text{In}_2\text{O}_3$  или представляющих собой просто поверхность стекла (см. рис. 1, а), можно сделать вывод, что процесс роста пленок GeO слабо зависит от химического и структурного состояния подложки и не нуждается в специальных предориентирующих слоях.

Структурные параметры пленок, имеющие практическое значение (угол наклона колонн  $\phi$ , высота

$h$ , период  $a$ ), могут быть определены путем анализа микрофотографий (рис. 1, а и б) [8]. Для пленок GeO, напыленных в указанных выше условиях, типичными являются следующие значения:  $\phi \approx 20-25^\circ$ ,  $h \approx 0,1-0,15$  мкм,  $a \approx 0,3-0,35$  мкм. Таким образом, морфологическая анизотропия косонапыленных пленок GeO заключается в однородном наклоне колонн в одну сторону.

Оптические исследования показали, что пленки способствуют ориентации молекул жидких кристаллов, при которой директор наклонен в ту же сторону, что и колонны. Величина угла преднаклона директора  $\theta$  коррелирует с углом наклона колонн  $\phi$  и всегда превышает его, хотя для различных жидких кристаллов  $\theta$  имеет неодинаковое значение. Так, при комнатной температуре для цианобифенилов  $\theta$  больше  $\phi$  на 2–3°, для азоксибензолов — на 8–10°.

Азимутальное направление директора (относительно какого-либо края подложки) оценивалось по теневым изображениям от посторонних частиц на подложке. Исследования показали, что угол между продольными осями теней (которые определяют направления проекции директора в плоскости подложки) в данном случае составляет 60°, что связано, по-видимому, с неравномерностью молекулярного потока GeO по длине испарителя. В нормальной твист-структуре этот угол должен составлять 90° и любые отклонения угла закру-

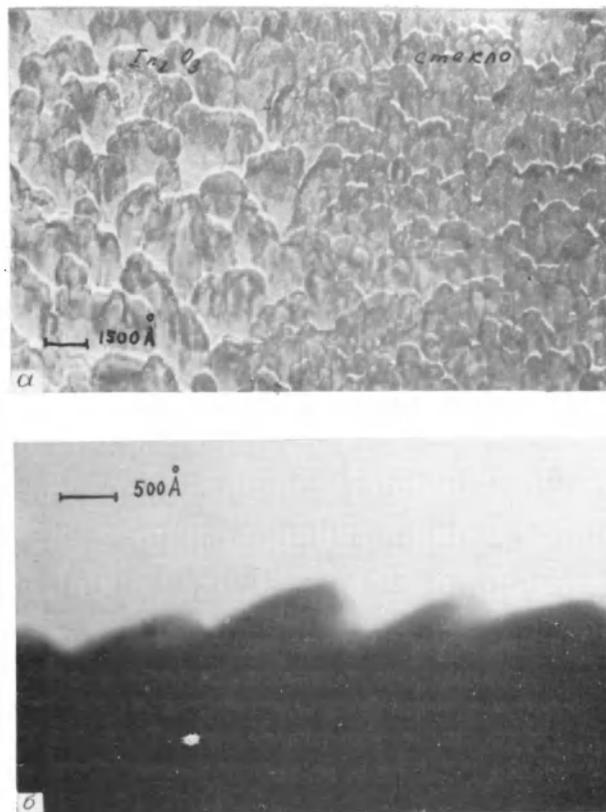


Рис. 1. Электрономикроскопическое изображение поверхности косонапыленных пленок GeO: а — плоскость реплики ( $\times 60000$ ), б — торец реплики ( $\times 250000$ )

чивания жидкого кристалла от этой величины приводят к снижению контрастности прибора, а также к появлению на поле индикатора дефектов ориентации, обусловленных явлением обратного наклона молекул [9].

Термический отжиг пленок GeO при температуре 490–500°C приводит к принципиальному изменению их ориентирующих свойств. Направление проекции директора жидкого кристалла в плоскости подложки меняется на 90° и становится перпендикулярным оси молекулярного потока, угол преднаклона уменьшается практически до нуля. Этот эффект может привести к локальному нарушению однородности ориентации и снижению процента выхода годных приборов, так как герметизация пакета стеклофриттой осуществляется при температуре 480–490°C. Области с измененной ориентацией директора в параллельных поляроидах представляют собой светлые пятна на темном поле индикатора и ограничены линиями дисклинации (рис. 2).

Электронная микрофотография участка ориентирующей пленки GeO, на котором изменялась в результате термообработки ориентация директора жидкого кристалла, представлена на рис. 3. На

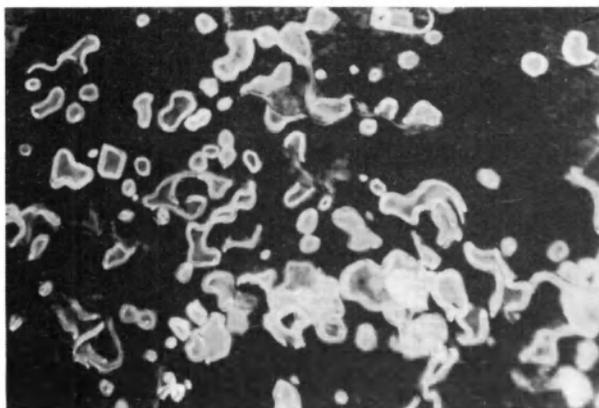


Рис. 2. Фотография участка индикатора в поляризованном свете с локальными неоднородностями ориентации ( $\times 100$ )

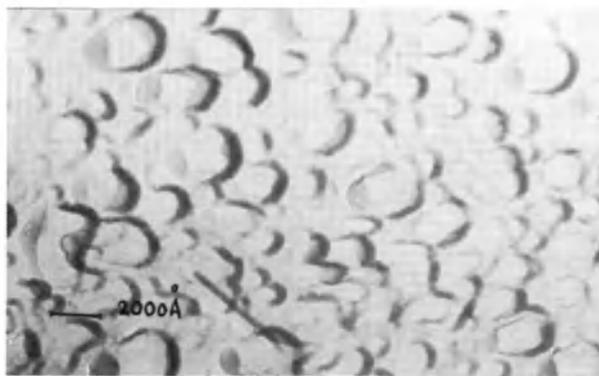


Рис. 3. Электронномикроскопическое изображение поверхности пленки GeO после термообработки ( $\times 55000$ )

микрофотографии видно, что изменения молекулярной ориентации связаны с морфологической перестройкой поверхности, которая при отжиге существенно сглаживается. Плотность упаковки колонн уменьшается, и происходит их срастание в относительно длинные цепочки.

Физико-химический анализ процессов, протекающих в косонапыленных пленках GeO при термической обработке, позволил выявить причину морфологических изменений.

Анализ оже-спектров ориентирующих пленок GeO в сравнении со спектром скола монокристаллического Ge показал, что в результате отжига при температуре 500°C в поверхностном слое пленок заметно возрастает содержание свободного Ge. Электронографические исследования свидетельствовали о появлении в пленках, кроме Ge, аморфной двуокиси германия GeO<sub>2</sub>  $\alpha$ -модификации. Наблюдаемые фазовые изменения, являющиеся следствием отжига пленок, обусловлены, скорее всего, диспропорционированием GeO с образованием Ge и  $\alpha$ -GeO<sub>2</sub> [10]. Поскольку косонапыленная пленка GeO представляет собой существенно неравновесную систему с повышенной свободной энергией, то в случае диспропорционирования при термической обработке свободная энергия пленки должна уменьшаться. Этот процесс сопровождается уменьшением площади поверхности пленки, что и приводит к сглаживанию рельефа. Аналогичное влияние может оказывать и процесс гидратации образующейся гексагональной GeO<sub>2</sub>. Последняя, как известно, легко растворима в воде [10]. Эта особенность пленок GeO должна учитываться при разработке технологических процессов, предусматривающих высокотемпературный отжиг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М.: Мир, 1980
2. Блинов Л.М. Электр- и магнитооптика жидких кристаллов. — М.: Наука, 1978.
3. Baur G., Windscheid F., Berreman D.W. — Appl. Phys.; 1975, N 8, p. 101.
4. Berreman D.W. Nonemissive Electrooptic Display, Eds. Kmetz A.R. and F.K. von Wilsen (Plenum, New York, 1975), p. 9.
5. Shimomura T., Mada H., Kobayashi S. — Japan. J. Appl. Phys., 1976, N15, p. 1479.
6. Toriyama K., Ishibashi T., Kohyama M., Takemoto. — SAE Techn., PaP. Ser., 1980, N800536, p.99.
7. Ianning I.L. — Appl. Phys. Lett., 1972, v.21, p.173.
8. Пат. (США) 4128314. Liquid-Crystal Indicator V. Sevostyanov, V. Astakhov, V. Usachev.
9. Rouns F.P. — Rev. de Phys. Appl., 1975, N10, p. 117.
10. Тананав И.В., Шпирт М.Я. Химия германия. — М.: Химия, 1967.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.315.592—492.2:532.783

Н.В.Воскресенская, И.В.Соболев,  
Н.М.Суханов, Д.Л.Федорова, А.И.Хохлов

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СФЕРОИДИЗИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ПРИ СБОРКЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

При сборке жидкокристаллических индикаторов целесообразно использовать в качестве распорных элементов или наполнителя в герметизирующем составе прозрачные сфероидизированные порошки корунда и боросиликатных стекол.

При сборке жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) одной из ответственных операций, от которой зависят их характеристики, является соединение опорных стеклянных пластин с сохранением постоянства зазора между ними по всей площади ячейки. Для получения фиксированного равномерного зазора можно использовать прокладки и проволоки постоянного диаметра, а также дискретные распорные элементы (калиброванные строго по размерам) [1]. Применение прокладок усложняет операцию сборки ЖКИ и в целом снижает производительность технологического процесса. Поэтому в последнее время наиболее часто зазор между стеклянными пластинами фиксируют с помощью калиброванных зерен. Их используют как наполнитель в герметизирующем контактоле при соединении пластин [2, 3] или наносят на нижнюю пластину по всему ее полю [1]. При нанесении на пластину особенно важно, чтобы материал распорных элементов был инертен по отношению к жидкокристаллическому материалу. В связи с этим после сборки ячейки ЖКИ с помощью металлических (например, никелевых) или графитовых зерен; последние удаляют, хлорируя ячейку или выдерживая ее в атмосфере кислорода при температуре 400–500°C [1].

Однако такая стабилизация зазора между пластинами в ячейке ЖКИ занимает много времени, технологически трудно осуществима и может сопровождаться короблением пластин.

Исследовалось применение в качестве материала для распорных элементов окиси алюминия и стекла (см. рисунок). Распорные элементы наносились на

поверхность нижней опорной пластины поверх ориентирующего слоя пульверизатором в виде частиц, диспергированных в этиловом ректификованном спирте. Концентрацию твердого вещества в суспензии подбирали опытным путем, исходя из того, что распорные элементы должны располагаться на пластине монослоем с расстоянием между соседними частицами не менее десяти условных диаметров.

Эксперименты показали, что стеклянные цилиндры, получаемые истиранием стекловолокна в течение 2 ч в агатовой ступке, неравномерно распределяются как в струе, истекающей из сопла пульверизатора, так и по рабочему полю пластины.

При концентрации распорных элементов около 0,7 шт/мм<sup>2</sup> расчетное удельное давление при скреплении опорных пластин составляет 250–280 МПа. Гранулы окиси алюминия, полученные гидрометаллургическим способом, характеризуются низкой прочностью, и поэтому растрескиваются. При растрескивании такой гранулы образуются выколы и царапины, которые ухудшают ориентацию молекул ЖК. Таким образом, с помощью гранул окиси алюминия, зазор в ячейке ЖКИ не стабилизируется.

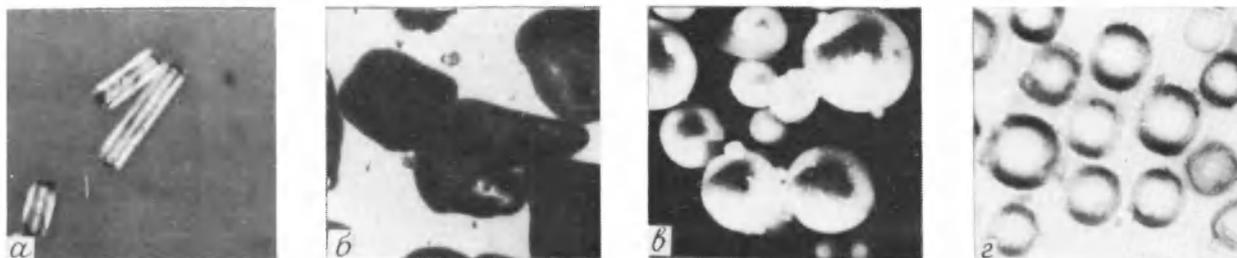
Наиболее хорошие показатели по стабильности зазора получены в случае использования в качестве распорных элементов плазменных сфероидов корунда, полученных в результате обработки порошка электрокорунда в плазменном высокочастотном разряде. Такие частицы абсолютно прозрачны и отличаются высокой прочностью (удельное давление не менее 300 МПа), так как представляют собой совершенные монокристаллические зерна [4].

Определение величины зазора ячейки осуществлялось двухлучевым спектрофотометром — сканированием в видимой области спектра по интерференционной картине, образующейся в результате двухлучевой интерференции в ячейке. Величину зазора  $t$  можно вычислить по формуле [5]

$$t = \frac{10^4}{2 \Delta \nu} \text{ мкм,}$$

где  $\Delta \nu$  — расстояние между соседними максимумами или минимумами, см<sup>-1</sup>.

Величина абсолютной погрешности метода, определенная с помощью дифференцирования данного



Микрофотографии стеклянных цилиндров (а), гранул окиси алюминия (б), плазменных сфероидов корунда (г) и боросиликатного стекла (z)

выражения по  $\Delta v$ , равна  $\pm 10\%$ , что вполне удовлетворительно для технологических исследований.

Основным недостатком использования плазменных сфероидов корунда при сборке ЖКИ является неоднородный гранулометрический состав порошков (см. таблицу).

Фракция порошка, мкм	Содержание фракции, %	
	ЭБМ-5	ЭКН-14
менее 3	31,5	30,99
3-7	48,3	13,66
7-10	11,0	9,42
10-14	5,5	22,67
14-20	2,1	20,40
20-21	—	0,09
21-22	0,3	0,59
более 22	1,3	2,18

Из таблицы видно, что снижение содержания фракции, превышающей по размеру задаваемую величину зазора, возможно подбором гранулометрического состава исходной шихты. Для обеспечения зазора до 7 мкм необходимо пользоваться порошком ЭБМ-5, для зазора 10—14 мкм — порошком ЭКН-14.

