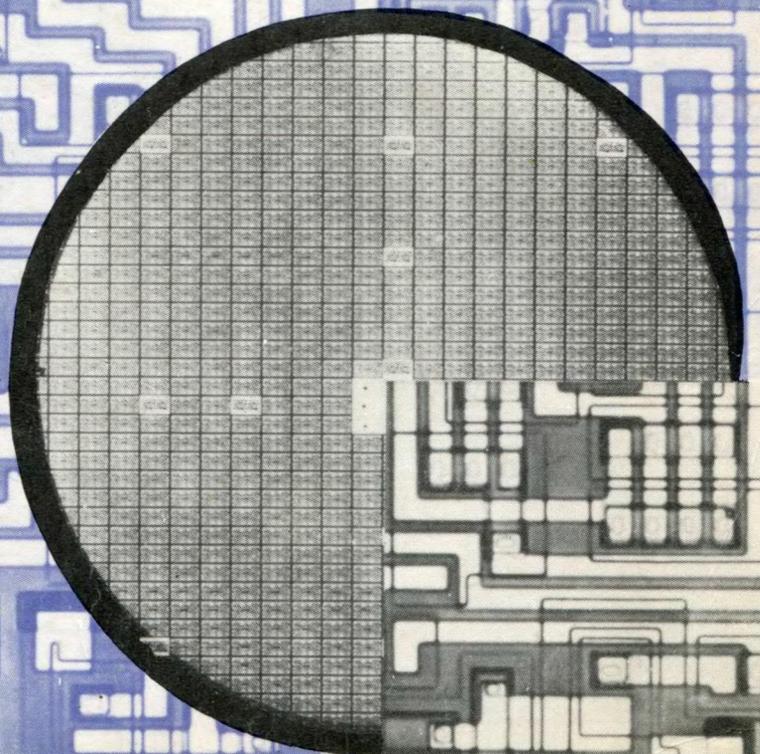
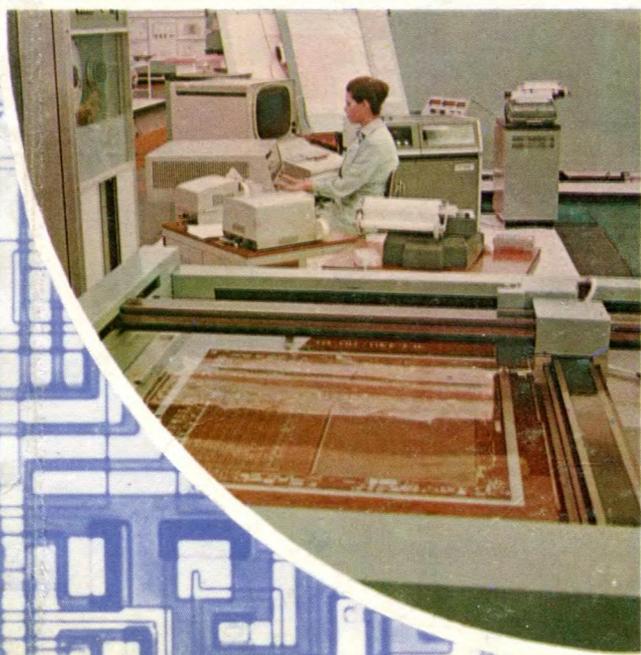
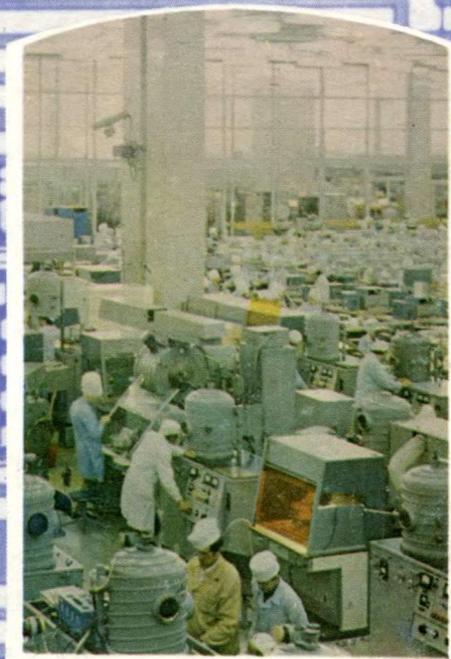
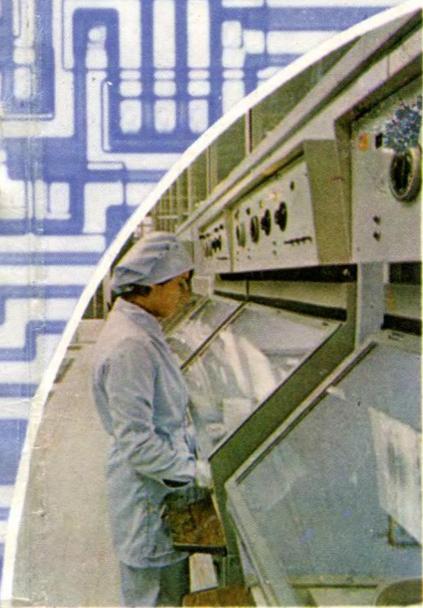




# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1  
1980



# 1980

## 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  
Е. А. Гайлиш  
Г. Г. Горбунова  
(ответственный секретарь)

Г. Я. Гуськов  
Н. Д. Девятков  
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  
Ю. Б. Степанов  
В. Н. Сretenский  
П. М. Стуколов (зам.  
главного редактора)

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

- Трудящиеся электронной промышленности с глубоким пониманием больших и важных задач, стоящих перед отраслью, все шире разворачивают социалистическое соревнование за успешное выполнение плана завершающего года десятой пятилетки и достойную встречу 110-й годовщины со дня рождения В.И.Ленина.

- Специфичность функций, выполняемых гальванопокрытиями в полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах, обуславливает использование определенных маскирующих слоев, условий их нанесения и контроля толщины в процессах микроосаждения металлов, применения специальных электролитов, оборудования и технологии получения покрытий, строгого соблюдения культуры производства в гальванических цехах.

- Свойства поликристаллических систем типа титаната бария и твердых растворов на их основе, легированных редкоземельными элементами, титаната цинка с добавками окиси алюминия, составов на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  с добавками некоторых окислов, имеющих высокие значения коэффициента вторично-электронной эмиссии, делают эту группу полупроводящих материалов перспективной для изготовления эмиттеров вторичных электронов канальных и микроканальных электронных умножителей.

- Использование универсальных цифровых КМДП микросхем средней степени интеграции серии К564 в устройствах цифровой автоматики и вычислительной техники позволяет повысить их быстродействие и помехоустойчивость, снизить потребляемую мощность, габариты и массу по сравнению с аналогичными цифровыми КМДП микросхемами.

- Высокопроизводительная промышленная установка газофазной металлизации тугоплавкими металлами, предназначенная для использования в производстве низкороговых МДП транзисторов и комплементарных МОП БИС с малым напряжением питания, обеспечивает увеличение производительности в три-четыре раза за счет применения ИК термоизлучателя вертикального горения, программного устройства и средств автоматики.

В 1980 г. в изд-ве "МИР" выйдут новые книги

**МАГНИТНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ  
В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Р.Д. Иванов

М.: Советское радио, 1980, 11,5 л., 7000 экз.

Рассмотрены основные этапы формирования металлических пленок и их магнитостатические, электрические, структурные и механические свойства. Показаны степень старения магнитных пленок, полученных методами вакуумного испарения, электролитического осаждения, катодного распыления, влияние отжига на деградацию свойств пленок и их возможные области применения в микроэлектронике.

Описана технология получения БИС ЗУ на цилиндрических магнитных доменах.

**ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ  
И ЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ**

Р.Кофлин, Ф.Дрискол

Пер. с англ. М.: Мир, 1980, 19 л., 15000 экз.

Рассматриваются все аспекты применения интегральных схем в цепях линейных преобразований сигналов, компараторах, генераторах сигнала, измерительных приборах, усилителях мощности, источниках питания, активных фильтрах и таймерах. Приведены подробные справочные данные.

Книга ориентирована на разработчиков приборов и систем, специалистов по приборостроению, АСУ, промышленной автоматике и телемеханике.

**ШИРОКОПОЛОСНЫЕ  
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ**

В.Ф. Ламекин

Под. ред. С.Я. Шаца. М.: Советское радио, 1980,  
11,5 л., 20000 экз.

Рассмотрены вопросы проектирования и особенности создания широкополосных усилителей на основе линейных интегральных схем, предназначенных для приемных трактов радиолокационных систем, а также для измерительных и вычислительных устройств. Проанализированы различные схемы высоко- и низкочастотной коррекции, даны методики их расчета. Описаны разработанные автором широкополосные интегральные усилители и приведены примеры расчета основных радиотехнических схем на их основе.

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ:  
ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

Ф. Мейзда

Пер. с англ. М.: Мир, 1980, 17 л., 40000 экз.

Рассмотрены логические элементы, цепи арифметических и запоминающих устройств, микропроцессоры, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, линейные усилители, приборы с зарядовой связью и схемы с фазовой автоподстройкой частоты. Освещены основные аспекты технологии производства, принципы работы и области применения микросхем. Дан словарь общепринятых сокращений и технических терминов. Книга полезна специалистам по электронике, вычислительной технике, АСУ, автоматике, телемеханике и другим смежным областям знаний.

Ответственные за выпуск *Е. А. Засядько, Л. И. Васильева*  
Художник *В. А. Чернецов* Технический редактор *Л. С. Пармехина*  
Корректоры *А. В. Смирнова, Е. В. Емельяникова*



Подписано в печать 19.11.80 г.  
Т-06008 Формат 60x90/8 Объем 8 п. л.  
Уч.-изд. л. 75 Индекс 3833 21 статья, 2 реф.  
Заказ 203 Тираж 3890 Цена 2 руб. 90 коп.

# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

# 1980

# 1

ГОД ИЗДАНИЯ ОДИННАДЦАТЫЙ-ВЫПУСК(85)

## СОДЕРЖАНИЕ

### 3 Передовая

#### ТЕХНОЛОГИЯ

- 4 *Ерусалимчик И.Г., Миронов Г.А.* Гальванопокрытия в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем
- 10 *Климашаускас К.Ю., Шержувене В.-К.Ю., Янушонис С.С.* Самоформирование структур в технологии изготовления интегральных схем
- 12 *Волк В.П., Неустров С.А., Фокина С.М., Яковенко В.Г.* Изготовление элементов ИС с микронными и субмикронными размерами
- 16 *Янушонис С.С.* Применение метода самоформирования для получения планарных структур

#### ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

- 19 *Бурлаков В.А., Иофис Н.А., Сиприков И.В.* Канальные и микроканальные электронные умножители на основе полупроводящих материалов с объемной проводимостью
- 23 *Горохов В.А.* Физические основы конструирования и схемотехники интегральных оптоэлектронных реле и переключателей

#### ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 32 *Малинин А.В., Чернуха Б.Н., Шиллер В.А.* Оперативное запоминающее устройство КР188У2 на дополняющих МОП транзисторах
- 33 *Базина Н.В., Кирсанова Н.С., Самсонов Н.С.* Микросхемы серии К170 для устройств передачи данных в высокопроизводительных ЭВМ
- 35 *Кожемякин А.Н., Колосовский А.В., Синекаев В.В., Хоменко А.И.* Микро мощные КМДП интегральные схемы серии К564
- 38 *Алекса А.Г., Дульдьер В.Н., Ибраимов Н.С., Семенов М.И., Смирнов А.А.* Акустический датчик для получения трехмерных изображений
- 41 *Горовой В.В., Духновский Л.Я., Прибыльский А.В.* Оновибратор с повторным запуском К133/155 АГЗ
- 42 *Егизарян Г.А., Манвелян Ю.С., Мнацаканян Г.А., Сар-*

*кисян А.С.* Магнитодиод КД304 – простейшая функциональная твердотельная схема

- 44 *Бачурин В.В., Бычков С.С., Дьяконов В.П., Прушинский А.К.* Мощный кремниевый сверхвысокочастотный МДП-транзистор КР908
- 46 *Горовой В.В., Носов Ю.Р., Степанова В.Н., Хазанкин Ю.П.* Быстродействующая оптоэлектронная переключательная микросхема К249ЛПЗ
- 47 *Абрайтис В.-Б.Б., Гутаускас А.Р., Лянкутис А.В.* Высоко частотные делители частоты для синтезаторов частот
- 49 *Носов Ю.Р.* Высоко частотный  $p-i-n$  диод КД413
- 50 *Новикова Ю.Ф., Поспелова Е.Т., Романова И.Д., Тюменцев В.Д.* Сверхбыстродействующие импульсные диоды на основе контакта металл—арсенид галлия

#### ОБМЕН ОПЫТОМ

- 51 *Анохин Б.Г., Бройтман А.П., Качурина Е.Е., Кукушкин А.М., Москаленко И.Г.* Высокопроизводительная установка «Время» для нанесения тонких пленок тугоплавких металлов
- 53 *Заддэ В.В., Зиновьев К.В., Стребков Д.С., Сурьянинова Т.И.* Использование растворяемых композиций при низкотемпературной диффузии фосфора и бора в кремний
- 55 *Буравцев А.Т., [Введенский Л.В.], Каплин Л.Н., Эйгель С.И.* Формирование фоторезистивного покрытия методом распыления

#### НОВОСТИ

- 57 *Степанов Н.П.* Новости зарубежной электроники

#### РЕКЛАМА

- 18 *Алексанов А.Е., Алексеев М.Н., Ильичева А.А.* Установка гомогенизации расплава
- 23 Шестиразрядный жидкокристаллический индикатор на «твинт-эффекте» для настольных электронных часов ЖКЦ1-6/18



Рабочие, инженерно-технические работники и служащие нашей отрасли активно участвуют во Всесоюзном социалистическом соревновании, основой которого является борьба за успешное претворение в жизнь социально-экономических задач, намеченных XXV съездом КПСС, выполнение и перевыполнение заданий народнохозяйственного плана на десятую пятилетку.

Главное внимание участники соревнования уделяют повышению эффективности производства и качества работы при безусловном выполнении и перевыполнении заданий, росту производительности труда, строгому соблюдению режима экономии, достижению высокого качества продукции, ускорению темпов научно-технического прогресса. Достижению этих целей подчинены все формы социалистического соревнования. Ширится соревнование за звания «Коллектив коммунистического труда», «Коллектив высокой культуры производства», «Лучший (ая) цех, участок, бригада электронной промышленности», «Лучшее предприятие отрасли по экономии материальных ресурсов», «Лучшее предприятие отрасли по выпуску товаров культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода». Важное значение в отрасли придается таким индивидуальным формам организации соревнования, как соревнование за право носить звания «Лучший по профессии», «Лучший наставник», «Отличник качества» и др.

Творчество масс постоянно рождает ценный опыт, многочисленные передовые приемы труда. Среди тружеников нашей отрасли социалистическое соревнование развернулось под девизом «Пятилетнее задание - к 10-й годовщине со дня рождения В.И.Ленина», «Каждому молодому рабочему - производительность труда передовика», «Работать без отстающих!», «Качеству продукции - рабочую гарантию!», «Лучший контролер - рабочая совесть», «От высокого качества работы каждого - к высокой эффективности труда коллектива!», «От снижения трудоемкости - к повышению эффективности труда!», «Десятой пятилетке - ударный финиш!», «Техническое творчество - на службу пятилетке качества!», «Каждой разработке - сокращенный срок внедрения!». Эти ценные патриотические начинания направлены на осуществление главного девиза соревнования: «Дать продукции больше, лучшего качества, с наименьшими затратами».

На состоявшемся совместном заседании Коллегии Министерства электронной промышленности СССР и Президиума ЦК профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности были приняты социалистические обязательства, направленные на досрочное выполнение пятилетнего плана и достойную встречу 110-й годовщины со дня рождения В.И. Ленина.

С чувством законной гордости за достигнутые успехи, с глубоким пониманием больших и важных задач, стоящих перед отраслью, вступают в завершающий год десятой пятилетки труженники электронной промышленности. Источником творческого вдохновения, боевой программой действий стали для них решения ноябрьского (1979 г.) Пленума ЦК КПСС, речь на Пленуме Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР товарища Л.И.Брежнева, материалы второй сессии Верховного Совета СССР.

«Будущий год, - говорил на Пленуме товарищ Л.И.Брежнев, - не только завершающий год нынешней пятилетки, но и база, на которой строится пятилетка следующая... Задания плана 1980 года непростые. Но они должны быть выполнены и превзойдены».

В ответ на призыв партии развернуть социалистическое соревнование за успешное выполнение плана последнего года и десятой пятилетки в целом и достойную встречу 110-й годовщины со дня рождения В.И.Ленина рабочие, ИТР и служащие электронной промышленности принимают на 1980 год следующие социалистические обязательства.

На основе дальнейшего повышения эффективности производства и качества работы с учетом встречных планов предприятий и объединений обеспечить в 1980 г. рост объема производства на 26% против установленного по пятилетнему плану задания, сверх принятых встречных планов выпустить продукции на сумму 50 млн.руб. без привлечения дополнительных ресурсов.

План 4,5 лет пятилетки по объему производства выполнить к 110-й годовщине со дня рождения В.И.Ленина, а по темпам роста производства - в марте 1980 года.

За счет ускорения темпов комплексной механизации и автоматизации производства, высокого качества конструкторских и технологических работ, внедрения передовых форм организации труда обеспечить повышение роста производительности труда на 14,5%.

Довести удельный вес продукции с государственным Знаком качества до 48% от объема продукции, подлежащей аттестации, по товарам культурно-бытового назначения - до 23%.

За счет повышения технического уровня производства, внедрения прогрессивной технологии, механизации и автоматизации производства и рационального использования материалов дополнительно снизить себестоимость товарной продукции, увеличить фондоотдачу.

В целях ускорения научно-технического прогресса провести разработку нескольких сотен типов изделий электронной техники на уровне современных мировых достижений науки и техники.

Увеличить в 1,5-2 раза долговечность ряда изделий электронной техники, в том числе наиболее массовых типов интегральных микросхем и полупроводниковых приборов.

В целях оказания помощи сельскому хозяйству обеспечить поставку изделий и услуг в объеме 125 млн.руб.

В соответствии с пятилетним планом и заданиями XXV съезда КПСС увеличить в три раза по сравнению с началом пятилетки выпуск товаров культурно-бытового назначения к 1 августа 1980 г. До конца года сверх пятилетнего задания выпустить этих товаров на сумму более 400 млн.руб.

Разработать в 1980 году несколько десятков типов новых товаров культурно-бытового назначения с использованием изделий электронной техники.

За счет совершенствования организации производства и нормирования труда, укрепления трудовой дисциплины добиться снижения потерь рабочего времени не менее чем на 10%.

В порядке эксперимента перевести на новый метод планирования по показателю чистой продукции несколько объединений и предприятий отрасли.

На основе широкого развития рационализации и изобретательства получить условно-годовую экономию на сумму 120 млн.руб.

Обеспечить дальнейшее улучшение культурно-бытовых условий труда, как действенного средства подъема трудовой и общественно-политической активности трудящихся, сокращение текучести кадров и достижение на этой основе неуклонного роста производительности труда.

Увеличить разработку и внедрение в серийное производство новых прогрессивных технологических процессов и специального технологического, контрольно-измерительного и испытательного оборудования, обеспечивающего рост производительности труда в два и более раза.

На основе строгого соблюдения режима экономии, рационального использования материальных ресурсов, совершенствования технологии, конструкций изделий и снижения норм расхода обеспечить дальнейшее сокращение расхода сырья и материалов.

Трудящиеся отрасли на основе широкого развития социалистического соревнования под девизом «Работать без отстающих!» добьются новых успехов в осуществлении исторических задач, выдвинутых XXV съездом КПСС, превратят 1980 год в год ударной работы.

*Из социалистических обязательств трудящихся электронной промышленности на 1980 год по досрочному выполнению пятилетнего плана и достойной встрече 110-й годовщины со дня рождения В.И.Ленина*

И. Г. Ерусалимчик, Г. А. Миронов

## ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Качество сборки полупроводниковых приборов, выход годных и расход материалов во многом определяются гальваническими процессами в технологии. Использование фосфатного электролита золочения для нанесения основного металла, разработка барьерных подслоев, применение локальных методов нанесения покрытия и сборка приборов в защитной среде обеспечивают их высокие эксплуатационные параметры.

УДК 621.3.049.77.002.2

Процессы электроосаждения металлов широко используются в различных областях техники, в частности в технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем. В связи с тем, что функции, выполняемые гальваническими покрытиями в этих устройствах, очень специфичны, в большинстве случаев требуется разработка специальных электролитов и технологических методов, позволяющих получить необходимые результаты.

Гальванические операции в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем можно разделить на две группы: осаждение металлов на полупроводниковые пластины для создания контактных систем и на подложки из ситалла, поликора и сапфира или других идентичных материалов с напыленными тонкими металлическими слоями (первая группа); получение гальванопокрытий на элементах корпусов полупроводниковых приборов для обеспечения сборочных операций и (в некоторых случаях) для защиты приборов от коррозии в агрессивной жидкой и газовой средах (вторая группа).

### Микроосаждение металлов.

Процессы осаждения металлов, относящиеся к первой группе, получили название *микроосаждение*. Это связано с тем, что размеры участков и отдельных элементов приборов, на которые производится осаждение, как правило, составляют от 5 до 200 мкм, а иногда 1–2 мкм. В подавляющем большинстве

случаев для микроосаждения металлов используются маски фоторезиста, реже маскирующие диэлектрические слои. Поскольку материал маски может взаимодействовать с электролитом для гальванопокрытия и загрязнять его, в ряде случаев необходима и целесообразна разработка специальных фоторезистов и других маскирующих покрытий для микроосаждения или же создания специальных электролитов и гальванических процессов, рассчитанных на применение определенного маскирующего покрытия.

В качестве маски при микроосаждении металлов могут быть использованы выпускаемые отечественной промышленностью негативные фоторезисты ФН-11, ФН-11к, ФН-15, ФН-5тк и позитивные ФП-383, ФП-25. Негативные фоторезисты ФН-11, ФН-11к, ФН-15 и ФН-5тк являются хорошей защитной маской при осаждении металлов из любых электролитов при толщине пленки фоторезиста 0,5–1 мкм.

Однако ряд недостатков, в том числе недостаточно высокая разрешающая способность из-за образования вуали отражения (наименьшая ширина линии для ФН-11 составляет 2–3 мкм, а для ФН-5тк—5 мкм) сдерживает широкое применение этих резистов. Позитивные резисты ФП-383 и ФП-25 лишены большинства этих недостатков. Они имеют хорошую адгезию к подложкам, позволяют получать элементы с размерами до 1 мкм (ФП-383) и проявляются в водных растворах (для проявления указанных выше негативных фоторезистов используются ЛВЖ). Вместе с тем эти фоторезисты ни в коем случае не могут применяться для осаждения металлов из щелочных электролитов с рН выше 9–10. Использование их в нейтральных растворах требует особых мер, которые должны сдерживать растворение фоторезиста в электролите и препятствовать появлению так называемых проколов, ореолов и ложных осадений (когда происходит осаждение металла под проемы маски или в местах ее дефектов). Эти меры сводятся к необходимости, во-первых, очень тщательного контроля содержания влаги в фоторезисте и, особенно, на поверхности, на которую фоторезист наносится, так как значительная часть проколов и ложных осадений возникает из-за влаги, делающей пленку фоторезиста более проницаемой для ионов металлов. Во-вторых, необходимо, чтобы толщина слоя фоторезиста была не менее 1–1,2 мкм. Обеспечить эти требования позволяет максимально высокая температура первой термообработки фоторезиста. Поскольку в промышленности используется различное оборудование для фотолитографии, для всех типов установок трудно назвать определенную температуру. Например, для фоторезиста ФП-383 она составляет 110–130 °С. С этой точки зрения наиболее предпочтительно применять установки ИК-сушки фоторезиста. Проявление фоторезиста ФН-383 целесообразно проводить

в растворах едкого кали с фиксированной величиной рН (12,60–12,85) в струйно-душевых установках проявления [1, 2]. Вторую термообработку фоторезиста (после проявления) следует проводить при температурах 130–140 °С. Здесь желательно применять также установки ИК-сушки или термическое оборудование, где создается низкий вакуум. Соблюдение этих условий позволяет уверенно использовать позитивные фоторезисты ФП-383 и ФП-25 в качестве маски в технологических процессах микроосаждения металла. Применение негативных и позитивных пленочных фоторезистов в качестве маски характерно для производства печатных плат, особенно больших размеров. Размеры осаждаемого элемента в этом случае превышают 0,1–0,2 мм.

Особые требования при микроосаждении предъявляются к электролитам: они должны давать максимально чистые, равномерные осадки с минимальными внутренними напряжениями; выход по току в них должен быть близок к 100%, так как даже незначительное снижение выхода по току и выделение водорода приводит к заметному подщелачиванию электролита у катода, разрушению краев маски фоторезиста и осаждению металла под краями маски. Для наиболее часто используемых процессов микроосаждения меди и никеля разработаны специальные электролиты [3], для микроосаждения золотых покрытий – серия фосфатных электролитов, не содержащих органических веществ (ФГС-240, ФСС-340 и ФСТ-315). Эти электролиты позволяют получать покрытия, практически беспористые в слоях более 1,8–2 мкм с содержанием золота 99,96 ± 0,03%. Причем, в рецептуре фосфатных электролитов использованы соединения, максимально снижающие воздействие электролита на защитную маску фоторезиста. Особенно эффективен для микроосаждения электролит ФСТ-315: полученные из него золотые покрытия характеризуются контактным сопротивлением менее  $0,3 \cdot 10^{-3}$  Ом, что в 6–8 раз ниже контактного сопротивления золотых покрытий, полученных из цитратных электролитов золочения [4].

В том случае, когда при микроосаждении металлов необходимо получить осадок с геометрическими размерами, близкими к заданной модели (осадок в виде конуса, полусферы и гриба), используются специальные электролиты [3].

#### Гальванические покрытия элементов корпусов полупроводниковых приборов и ИС

Основная роль, которую играют гальванопокрытия элементов корпусов полупроводниковых приборов, – это обеспечение проведения таких сборочных операций, как припайка (посадка) кристалла в корпус и присоединение выводов с помощью микросварки (термокомпрессии, УЗ-сварки). При сборочных операциях корпус прибора в большинстве случаев подвергается нагреву до температур 420–470 °С, что обуславливает особые требования к

гальваническим покрытиям, используемым в полупроводниковой технологии, и в особенности к золотым покрытиям.

Основными параметрами золотого покрытия, влияющими на качество последующих сборочных операций, являются его твердость, чистота и отсутствие на поверхности пленок соединений, препятствующих обнажению атомночистых слоев в процессе микросварки. Эти параметры становятся исключительно критичными в том случае, если толщина золотого покрытия не превышает 3 мкм; если используются более толстые покрытия, то влияние указанных выше факторов значительно ослабевает [4]. В связи с этим при толщине золотых покрытий элементов корпуса менее 3 мкм необходимо обеспечить минимальную твердость покрытий (не более 80 кг/мм<sup>2</sup>), т.е. содержание золота в покрытиях не ниже 99,90%. Пористость этих покрытий также должна быть минимальной (не более 4–5 пор/см<sup>2</sup>).

Золотые покрытия осаждают на поверхность элементов корпусов полупроводниковых приборов и интегральных схем, как правило, после предварительного никелирования. В этом случае для обеспечения оптимальных условий микросварки минимальная толщина золотого покрытия в точке, где осуществляется микросварное или УЗ соединение, должна быть ~ 2,5 мкм [5].

Получение заданной толщины и определенных свойств покрытия зависит от используемых технологий и режимов нанесения покрытий, типов электролита и оборудования, соблюдения условий чистоты и культуры производства.

Рассмотрим преимущества и недостатки существующих электролитов золочения с точки зрения удобства их эксплуатации и обеспечения указанных выше свойств покрытий, получаемых из этих электролитов.

Цианистые электролиты золочения, в которые золото вводится в основном благодаря растворению золотых анодов, позволяют получать чистые (до 99,90–99,99%) плотные осадки золота. Срок службы этих электролитов ограничен практически только накоплением примесей. Однако малая скорость осаждения золота (0,03–0,13 мкм/мин) и наличие значительного количества сильнее токсического вещества – цианистого калия, входящего в состав электролита, привели к тому, что в промышленности цианистые электролиты используются очень редко.

Цитратные электролиты золочения обеспечивают повышение скорости осаждения золота до 0,25 мкм/мин; в них практически не содержится токсических веществ. Применение этих электролитов дает возможность получать золотые покрытия с твердостью около 70 кг/мм<sup>2</sup>, однако состав электролита и свойства получаемых из него покрытий меняются во времени. В процессе эксплуатации в цитратных электролитах накапливаются продукты анодного превращения цитрат-ионов, которые могут включаться в состав осадка и образовывать на поверхности покрытий специфические слои, затрудняющие процессы микросварки [4]. При этом твер-

дость золотого покрытия может возрасти до 100–110 кг/см<sup>2</sup>, а содержание золота в покрытии снизится до 99,90% и даже ниже. Такое изменение свойств покрытия может весьма отрицательно повлиять на сборочные операции, особенно при использовании малых толщин слоя золота. Кроме того, накопление в электролите продуктов анодного окисления цитрат-ионов и ионов калия может привести к колебаниям выхода золота по току. Скорости осаждения в этом случае будут зависеть от температуры электролита, объемной плотности тока и площади анодов. Поэтому в цитратных электролитах рекомендуется значительно снижать анодную плотность тока, т.е. увеличивать в 2–4 раза площадь анодов по сравнению с площадью загружаемых деталей-катодов. Необходимо также тщательно следить за накоплением органических примесей и ионов калия в электролите и принимать соответствующие меры для их периодического, хотя бы частичного удаления. Такие меры позволяют заметно повысить срок службы цитратных электролитов (съем от 500 г золота с литра до 1000 г золота с литра), однако не могут предотвратить принципиальной ограниченности срока их эксплуатации. Следует отметить, что примеси ряда металлов (меди, никеля, железа), попадающие в цитратные электролиты с изделий, способны существовать в электролите в виде цитратных комплексов и могут включаться в золотое покрытие, изменяя его свойства.

Следует особо отметить, что в состав золотого покрытия могут включаться примеси, существующие в электролите в виде коллоидных частиц посторонних металлов (например, никеля). Образование таких частиц может происходить в местах неплотного контакта деталей друг с другом или подвесками в электролите, что особенно характерно для процесса золочения в барабанах. Понятно, что загрязнение такими частицами имеет место не только при использовании цитратных, но и всех других типов электролитов золочения.

Наиболее целесообразной модификацией электролитов золочения считается введение в них фосфатного буфера (замещенных фосфатов калия) при одновременном повышении содержания цитратов. В этих условиях процесс образования анодных продуктов окисления с большим молекулярным весом, вероятно, протекает медленнее, однако наличие значительного количества цитратов в электролите делает его критичным к примесям. Поэтому прямое золочение в таком электролите никелированных или других изделий может привести к его загрязнению. В этом случае рекомендуется использовать предварительное золочение деталей и изделий, препятствующее контакту электролита с незолоченной поверхностью. Это делает весьма затруднительным локальное золочение. Срок службы цитратно-фосфатных электролитов также принципиально ограничен.

В последнее время разработаны фосфатные электролиты золочения. Такие электролиты, поми-

мо дицианоаурата калия, включают в свой состав фосфатный буфер, восстановитель и микродобавки солей металлов, характеризующихся высоким перепадом напряжения водорода (соли свинца и таллия). Скорость осаждения золота в таких электролитах составляет: 0,25 мкм/мин (для ФГС-240 и ФГС-315) и даже 1,0–1,5 мкм/мин (для скоростного электролита ФСС-340). Выход золота по току постоянный (равный 99 ± 1%), что обеспечивает стабильность скорости осаждения. Содержание золота в покрытиях высокое и составляет 99,96 ± 0,03%, а твердость покрытий 55–70 кг/мм<sup>2</sup>. Фосфатные электролиты защищены от примесей солей тяжелых металлов и не требуют предварительного золочения. Площадь анодов и соотношение площадей анодов и катодов не являются критичными, что особенно важно при использовании приспособлений для локальных видов золочения, где площадь анода ограничивается конструктивно. Теоретически съем золота с одного литра электролита не ограничен и на практике определяется лишь накоплением в электролите посторонних органических примесей. Поэтому при работе с фосфатными электролитами указанного типа следует особое внимание обращать на предотвращение загрязнения электролита органическими примесями, учитывая, что процесс очистки от них с помощью адсорбирующих систем достаточно длителен и трудоемок. Кроме того, следует обращать внимание и на качество реактивов. На практике отмечались случаи изменения цвета и характера осадка из-за применения некачественного серноокислого гидразина, входящего в состав электролита ФГС-240 (электролиты ФСС-340 и ФСС-315 не содержат этого компонента).

Фосфатные электролиты особенно пригодны для различных видов локального, селективного и ориентированного золочения, причем в простейшем случае локальное золочение может быть осуществлено просто контактированием с источником тока только тех областей, на которые необходимо осадить золото. На остальные области при этом осажается плотно сцепленный слой золота толщиной 0,05 мкм. Фосфатные электролиты можно эксплуатировать и без добавок восстановителя. На качество золотого покрытия это не оказывает влияния, но на 15% снижает скорость процесса.

Таким образом, золотые покрытия с содержанием золота не ниже 99,90 и микротвердостью не более 80 кг/мм<sup>2</sup> в принципе можно получать из электролитов золочения различных типов, однако для получения стабильных параметров покрытия целесообразно использовать фосфатные электролиты. Выбор электролита не имеет решающего значения для осуществления сборочных операций только в том случае, если толщина золотого покрытия превышает 3–3,5 мкм. Если толщина золотого покрытия ниже 3 мкм, для локального, селективного, ориентированного золочения, а также для обеспечения удобства эксплуатации ванны предпочтительно использовать один из видов фосфатных электролитов.

### Гальваническое нанесение подслоев металлов на элементы корпусов полупроводниковых приборов

Едва ли не большее значение, чем сами золотые покрытия, имеют гальванические подслои металлов, нанесенные на элементы корпуса полупроводникового прибора. Основная роль подслоев металлов заключается в том, что они служат барьером, препятствующим диффузии металла основы в покрытие. В том случае, если металлом основы служит медь или медные сплавы, диффузия меди в золотое покрытие даже при кратковременном температурном воздействии в процессе сборки прибора в корпусе приведет к появлению на поверхности покрытия черных окислов меди. При этом возникает характерный брак — потемнение покрытия при сборке. Применение никеля в качестве подслоя под золотое покрытие резко тормозит процесс диффузии меди, так как благодаря неограниченной взаимной растворимости этих металлов медь практически полностью задерживается в слое никеля. Необходимо особо отметить, что толщина барьерных слоев никеля не должна быть менее 0,25–0,4 мкм и более 1,0–1,5 мкм [5], поскольку слои малой толщины являются неэффективным барьером, а слои большей толщины имеют микротрещины, через которые металл основы может проникать в покрытие и изменять его свойства.

В технологическом процессе нанесения подслоев необходимо строжайшее соблюдение чистоты. Так, установлено, что наличие в подслое никеля незначительных следов загрязнений (меди, железа и т.п.) резко снижает барьерные защитные свойства. Никелевые покрытия, полученные химическим путем, содержат значительные количества фосфора. Поэтому для создания барьерных слоев никеля предпочтительным является электрохимический процесс с использованием в качестве анодов пластин никеля высокой чистоты (марок Н-0, Н-1у и Н-1).

В технологии создания барьерных слоев никеля следует также предусматривать операции периодической "проработки" электролита никелирования для освобождения его от примесей, содержащихся в исходных солях и в воде.