Окончательную сепарацию зерен крупнее номинала проводят отмучиванием в деионизованной воде с добавлением силиката натрия или додецилсульфоната натрия.

Высокая стабильность величины зазора наблюдалась при дополнительном введении плазменных распорных элементов в герметизирующий склеивающий состав. В этом случае к гранулометрическому составу порошка предъявлялись более жесткие требования: были введены дополнительные ограничения по содержанию тонкой фракции размером менее 2 мкм.

При повышенном содержании тонкой фракции наблюдалось сильное загустевание герметика, в данном случае поливинилбутираля, и налипание тонких частиц на рабочие распорные элементы, что приводило к кажущемуся увеличению их размера. Поэтому, несмотря на значительную величину удельного давления при склеивании пластин, толщина клеевого шва значительно превышала заданную величину, достигая 13—15 мкм и более.

В связи с этим порошок, используемый в качестве наполнителя в герметизирующем составе, подвергался повторному отмучиванию для отделения тонкой фракции.

Аналогичные результаты по стабилизации зазора между опорными пластинами были получены при использовании в качестве распорных элементов плазменных сфероидов боросиликатных стекол. Отличительной особенностью этих порошков является их повышенная хрупкость в связи с остаточными напряжениями в гранулах после плазменной перезакалки. Частицы упрочнялись специальным отжигом с трехчасовой выдержкой материала при температуре  $650^\circ\text{C}$  и медленном охлаждении в селитровой печи. Предельное удельное давление таких

частиц не превышает 220—240 МПа, т.е. несколько ниже, чем у плазменных корундовых сфероидов. Поэтому увеличение их концентрации в 1,3 раза в спиртовой суспензии при пульверизации не ухудшило характеристик ЖКИ. В связи с более низкой плотностью порошка, его отмучивание от балластных фракций проводилось более эффективно без добавок электролитов и поверхностно активных веществ. Таким образом, экспериментальные исследования показали, что при сборке ЖКИ целесообразно использовать плазменные сфероидизированные порошки корунда и боросиликатных стекол. Оптимизация гранулометрического состава исходной шихты при плазменной сфероидизации и дополнительная гидроклассификация порошков позволяют обеспечивать высокую стабильность величины зазора в ячейке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Индикаторные устройства на жидких кристаллах. Под ред. З.Ю.Готры. — М.: Советское радио, 1980, с. 186—199.
2. Патент 53-10462 (Япония).
3. Патент 2010802 (Великобритания).
4. Активированное спекание порошкообразных материалов/ К.Г.Марин, Н.М.Суханов, В.К.Любимов и др. — Электронная техника. Сер. Материалы, 1977, вып. 2, с. 98.
5. Розенберг Г.В. Оптика тонкослойных покрытий. — М.: Физматгиз, 1958. — 124 с.

Статья поступила 18 декабря 1981 г.

УДК 621.793.1.06

А.В.Аношкин, В.Ф.Смоляков, Г.С.Шофман

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО НАПЫЛИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Модернизация напылительного оборудования типа УВН-73П2 и УВН-71П4 позволила в шесть — восемь раз повысить его производительность за один цикл при изготовлении анодных плат монодисплеев.

Одним из важнейших узлов вакуумного катодолюминесцентного многоэлектродного индикатора (монодисплея) является анодная стеклянная плата с однослойной тонкопленочной металлической разводкой и диэлектрическим слоем, закрывающим эту разводку. Проводящие дорожки должны выполнять функции коммутации элементов структуры рисунка с минимальными электрическими потерями.

Диэлектрический слой должен удовлетворять требованиям нанесения люминофора на элементы

рисунка методом катафореза, обеспечения стока статических зарядов, маскирования разводки для вспомогательной коммутации, а также позволять проводить процесс фотолитографии.

К проводящему слою предъявляются следующие требования: наличие минимального электрического сопротивления, возможность надежного соединения с элементами арматуры прибора с помощью ультразвуковой сварки или токопроводящих клеящих составов, возможность легко получить рисунок (топологию) с помощью процессов фотолитографии, стойкость к температурным воздействиям при герметизации и термической обработке прибора, сходство со стеклотекстурными и подложкой по КТР, а также инертность к стеклотекстурным и люминофору. Кроме того, покрытие должно выполняться из недефицитного и недорогого материала.

Из всех материалов, обычно применяемых для коммутационных слоев, наиболее подходящим является алюминий с подслоем ванадия [1]. Экспериментально определена оптимальная толщина слоя ванадия — алюминия, равная 0,6–0,8 мкм для рамочных и 0,8–1,2 мкм для безрамочных конструкций монодисплеев. В качестве диэлектрика применяется монооксид германия толщиной 3–5 мкм.

В производстве ГИС и ИС для нанесения на подложки тонких металлических и диэлектрических пленок используются серийно выпускаемые установки вакуумного напыления УВН-73П2, УВН-71П4, УВН-75П1, УВН-74П5, УВН-74П1. Площадь наносимого покрытия за один цикл на этом оборудовании составляет 0,2–0,4 м<sup>2</sup>. Такая производительность вполне отвечает требованиям производства ИС, но не удовлетворяет требованиям крупносерийного производства монодисплеев, так как единственный модуль дисплея в десятки раз больше по площади единичного модуля ГИС, и тем более ИС.

Основными методами повышения производительности технологического оборудования явля-

ются параллельно-последовательное агрегатирование и применение многопозиционных машин [2]. Так, в машинах, принадлежащих к классу роторных (использующих вращающиеся в процессе обработки карусели и барабаны), с целью повышения их производительности (за цикл и фактической) применяют бироторную схему, которая позволяет более эффективно использовать рабочее пространство за счет размещения в нем большего числа обрабатываемых заготовок.

Анализ конструктивного исполнения и рабочего цикла установок вакуумного напыления УВН-73П2, УВН-71П4 показал, что рабочее пространство их вакуумной камеры используется при напылении плат монодисплеев недостаточно эффективно (рис. 1, а). Так, при длине камеры 500 мм длина барабана, на котором размещаются напыляемые заготовки, составляет всего 200 мм. Кроме того, большая часть пространства внутри барабана не использовалась, так как заготовки размещались по периферии барабана. Испарители расположены практически по оси вакуумной камеры и барабана, а лампы для нагрева заготовок — снаружи барабана (рис. 2, а). Таким образом, пространство между барабаном и стенками камеры использовалось также неполностью. Фактически внутреннее пространство камеры эффективно использовалось примерно на 20%.

Анализ показал, что наиболее эффективной является бироторная схема машины (рис. 2, б), в которой вместо одного барабана на вал привода установки напыления была посажена карусель, снабженная отверстиями, в которых закреплены 13 шпинделей. Для вращения шпинделей вокруг своей оси на переднюю крышку камеры соосно с каруселью установлено неподвижное, электрически изолированное центральное зубчатое колесо. На шпинделях закреплены шестерни, которые находятся в зацеплении с центральным колесом и при вращении карусели обкатываются по нему и приводят во вращение шпиндели-рогоры. Эта система при-

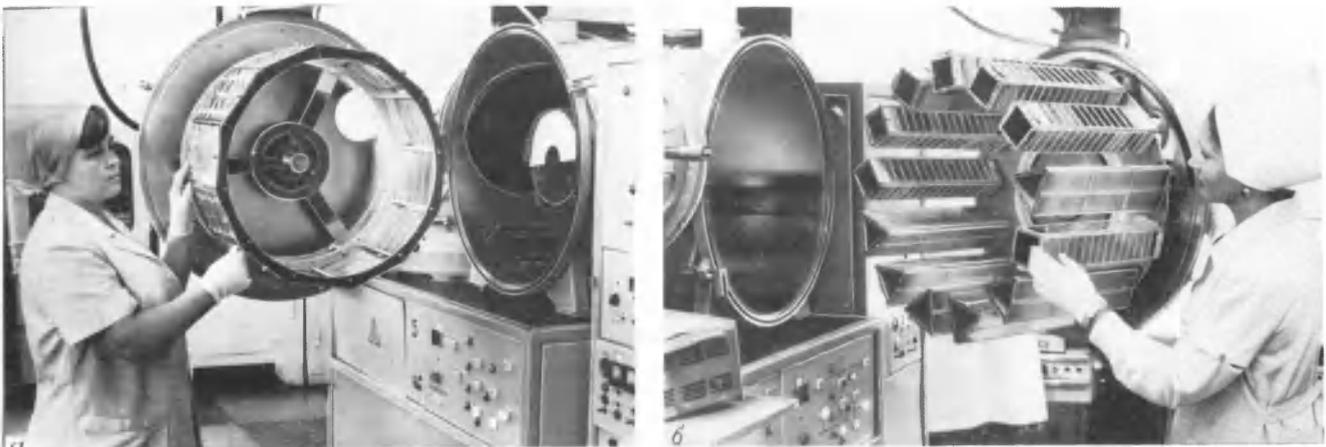


Рис. 1. Установка УВН-73П4 до модернизации (а) и после модернизации (б)

вода наиболее проста и надежна. В качестве материала для карусели выбран алюминиевый сплав Д16Т. Это сделано с целью облегчения карусели, уменьшения ее инерционности и динамических нагрузок.

Для электроизоляции карусели от вала привода крепление ее производится через изоляционные втулки, выполненные из асботекстолита. На шпиндели устанавливаются быстросъемные барабаны, на которых крепятся кассеты из нержавеющей стали с обрабатываемыми стеклянными пластинами. Барабаны представляют собой пустотелые призмы с многоугольниками в основании, на гранях которых крепятся кассеты. Такое расположение обрабатываемых заготовок позволило увеличить загрузку установки в четыре-восемь раз (в зависимости от размера заготовок).

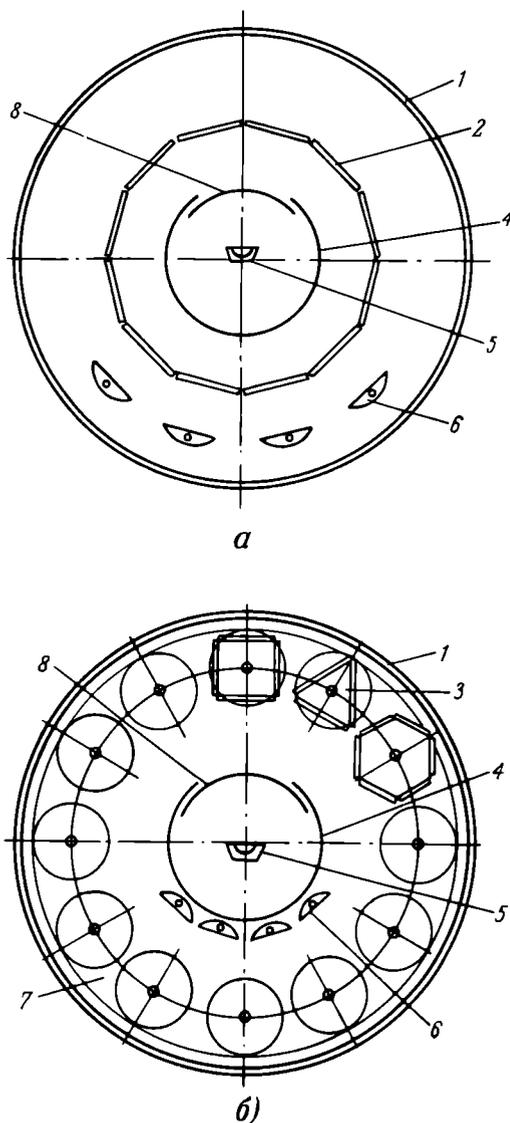


Рис. 2. Схема расположения конструктивных элементов в камере установки до модернизации (а) и после модернизации (б): 1 — камера; 2 — барабан с кассетами; 3 — ротор-носитель с кассетами; 4 — экран; 5 — испаритель; 6 — лампа-нагреватель; 7 — карусель; 8 — заслонка

Числа зубьев колес определены из условий обеспечения однородности напыляемого слоя. Увеличение количества одновременно обрабатываемых пластин в цикле потребовало дополнительной установки в камере еще одного испарителя для алюминия, а также изменение расположения испарителей, размещения их параллельно образующей камеры; потребовалась установка дополнительного токоввода, перенос лампы накаливания ближе к центру камеры и поворот их на  $180^\circ$ . Переконструированы были также экраны и заслонка (рис. 1, б).

Для данной установки производительность для машин параллельно-последовательного агрегатирования может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{\Phi} = \frac{pq}{T+t_e},$$

где  $p$  — число одновременно обрабатываемых изделий, размещенных на одном роторе,  $q$  — число шпинделей-роторов;  $T = t_p + t_x$  — период рабочего цикла машины ( $t_p$  — время собственно обработки;  $t_x$  — время холостых и вспомогательных ходов и операций в цикле — цикловые потери);  $t_e$  — время внецикловых потерь, приходящееся на один цикл работы машины, которое зависит от сложности машины, числа позиций и их надежности, а также от надежности элементов (привода, испарителей, вакуумной системы и электрической схемы), организации обслуживания и ремонта.

Эксплуатация модернизированных по вышеописанной схеме установок УВН-73П2 показала вполне надежную их работу. Мощность привода обеспечивает вращение увеличенной массы карусели и роторов. Средняя наработка на отказ превышает требуемую ( $> 200$  ч), а среднее время устранения неполадок значительно меньше одной смены.

Для напыления диэлектрического слоя на платы монодисплеев осуществлена модернизация установки УВН-71П4, которая отличается от вышеописанной тем, что шпиндели-роторы поворачиваются за один оборот карусели на четверть оборота с помощью мальтийских крестов, которые своими пазами входят в зацепление с неподвижным пальцем. Установка содержит двенадцать роторов. Скорость карусели снижена с 30 до 3 об/мин.

Разработан базовый технологический процесс напыления для крупносерийного производства анодных плат монодисплеев на модернизированном оборудовании УВН-73П1, УВН-73П2, УВН-74П3, УВН-71П4.

Нанесение токопроводящих и диэлектрических слоев на стеклянную подложку методом вакуумного испарения имеет ряд особенностей, которые учтены при разработке крупносерийной технологии и модернизации оборудования для производства анодных плат монодисплеев.

Качество пленки ванадий-алюминий существенно зависит от скорости испарения материала.

Оптимальная скорость нанесения алюминия должна составлять несколько микрометров в минуту. При меньших скоростях испарения алюминия пленки получают обогащенными окисью, рыхлые, с грязно-серым легко стирающимся налетом. К таким пленкам трудно приваривать с помощью ультразвука элементы арматуры. Пленки имеют большое переходное сопротивление при внешнем контактировании.