При температурах около 450°C начинается заметная диффузия никеля в золото. Это приводит к образованию на поверхности золота темного слоя окислов никеля, в результате чего повышается твердость покрытия (что, как сказано выше, весьма нежелательно), а также заметно ухудшается тепло- и электропроводность золотого слоя. Такое явление не только препятствует успешному осуществлению последующих сборочных операций, но и может отрицательно сказаться на параметрах собранного в корпусе прибора. Во избежание этого увеличивают толщину золотого покрытия до 5–6 мкм на корпусах мощных полупроводниковых приборов и на корпусах, в которых собирается несколько кристаллов, во всех случаях, где по каким-либо причинам тепловое воздействие на покрытие при сборке прибора растянуто во времени или происходит при повышенных температурах. Однако, это не решает

вопросов, связанных с уменьшением теплового сопротивления покрытия.

Проведенные исследования показали, что в системе покрытия корпуса можно использовать барьерный слой Pd, задерживающий никель. В этом случае оказалось возможным практически полностью остановить диффузию никеля в золотое покрытие и обеспечить успешную сборку прибора в корпус при уменьшенной в два раза толщине золотого покрытия (Зл-2). При этом тепловое сопротивление собранного прибора оказывается примерно на 5–7% ниже, чем тепловое сопротивление идентичного прибора, собранного в корпусе, где толщина золотого покрытия составляет 3,5–4 мкм. Торможение диффузии никеля из подслоя в золотое покрытие можно осуществить, используя в качестве подслоя не чистый никель, а сплавы никеля с металлами и металлоидами, а также другие металлы, которые значительно медленнее, чем никель, диффундируют в покрытие. При этом особое внимание должно быть обращено на то, чтобы из-за образования интерметаллических соединений не увеличивалось электрическое и тепловое сопротивление комбинированного покрытия и не ухудшались его механические и антикоррозионные свойства. Последние, как правило, обуславливаются не золотым покрытием, а подслоем.

Разработка подслоев и технологических методов их нанесения является перспективным направлением для снижения толщины золотого покрытия корпуса и уменьшения расхода золота при одновременном повышении качества и надежности прибора.

### Технологические методы и оборудование для нанесения золотых покрытий

Один из первых технологических методов золочения — золочение "внавязку", при котором изделия навязываются в гирлянды и подвешиваются в гальваническую ванну. При использовании этого метода толщина покрытия на отдельных образцах из-за взаимного их маскирования может отличаться больше, чем в 2 раза, а в результате неравномерного распределения плотности тока по гирлянде появляется специфический брак — потемнение покрытия, так называемый подгар. Большим недостатком этого метода является ощутимый (до 20% от полезного расхода) расход золота на покрытие контактных приспособлений. И если равномерность осаждения и плотность тока может быть в какой-то мере выравнена с помощью вращающегося карусельного катода, то высокий процент возвратимых отходов делает способ золочения "внавязку" не экономичным.

Возвратимые отходы оказались возможным снизить до 10–12% при использовании технологии золочения в барабанах. В то же время эта технология, широко применяемая в настоящее время, характеризуется достаточной простотой исполнения и представляет собой процесс прерывистого электролиза, где в каждый данный момент времени только доля изделий покрывается золотом. При осуществлении контактирования на отдельных микроучастках изделий проходят анодные процессы, приводящие к появлению непокрытых мест, черных точек,

шелушению и других дефектов. Распределение толщины покрытия на изделиях при золочении в барабане подчиняется статистическим закономерностям. Таким же закономерностям подчиняется и распределение толщины наносимого покрытия на отдельных электрически изолированных участках каждого изделия, причем оно зависит от конструктивных особенностей изделия. Это приводит к следующему. Если для обеспечения оптимального проведения сборочных операций толщина золотого покрытия корпуса в точках микросварки должна составлять 2,0–2,5 мкм, то средняя толщина покрытия партии изделий при золочении в барабанах обязательно должна быть выше, так как в противном случае в результате проведения золочения в барабане значительный процент корпусов будет иметь толщину покрытия меньшую, чем 2–2,5 мкм, и выход годных изделий на операции сборки снизится. Кроме того, толщина золотого покрытия всегда выше на выводе, электрически соединенном с фланцем (из-за большой площади контактирования), что приводит к заметному уменьшению толщины покрытия на изолированных выводах одного и того же корпуса. Из сказанного выше следует, что процесс золочения в барабанах является отнюдь не самым технологичным и далеко не экономичным с точки зрения расхода драгоценного металла.

Наиболее перспективными представляются различные методы локального золочения: локально-струйное, локально-селективное (локально-дифференцированное) и локально-ориентированное. Названные технологические методы используются при нанесении необходимого количества золота только на те участки корпуса прибора, на которые непосредственно проводится посадка кристалла или осуществляется микросварное соединение. Остальные участки корпуса не покрываются золотом (локально-струйное золочение) или покрываются более тонким слоем. При использовании локальных методов золочения прежде всего может быть достигнут эффект заметного снижения расхода золота без ущерба для качества и надежности изделия.

При локально-струйном золочении струя электролита попадает на определенный участок элемента корпуса полупроводникового прибора или выводной рамки ИС и осуществляется процесс струйного электролиза. Скорости этого процесса в несколько раз выше, чем при обычных методах осаждения. Однако из-за распыления электролита происходят безвозвратные потери золота (до 10–15%) вследствие покрытия торцевых частей выводных рамок. Поэтому для сборки ИС иногда целесообразнее использовать выводные рамки, плакированные золотой полосой, чем применять их локально-струйное золочение. Во всех случаях при выборе конкретного метода необходимо проводить экономический расчет, в котором надо принимать во внимание, с одной стороны, все преимущества и недостатки локально-струйного метода, а с другой, — преимущества и недостатки плакированной ленты.

Локально-селективное (локально-дифференцированное) золочение основано на применении разного вида экранов между анодом и изделием. Локально-селективное золочение обеспечивает мак-

симальную толщину золотого покрытия на участке детали, расположенном против отверстия в экране. Таким образом, большим преимуществом локально-селективного золочения является его способность компенсировать конструктивные недостатки отдельных изделий. Например только с помощью локально-селективного метода можно получать более толстые слои золота в углублениях детали, чем на выступающих участках. Локально-селективное золочение может осуществляться на оборудовании различных конструкций: с внутренними анодами и наружным контактированием или с наружными анодами и внутренним контактированием изделий. Основной недостаток указанного метода — вероятно, несколько повышенная трудоемкость монтажа покрываемых изделий в приспособлении, что, однако, вполне может быть компенсировано созданием специальных загрузочных устройств. Наиболее эффективно применение локально-селективного и локально-ориентированного золочения в скоростном фосфатном электролите ФСС-340, где длительность процесса не превышает нескольких минут. В этом случае появляется возможность создания непрерывно действующих автоматизированных устройств.

Локально-ориентированное золочение не предполагает, в отличие от локально-селективного, использование каких-либо экранов. Получение максимальной толщины золотого покрытия в заданных точках достигается ориентированным расположением образца в ванне по отношению к аноду, так что плотности тока на отдельных участках изделий различаются в несколько раз. При этом необходимо использовать электролиты, обеспечивающие в широком диапазоне плотностей тока получение покрытий требуемого качества. Одним из видов локально-ориентированного золочения является способ, при котором осуществляется выборочное контактирование в течение того или иного времени определенных участков изделия. Этот способ особенно пригоден для корпусов мощных приборов, где нет необходимости покрывать золотом теплоотвод (винт), электрически изолированный от выводов.

Локальные методы золочения как наиболее прогрессивные и экономичные могут дать максимальный эффект в сочетании с электролитами и новыми подслоями, о которых сказано выше. Но было бы в корне неправильно рассматривать широкое использование локальных методов золочения в отрыве от технологических процессов сборки и конструкции сборочного оборудования. Если сборочное оборудование не обеспечивает проведения операции посадки кристалла в защитной среде и не исключает перегрева отдельных частей корпуса, никакие методы локального золочения не будут эффективными.

Техническая возможность избежать нанесения золотых покрытий на отдельные элементы корпусов, которые не выполняют функций электрического контактирования (например, на массивные теплоотводы — винты корпусов мощных транзисторов), не может быть широко реализована в производстве, если сборка таких приборов не будет проводиться в защитной среде во избежание окисления

этой части корпуса. Такое сборочное оборудование и его эксплуатация в защитной среде более сложны, но это компенсируется достигаемой экономией драгоценного металла.

#### Повышение культуры производства в гальванических цехах

Высокие требования к культуре производства, чистоте и вакуумной гигиене в сборочных цехах предприятия, выпускающих полупроводниковые приборы и интегральные схемы, общеизвестны. Однако гальванические цехи как бы оказываются вне сферы тщательного контроля, что наносит ущерб всему производству в целом. Загрязнения, попадающие в гальванические ванны из воздуха, из химических реактивов, из материала футеровки ванны, из недостаточно чистых анодов, из контактных устройств, из воды, качеству которой не уделяется должного внимания, — приводят к загрязнению покрытий. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на выходе годных изделий при сборочных операциях или требует для сохранения процента выхода даже увеличения толщины золотого покрытия по причинам, о которых сказано выше. Поэтому наряду с широким использованием локальных методов золочения в новых электролитах с применением эффективных барьерных подслоев, совершенствованием и модернизацией сборочного оборудования и технологических процессов сборки, направленных на экономию золота, значительный эффект может дать повышение чистоты исходных материалов. К числу таких материалов относятся никелевые сплавы, в первую очередь, ковар. Применение ковара с минимальными примесями меди и других металлов, полировка поверхности (10—11 класс чистоты) позволяют уменьшить на 10—15% толщину золотого покрытия, минимально необходимую для микросварки [4]. Уменьшение содержания примесей в исходных сырьях способствует также продлению срока службы электролита.

Важным фактором экономии является создание надежного оборудования для гальванопокрытий, отвечающего всем требованиям чистоты в полупроводниковой технологии. При мелкосерийном производстве представляется весьма удобной для осуществления операции золочения установка ЖКМ-3-210-015, обеспечивающая проведение процесса в защитном скафандре с ламинарным потоком. Объем электролита составляет 5—10 л. Катод установки вращается. Установка может работать с двумя объемами электролита, причем пока один объем используется для осаждения золота, другой в это время анализируется и корректируется.

Малый объем ванн золочения позволяет также получить определенную экономию за счет уменьшения неснижаемого остатка. Весьма целесообразна замена золотых анодов платиново-титановыми с малым содержанием платины.

Электролиты золочения, которые редко нуждаются в регенерации, тоже способствуют экономии золота за счет ликвидации потерь при регенерации. Решение вопроса о радикальном сокращении расхода золота в технологии полупроводниковых прибо-

ров и ИС, на наш взгляд, полностью зависит от создания новых методов сборки приборов без использования эвтектического сплава золото-кремний. Можно предположить, что в этом случае отпадает принципиальная необходимость золотого покрытия корпуса для ряда типов приборов.

#### Гальванические покрытия для защиты от коррозии корпусов полупроводниковых приборов и ИС

Конструкция большинства металлостеклянных корпусов предусматривает наличие гибких выводов. Поэтому антикоррозионные покрытия на них должны быть минимальными по толщине и эластичными. Для защиты от коррозии таких корпусов в подавляющем большинстве случаев используются покрытия оловом или его сплавами с висмутом, свинцом и т.д. В некоторых случаях предпочтение отдают блестящим или полублестящим оловянным или сплавным покрытиям.

На металлокерамических корпусах, не имеющих гибких выводов, в качестве антикоррозионного применяется двухслойное никелевое покрытие.

Следует обратить внимание на характерный только для полупроводникового производства путь повышения коррозионной стойкости корпусов — создание в процессе изготовления корпуса термодиффузионного покрытия на поверхности. Так, на практике оказалось, что многослойное никелирование с промежуточными термическими обработками образует на поверхности корпуса слои повышенной коррозионной стойкости. Вместе с тем, в ряде случаев вместо нанесения покрытия оказывается более экономичным заменить материал элемента корпуса на коррозионностойкий. Однако нам представляется, что основное направление борьбы с коррозией должно заключаться не в создании новых гальванических покрытий корпусов отдельных приборов, а в защите от коррозии целых блоков и узлов аппаратуры с помощью органических материалов, так как это направление является не только технически эффективным, но и экономичным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование некоторых физико-химических свойств негативных фоторезистов/Ерусалимчик И.Г., Кривенко А.Ф., Кузнецова Т.И., Крейман Р.И. — Электронная техника. Сер.2, 1974, вып.7, с. 86.
2. Исследование физико-химических свойств позитивных резистов/Динсбург В.А. и др. — Электронная техника. Сер.2, 1972, вып. 7, с. 17.
3. Процессы микроосаждения металлов при изготовлении балочных выводов/Соколова Г.П. и др. — Электронная техника, Сер.2, 1974, вып. 8, с. 105.
4. Ерусалимчик И.Г., Верников М.А. Влияние свойств гальванических осадков золота на качество микросварочных соединений. — Электронная техника. Сер. 2, 1978, вып. 3, с. 107.
5. Паноузис Н.Т., Холл П.М. Влияние толщины электролитических слоев золота и никеля на прочность и надежность внешних выводов, присоединяемых с применением термокомпрессии. — Электроника, 1977, № 42, с. 20.
6. Напук Э.З. Некоторые закономерности золочения из кислото-дицианзуратного электролита. — Электрохимия, 1977, т. 8, вып. 2, с. 230.

К. Ю. Климашаускас, В. - К. Ю. Шеркувене,  
С. С. Янушонис

## САМОФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

УДК 621.3.049.77.002:776

В планарной технологии области различного типа проводимости формируются при помощи локального внедрения примеси, конфигурация областей задается фото- или электронолитографией.

Несмотря на существенные различия в технике фото- и электронолитографии, общим для них является принцип получения рисунка. Окончательная геометрия рисунка (на фоторезисте или в маскирующем слое) формируется путем линейной трансформации исходного рисунка с плоскости  $z = 0$  на параллельную ей плоскость  $z = z_0$ . Принципиальный недостаток такого способа — необходимость многократного перенесения рисунков с обязательным их совмещением.

Линейная трансформация рисунка не является единственным или самым лучшим способом его получения на плоскости  $z = z_0$  [1]. Трансформации время—пространство и ортогональные трансформации позволяют отказаться от классических технологических приемов и перейти к самоформированию, т.е. к созданию структур, геометрия и местоположение которых определяются технологическими процессами [2].

Рассмотрим несколько способов изготовления транзисторных структур, основанных на трансформациях  $t \rightarrow x$  и  $z \rightarrow x$  [3, 4].

Самый элементарный способ, реализующий трансформацию  $t \rightarrow x$ , показан на рис. 1. На полупроводниковую подложку 1 наносится легирующий слой 2 и фоторезист 3 (рис. 1, а). При помощи фотолитографии формируется локальный слой фоторезиста 3 с конфигурацией будущей диффузионной области (рис. 1, б). Далее травлением создается структура в слое 2 (рис. 1, в). Фоторезист удаляется, направленным нанесением создается защитный слой 4 и проведением диффузии примеси из легирующего слоя 2 формируется область 5 (рис. 1, г). При помощи селективного травления получают участки 6 (рис. 1, д), и частичным травлением защитного слоя окончательно вскрывают окна 7 (рис. 1, е).

В случае, когда легирующий и защитный слои не обладают достаточной селективностью травления, возможно применение дополнительного (маски-

рующего) слоя, как показано на рис. 2. На полупроводниковую подложку 1 наносятся легирующий 2 и маскирующий 3 слои и слой фоторезиста 4 (рис. 2, а). При помощи фотолитографии формируется локальная область фоторезиста 4 (рис. 2, б), а травлением маскирующего и легирующего слоев — технологическая структура 2, 3 (рис. 2, в). Затем наносится защитный слой 4 (рис. 2, г), проводится диффузия из легирующего слоя и формируется диффузионная область 5 (рис. 2, д). Маскирующий слой селективно подтравливается, после чего селективно вытравливается легирующий слой и частично — защитный. В результате получают два самосовмещенных окна 6 с диффузионной областью 5 (рис. 2, е). Этот способ также реализует трансформацию  $t \rightarrow x$ .

В приведенных примерах изготовления транзисторных структур защитный слой, полученный направленным процессом, одновременно является и изолятором для металлизации. Во многих случаях для этой цели более удобно применять термический окисел, однако при этом один из слоев должен обладать экранирующими свойствами против окислителей, иначе необходимо нанесение еще одного слоя — экранирующего (рис. 3). На полупроводниковую пластину 1 наносятся легирующий 2, экранирующий 3 и маскирующий 4 слои и слой фоторезиста 5 (рис. 3, а). При помощи фотолитографии формируется локальная область фоторезиста 5 (рис. 3, б). Проводится травление маскирующего, экранирующего и легирующего слоев в травителе, в котором скорость травления экранирующего слоя 3 меньше скорости травления маскирующего слоя 4 (рис. 3, в). Далее фоторезист 5 снимается и получается объемная технологическая структура определенной геометрии. Область 6 формируется диффузией (рис. 3, г). Затем проводится термическое окисление и, так как экранирующий слой не пропускает окислителя, термический окисел 7 образуется только вокруг структуры. Участки слоя 3, не прикрытые слоем 4, а далее слоя 2, не прикрытые слоем 3, удаляют селективным травлением. В результате создаются окна 8, самосовмещенные с диффузионной областью 6 (рис. 3, д). В данном случае используется трансформация  $z \rightarrow x$ .

Последний способ может быть использован для формирования области  $p$ -типа проводимости на кремниевой подложке  $n$ -типа и двух самоформирующихся окон в маскирующем слое, совмещенных с областью  $p$ -типа, и называется объемной фотолитографией, то есть при проведении процессов используется трехмерность геометрии технологической структуры. В качестве легирующего слоя применяется боросиликатное стекло с определенным содер-

жанием бора и заданной скоростью травления, экранирующим слоем служит алюмосиликатное стекло с определенным коэффициентом экранирования от окислителя при высоких температурах и заданной скоростью травления, маскирующим слоем — силикатное стекло с выбранной скоростью травления. Процесс перенесения конфигурации базовой области с фотошаблона на кремниевую пластину нетрудоемко, так как размеры ее обычно составляют микронны или десятки микрон.

После травления маскирующего, экранирующего и легирующего слоев получается технологическая структура, показанная на рис.4, внутренний четырехугольник которой представляет собой часть структуры, прикрытую маскирующим слоем, а полоска, расположенная по периметру, состоит из боросиликатного и алюмосиликатного стекол.

Далее пластина подвергается термической высокотемпературной обработке, во время которой из легирующего слоя происходит диффузия бора и

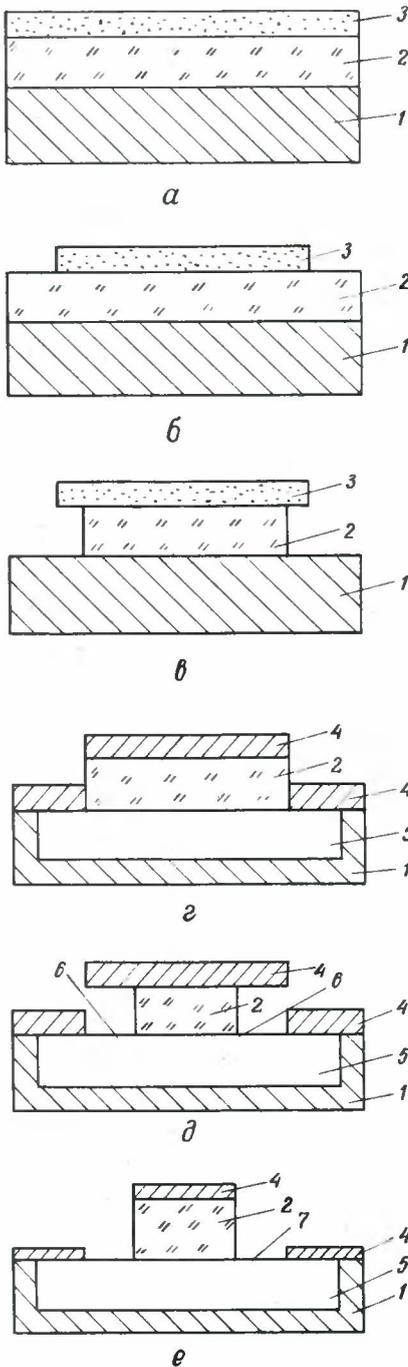


Рис. 1. Получение самосовмещающихся с диффузионной областью окон. Трансформация  $t \rightarrow x$

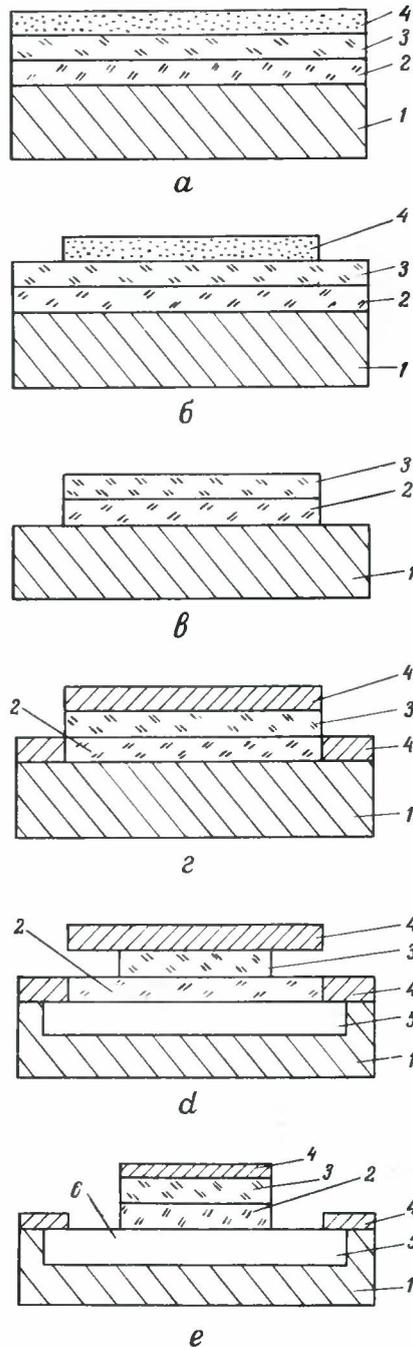


Рис. 2. Получение на двухслойном материале двух самосовмещающихся с диффузионной областью окон. Трансформация  $t \rightarrow x$

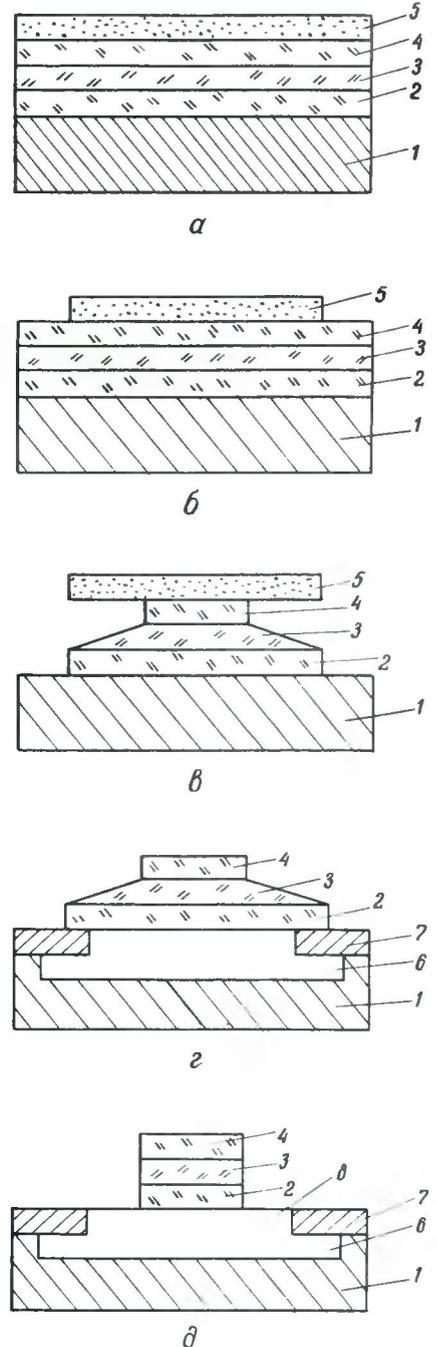


Рис. 3. Получение на трехслойном материале двух самосовмещающихся с диффузионной областью окон. Трансформация  $z \rightarrow x$

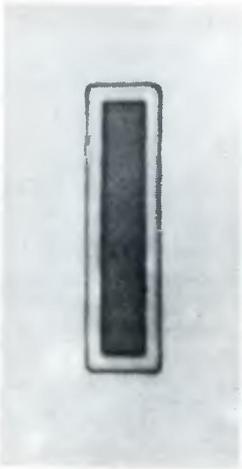


Рис. 4. Технологическая структура из трехслойного диэлектрика (сформированный источник базы)

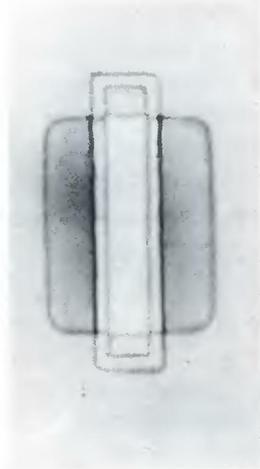


Рис. 5. Структура с двумя открытыми самосовмещающимися окнами

формируется область базы, и термическому окислению.

После нанесения слоя силикатного стекла проводится вторая фотолитография. Рисунок на фотошаблоне представляет собой окно, размеры которого того же порядка, что и размеры базовой области. Цель фотолитографии — прикрыть концы технологической структуры при вытравливании окон, поэтому к точности совмещения особые требования не предъявляются.

После вытравливания окна в силикатном стекле осуществляется селективное травление участков технологической структуры, не прикрытых маскирующим слоем или окислом на концах структуры. В результате получаем окна (рис.5), ширина которых пропорциональна ширине полоски на технологической структуре.

Случайное отклонение конфигурации базы не приводит к закорачиванию, так как окно повторяет заданную конфигурацию базы.

Объемная фотолитография по своей разрешающей способности аналогична электролитографии, однако в этом методе совмещение рисунков не является обязательным. Метод позволяет получать окна в маскирующем слое шириной 0,3–3,0 мкм, самосовмещенные с областью  $p$ -типа проводимости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Янушонис С.С. Применение метода самоформирования для получения планарных структур. — См. наст. вып.
2. Янушонис С.С. Новые аспекты самоформирования структур. — Микрoэлектроника, 1977, т. 6, вып. 6.
3. Патент Великобритании № 1498159, 1975.
4. Патент США № 4069074, 1976.

В.П. Волк, С.А. Неустроев,  
С.М. Фокина, В.Г. Яковенко

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИС С МИКРОННЫМИ И СУБМИКРОННЫМИ РАЗМЕРАМИ

УДК 621.3.049.77.002

Получение микронных и субмикронных структур — одно из главных направлений развития технологии интегральных схем. Наряду с применением таких традиционных методов изготовления ИС малых размеров, как электроно- и рентгенолитография, требующих сложного оборудования, разрабатываются принципиально новые методы, основанные на самоформировании структур [1–4]. Примером метода, позволяющего получить субмикронные элементы ИС, является метод самоформирования микрoэлектронных структур [4], согласно которому необходимая геометрия элементов получается в результате взаимодействия нескольких однородных плоских слоев с жидкими травителями.

Первоначальные размеры и свойства слоев (толщину, профиль по нормали к поверхности, скорость травления, коэффициенты экранирования, маскирования, легирования и др.), а также стойкость слоев к травителям можно рассматривать как исходные данные для получения в результате указанных взаимодействий необходимых свойств и размеров. Большой интерес представляет изучение процесса самоформирования полупроводниковых структур в плазме активного газа.

Описываемый в данной работе метод формирования субмикронных элементов ИС основан на локальном плазмохимическом травлении материала с использованием металлических маскирующих покрытий, устойчивых к действию галогеносодержащей плазмы, напыленных на рельефную поверхность подложки. Известно, что при нанесении металлических пленок на рельефные поверхности толщина пленок на поверхности ступеньки получается меньше и с большим числом дефектов (сквозных отверстий), чем на плоских участках. При высоте ступеньки рельефа, значительно превышающей толщину маскирующего металлического покрытия, и при отвесной форме ступеньки может иметь место обрыв маскирующего покрытия на ней. Кроме того, при обработке подложек с рельефной поверхностью в активной газовой плазме создаются предпочтитель-

ные условия для травления материала в области ступеньки рельефной поверхности, обусловленные зависимостью коэффициента распыления материала от угла падения активных частиц на мишень:  $S_{\alpha} = S_0 \cdot \sec \alpha$  [5].

Для формирования рельефной поверхности на кремниевой подложке достаточно вытравить канавки на глубину 0,15 мкм. В планарной технологии изготовления кремниевых интегральных схем такой рельеф образуется после формирования в окислительной среде локальных диффузионных областей (например, областей скрытого слоя, коллекторных контактов и других) и удаления маскирующего диэлектрического покрытия.

В данном случае рельефная поверхность формировалась следующим образом. На кремниевой пластине *n*- или *p*-типа выращивался слой двуокиси кремния толщиной 0,15–0,6 мкм, неустойчивый к действию активной галогеносодержащей плазмы. Затем методом фотолитографии в диэлектрике вытравливались окна или канавки. На изготовленную таким образом рельефную подложку напылялись маскирующие металлические пленки (хром, никром, алюминий) разной толщины.

Представленные на рис.1–3 фотографии скола кремниевой пластины, сделанные на сканирующем электронном микроскопе, иллюстрируют динамику локального травления материала в плазме в области ступеньки рельефной поверхности. Ступенька представляет собой клин травления двуокиси кремния толщиной 0,5 мкм, полученный методом фотолитографии и имеющий угол наклона к поверхности примерно  $45^{\circ}$ . На подложку с рельефом в вакууме наносится пленка хрома толщиной 0,1 мкм. После 25 мин обработки в активной газовой плазме  $CF_4 + O_2$  хром удаляется с поверхности ступеньки, часть клина двуокиси кремния вытравливается и начинается травление кремния — момент начала формирования узкой канавки в нем (см.рис.2).Травление кремния начинается не по всей поверхности клина травления, а очень узким фронтом, практически с точки. Такой механизм локального травления наблюдается при любой форме ступеньки рельефной поверхности и любой толщине маскирующего покрытия. После 30 и 35 мин травления в плазме узкая канавка имеет глубину 0,5 и 1,5 мкм, ширину 0,2 и 0,5 мкм соответственно (см.рис.3).

Время начала травления узких канавок в области клина травления диэлектрика зависит также от толщины напыленного маскирующего покрытия. Так, при толщине пленки хрома 0,35 мкм, напыленной на подложку кремния с рельефной поверхностью, полученной методом фотолитографии на пленке двуокиси кремния толщиной 0,5 мкм

(рис.4), узкая канавка в кремнии появляется после 90 мин обработки подложек в ВЧ плазме (рис. 5). При исследовании влияния высоты рельефа на начало травления узких канавок было установлено, что травление кремния начинается при минимальной высоте ступеньки 0,15 мкм.



Рис. 1. Клин травления двуокиси кремния после 15 мин обработки в плазме  $CF_4 + O_2$ . Увеличение  $\times 45000$



Рис. 2. Клин травления двуокиси кремния после 20 мин обработки в плазме  $CF_4 + O_2$ . Увеличение  $\times 45000$

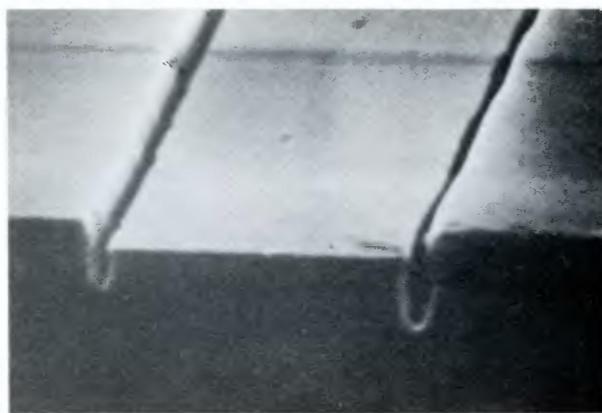


Рис. 3. Узкие канавки в кремнии, вытравленные по контуру клина травления двуокиси кремния. Увеличение  $\times 9000$

При отвесной форме ступеньки рельефа (клин травления приближается к  $90^\circ$ ) заметно проявляется теневой эффект — неравномерное запыление ступенек рельефной поверхности при вакуумном напылении материала из неподвижного источника на

произвольно ориентированную по отношению к источнику подложку. В зависимости от ориентации пластины по отношению к источнику напыляемого материала параллельные и перпендикулярные ступеньки фотолитографического рисунка запыляются



Рис. 4. Клин травления двуокиси кремния с напыленной пленкой хрома. Увеличение  $\times 19500$



Рис. 7. Канавки в кремниевой подложке, вытравленные в плазме по контуру клина травления двуокиси кремния при косом запылении ступеньки металлом. Увеличение  $\times 15300$

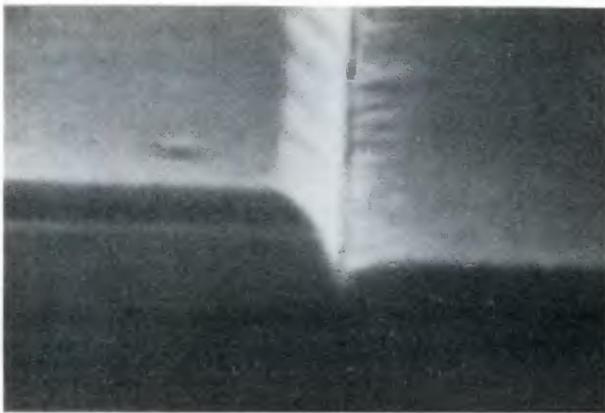


Рис. 5. Начало локального травления материала в области клина травления двуокиси кремния через маску хрома



Рис. 8. Канавка в кремниевой подложке, ориентированной в направлении  $\langle 100 \rangle$ . Время обработки в плазме 80 мин. Увеличение  $\times 12000$



Рис. 6. Канавки в кремниевой подложке, вытравленные в плазме по контуру клина травления двуокиси кремния при косом напылении металлической маски (обрыв маски на рельефе). Увеличение  $\times 15200$



Рис. 9. Канавка в кремниевой подложке, ориентированной в направлении  $\langle 111 \rangle$ . Время обработки в плазме 65 мин. Увеличение  $\times 19800$

или не запыляются. Соответственно и размеры узких канавок при плазмохимическом травлении с использованием такой маски различны. На рис. 6 и 7 показаны фотографии канавок, полученных на одной пластине во взаимно перпендикулярных направлениях. На пленке хрома толщиной 0,1 мкм видны разрывы на ступеньке двуокиси кремния в одном направлении. В этих местах травление проходило интенсивно (см. рис. 6), в то время как в перпендикулярном направлении ступенька запылялась хромом и травление было замедленным (см. рис. 7). Влияние теневого эффекта тем больше, чем отвеснее форма ступеньки, больше высота рельефа и меньше угол напыления материала на подложку.

Достичь равномерного покрытия маскирующими металлическими пленками поверхности ступенек рельефа и избежать нежелательного влияния теневого эффекта можно, применив метод вакуумного напыления маскирующей пленки в установке со сферическим подложкодержателем и поместив источник напыляемого материала в центр сферы.

При травлении узких канавок в кремниевых подложках различной ориентации выяснилось, что величина бокового растравливания канавок в подложке, ориентированной в направлении  $\langle 100 \rangle$  (рис. 8), примерно в 2 раза меньше, чем при ориентации  $\langle 111 \rangle$  (рис. 9): в первом случае она составляла 0,25 мкм на сторону при глубине канавки 2,5 мкм, во втором — 0,6 мкм при глубине канавки 2,8 мкм. Режимы травления в обоих случаях были аналогичны.

Все вышеописанные эксперименты осуществлялись в плазме тлеющего разряда с применением емкостного способа возбуждения плазмы. При травлении кремния в плазме с индуктивным разрядом форма канавки приобретает вид, представленный на рис. 10.



Рис. 10. Канавка в кремниевой подложке, вытравленная по контуру клина травления двуокиси кремния. Травление в плазме с индуктивным разрядом. Увеличение  $\times 22000$

Узкие канавки в кремнии нашли применение в технологии изготовления ИС, например, для создания изоляции активных компонентов диэлектрическими областями микронных и субмикронных размеров [6, 7]. После вытравливания узкой канавки в определенной области кремниевой подложки пластину подвергают термическому окислению на такую толщину окисла кремния, чтобы стенки канавки сомкнулись.

Метод локального плазмохимического травления с использованием маскирующего покрытия, напыленного на рельефную подложку, можно применить для вытравливания субмикронных отверстий в диэлектрических покрытиях. В этом случае рельеф на подложке создается либо вытравливанием углублений в диэлектрической пленке, либо двухслойной диэлектрической композицией, одним из слоев которой является легированный диэлектрик требуемой конфигурации для формирования диффузионных областей в подложке, а вторым — маскирующее сплошное диэлектрическое покрытие. К плазмохимическому процессу предъявляется требование избирательности травления двуокиси кремния по отношению к кремнию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США, № 3.761.264, 1973.
2. Патент Японии № 48-31379, 1973.
3. Патент ГДР № 121.429, 1973.
4. Янушони С.С. Новые аспекты самоформирования структур. — Микроэлектроника, 1977, т. 6, вып. 6.
5. Holland L., Priestland C.R.D. The influence of sputtering and transport mechanisms on target etching and thin film growth in rf systems. — "Vacuum", 1972, v. 22, N 4.
6. Патент Японии № 50-8316, 1975.
7. Патент Японии № 50-23277, 1975.

Статья поступила 12 апреля 1979 г.

·ЭП·
РЕКЛАМА

НОВАЯ КНИГА

**ВВЕДЕНИЕ  
В ИНТЕГРАЛЬНУЮ ОПТИКУ**

Ж. Клэр

Пер. с франц. М.: Советское радио, 1980,  
7 л., 21000 экз.

Книга посвящена новому направлению в современной радиоэлектронике — интегральной оптике. Рассмотрены свойства оптических волокон, плоские световоды, ввод излучения в волокно и пленку, модуляторы, детекторы. Содержится материал справочного характера. Предназначена для широкого круга инженерно-технических работников.

С. С. Янушонис

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА САМОФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР

УДК 621.3.049.77.002

Планарную структуру можно рассматривать как пространство, ограниченное двумя параллельными плоскостями (поверхностью подложки и  $p-n$  переходом) и окруженное цилиндрической поверхностью произвольной формы (рис. 1).

Расстояние между плоскостями определяется процессом диффузии примеси и зависит от начальных и граничных условий этого процесса: концентрации примеси, времени и температуры диффузии, энергии ионов и т.п. Цилиндрическая поверхность формируется при диффузии примеси одновременно с получением  $p-n$  перехода и также является  $p-n$  переходом. Конфигурация этой поверхности задается маской. Соответствующая конфигурация структуры создается с помощью фотолитографии, электролитографии или методом самоформирования (рис. 2, а, б, и в соответственно).

При использовании фотолитографии (см. рис. 2, а) задается функция  $F(x, y) = 0$ , которая определяет конфигурацию будущей структуры, т.е. кривую основания цилиндрической поверхности. При помощи координатографа эта функция реализуется на оригинале фотошаблона. Затем рисунок уменьшается с одновременным переносом его на фотошаблон, после чего воспроизводится на маскирующем слое, в котором формируются окна с конфигурацией, соответствующей функции  $F(k_1x, k_2y) = 0$ , являющейся линейной трансформацией функции  $F(x, y) = 0$ .

В электролитографии (см. рис. 2, б) также задается функция  $F(x, y) = 0$ , однако она непосредственно реализуется в отклонении электронного луча, и на пластине получается конфигурация, соответствующая функции  $F(k_1x, k_2y) = 0$ .

Для обоих способов характерным является априорное задание геометрии в виде функции  $F(x, y) = 0$  для каждой последовательно формируемой структуры и обязательное совмещение при переносе изображения с одного объекта на другой.

Однако априорное задание геометрии структуры с переносом изображения не является обязательным при использовании метода самоформирования (см. рис. 2, в). Известно, что движение, происходящее в реальном пространстве, может быть описано при помощи дифференциальных уравнений. Решением этих уравнений является функция времени и координат  $F(x, y, z, t) = 0$ . В одномерном случае уравнение записывается в виде  $dx = v(x, t) dt$ . Если под скоростью  $v(x, t)$  понимать скорость распространения процесса в пространстве (границы раздела фаз при травлении, заданной концентрации вещества при диффузии и т.д.), то возможны трансформации  $x \rightleftharpoons t$ , т.е. получение размера, пропорционального продолжительности процесса, либо осуществление событий в моменты времени, пропорциональные размерам. Примеры подобной трансформации общеизвестны. Например, при поперечном травлении под маской осуществляется трансформация  $t \rightarrow x$  (рис. 3), такая же трансформация определяет глубину залегания диффузионных слоев. При вскрытии окон, закрытых пленкой разной толщины, реализуется трансформация  $x \rightarrow t$ , и окна вскрываются в разные моменты времени, пропорциональные толщине пленки (рис. 4). В одномерном случае это единственно возможные трансформации. С использованием двумерности процессов становятся возможными ортогональные трансформации:  $x \rightleftharpoons y$ ,  $x \rightleftharpoons z$ ,  $y \rightleftharpoons z$ . Примером реализации ортогональной трансформации  $z_1 \rightarrow x$  служит травление под одной маской слоев двухслойной композиции с разными скоростями (рис. 5), при котором расстояние между краями слоев

где  $v_1, v_2$  — скорости травления соответствующих слоев;  $z_1$  — толщина нижнего слоя. В трехмерном пространстве возможны более сложные трансформации, такие как  $F(x, y) \rightleftharpoons z$ ,  $F(x, z) \rightleftharpoons \phi(y, t)$  и т.д.

$$x = \frac{v_2}{v_1} z_1,$$

где  $v_1, v_2$  — скорости травления соответствующих слоев;  $z_1$  — толщина нижнего слоя. В трехмерном пространстве возможны более сложные трансформации, такие как  $F(x, y) \rightleftharpoons z$ ,  $F(x, z) \rightleftharpoons \phi(y, t)$  и т.д.

Трансформации время — пространство и ортогональные трансформации позволяют отказаться от классических технологических принципов и использовать принцип самоформирования, который предполагает априорное задание геометрии структуры в виде функции только для первой структуры (при частичном самоформировании — для отдельных структур). Геометрия остальных структур формируется в процессе взаимодействия имеющейся структуры со средой как по априорной информации, заложенной в физические параметры структуры, так и по апостериорной, появившейся в структуре при ее формировании (см. рис. 2, в). Это обстоятельство обеспечивает корреляцию между конфигурациями контуров близлежащих структур.

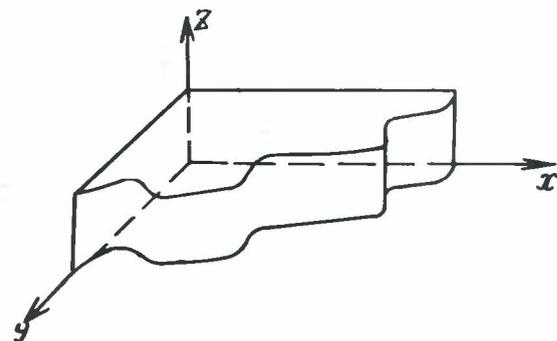


Рис. 1. Планарная структура

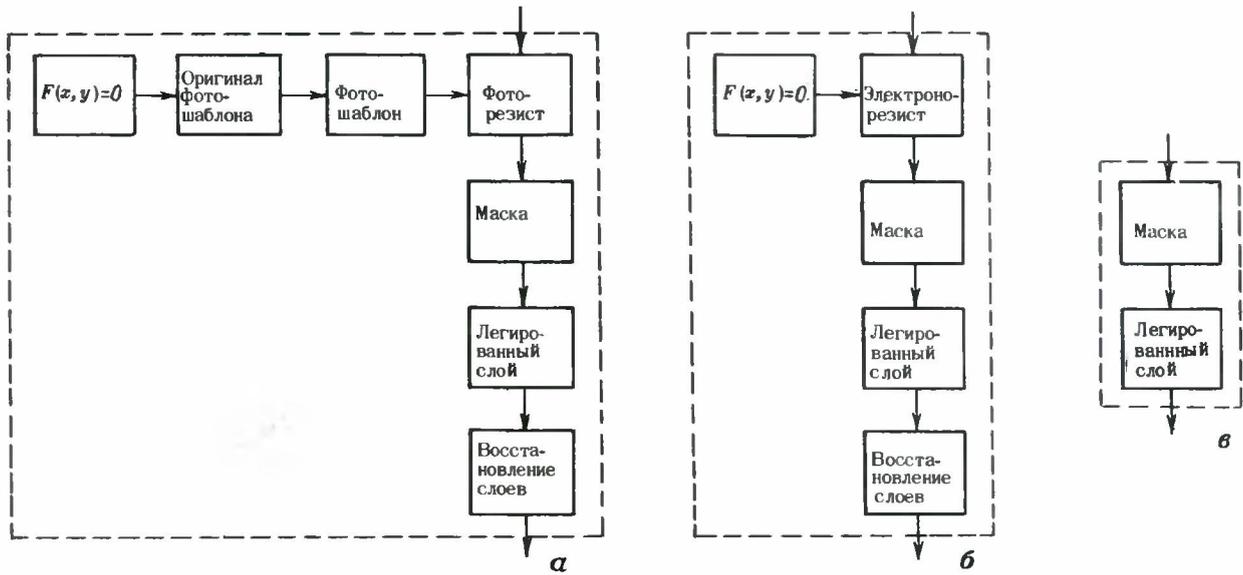


Рис. 2. Получение конфигурации структуры методами фотолитографии (а), электролитографии (б), самоформирования (в)

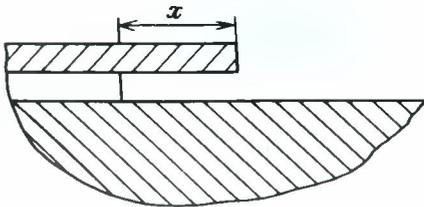


Рис. 3. Пример трансформации  $t \rightarrow x$

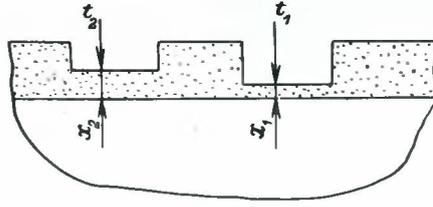


Рис. 4. Пример трансформации  $x \rightarrow t$

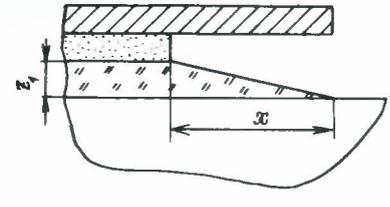


Рис. 5. Пример трансформации  $z \rightarrow x$

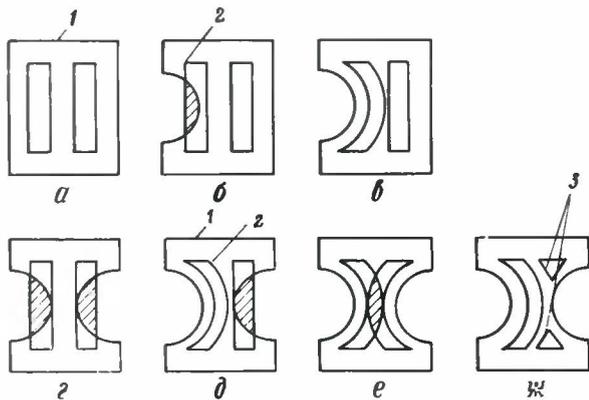


Рис.6. Примеры изменения конфигурации структур при случайных возмущениях, возникающих во время формирования области базы на пластине

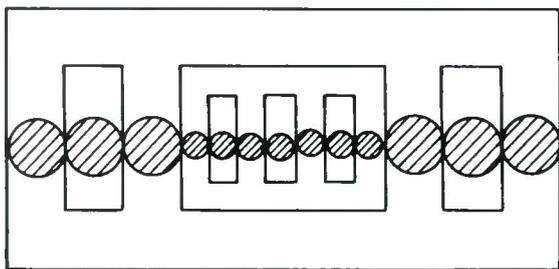


Рис. 7. Получение транзисторной структуры методом самоформирования (отмечено кружками)

Местоположение структуры определяется положением контура исходной структуры и технологическим процессом, поэтому структура самосовмещается.

Метод самоформирования приводит к качественно новым результатам. Предположим, что требуется сформировать структуру, представляющую собой три закрытых, определенным образом расположенных контура (рис. 6, а). При перенесении контура базы (контур 1) на пластину возможны случайные возмущения, из-за чего конфигурация базы может принять вид, показанный на рис. 6, б. Появление искривленности не предусмотрено априорной программой и является реализацией одного из множества степеней свободы. Она дает новую, апостериорную информацию. Но в фото- и электролитографии эта информация не может быть использована. Поэтому контур 2 (см.рис. 6, б) будет формироваться по априорной программе и пересечет контур 1. В результате, хотя сама базовая область и является работоспособной, процесс формирования следующей структуры приведет к браку – закорачиванию областей эмиттера и коллектора. Закорачивания не наблюдалось бы, если бы на конфигурацию контура 2 оказывал влияние контур 1 (рис. 6, в), т.е. использовалась бы апостериорная информация. На рис. 6, г-ж показан пример формирования структур, когда при формировании контура 2 учитывались изменения кон-

тура 1, а при формировании контура 3 — изменения контуров 1 и 2.

Характерные преимущества и недостатки методов фотолитографии, электролитографии и самоформирования кратко заключаются в следующем. Формирование структур методом фотолитографии по априорной информации неустойчиво к случайным возмущениям. Поэтому к точности процесса предъявляются высокие требования, которые возрастают с уменьшением размеров. В этом отношении более выгодны способы, основанные на использовании апостериорной информации. Необходимость в уменьшении оригинала и его переноса на пластину с использованием света приводит к ограничению минимальных размеров структуры до величин 1–2 мкм. Однако возможность группового процесса и отсутствие ограничений по конфигурации определяют широкое определение фотолитографии.

Метод электролитографии позволяет создавать структуры субмикронных размеров с любой конфигурацией контуров, но создание больших структур затруднено. Необходимость в совмещении и проблема точности совмещения те же, что и при фотолитографии, а производительность меньше, так как процесс негрупповой. Кроме того требуется сложное, рассчитанное на субмикронную точность оборудование.

При использовании метода самоформирования размер получаемой структуры определяется физико-химическими свойствами исходной структуры и лежит в субмикронной области. Процесс групповой, не требуется субмикронная точность оборудования. Однако метод самоформирования требует высокой стабильности физико-химических параметров веществ. В настоящее время этот метод не обеспечивает формирования контура любой конфигурации, и его применение ограничивается получением контуров в виде параллельных полосок, но развивается метод самоформирования так быстро, что уже теперь его можно использовать для получения всех областей транзистора (рис. 7).

Фотолитография, электролитография и самоформирование не заменяют, а дополняют друг друга. Так, фотолитография из-за своей универсальности и простоты не заменима в формировании структур, лежащих вне субмикронного диапазона. Электролитография позволяет формировать элементы с субмикронными размерами, обладает универсальностью, однако по производительности и экономичности явно уступает фотолитографии. Поэтому ее рационально использовать для получения универсальных структур с субмикронными размерами.

Самоформирование, как и электролитография, является технологией изготовления структур субмикронного диапазона и по производительности и экономичности превосходит электролитографию. Однако она не универсальна и с ее помощью возможно получение структур лишь определенной конфигурации.

Статья поступила 12 апреля 1979 г.

## РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

### УСТАНОВКА

### ГОМОГЕНИЗАЦИИ РАСПЛАВА



УДК 621.793.162

Предназначена для проведения непрерывного процесса гомогенизации расплава на основе окиси свинца для эпитаксиального наращивания слоев иттрий-самариевого или кальций-германиевого феррогранатов.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Производительность, см <sup>2</sup> расплава за процесс	220
Внутренний диаметр муфеля, мм	105
Длина рабочей зоны термоблока, мм	200
Температура рабочей зоны, °С	1100–1200
Точность поддержания температуры, °С	±2
Скорость вращения мешалки, об/мин	100
Длительность проведения процесса, ч	16–20
Напряжение питания, В	220/380
Потребляемая мощность, кВт	8
Габариты, мм	780x680x2350

Установка состоит из термоблока, механизма загрузки тигля с шихтой, механизма перемещения платиновой мешалки, блоков БПРТ-1 автоматического регулирования и поддержания температуры в заданных пределах. Узлы размещены в трех герметичных секциях, расположенных одна над другой. Фильтры из ткани Петрянова предотвращают попадание взвешенных частиц расплава в окружающее пространство.

Использование установки в производстве позволяет увеличить производительность оборудования для жидкостной эпитаксии в три благодаря освобождению его от процесса предварительной гомогенизации расплава.

А. Е. Алексанов, М. Н. Алексеев, А. А. Ильичева

# ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

В. А. Бурлаков, Н. А. Иофис, И. В. Сиприков

## КАНАЛЬНЫЕ И МИКРОКАНАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ОБЪЕМНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

Предложены новые типы эмиттеров вторичных электронов с распределенным сопротивлением на основе титаната бария, титаната цинка и  $(Al, Ti)_2O_3$  с добавками некоторых окислов. Одноканальные и микроканальные умножители из этих материалов имеют коэффициент усиления  $10^4 - 10^6$  при напряжении 2500–4000 В, обеспечивают выходные токи  $10^{-6} - 10^{-5}$  А, обладают повышенной термостойкостью.

УДК 621.385.831

При разработке умножителей канального типа большую роль играет выбор материала эмиттера. На различных этапах конструирования и технологической отработки приборов с канальными умножающими системами и в зависимости от предъявляемых к ним требований в качестве эмиттеров с распределенным сопротивлением использовался целый ряд материалов, в частности: слои Cs–Sb на высокоомных подложках из Ni и Pt, материалы с объемной проводимостью на основе ортотитаната магния ( $2MgO \cdot TiO_2$ ), пленки на основе двуокиси олова ( $SnO_2 - Sb_2O_3$ ), электропроводящие пленки на восстановленных в водороде высокосвинцовых стеклах.

Из перечисленных материалов наибольшее распространение получили электропроводящие пленки на высокосвинцовых стеклах, которые в настоящее время являются наиболее изученными и отработанными материалами для эмиттеров канальных электронных умножителей (КЭУ) и микроканальных пластин (МКП). Это объясняется наличием у данных пленок целого ряда необходимых физико-хими-

ческих характеристик, а также технологических свойств, допускающих различные виды формообразования.

Однако, пленочные эмиттеры на высокосвинцовых стеклах, имеют ряд недостатков:

– низкий уровень тепловых нагрузок ( $\leq 10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup>) [1] вследствие отрицательного значения температурного коэффициента сопротивления эмиттера, что существенно ограничивает величину выходных токов;

– изменение проводимости и вторично-эмиссионных характеристик при повышенных температурах;

– нестабильность вторично-эмиссионных характеристик под воздействием электронной бомбардировки;

– изменение проводимости и вторично-эмиссионных характеристик эмиттеров в результате воздействия паров химически активных компонентов сложных фотокатодов (Li, Na, K, Rb, Cs).

Применение поликристаллических систем типа титаната бария (ТБ) и твердых растворов на его основе, легированных некоторыми редкоземельными и другими элементами, титаната цинка с добавками окиси алюминия (ТЦА), а также составов на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  с добавками некоторых окислов, имеющих высокие значения коэффициента вторично-электронной эмиссии, позволило расширить круг материалов для эмиттеров КЭУ и МКП.



Рис. 1. Внешний вид рабочего поля микроканальной пластины

Большие возможности технологии формообразования в керамическом производстве делают эту группу полупроводящих материалов перспективной для изготовления эмиттеров с распределенным сопротивлением и целого ряда ЭВП на их основе [2,3]. На рис. 1 представлена фотография одного из участков рабочего поля МКП с цилиндрическими каналами диаметром 50 мкм (оптическая прозрачность пластины составляет более 50%). Технология изготовления МКП позволяет получать изделия с диаметрами каналов до 20 мкм, различными расстояниями между центрами каналов и отношением длины канала к диаметру (20–100 и более), обеспечивающим необходимое усиление. Внешний вид керамических КЭУ и МКП с армирующими элементами показан на рис. 2.

Рассмотрим основные свойства полупроводящих керамических эмиттеров с объемной проводимостью. Вольт-амперные характеристики и зависимости удельного сопротивления от напряженности электрического поля для КЭУ из указанных составов представлены на рис. 3. Форма кривой  $I_{сл}(U_x)$  определяется характером зависимости  $\rho$  от напряженности электрического поля в канале и температуры канала. Наиболее заметен полевой эффект для состава ТПА (кривая 2). При рабочих напряжениях на КЭУ и МКП (2500–3500 В)  $\rho$  находится в пределах  $10^5 - 10^7$  Ом·см, что обеспечивает требуемые значения сопротивления образцов умножителей ( $10^8 - 10^9$  Ом).

Важной характеристикой эмиттеров для КЭУ и МКП является температурная зависимость сопротивления  $\rho(T)$  и как производная этой функции температурный коэффициент сопротивления. Величина сопротивления и знак ТКС определяют направ-

ленность теплового процесса эмиттера в результате рассеяния на нем электрической мощности при прохождении тока по каналу. Повышенный нагрев стенок канала приводит к перераспределению потенциалов в направлении оси канала в отличие от линейного закона распределения, в результате чего уменьшается коэффициент усиления, увеличивается время установления равновесного состояния, появляется повышенное газоотделение и пр., а в ряде случаев в зависимости от термостойкости происходит разрушение материала эмиттера. Поэтому оптимальной характеристикой эмиттера канального типа является положительный либо нулевой ТКС в рабочем диапазоне температур стенок канала, что автоматически ограничивает тепловую мощность, выделяемую эмиттером. С этой точки зрения эмиттеры на основе полупроводящих керамических материалов выгодно отличаются от эмиттеров других типов, поскольку изменением содержания донорных примесей (например, для титанат-станный бария) можно направленно и в широких пределах изменять ход зависимости  $\rho(T)$ , а значит величину и знак ТКС. Из зависимости  $\rho(T)$  для материала ТБ, представленной на рис. 4, видно, что зона оптимального значения ТКС ограничена температурой 100–110°C для рабочих напряжений на КЭУ, соответствующих значениям напряженности электрического поля в канале  $E = 500 - 700$  В/см. Область значений  $\rho$ , находящихся между кривыми 1 и 2, определяет полевой эффект для данного материала в диапазоне температур эмиттеров 20–200°C. С увеличением напряженности электрического поля  $\rho$  уменьшается, а температурный интервал оптимальных значений ТКС несколько увеличивается, положение  $\rho_{max}$ , соответствующего нулевому ТКС, смещается в сторону больших температур.

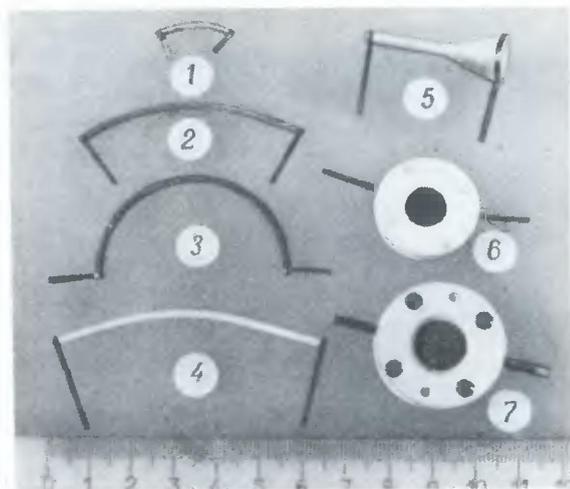
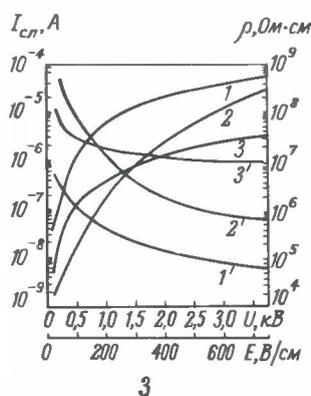
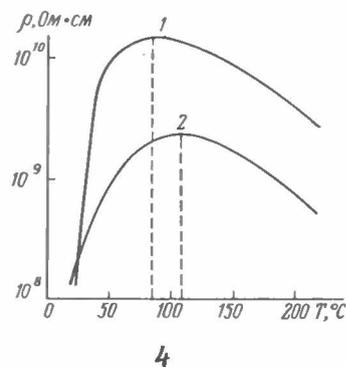


Рис. 2. Керамические КЭУ и МКП с армирующими элементами: 1–4 – дуговые цилиндрические КЭУ с искривленной осью; 5 – предусилительная секция КЭУ с увеличенной апертурой входного отверстия и прямым выходом; 6, 7 – МКП в неразборной и разборной армировках



3



4

Рис. 3. Зависимости тока проводимости слоя от приложенного напряжения для материалов ТБ (1), ТПА (2), состава на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  (3) и удельного сопротивления от напряженности электрического поля в канале для тех же материалов (кривые 1'–3' соответственно)

Рис. 4. Зависимость удельного объемного сопротивления титанат-станный бария, легированного лантаном, от температуры для двух значений  $E$ : 1 –  $E = 34$  В/см; 2 –  $E = 700$  В/см

Эксперименты показали, что КЭУ на полупроводниковых материалах ТБ и ТЦА стабильно работают при удельных тепловых нагрузках  $(1-2) \cdot 10^{-1}$  Вт/см<sup>2</sup> и более в зависимости от конструкции прибора и его назначения.

Зависимости коэффициента вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов приведены на рис. 5. Кривые 1, 3, 4 получены на отпаянных приборах методом периодических импульсов при нормальном падении первичных электронов в диапазоне энергий  $E_p = 40 - 1000$  эВ.

Из характеристик видно, что полупроводящие материалы на основе ТБ и ТЦА имеют близкие значения  $\sigma_{max} = 2,6 - 2,8$  во всем диапазоне  $E_p$  при  $E_p = 400 - 500$  эВ; для полупроводящей керамики на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  с добавкой некоторых окислов  $\sigma_{max} = 3,6 - 4,0$  при  $E_p = 550 - 650$  эВ. Однако вторично-эмиссионные характеристики состава  $(Al, Ti)_2O_3$  получены на контрольном образце в виде диска и отличаются от характеристик, полученных для микроканальной пластины, так как технология изготовления контрольного образца и МКП, а также их поверхности (по степени шероховатости) не одинаковы. Для сравнения на рис. 5

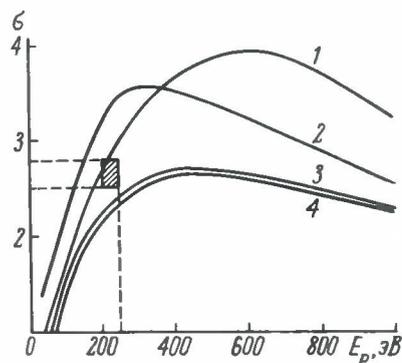


Рис. 5. Зависимость коэффициента вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов для эмиттеров с распределенным сопротивлением на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  (1); проводящих пленок на высокосвинцовом стекле (2); ТБ (3); ТЦА (4)

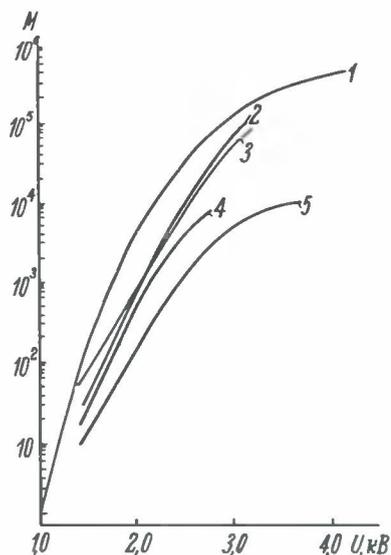


Рис. 6. Зависимость коэффициента усиления от приложенного напряжения для канальных умножителей (1-3) и МКП (4, 5)

приведена зависимость  $\sigma(E_p)$  для эмиттера на высокосвинцовом стекле (кривая 2) [4]. Заштрихованный прямоугольник соответствует области значений  $\sigma_{max}$  для  $E_p = 200 - 250$  эВ при угле падения  $60^\circ$ , полученных в работе [5] для эмиттеров КЭУ, аналогичных по составу титанату цинка (кривая 4).

Зависимость коэффициента усиления от приложенного напряжения для КЭУ и МКП приведена на рис. 6. Входной ток измерялся при помощи цилиндра Фарадея с геометрическим фактором  $> 4$ , величина  $I_{вх}$  составляла  $10^{-12}$  А при энергии электронов  $E_p = 1000$  эВ. Снятие характеристик проводилось на отпаянных приборах и в разборной установке. Одноканальные цилиндрические умножители с искривленной осью с отношением длины к внутреннему диаметру  $\alpha$  от 50 и более имеют коэффициент усиления  $M = 10^4 - 10^6$  при напряжении на канале  $U_k = 2,5 - 4,0$  кВ. Выходной темновой ток при  $M = 10^6$  не превышает  $10^{-12}$  А. Коэффициент усиления МКП составляет  $10^3 - 10^4$  при  $U_k = 2,2 - 3,5$  кВ.

Характеристика линейности умножающей системы на эмиттере из титаната цинка для одного из дуговых КЭУ с  $\alpha = 50$  приведена на рис. 7. Для  $U = 2,5$  кВ начало отхода от линейности имеет место при  $I_{вх} = 2,3 \cdot 10^{-11}$  А и  $I_{вых} = 1,5 \cdot 10^{-7}$  А, что соответствует отношению тока проводимости к выходному току в этой точке, равному 35. Для  $U_k = 3,5$  кВ и  $I_{вых} = 9 \cdot 10^{-7}$  А это отношение составляет 22, при этом линейность КЭУ ограничена выходным током  $1 \cdot 10^{-6}$  А. Относительно

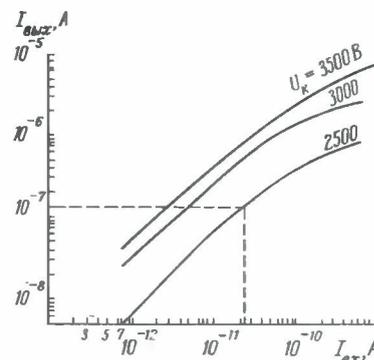


Рис. 7. Характеристика линейности канального умножителя для нескольких значений  $U_k$

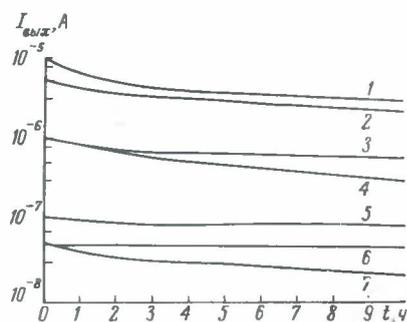


Рис. 8. Зависимость выходного тока канальных умножителей от времени наработки: 1, 2, 3, 5, 6 - для кремниевых КЭУ; 4, 7 - для КЭУ из высокосвинцового стекла

высокая величина отношения тока проводимости к выходному току умножителя, вероятно, связана с объемным характером проводимости керамических эмиттеров.

Испытания КЭУ на стабильность в режиме непрерывного облучения пучком электронов с  $E_p = 1000$  эВ проводились в отпаянных приборах при различных выходных токах (от  $5 \cdot 10^{-8}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  А) на дуговых каналах, изготовленных из титаната цинка (рис. 8). При начальном выходном токе  $I_{0 \text{ вых}} = 5 \cdot 10^{-8}$  А (кривая 6) спад в течение 10 ч практически не наблюдался. Незначительный спад имел место для  $I_{0 \text{ вых}} = 1 \cdot 10^{-7}$  А (кривая 5). При максимальном значении  $I_{0 \text{ вых}} = 1 \cdot 10^{-5}$  А (кривая 1) спад наблюдался до  $5 \cdot 10^{-6}$  А. Во всех случаях скорость уменьшения  $I_{\text{вых}}$  к концу выbranного интервала заметно снижалась. Для сравнения приведены аналогичные зависимости для спиральных КЭУ из высокосвинцового стекла [6], полученные в сопоставимых условиях (кривые 7 и 4). Спад коэффициента усиления для эмиттеров на высокосвинцовых стеклах при  $I_{0 \text{ вых}} = 10^{-6}$  А в два раза превышает изменение коэффициента усиления у эмиттеров ТЦА (кривая 3). Стабильность рассматриваемых составов при взаимодействии с электронами определяется высокой физико-химической устойчивостью твердых растворов, составляющих структуру керамики.

Разработанные материалы ТБ, ТЦА и на основе  $(Al, Ti)_2O_3$  лишь незначительно изменяют сопротивление и вторично-эмиссионные свойства при взаимодействии с компонентами сложных фотокатодов в процессе изготовления ФЭП. Керамические умножающие системы КЭУ и МКП допускают повторное использование их в электронных приборах, при этом перенос в атмосфере не приводит к ухудшению характеристик. Невысокая сорбционная способность керамических поверхностей в отношении паров щелочных металлов упрощает технологию изготовления фотокатодов, что особенно важно для малогабаритных ФЭП.

При выборе эмиттера для ЭП с КЭУ и МКП необходимо учитывать также, что керамические материалы абсорбируют заметно меньшие количества газов, чем различные стекла, используемые в ЭП. Это важно для разработки ФЭП с большим сроком службы, и следовательно, с жесткими требованиями к остаточному давлению, так как суммарная поверхность стенок каналов МКП может быть значительно больше, чем внутренняя поверхность вакуумной оболочки прибора. Керамические эмиттеры в отличие от эмиттеров на высокосвинцовых стеклах не требуют длительной термообработки, отрицательно сказывающейся на характеристиках приборов.

Свойства полупроводящих эмиттеров с объемной проводимостью, разработанные методы формования и характеристики умножителей на ос-

нове созданных эмиттеров показали перспективность их использования для усовершенствования электронных приборов с КЭУ и МКП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айбунд М.Р., Вильдгрубе Г.С., Дунаевская Н.В., Семенова В.В. Некоторые характеристики канальных фотоэлектронных умножителей — Труды III Всесоюзной научно-технической конференции по ЭЛП и ФЭП, 1969, т. IV, вып. 4.
2. Бурлаков В.А., Иофис Н.А., Нияковская Н.И., Смажевская Е.Г. Керамические канальные электронные умножители. — Электронная пром-сть, 1974, вып. 3.
3. Смажевская Е.Г., Корсакова Е.Н., Ткаченко В.Ф. Сегнетоэлектрические материалы для керамических канальных электронных умножителей — Электронная техника. Сер. 5. Электровакуумные приборы, 1975, вып. 3.
4. Файнберг Е.А. Восстановленные в водороде стекла как материал для новых типов вторично-эмиссионных приборов и высокоомных сопротивлений сложных конфигураций. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. IV. Технология производства и оборудование, 1964, вып. 8.
5. Эхара Н., Ямамото Х., Вакино К., Терасима Т., Иосино С. Вторично-эмиссионный умножитель на основе новых керамических полупроводников. — Дзэнси дзайре, 1974, т. 13, № 9.
6. Спириков И.В. Исследование характеристик канальных электронных умножителей с открытым входом для регистрации заряженных частиц. — Труды IV Всесоюзной научно-технической конференции по ЭЛП и ФЭП, 1971, т. IV, вып. 5.

Статья поступила 8 января 1979 г.

·ЭП·
РЕКЛАМА

НОВАЯ КНИГА

**МИКРОЭЛЕКТРОНИКА  
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ**

Сб. статей. Вып. 5. Под ред. А. А. Васенкова  
и Я. А. Федотова

М.: Советское радио, 1980, 17 л., 10000 экз.

Публикуются статьи по следующим вопросам: общие проблемы и физические основы полупроводниковой микроэлектроники, микропроцессоры, основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем, методы контроля и измерительная аппаратура, проектирование и изготовление микроэлектронной аппаратуры, оптоэлектроника, новые направления в микроэлектронике.

Большое внимание уделяется исследованию свойств полупроводниковых приборов, изучению особенностей работы СВЧ приборов в различных устройствах и рассмотрению современных представлений и тенденций развития ПЭС.

**РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА**

**ШЕСТИРАЗРЯДНЫЙ  
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ  
ИНДИКАТОР  
НА "ТВИСТ-ЭФФЕКТЕ"  
ДЛЯ НАСТОЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРОННЫХ ЧАСОВ  
ЖКЦ1-6/18**

Прибор предназначен для воспроизведения цифровой информации в электронных приборах точного времени и в других радиотехнических устройствах. Позволяет получить хороший контраст при низком уровне управляющих напряжений и потребляемой мощности. В индикаторе применены влагостойкие поляроиды, специальная конфигурация рисунка и клеевые токопереводы.

- Управляющее напряжение, В . . . . . 3—10
- Потребляемый ток при  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $U=4\text{ В}$ ,  
 $f=64\text{ Гц}$ , мкА . . . . .  $\leq 25$
- Диапазон рабочих частот, Гц . . . . . 30—300
- Контраст знака к фону, % . . . . .  $\geq 90$
- Габариты, мм . . . . . 111x4,05x7,6
- Масса, кг . . . . .  $\leq 0,060$
- Долговечность, ч . . . . .  $\geq 15000$

НОВАЯ КНИГА

**ТОНКИЕ ПЛЕНКИ.  
ВЗАИМНАЯ ДИФфуЗИЯ И РЕАКЦИИ.**

Пер. с англ. Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера  
М. Мир, 1980, 38 л., 5000 экз.

Коллективная монография посвящена явлениям переноса вещества и различным реакциям, протекающим на границе раздела твердых фаз. Рассмотрены теоретические и технические проблемы диффузии на межфазных границах; реакции в контактирующих тонких пленках; получение и исследование металлических пленок на полупроводниковых подложках; явления на границах зерен поликристаллических структур. Особое внимание уделено изучению фундаментальных свойств барьеров Шоттки.

В. А. Горохов

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
КОНСТРУИРОВАНИЯ  
И СХЕМОТЕХНИКИ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ РЕЛЕ  
И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

Рассмотрены пути конструирования оптоэлектронных интегральных схем, содержащих на одном кристалле многослойные фоточувствительные, усиленные и ключевые элементы. Предложенные схемотехнические решения обеспечивают минимизацию чувствительности выходных характеристик оптоэлектронных устройств к деградации параметров элементов схемы (включая светодиод) при эксплуатационных воздействиях, позволяют унифицировать технологию их изготовления и существенно улучшить технико-экономические и функциональные характеристики.

УДК 621.383.92

На принципах оптоэлектроники создаются устройства, предназначенные для решения самых разнообразных функциональных задач [1, 2]. Однако в технологии производства оптоэлектронных приборов встречается немало трудностей. Так, серийные оптоэлектронные интегральные схемы изготавливаются по гибридной технологии — светоизлучатель и фотоприемник создаются в раздельных технологических циклах (рис. 1). В ряде случаев эти схемы включают усиленные и ключевые элементы, изготовленные в виде бескорпусных приборов, что резко усложняет производство, так как требует введения дополнительных технологических процессов по реализации электрических связей между этими элементами, а также организации входного контроля параметров бескорпусных приборов. Кроме того, в номенклатуре бескорпусных приборов для оптоэлектронных схем часто отсутствуют изделия с оптимальными электрическими характеристиками.

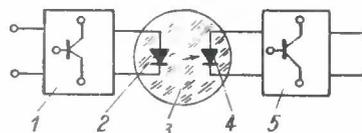


Рис. 1. Структурная схема одноканального оптоэлектронного реле и переключателя: 1 — входные согласующие элементы; 2 — электрически управляемый источник излучения; 3 — оптический канал (иммерсионная среда); 4 — фотоприемник; 5 — выходные элементы

Рассмотрим возможности совершенствования технико-экономических характеристик интегральных оптоэлектронных схем на основе использования новых схемотехнических решений и унификации технологии их изготовления.

### ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ

Достаточно универсальным принципом конструирования оптоэлектронных интегральных схем является функциональная дифференциация фоточувствительных и выходных структур схемы [3], позволяющая обеспечить раздельную оптимизацию параметров фоточувствительных, усилительных и ключевых элементов и реализацию ряда схемотехнических решений улучшения электрических и эксплуатационных параметров.

Такой метод был использован при конструировании некоторых оптронов, в которых фоточувствительным элементом является фотодиод [4,5].

Для управления выходными элементами и схемами возможны два режима включения фотодиода — вентильный и обратный смещения (фотодиодный). На рис. 2 (а-г) представлены ключевые схемы на основе фототранзисторной и фотодиодных оптопар.

Режим обратного смещения фотодиода (см. рис. 2, б) обеспечивает уменьшение зарядной емкости его перехода и способствует повышению быстродействия. Однако при конструировании оптро-

нов, работоспособных в широком диапазоне эксплуатационных воздействий, возникает необходимость компенсации токов утечки (например, путем включения шунтирующего резистора). Кроме того, фотодиодный режим не может быть реализован в схемах оптоэлектронных реле для коммутации аналоговых сигналов [3, 4, 6].

Достоинство вентильного режима (см. рис. 2, в) — достаточно низкие требования к величине тока утечки и пробивного напряжения  $p-n$  перехода фотодиода, что очень важно при относительно большой его площади. Однако этот режим включения фотодиода требует большого числа элементов, необходимых для реализации одного ключа, особенно на полевых транзисторах.

Использование вентильного фотодиода для управления выходными элементами оптоэлектронной интегральной схемы возможно в режиме генератора управляющего тока, например, тока базы выходного транзистора, и в режиме управляющей фото-ЭДС, например, для управления полевыми структурами [3].

В оптронах с биполярными выходными элементами (транзисторными, тиристорными и другими многослойными структурами) вентильные фотодиоды используются в режиме генератора управляющего тока. Величина тока управления через управляющий  $p-n$  переход выходной структуры при подключении к нему вентильного фотодиода может быть найдена из уравнения вольт-амперной характеристики  $p-n$  перехода фотодиода [6]. В результате получаем трансцендентное уравнение для нахождения тока управления:

$$(I_j / I_{j0})^{m_j / m_\phi} + I_j / I_{\phi 0} = I_\phi / I_{\phi 0},$$

где  $I_\phi$  — фототок короткого замыкания фотодиода;  $I_{j0}$  и  $I_{\phi 0}$  — тепловые токи управляющего перехода и  $p-n$  перехода фотодиода;  $m_j$  и  $m_\phi$  — коэффициенты в показателях степеней экспоненты, определяющих зависимость тока от напряжения. В этом случае, если управляющий  $p-n$  переход и фотодиод выполнены в одном технологическом цикле  $m_j = m_\phi$ , то

$$I_j = I_\phi \frac{I_{j0}}{I_{j0} + I_{\phi 0}}$$

Так как при соотношении площадей  $S_\phi \gg S_j$  величина  $I_{\phi 0} \gg I_{j0}$ , то ток  $I_j \ll I_\phi$ . Для задания тока управления  $I_j = I_\phi$  при  $S_\phi \gg S_j$  необходимо последовательно включать два вентильных фотодиода. При этом ток  $I_j$  будет равен меньшему из двух фототоков этих фотодиодов.

Для управления состоянием полевых структур необходимо создавать перепады напряжения на управляющем переходе, обеспечивающие отпирание и запирающие эти структуры. Так как фото-ЭДС одного кремниевого  $p-n$  перехода составляет 0,4–0,8 В, а напряжение запирающих полевых транзисторов с  $p-n$  переходом 1–10 В, то для управления полевыми транзисторами необходимо последовательно включать несколько фотодиодов.

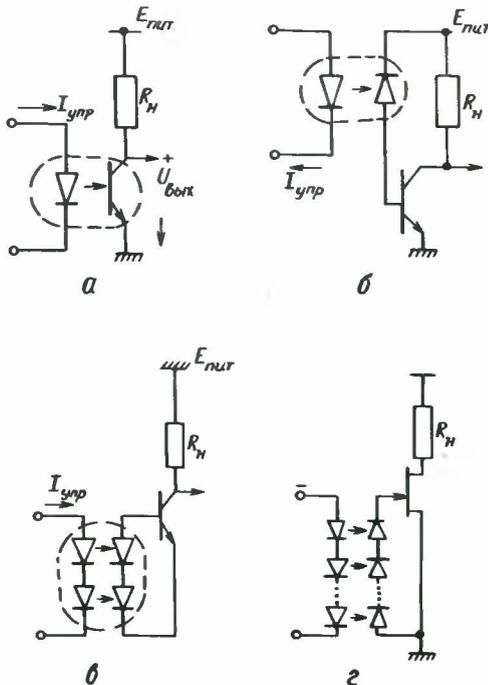


Рис. 2. Оптоэлектронная ключевая схема: а — фототранзисторный ключ; б — транзисторный ключ, управляемый фотодиодом в режиме обратного смещения; в — транзисторный ключ, управляемый вентильными фотодиодами в режиме генератора тока; г — ключ на полевом транзисторе, управляемый вентильными фотодиодами в режиме фото-ЭДС

Использование вентильных фотодиодных структур в режиме управляющей фото-ЭДС в оптронных схемах с полевыми выходными транзисторами позволяет решить ряд проблем. Так, фото-ЭДС, а следовательно, и выходные параметры оптрона весьма слабо зависят от коэффициента передачи тока оптопары  $K_i$ :

$$U_{ф.хх} = m \cdot \phi \cdot \ln K \cdot I_{сд} / I_{ф0}$$

Здесь  $I_{сд}$  — ток управления через излучатель оптопары.

Поэтому режим вентильной фото-ЭДС является наиболее перспективным для создания оптоэлектронного коммутатора (ОЭК), устойчивого в жестких эксплуатационных режимах.

Быстродействие фотодиодных оптопар зависит от режима их использования и определяется быстродействием светоизлучателя [7], временем диффузии и дрейфа носителей, генерированных светом, к  $p-n$  переходу фотодиода (которое определяет время нарастания и спада фототока короткого замыкания [8]), временем накопления и рассасывания избыточных носителей вблизи  $p-n$  перехода фотодиода, постоянной времени нагрузки (суммарной емкостью фотодиода и нагрузки, сопротивлением нагрузки).

В режиме фото-ЭДС время выключения вентильной фотодиодной оптопары возрастает из-за большой величины постоянной времени разряда емкости  $p-n$  перехода и нагрузки. Это вынуждает использовать схему включения вентильных фотодиодов с повышенным быстродействием [3].

Схема управления быстродействующими вентильными фотодиодными оптопарами на основе стандартного магистрального усилителя 1ЛИ091, а также специальная входная схема управления приведены на рис. 3.

В этих схемах фотодиоды включены встречно-параллельно, а на светоизлучатели подаются взаимно инверсные сигналы [3]. Увеличение быстродействия в такой схеме обусловлено тем, что емкость  $p-n$  перехода фотодиода разряжается не только током нагрузки, но и фототоком инверсно включаемого фотодиода, поэтому время нарастания фото-ЭДС на нагрузке равно времени спада. Инверсное включение вентильных оптопар обеспечивает существенное повышение быстродействия и при их использовании в режиме генератора тока при управлении биполярными структурами [6]. В этом случае инверсно включаемый фотодиод обеспечивает ускорение рассасывания избыточных носителей, накопленных в базе включенной биполярной выходной структуры, и соответственно уменьшается время выключения.

**Оптоэлектронные реле для коммутации силовой нагрузки.** Наиболее целесообразными схемами оптоэлектронных реле (ОЭР) для коммутации силовой нагрузки являются схемы составных ключей, управляемые вентильными фотодиодами (рис. 4).

Для реле постоянного тока лучше использовать составные транзисторные структуры (рис. 4, а). Включение шунтирующего сопротивления обеспечивает повышение устойчивости составной структуры в закрытом состоянии. Включение дополни-

тельных транзисторных структур позволяет увеличить коэффициент передачи тока:

$$K_{\Sigma} = K_j \prod_{i=1}^n (B_i + 1); U_{ост} = U_{ост1} + \sum_{i=2}^n U_{эбi} + U_{RК}$$

где  $K_{\Sigma}$  — коэффициент передачи тока структуры;  $K_j$  — коэффициент передачи тока фотодиодной оптопары;  $B_i$  — коэффициент усиления базового тока  $i$ -й структуры, входящей в составной транзистор;  $U_{ост1}$  — остаточное напряжение на первой структуре;  $U_{эбi}$  — падение напряжения на эмиттерном переходе транзисторной структуры;  $U_{RК}$  — падение напряжения на коллекторном слое.

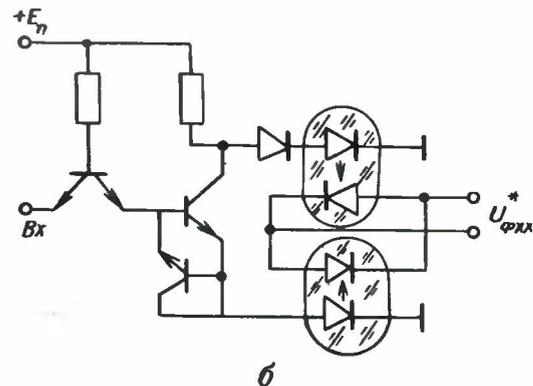
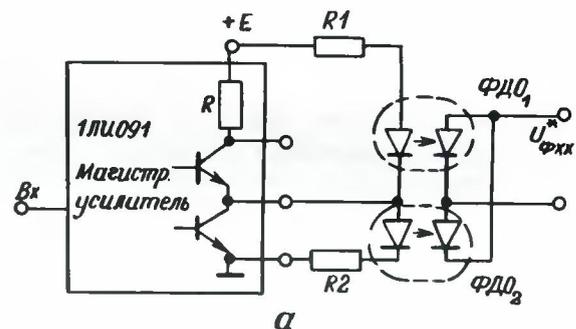


Рис. 3. Схемы управления быстродействующим вентильным фотодиодным оптроном: а — стандартная; б — специальная

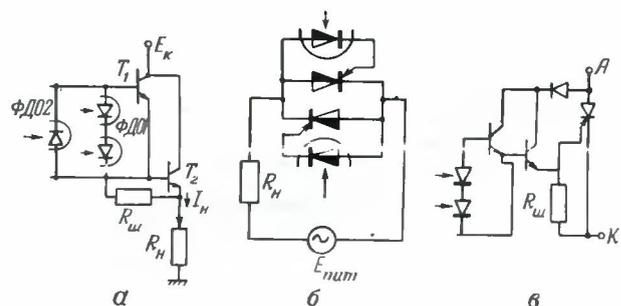


Рис. 4. Принципиальные схемы оптоэлектронных реле на составных ключах: а — реле постоянного тока; б — реле переменного тока; в — схема фототристора для оптрона с функционально-дифференцированными элементами

В целях обеспечения стойкости оптоэлектронного реле к сильным изменениям параметров светодиода необходимо выполнять условие:

$$K_{j \min} \prod_{i=1}^n (B_i \min + 1) \geq I_{\text{КОМ. max}},$$

где  $I_{\text{КОМ. max}}$  — максимальный коммутируемый ток [3].

Так как отношение  $K_{j \max} / K_{j \min}$  может достигать 10 и более, то для составного транзистора характерным является режим глубокого насыщения в открытом состоянии ключа. В этом режиме составной транзистор имеет большое время выключения в связи с увеличением времени рассасывания при увеличении степени насыщения. Включение в схему инверсной вентильной оптопары (рис. 4, а) обеспечивает существенное повышение быстродействия оптоэлектронного реле на составном транзисторе.

Выходной транзистор Т2 составного транзистора не может находиться в режиме насыщения [3], и инверсный фотодиод не воздействует непосредственно на входную цепь этого транзистора. Однако время рассасывания составного транзистора определяется временем насыщения входного транзистора Т1, которое уменьшается примерно на порядок при включении инверсного фотодиода.

При жестких требованиях к эксплуатационным воздействиям предпочтительно использовать ключи на полевых транзисторах с  $p-n$  переходом. Такие транзисторы стойки к воздействию гамма-нейтронного потока [9], а вентильные фотодиоды в режиме фото-ЭДС малочувствительны к деградации величины  $K_i$ .

ОЭР для коммутации нагрузки в цепях переменного тока целесообразно выполнять на составных тиристорных структурах (рис. 4, б), так как в них оптическая связь может быть использована не только для гальванической развязки силового блока и блока управления, но и для реализации простых согласующих устройств, позволяющих управлять ключами и последовательной цепью из этих ключей непосредственно с потенциально-выхода типовых интегральных логических схем.

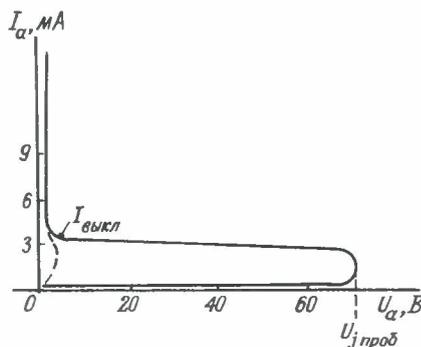


Рис. 5. Выходная вольт-амперная характеристика интегральной фототиристорной структуры на основе функционально-дифференцированных элементов: — при токе управления через излучатель, равном нулю; - - - при токе управления, равном  $I_{\text{спр. сд}}$

Весьма эффективно изготовление ОЭР на фоточувствительных тиристорных структурах по схеме с функционально-дифференцированными элементами (рис. 4, в). В состав этой схемы входят вентильные фотодиоды, усилительный элемент в виде составного транзистора, тиристорная структура, шунтирующий резистор, обеспечивающий устойчивость структуры к эффекту  $dU/dt$ . Благодаря такому построению фототиристорная структура сочетает высокую фоточувствительность с устойчивостью к эффекту  $dU/dt$ .

Выходная вольт-амперная характеристика фототиристорной структуры с функционально-дифференцированными элементами (рис. 5) показывает, что обратный ток анода не зависит от тока управления, так как в цепь коллектора усилительного транзистора включен диод. Важнейшие параметры оптрона с выходной фототиристорной структурой определяются из следующих соотношений [6]:

$$I_{\text{спр. сд}} = I_{\text{ш}} / K_i \cdot \prod_{i=1}^n (B_i + 1),$$

$$I_{\text{выкл}} = \frac{\alpha_n I_{\text{ш}}}{\alpha_n + \alpha_p - 1},$$

где  $I_{\text{спр. сд}}$  — ток управления через светодиод на входе оптрона, при протекании которого происходит включение тиристорной структуры;  $I_{\text{выкл}}$  — минимальный выходной ток через открытую тиристорную структуру;  $I_{\text{ш}} = U_j / R_{\text{ш}}$  — ток через сопротивление шунта ( $U_j$  — прямое падение напряжения на управляющем электроде тиристорной структуры);  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$  — коэффициенты передачи тока эмиттеров через  $p$ - и  $n$ -базы тиристорной структуры соответственно.

Для горизонтально-вертикальной тиристорной структуры  $\alpha_n = 0,96 - 0,99$ ;  $\alpha_p = 0,5 - 0,8$ ;  $U_j / R_{\text{ш}} = 0,5 - 0,6$  В. Поэтому при  $B_i = 10 - 20$ ;  $n = 2$ ;  $R_{\text{ш}} = 200$  Ом;  $K_i = 0,005 - 0,01$  получим:  $I_{\text{спр. сд}} = 2 - 5$  мА;  $I_{\text{выкл}} = 3 - 6$  мА.

Исследования показали, что с использованием транзисторного эквивалента четырехслойной структуры при наличии шунтирующего сопротивления 200 Ом в цепи управляющего электрода допустимая скорость нарастания напряжения может составлять 100 В/мкс.

При деградации светодиода и уменьшении  $K_i$  увеличивается величина тока спрямления. Для уменьшения этой зависимости можно в качестве усилительного каскада в фототиристорной структуре использовать полевые транзисторы с затвором на основе  $p-n$  перехода, управляемые вентильными фотодиодами в режиме фото-ЭДС.

Оптоэлектронные реле для коммутации аналогового сигнала. Функциональная дифференциация элементов в коммутаторах аналогового сигнала является эффективным конструктивным приемом

[4, 6]. Наряду с типовыми транзисторными структурами в качестве выходных элементов аналоговых коммутаторов целесообразно использовать инжекционные транзисторы специальной конструкции и полевые структуры [6, 10].

Анализ многослойных инжекционных структур показал, что существуют такие схемы управления, которые сочетают достоинства инверсного и прямого включения транзисторов [6]. Особым достоинством схем оптоэлектронных коммутаторов с выходными инжекционными транзисторами является возможность повышения быстродействия на основе принудительного рассасывания заряда избыточных носителей при выключении многослойных структур с инжекционным управлением (МСИУ<sub>1</sub> и МСИУ<sub>2</sub>). (В схеме на рис. 6,а принудительное рассасывание осуществляется вентиляльной оптопарой ФДО2).

Использование полевых структур с p-n переходом для реализации оптоэлектронного коммутатора аналоговых сигналов (рис. 6, б) позволяет исключить остаточное напряжение при нулевом выходном токе и обеспечивает малую чувствительность выходных параметров коммутатора к деградации коэффициента передачи оптопары K<sub>i</sub>.

Рассмотрим работу этой схемы. Открытое состояние ключа обеспечивается при условии I<sub>сд1</sub> = I<sub>сд2</sub> = 0 или при протекании тока через светодиод СД2 фотодиодного оптрона ФДО2. При этом на затворы обоих транзисторов подается опорное напряжение, равное нулю или фото-ЭДС фотодиода U<sub>ф.хх</sub>. Максимальный коммутируемый ток через открытые транзисторы I<sub>ком.мах</sub> определяется соотношением

$$I_{\text{ком.мах}} \leq I_{\text{со}} \cdot (1 + U_{\text{ф.хх}} / U_3)^n,$$

где I<sub>со</sub> – ток стока полевого транзистора при U<sub>зат</sub> = 0; U<sub>3</sub> – напряжение запираения транзистора; n – показатель, равный 1,5–2,5.

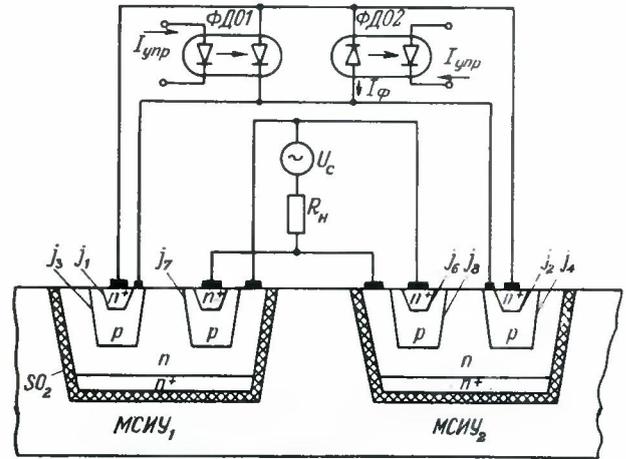
Сопротивление открытого ключа складывается из сопротивления двух последовательно включенных каналов. При возрастании тока через ключ сопротивление канала транзистора, для которого источник коммутируемого сигнала смещает затвор в запирающем направлении, увеличивается, а сопротивление другого канала уменьшается. Экспериментальные ВАХ ключа переменного тока на полевых транзисторах приведены на рис. 7. Сопротивление ключа в открытом состоянии R<sub>откр</sub> определяется из соотношения

$$R_{\text{откр}} = 2U_3 / (I_{\text{со}}^n (1 + U/U_3)^{1-n}) = 2(2/S_0) (1 + U_{\text{ф.хх}}/U_3)^{1-n},$$

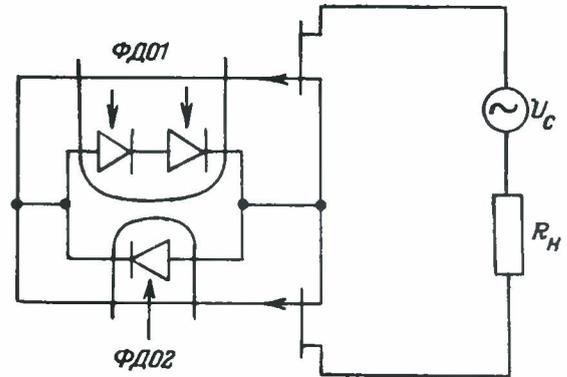
где S<sub>0</sub> – крутизна полевого транзистора при U<sub>3</sub> = 0.

Нетрудно убедиться, что при крутизне полевого транзистора порядка 100 мА/В сопротивле-

ние ключа в открытом состоянии будет составлять величину менее 20 Ом. Как следует из соотношений (1) и (2), включение двух инверсно-управляемых батарей фотодиодов улучшает не только быстродействие, но и статические параметры коммутатора аналогового сигнала. Сопро-



а



б

Рис. 6. Конструкция выходной многослойной структуры аналогового коммутатора и схема ее включения (а), схема аналогового коммутатора на полевых транзисторах (б)

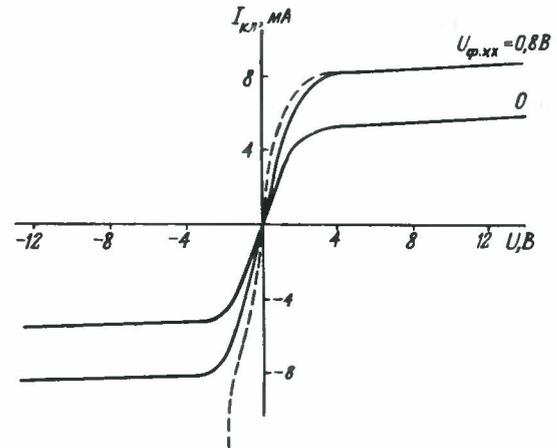


Рис. 7. Выходные вольт-амперные характеристики аналоговых коммутаторов на основе полевых транзисторов: --- ВАХ одного транзистора

тивление ключа в закрытом состоянии (ток утечки) зависит от напряжения  $U_{ф.хх}$ , создаваемого

батареей фотодиодов ФД01. Это напряжение должно быть больше  $U_3$ .

**Оптоэлектронные переключатели логических сигналов (ОЭПЛС).** Такие переключатели используются в качестве оконечных устройств проводных линий связи и обеспечивают гальваническую развязку цифрового приемника информации и симметричного кабеля связи [11]. При этом реализуется преобразование двухпроводной цепи к однопроводной схеме приемника информации. Скорость передачи информации по коротким линиям связи длиной в несколько десятков метров ограничивается величиной 10 Мбит/с [5]. Таким образом, для того чтобы оконечные устройства не ограничивали скорость передачи, их время задержки должно составлять 30–70 нс. Для линий связи длиной несколько сот метров, скорость передачи по которым не превышает 1 Мбит/с, вполне приемлемы ОЭПЛС с временем задержки 250–500 нс.

Учитывая эксплуатационные требования, а также требования высокого процента выхода годных изделий, необходимо обеспечить работоспособность ОЭПЛС при коэффициенте передачи оптопары  $K_i = 5 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-4}$ . Однако при малых значениях  $K_i$  перезаряд паразитных емкостей

входных каскадов выходной схемы ОЭПЛС приводит к снижению быстродействия на этапе включения. Для обеспечения необходимого быстродействия при фототоках порядка нескольких микроампер требуются низкочувствительные (единицы милливольт) входные каскады, но они неудовлетворительно работают при больших значениях  $K_i$  (фототок достигает нескольких сотен микроампер), так как при этом значительно возрастает время выключения из-за высокой степени насыщения транзисторов усилительной схемы и наличия "медленной" составляющей спада фототока оптопары. "Медленная" составляющая фототока обусловлена носителями заряда, генерированными излучением в глубине базы фотодиода, но достигающими его перехода после отражения от поверхности фотодиода, к которой они двигаются в замедляющем поле. К тому же высокочувствительные низкочувствительные схемы обладают низкой помехоустойчивостью, в том числе малой стойкостью к эффекту  $dU/dt$  при скачках напряжения развязки.

Влияние "медленной" составляющей спада фототока оптопары (рис. 8, а, б) устраняется с помощью компенсационной схемы включения двух взаимноинверсно-управляемых оптопар (рис. 8, в, г) [11] ("медленная" составляющая фототока переключается из входной цепи усилителя в цепь компенсирующего фотодиода при его включении).

Включение взаимноинверсно-управляемых оптопар обеспечивает также компенсацию токов утечки фотодиода, что необходимо для работы ОЭПЛС в сложных эксплуатационных условиях.

Наиболее эффективным способом повышения помехоустойчивости высокочувствительных низкочувствительных схем является использование двухканальной схемы с взаимно инверсными сигналами в каналах и решающим логическим автоматом на выходе [12]. Алгоритм работы решающего автомата основан на том, что его выходной сигнал изменяется только при одновременном изменении сигналов на его входах. Это обусловлено тем, что полезные сигналы в каналах ОЭПЛС всегда противофазны, в то время как помехи типа скачков напряжения развязки или переходных помех на линию связи всегда синфазны по отношению к входам каналов усиления и поэтому вызывают переключение выхода только по одному каналу.

Схема ОЭПЛС, в которой одновременно реализованы компенсационный метод для повышения быстродействия и решающий автомат для повышения помехоустойчивости, представлена на рис. 9.

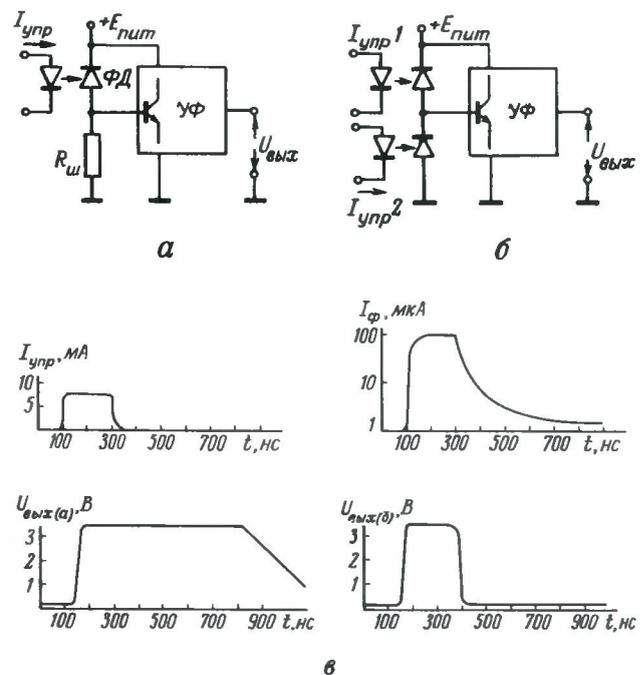


Рис. 8. Блок-схемы (а и б) быстродействующих оптоэлектронных переключателей (УФ – усилитель-формирователь) и временные осциллограммы тока управления, фототока р-и-п фотодиода и выходных сигналов (в)

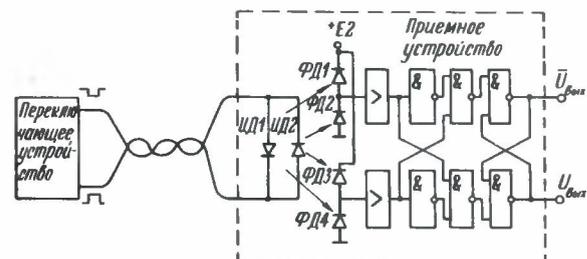


Рис. 9. Блок-схема одноканальной цифровой линии связи и помехоустойчивого оптоэлектронного двухканального логического переключателя с цифровым решающим устройством

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ  
ФОТОПРИЕМНИК ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ-  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ**

Как следует из предыдущего анализа, совершенствование характеристик оптронов связано с увеличением количества фотоприемников, входящих в состав схемы. Однако это не означает, что необходимо такое же количество излучателей. Так, в схеме на рис. 2, в и г все фотодиоды могут управляться световым потоком одного излучателя.

В целом для реализации одноканальных оптронов, схемы которых рассмотрены выше, достаточно двух излучателей, управляемых инверсными сигналами. Эти особенности схемотехники оптронов с улучшенными характеристиками очень хорошо сочетаются с возможностями технологии изготовления кристалла, на котором интегрированы фотоприемники, усилительные и ключевые элементы.

Для интеграции на одном кристалле фотодиодов и выходных элементов необходимо выбрать единую для всех компонентов базовую структуру.

В настоящее время в оптронах широко используется *p-i-n* фотодиод, что позволяет обеспечить достаточную толщину области, в которой практически полностью поглощается световой поток излучателя, а также получить высокое быстродействие вследствие ускоренного движения генерированных светом носителей заряда в электрическом поле *i*-слоя.

Однако эти достоинства могут быть реализованы только в фотодиодном режиме. В вентильном режиме фоточувствительная *p-i-n* структура работает как бездрейфовый фотодиод, поэтому ее использование как базовой для создания интегральной фоточувствительной схемы представляется нецелесообразным из-за отсутствия существенных преимуществ и сложности технологии.

При современном уровне технологии для создания оптоэлектронных интегральных схем более предпочтительна многослойная фоточувствительная структура (рис. 10, а), в которой *p-n* переходы включены параллельно, а толщины отдельных слоев выбраны таким образом, чтобы все носители достигали соответствующего *p-n* перехода в ре-

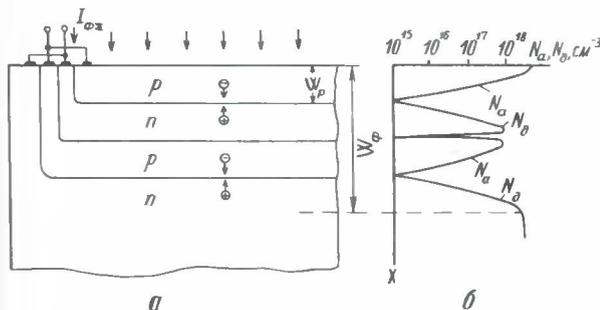


Рис. 10. Схематическая конструкция планарного многослойного фотодиода (а) и характер целесообразного распределения примесей  $N_{\text{пр}}$  в слоях структуры (б):  $N_A$  — концентрация акцепторов,  $N_D$  — концентрация доноров

зультате диффузионно-дрейфового движения и участвовали в создании первичного фототока.

Градиент примесей в слоях многослойной структуры создает ускоряющее поле для носителей зарядов и обеспечивает улучшение таких параметров, как коэффициент собирания носителей, генерированных светом, особенно в жестких эксплуатационных условиях. Оптимизацию фоточувствительной многослойной структуры следует проводить исходя из заданного спектрального состава светоизлучателя, требований по быстродействию и технологичности. В целях упрощения технологии и унификации ее со стандартной технологией bipolarных ИС можно уменьшить число слоев структуры, заведомо снижая коэффициент передачи тока оптопары на несколько десятков процентов.

Зависимость каждой составляющей первичного фототока  $I_{\text{ф}\Sigma}$  от электрофизических и геометрических параметров слоя определяется на основе аналитико-численного метода решения уравнения непрерывности [13].

Воздействие эксплуатационных факторов, например температуры или потока нейтронов, приводит к изменению времени жизни носителей заряда по известным закономерностям [14, 15].

Некоторые результаты машинных расчетов фоточувствительных структур приведены на рис. 11. Они показывают зависимость коэффициента собирания генерированных носителей от потока нейтронов при глубине проникновения света, равной 10 мкм ( $\lambda_{\text{изл}} \leq 0,8$  мкм).

Наличие "встроенных" электрических полей в фоточувствительной области фотодиода обеспечивает повышение быстродействия. Граничная частота первичного фототока увеличивается пропорционально некоторой функции (рис. 12), зависящей от отношения концентрации носителей у поверхности слоя  $N_s$  к концентрации скомпенсированных примесей у границы *p-n* перехода  $N_j$  [16].