Давление в камере вакуумной установки не должно превышать  $1 \cdot 10^{-2}$  Па при напылении алюминия и  $(1-7) \cdot 10^{-3}$  Па при напылении ванадия. Адгезия свеженанесенных пленок ванадия-алюминия при нормированной очистке поверхности улучшается при более глубоком разрежении.

При нанесении структуры ванадий-алюминий оптимальная температура стеклянной подложки должна поддерживаться в диапазоне  $70-120^\circ\text{C}$ . Толщина пленки варьируется в зависимости от типа прибора. Отклонение толщины пленки от номинала для подложки размером  $100 \times 400$  мм составляет  $\pm 15\%$ .

Повышение температуры до  $200^\circ\text{C}$  не дает существенного улучшения качества покрытия, но значительно увеличивает длительность цикла оборудования периодического действия.

Напыление монооксида германия не вызывает особых трудностей. В производстве монодисплеев можно успешно применять материал любых фракций (даже куски монооксида, снятые с кристаллизатора). Оптимальная температура подложки составляет  $170-210^\circ\text{C}$ . На пленках, полученных при более высоких температурах, затруднены процессы фотолитографии. Разброс толщины пленки монооксида германия от номинала составляет  $\pm 20\%$ . С помощью подбора "мягкого" режима испарения или применения испарителя с лабиринтом можно избежать в пленке наличия пробоев и включений золы.

Разработанный технологический процесс на модернизированном оборудовании позволяет воспроизводимо получать крупные партии анодных плат монодисплеев (1-2 тыс. за цикл), что способствует внедрению методов групповой технологии на последующих операциях. Трудоемкость изготовления заготовок анодных плат разных типов снижена в четыре - шесть раз.

Технологический процесс является базовым и может быть распространен на производство любых анодных плат монодисплеев, шкал и матриц с размерами плат не более  $100 \times 400$  мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология тонких пленок. Справочник, т. 1: Пер. с англ./Под ред. Л. Мейсселя, Р. Гленча. - М.: Советское радио, 1977. - 664 с.
2. Шаумян Г.А., Кузнецов М.М., Волкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. - М.: Высшая школа, 1967. - 368 с.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 776.004

И.И.Гуткин, Е.Н.Давыдова, Е.К.Могилева,  
К.И.Перешивайлов, Б.М.Спирин,  
Г.С.Шофман

## ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В ПРОИЗВОДСТВЕ ВАКУУМНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Разработанная линия фотолитографии для производства стеклянных плат вакуумных люминесцентных индикаторов позволяет снизить трудоемкость их изготовления в два раза.

Характерной особенностью вакуумных катодолюминесцентных индикаторов является наличие стеклянных плат, на которых формируется информационный рисунок. Платы изготавливаются методом фотолитографии. Однако форма стеклянных плат и напыляемые на них пленки вносят существенные отличия в этот процесс по сравнению с фотолитографическими процессами, используемыми в производстве изделий микроэлектроники и печатных плат [1-3].

Технологический процесс производства стеклянных плат должен прежде всего обеспечить крупносерийное производство индикаторов. Это возможно при условии использования групповых методов обработки на всех операциях, включая совмещение и экспонирование. Поскольку требования к точности совмещения здесь значительно ниже, чем в микроэлектронике, стало возможным создание высокопроизводительного процесса.

Разработан технологический процесс, предусматривающий получение рисунка металлизации (первая фотолитография, рис.1) и вскрытие сег-

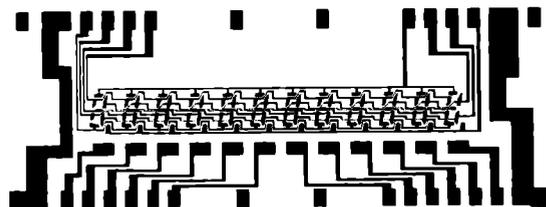


Рис.1. Токопроводящая разводка для прибора ИВЛ2-8/12



Рис.2. Изображение изоляционного слоя прибора ИВЛ2-8/12

ментов в слое диэлектрика (вторая фотолитография, рис.2):

### ПЕРВАЯ ФОТОЛИТОГРАФИЯ

Нанесение фоторезиста ФП-383.

Первая сушка фотослоя.

Экспонирование.

Проявление (1%-ный раствор тринатрийфосфага).

Вторая сушка фотослоя.

Травление слоя ванадия-алюминия (кислота ортофосфорная — 75 об.ч; кислота азотная — 3 об.ч; кислота уксусная — 15 об.ч; вода — 5 об.ч).

Удаление фотослоя (диметилформамид).

### ВТОРАЯ ФОТОЛИТОГРАФИЯ

Операции, аналогичные первой фотолитографии.

Травление монооксида германия (кислота соляная — 3 об.ч; вода — 1 об.ч; перекись водорода — 150 мл; кислота щавелевая — 30 г; вода — 850 мл).

В качестве проводящего слоя используется в основном структура ванадий-алюминий, а изоляционного — монооксид германия. Для формирования защитного рельефа применен фоторезист ФП-383, широко используемый в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Известно, что при нанесении фоторезиста на подложки некруглой формы особенно трудно избавиться от валика [4, 5], представляющего собой утолщение фотослоя по краю платы в результате взаимодействия сил поверхностного натяжения и центробежной силы. В процессе разработки технологии была решена проблема получения покрытий методом центрифугирования практически без валика на подложках прямоугольной формы. Подложка платы помещалась в углубление так, чтобы ее рабочая поверхность совпадала с верхней плоскостью столика. Боковой зазор между платой и

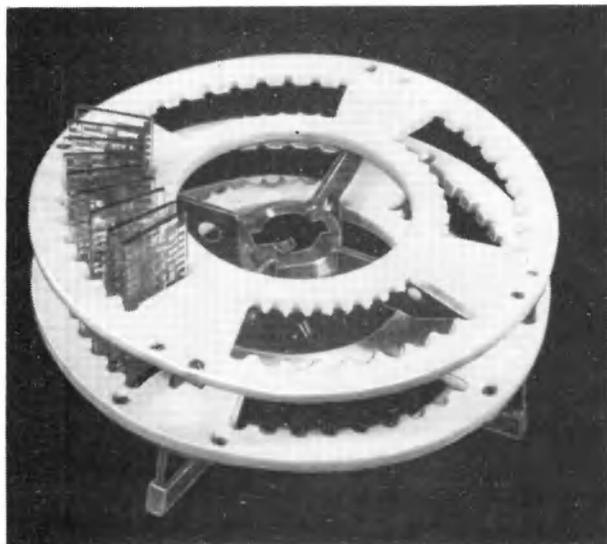


Рис.3. Кассета для групповой обработки

столиком должен быть минимальным. При таком способе фиксации плат фоторезистивное покрытие на них при центрифугировании получается достаточно равномерным по всей поверхности.

Разработана двухпозиционная установка экспонирования (с двумя экранами, имеющими рабочее поле 140×185 мм каждый) с использованием совмещающихся групповых фотошаблонов. Это обеспечивает возможность одновременной засветки до 12 плат размером 24×65 мм (засветка плат производится снизу).

Фотошаблоны имеют металлизацию на основе хрома и окислов железа. Фиксация плат обеспечивается с помощью металлических упоров, приклеенных к трем реперным знакам на фотошаблоны, которые устанавливаются в экранах для экспонирования под углом 45° к горизонтали. Точность совмещения обеспечивается в результате касания упоров двумя базовыми гранями плат под действием собственного веса.

Разработаны кассеты (рис.3) для одновременной обработки от 20 до 60 плат (в зависимости от размеров).

Поскольку травление слоя ванадий-алюминий в смеси кислот протекало с выделением пузырьков газа, что приводило к недотравливанию металла, было применено барботирование воздухом травителя и его подогрев без стабилизации условий травления. Это позволило исключить брак по коротким замыканиям и увеличить скорость травления примерно в десять раз.

Травление монооксида германия проводится последовательно в растворе соляной кислоты, затем в водном растворе перекиси водорода и щавелевой кислоты с промежуточной промывкой в воде. Использование указанных травителей позволило не проводить высокотемпературную сушку фотослоя перед травлением, что в свою очередь упростило процесс снятия фоторезиста.

Фоторезист может быть удален в диметилформамиде или путем УФ облучения с последующим растворением в слабощелочном растворе. Возможно также удаление фотослоя плазмохимическим способом на установке "Плазма-600".

В настоящее время изготовлена линия фотолитографической обработки плат монодисплеев, в состав которой входят две установки нанесения фоторезиста, две установки сушки фотослоя, три установки экспонирования, установка проявления, установка травления, четыре установки контроля.

#### Техническая характеристика линии для фотолитографической обработки плат

Производительность (платы наиболее массового прибора ИВЛ2-8/12), млн.шт./год	2,5
Размеры обрабатываемых плат, мм:	
толщина	0,8—3,0
длина и ширина минимальные	50 × 15
длина и ширина максимальные	170 × 50

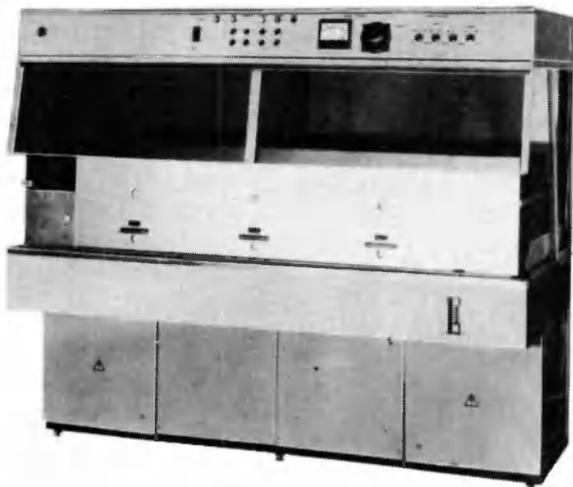
Габаритные размеры, мм ..... 21450×2000×1700  
 Обслуживающий персонал, чел. .... 13  
 Транспортирование плат с установки нанесения фоторезиста до установки экспонирования ..... автоматическое

**Установка нанесения фоторезиста** имеет два рабочих места, каждое из которых оснащено двумя центрифугами. На каждую центрифугу укладываются две платы. Фоторезист наносится на пластины с помощью дозатора автоматически.



Производительность (размер плат 65×24), шт/ч ..... 400  
 Скорость центрифугирования, об/мин  
 первая ..... 50–600  
 вторая ..... 600–4000  
 Время центрифугирования с дискретностью 1 с  
 в режиме первой скорости ..... 1–10  
 в режиме второй скорости ..... 1–60  
 Габаритные размеры, мм ..... 2000×900×1700

**Установка сушки фотослоя** имеет три зоны нагрева, через которые осуществляется с помощью транспортной ленты продвижение лотков с пластинами. Сушка проводится ИК излучением. Режим работы – непрерывный.



Производительность (размер плат 65×24 мм), шт/ч ..... 900  
 Рабочая температура, °С ..... 50–200  
 Точность поддержания температуры сушки

в зонах нагрева, °С ..... ±5  
 Время сушки регулируемое, мин ..... 7,5–15  
 Ширина транспортной ленты, мм ..... 300  
 Габаритные размеры установки, мм ..... 2000×900×1700

**Установка экспонирования**



Производительность (размер плат 65×24 мм), шт/ч ..... 250  
 Диаметр светового экрана, мм ..... 400  
 Освещенность, лк ..... 40 000–60 000  
 Неравномерность освещенности по экрану экспонирования, % ..... ±3  
 Диапазон регулирования времени экспонирования, с ..... 5–60  
 Габаритные размеры, мм ..... 1500×900×1700

В состав установки проявления входят ванна обработки плат в проявляющем растворе, две ванны для промывки плат в воде и центрифуга для сушки. Предусмотрено устройство для барботирования рабочих растворов.



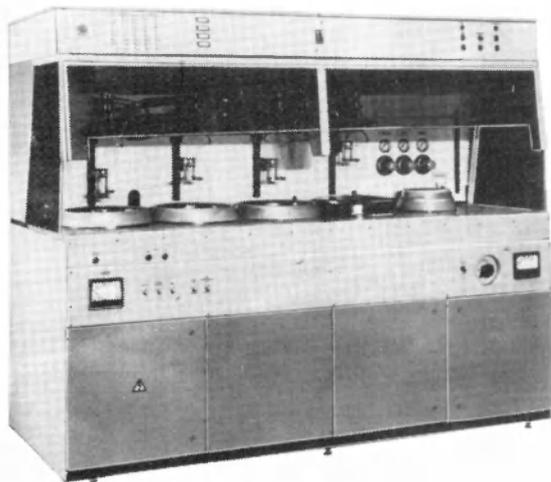
Производительность (размер плат 65×24 мм), шт/ч ..... 900  
 Емкость кассет, шт ..... 100  
 Диапазон регулирования времени обработки плат, с ..... 1–250  
 Габаритные размеры, мм ..... 2000×900×1700

Ванна для проявления емкостью 12 л выполнена с двойными стенками, между которыми циркулирует подогретая вода для поддержания температуры проявителя  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Ванны для промывки устроены по каскадному типу (вода из ванны для окончательной промывки подается в ванну для предварительной промывки, а затем в слив).

Сушка проводится центрифугированием со скоростью, регулируемой в пределах 400–800 об/мин.

Установка травления имеет конструкцию, аналогичную установке проявления. Температура травителя поддерживается автоматически при значении  $55 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Ванна травления выполнена из титана. Производительность установки (размер плат  $65 \times 24$  мм) – 900 шт/ч.



Установка контроля позволяет автоматически определять обрыв и короткое замыкание между элементами схемы рисунка и проводить визуальный контроль при пятикратном увеличении.



Производительность (размер плат  $65 \times 24$  мм), шт /ч ..... 150  
Габаритные размеры, мм .....  $1500 \times 900 \times 1700$

При выполнении фотолитографического процесса на разработанной линии предполагается снижение трудоемкости изготовления плат не менее чем в два раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пресс Ф.П. Фотолитографические методы в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М: Советское радио, 1978. – 96 с.
2. Введение в фотолитографию/Ю.С.Боков, В.С. Корсаков, В.П.Ларишев и др. – М: Энергия, 1977. – 400 с.
3. ОСТЧ ГО.054.058 ред.1–72, 1973. Платы печатные. Типовые технологические процессы.
4. Мазель Е.З., Пресс Ф.П. Планарная технология кремниевых приборов. – М: Энергия, 1974. – 384 с.
5. Ануфриенко В.В., Кутко П.С., Перемышев В.И. Растекание раствора фоторезиста при центрифугировании на подложках некруглой формы. – Электронная техника, Сер.7. Технология, организация производства и оборудование, 1972, вып.3, с.64–69.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.793.74

Г.В.Бобров, Н.А.Богачкин, Ю.Н.Змиевской,  
В.М.Таран, Г.С.Шофман

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫХ ПРИБОРОВ

Разработанная технология предусматривает совмещение в одной камере установки операционной очистки поверхности подложки, плазменно-дугового напыления с одновременной активацией подложки импульсным дуговым разрядом, термообработку или пайку в плазме сильного тлеющего разряда.