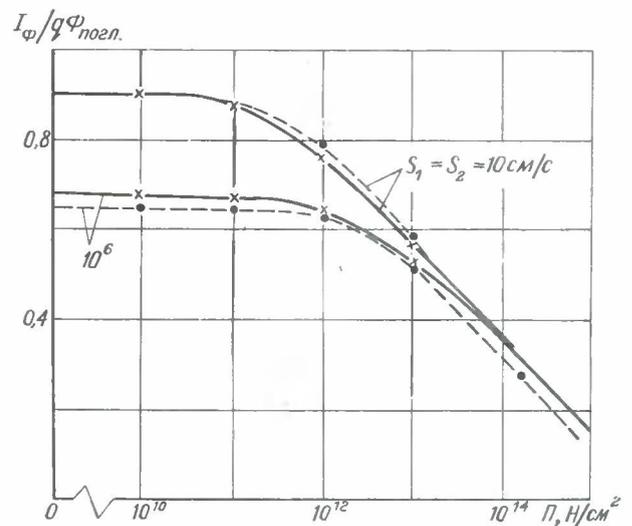


Рис. 11. Зависимость коэффициента собирания генерированных носителей от потока нейтронов при различных скоростях поверхностной рекомбинации и перепадов концентраций примесей: —x—  $10^{10} - 5 \cdot 10^{14}$ ; —•—  $10^{10} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$



## ИНТЕГРАЦИЯ НА ОДНОМ КРИСТАЛЛЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ВЫХОДНЫХ И ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТРОНА

Использование интегральной технологии с диэлектрической изоляцией позволяет решить проблему интеграции на одном кристалле всех элементов оптрона, кроме излучателя. Допустимое напряжение между изолированными карманами или островками полупроводника может достигать 500 В. Эта величина оказывается достаточной для обеспечения рабочего напряжения гальванической развязки между входными и выходными элементами оптрона (см. рис. 1) во многих случаях их применения.

Так, основное применение коммутаторов аналогового сигнала — реализация "плавающего ключа" в аналоговых мультиплексорах. При этом максимальное напряжение гальванической развязки ограничивается максимальным рабочим напряжением ключа, которое составляет 10—50 В. Режим работы оптоэлектронного реле переменного тока отличается величиной рабочего напряжения, которая у этих приборов составляет 200—400 В [18].

Для оптимизации работы ОЭПДС в качестве оконечного устройства проводной линии связи (одно из основных применений) целесообразно использование входной схемы с инверсно-управляемыми светодиодами [19]. В этом случае напряжение гальванической развязки 500 В оказывается достаточным для типовых эксплуатационных режимов.

Таким образом, на современном этапе развития оптоэлектроники унификация технологии изготовления оптронов и совершенствование их технических характеристик могут быть достигнуты путем функциональной дифференциации и технологической интеграции на одном кристалле элементов фотоувствительной схемы.

Улучшение электрических и эксплуатационных характеристик оптронов различного функционального назначения базируется на увеличении количества фотодиодов в схеме, которые могут быть реализованы в виде электрически и оптически изолированных структур по стандартной ТТЛ технологии.

Для изготовления интегральной фотоувствительной схемы предпочтительной является технология с диэлектрической изоляцией, исключающая фотоэффекты в элементах изоляции и расширяющая возможности повышения рабочего напряжения оптронов. Этот метод позволяет реализовать на одном кристалле входные и выходные схемы, если требуемое напряжение гальванической развязки не превышает допустимое напряжение изоляции между карманами или островками кремния.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Ю.Р., Сидоров А.С. Применение оптронов. — Зарубежная радиоэлектроника, 1977, № 8, 9.
2. Структура рынков сбыта электронной промышленности США в 1976—1980 гг. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1977, № 1.
3. Горохов В.А. Функциональная классификация и схемотехника интегральных оптоэлектронных коммутаторов. — Полупроводниковая электроника в технике связи, 1977, вып. 18.
4. Носов Ю.Р. Оптоэлектронные интегральные схемы. Электронная пром-сть, 1973, вып. 2.

5. Hewlett Packard Каталог изделий оптоэлектроники, 1977, с. 158.
6. Горохов В.А. Электрофизические модели и характеристики фотоувствительных и инжекционных многослойных структур. — Микроэлектроника, 1977, № 2.
7. Пронин Б.В., Мулюкин Н.В. Кинетика электролюминесценции p-n перехода на основе твердых растворов. — Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы, 1974, вып. 6.
8. Горохов В.А. Эквивалентные схемы и параметры фотодиодов и фототранзисторов. — Полупроводниковые приборы и их применение, 1963, вып. 10.
9. Петухов В.М., Таптыгин В.И., Хрулев А.К. Транзисторы полевые. М., Сов. радио, 1978.
10. Горохов В.А., Носов Ю.Р., Дмитриев В.И., Бер А.Ю. Оптоэлектронный аналоговый переключатель. Авт. свидетельство 559391. — БИ, 1977, № 19.
11. Горохов В.А., Носов Ю.Р., Рыбаков В.С. Классификация и принципы построения оптоэлектронных линий передач логических сигналов. — Микроэлектроника, 1974, вып. 7.
12. Горохов В.А., Рыбаков В.С. Линия связи цифровой аппаратуры. Авт. свидетельство № 499683. — БИ, 1976, № 2.
13. Горохов В.А., Горчаков А.А., Мгебриян Р.Г. Зависимость коэффициента усиления от скорости поверхностной рекомбинации и эффекта отеснения тока в бездрейфовых биполярных транзисторах с полосковой геометрией эмиттера. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1976, вып. 5.
14. Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. М., Атомиздат, 1969.
15. Messenger A. A two level model for lifetime reduction processes in neutron irradiated silicon and germanium. — IEEE Transactions on Nuclear Science, 1967, vol. NS-14, N 6.
16. Sawjer E., Rediker R.H. Narrow base germanium photodiodes. — Proc. IRE, 1958, vol. 46, N 6.
17. Кобболд Р. Теория и применение полевых транзисторов. М., Энергия, 1975.
18. Армстронг А. Новые конструкции полупроводниковых оптоэлектронных реле. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1977, № 15.
19. Gorohov V.A., Rybakov V.S. Subscriberloop digital transmission using optoelectronic transmitters and receivers. — IEEE Transactions on Communications, 1979, vol. com.-27, N 3.

Статья поступила после доработки 2 февраля 1979 г.

·ЭП·



РЕКЛАМА

НОВАЯ КНИГА

### УСИЛИТЕЛИ С ПОЛЕВЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ

В. М. Немчинов, В. Г. Никитаев, М. А. Ожогин

Под ред. И. П. Степаненко — М.: Советское радио,  
1980, 15,5 л., 20000 экз.

Рассмотрены свойства полевых транзисторов и усилителей на их основе. Важное место в книге занимают вопросы, связанные с температурным дрейфом, переходными характеристиками и стабильностью работы транзисторов и усилителей. Проанализированы усилители с линейными и динамическими нагрузками, использующие сочетание полевого транзистора с биполярным, с обратной связью и дифференциальные. Описаны интегральные операционные усилители с полевыми транзисторами и даны формулы для инженерного расчета импульсных схем. Приведены практические схемы усилителей.

# ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

А. В. Малинин, Б. Н. Чернуха,  
В. А. Шиллер

## ОПЕРАТИВНОЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КР188РУ2 НА ДОПОЛНЯЮЩИХ МОП ТРАНЗИСТОРАХ

Свойство КМОП БИС ОЗУ сохранять информацию при пониженном напряжении питания (до 1,3 В) позволяет использовать микросхему в блоках ЗУ с резервным питанием или вместо ППЗУ.

УДК 681.327.67

На кристалле БИС ОЗУ емкостью 256x1 бит выполнены матрица запоминающих ячеек, дешифратор адреса, усилитель записи-считывания, схемы управления и ввода-вывода данных.

Функционирование микросхемы поясняется нижеприведенной таблицей и временными диаграммами (рис. 1). На выводе "Выход данных" во всех операциях, кроме операции считывания, сохраняется "третье" состояние с высоким импедансом.

Вход ВК	Запись-считывание	Вход Д	Выход Д	Операция
0	X	X	X	Хранение
1	1	0	X	Запись 0
1	1	1	X	Запись 1
1	0	X	Д	Считывание

X — состояние на выводе безразлично.

Конструктивно микросхема оформлена в пластмассовом корпусе типа 238.16-1 по ГОСТ 17467-72. По уровню выходных сигналов БИС согласуется непосредственно с ТТЛ схемами серий К155, К134 и К555. По входному уровню лог. "0" стыковка с ТТЛ схемами также прямая, а по уровню лог. "1" — через согласующий резистор, номинал которого выбирается в зависимости от требуемой длительности

Основные технические характеристики (в диапазоне температур от -10 до +70 °С)

Напряжение источника питания	5 В ±10%
Максимальная потребляемая мощность в статическом режиме	≤ 55 мкВт
в динамическом режиме (f <sub>p</sub> = 500 кГц)	≤ 11 мВт
Входное напряжение лог. "1"	≥ U <sub>и.п.</sub> - 0,4 В
лог. "0"	≤ U <sub>и.п.</sub> - 0,4 В
Входной ток лог. "1"	≤ 0,5 мкА
лог. "0"	≤ -0,5 мкА
Ток утечки на выходе	≤ 2 мкА
Выходное напряжение лог. "1" при I <sub>ВЫХ</sub> <sup>о</sup> = -80 мкА	≥ 4,1 В
лог. "0" при I <sub>ВЫХ</sub> <sup>о</sup> = 1,6 мА	≤ 0,4 В
Время выборки	≤ 500 нс
Время записи (t <sub>ВК</sub> при записи)	250 нс
Время сохранения информации	≥ 30 нс
Время цикла считывания	≤ 800 нс
Время цикла записи	≤ 550 нс
Минимальное напряжение питания в режиме хранения	1,3 В
Ток потребления в режиме хранения при U <sub>и.п.</sub> = 1,5 В ±10%	≤ 0,05 мкА
Потребляемая мощность при U <sub>и.п.</sub> = 1,5 В ±10%	≤ 8,2 · 10 <sup>-8</sup> Вт

фронта входного сигнала и допустимой потребляемой мощности.

Микросхема КР188РУ2 непосредственно согласуется с ИМС на дополняющих МОП-транзисторах серий К164, К176, К564 по входам и выходам при напряжении питания 5 В ±10%.

Типичные зависимости статического тока потребления и времени выборки от напряжения питания показаны на рис. 2, а и б. При напряжении питания 5 В ±10% микросхема КР188РУ2 превосходит по этим параметрам подобные микросхемы серий К176 и К564.

Малое потребление мощности и гарантированное сохранение информации при напряжении питания U<sub>и.п.</sub> ≥ 1,3 В позволяют создавать на базе микросхем КР188РУ2 блоки ЗУ с сохранением данных при отключении основного (сетевого) источника питания и наличии резервного (батареяного). Одна из наиболее простых схем подключения

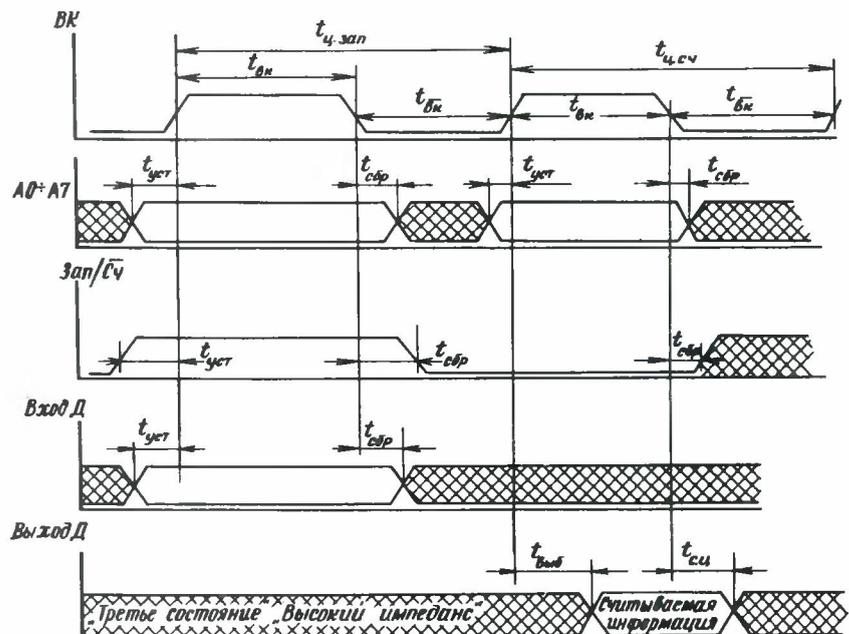


Рис. 1. Временные диаграммы работы микросхемы КР188РУ2: t<sub>ц.зап</sub> — время цикла записи; t<sub>ц.сч</sub> — время цикла считывания; t<sub>с.п</sub> — время сохранения информации; t<sub>выб</sub> — время выборки; t<sub>уст</sub> — время установления; t<sub>сбр</sub> — время сброса; t<sub>вк</sub> — время обращения; t<sub>вк</sub><sup>о</sup> — время восстановления; t<sub>сч</sub> = 25 нс; t<sub>уст</sub>, t<sub>сбр</sub> ≥ 25 нс

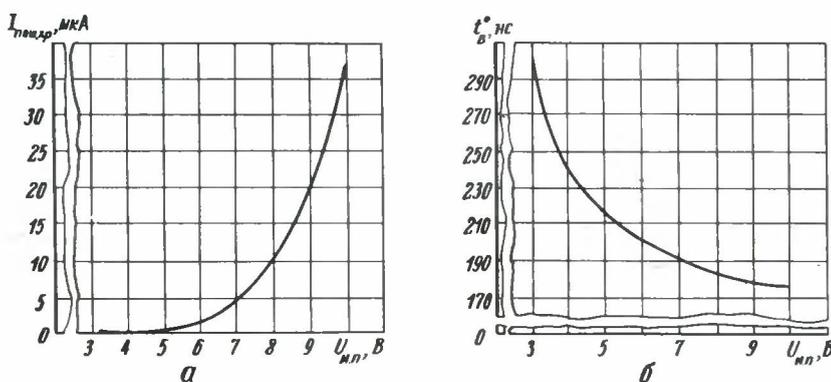


Рис. 2. Зависимость статического тока потребления (а) и времени выборки (б) от напряжения питания

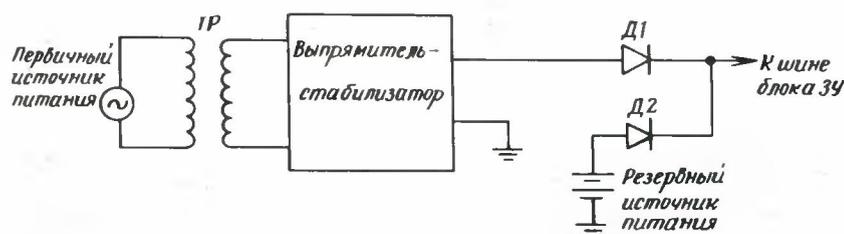


Рис. 3. Простейшая схема подключения блока ЗУ к резервной батарее питания

блока ЗУ к резервной батарее показана на рис.3. Диоды D1 и D2 должны иметь малые прямые напряжения смещения и сопротивления (например, германиевые диоды). В качестве источников резервного питания могут быть использованы ртутно-цинковые, серебряно-цинковые и другие элементы, а также аккумуляторы. Угльно-цинковые элементы (типа 373, "Марс", 316 и т.п.) имеют минимальную стоимость, однако крутой спад напряжения от 1,5–1,6 до 0,7–0,8 В в течение всего срока службы и большие габариты и масса делают нежелательным использование этих элементов в качестве резервных источников питания.

Серебряно-цинковые элементы типа СЦ-21 или СЦ-32, применяемые в электронных наручных часах, имеют достаточную емкость (38 и 110 мА·ч соответственно), миниатюрные размеры и плавный спад напряжения (от 1,5–1,6 до 1,35 В) в конце срока службы. Одного элемента СЦ-32 достаточно для сохранения информации в блоке ЗУ емкостью 1 кбайт (1024x8 бит) на микросхемах КР188РУ2 в течение 6 мес., а в блоке емкостью 2 кбайт (256x8 бит) информация не разрушается в течение 15 мес.—допустимого срока хранения самого элемента питания.

Микросхему КР188РУ2 можно применять в качестве ОЗУ средней емкости и быстродействия, а также перепрограммируемых ЗУ (ППЗУ) в устройствах типа кассовых аппаратов, табуляторах и других, где требуется сохранение информации в ЗУ после отключения основного источника питания и возможность оперативного изменения этой информации в процессе работы устройства. В отличие от памяти на ферритах или ППЗУ на МНОП-элементах или МОП-транзисторах с плавающим затвором, блоки памяти на микросхемах КР188РУ2 не требуют сложных схем управления и нескольких источников питания для записи и стирания информации.

Таким образом, достигнутые характеристики и удобство использования микросхем КР188РУ2 дают основание для их широкого применения в различных устройствах промышленного, технического и бытового назначения.

Статья поступила 23 мая 1979 г.

Н. В. Базина, Н. С. Кирсанова,  
Н. С. Самсонов

### МИКРОСХЕМЫ СЕРИИ К170 ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ВЫСОКОПРОИЗВО- ДИТЕЛЬНЫХ ЭВМ

Использование усилителей и формирователей серии К170 как в коротких линиях связи, так и в длинных многоканальных позволяет увеличить производительность системы передачи данных.

УДК 621.3.049.77:681.3

Требования по уменьшению размеров, сокращению потребляемой мощности и повышению надежных характеристик устройств передачи данных в высокопроизводительных ЭВМ приводят к необходимости использования интегральных полупроводниковых микросхем передатчиков (формирователей) и приемников (усилителей) сигналов для различных линий связи в ЭВМ.

Современным требованиям, предъявляемым к устройствам передачи сигналов в высокопроизводительных ЭВМ, удовлетворяют микросхемы серии К170: К170АП1, К170УП1, К170АП2, К170УП2.

Микросхемы К170АП1, К170УП1 предназначены для работы с линиями связи в виде пары проводников. Каждая микросхема имеет два независимых канала для передачи (приема) информации. Микросхемы могут работать совместно как с короткими линиями связи (рис.1), так и с длинными многоканальными (рис.2). Большое входное сопротивление схемы К170УП1 и большое выходное сопротивление схемы К170АП1 мало нагружают линию передачи информации. Эта особенность, а также возможность стробирования как каждого канала отдельно, так и двух одновременно позволяют передавать информацию в одной линии по нескольким каналам и тем самым увеличить производительность системы передачи данных при минимальном числе элементов и узлов.

Полупроводниковая микросхема К170АП1 — двоянный (двухканальный) формирователь импульсов тока. Электрическая схема одного канала формирователя показана на рис.3.

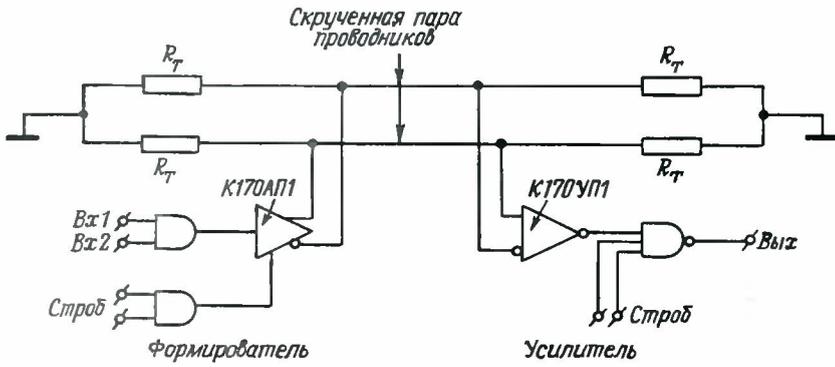


Рис. 1. Короткая линия передачи

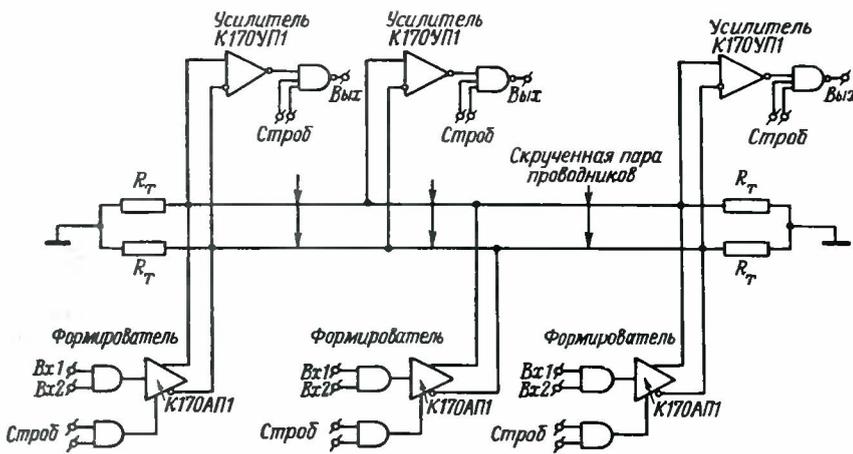


Рис. 2. Система многоканальной линии передачи

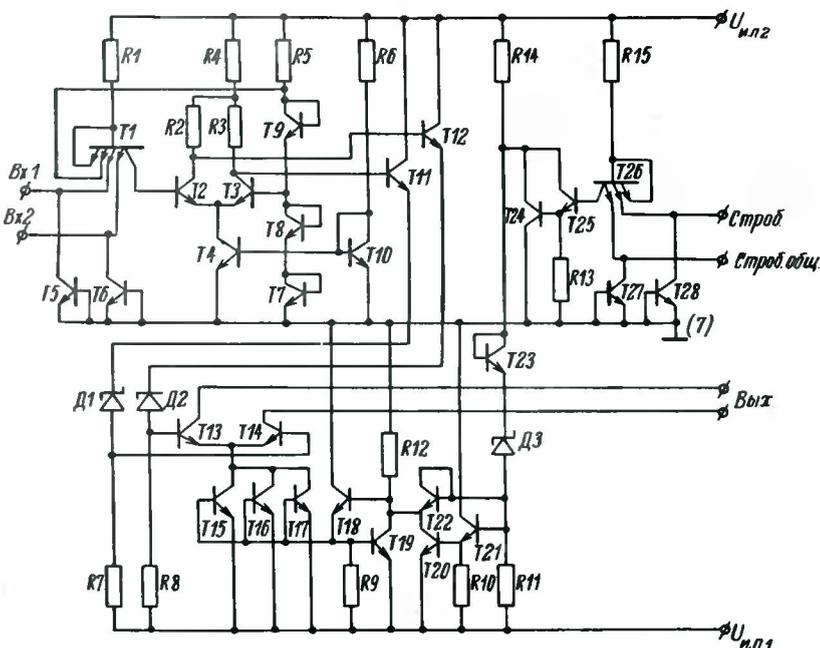


Рис. 3. Электрическая схема одного канала формирователя К170АП1

Входные управляющие сигналы и сигналы временного стробирования, обеспечивающие формирование тока в выходных транзисторах Т13 и Т14, согласованы по напряжениям и токам с ТТЛ схемами, имеющими максимальное пороговое напряжение логического нуля 0,8 В и минимальное пороговое напряжение логической единицы 2 В.

Полупроводниковая микросхема К170УП1 – двоянный (двухканальный) усилитель импульсов напряжения, поступающих по линии связи, состоящей из пары скрученных проводников. Электрическая схема одного канала усилителя показана на рис.4. Микросхема по своим сигналам и сигналам временного стробирования согласована с стандартными ТТЛ элементами, имеющими максимальное напряжение логического нуля 0,4 В и минимальное напряжение логической единицы 2,4 В.

Микросхемы К170АП2, К170УП2 предназначены для работы с линиями связи большой емкости.

Полупроводниковая микросхема К170АП2 – двоянный (двухканальный) формирователь двухполярных сигналов с амплитудой более 5 В на нагрузке ( $R_H \geq 3 \text{ кОм}$ ;  $C_H \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ пФ}$ ). Время формирования  $< 2 \text{ мкс}$  при управлении от стандартных микросхем типа ТТЛ (серии К155).

Электрическая схема одного канала формирователя К170АП2 приведена на рис.5. В формирователе предусмотрена защита выходного каскада от перегрузок по напряжению и току. Величины максимальных токов нагрузки определяются значениями резисторов  $R_8$  и  $R_{11}$ , на которых падение напряжения при этих токах порядка падения напряжения на прямосмещенном  $p-n$  переходе эмиттер-база транзистора. При значительном увеличении напряжения на выходе пробивается (на ограниченном токе) опорный диод Д19, открывается транзистор Т1, ток которого блокирует управление входными цепями формирователя и обеспечивает закрывание транзисторов Т10 и Т11. При значительном уменьшении напряжения на выходе пробивается (на ограниченном токе) опорный диод

Д20 и открывается транзистор Т7, ток которого, создавая падение напряжения на резисторе  $R_6$ , обеспечивает закрывание транзисторов Т4, Т5, Т6.

Полупроводниковая микросхема К170УП2 – четырехканальный усилитель, предназначенный для приема с линии связи двухполярных сигналов амплитудой более 3 В и формирование на выходе сигналов, согласованных по напряжениям и токам со стандартными микросхемами типа ТТЛ (серия К155).

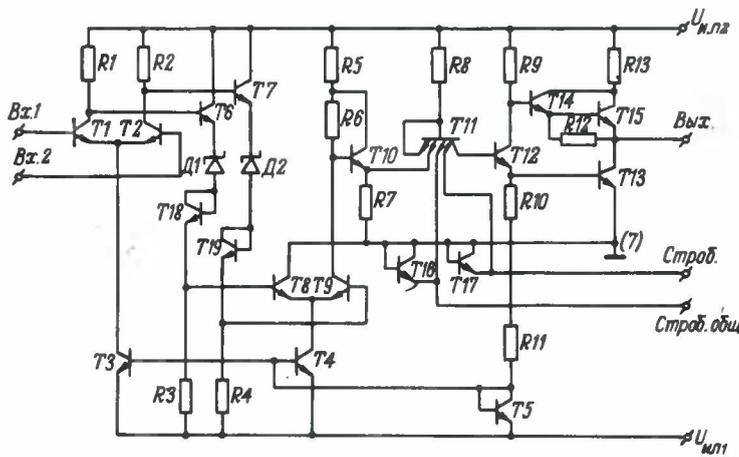


Рис. 4. Электрическая схема одного канала усилителя K170UP1

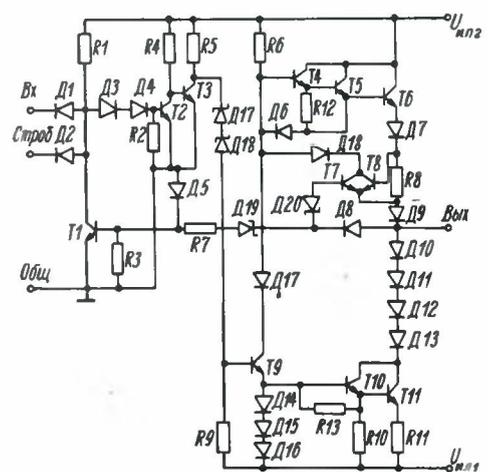


Рис. 5. Электрическая схема одного канала формирователя K170AP2

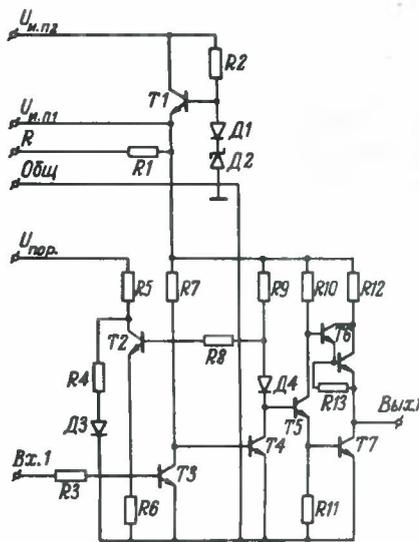


Рис. 6. Электрическая схема одного канала усилителя K170UP2 со стабилизатором

Электрическая схема одного канала усилителя с стабилизатором напряжения (общего для четырех каналов) приведена на рис. 6. Отличительной особенностью усилителя K170UP2 является передаточная характеристика, имеющая гистерезис относительно входных сигналов, что существенно улучшает защищенность приемного устройства от помех в линии связи. Величина гистерезиса может регулироваться при уменьшении напряжения на выводе Uпор.

Основные электрические параметры микросхем K170AP1, K170UP1 при T = 25°C и Uнп = ±5 В ± 5%

МИКРОСХЕМА K170AP1

Выходной ток, мА  
в открытом состоянии . . . . . 6,5–15  
в закрытом состоянии . . . . . ≤ 0,1

Время задержки распространения при включении (выключении), нс . . . . . ≤ 15  
Время задержки распространения при включении (выключении) от строб-входа, нс . . . . . ≤ 25  
Типовая мощность потребления на частоте 1 МГц, мВт . . . . . 150

МИКРОСХЕМА K170UP1

Минимальное входное управляющее напряжение, мВ . . . . . 25  
Выходное напряжение, В  
логической единицы . . . . . ≥ 2,4  
логического нуля . . . . . ≤ 0,4  
Время задержки распространения при включении (выключении), нс . . . . . ≤ 25  
Время задержки распространения при включении (выключении) от строб-входа, нс . . . . . ≤ 15  
Типовая мощность потребления на частоте 1 МГц, мВт . . . . . 100

Основные электрические параметры микросхем K170AP2, K170UP2 при T = 25°C

МИКРОСХЕМА K170AP2 (при Uнп = ±12 В ± 5%)

Минимальное положительное выходное напряжение, В . . . . . 5  
Максимальное отрицательное выходное напряжение, В . . . . . -5  
Время задержки распространения при включении (выключении), нс . . . . . ≤ 90 (120)  
Время перехода из состояния логического нуля (логической единицы) в состояние логической единицы (логического нуля), нс . . . . . ≤ 80 (40)  
при Cн = 15 пФ  
≤ 2000 при Cн = 2500 пФ  
Типовая мощность потребления на частоте 100 кГц, мВт . . . . . 200

МИКРОСХЕМА K170UP2

(при Uнп1 = 5В ± 5% или Uнп2 = 12 В ± 5%)

Минимальное положительное входное напряжение, В . . . . . 3  
Максимальное отрицательное входное напряжение, В . . . . . -3  
Выходное напряжение, В  
логической единицы . . . . . ≥ 2,4  
логического нуля . . . . . ≤ 0,4  
Время задержки распространения при включении (выключении), нс . . . . . ≤ 45 (50)  
Типовая мощность потребления на частоте 100 кГц, мВт . . . . . 145

Конструктивно микросхемы выполнены в пластмассовых DIP корпусах с числом выводов 14 для микросхем K170AP1 и K170UP1, числом выводов 8 для микросхемы K170AP2 и 16 — для микросхемы K170UP2. Диапазон рабочих температур от -10 до +70°C.

Статья поступила 12 апреля 1979 г.

А. Н. Кожемякин, А. В. Колосовский, В. В. Синикаев, А. И. Хоменко

МИКРОМОЩНЫЕ КМДП ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СЕРИИ K564

На базе цифровых КМДП ИС серии K564 можно создавать высокоэкономичную и помехоустойчивую аппаратуру для широкого класса устройств цифровой автоматики и вычислительной техники.

УДК 621.3.049.77.002.2

Микромощные КМДП интегральные схемы серии K564 обладают повышенным быстродействием по сравнению с другими сериями КМДП ИС, высокой помехоустойчивостью и широким диапазоном изменения напряжения питания. Серия K564 представляет собой достаточно полный функциональный ряд универсальных микросхем средней степени интеграции, первые двенадцать

типов которой описаны в ранее опубликованной работе.\*

**Микросхема K564TM2** — два идентичных независимых двухступенчатых тактируемых *D*-триггера со входами предварительной установки *S* и сброса *R* и буферными выходами  $Q_i$  и  $\bar{Q}_i$ . Изменение состояния триггеров осуществляется положительными фронтами импульсов по тактовым входам *C*. (рис. 1).

Микросхема применяется для хранения цифровой информации, для работы в качестве разряда регистра или счетчика, а также для построения общих цифровых логических схем.

**Микросхема K564IP2** — два четырехразрядных последовательных регистра сдвига с информационными входами *D* первого разряда и входами сброса *R*. Сдвиг информации производится по положительному фронту тактовых импульсов *C* (рис. 2).

Микросхема предназначена для хранения информации и ее преобразования путем правых сдвигов, для преобразования последовательной информации в параллельную, для деления частоты, а также для построения общих цифровых логических схем.

**Микросхема K564IP9** — четырехразрядный последовательно-параллельный регистр с  $\overline{JK}$  логикой на входе первого разряда и преобразователями прямой/инверсный код на выходах разрядов. Содержит четыре параллельных входа  $D_i$  а также входы сброса *R* (для прямого кода), переключения параллельный-последовательный режим работы *A*, прямой/инверсный код *B*. Изменение логического состояния разрядов осуществляется по положительному фронту импульса на тактовом входе *C* (рис. 3).

Микросхема используется для хранения и преобразования цифровой информации, для реализации функций счета и сдвига, преобразования прямого кода в инверсный, последовательной информации в параллельную и, наоборот, генерации последовательностей импульсов, для построения общих цифровых логических схем.

**Микросхема K564IA7** — четыре идентичных независимых двухходовых логических элемента И-НЕ (рис. 4), каждый из которых реализует функцию  $Y = \overline{x_1 x_2}$ .

Микросхема широко применяется при построении различных цифровых устройств: счетчиков, дешифраторов, регистров хранения и т. д.

**Микросхема K564IA8** — два идентичных независимых четырехходовых логических элемента И-НЕ (рис. 5), каждый из которых выполняет функцию  $Y = \overline{x_1 x_2 x_3 x_4}$ .

Области применения микросхемы аналогичны областям применения микросхемы K564IA7.

**Микросхема K564IP13** — три идентичных независимых трехходовых логических мажоритарных элемента (рис. 6), каждый из которых выполняет функцию  $Y = x_1 x_2 \vee x_2 x_3 \vee x_1 x_3$ .

Микросхема используется в цепях резервирования и для образования сигнала переноса при суммировании двоичных чисел.

**Микросхема K564IK1** — три мажоритарно-мультиплексорных элемента, связанных двумя общими адресными шинами. Каждый объединяет три логических канала связи. Сигнал на выходе элемента образуется либо по мажоритарному принципу, либо повторяет сигнал одного из каналов связи. Адресация каналов происходит одновременно для трех элементов с помощью одного из четырех наборов на двух адресных шинах (рис. 7). В случае набора  $x_1 = x_2 = 0$  микросхема распадается на три независимых мажоритарных элемента.

Микросхема применяется в цепях резервирования.

**Микросхема K564IN2** содержит шесть независимых логических элементов НЕ (рис. 8), являющихся мощными буферными инвертирующими каскадами. Отличительная особенность микросхемы состоит в том, что на входе допускается напряжение сигнала, превышающее напряжение источника питания. Микросхема может применяться как мощный преобразователь уровня при переходе от КМДП логических схем к биполярным. Микросхема по уровням напряжения непосредственно согласуется с ТТЛ схемами.

**Микросхема K564IE11** — четырехразрядный двоичный реверсивный счетчик имеет четыре выхода разрядов  $Q_i$  и инверсный выход переноса *P*, а также четыре параллельных входа  $D_i$  на каждый разряд, вход сброса *R*, вход разрешения записи с параллельных входов *V*, вход сложение/вычитание ( $\pm 1$ ), инверсный вход переноса *PO* и вход синхронизации *C*. Изменение состояния счетчика производится по положительному фронту на входе синхронизации

при наличии низкого уровня на входе *PO* (рис. 9).

Микросхема применяется для реализации прямого и обратного счета, для работы в качестве синтезатора частот, для аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, для выполнения разностного счета.

**Микросхема K564IE14** — четырехразрядный двоичный/двоично-десятичный реверсивный счетчик, имеющий такие же входы и выходы, как и микросхема K564IE11, за исключением того, что вход сброса заменен входом двоичный/двоично-десятичный (2/10) (рис. 10).

Области применения микросхемы аналогичны областям применения микросхемы K564IE11.

**Микросхема K564ID1** — двоично-десятичный дешифратор содержит четыре входа (*A*, *B*, *C*, *D*) и десять выходов с мощными выходными инверторами. (рис. 11).

Микросхема предназначена для преобразования двоичного кода в десятичный (4x10) или двоичного кода в восьмеричный (3x8 при низком уровне на входе *D*).