В процессе сборки вакуумно-люминесцентных индикаторов в плоском корпусе необходимо обеспечить надежный низкоомный электрический контакт металлических деталей внутренней арматуры (сеток, держателей катода, выводных рамок) с алюминиевой тонкопленочной разводкой толщиной  $0,8\text{--}1,2$  мкм, наносимой на стеклянную плату методом вакуумного напыления.

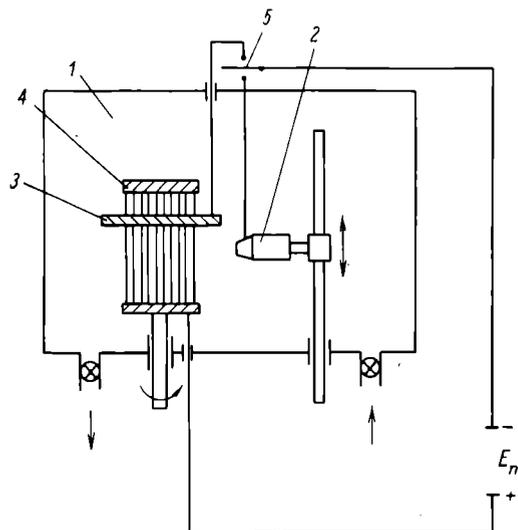
В настоящее время для этой цели используются два способа контактирования: приклеивание деталей электропроводящим никель-фосфатным цементом (практически этот метод применяется только для приклеивания сеток к элементам разводки) и сварка с использованием соединителей из алюминиевой фольги (этот способ наиболее универсален). Приварка алюминиевого соединителя к тонкой пленке производится при помощи ультразвука, а к металлической детали – при помощи

контактной сварки. Для обеспечения надежного контактного соединения на конец соединителя методом плазменного дугового напыления наносится слой никеля. Причем перед напылением проводится механическая зачистка алюминиевой фольги.

Поскольку процесс зачистки фольги осуществляется не в одном технологическом цикле с напылением, то это создает ряд трудностей, а также приводит к осыпанию никелевого покрытия при ручной зачистке. Преодолеть эти недостатки позволяет технология, в которой предусмотрена предварительная обработка поверхности алюминиевой фольги в газовом разряде непосредственно перед напылением в одном цикле.

Известно, что очистка поверхности детали в газовом разряде происходит либо за счет катодного распыления, либо за счет плазмохимического взаимодействия среды с поверхностными загрязнениями. В обоих случаях используется аномальный тлеющий разряд. Переход этой формы разряда в дуговой — явление нежелательное, так как это приводит к микроповреждениям поверхности и увеличению ее шероховатости. Однако оно допустимо в том случае, когда за очисткой следует плазменное дуговое напыление, требующее для увеличения адгезии предварительной обработки, увеличивающей шероховатость (дробеструйная обработка, очистка металлическими щетками). Опыт показывает, что при обработке подложки импульсным дуговым разрядом адгезия напыленного никелевого покрытия к подложке увеличивается практически в два раза, что исключает его осыпание.

В установке, конструкция которой приведена на рисунке, характер газового разряда в вакуумной камере определяется типом и значением дав-



Принципиальная схема установки плазменно-дуговой очистки алюминиевой фольги и напыления на нее порошка никеля: 1 — вакуумная камера; 2 — плазмотрон; 3 — дополнительный электрод; 4 — оправка с полосками алюминиевой фольги; 5 — переключатель режима работы

ления рабочего газа, а также внешней характеристикой источника питания. Во время процесса очистки, которая происходит в импульсном дуговом разряде, дополнительный электрод перемещается вдоль обрабатываемого изделия. После очистки этот электрод убирается из зоны обработки, в вакуумной камере создается необходимое для плазменного дугового напыления давление газа, зажигается дуговой разряд плазмотрона и проводится напыление никеля на фольгу. Поскольку одновременно с включением плазмотрона между соплом и обрабатываемым изделием прикладывается напряжение источника питания, то наряду с напылением продолжается и обработка подложки импульсным дуговым разрядом. После напыления покрытия отрицательный потенциал источника вновь переключается на дополнительный электрод, в камере устанавливается давление, при котором производится отжиг изделия в тлеющем разряде. Таким образом, операции предварительной подготовки поверхности подложки, плазменно-дугового напыления и последующего отжига совмещены в общей камере. Оптимальные режимы обработки фольги по такой совмещенной технологии найдены опытным путем и приведены в таблице. Для реализации указанных режимов разработана установка И4.083.0038, которая дает возможность проводить обработку изделий из фольги и тонкой проволоки.

Режимы обработки поверхности алюминиевого соединителя в индикаторных приборах

Режим	Операции			
	обработка импульсным дуговым разрядом перед напылением	плазменно-дуговое напыление	обработка импульсным дуговым разрядом в процессе напыления	отжиг в тлеющем разряде
Ток разряда, А	0,3	400	0,5	0,3–1
Напряжение разряда, В	30–40	28–30	30–40	250–300
Длительность импульса, с	0,02	—	0,1	—
Длительность паузы, с	0,02	—	0,1	—
Давление газа, кПа	4	9,3	9,3	4
Дистанция напыления, мм	—	210	—	—
Скорость плазмотрона, мм/мин	—	500	—	—

#### ЛИТЕРАТУРА

- Х а с у й А. Техника напыления. Пер. с япон. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с.
- К у д и н о в В.В. Плазменные покрытия. — М.: Наука, 1977. — 184 с.
- К а п ц о в Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. — М.: Гостехиздат, 1950. — 836 с.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.383.832.002:541.14

**Г.М.Белевич, В.Н.Грачев, И.И.Гуткин,  
Н.А.Кудряшова, Н.И.Мельникова,  
Г.А.Шапкин**

## **ФОТОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ВАКУУМНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ**

**В крупносерийное производство вакуумных люминесцентных индикаторов внедрены технологические процессы и комплекты оборудования для изготовления прецизионных мелкоструктурных сеток из тонколистового проката планшетным и рулонно-планшетным способами.**

Конструкция вакуумных люминесцентных индикаторов предусматривает использование ряда металлических деталей (держателей катодов, выводов, рамок, мелкоструктурных сеток), материалом которых являются в основном железоникелевые сплавы. Детали некоторых форм и геометрических размеров не могут быть получены обычными механическими способами обработки. В связи с этим возникла необходимость освоения новых методов их изготовления. Известно, что для деталей из тонколистового или ленточного материала наиболее приемлемым является фотохимический метод обработки, который целесообразно применять при разработке новых приборов и в мелкосерийном производстве, в то время как в условиях массового производства экономически более выгодным является механический способ обработки деталей. Например, в настоящее время держатели катодов ИВЛ1-8-17, ИВЛ1-8-13, ИВ-28Б, рамки ИВ-28Б, выводы ИВЛ2-8/12 и ряд других деталей изготавливаются штамповкой.

Фотохимический метод изготовления деталей включает в себя получение рисунка в слое фоторезиста на поверхности металлической заготовки фотохимическим способом и последующее избирательное химическое травление незащищенных участков [1]. Его основой служит базовый технологический процесс [2].

Обработка поверхности перед нанесением резиста проводится в органических растворителях или нагретых щелочных растворах. Применение органических растворителей для очистки поверхности дает хорошие результаты. Однако при этом затруднена утилизация отходов производства.

Фоторезист можно наносить центрифугированием или погружением. Метод погружения имеет значительные преимущества, поскольку позволяет осуществлять одновременное покрытие заготовки с двух сторон и последующую сушку, а также в несколько раз сократить технологические потери дорогостоящего фоторезиста. Экспонирование фото-

резиста выполняется двухсторонней контактной фотопечатью с применением совмещенных пленочных конвертов [3]. В зависимости от типа применяемого фоторезиста проявление рисунка может проводиться в органических растворителях или в слабощелочных водных растворах.

Наиболее ответственной и сложной операцией является химическое травление, которое должно обеспечивать целостность защитной пленки фоторезиста, равномерность стравливания по всему полю заготовки и ровный край. Для этого травление должно проводиться в режиме полировки при оптимальной скорости травления. Кроме составов, рекомендованных базовым технологическим процессом в мелкосерийном производстве деталей из сплавов 47НХР и 42Н для травления применяется раствор хлорного железа в смеси азотной и соляной кислот.

В настоящее время технология фотохимической обработки (фотохимического фрезерования) характеризуется быстрым развитием планшетного [4] и рулонного способов изготовления деталей.

Создан комплект универсального планшетного оборудования [5], в состав которого входят: блок электрохимической обработки 08ЧЭН, блок химической очистки 08ЧХН, установка нанесения фоторезиста 08ФН300, установка экспонирования УЭ-1, установка травления 08ХОТ300. Оборудование позволяет проводить обработку плоских заготовок в виде планшетов с максимальными размерами 250 × 300 × 2,5 мм.

Для выполнения операций подготовки поверхности заготовок, проявления и удаления фоторезиста используются два унифицированных блока.

Блок электрохимической обработки 08ЧЭН (рис. 1) предназначен для химического и электрохимического обезжиривания заготовок. Он может использоваться также для удаления фоторезиста в нагретых растворах химическим и электрохимическим способами.



Рис. 1. Блок электрохимической обработки 08ЧЭН

Блок химической очистки 08ЧХН (рис. 2) может использоваться для травления поверхности заготовок, проявления фоторезиста и удаления его без нагрева растворов.

Для нанесения фоторезиста применяется установка 08ФН300 (рис. 3), в которой скорость подъема заготовки из ванны с фоторезистом регулируется в пределах 20–500 мм/мин. Толщина фоторезиста может составлять более 0,5 мкм и иметь разброс  $\pm 10\%$  по полю заготовки.



Рис. 2. Блок химической очистки 08ЧХН



Рис. 3. Установка нанесения фоторезиста 08ФН300

Установка экспонирования УЭ-1 (рис. 4) предназначена для одно- или двухстороннего экспонирования с применением пленочных фотошаблонов. В качестве источника света применяются люминесцентные ультрафиолетовые лампы трубчатого типа с максимумом излучения в диапазоне длин волн 330–400 нм.

Установка травления 08ХОТ300 (рис. 5) применяется для выполнения в едином цикле операций травления, промывки и сушки. Установка имеет ручное и автоматическое управление. В основе автоматического управления лежит фотоэлектрический метод определения окончания процесса травления.

В производстве металлических деталей индикаторов наиболее сложным является получение мелкоструктурной сетки. Существует несколько методов изготовления такой сетки: методы навив-

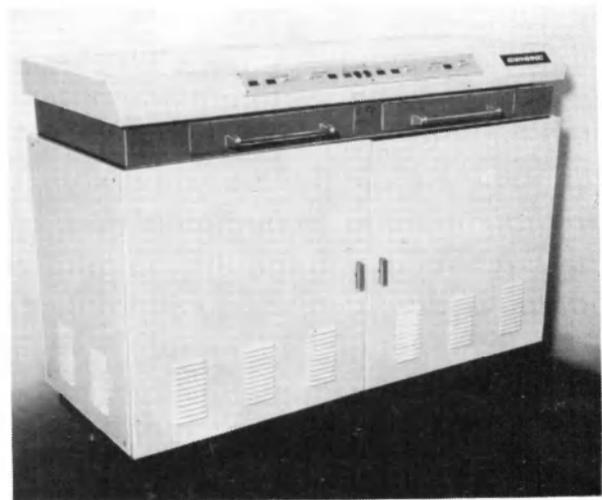


Рис. 4. Установка экспонирования УЭ-1

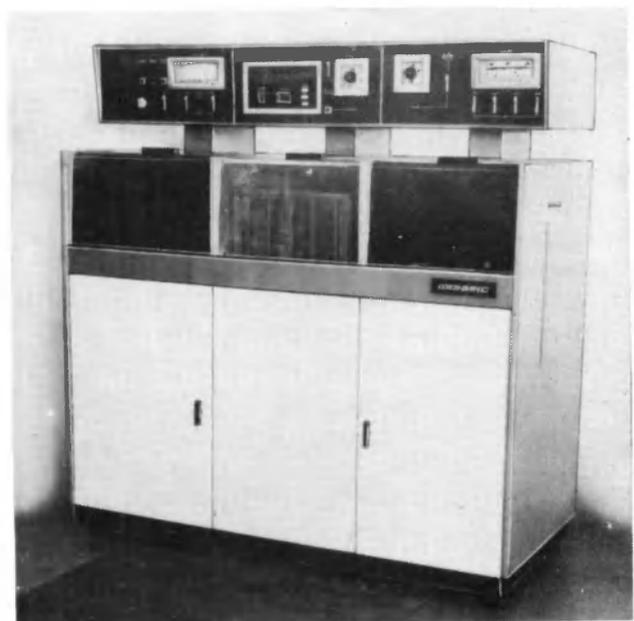


Рис. 5. Установка травления 08ХОТ300

ки [6—9], гальванического осаждения [10] и фотохимический [11].

Метод навивки применялся на ранней стадии изготовления индикаторов для получения сетки из вольфрамовой проволоки диаметром 18 мкм с квадратной ячейкой и размером перемычки 50 мкм. Для этого метода характерны низкая производительность, отсутствие возможности получения блоков сеток и сеток с различной формой ячеек, необходимость применения несущих рамок и дефицитной вольфрамовой проволоки, а также индивидуальная сборка в приборе.

Метод гальванического осаждения имеет большую трудоемкость и стоимость при невысокой тиражестойкости инструмента (матрицы), ограниченную номенклатуру металлов, которые можно осадить гальванически. Этим методом нельзя получить сетки с высокой прозрачностью при достаточной ее толщине и механической прочности.

С целью совершенствования конструкции приборов потребовалось создать сетку с сотовой структурой ячейки и размером перемычки не более 30 мкм, которая по сравнению с витой сеткой обеспечивает более равномерное распределение электронного потока по поверхности анодной платы, высокую прозрачность, меньший потребляемый сеточный ток и, следовательно, большую яркость и равномерность свечения приборов. Изготовить такую сетку можно при использовании фотохимического способа обработки, применяющегося для производства прецизионных деталей. Этот высокопроизводительный метод позволяет применять любые металлы и сплавы (в частности, железоникелевый прокат), проводить групповую обработку. Возможно изготовление блоков сеток и сеток с любой формой ячеек, отличающихся высокой прозрачностью при достаточной толщине и механической прочности, а также создание безрамочной конструкции. Применяемый инструмент (фотошаблон) имеет невысокую стоимость и большую тиражестойкость.

С учетом этих особенностей был разработан технологический процесс изготовления фотохимическим методом обработки прецизионных сеток из сплава 42НА-ВИ. Для серийного и массового выпуска деталей использован комплект универсального планшетного оборудования. Фотохимический метод обработки с использованием планшетного оборудования в производстве сеток имеет следующие преимущества:

- возможность отбраковки некачественных участков ленты при ее разрезе на планшеты, а также межоперационного контроля по всему процессу с оперативной коррекцией режимов обработки;

- возможность применения разных типов фоторезистов, в том числе позитивного, критичного к механическим воздействиям, но имеющего ряд преимуществ перед негативным фоторезистом ФН-11 (высокое разрешение, возможность применения вод-

ных щелочных растворов для его проявления и удаления);

- снижение в 8 раз расхода фоторезиста по сравнению с центрифугированием благодаря нанесению фоторезиста погружением;

- увеличение производительности и повышение выхода годных сеток благодаря автоматизации контроля и управления на операции травления.

К недостаткам метода следует отнести неудобство работы с заготовками из тонколистового проката (особенно при большом их размере); необходимость применения на операциях подготовки заготовок, нанесения, проявления и удаления фоторезиста специальной оснастки для фиксирования положения заготовки в плоскости; повышенную трудоемкость, связанную с периодическим характером обработки отдельных заготовок и их транспортировкой с одной операции на другую; влияние субъективного фактора оператора на качество, выход годных изделий и производительность труда.

В связи с этим была разработана более перспективная рулонно-планшетная технология и комплект оборудования для изготовления сеток из вышеуказанного сплава толщиной 0,05 мм и шириной 100 мм [12]. Линия для производства таких сеток состоит из рулонных установок травления и химической обработки 08ХОТ0.007, подготовки и нанесения фоторезиста 08ФН, экспонирования 09ФСК, проявления 08ФП и планшетных установок травления 08ХОТ300, блоков электрохимической обработки 08ЧЭН и химической очистки 08ЧХН, приведенных выше.

Установка травления и химической обработки 08ХОТ0.007 (рис. 6) предназначена для обезжиривания поверхности металлической ленты с целью снятия антикоррозионной смазки в растворе на

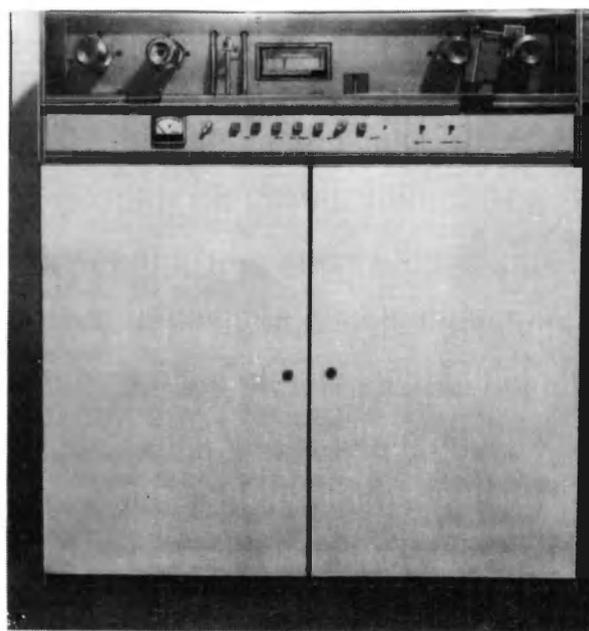


Рис. 6. Установка травления и химической обработки 08ХОТ0.007

основе едкого натрия, тринатрийфосфата и углекислого натрия при температуре 80–90°С, промывки горячей и холодной водопроводной водой, финишной промывки и последующей сушки острой струей воздуха и ИК лампами.

Установка нанесения фоторезиста 08ФН (рис. 7) позволяет проводить дополнительную (при необходимости) обработку ленты в кислом растворе с промывкой и сушкой, а также двухстороннее нанесение фоторезиста методом погружения с последующей сушкой нанесенного покрытия при температуре 70–130°С. В процессе обезжиривания и нанесения фоторезиста проводится перемотка ленты с заданной постоянной скоростью (в диапазоне 100–300 мм/мин), достаточной для очистки ленты и получения слоя фоторезиста толщиной 2,0–3,5 мкм (при вязкости фоторезиста ФН-11 в пределах 7–9 сСт).

Установка 09ФСК (рис. 8) предназначена для выполнения операции экспонирования и позволяет получить в защитном слое двухсторонний рисунок мелкоструктурных сеток в виде отдельных кадров длиной 120 мм или непрерывных лент с автоматическим совмещением экспонируемых полей по двум взаимно перпендикулярным осям и углу поворота с точностью +0,15 мм [13]. Для обеспечения точного совмещения экспонируемых отрезков в установке применен принципиально новый лентопротяжный механизм. Перемотка ленты производится в шаговом режиме, цикл которого определяется временем экспонирования.

Установка 08ФП (рис. 9) предназначена для проявления фоторезистивного защитного рисунка. В ней лента с постоянной скоростью проходит через ванну, которая состоит из двух секций, заполненных проявителем (уайт-спиритом), причем вторая сек-

ция каждый раз заполняется свежим проявителем. Чтобы исключить загрязнение сточных вод нефтепродуктами, промывка отсутствует, а остатки проявителя с ленты удаляются с помощью двухстороннего воздушного "ножа" с узкой плоской щелью. Термообработка фоторезиста проводится при помощи ИК-ламп в зоне с регулируемой температурой. С целью исключения механических повреждений фоторезистивного слоя при перемотке ленты с одной бобины на другую на рулонном оборудовании предусмотрена подмотка и смотка прокладочного материала, в качестве которого целесообразнее всего использовать полиэтиленерефталатную пленку толщиной 0,02 мм.



Рис. 8. Установка экспонирования 09ФСК



Рис. 7. Установка подготовки и нанесения фоторезиста 08ФН



Рис. 9. Установка проявления 08ФП

Установка травления 08ХОТ300 и блок электрохимической обработки 084ЭН используются для травления сеток в планшетах в перекисном травителе и удаления фоторезистивного слоя. Удаление фоторезистивного слоя осуществляется электролитически на катоде в щелочном растворе при температуре 40—45°C.

Все установки комплекта планшетного и рулонно-планшетного оборудования могут быть размещены в пылезащитных камерах типа "Лада".

Рассмотренные технологические процессы и комплекты оборудования внедрены в крупносерийное производство вакуумных люминесцентных индикаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Москвин Л.Н., Ошарин В.И. Фотохимическое фрезерование. — М.: Машиностроение, 1978, 94 с.
2. ОСТ 11.054.146-75. Изделия электронной техники. Химическое фрезерование. Технологический процесс.
3. ОСТ 11.054.225-77. Изделия электронной техники. Фотошаблоны пленочные для химического фрезерования. Технологический процесс.
4. Комплект оборудования для химического фрезерования. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1976, вып. 6, с. 123—125.
5. Универсальное планшетное оборудование для фотохимической обработки/Г.А. Шапкин, Г.М. Белевич, В.А. Вишняков и др. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1980, вып. 2, с. 72—78.
6. Пат. 3303859 (США). Метод изготовления сеток электронных ламп.
7. Пат. 20321 (Япония). Способ изготовления сетки для электронной лампы.
8. Пат. 8792 (Япония). Метод навивки сеток.
9. Пат. 1436429 (Великобритания). Сетчатый катод для электронных ламп.
10. Пат. 3237253 (США). Метод изготовления электролитических сеток.
11. Новодворский Ю.Б. Фотохимический метод изготовления сеток и плоских деталей электровакуумных приборов. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1972, вып. 1, с. 19—23.
12. Кудряшова Н.А., Белевич Г.М., Александров Э.А., Кудрявцева Т.А., Шапошникова И.М. Изготовление сеток катодолюминесцентных индикаторов фотохимическим методом. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1980, вып. 2, с. 86—93.
13. Соколов А.В., Белевич Г.М., Шикина К.И., Неробков В.П. Особенности фотохимической обработки тонколистовых рулонных материалов. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1980, вып. 2, с. 79—85.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.385.032.21.002.5

С.Н.Калюта, В.Ф.Смоляков, А.И.Стриковский,  
Р.И.Федукина, Ф.С.Фельдман

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЯМОКАНАЛЬНЫХ ОКСИДНЫХ КАТОДОВ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ВАКУУМНЫХ ИНДИКАТОРОВ

К прямоканальным оксидным катодам низковольтных вакуумных люминесцентных индикаторов предъявляются требования высокой стабильности эмиссионных свойств, большой долговечности, достаточной механической прочности и экономичности с точки зрения потребления энергии. Для обеспечения равномерной яркости свечения всех сегментов многоразрядных индикаторов они должны иметь высокую равномерность эмиссии электронов по всей длине катода (до 250 мм).

С целью выполнения этих требований в качестве зерна катода применяется весьма тонкая вольфрамовая нить (проволока диаметром 7—10 мкм), на которую наносится карбонатное покрытие толщиной 4—6 мкм с точностью  $\pm 1,5$  мкм. При этом поверхность карбонатного покрытия должна быть прочной, гладкой, без сколов и наплывов. Для получения тонких оксидных покрытий используются составы пониженной электропроводности на основе мелкозернистых карбонатов марок КТА1—5 и КТА1—6. В качестве связующего вещества (биндера) в карбонатных суспензиях применяют низковязкий суспензионный полиметилметакрилат.

Для изготовления таких катодов (длиной более 170 мм) создано оборудование периодического и непрерывного действия.

Автомат изготовления прямоканальных армированных оксидных катодов И4.017.0032. Автомат (рис. 1) циклического действия предназначен для изготовления прямоканальных армированных оксидных катодов длиной 54—170 мм. Карбонатное покрытие наносится методом катафореза на неподвижную нить.

Автомат снабжен источником стабилизированного электрического напряжения, устройством для подсушки покрытия с плавно регулируемой температурой, устройством для автоматической коррекции вязкости технологических сред.

Кинематическая производительность (в зависимости от длины и диаметра зерна катода), шт/ч	400—1800
Геометрические параметры изготавливаемых катодов:	
Диаметр зерна катода, мм	0,01—0,05
Длина покрываемого участка, мм	35—140
Суммарная длина армированных концов, мм	13—33
Диапазон времени катафорезирования, с	0,5—1,2
Интервал уставок времени, с	0,5
Диапазон регулирования температуры сушки карбонатного покрытия, °С	80—120

Параметры источника стабилизированного электрического напряжения:

Напряжение (плавно регулируемое), В ..... 4-100  
 Максимальный ток, мА ..... не менее 15  
 Габаритные размеры, мм ..... 2000x650 x1800



Рис. 1. Автомат изготовления прямонакальных армированных оксидных катодов И4.017.0032

Установка оксидирования прямонакальных катодов ОЛ-02.10. Установка (рис. 2) непрерыв-

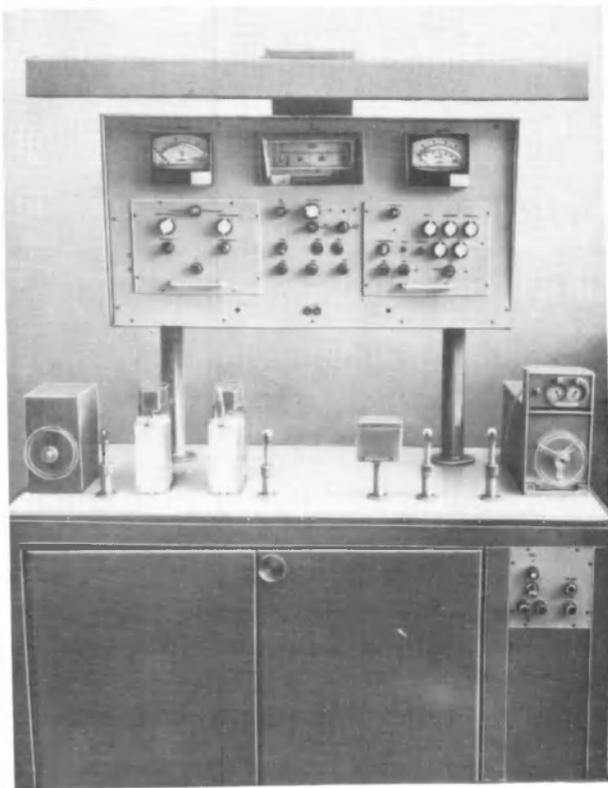


Рис. 2. Установка оксидирования прямонакальных катодов ОЛ-02.10

ного действия предназначена для нанесения методом катафореза карбонатного покрытия на движущуюся нить с помощью щелевого анода, что позволяет получить качественное равномерное покрытие. Режим катафореза регулируется по току. Смоточный механизм установки снабжен электродинамическим тормозом, позволяющим регулировать величину натяжения нити. Установка снабжена стабилизированным источником электрического питания.

Кинематическая производительность, м/мин ..... 2,7  
 Диаметр керна катода, мм ..... 0,007-0,05  
 Диапазон регулирования температуры печи для сушки покрытия, °С ..... 50-100  
 Габаритные размеры, мм ..... 1100x625x1620  
 Масса, кг ..... 150

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.315.592.2—033.2

Б.В.Абалдуев, Л.Е.Алавердин,  
 Т.Ю.Бахарева, С.В.Карюк,  
 Л.А.Купшарева, Л.Б.Чувиллина

## ВАКУУМНЫЕ ФОСФАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Вакуумные фосфатные цементы благодаря высоким термомеханическим и электрофизическим свойствам обеспечивают изготовление индикаторов с хорошими светотехническими и электрическими параметрами, устойчивых к механическим и климатическим воздействиям.

Соединение деталей при производстве приемно-усилительных ламп осуществляется, как правило, с помощью контактной сварки. В некоторых случаях, например, для крепления витков рамочных сеток, применяется приклеивание с помощью алюмофосфатного цемента [1]. Этот материал в настоящее время широко применяется в сложных конструкциях ЭВП [2, 3].

При разработке плоских катодолюминесцентных индикаторов возникла необходимость склеивания металлических деталей и навесной арматуры со стеклянным основанием прибора. При этом необходимо было найти клеевые композиции, которые обладали бы целым комплексом свойств: достаточной тепло- и формоустойчивостью, хорошими адгезионными характеристиками, высокой герметичностью. Этим требованиям и удовлетворяют материалы на основе фосфатных связующих. Они относятся к неорганическим полимерам, имеют до-

статочные высокие термомеханические и электрофизические свойства. Фосфатные связующие образуют высоковязкие растворы, обладают хорошей адгезионной и пленкообразующей способностью, эластичностью, отверждаются при нагреве до 300°C [5]. Материалы на их основе, используемые в качестве клеев, цементов, электро- и теплозащитных покрытий, применяются чаще всего в виде многокомпонентных композиций.