**Микросхема K564IM1** — четырехразрядный сумматор содержит четыре разряда полного сумматора и схему ускоренного сквозного переноса (рис. 12). Схема ускоренного переноса обеспечивает сохранение быстродействия при обработке многоразрядных чисел.

Микросхема применяется для арифметического сложения двоичных чисел.

**Микросхема K564IP3** — четырехразрядное АЛУ содержит четыре блока разрядов, блоки сквозного переноса между разрядами, блок ускоренного переноса в АЛУ старших разрядов при совместном использовании нескольких АЛУ и блок компаратора. Микросхема имеет четыре выхода разрядов  $F_i$ , выход компаратора  $A=B$ , инверсный выход сквозного переноса  $C_{n+4}$  (положительная логика), выходы ускоренного переноса *Q* и *P* для связи со схемой сквозного переноса K564IP4 при образовании многоразрядных систем. Микросхема имеет четыре входа слова *A*, четыре входа слова *B*, четыре входа выбора функции  $S_i$ , вход *MC* логический/арифметический режим работы и инверсный вход переноса  $C_n$  (рис. 13).

Микросхема применяется для построения процессорных систем и производит 16 логических и 16 арифметических операций над двумя четырехразрядными словами *A* и *B*, а также выполняет функции компаратора  $A=B$ ,  $A < B$ ,  $A < B, A \geq B, A > B$ .

\*Агапкин В.П., Горелов В.Б., Левит А.С., Полосин А.Н. Микромощные интегральные схемы серии K564 повышенного быстродействия. — Электронная промышленность, 1977, вып. 4, с 84–87.

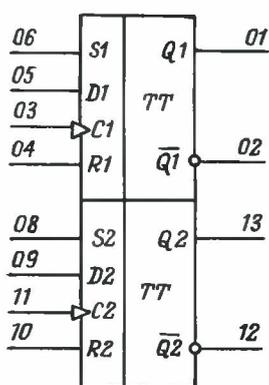


Рис. 1. Микросхема K564TM2

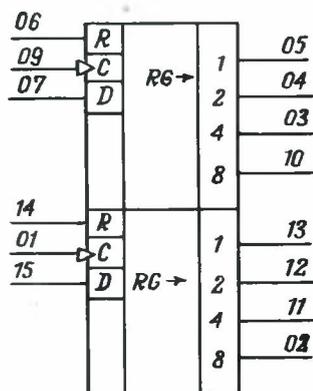


Рис. 2. Микросхема K564IP2

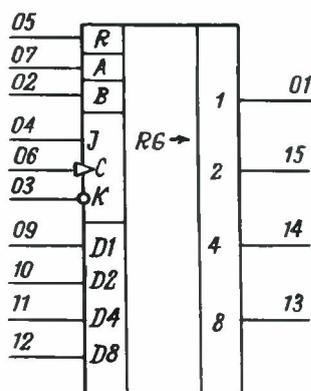


Рис. 3. Микросхема K564IP9

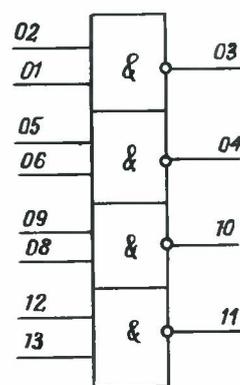


Рис. 4. Микросхема K564ЛА7

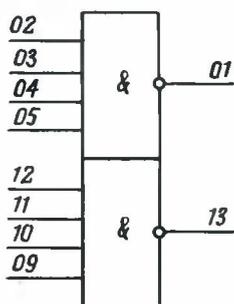


Рис. 5. Микросхема K564ЛА8

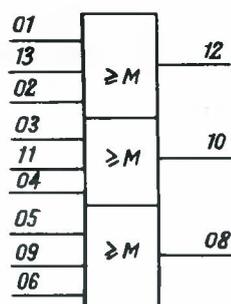


Рис. 6. Микросхема K564ЛП13

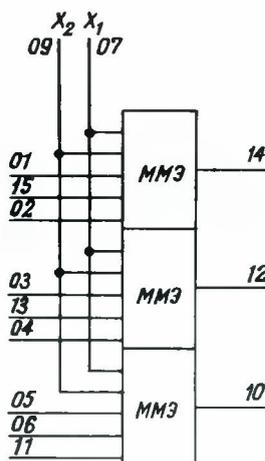


Рис. 7. Микросхема K564ИК1

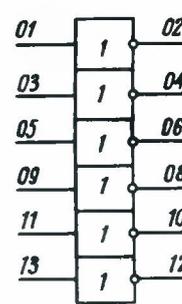


Рис. 8. Микросхема K564ЛН2

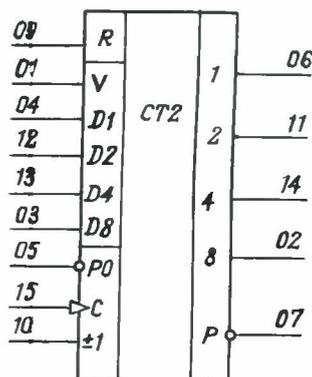


Рис. 9. Микросхема K564ИЕ11

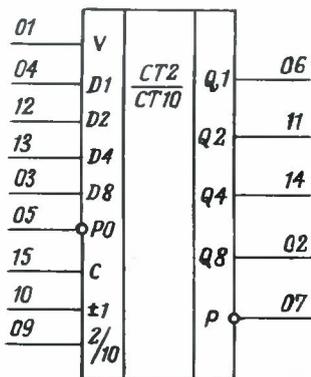


Рис. 10. Микросхема K564ИЕ14

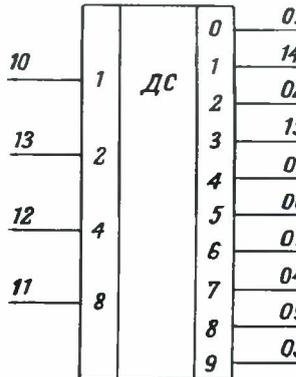


Рис. 11. Микросхема K564ИД1

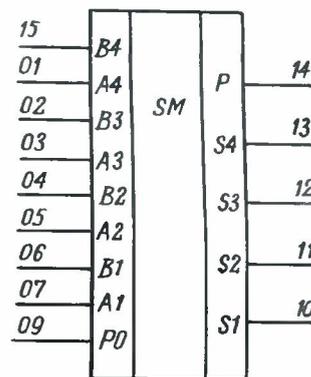


Рис. 12. Микросхема K564ИМ1



Рис. 13. Микросхема K564ИП3

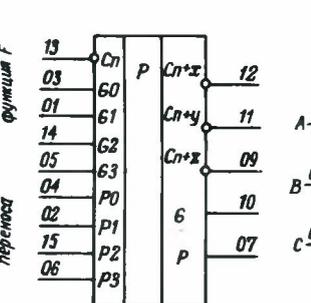


Рис. 14. Микросхема K564ИП4

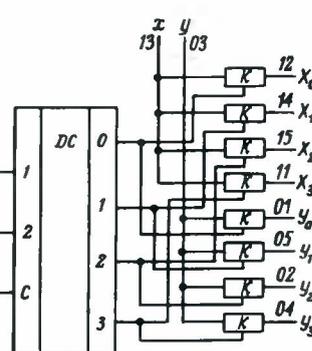


Рис. 15. Микросхема K564КП1

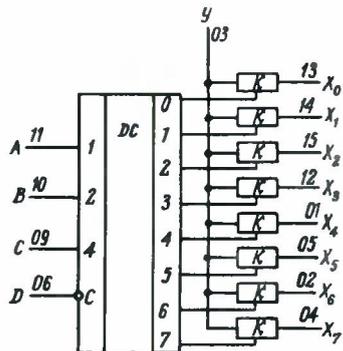


Рис. 16. Микросхема K564КП2

**Микросхема К564ИП4** — схема сквозного переноса имеет инверсный вход переноса  $C_n$  (положительная логика), четыре пары входов  $G_i$  и  $P_i$  для связи с четырьмя микросхемами К564ИП3 и инверсные выходы  $C_{n+x}$  для АЛУ 5–8 разрядов,  $C_{n+y}$  для АЛУ 9–12 разрядов и  $C_{n+z}$  для АЛУ 13–16 разрядов (рис. 14). Выходы  $G$  и  $P$  предназначены для связи с микросхемой К564ИП4 второго уровня при образовании 64 разрядных систем.

Микросхема используется как схема ускоренного сквозного переноса совместно с микросхемами К564ИП3 при образовании многоразрядных процессорных систем.

**Микросхема К564КП1** — двояканный четырехканальный мультиплексор является электронным коммутатором логических и аналоговых сигналов с цифровым управлением. Для прохождения как положительных, так и отрицательных сигналов используется дополнительный источник питания  $U_{DM}$ . Состоит из преобразователей уровня, дешифратора 2x4 и 8 двунаправленных ключей, соединенных в две группы (рис. 15). По сигналам на входах  $A$  и  $B$  выбирается одна из четырех пар каналов, которая должна быть открыта, и соединяются соответствующие входы с выходами. Высокий уровень сигнала на входе запрета  $C$  соответствует случаю, когда все ключи закрыты.

**Микросхема К564КП2** — восьми-канальный мультиплексор является электронным коммутатором, аналогичным микросхеме К564КП1. Имеет дешифратор 3x8 (рис. 16). По сигналам на входах  $A$ ,  $B$  и  $C$  выбирается один из 8 каналов и соединяются соответствующий вход с выходом. Высокий уровень на входе запрета  $D$  соответствует случаю, когда все ключи закрыты.

#### Основные технические характеристики микросхем:

Напряжение питания, В . . . . .	3–15
Потребляемая мощность при $f = 1$ МГц, $U_{и.п.} = 10$ В и $C_H = 50$ пФ, мВт . . . . .	20
Помехоустойчивость по входам, В . . . . .	$0,3 U_{и.п.}$
Выходное напряжение, В логического нуля . . . . .	$\leq 0,05$
логической единицы . . . . .	$\geq U_{и.п.} - 0,05$
Рабочая температура, °С . . . . .	от -60 до +125

Последовательным объединением нескольких четырехразрядных микросхем можно создавать многоразрядные системы.

Все входы микросхем снабжены схемой стандартной диодно-резисторной защиты, предохраняющей затворы входных вентилях от пробоя за счет разряда статического электричества. Микросхемы К564ЛН2 и К564ИК1 имеют схему защиты, допускающую превы-

шение входных уровней над уровнем источника питания.

Микросхемы конструктивно выполнены в 14-, 16- или 24-выводных планарных металлокерамических корпусах типов 401.14-5, 402.16-16 и 405.24.2.

Кристаллы микросхем изготавливаются по стандартной КМОП технологии с алюминиевым затвором и использованием ионной имплантации для образования  $p$ -кармана, а также истоковых и стоковых областей  $p$ - и  $n$ -каналы МДП-транзисторов. С помощью ионного легирования регулируются величины пороговых напряжений  $p$ -транзисторов.

Использование цифровых КМДП микросхем серии К564 по сравнению с аналогичными биполярными микросхемами позволяет снизить потребляемую мощность, габариты и массу радиоэлектронной аппаратуры, исключить вторичные источники питания с низким КПД.

Статья поступила 10 мая 1979 г.

А. Г. Алекса, В. Н. Дульдьер,  
Н. С. Ибраимов, М. И. Седов,  
А. А. Смирнов

### АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В датчике ультразвуковой объемной реально-временной визуализации органов человека пространственное сканирование ультразвукового поля осуществляется коммутацией элементов в режиме излучение—прием. Трехмерное изображение формируется на основе эхограмм от каждого пьезоэлемента.

УДК 534.2:61

В последние годы широкое признание в медицине получили методы ультразвуковой визуализации, позволяющие на экранах видеоустройств наблюдать за процессами, происходящими во внутренних органах человека. Ультразвуковая диагностика в ряде случаев является единственно возможным

и эффективным средством получения ценной медицинской информации.

Первоначально для целей диагностики использовался метод одномерного зондирования, успешное применение которого в кардиологии обусловило развитие нового направления — одномерной эхокардиографии (А- и М-эхографии). Это дало возможность получать уникальную информацию об анатомии и динамике структуры сердца при абсолютной безопасности для пациента и относительной простоте процесса обследования. Однако одномерная эхокардиография имеет принципиальный недостаток: большое число степеней свободы датчика усложняет процесс дешифрирования структур и измерение их параметров.

Мультискенирующая эхокардиография предоставляет возможность выбора требуемой позиции обзора, позволяет исследовать процессы сопряженного функционирования различных структур в пространстве и динамике, устанавливать взаимосвязь различных показателей в процессе сердечных сокращений [1]. Развитие многоэлементных УЗ систем происходит главным образом в направлении разработки и создания электронно-коммутируемых антенн типа линеек с использованием того или иного способа коммутации элементов для получения изображений в виде двумерных срезов сердца (В-скенирование) [2, 3].

В последние годы наметилось направление по разработке двумерных акустических матриц с электронной коммутацией элементов [4–6], которые предназначены для получения эхограмм В- и С-типа, но в принципе могут быть использованы и для съема трехмерных эхокартин. Реализация таких систем связана с поиском принципов построения и методов конструктивного и технологического воплощения для достижения оптимальных функциональных и технических характеристик устройств, простоты их исполнения и надежности.

Трехмерная визуализация внутренних органов представляет практический интерес для медицины. В акушерстве, онкологии и других областях медицины, где исследуются неподвижные объекты, она осуществляется средствами акустической голографии. В кардиологии, где техника УЗ визуализации получила наиболее эффективное развитие, попытки голографирования сердца встречают определенные трудности.

Акустический датчик для получения трехмерных изображений должен

обеспечивать визуализацию сокращений сердца в динамике. Съем кадра изображения необходимо производить за достаточно короткий промежуток времени, позволяющий идентифицировать каждую эхограмму с отдельной фазой сердечного цикла. В режиме реального времени визуализации выбор времени получения кадра изображения  $T_K$  ограничен величиной 50 мс [ 4 ].

В зоне визуализации должны просматриваться отдельные полости сердца и кардиоэлементы. В современной эхокардиографии широко используется метод секторного В-сканирования позволяющий визуализировать частично или полностью "срезы" левой половины сердца в зависимости от угла развертки сектора. Получение изображения всего сердца осложняется из-за недостаточного размера УЗ окна для просмотра грудной клетки человека. Размеры поля зрения датчика на глубине зондирования 15 см должны составлять 15x10 см. Разрешение по глубине должно быть не хуже 1 мм.

Формирование изображений динамических структур с высоким разрешением по всем трем измерениям затруднено по причине сравнительно небольшой скорости распространения ультразвука ( $C = 1540$  м/с) в биологических тканях. Азимутальное разрешение определяется числом линий изображения — треков в секторе при заданном угле развертки. Чем больше треков, тем выше азимутальное разрешение и качественнее изображение. Но при трехмерной визуализации повышение азимутального разрешения за счет наращивания числа треков выше некоторого значения не приводит к адекватному улучшению качества изображения.

Объемное представление информации в реальном трехмерном пространстве может быть создано разными способами с применением различных экранов, в том числе и плоских. Увеличение объема информации в кадре при отображении эхограмм на плоском экране приводит к тому, что при больших плотностях элементов разложения исключается возможность наблюдения внутренних структур изображения (избыток информации является причиной потерь информации). Поэтому точки изображения должны быть разрежены таким образом, чтобы внутреннюю структуру объекта можно было увидеть через периферийные слои за счет параллактических смещений точек. Для получения оптимальной объемной

индикации требуется такой промежуток между элементами изображения, при котором исключаются потери полезной информации и обеспечивается просмотр изображения вглубь.

Трехмерная зона визуализации выбрана в виде четырехгранной пирамиды со сферическим основанием и представляет собой набор секторных эхограмм.

С учетом изложенных требований принято, что оптимальное число треков в кадре составляет  $\sim 5 \cdot 10^2$ , что соответствует  $6 \cdot 10^4$  элементам разложения трехмерного изображения. При  $T_K = 50$  мс скорость поступления информации составляет  $10^6$  бит/с, что при скорости звука 1540 м/с обеспечивает разрешающую способность по глубине не хуже 1 мм. При глубине зондирования 15 см время опроса трека равно 195 мкс. Следовательно, полное число треков в кадре составляет 256, а число элементов разложения  $3 \cdot 10^4$ . Таким образом, матрица из 16x16 элементов не способна обеспечить необходимый объем информации, а дальнейшее наращивание числа элементов приведет к возрастанию  $T_K$ . Увеличения объема информации за время кадра можно добиться путем использования двух синхронно работающих идентичных полуматриц, содержащих 16x16 элементов каждая.

Перечисленные требования явились основополагающими при разработке принципиальной конструкции датчика для получения трехмерных изображений.

Входящие в состав датчика два функционально независимые полуматрицы конструктивно выполнены в виде одной 32x16 элементной матрицы (рис. 1). Приемоналучающая поверхность представляет собой сферический прямоугольник с размерами 15x10 см и радиусом сферы  $R = 15$  см. Центр сферы матрицы совмещен с центром акустической линзы, расположенной в выходном окне датчика. Таким образом, центральная ось диаграммы направленности каждого элемента проходит через центр окна, диаметр которого 1,5 см. Полость датчика заполнена водой.

Сферичность приемоналучающей поверхности обеспечивает акустическую развязку синхронно работающих полуматриц, если расстояние между двумя рабочими элементами полуматриц достаточно велико. При этом исключается взаимная засветка работающих элементов эхосигналами при заданной апертуре окна, начиная с некоторой минимальной глубины локации  $R_0$  (см. рис. 1).

Датчик работает следующим образом. Акустически развязанная пара элементов (например, первый и шестнадцатый элементы строки) излучает зондирующие ультразвуковые импульсы одновременно. Через время  $T = \frac{2R}{C}$  излучает следующая пара элементов (например, второй и семнадцатый) из той же строки и т.д. Спустя время  $T_1 = \frac{2(R+R_0)}{C}$  после излучения элементы начинают прием эхосигналов с продолжительностью  $T_2 = \frac{(R-R_0)}{C}$ . Прием и обработка сигналов ведется синхронно по двум независимым каналам, с выхода каждого из которых поступает временная последовательность видеосигналов, прерываемая паузами длительностью  $T_0 = 2 \frac{R_0}{C}$  (рис. 2).

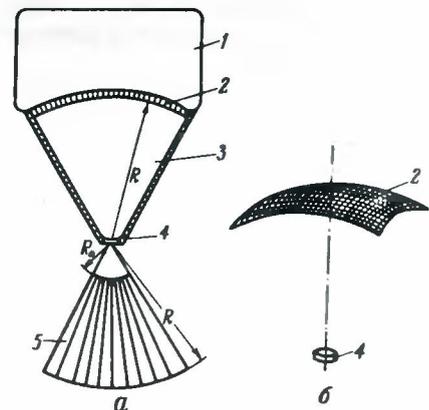


Рис. 1. Схема конструкции акустического датчика зоны визуализации (а) и матрицы с линзой (б): 1 — корпус электронного блока датчика; 2 — матрица; 3 — полость датчика, заполненная водой; 4 — линза; 5 — зона визуализации

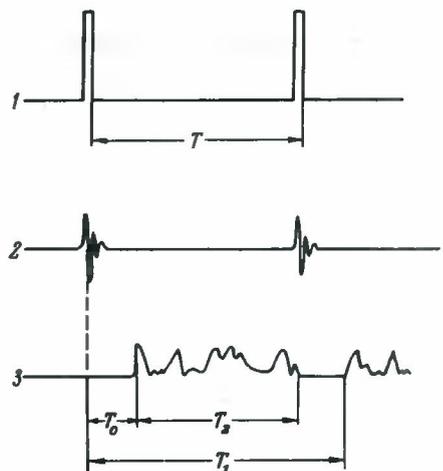


Рис. 2. Временные диаграммы рабочих сигналов зондирующего генератора (1), пьезоэлементов (2), усилителя (3)

При такой схеме работы  $T_K$  включает в себя лишь время прохождения сигналов (в прямом и обратном направлении) в исследуемом объекте. Время прохождения сигналов по неинформативному пути в полости датчика из  $T_K$  исключено за счет равенства периодов возбуждения и опроса элементов. Это позволяет максимально уплотнить прием сигналов между посылками зондирующих импульсов.

Равенство радиусов поверхности матрицы и дальней границы зоны визуализации обеспечивает:

- временную развязку процессов возбуждения и приема, благодаря чему импульсы зондирующего генератора следуют сразу же после окончания приема эхосигналов предыдущим элементом (во время паузы система релаксирует);
- защиту видеосигналов от эхосигналов, отраженных от линзы и переходных слоев в зоне контакта датчика с поверхностью тела;
- сочетание больших размеров матрицы и, следовательно, отдельных ее элементов с требуемым относительно небольшим размером окна датчика.

Применение линзы позволило компенсировать потери величины сигнала, обусловленные удаленностью пьезоэлементов от объекта исследования, и

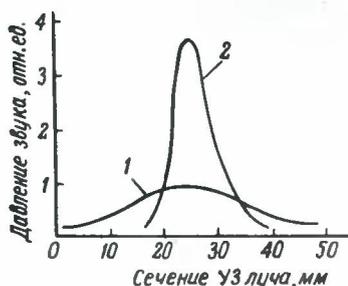


Рис. 3. Распределение давления по сечению ультразвукового луча на расстоянии 20 см от окна датчика: 1 — без линзы, 2 — с линзой

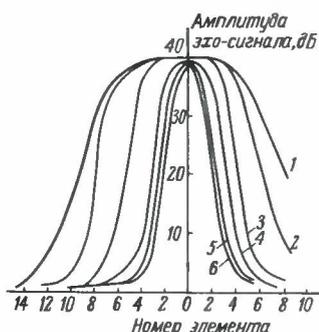


Рис. 4. Распределение амплитуды эхо-сигнала в окрестности излучившего элемента при различных глубинах локации  $R_0$ : 1 — 1 см; 2 — 3 см; 3 — 5 см; 4 — 7 см; 5 — 9 см; 6 — 11 см

уменьшить  $R_0$  за счет улучшения акустической развязки.

Удаление пьезопреобразователя на расстояние, равное максимальной дальности локации, приводит к ослаблению сигнала в два раза при так называемом полном заполнении луча [7].

Для точечной цели амплитуда сигнала обратно пропорциональна  $R^2$ , что приводит к уменьшению минимального сигнала в 4 раза. Изготовленная из полистирола линза позволила сформировать практически нерасходящийся УЗ луч на выходе датчика, благодаря чему амплитуда сигнала увеличилась в 4 раза (рис. 3).

Рис. 4. иллюстрирует распределение амплитуды эхосигналов от зеркального отражателя, подстраиваемого индивидуально для каждого элемента строки, в окрестности излучившего элемента. Из приведенных результатов следует, что акустическая развязка в интервале из 16 элементов строки по уровню 40 дБ достигается при глубине локации ~ 1 см.

Для создания пьезоэлементов с резонансной частотой 2,25 МГц использована керамика ЦТСНВ-1. Путем демпфирования задней стенки пьезопреобразователей составом из эпоксидной смолы с вольфрамовым порошком удалось получить импульс из 2,5 колебаний.

Коммутация элементов и управление работой акустического датчика осуществляется адресным коммутатором. Схема электронного сканирования работает таким образом, что распределение зондирующих импульсов от генератора происходит последовательно от элемента к элементу вдоль строки и далее построчно, т.е. по типу раstra, причем, если зондирующий импульс подается, например, на  $(n+1)$ -й элемент, то сразу же после этого производится опрос  $n$ -го элемента. После завершения сканирования всей матрицы процесс возобновляется. Электрическая развязка элементов матрицы достигается благодаря применению электронных ключей [6].

Выбор требуемого элемента матрицы в режиме приема эхосигналов достигается применением приемного коммутатора, который конструктивно размещен на матрице. Приемный коммутатор исключает вклад сигналов от соседних элементов матрицы в полезный сигнал. Это существенно улучшает качество полезного сигнала, так как при приеме эхосигналов группой элементов вследствие расфазировки наблюдается неопределенность амплитуды и размытия видеосигнала во времени, что приводит к ухудшению раз-

решения по глубине. Согласование пьезопреобразователей с коаксиальным кабелем осуществляется усилителем мощности с оптимальной нагрузкой 75 Ом.

Акустический датчик обеспечивает визуализацию в режимах одно-, двух- и трехмерной эхолокации. Трехмерное изображение формируется из совокупности 512 треков в виде усеченной четырехгранной пирамиды со сферическими основаниями. В режиме В-сканирования оператору предоставлена возможность осуществлять послойную визуализацию секторных эхограмм путем нажатия соответствующей кнопки на пульте управления.

#### Основные электрические характеристики датчика

Рабочая частота, МГц	2,25
Глубина зондирования, см	15
Число элементов в матрице, шт.	32x16
Угол развертки сектора, град	
по большой оси матрицы	~ 60
по малой оси матрицы	~ 38
Разрешение по глубине, мм	~ 1
Время получения кадра изображения, мс	52
Диаметр выходного окна, см	1,5
Средняя мощность излучения, мВт/см <sup>2</sup>	2-5

Конструкция датчика и его технические характеристики реализованы с учетом возможности визуализации структур и отдельных полостей работающего сердца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мультискенирующая эхокардиография и возможности ее клинического применения/Крынский О.М., Кругляк А.Я., Малышев И.В. и др. — Кардиология, 1978, т. XVIII, № 10, с. 136-138.
2. Von N, Lances C.T., Honkorp J., Hugenholtz P.G. Ultrasonic Viewer for Cross-Sectional Analysis of Moving Cardiac Structures. Bio-medical Engineering, 1971, v. 6, N 11, p. 500-503.
3. Whittingham T.A. A hand-held electronically switched array for rapid ultrasonic scanning. Ultrasonics, 1976, N 1, p. 28-33.
4. Maginnes M., Plummer J., Meindl S. An Acoustic Image Sensor Using a Transmit-Receive Array. Acoustical Holography, 1974, v. 5, p. 619-631.
5. Havlice J.F., Kino G.S., Kofol J.S., Quate C.F. An Electronically Focused Acoustic Imaging Device. Acoustical Holography, 1974, v. 5, p. 317-333.
6. Plummer J.D., Swartz R.G., Maginnes M.G., Beandouin J.R., Meindl S.D. Two-Dimensional Transmit/Receive Ceramic Piesoelectric Arrays: Construction and Performance. IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, 1978, v. SU-25, N 5.
7. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. — М.: Сов.радио, 1973. — 495 с.

Статья поступила 3 мая 1979 г.

В. В. Горовой, Л. Я. Духновский,  
А. В. Прибыльский

**ОДНОВИБРАТОР  
С ПОВТОРНЫМ ЗАПУСКОМ  
K133/155 АГЗ**

Одновибратор с повторным запуском и входом разрешения предназначен для работы в различных устройствах автоматики и вычислительной техники в качестве формирователя временных последовательностей сигналов.

УДК 534.232-181.48

В моностабильных схемах-триггерах выходной импульс вырабатывается под действием запускающего импульса. При этом длительность выходного импульса не изменяется при появлении следующего запускающего импульса до тех пор, пока схема не вернется в исходное состояние. После возврата схемы в исходное состояние должно пройти некоторое время, за которое конденсатор времязадающей цепочки снова зарядится до исходного напряжения. В противном случае длительность выходного импульса будет зависеть от временного распределения запускающих импульсов.

В схемах с повторным запуском запускающий импульс вызывает появление выходного импульса также еще и до возвращения схемы в исходное состояние. Если при этом интервал времени между запускающими импульсами меньше длительности выходного импульса, то схема будет установлена в активное состояние первым запускающим импульсом и возвратится в исходное состояние только после прохождения последнего запускающего импульса. К этому классу схем и относится одновибратор K133/155 АГЗ, формирующий импульсы, длительность которых определяется внешними элементами (рис. 1).

Запуск схемы происходит при положительном перепаде напряжения на вход-

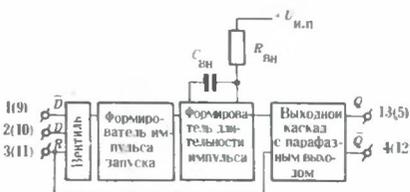


Рис. 1. Функциональная схема одновибратора K133/155 АГЗ

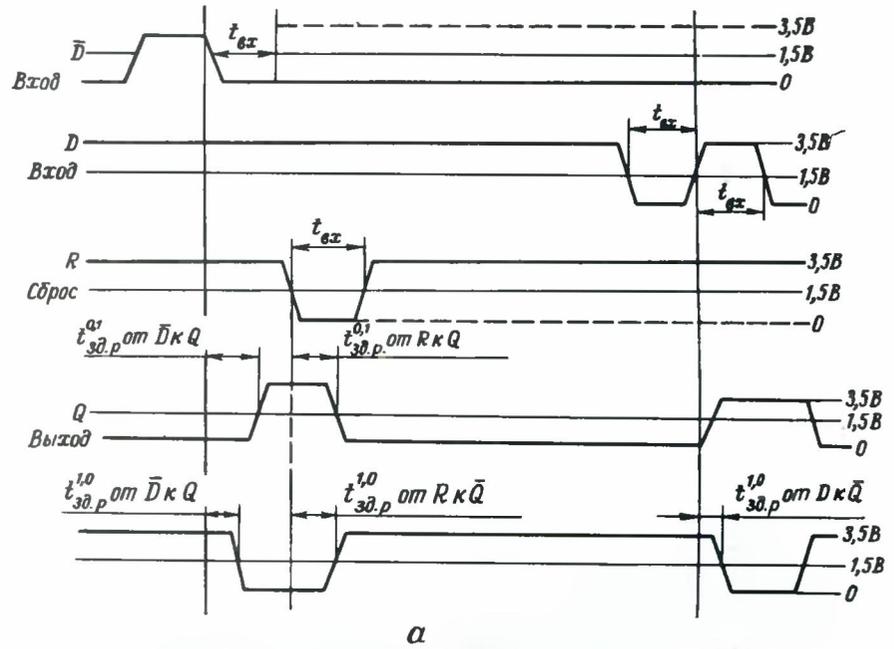


Таблица истинности

Входы			Выходы	
R	D	D	Q	Q̄
0	X	X	0	1
X	1	X	0	1
X	X	0	0	1
1	0	↑	⌋	⌋
1	↓	1	⌋	⌋
↓	0	1	⌋	⌋

б

дах R и D при отрицательном перепаде на входе D̄ вентиля. При появлении на выходе вентиля положительного перепада напряжения формируется импульс запуска, который подается на вход блока, формирующего длительность импульса в соответствии с внешней RC-цепочкой. Полученный импульс поступает на выходной каскад с парафазным выходом.

Вход сброса R может использоваться как для запуска одновибратора, так и для его возврата в исходное состояние в любой момент времени. Временная диаграмма напряжений иллюстрирует работу одновибратора согласно таблице истинности (рис. 2, а и б). Режим повторного запуска схемы K133/155 АГЗ заключается в следующем: при поступлении на вход одновибратора запускающего перепада напряжения на выходе начинает формироваться импульс. Если в момент формирования выходного импульса на вход поступает повторный запускающий перепад напряжения, длительность импульса на выходе микросхемы возрастает на время t<sub>1</sub>, равное длительности между запуском и повторным запуском (рис. 3) :

Рис. 2. Временные диаграммы работы одновибратора (а) и таблица истинности(б).

$$T_{П.З} = \tau + t_1,$$

где T<sub>П.З</sub> — длительность импульса в режиме повторного запуска;  
τ — длительность импульса в режиме запуска;  
t<sub>1</sub> — время между запуском и повторным запуском.

Время t<sub>1</sub> должно быть больше времени восстановления схемы t<sub>В</sub> = 0,224 C<sub>ВН</sub> (C<sub>ВН</sub> — в пикофарадах; t<sub>В</sub> — в наносекундах).

Режим повторного запуска значительно расширяет функциональные возможности использования схемы.

При подключении внешних времязадающих элементов используются две основные схемы подключения (рис. 4, а и б). Длительность импульса в случае C<sub>ВН</sub> ≤ 1000 пФ определяется по кривым зависимости τ = f(C<sub>ВН</sub>) (рис. 5). При

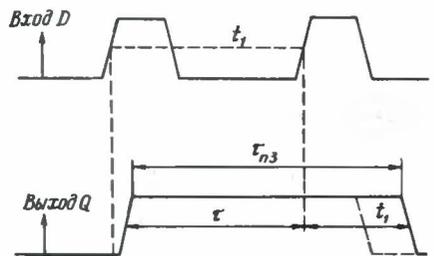


Рис. 3. Временные диаграммы работы одновибратора в режиме повторного запуска

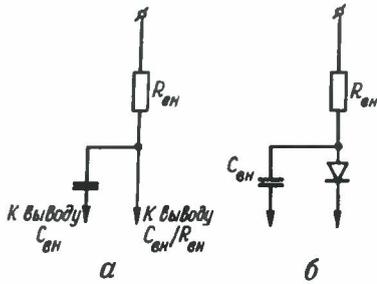


Рис. 4. Схемы включения RC-цепочки при  $C_{вн} \leq 1000$  пФ (а) и  $C_{вн} > 1000$  пФ (б)

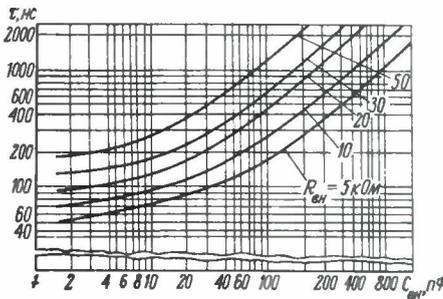


Рис. 5. Зависимость активной длительности импульса на выходе одновибратора от величины емкости  $C_{вн}$  при  $U_{и.п} = 5$  В и  $T_{окр} = 25^\circ\text{C}$

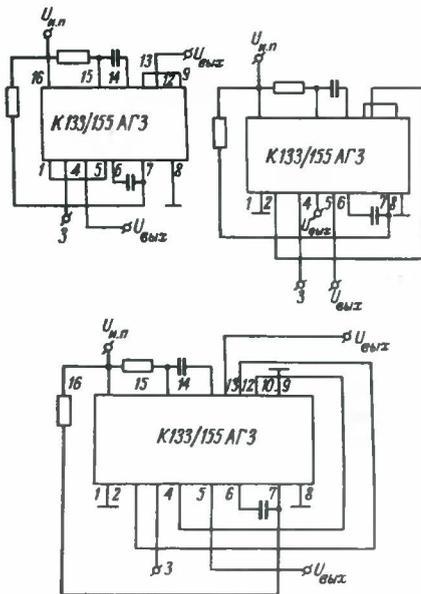


Рис. 6. Схемы генераторов прямоугольных импульсов на одновибраторе K133/155AG3

$C_{вн} \geq 1000$  пФ длительность импульса определяется по формуле

$$\tau = 0,32 C_{вн} R_{вн} \left( 1 + \frac{0,7}{R_{вн}} \right).$$

Здесь  $C$  — в пикофарадах,  $R$  — в килоомах,  $R_{вн}$  — в наносекундах.

Допускается изменение сопротивления внешнего резистора в пределах от 5

до 50 кОм. Величина внешней емкости  $C_{вн}$  может быть любой. Чтобы свести к минимуму паразитные емкости монтажа и чувствительность схемы к внешним помехам, элементы  $C_{вн}$  и  $R_{вн}$  следует располагать вблизи выводов микросхемы, при этом емкость монтажа не должна превышать 50 пФ. В большинстве применений точность длительности импульса ограничена точностью внешних времязадающих компонентов.

Ниже приведены максимальные значения электрических параметров микросхемы одновибратора:

- $U_{вх}^0$ , В . . . . . 0,4
- $U_{вх}^1$ , В . . . . . 2,4
- $I_{вх}^0$ , мА . . . . . -3,2
- $I_{вх}^1$ , мкА . . . . . 80
- $I_{потр}$ , мА . . . . . 66
- $t_{эд.р}^0$ , нс . . . . . 40
- $t_{эд.р}^1$ , нс . . . . . 40
- $\tau_{min}$ , нс . . . . . 65
- $\tau_{max}$ , мкс . . . . . 3,3

На основе одновибраторов типа K133/155 можно построить стартстопные генераторы прямоугольных импульсов. Примеры схем таких генераторов приведены на рис. 6.