Для крепления на стекле деталей катод люминесцентных индикаторов использовался алюмофосфатный цемент. Этот материал обладает формоустойчивостью при нагревах и способностью отверждаться в широком диапазоне температур, что позволяет монтировать индикаторы с различными конструктивными особенностями.

Достаточно высокая прочность клеевого соединения, полученного с использованием алюмофосфатного цемента, обеспечивает устойчивость приборов к механическим и климатическим воздействиям. Этот цемент не вызывает изменения электрических и светотехнических параметров, если температура оксидного катода индикаторов выше 700–750°C. В приборах с температурой катода ниже 700–750°C, в частности ИВ Л2-8/12, заметно проявляется отрицательное воздействие цемента на эмиссионные характеристики оксидного катода. Кроме того, если цемент наносится близко от люминофора, наблюдается некоторое снижение яркости последнего. Это, по-видимому, обусловлено наличием тонкого налета на стекле вокруг капель цемента, который появляется после прогрева цемента при температуре выше 350°C (рис. 1).

Поэтому возникла необходимость в разработке состава цемента, не имеющего перечисленных недостатков. Наиболее целесообразны с этой точки зрения цементы на основе хромфосфатного связующего – вместо алюмофосфатного, поскольку фосфаты хрома и окись хрома обладают большей инертностью по сравнению с соответствующими соединениями алюминия. Состав наполнителя (смесь порошков алунда, каолина и фосфата

алюминия с соотношением масс 12: 2: 1) для разработанного цемента такой же, как и для алюмофосфатного.

Формоустойчивость и способность отверждаться в широком диапазоне температур у хромфосфатного цемента не хуже, чем у алюмофосфатного, а адгезия к стеклу даже несколько выше.

При нагреве до 500°C хромфосфатный цемент не выделяет веществ, образующих налет на стекле (рис. 2) и оказывает значительно меньшее воздействие на эмиссионные и светотехнические характеристики приборов.

В настоящее время в производстве индикаторов для крепления навесной арматуры из стали 42Н, ковара, сплава 4ТНХР на стекле используется как алюмофосфатный, так и хромфосфатный цементы (табл. 1). Однако, поскольку хромфосфатный цемент позволяет обеспечивать необходимый уровень параметров в более критичных условиях, он предпочтителен.

Для осуществления электрического контакта между навесной арматурой и тонкопленочной разводкой индикатора на стекле применяется промежуточный вывод, выполняемый из алюминиевой пленки с напыленным слоем никеля. Приварка этого вывода производится, как правило, вручную на установках УЗ и контактной точечной сварки.

С целью упрощения технологического процесса контактирования разработаны составы токопроводящих клеев-цементов для соединения навесной арматуры с напыленными контактными площадками. Известные токопроводящие клеи, включающие полимерное органическое связующее и порошки серебра, никеля, графита [6, 7], и электропроводящие клеи на основе хромалюмофосфатного связующего и графита, а также специальный вакуумный цемент, состоящий из алюмофосфатного связующего, графита и электрокорунда [8], обладают рядом недостатков (например, недостаточной теплоустойчивостью или высокими значениями электросопротивления), что не позволяет применять их для целей контактиро-

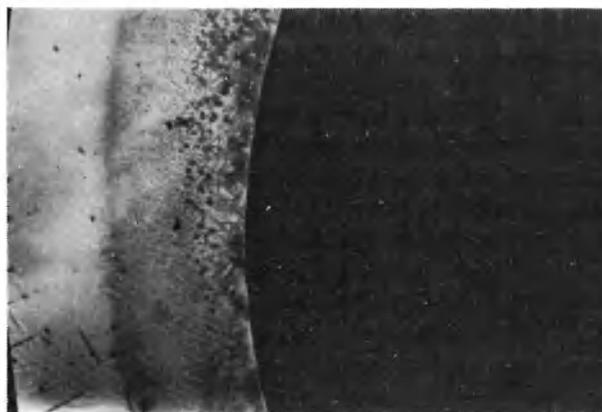


Рис. 1. Алюмофосфатный цемент на стеклянной подложке после прогрева при температуре 350°C в течение 1 ч (50×): а – цемент; б – подложка из стекла; в – налет на стекле



Рис. 2. Хромфосфатный цемент на стеклянной подложке после прогрева при температуре 500°C в течение 1 ч (100×): а – цемент; б – подложка из стекла

вания. Использовать же серебросодержащие клеи или пасты для массового производства нецелесообразно.

Таблица 1  
Основные характеристики цемента

Характеристики цемента	Тип цемента			
	Хромфосфатный	Алюмофосфатный	Никельфосфатный	Медьфосфатный
Назначение	Изоляционный	Изоляционный	Токопроводящий	Токопроводящий
Связующее	Хромфосфатное	Алюмофосфатное	Алюмофосфатное	Алюмофосфатное
Содержание связующего, % по массе	25–30	25–30	30–35	30–35
Наполнитель, соотношение частей	Алунд – 12 каолин – 2 фосфат алюминия – 1	Алунд – 12 каолин – 2 фосфат алюминия – 1	Никель – 9 окись никеля – 1	Медь – 9 окись меди – 1
Содержание наполнителя, % по массе	55–60	55–60	55–60	55–60
Разбавитель (ортофосфорная кислота), %	15–20	15–20	10–15	10–15
Время жизни цемента*, ч	120	24	4	8
Температура отверждения, °С	350–400	350–400	120–400	150
Электрическое сопротивление контакта после отверждения цемента при T = 400°С, Ом	—	—	0,2–2,0	0,2–0,6
Усилие сдвига капли цемента со стекла, кПа	45–60	40–50	10–15	2–5

\* Время сохранения нормальной густоты цемента.

Для контактирования внутри прибора предназначен вакуумный никельфосфатный цемент, для внешнего контактирования — медьфосфатный (см. табл. 1).

Технологический процесс контактирования сеток с помощью токопроводящих цемента предусматривает приклеивание сетки к контактной площадке. Это устраняет необходимость в промежуточном выводе и исключает операции приварки его на установках ультразвуковой и контактной сварки. При этом упрощается и конструкция сетки, убираются флажки на сетках для приварки промежуточного вывода.

В связи с тем, что никельфосфатный цемент готовится на алюмофосфатном связующем, предусматривается защита поверхности капли цемента стеклотекстурой марки СЦ-90-1.

Переход от рамочного варианта конструкции катодолюминесцентных индикаторов к безрамочному потребовал другого способа присоединения внешних выводов к тонкопленочной разводке. Поскольку эти выводы должны обеспечивать не только электрический контакт, но и крепление индикатора

в панели в процессе изготовления и при эксплуатации прибора в аппаратуре, то они изготавливаются в виде жестких металлических гребенок-рамок (для обеспечения жесткости применяется материал толщиной не менее 0,15–0,2 мм). Для присоединения этих выводов к тонкопленочной разводке, которая выполняется напылением алюминия, применение пайки исключено. Более целесообразно использовать в этом случае приклеивание. Причем, токопроводящий цемент должен обеспечивать электросопротивление контакта менее 1 Ом и плотность тока более 25 А/см<sup>2</sup>, а температура отверждения цемента не должна превышать 200°С, так как выводы присоединяются к готовому прибору. Предъявленным требованиям наиболее соответствует медьфосфатный цемент.

Приведенные в работе [9] составы таких цемента содержат в качестве затвердителя концентрированную ортофосфорную кислоту. Это неприемлемо для напыленных пленок алюминия, поскольку они легко стравливаются кислотой. Использование алюмофосфатного связующего в качестве затвердителя в составе цемента (см. табл. 1) обуславливает хорошие электрические характеристики контакта. Однако механическая прочность соединения выводов с основанием прибора недостаточна. Кроме того, медь легко окисляется в условиях повышенной влажности. Все это вызывает необходимость защиты клееного соединения от механических и климатических воздействий. Для этих целей применяется стеклянная планка-накладка и оптический клей ОК-72фт.

Хотя в условиях массового производства рассмотренный способ внешнего контактирования не обеспечивает достаточной влагостойкости (из-за подтравливания пленок алюминия под каплей цемента) и является довольно трудоемким, он успешно применяется в мелкосерийном производстве.

Вышеназванные цементы просты в приготовлении, удобны в работе. Время их жизни достаточно велико. Отверждаются цементы в широком диапазоне температур: от комнатной до 300°С.

Теплоустойчивость алюмо-, хром- и никельфосфатного цемента превышает 450°С (температура, при которой проводится герметизация индикаторов). Эти материалы устойчивы не только в вакууме, но также в окислительной, восстановительной или инертной средах.

Вакуумные фосфатные цементы обеспечивают изготовление индикаторов, отвечающих требованиям технических условий как по уровню светотехнических и электрических параметров, так и по устойчивости приборов к механическим и климатическим воздействиям (табл. 2). В настоящее время они широко применяются в условиях массового производства катодолюминесцентных индикаторов.

Таблица 2

Характеристики индикаторов различных типов с использованием фосфатных цементов

Наименование характеристик	ИВЛ1-8/17	ИВЛ1-8/13	ИВЛ2-8/12	ИВЛМ1-5/7
<b>Конструктивные особенности индикаторов</b>				
Тип изоляционного цемента для крепления катодных держателей	Алюмофосфатный цемент	Алюмофосфатный цемент	Хромфосфатный цемент	Алюмофосфатный цемент
сеток	Алюмофосфатный цемент	Стеклоцемент	Стеклоцемент	Алюмофосфатный цемент
Способ контактирования сеток	Приварка дополнительных выводов	Приварка дополнительных выводов	Никельфосфатный цемент	Приварка дополнительных выводов
внешних выводов	Медьфосфатный цемент			
Защита внешних контактов	Стеклопластиковая накладка; заливка оптическим клеем (ОК-72ФТ)			
<b>Эксплуатационные параметры индикаторов</b>				
Срок службы				
длительность, ч	5000	2500	1000	5000
процент годности	100	100	100	100
Термо- и теплоустойчивость, процент годности	100	100	100	100
Влагоустойчивость				
процент годности	98	95	95-100	100
причина отказа	Медьфосфатный цемент не закрыт оптическим клеем	Подтрав алюминевой пленки под цементом и некачественный стеклоцемент	Отрыв защитной наклейки	
<b>Многokратные включения</b>				
количество циклов	10000	1000	1000	1000
процент годности	100	95	100	100
Вибропрочность, процент годности	100	100	100	100
Ударопрочность				
количество ударов	20000	Испытания не проводились		
процент годности	100			

## ЛИТЕРАТУРА

- Обуховская О.Ф., Хенкина Х.Г., Метлин Г.А. Высокотемпературный вакуумный цемент. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 1, 1962, вып. 8, с. 53—55.
- Астраханцева Н.Ф., Эфрос В.Л. Влияние свойств компонентов алюмофосфатного цемента на его прочность в конструкциях ЭВП. — Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1973, вып. 2, с. 98—103.
- Молчанова Л.Г., Стрижкова Т.А. Применение алюмофосфатного цемента в электровакуумных приборах. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1978, вып. 1, с. 92.
- Базарова Ф.Ф., Колесова Л.С. — Клей в производстве радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Энергия, 1975.
- Копейкин В.А. Фосфатные связующие и материалы на их основе. — ЖВХО им. Менделеева, 1975, т. 20, № 2, с. 179—183.
- Базарова Ф.Ф. Органические и неорганические поли-

меры в конструкциях радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Советское радио, 1974.

7. Гуль В.Е. Электропроводящие полимерные материалы. — М.: Химия, 1969.

8. Мухин В.Е., Попов В.Ф. Вакуумный цемент вместо дорогостоящих припоев. — Электронная промышленность, 1971, вып. 1, с. 107—108.

9. Федоров Н.Ф., Кожевникова Л.В., Лунина Н.М. Токопроводящие фосфатные цементы. Под ред. М.М. Шульца. — В сб.: Неорганические и органосиликатные покрытия. — Л.: Наука, 1975, с. 390—392.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.385.032

В.Е.Колкер, А.Н.Михайлов,  
М.И.Студенцова

## ИЗМЕРЕНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Приведенная методика измерения яркости, определения углов обзора для установления расстояний наблюдения и внешней освещенности обеспечивает уменьшение погрешностей измерения параметров вакуумных индикаторов из-за индивидуального восприятия оператора.

Широкое развитие производства люминесцентных и накаливаемых вакуумных индикаторов выдвинуло ряд метрологических и инженерно-психологических задач по определению связи оценки светотехнических параметров приборов с индивидуальными особенностями восприятия оператора.

Яркость и неравномерность яркости индикаторов измеряют по освещенности фотоэлемента, предварительно откалиброванного по интегральной чувствительности  $S_{\text{инт}}$  мкА/лм, с помощью светоизмерительной лампы с цветовой температурой  $T = 2360$  К (рис. 1).

Особенностью схемы является включение фотоэлемента в компенсационном режиме, обеспечи-

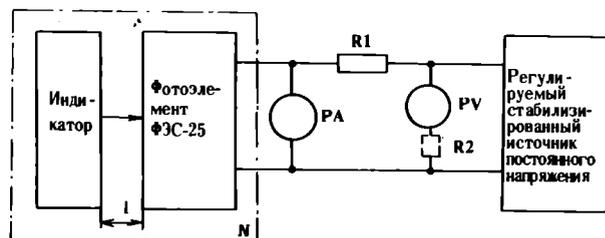


Рис. 1. Структурная схема яркомера:  $l$  — расстояние между поверхностью знака индикатора и светочувствительной поверхностью фотоэлемента;  $N$  — светонепроницаемая камера яркомера;  $PA$  — нуль-индикатор;  $PV$  — вольтметр;  $R1$  — компенсационный резистор;  $R2$  — добавочный резистор

вающем одинаковую интегральную чувствительность фотоэлемента в любом диапазоне измерений, линейность световой характеристики, независимость от температуры окружающей среды (не более 0,2%/град), возможность отсчета непосредственно в единицах яркости. Для этой цели компенсационный резистор R1 выбирают из условия

$$R_1 = S_L \frac{l^2}{F \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot S_{\text{инт}}} \cdot \gamma,$$

где  $S_L$  – чувствительность яркомера по шкале вольтметра, В/кд/м<sup>2</sup>;  $l$  – расстояние между поверхностью знака индикатора и светочувствительной поверхностью фотоэлемента, м;  $F$  – площадь светочувствительной поверхности фотоэлемента, м<sup>2</sup>;  $\sum_{i=1}^n F_i$  – суммарная площадь светящихся сегментов индикатора, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{инт}}$  – интегральная чувствительность фотоэлемента, мкА/лм;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий занижение фактического значения яркости индикатора, когда  $l$  меньше пяти диаметров фотоэлемента.

Чувствительность яркомера  $S_L$  рекомендуется выбирать таким образом, чтобы сопротивление резистора R1 было менее 1 МОм для возможности измерения его величины мостом сопротивлений. В случае изменения интегральной чувствительности фотоэлемента градуировка яркомера может производиться добавочным резистором R2, при сохранении сопротивления R1 неизменным.

Для увеличения производительности индикаторы разбраковывают по принципу "годен – не годен": изменяя напряжение компенсации источника, устанавливают по шкале вольтметра граничное значение яркости и по отклонению стрелки "нуль-индикатора" в ту или иную сторону судят о соответствии индикатора заданной норме.

Яркость вакуумных люминесцентных индикаторов (ВЛИ) находится в диапазоне 200–3000 кд/м<sup>2</sup>, накаливаемых (ВИН) – в диапазоне 2000–20000 кд/м<sup>2</sup>. Такие высокие значения яркости позволяют расширить диапазон применения индикаторов путем выделения нужного цвета с помощью светофильтров, уменьшения яркости для снижения тока потребления, использования индикаторов в условиях сильной внешней засветки.

Неравномерность яркости свечения индикатора, характеризующая его эстетическое восприятие и безошибочность считывания информации, определяется из выражений:

$$H_L^+ = \frac{L_{\text{макс}} - L_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}}} \cdot 100\%,$$

$$H_L^- = \frac{L_{\text{мин}} - L_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}}} \cdot 100\%.$$

Здесь  $H_L^+$ ,  $H_L^-$  – значения неравномерности яркости при максимальной  $L_{\text{макс}}$  и минимальной  $L_{\text{мин}}$  яркости свечения сегментов, %;  $L_{\text{ср}}$  – яркость индикатора при всех включенных сегментах, кроме десятичного знака:

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$

где  $L_i$  – яркость  $i$ -го сегмента;  $n$  – количество сегментов;  $F_i$  – площадь  $i$ -го сегмента.

Значение неравномерности яркости не характеризует индикатор исчерпывающим образом [1], так как визуальное впечатление зависит от уровня средней яркости, т.е. от адаптации оператора, а неравномерность яркости измеряется в светонепроницаемой камере. Установлено, что неравномерность вакуумных индикаторов допустима до 50%. Это не приводит к ошибкам считывания и мало заметно для наблюдателя. Большой разброс яркости одноразрядных индикаторов приводит к необходимости их подбора по двум-трем группам яркости для использования в одном блоке индикации. Массовое изготовление многоразрядных индикаторов практически исключило эту проблему, так как неравномерность между разрядами находится в пределах  $\pm 40\%$ .

*Спектральный диапазон* ВЛИ зеленого цвета –  $450 \text{ нм} \leq \lambda \leq 620 \text{ нм}$  с  $\lambda_{\text{макс}} = 520 \text{ нм}$ , ВИН зеленого цвета –  $500 \text{ нм} \leq \lambda \leq 670 \text{ нм}$  с  $\lambda_{\text{макс}} = 590 \text{ нм}$ . ВЛИ могут быть также красного, желтого, синего цветов. Координаты цветности знаков синтезирующих индикаторов вычисляются на ЭВМ по спектральным характеристикам с учетом ординат кривых сложения МОК (удельных координат цвета). Структурная схема измерения спектральной характеристики ВЛИ приведена на рис. 2. Для учета погрешности, вносимой спектральной характеристикой фотоприемника, снимают относительную спектральную плотность излучения образцового источника (источник "А"), а затем испытуемого индикатора.

Относительную спектральную плотность излучения ВЛИ  $\phi_\lambda$  определяют по формуле

$$\phi_\lambda = \frac{n(\lambda)}{n_0(\lambda)} \cdot \phi_{0\lambda},$$

где  $n_0(\lambda)$  и  $n(\lambda)$  – показания фотоприемника с образцовым и испытуемым источниками излучения;

$\phi_{0\lambda}$  — относительная спектральная плотность излучения источника "А".

Усредненные значения координат цветности ВЛИ приведены в табл. 1, в скобках указаны координаты цветности опорных цветов, используемых в системе цветного телевидения (ЦТ).

Таблица 1

Координаты	Значения координат цветности		
	Красный	Зеленый	Синий
$x$	0,63 (0,67)	0,35 (0,21)	0,17 (0,14)
$y$	0,35 (0,33)	0,55 (0,71)	0,13 (0,08)

Значения координат цветности ВЛИ достаточно близки к основным цветам ЦТ, т.е. при достаточной яркости ВЛИ их можно применять в табло коллективного пользования для получения цветного телевизионного изображения.

*Повышение контраста и насыщенности цвета изображения* для улучшения внешнего вида блока вывода информации обеспечивается использованием светофильтров и контрастных стекол. Применение светофильтров с индикаторами накаливания позволяет получить практически любой цвет, кро-

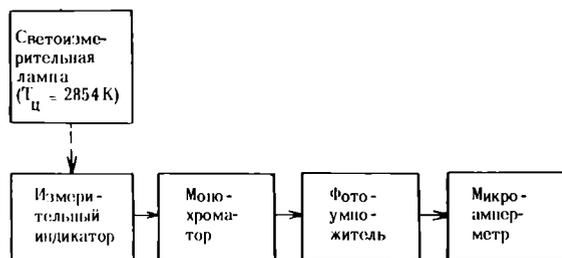


Рис. 2. Структурная схема измерения спектральной характеристики ВЛИ

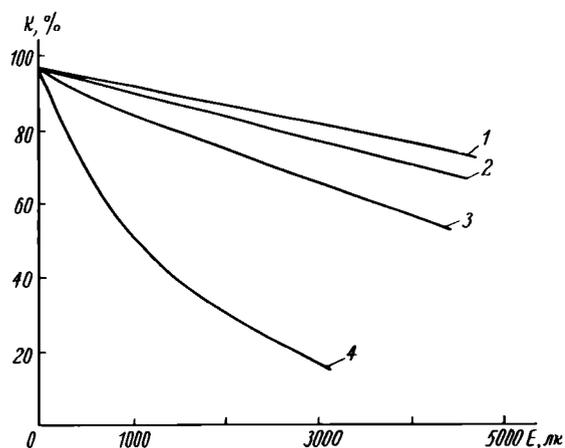


Рис. 3. Зависимость контраста двухцветного ИВЛ от уровня внешней освещенности: 1 — зеленого цвета свечения  $L = 700$  кд/м<sup>2</sup> с фильтром, 2 — красного цвета свечения  $L = 200$  кд/м<sup>2</sup> с фильтром, 3 — зеленого цвета свечения без фильтра, 4 — красного цвета свечения без фильтра

ме синего, который мало эффективен и практически исключен. Наиболее целесообразно применение светофильтров с люминесцентными индикаторами, так как аноды-сегменты ВЛИ, покрытые белым люминофором с высокой отражающей способностью (коэффициент отражения люминофора  $\rho_{\text{ЗН}} = 0,82$  значительно превосходит коэффициент отражения фона  $\rho_{\text{ф}} = 0,08$ ), при внешнем освещении отчетливо видны без подачи на них электрического режима и тем самым создается первоначальный ("паразитный") контраст знака к фону.

Для ВЛИ зеленого цвета (люминофор  $\text{ZnO} \times \text{Zn}$ ), имеющих яркость 1000 кд/м<sup>2</sup>, можно с помощью светофильтров получать набор цветов от синего до красного с яркостью, достаточной для визуального наблюдения [2], однако работа в синей и особенно в красной областях малоэффективна.

В табл. 2 [3] приведены параметры рекомендуемых светофильтров для получения различных цветов из ВИИ и ВЛИ зеленого цвета.

Таблица 2

Параметры светофильтров	Индикаторы накаливания		Индикаторы люминесцентные	
	Цвет изображения индикатора через светофильтр			
	Желтый	Зеленый	Зеленый	Красный
Координаты цветности в системах $x, y, z$	$0,40 \leq x \leq 0,50$ $0,50 \leq y \leq 0,60$	$0,20 \leq x \leq 0,30$ $0,60 \leq y \leq 0,80$	$0,25 \leq x \leq 0,30$ $0,55 \leq y \leq 0,75$	$0,65 \leq x \leq 0,75$ $0,25 \leq y \leq 0,35$
Диапазон длин волн максимума пропускания светофильтра, мкм	$560 < \lambda < 580$	$525 < \lambda < 535$	$520 < \lambda < 540$	$560 < \lambda < 580$
Коэффициент пропускания светофильтра в диапазоне длин волн, %	10,0 15,0	5,0 10,0	25,0 40,0	30,0 60,0

В настоящее время разработаны ВЛИ с набором цветов, например, матричные двух- и трехцветные индикаторы, с которыми необходимо использовать контрастные стекла, т.е. нейтральные светофильтры с коэффициентом пропускания  $0,10 \leq \tau \leq 0,25$ .

При применении таких двух- и трехцветных индикаторов в табло коллективного пользования табло необходимо покрывать сплошным контрастным стеклом в целом или в пределах одной строки, а не каждое знакоместо, чтобы избежать резкого уменьшения угла обзора из-за границы раздела светофильтров отдельного знакоместа.

На рис. 3 приведены зависимости яркостного контраста двухцветного цифрового знаковизирующего индикатора с нейтральным светофильтром и без него.

Важнейшими характеристиками индикаторов, определяющими возможность их применения в уст-

ройствах отображения информации, являются *углы обзора, расстояния наблюдения и внешняя освещенность.*

В настоящей статье обобщен производственный метод измерения предельно допустимых углов обзора [4] для определения предельно допустимых расстояний наблюдения и внешней освещенности (рис. 4).

В основу метода измерения положено определение пороговых значений расстояния наблюдения и внешней освещенности, соответствующих исчезновению и появлению информации (для наблюдателя), с дальнейшим уточнением этих значений по критерию безошибочности считывания информации.

Требования к основным элементам структурной схемы указаны в работе [4]. Лампы накаливания 4 и 5 (см.рис. 4) должны располагаться под углом  $45 \pm 5^\circ$  от нормали к индикатору и создавать достаточную освещенность испытуемого индикатора, измеряемую люксметром.

Для примера рассмотрим измерение предельно допустимой освещенности индикатора. Испытуемый индикатор устанавливают на измерительную позицию перпендикулярно зрительной оси оператора, высвечивают на индикаторе один из символов с максимальным количеством сегментов (у многозарядных индикаторов высвечивают первый и последний разряды). Увеличивают внешнюю освещенность испытуемого индикатора до тех пор, пока наблюдатель перестанет надежно различать предъявленный знак. Фиксируют значение пороговой освещенности на исчезновении  $E_{И_i}$ , затем на

индикаторе высвечивают другой символ, и освещенность индикатора уменьшают до тех пор, пока оператор правильно не назовет отображаемый символ. Это пороговое значение освещенности на появление  $E_{П_i}$  также фиксируют.

Среднее пороговое значение освещенности для  $i$ -го оператора

$$E_i = \frac{E_{И_i} + E_{П_i}}{2},$$

среднее пороговое значение освещенности для группы операторов

$$E_{\Sigma i} = \frac{\Sigma E_i}{n},$$

где  $n$  – четное число наблюдателей, не менее 4.

Каждому оператору (наблюдателю) при среднем пороговом значении освещенности  $E_{\Sigma i}$  предъявляют в произвольной последовательности все знаки рабочего алфавита индикатора. Если при значении внешней освещенности  $E_{\Sigma i}$  возникнут ошибки считывания, то проверка безошибочности считывания осуществляется при освещенностях, меньших  $E_{\Sigma i}$ . Максимальная освещенность, при которой обеспечивается безошибочное считывание отображенных знаков, принимается за предельно допустимое значение внешней освещенности.

Ниже приведены экспериментальные результаты измерений эргономических параметров индикаторов:

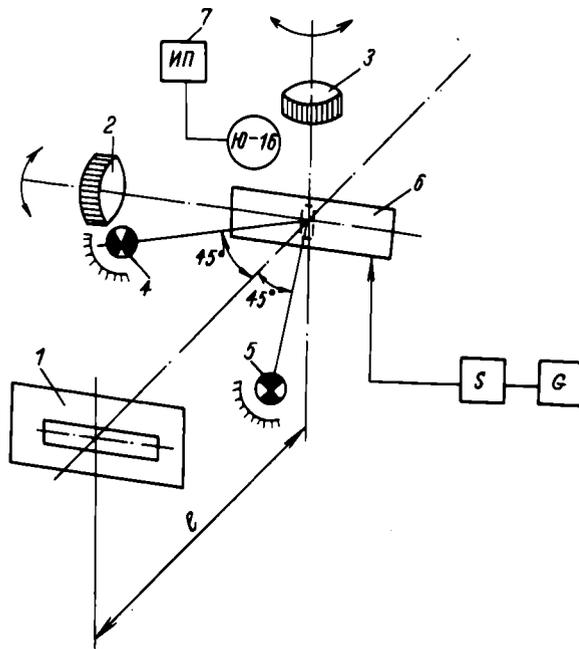


Рис. 4. Структурная схема установки измерения эргономических параметров вакуумных индикаторов: 1 – фокусирующее приспособление; 2, 3 – поворотное приспособление; 4, 5 – осветители; 6 – испытуемый индикатор; 7 – люксметр с источником питания; S – блок управления

**ИВ-21 ИВЛ1-8/13**

Число разрядов .....	8	12 + 1
Высота знака, мм .....	5,2	8,5
Яркость, кд/м <sup>2</sup> .....	500	700
Угол обзора, град		
горизонтальный		
$\alpha_{Г}^+$ .....	53	63
$\alpha_{Г}^-$ .....	60	60
вертикальный		
$\alpha_{В}^+$ .....	68	32
$\alpha_{В}^-$ .....	57	64
Расстояние между поверхностью знака индикатора и светочувствительной поверхностью фотозлемента $l_{\text{макс}}$ , м .....	1,1	3,5
Освещенность максимальная, лк .....	9000	8000

Рассмотренные светотехнические и эргономические параметры вакуумных индикаторов определяют широкие возможности их использования в аппаратуре индивидуального и коллективного пользования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Колкер В.Е., Студенцова М.И. Некоторые светотехнические параметры вакуумных индикаторов и методы их

измерения. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1978, вып. 6.

2. Суховой Н.Н., Ведехина А.Ф. Цвет и яркость защищенных светофильтрами экранов с люминофором (ZnOxZn). — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1975, вып. 9.

3. ОСТ 11 ОД0.335.040—77. Индикаторы вакуумные. Руководство по применению.