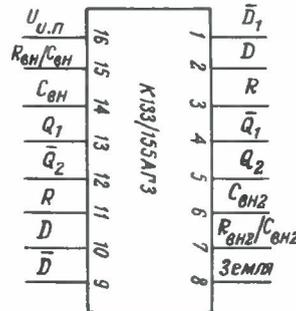


Рис. 7. Обозначение выводов микросхемы в корпусе

Микросхема изготавливается по планарно-эпитаксиальной технологии и выполняется в двух конструктивных вариантах: в 16-выводном плоском металло-керамическом корпусе типа TIP и 16-выводном керамическом корпусе типа DIP, рассчитанных на рабочие температуры от  $-60$  до  $+125^\circ\text{C}$  и от  $-10$  до  $+70^\circ\text{C}$  соответственно. В корпус заключены два независимых одновибратора, имеющих общие шины питания. Разводка одновибраторов для обоих типов корпусов приведена на рис. 7. По рабочим уровням сигналов микросхема одновибратора совместима с ТТЛ схемами промышленных серий.

Статья поступила 13 сентября 1979 г.

Г. А. Егиазарян, Ю. С. Манвелян, Г. А. Мнацаканян, А. С. Саркисян

### МАГНИТОДИОД КД304 — ПРОСТЕЙШАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ СХЕМА

Разработанные магнитодиоды характеризуются высокой магниточувствительностью при прямом и обратном смещении электрического поля.

УДК 621.382.2:537.312.8

Магнитодиод представляет собой полупроводниковый прибор с p-n переходом и невыпрямляющим контактом, между которыми находится область высокоомного полупроводника с проводимостью, близкой к собственной, толщиной в несколько диффузионных длин носителей тока. В отличие от обычных полупроводниковых диодов этот прибор имеет большую толщину базы.

Магнитодиоды некоторых типов, например типа КД301, чувствительны только к изменению величины магнитного поля [1]; другие, например КД303, — к изменению его величины и направления [2]. Однако и те и другие проявляют свои свойства лишь при прямом смещении электрического поля, что значительно ограничивает их функциональные возможности. Кроме того, технологический цикл изготовления этих приборов трудоемок, сложен и длителен.

Магнитодиод КД304 отличается от указанных выше моделей тем, что его характеристики не зависят от направления тока, т.е. он может работать на переменном токе. Эквивалентную схему магнитодиода КД304 можно представить в виде магнитосопротивления с последовательно включенным усилителем, что позволяет отнести его к функциональным твердотельным схемам.

В качестве исходного материала для магнитодиодов КД304 использован высокоомный кремний p-типа с удельным сопротивлением 20—30 кОм и временем жизни носителей тока не менее 600 мкс. Приборы изготовлены по планарно-сплавной технологии и имеют  $p^+pr^+$  структуру, полученную с помощью двух фотолитографий, что намного сокращает технологический цикл производства, обеспечивая высокий экономический эффект и большой процент выхода годных.

Способность работать на переменном токе достигается благодаря тому, что к низкоомному  $p^+$ -слою полупроводника создается металлический контакт (рис. 1).

Конструкция магнитодиода такова, что магнитное поле с направлением индукции  $B^-$  отклоняет носители к поверхности пластины, содержащей контакты, а с направлением  $B^+$  — к противоположной стороне пластины. Для получения максимального выходного сигнала магнитные силовые линии должны быть перпендикулярны боковым граням пластины. При этом в большом диапазоне значений токов зависимость тока от напряжения имеет характер, близкий к линейному (рис. 2). Прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики почти одинаково изменяются в зависимости от величины и направления магнитного поля.

Основной параметр магнитодиодов — вольтовая магниточувствительность определяется изменением напряжения на магнитодиоде при изменении магнитного поля на 0,1 Т и постоянном значении

чени тока через магнитодиод:

$$\gamma_{\pm} = \left( \frac{U_{B^{\pm}} - U_0}{\Delta B} \right) y = \text{const}$$

где  $U_{B^{\pm}}$  — величины напряжения на магнитодиоде при магнитной индукции  $B$  двух направлений;

$U_0$  — величина напряжения на магнитодиоде без магнитного поля;

$\Delta B$  — величина изменения магнитной индукции.

При токе, равном 3 мА, магнитной индукции  $B=0,3$  Т и  $U_0=15$  В величина  $\gamma_{\pm}$  составляет 70–80 В/Т, что почти на три порядка выше чувствительности датчиков Холла и магнитосопротивлений. Разность магниточувствительностей  $\Delta \gamma_{\pm} = \gamma_{-} - \gamma_{+}$  при этом составляет 8–40 В/Т.

Вольтовая магниточувствительность с ростом магнитной индукции возрастает с быстрым насыщением. Увеличение тока через магнитодиод также приводит к ее возрастанию.

Токовая магниточувствительность определяется изменением тока через магнитодиод при изменении магнитного поля на 0,1 Т и постоянном значении напряжения на магнитодиоде (рис. 3)

$$\gamma_i = \left( \frac{I_0 - I_{B^{\pm}}}{\Delta B} \right) U = \text{const}$$

где  $I_0$  — величина тока через магнитодиод без магнитного поля;

$I_{B^{\pm}}$  — величины тока через магнитодиод при магнитной индукции  $B$  двух направлений.

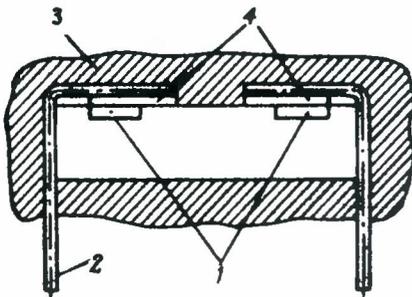


Рис. 1. Конструкция магнитодиода КД304: 1 —  $p^+$ -область; 2 — вывод; 3 — защитный слой; 4 — металлический контакт

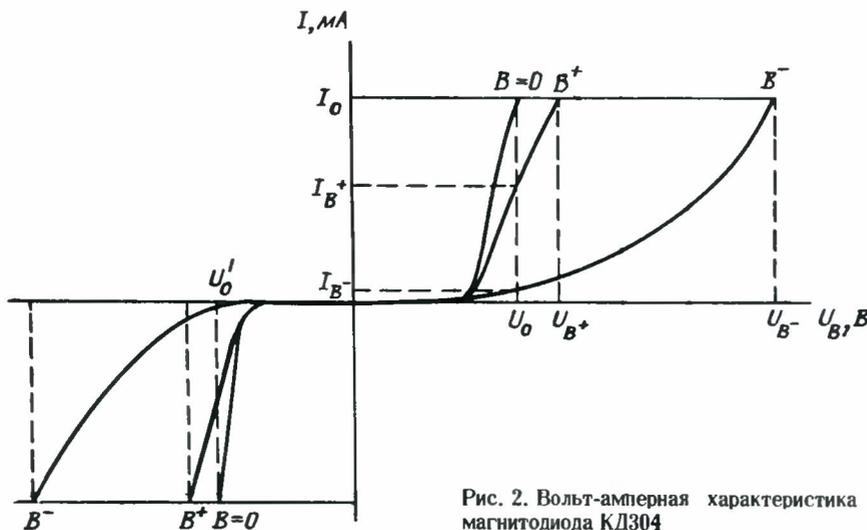


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика магнитодиода КД304

Температурная зависимость параметров магнитодиода определяется равновесной концентрацией носителей тока и их подвижностью, эффективным временем жизни неравновесных носителей тока, состоянием  $p-p^+$  контактов. При отсутствии магнитного поля и малых уровнях инжекции ( $I \leq 1$  мА) напряжение на магнитодиоде уменьшается с ростом температуры от  $-60$  до  $+100^\circ\text{C}$ . При больших уровнях инжекции ( $I > 1$  мА) наблюдается обратная зависимость, т.е. при определенных значениях напряжения на магнитодиоде происходит инверсия температурной зависимости тока. В магнитном поле в обоих случаях с ростом температуры напряжение уменьшается, а следовательно, уменьшается вольтовая магниточувствительность.

При отсутствии магнитного поля наблюдается инверсная температурная зависимость сопротивления  $R$  магнитодиода, т.е. с увеличением температуры величина  $R$  растет при всех значениях тока (рис. 4). При больших значениях температуры  $R$  начинает убывать, т.е. инверсная температурная зависимость меняется на прямую зависимость. В области больших магнитных

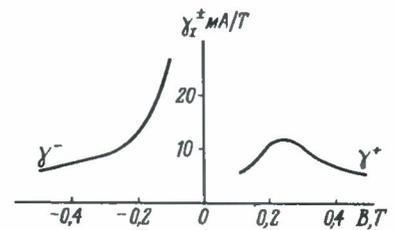


Рис. 3. Зависимость токовой магниточувствительности от величины и направления магнитной индукции при  $U=6$  В

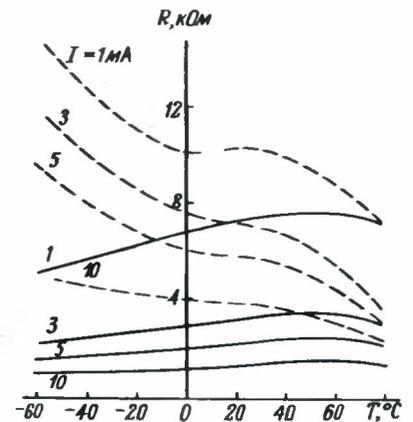


Рис. 4. Зависимость сопротивления магнитодиода от температуры без магнитного поля (сплошные линии) и в поле 0,3 Т (пунктирные)

полей наблюдается только прямая температурная зависимость. Для каждого значения тока через магнитодиод существуют значения магнитной индукции (зоны), при которых температурная зависимость  $R$  меняется на обратную. Эти зоны характеризуются слабой температурной зависимостью вольт-амперной характеристики и параметров магнитодиодов и находятся в достаточно узком диапазоне магнитных полей. Например, при токе  $I = 1$  мА зона  $R(T) \approx \text{const}$  расположена в области  $B \approx 0,15-0,17$  Т, а при  $I = 3$  мА — в области  $B \approx 0,11-0,13$  Т.

#### Основные электрические параметры магнитодиода

Прямое (обратное) напряжение при $I = 3$ мА, В	4-15
Вольтовая магниточувствительность ( $I = 3$ мА, $B = 0,3$ Т), В/Т	
при $U = 4$ В	10
при $U = 15$ В	80
Точковая магниточувствительность при $U \geq 6$ В и $B = 0,3$ Т, мА/Т	10-20
Диапазон частот по электрическим и магнитным полям, кГц	10
Максимально допустимая мощность, мВт	
при температуре от $-60$ до $+25^\circ\text{C}$	200
при температуре $85^\circ\text{C}$	100
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$ от $-60$ до $+85$	
ТКС, $\%/^\circ\text{C}$	0,3
Габариты без выводов (бескорпусной прибор), мм	2,8x1,2x0,6
Масса, мг	$\leq 20$

Прибор в диапазоне частот от 1 до 1000 Гц выдерживает вибрационные нагрузки с ускорением до 10  $g$ , многократные ударные нагрузки с ускорением до 75  $g$ , линейные нагрузки с ускорением до 50  $g$ , одиночные удары с ускорением до 75  $g$ .

Магнитодиоды КД304 могут применяться для определения величины и направления магнитных полей; для разработки бесконтактных электрических ключей, коммутаторов и систем зажигания; в тахометрах, микрофонах, микрометрах; в схемах автоматического регулирования усиления, устройствах памяти, модуляторах с амплитудной и частотной модуляцией; в качестве высокочувствительных датчиков магнитного поля (в дефектоскопии для неразрушающего контроля), датчиков давления и перемещения, а также в ряде устройств автоматики, телемеханики и вычислительной техники.

Создание сложных полупроводниковых структур, управляемых магнитным полем, в частности магнитоуправляемых элементов, еще более расширит области применения магнитодиодов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стафеев В.И., Каракушан Э.И. Магнитодиоды — М.: Наука, 1975.

2. Кремниевые магнитодиоды, чувствительные к направлению магнитного поля. Егиазарян Г.А., Мнацаканян Г.А., Мурыгин В.И., Стафеев В.И. ФТП, 1975, т.9, вып.7, с. 15-21.

Статья поступила 13 августа 1979 г.

В. В. Бачурин, С. С. Бычков,  
В. П. Дьяконов, А. К. Прушинский

### МОЩНЫЙ КРЕМНИЕВЫЙ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МДП-ТРАНЗИСТОР КП908

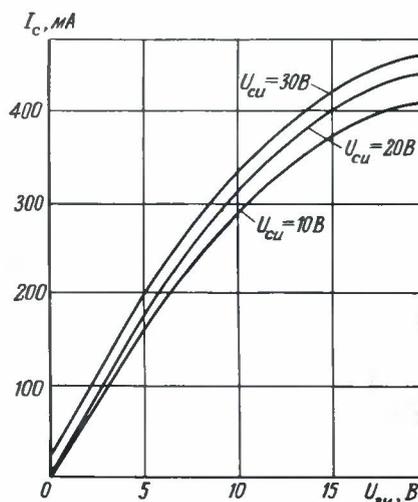
Предназначен для усиления и генерирования сигналов в передающей, приемной и быстродействующей импульсной аппаратуре различного функционального назначения в диапазоне частот до 2 ГГц.

УДК 621.382.3.029.64

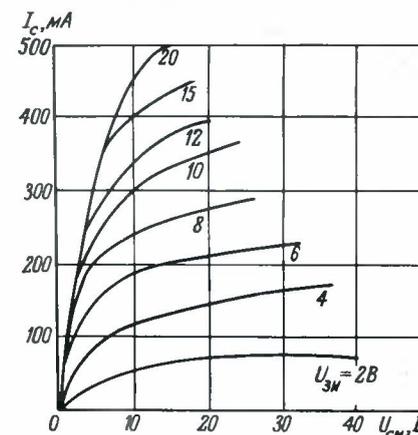
Мощные кремниевые  $n$ -канальные полевые МДП-транзисторы с изолированным затвором КП908 сочетают в себе свойства мощного генераторного прибора ( $P_{\text{вых}} \geq 1$  Вт на частоте  $f = 1,8$  ГГц) со свойствами малосигнального усилительного ( $K_{\text{ур}} \approx 6$  дБ на частоте  $f = 1,8$  ГГц) и переключающего (коммутируемые токи до 0,4 А за время от 0,3 до 0,8 нс) приборов. Для них характерны высокие значения крутизны, малые входные и проходные емкости, линейность передаточной характеристики в широком диапазоне токов стока (от 15 до 300 мА).

Указанные достоинства приборов КП908 делают перспективным их применение в выходных и промежуточных каскадах СВЧ радиопередатчиков, входных каскадах радиоприемников с малыми комбинационными и интермодуляционными искажениями, в широкополосных и импульсных усилителях с временами установления переходной характеристики до 1 нс (в том числе в усилителях отклонения ЭЛТ электронных осциллографов), в измерительных генераторах наносекундных импульсов, возбуждателях лазерных диодов и др. [1].

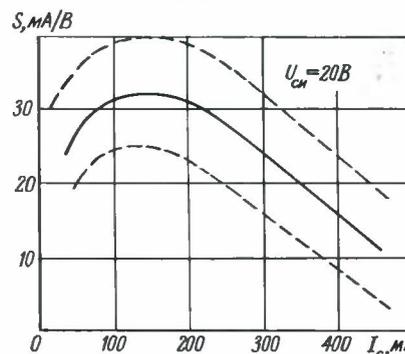
Активная область приборов изготовлена по планарной технологии и состоит из ряда параллельно включенных каналов общей протяженностью 6 мм, длина каждого канала 2-2,5 мкм, толщина изолятора затвора — 0,2 мкм.



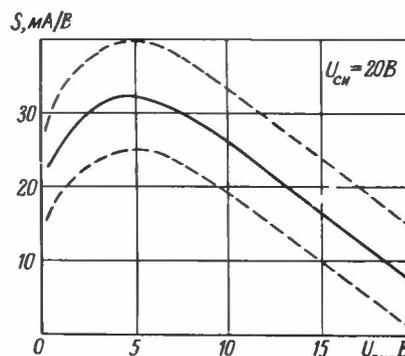
Передаточные характеристики



Выходные вольт-амперные характеристики.



Зависимость крутизны от тока стока

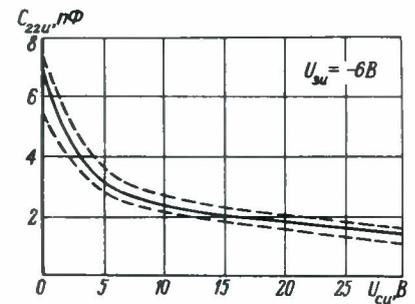


Зависимость крутизны от напряжения на затворе

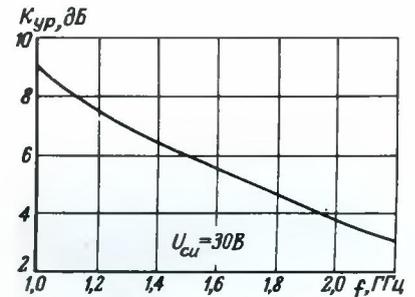
Основные электрические параметры при  $T = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

Наименование параметра	Режим измерения	Значение параметра					
		КП908А			КП908Б		
		мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	макс.
Крутизна $S$ , мА/В	$U_{си} = 20\text{В}, I_c = 80\text{мА}$	24	32	40	24	32	40
Начальный ток стока $I_{с.нвч}$ , мА	$U_{си} = 20\text{В}, U_{зи} = 0$	1	9	25	1	9	25
Остаточный ток стока $I_{с.ост}$ , мА	$U_{си} = 40\text{В}, U_{зи} = -10\text{В}$	0,05	0,1	0,5	0,02	0,05	0,2
Ток стока $I_{с.макс}$ , мА	$U_{си} = 20\text{В}, U_{зи} = 10\text{В}$	280	310	350	200	230	280
Входная емкость $C_{11и}$ , пФ	$U_{си} = 25\text{В}, U_{зи} = -6\text{В}, f = 10\text{МГц}$	3	3,8	4,5	3,5	5	6,5
Проходная емкость $C_{12и}$ , пФ	$U_{си} = 25\text{В}, U_{зи} = -6\text{В}, f = 10\text{МГц}$	0,2	0,3	0,6	0,2	0,3	0,6
Тепловое сопротивление $R_{\theta}$ , $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	-	10	-	15	10	-	15
Выходная мощность в непрерывном режиме $P_{\text{вых}}$ , Вт	$U_{си} = 35\text{В}$ $P_{\text{вх}} = 0,6\text{Вт}$ $f = 1,76\text{ГГц}$	1	-	-	-	-	-
Сопротивление стока в открытом состоянии $R_{с.и.откр}$ , Ом	$U_{си} = 0,1\text{В}$ $U_{зи} = 20\text{В}$	-	-	-	14	18	25

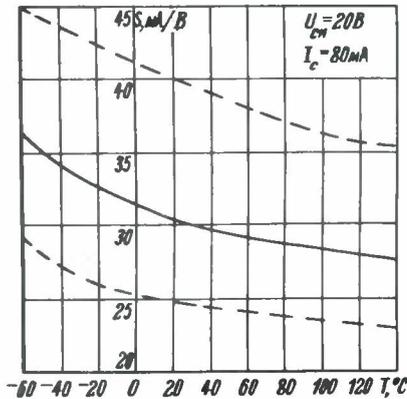
Примечание: Рамкой обведены значения параметров, нормированные ТУ.



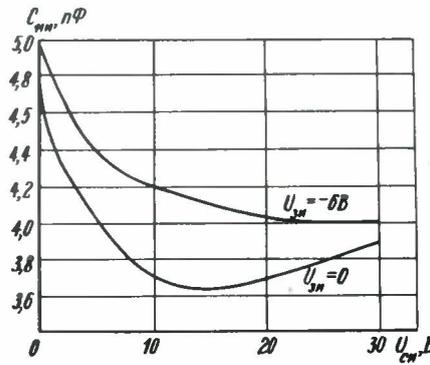
Зависимость выходной емкости  $C_{22и}$  от напряжения на стоке



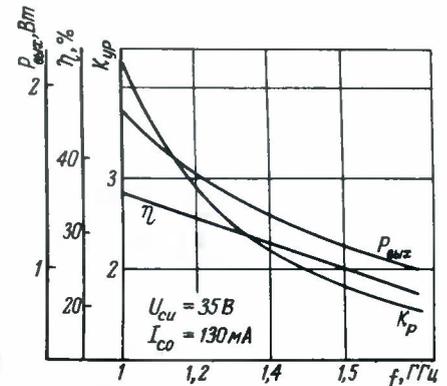
Зависимость малосигнального усиления по мощности от частоты коэффициента



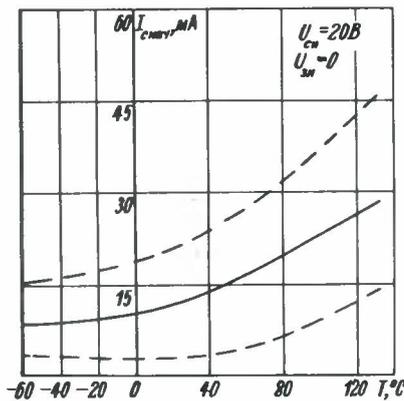
Зависимость крутизны от температуры окружающей среды



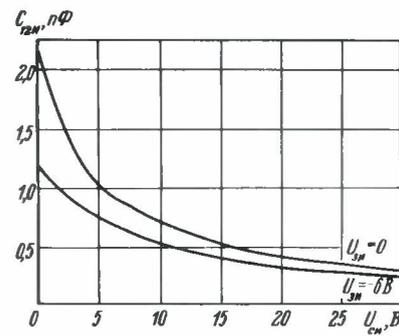
Зависимость входной емкости  $C_{11и}$  от напряжения на стоке



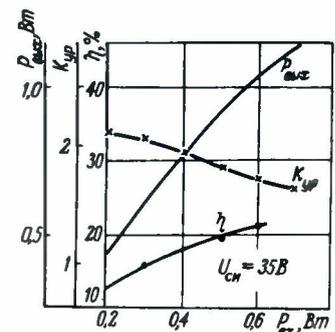
Зависимость выходной мощности, коэффициента усиления и КПД от частоты



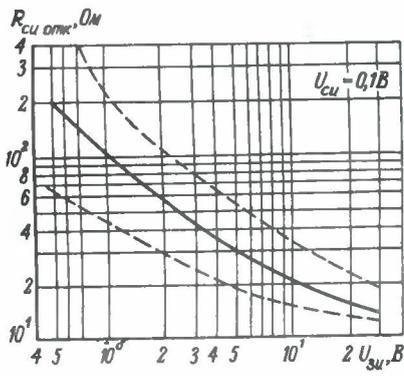
Зависимость начального тока от температуры окружающей среды



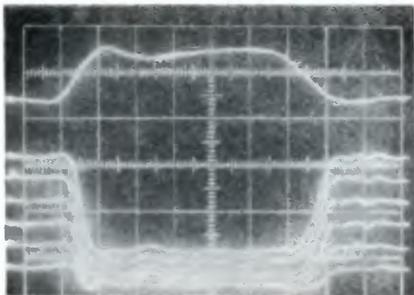
Зависимость проходной емкости  $C_{12и}$  от напряжения на стоке



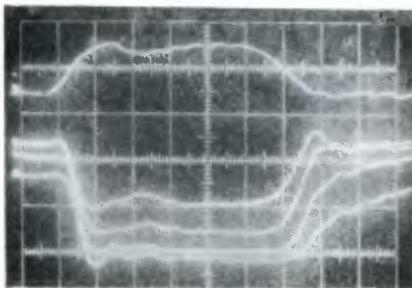
Зависимость выходной мощности, коэффициента усиления и КПД от уровня входной мощности на частоте  $f = 1,8\text{ГГц}$



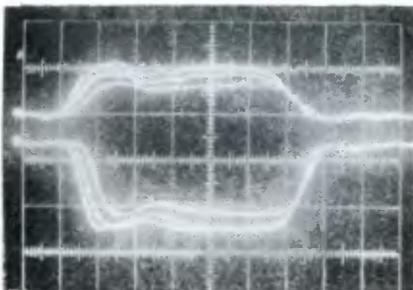
Зависимость сопротивления канала в открытом состоянии от напряжения на затворе



а



б



в

Оциллограммы напряжения на стоке МДП-транзистора КП908 в импульсном режиме:

- $E_c = 5, 10, 15, 20, 25$  и  $30$  В,  $R_c = 100$  Ом (а);
- $E_c = 40$  В,  $R_c = 51, 100, 200$  и  $500$  Ом (б);
- $E_c = 40$  В,  $R_c = 200$  Ом,  $U_{м.вх} = 6,8$  и  $10$  В (в)

Транзисторы герметизированы в металлокерамическом корпусе КТ16 с плосковыми выводами.

Максимально допустимые электрические параметры

Напряжение сток-исток (постоянное) $U_{с.и. макс}$ , В .....	40
Напряжение сток-исток (пиковое) $U_{с.и.м. макс}$ , В .....	55
Напряжение затвор-сток (постоянное) $U_{з.с. макс}$ , В .....	50
Напряжение затвор-сток (пиковое) $U_{з.с.м. макс}$ , В .....	60
Напряжение затвор-исток (постоянное) $U_{з.и. макс}$ , В .....	20
Рассеиваемая мощность $P_{ макс}$ при $T_{корп}$ от $-60$ до $+35^{\circ}C$ , Вт .....	3,5

Значения максимально допустимых параметров, за исключением  $P_{ макс}$ , указаны для диапазона температур корпуса  $T_{корп}$  от  $-60$  до  $+125^{\circ}C$ . В диапазоне температур от  $35$  до  $125^{\circ}C$  значения  $P_{ макс}$  определяются по формуле:

$$P_{ макс.} = 3,7 \left( 0,9 - \frac{T_{корп} - 25^{\circ}C}{125^{\circ}C} \right) \text{Вт.}$$

Параметры переключающего режима мощных МДП-транзисторов определяются в типовой ключевой схеме при запуске ее от генератора наносекундных импульсов Г5-44. Форма импульсов ключа контролируется с помощью стробоскопического электронного осциллографа С7-8. При запуске ключа от релаксатора на лавинном транзисторе ГТ338 [2] удается получить минимальные значения времени включения до  $0,25-0,4$  нс при коммутируемых токах до  $0,3-0,4$  А.

Времена включения и выключения слабо зависят от напряжения питания стока  $E_{сп}$ . С ростом амплитуды входного импульса  $U_{м.вх}$  времена включения уменьшаются, а времена выключения практически не меняются. Увеличение сопротивления резистора  $R_c$  в цепи стока слабо уменьшает время включения, но ведет к существенному возрастанию времени выключения, что обусловлено возрастанием постоянной времени цепи стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бачурин В.В., Дьяконов В.П., Сопов О.В. Мощные высокочастотные и сверхвысокочастотные МДП-транзисторы. — Электронная промышленность, 1979, вып. 5.
2. Дьяконов В.П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах. М.: Сов. радио, 1973.

Статья поступила 27 сентября 1979 г.

В. В. Горовой, Ю. Р. Носов, В. Н. Степанова, Ю. П. Хазанкин

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА К249ЛПЗ

УДК 621.383.8:621.316.543

Оптоэлектронный переключатель логического сигнала представляет собой гибридную микросхему, состоящую из бескорпусной диодной оптопары и бескорпусного интегрального порогового элемента ключевого типа. Оптопара обеспечивает гальваническую развязку, а интегральный элемент — усиление и формирование сигнала. Оптоэлектронные переключатели логического сигнала завоевывают все более широкое признание среди конструкторов радиоаппаратуры.

Выпускаемые переключатели типов К249ЛП1, К293ЛП1\* обеспечивают высокую гальваническую развязку ( $R_c \geq 10^9$  Ом,  $C_c \leq 2 \cdot 10^{-12}$  Ф,  $U_c = 100$  В) и согласуются по входу и выходу со стандартными логическими ИМС. Однако в ряде случаев быстрое действие указанных микросхем оказывается недостаточным ( $t_{зд} = 300-1000$  нс). Основными источниками инерционности оптоэлектронных переключателей являются невысокий уровень быстродействия используемых диодных оптронов и высокоомная нагрузка в цепи фотодиода, генерирующего сравнительно малый ток.

Структурная схема переключателя серии К249ЛПЗ (рис.1) составлена таким образом, чтобы обеспечить максимальную скорость передачи информационных сигналов. В качестве элемента гальванической развязки использована бескорпусная диодная оптопара АОД120А с коэффициентом передачи по току  $K_t \gg 1\%$ , временем задержки включения  $t_{зд} = 15-30$  нс.

Основное назначение каскада 1 — предварительное усиление информационного сигнала. За счет введения обратных связей входное сопротивление снижается и в меньшей степени влияет на время задержки включения. Повышению быстродействия также способствует линейный режим работы транзисторов. С помощью каскада 2

\*Носов Ю.Р. Оптроны для микроэлектронной аппаратуры. В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы/ Под ред. А.А.Вазанкова и Я.А.Федотова. М.: Сов. радио, 1977, вып. 2, с. 138-254.

осуществляется задание исходного режима работы транзисторов первого каскада. Выходной каскад 3 выполнен в виде сложного инвертора и осуществляет функцию согласующего элемента, формирующего сигналы стандартной формы. Основные электрические параметры оптоэлектронных переключателей К249ЛПЗА, Б, В приведены ниже.

**Основные электрические параметры**

Выходное напряжение, В	
логического нуля	$\leq 0,4$
логической единицы	$\geq 2,4$
Время задержки включения (выключения), нс	
К249ЛПЗА	$\leq 100$
К249ЛПЗБ	$\leq 70$
К249ЛПЗВ	$\leq 200$
Минимальный входной ток, мА	
К249ЛПЗА	8
К249ЛПЗБ, В	10
Максимальный входной ток, мА	20
Сопротивление гальванической развязки, Ом	$10^{11}$
Прокладная емкость, пФ	$\leq 2$
Напряжение изоляции, В	100
Потребляемая мощность, мВт	100
Напряжение питания, В	$5 \pm 10\%$
Статическая помехоустойчивость, мА	$0,25$
Импульсная помехоустойчивость, В/с	$10^8$

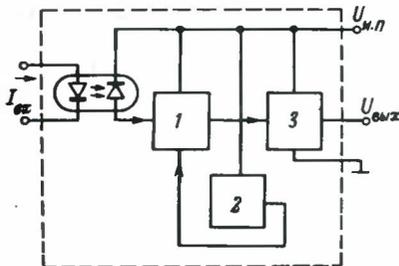


Рис. 1. Структурная схема микросхемы К249ЛПЗ

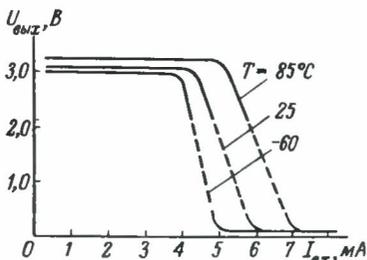


Рис. 2. Передаточные характеристики микросхемы К249ЛПЗ

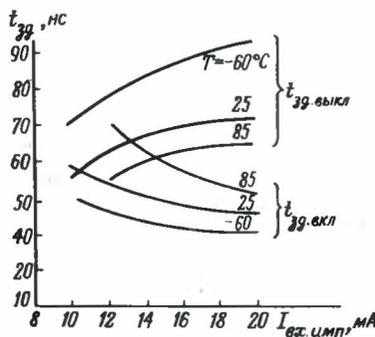


Рис. 3. Зависимости динамических параметров микросхемы К249ЛПЗ от входного импульсного тока

Микросхемы обладают заметно улучшенным быстродействием по сравнению с ранее разработанными при сохранении остальных параметров на достигнутом уровне. Возросшее значение потребляемой мощности объясняется наличием линейного каскада усиления, транзисторы которого работают в активном режиме. Микросхемы рассчитаны на максимальную рабочую температуру  $85^\circ\text{C}$ . Уровни выходных токов обеспечивают возможность использования в нагрузке 10 микросхем серии К155.

На рис.2 представлена типичная передаточная характеристика микросхемы при нормальной и крайних температурах. Увеличение токов срабатывания с ростом температуры связано с преобладающим по отношению к росту  $V_{ст}$  транзисторов уменьшением  $K_i$  оптопары. В моменты переключения (пунктирные линии на рисунке) микросхема не имеет устойчивого состояния из-за наличия цепей обратной связи. Типичные значения выходных напряжений составляют  $U_{вых}^0 = 0,15 \text{ В}$  и  $U_{вых}^1 = 3,1 \text{ В}$ .

На рис. 3 представлены типичные зависимости динамических параметров микросхемы от величины входного импульсного тока при нормальной и крайних температурах. Увеличение  $t_{зд.вкл}$  с уменьшением  $I_{вх.имп}$  обусловлено аналогичной зависимостью для оптопары и объясняется ухудшением условий зарядки емкости излучателя. С увеличением температуры происходит рост  $t_{зд.вкл}$  вследствие уменьшения  $K_i$  оптопары, что влечет за собой ухудшение условий зарядки емкости фото диода и увеличение вклада фронта нарастания фототока в общую задержку включения микросхемы. Противоположен характер зависимости  $t_{зд.вкл} = f(I_{вх.имп}, \theta)$ . Росту  $t_{зд.вкл}$  с уменьшением температуры и увеличением входного импульсного тока способствует насыщение транзисторов схемы усиления.

Конструктивно разработанные микросхемы оформлены в стандартном плоском корпусе типа 401.14-4.

Статья поступила 27 июля 1979 г.

В.Б. Б. Абрайтис, А.Р. Гутаускас, А.В. Лянкутис

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ**

УДК 621.374.4

Синтезаторы частот являются основными узлами многих систем связи и определяют важные технико-экономические показатели аппаратуры. При этом обеспечивается большая стабильность выходных частот при чрезвычайно низких нелинейных искажениях. Синтезаторы частоты, в состав которых вошло большое число электромеханических и механических узлов, были весьма громоздки. Выходная частота обычно синтезировалась путем комбинирования различных гармоник единого опорного сигнала, и даже при очень тщательной разработке на выходе синтезаторов содержались паразитные частотные составляющие, близкие к основной частоте.

Введение цифрового программирования позволяет быстрее и точнее выбрать требуемые частоту и частотный сдвиг и заранее установить программу включения заданного канала. Кроме того, применение синтезатора, компоненты которого выполнены в виде интегральных микросхем, приводит к уменьшению стоимости, габаритов, потребляемой мощности и повышению надежности радиоэлектронных устройств.

Упрощенная блок-схема цифрового синтезатора частоты (ЦСЧ) показана на рис. 1. Выходная частота  $f_0$ , поступающая с выхода генератора, управляемого напряжением (ГУН), на делитель частоты с неизменяемым коэффициентом деления (ДНКД), делится на фиксированное целое число  $M$  и изменяемое число  $N$  в делителе частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД).



Рис. 1. Блок-схема цифрового синтезатора частот

В результате на вход фазового детектора подается частота  $f_0 : MN$ . С помощью ДНКД задается коэффициент деления  $M$  с целью понижения выходной частоты ГУН до такой величины, которая приемлема для работы ДПКД. Только после создания интегральных микросхем высокочастотных делителей частоты появляется возможность повышать рабочую частоту ДПКД, приближая ее к рабочим частотам ГУН. Значение коэффициента  $M$  будет приближаться к единице.

В цифровых синтезаторах для деления частоты в ДНКД и ДПКД использовались триггерные схемы двоичных счетчиков, предназначенные в основном для узлов вычислительных устройств. При переходе к цифровым системам связи с рабочим диапазоном частот 30–500 МГц и массовой потребности в схемах, выполняющих элементарную функцию деления, использование счетчиков стало экономически неоправданным. Появилась необходимость в простых делителях частоты с разными

коэффициентами деления. Введение критерия качества

$$Q = \frac{P}{K(f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}})v}$$

(где  $P$  — потребляемая мощность;  $K$  — количество деталей на 2 в схеме; потребляемая мощность;  $K$  — количество делителей на 2 в схеме;  $f_{\text{макс}}$  — максимальная рабочая частота;  $f_{\text{мин}}$  — минимальная рабочая частота;  $v$  — программируемость), аналогичного известному критерию качества логических схем  $R\tau$ , показывает, что такие специально разработанные делители имеют в 2–3 раза лучший критерий качества по сравнению со счетчиком, используемым как делитель.