4. Литвак И.И. и др. Измерение углов обзора одноразрядных знаковинтегрирующих индикаторов в условиях производства. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1978, вып. 6.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

УДК 621.383.932:532.783

В.Е.Колкер

## СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ БЕЗ ОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ

Теоретически и экспериментально установленные значения параметров поляроидной пленки и световодов определяют контраст и яркость фона ЖКИ на твист-эффekte, применяемых в наручных электронных часах в режимах «на отражение» и «на просвет».

Важнейшие светотехнические параметры индикатора — контраст, яркость фона, интегральное пропускание, цвет — в значительной степени обусловлены поляроидами, выбор которых затрудняется из-за различных требований, предъявляемых в режимах «на отражение» и «на просвет»\*. Кроме того, контраст и яркость фона индикатора в режиме «на отражение» также зависят от свойств отражающей поверхности (световода): коэффициента отражения  $\rho$  или коэффициента яркости  $\beta$  и коэффициента деполаризации излучения  $\alpha$ .

Если отражатель выполнен из ситалла ( $\alpha = -1,0$ ) или металла ( $\alpha = 0$ ), то для поляроидов с параметрами  $k_1$  и  $k_2$  значения контраста  $K_a$  можно определить по формулам:

$$K_{a \text{ сит}} = \frac{0,25(k_1^2 + k_2^2)^2 \rho_{\text{сит}} + k_{\phi}}{k_1^2 k_2^2 \rho_{\text{сит}} + k_{\phi}},$$

$$K_{a \text{ мет}} = \frac{0,5(k_1^4 + k_2^4) \rho_{\text{мет}} + k_{\phi}}{k_1^2 k_2^2 \rho_{\text{мет}} + k_{\phi}},$$

\* Колкер В.Е. Измерение светотехнических параметров жидкокристаллических индикаторов. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1978, вып. 6, с. 58—63.

где  $k_1$  и  $k_2$  — соответственно наибольший и наименьший главные коэффициенты пропускания;  $k_{\phi}$  — коэффициент рассеяния падающего света поверхностью верхнего поляроида в направлении фотоприемника.

Для идеальных поляроидов (при  $k_1 = 1$  и  $k_2 = 0$ )

$$K_{a \text{ сит}} = \frac{0,25 \rho_{\text{сит}} + k_{\phi}}{k_{\phi}};$$

$$K_{a \text{ мет}} = \frac{0,5 \rho_{\text{мет}} + k_{\phi}}{k_{\phi}}.$$

Таким образом, значение  $K_{a \text{ мет}}$  почти в два раза выше, чем  $K_{a \text{ сит}}$ , благодаря яркости фона.

Если  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,1$ ;  $\rho_{\text{сит}} = 0,9$  и  $\rho_{\text{мет}} = 0,6$ , то  $K_{a \text{ сит}} = 10,8$ ;  $K_{a \text{ мет}} = 18,5$ , т.е. ожидаемые значения контраста и яркости фона с металлизированным отражателем в 1,5–1,7 раза выше, чем с диффузным диэлектрическим отражателем.

На рис. 1 графически изображены ожидаемые значения контраста индикатора в зависимости от параметров  $k_1$  и  $k_2$  в режиме «на отражение» и «на просвет» ( $k_{\phi} = 0,003$ ). Ниже приведены предельно

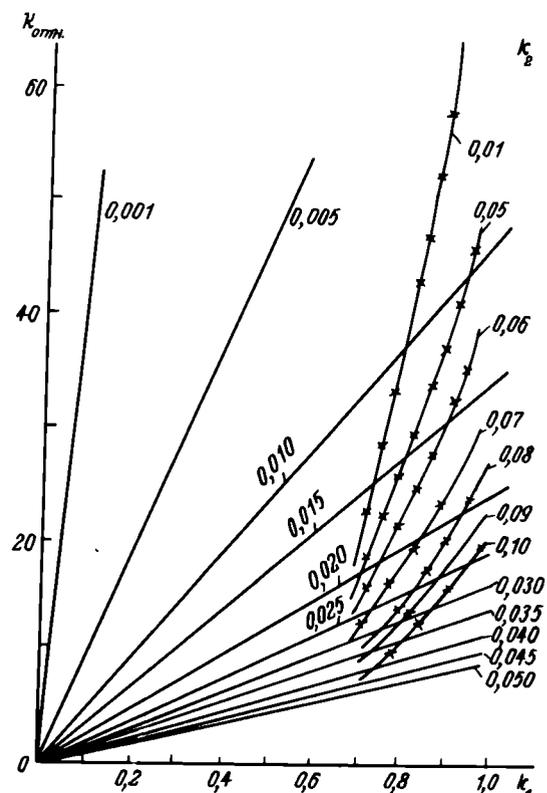


Рис. 1. Зависимость контраста индикатора от главных коэффициентов пропускания поляроидов

допустимые значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ , при которых ожидаемые значения контраста  $K_{а отр} \geq 20:1$  (95%),  $K_{а проsv} \geq 10:1$  (90%):

$k_{1 мин}$	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92
$k_{2 макс}$	0,040	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,046

В табл. 1 приведены минимальные значения параметра  $k_1$  для заданного значения яркости фона индикатора в режиме "на отражение" при следующих параметрах индикатора:  $\rho_{сит} = 0,85$ ;  $\rho_{мет} = 0,60$ ;  $k_2 < 0,10$ ;  $r_{жк-ячейки} = 0,85$ .

Таблица 1

Яркость фона индикатора, $\beta$	$k_1 мин.сит$	$k_1 мин.мет$
0,10	0,86	0,79
0,12	0,90	0,83
0,14	0,94	0,86
0,15	0,95	0,87
0,16	0,96	0,89
0,18	1,0	0,92
0,20	-	0,94

Следовательно, для достижения высшего уровня по контрасту необходима поляроидная пленка со значениями параметров  $k_1 > 0,80$ ;  $k_2 < 0,04$ , а для получения максимальной яркости фона требуется максимальное увеличение параметров  $k_1$  и  $k_2$  по поляридоидов. Увеличение параметра  $k_1$  создает запас по контрасту в режиме "на отражение" и "на просвет" и позволяет несколько увеличить значение параметра  $k_2$ . Таким образом, параметр  $k_1$  выбирается из расчета получения требуемой яркости фона (см. табл. 1), а параметр  $k_2$  - из расчета получения приемлемых значений контраста в режиме "на просвет". Рекомендуемые значения параметров поляридоидов должны лежать в пределах:  $k_1 > 0,84$ ;  $k_2 < 0,050$ .

Корреляционная зависимость между интегральным пропусканием индикатора и яркостью фона была исследована экспериментально с помощью фотометра ФОУ У2,4 на 54 индикаторах ИЖКЦ-4/5. В табл. 2 приведены экспериментальные результаты измерения коэффициентов яркости фона ЖКИ с различными световодами, причем результаты усреднены по 13 индикаторам, на которые наклеивались поляридоиды с различными параметрами.

Таблица 2

Параметры поляридоидов	Коэффициент яркости фона ЖКИ с различными световодами						
	Ситалл ( $\beta = 90\%$ )	№ 1 ( $\beta = 85\%$ )	№ 2 ( $\beta = 49,5\%$ )	№ 3 ( $\beta = 43\%$ )	№ 4 ( $\beta = 40\%$ )	№ 5 ( $\beta = 34\%$ )	№ 6 ( $\beta = 35\%$ )
$k_1 = 0,93$ ; $k_2 = 0,05$	12,0	11,1	12,3	9,7	11,6	8,8	-
$k_1 = 0,90$ ; $k_2 = 0,028$	10,9	10,4	11,8	8,8	11,6	8,4	18,0
$k_1 = 0,88$ ; $k_2 = 0,009$	9,4	9,5	12,1	8,8	10,9	7,9	-

Наилучшие результаты получены у индикаторов с максимальным значением параметра  $k_1$  по поляридоидов и со световодами № 2, № 4 и № 6, несмотря на то, что собственные коэффициенты яркости этих световодов ниже, чем у ситалла № 1 и сравнимы с № 5. Следовательно, оценка световодов по коэффициенту яркости не отражает поведение индикатора с данным световодом, так как не учитывает деполаризации излучения. Для оценки световода предлагается параметр "коэффициент яркости в поляризованном свете" (рис. 2).

Значение угла  $\alpha$  необходимо оптимизировать с учетом угла обзора, достижимого в световоде, т.е. если световод имеет узкую диаграмму направленности (в пределах  $\pm 45^\circ$ ), то угол подсветки должен быть в пределах  $25-30^\circ$  (табл. 3).

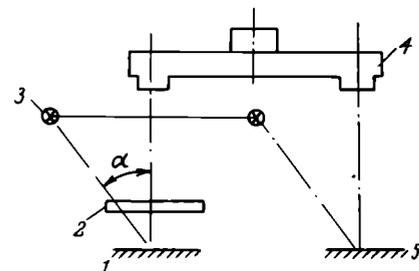


Рис. 2. Принципиальная схема измерения коэффициента яркости в поляризованном свете ( $\alpha$  - угол подсветки): 1 - испытуемый световод; 2 - поляридоид; 3 - осветитель; 4 - оптическая головка фотометра; 5 - баритовая пластина

Таблица 3

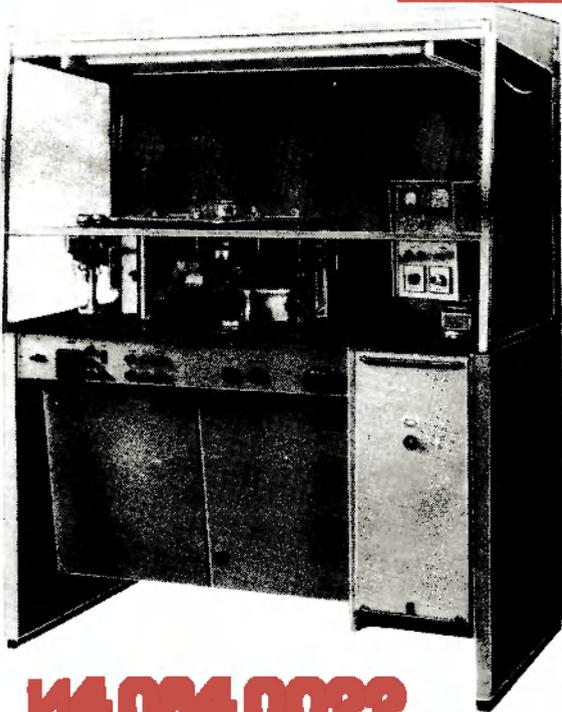
Световоды	Коэффициент яркости, %	
	в естественном свете	в поляризованном свете
Ситалл	90	21
№ 2	49,5	19
№ 3	43	15
№ 5	34	13
№ 6	33	42

Измерения коэффициента яркости в поляризованном свете показали, что световод № 6 (пластинка оргстекла, на которую наклеен поляридоид с напыленным алюминием) имеет лучшие параметры по сравнению с остальными световодами.

Статья поступила 11 декабря 1981 г.

# УСТАНОВКА

## БИПОЛЯРНОГО НАНЕСЕНИЯ ЛЮМИНОФОРА



**И4.084.0022**

ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ БИПОЛЯРНОГО (БЕСКОНТАКТНОГО) НАНЕСЕНИЯ ЛЮМИНОФОРА НА КЕРАМИЧЕСКИЕ ДЕРЖАТЕЛИ АНОДОВ.

Покрытие осуществляется групповым способом в кассетах.

Установка представляет собой комплекс, состоящий из технологического модуля, пульта управления, ультразвукового генератора, четырех монтажных столов и конвейера.

Процесс нанесения люминофора, включая промывку и сушку плат, транспортирование кассет по технологическим позициям, осуществляется автоматически. Выгрузка и съем кассет производится вручную. Все параметры процесса нанесения люминофора стабилизированы.

Предусмотрена возможность нанесения люминофора контактным способом, что позволяет использовать установку для нанесения покрытия на стеклянные платы монодисплеев.

Регулируемое напряжение, В ..... 50—500

Время катафорезирования, с ..... 2—15

Габаритные размеры, мм

установки ..... 2600x1600x1900

пульта управления

(с ультразвуковым

генератором) ..... 500x500x1900

Кинематическая производительность

для керамических

держателей анода, шт/ч ..... 2500

# УСТАНОВКА

## НАНЕСЕНИЯ ЛЮМИНОФОРА НА ДЕРЖАТЕЛИ АНОДОВ



**И4.084.0009**

ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЯ ЛЮМИНОФОРА НА КЕРАМИЧЕСКИЕ ДЕРЖАТЕЛИ АНОДОВ И НА СТЕКЛЯННЫЕ ПЛАТЫ МОНОДИСПЛЕЕВ.

Нанесение люминофора производится катафорезным способом.

Регулируемое напряжение, В ..... 0—500

Время катафорезирования, с ..... 1—10

Габаритные размеры, мм ..... 1250x820x1570

Масса, кг ..... 650

Кинематическая

производительность, шт/ч

для керамических

держателей анода ..... 900

для плат монодисплеев ..... 225

# МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИНДИКАТОР



# НА ВОЛОКОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ. МОЖЕТ РАБОТАТЬ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ ЗАСВЕТКИ.

Прибор включает малогабаритную ЭЛТ с волоконно-оптическим экраном диаметром 30 мм, фокои и регулярный волоконно-оптический световод.

ЭЛТ осуществляет электростатическую фокусировку и электромагнитное отклонение луча.

Волоконно-оптический экран с низкой числовой апертурой обеспечивает высокий контраст изображения в условиях значительной внешней засветки.

Изображение, формируемое на экране ЭЛТ, переносится с помощью фокона в масштабе 1:2 на вход световода, который передает изображение на требуемое расстояние к наблюдателю.

Напряжение накала, В	1,35
Напряжение анода, В	6000
Разрешающая способность (на растре 16x16) лин	400
Яркость экрана, кд/м <sup>2</sup>	100
Цвет свечения	желто-зеленый
Носитель сигнала	длительное

В отличие от индикаторов на базе волоконных элементов — индикатор благодаря отсутствию линзового оптики имеет малый вес и габариты, прост и удобен в обращении.

И.С. Сиверс, И.С. Лебединская

Ответственный за выпуск Л.Н. Михайлова, Л.И. Жукова  
Художник В.А. Чернецов  
Технический редактор Г.М. Ковалева  
Корректоры В.С. Сидорова, Л.В. Данченко



Подписано в печать 2.06.82  
Т-10063 Формат 60x90/8 Объем 18 п.л.  
Уч.—изд. л. 20 Индекс 3833 48 статей, 18 реф.  
Заказ 594 Тираж 4380 Цена 5 руб.80 коп.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ «Электроника»  
Москва, 117415, проспект Вернадского, 39