При проектировании делителей с рабочей частотой до 500 МГц и сравнении их критериев качества между собой необходимо получить максимальную частоту деления при минимальной потребляемой мощности. Разработанные интегральные микросхемы высокочастотных делителей частоты на 2 и на 10/11 предназначены для деления сигналов (синусоидальной и импульсной формы) в радиоэлектронной аппаратуре, системах связи, измерительной технике и др.

Основные характеристики делителя частоты на 2 в диапазоне рабочих температур от -60 до +125°C при  $U_{и.п} = +5,2 \pm 5\%$

Рабочие частоты, МГц . . . . . 40–500  
Ток потребления, мА . . . . .  $\leq 18$   
Амплитуда входного напряжения, В . . . . . 0,4–0,8  
Амплитуда выходного напряжения при  $R_H = 500 \text{ Ом}$  и  $C_H \geq 3 \text{ пФ}$ , В . . . . .  $\geq 0,4$

Основные характеристики делителя частоты 10/11 в диапазоне рабочих температур от -60 до +125°C при  $U_{и.п} = +5,2 \pm 5\%$

Рабочие частоты, МГц . . . . . 40–500  
Ток потребления, мА . . . . .  $\leq 60$   
Амплитуда входного напряжения, В . . . . . 0,4–0,8  
Амплитуда выходного напряжения при нагрузке  $R_H = 500 \text{ Ом}$  и  $C_H = 3 \text{ пФ}$ , В . . . . .  $\geq 0,4$

Источник сигнала подключается к входам схемы через разделительные емкости. Делитель частоты на 2 может управляться по одному или двум парафазным входам. Сигналы на входах и выходах делителей считаются импульсными. Если на вход подается синусоидальный сигнал, его амплитудой считается удвоенная амплитуда синусоиды.

Программирование делителя 10/11 осуществляется по управляющим входам. При уровне напряжения на одном или обоих управляемых входах не менее +4,3 В коэффициент деления равен

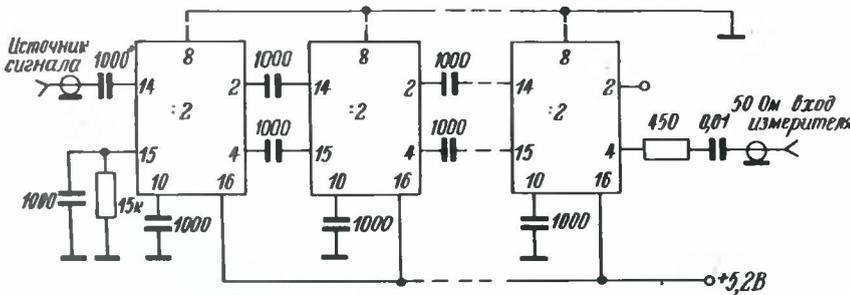


Рис. 2. Пример включения  $n$  делителей частоты на 2 для получения коэффициента деления  $2^n$

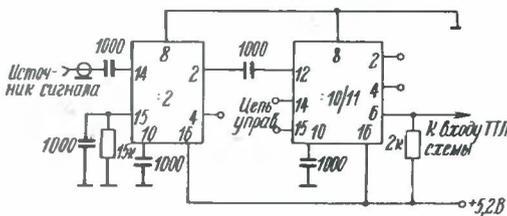


Рис. 3. Схема включения делителя частоты с коэффициентом деления 20/22

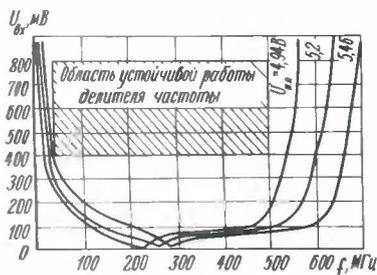


Рис. 4. Зависимость оптимальной амплитуды входного сигнала от частоты входного сигнала делителя на 2

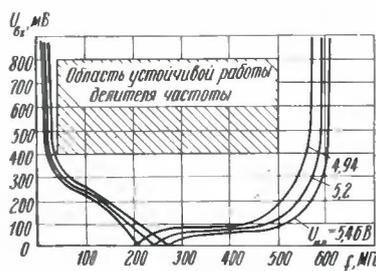


Рис. 5. Зависимость минимальной амплитуды входного сигнала от частоты входного сигнала делителя на 10/11

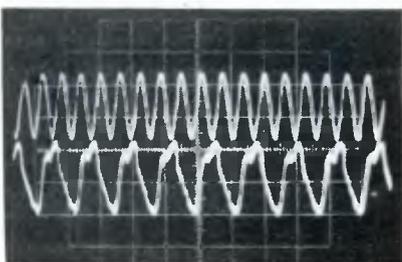


Рис. 6. Осциллограммы входного и выходного сигналов делителя частоты на 2 при частоте входного сигнала 500 МГц

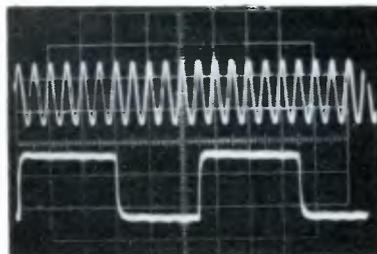


Рис. 7. Осциллограмма входного и выходного сигналов делителя частоты на 10/11 при коэффициенте деления 11 и частоте входного сигнала 250 МГц

10, при уровне напряжения на обоих управляющих входах не более +3,5 В — 11.

Делитель 10/11 имеет специальный выход для подключения ТТЛ микросхем. Амплитудные характеристики делителей обеспечивают совместную их работу в любом включении. Характерные примеры включения делителей показаны на рис. 2 и 3. Зависимости амплитуды входного сигнала, необходимой для правильного функционирования микросхем делителей частоты на 2 и 10/11, от изменения частоты входного сигнала представлены на рис. 4 и 5. Зона устойчивой работы по амплитуде и частоте входного сигнала, заштрихованная на рисунках, с достаточным запасом обеспечивает работу делителей во всем диапазоне температур и допустимом отклонении напряжения питания от номинального значения. На рис. 6 и 7 показаны формы входного и выходного сигналов разработанных изделий.

Критерий качества  $Q$  для делителя на 2 составляет 200 пДж, делителя 10/11 — 85 пДж, что в 2–3 раза превышает критерий качества аналогичных делителей частоты, построенных на микросхемах серии К100.

Статья поступила 12 апреля 1979 г.

Ю. Р. Носов

### ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ $p-i-n$ ДИОД КД413

УДК 621.382.2.029.64

Микроминиатюрный диод представляет собой выпрямляющую кремниевую  $p-i-n$  структуру (рис. 1), помещаемую в цельностеклянный корпус. При протекании через диод прямого тока вследствие эффекта двойной инжекции из сильнолегированных  $n^+$  и  $p^+$  областей осуществляется интенсивная накачка носителей заряда в базовую область высокой проводимости ( $i$ -область) и накопление их в ней. Это приводит к двум последствиям. Во-первых, на достаточно высоких частотах прекращается выпрямляющее действие  $p-i$  и  $n-i$  переходов (диффузионная емкость  $C_{диф}$  велика) и высокочастотный сигнал может проходить через диод без заметных искажений. Во-вторых, величина

сопротивления базовой области становится малой и зависящей от величины прямого тока. Таким образом, в некотором диапазоне частот  $p-i-n$  диод представляет собой управляемый током резистивный элемент.

Ниже приведены электрические параметры и максимально допустимые режимы эксплуатации высокочастотного  $p-i-n$  диода КД413.

#### Основные электрические параметры диодов КД413А, Б

Постоянное прямое напряжение  $U_{пр}$  при  $I_{пр} = 20$  мА . . . . . не более 1 В  
 Емкость диода  $C_{д}$  при  $U_{обр} = 0$  . . . . . не более 0,7 пФ  
 Дифференциальное сопротивление  $r_{диф}$  при  $I_{пр} = 2$  мА,  $f = 50$  МГц  
 КД413А . . . . . 30–60 Ом  
 КД413Б . . . . . 40–80 Ом  
 Заряд переключения  $Q_{пк}$  при  $I_{пр} = 2$  мА,  $U_{обр} = 10$  В . . . . . не менее 2 нКл

#### Максимально допустимые параметры диодов КД413А, Б в диапазоне температур от -60 до +100°С

Постоянный прямой ток  $I_{пр, макс}$  . . . . . 20 мА  
 Постоянное обратное напряжение  $U_{обр, макс}$  . . . . . 24 В  
 Рассеиваемая мощность  $P_{макс}$  \* . . . . . 20 мВт

Нижняя граница рабочего диапазона частот определяется зарядом переключения  $Q_{пк}$ , величина которого для  $p-i-n$  структур связана с эффективным временем жизни носителей заряда в базе  $\tau_{эфф}$  простым соотношением

$$Q_{пк} \approx I_{пр} \tau_{эфф} \quad (1)$$

Результаты экспериментального исследования диодов (рис. 2) показывают, что в широком диапазоне изменения прямых токов с точностью до 10–20% величину  $\tau_{эфф}$  можно считать постоянной и равной 1–2 мкс.

Условие для определения нижнего значения рабочей частоты имеет вид:

$$\omega \tau_{эфф} = n \gg 1, \quad (2)$$

где величина  $n$  зависит от допустимого уровня искажений сигнала (неполное исчезновение выпрямляющего действия  $p-i-n$  структуры) и для большинства практических применений может быть

\* Рассеиваемая мощность рассчитывается по приближенной формуле

$$P = 1B I_{пр} + I^2 r_{диф}, \text{ Вт,}$$

где  $I_{пр}$  — прямой ток смещения;  $I$  — эффективное значение высокочастотного тока через диод;  $r_{диф}$  — дифференциальное сопротивление диода при выбранном значении  $I_{пр}$ .

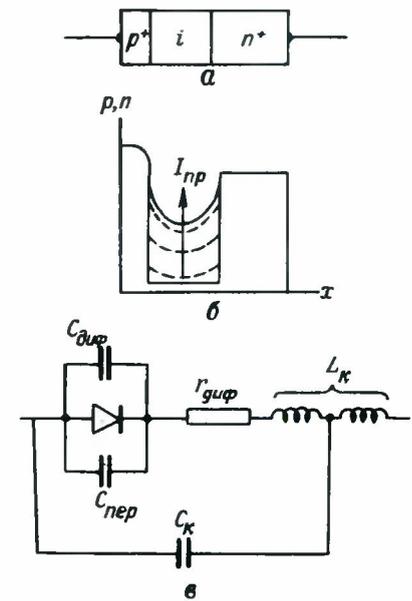


Рис. 1. Структурная схема диода (а); характер распределения носителей заряда (б) в выключенном состоянии (—) и при различных прямых токах (---); эквивалентная схема  $p-i-n$  диода (в), где  $C_{диф}$ ,  $C_{пер}$ ,  $C_{к}$  — емкости диффузионная, перехода и конструктивная;  $L_{к}$  — индуктивность конструкции

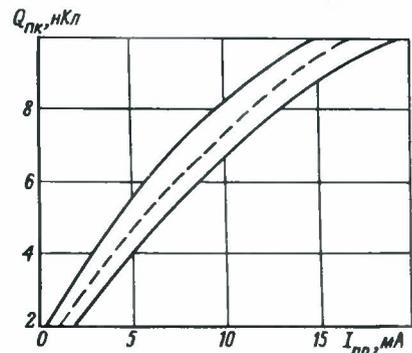


Рис. 2. Типичная зависимость заряда переключения от прямого тока (—); границы зоны 95%-ного разброса (---)

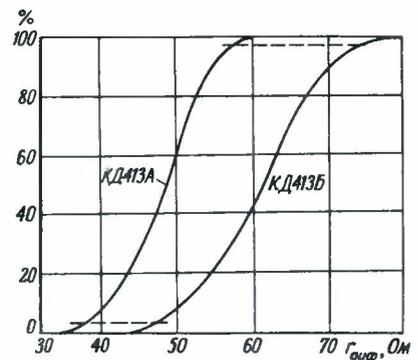


Рис. 3. Функции распределения диодов по величине  $r_{диф}$  (--- — границы зоны 95%-ного разброса)

принята равной 30–100. Объединив выражения (1) и (2), можно определить

$$f_{\min} \approx \frac{\pi I_{\text{пр}}}{2\pi Q_{\text{ПК}}} \approx 3-10 \text{ МГц}$$

Верхняя граница рабочего диапазона определяется паразитными индуктивностями и емкостями конструкции и  $p-n$  структуры и лежит в пределах от 300 до 500 МГц. Типичное значение полной емкости диода при достаточно больших обратных смещениях ( $-10 \text{ В}$ ) близко к  $0,1-0,2 \text{ пФ}$ , паразитной индуктивности конструкции —  $2 \text{ нГ}$ .

Основным параметром  $p-n$  диода как резистивного элемента является дифференциальное сопротивление при заданном прямом токе, измеренное на высокой частоте ( $f = 50 \text{ МГц}$ ), и характер зависимости  $r_{\text{диф}}$  от  $I_{\text{пр}}$ . Для упрощения расчета режима работы прибора по постоянному току введено двустороннее ограничение параметра  $r_{\text{диф}}$  фактический разброс его величины еще меньше (рис.3). При изменении прямого тока на три-четыре порядка (от  $5-10 \text{ мкА}$  до  $10-20 \text{ мА}$ ) дифференциальное сопротивление зависит от  $I_{\text{пр}}$  в строгом соответствии с теорией:

$$r_{\text{диф}} \approx A/I_{\text{пр}}$$

где  $A = 70-110 \text{ мВ}$  для группы А и  $A = 90-140 \text{ мВ}$  для группы Б.

Описанные приборы находят все более широкое применение в различных радиотехнических схемах (АРУ, ограничения ВЧ мощности и др.); они пригодны и для монтажа в высокочастотных гибридных микросхемах и для микросборки.

Статья поступила 17 октября 1979 г.

Ю. Ф. Новикова, Е. Т. Поспелова,  
И. Д. Романова, В. Д. Тюменцев

**СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ КОНТАКТА МЕТАЛЛ — АРСЕНИД ГАЛЛИЯ**

УДК 621.385.2—185.4

Импульсные диоды отличаются высокой стабильностью параметров в рабочем диапазоне температур от  $-60$  до

$+125^\circ\text{C}$  и широко применяются в радиоэлектронной аппаратуре и импульсной измерительной технике.

Диоды изготавливаются по планарно-эпитаксиальной технологии. На эпитаксиальные  $n^+-n$  структуры арсенида галлия методом катодного распыления наносится пленка двуокиси кремния толщиной  $0,3-1 \text{ мкм}$ . Со стороны подложки  $n^+$ -типа для создания омического контакта напыляется слой серебра и олова. Формирование выпрямляющих контактов производится электрохимическим осаждением металла в окна, вскрытые методом фотолитографии в пленке двуокиси кремния.

Прибор монтируется в металлокерамический корпус.

Основные электрические параметры

	AA538	AA529	AA527	AA530
Постоянное прямое напряжение, В при прямом токе:				
2 мА ...	1,0	1,0	1,0	1,0
10 мА ...				1,0
Постоянный обратный ток, мкА при максимальном напряжении:				
5 В ...		1,0		
9 В ...		1,0		
10 В ...			2,0	
40 В ...				5,0
Емкость диода при нулевом смещении, пФ	0,17	0,25	0,35	0,75
Эффективное время жизни носителей заряда, пс	40	50	80	100
Дифференциальное сопротивление, Ом при прямом токе:				
2 мА ...	40	40	70	
10 мА				30
Максимально допустимый импульсный ток при длительности импульса 10 мкс и частоте 1 кГц в диапазоне температур от $-60$ до $+35^\circ\text{C}$ , мА	5	5	30	50
Максимально допустимое импульсное обратное напряжение при длительности импульса 10 мкс и частоте 1 кГц, В	10	10	20	60

Ниже приведены электрические характеристики приборов и максимально допустимые режимы их эксплуатации (рис.1–3).

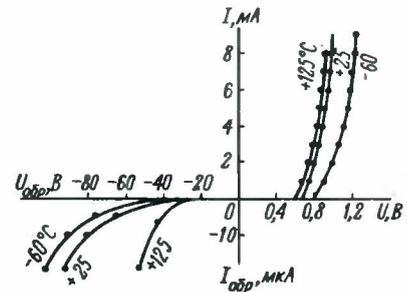


Рис. 1. Типовые вольт-амперные характеристики в диапазоне температур от  $-60$  до  $+125^\circ\text{C}$

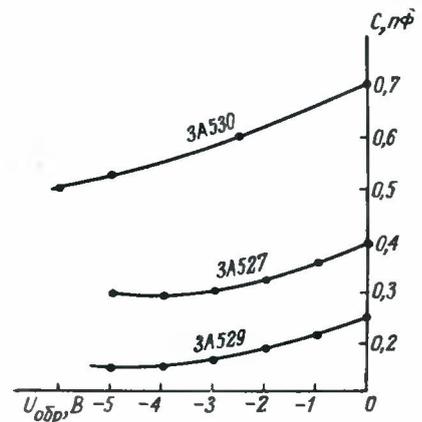


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики диодов

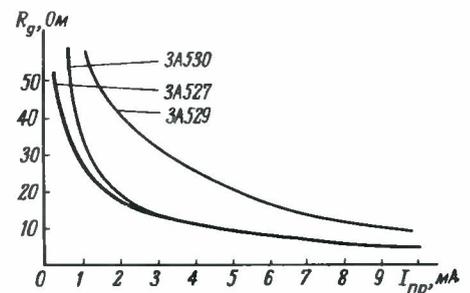


Рис. 3. Зависимости прямого дифференциального сопротивления от величины прямого тока

Статья после переработки поступила 28 мая 1979 г.

Б. Г. Анохин, А. П. Бройтман,  
Е. Е. Качурина, А. М. Кукушкин,  
И. Г. Москаленко

## ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА "ВРЕМЯ" ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Прогрессивные технические решения, использованные в конструкции установки "Время", проведение процессов в автоматическом режиме позволили достичь высокой производительности, резко сократить время выхода на заданный температурный режим и охлаждение установки, повысить равномерность температурного поля рабочей зоны и воспроизводимость параметров получаемых пленок тугоплавких металлов.

УДК 621.793.16:621.382.3.002

В последние годы в разработках и производстве дискретных низкочастотных МДП-транзисторов и комбинированных МОП БИС с малым напряжением питания все большее распространение получает технология изготовления затворов на основе тонких пленок молибдена и вольфрама, легированных углеродом и осаждаемых из газовой фазы при низких (300–400°C) температурах в результате пиролиза соответствующих карбониллов [1, 2]. При изготовлении затворов из пленок вольфрама или молибдена требуется меньшая (по сравнению с затворами из поликристаллического кремния) толщина слоев, что обеспечивает более высокую плотность элементов схемы. Кроме того, техника карбонильной металлизации характеризуется высокой воспроизводимостью результатов и возможностью совмещения данного процесса с любой технологией МОП-приборов с металлическим затвором.

Для осуществления карбонильной металлизации предназначена установка

"Время" (рис. 1). Она выполнена в виде отдельного термического блока, совмещенного со шкафом управления технологическим процессом нанесения пленок.

### Техническая характеристика

Число одновременно загружаемых пластин	
диаметром 40 мм	64
диаметром 60 мм	36
диаметром 80 мм	18
Диапазон рабочих температур пирамиды, °C	200–500
Точность поддержания температуры пирамиды, °C	± 2
Диапазон рабочих температур испарителя, °C	40–100
Точность поддержания температуры испарителя, °C	± 3
Число газовых линий (водород, азот)	3
Предельно достижимое разрежение в камере, Па	1,33
Время достижения предельного разрежения, мин	5–8
Скорость вращения пирамиды (регулируемая), об/мин	1–5
Потребляемая мощность, кВА при выходе на режим	2,5–3
в установившемся режиме	2,0
Габариты, мм	
технологического блока	1360x1355x1900
блока управления	580x550x1900

В термическом блоке размещены реакционная камера с встроенным в держатель подложек ИК нагревателем, питатель с порошком карбонила соответствующего металла, система вращения держателя, газораспределительное устройство, вакуумная система и система водяного охлаждения реакционной камеры и нагревателя, механизм подъема реакционной камеры, а также устройства герметизации камеры и измерения температуры держателя.

Реакционная камера расположена внутри скафандра, снабженного нагревательным устройством воздуха ВНУ-1, которое создает ламинарный поток обеспыленного воздуха (не более  $5 \cdot 10^3$  пылинок на  $1 \text{ м}^3$ ) и обеспечивает контролируемую газовую атмосферу в зоне загрузки изделий. Использованный воздух удаляется из скафандра вытяжным устройством, что исключает загрязнение зоны загрузки изделий воздухом из атмосферы помещения.

В шкафу управления технологическим процессом расположены программатор, блоки управления вакуумной и

газовой системами. ИК нагревателем, механизмом подъема камеры и нагревателем испарителя (питателя), силовой электрический блок ИК нагревателя, панель управления и различная коммутирующая, контролирующая и регистрирующая аппаратура.

В реакционной камере полупроводниковые или стеклянные подложки располагаются на боковых гранях держателя, представляющего собой полую усеченную пирамиду, и фиксируются с помощью специальных винтов. Герметизация и изоляция вращающегося вала, на котором расположена пирамида, и нагревателя осуществляются посредством грибовидного уплотнения и фторопластовой втулки. Конструкция крепления пирамиды позволяет снимать ее для периодической очистки без разборки.

Для удобства эксплуатации установки в ее конструкции предусмотрены две терморпары: одна служит датчиком для системы регулирования и поддержания температуры, другая – контрольная, позволяет вести непрерывное измерение температуры держателя подложек. Причем концы терморпар выведены через полый вал к вращающемуся коллектору специального токосъемника, с неподвижных щеток которого электрический сигнал по экранированным проводам передается к соответствующим приборам. Такая конструкция токосъемника позволяет увеличить точность поддержания и контроля температуры, уменьшить время переходного процесса при выходе нагревателя



Рис. 1. Внешний вид установки "Время"

на заданную температуру и увеличить воспроизводимость температуры после очередной профилактической очистки держателя. В установке используется хромель-алюмелевая термопара ХА (20), в соответствии с чем в стандартные блоки Р-111 и И-102 регуля-

тора температуры ВРТ-2 введена коррекция величины компенсационного сопротивления.

В целях защиты от взаимодействия с находящимися в камере реагентами ИК излучатели нагревателя отделены от объема реакционной камеры кварцевой трубой. При вакуумировании реакционной камеры газовая смесь, находящаяся в полости кварцевой трубы, удаляется через узкие зазоры между верхним торцом трубы и гибким элементом, с помощью которого труба крепится к держателям термоизлучателя.

Для подачи газа-разбавителя в реакционной камере установки предусмотрены два коллектора. Один из них используется для подачи основного потока газа-разбавителя, второй используется в зависимости от стадии технологического процесса. С его помощью осуществляется эффективный подогрев газа-разбавителя и, соответственно,

повышение скорости осаждения; форсированное охлаждение пирамиды и нагревателя после окончания процесса осаждения; предотвращение нежелательного осаждения металлических пленок на нагретую поверхность кварцевого экрана нагревателя.

Подача газа-носителя, обогащенного в испарителе парами карбонида металла, производится через обогреваемый ввод реакционной камеры. Блок испарителя крепится на ее верхней части. Наличие моторного и электромагнитного клапанов в блоке испарителя позволяет проводить нагрев испарителя до заданной температуры в потоке очищенного газа-носителя с последующим переключением газового потока в рабочую камеру по достижении требуемого состава реакционной смеси.

Нагреватель представляет собой блок кварцевых галогенных ИК термоизлучателей вертикального горения, которые устанавливаются в радиальные

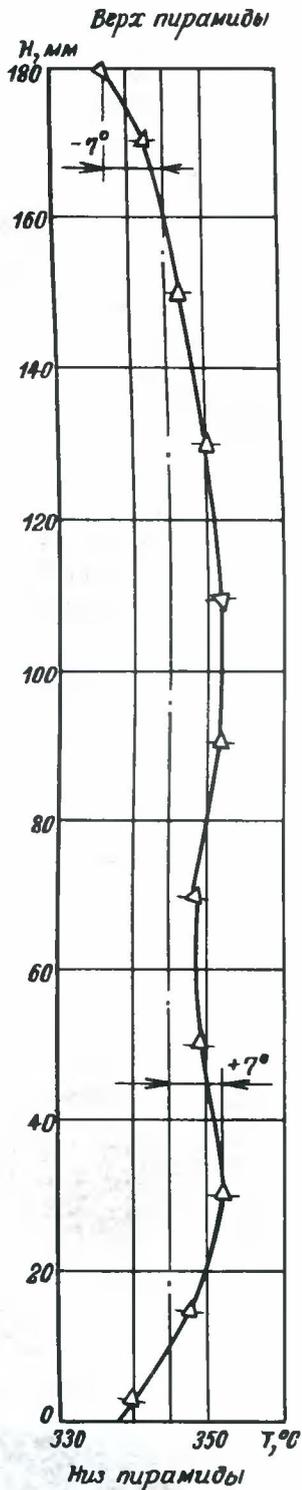


Рис. 2. Распределение температурного поля по поверхности пирамиды

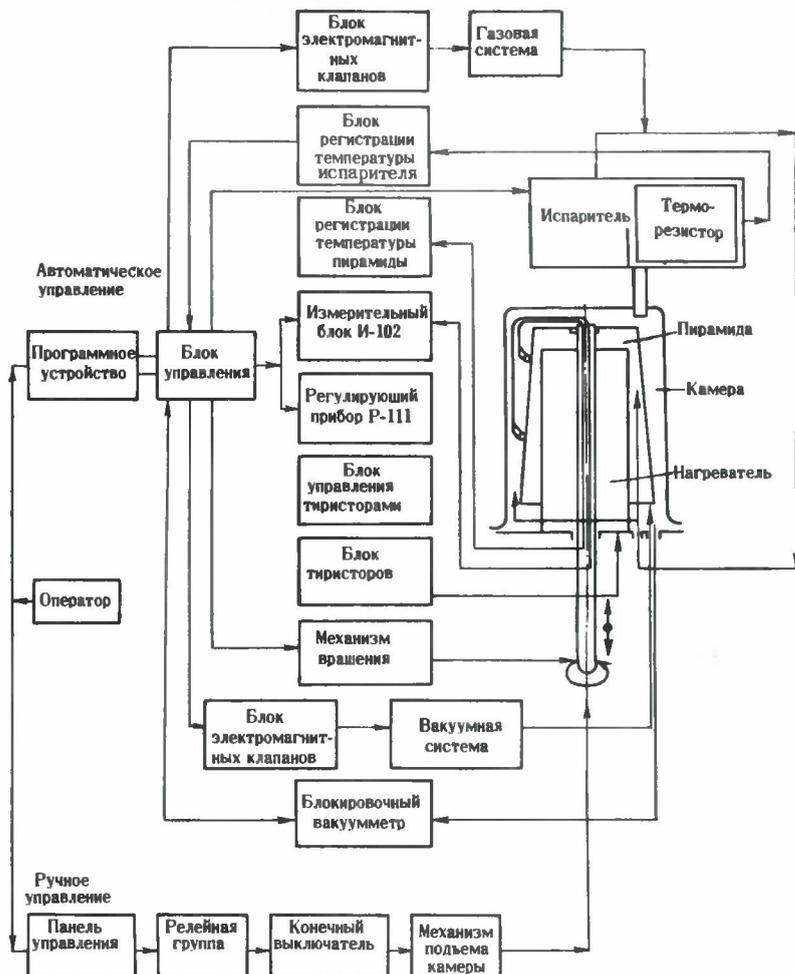


Рис. 3. Функциональная схема автоматической работы установки

пазы верхнего и нижнего держателей и фиксируются специальными листовыми пружинками, обеспечивающими надежный механический и электрический контакты термоизлучателей с держателями. Для повышения срока службы термоизлучателей проводится охлаждение держателей. Средняя продолжительность непрерывной работы термоизлучателя при условии обеспечения температуры его контактных областей не выше 350°C составляет 1500 ч.

Конструкция нагревателя и пирамиды обеспечивает легкую и быструю замену термоизлучателей без существенной разборки нагревательного узла.

Для создания равномерного теплового поля на поверхности пирамиды термоизлучатели имеют дифференциальное тело накала. Распределение теплового поля по поверхности пирамиды, полученное при оптимальной для данной конструкции нагревательного узла геометрии тела накала ИК термоизлучателя, представлено на рис. 2. Равномерность теплового поля в совокупности с описанным выше способом ввода паров реагента и защитного газа в противотоке позволяет обеспечить разброс по толщине осаждаемых металлических пленок не более  $\pm 5\%$ .

После загрузки изделий и герметизации камеры управление технологическим процессом может осуществляться в автоматическом режиме при помощи программатора или в ручном — при наладке установки и отработке режимов осаждения. Функциональная схема автоматической работы установки представлена на рис. 3.

Для обеспечения работы установки в автоматическом режиме в газовых линиях использованы быстродействующие электромагнитные клапаны, а в вакуумной системе — блокировочный вакуумметр ВБТ-1.

В качестве датчика в системе автоматического поддержания температуры испарителя использовано термосопротивление, обеспечивающее точность поддержания температуры не хуже  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

Программатор позволяет изменять продолжительность и последовательность отдельных этапов процесса путем изменения программы, делать паузы и остановку процесса в заданное время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Качурина Е.Е., Анохин Б.Г., Немировский Л.Н. Нанесение тонких пленок вольфрама и молибдена. — Электронная промышленность, 1973, вып. 2, с. 113—114.

2. Анохин Б.Г., Качурина Е.Е., Сопов О.В. Новый метод металлизации в планарной технологии. — Электронная промышленность, 1975, вып. 4, с. 35—41.

3. Установка для низкотемпературного получения пленок молибдена и вольфрама/Д.Б. Зворыкин, А.М. Кукушкин, З.Ф. Конякина, И.Ф. Фадеев. — Электронная промышленность, 1975, вып. 2, с. 47.

Статья поступила 27 мая 1979

В. В. Заддэ, К. В. Зиновьев,  
Д. С. Стребков, Т. И. Сурьянинова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИФфуЗИИ ФОСФОРА И БОРА В КРЕМНИЙ

Использование в качестве источника примесей пластин кремния с нанесенной стекловидной пленкой бора позволяет снизить температуру диффузии бора до 800—900°C. Благодаря применению соответствующих растворных легирующих композиций возможно в одном процессе получить диффузионные слои фосфора и бора толщиной менее 1 мкм с поверхностной концентрацией  $10^{20}\text{ см}^{-3}$ .

УДК 621.315.592.3

Применение растворных стеклообразующих композиций в качестве источника примеси в процессе диффузионного легирования кремния [1] привлекательно тем, что для создания на поверхности полупроводника легирующих пленок можно использовать те же установки, что и для нанесения фоторезиста. Кроме того, диффузия примесей из этих пленок обеспечивает высокую однородность и воспроизводимость параметров легированного слоя даже при диффузии в диски кремния большого диаметра, а путем нанесения на определенные участки поверхности разной по составу легирующей композиции можно проводить одновременную диффузию нескольких примесей. Существенными достоинствами метода являются также его простота, рациональное использование объема диффузионной

печи при загрузке ее дисками, уложенными стопкой, высокая экономическая эффективность.

В целях создания тонких (менее 1 мкм) сильнолегированных слоев кремния при предельно возможной низкой температуре был исследован процесс низкотемпературной диффузии фосфора и бора в кремний из стекловидных пленок. Для экспериментов использовались полированные диски кремния *n*- и *p*-типов проводимости диаметром до 60 мм с удельным сопротивлением  $\sim 1\text{ Ом}\cdot\text{см}$ , ориентированные в направлении (111). Подготовка пластин, приготовление и нанесение растворных композиций (применялись растворные композиции на основе тетраэтоксисилана типа КОК и КБМК [2]) проводились в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [3]. Толщина стекловидных пленок составляла 0,1—0,25 мкм.

Пленка, полученная из растворов КОК, содержала в своем составе  $\text{P}_2\text{O}_5$  сразу после нанесения. В пленке, образованной из растворов КБМК,  $\text{B}_2\text{O}_3$  появлялась только после термодеструкции. (Термодеструкция пленок проводилась на воздухе при температуре 790°C в течение нескольких минут).

Известно [1, 4], что скорость диффузии в значительной степени зависит от концентрации примеси, содержащейся в окисной пленке. Исследование температурных зависимостей поверхностного сопротивления кремния при проведении диффузии фосфора и бора в диапазоне температур от 800 до 960°C в среде аргона подтвердили эту зависимость (рис. 1).

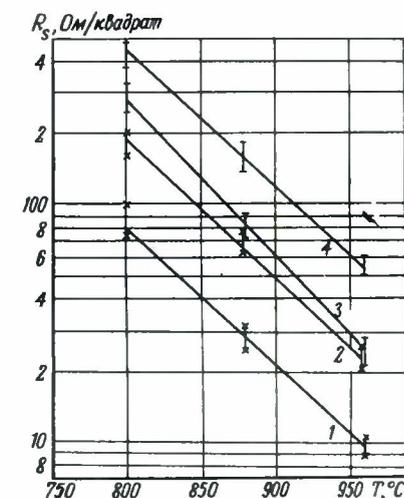


Рис. 1. Зависимость поверхностного сопротивления кремния от температуры диффузии фосфора (кривые 1 и 2) и бора (кривые 3 и 4) при различном содержании окислов примеси в пленках (% по массе): 1 — 50; 2, 3, 4 — 30

Так, например, значение  $R_S$  (разброс  $R_S$  по поверхности образцов составлял 3–6%) при содержании  $P_2O_5$  в легирующей пленке 50% по массе в два раза превышало величину поверхностного сопротивления, соответствующего 30%-ному содержанию указанного оксида для определенной температуры. Изменение состава газовой среды практически не влияло на величины поверхностного сопротивления.

Если в процессе получения пленок потерями на испарение примеси пренебречь (правомерность этого допущения подтверждена оценкой степени легирования поверхности чистых контрольных кремниевых образцов, прижимаемых к образцам со сформированной фосфоросиликатной пленкой), то расчет концентрации атомов фосфора в пленке для 50 и 30%  $P_2O_5$  по массе дает соответственно  $1,1 \cdot 10^{22}$  и  $6,7 \cdot 10^{21}$   $см^{-3}$  [1].

На характер изменения поверхностного сопротивления оказывает влияние режим диффузии (рис. 2). При концентрации  $P_2O_5$  в пленке менее 30% по массе и уменьшении температуры диффузии ниже  $880^\circ C$  изменение  $R_S$  от температуры становится более резким. Одновременно возрастает роль состава газовой среды. Так, например, диффузия на воздухе приводит, при прочих равных условиях, к более высоким значениям  $R_S$ .

Известно, что изменение общего

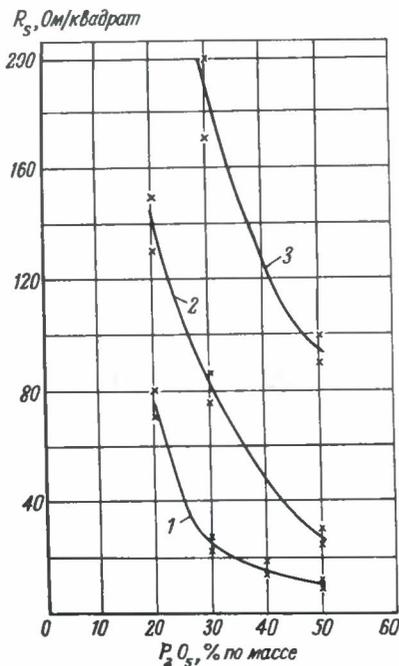


Рис. 2. Зависимость поверхностного сопротивления кремния от содержания  $P_2O_5$  в фосфоросиликатной пленке при различных режимах диффузии: 1 –  $900^\circ C$ , 40 мин; 2 –  $880^\circ C$ , 40 мин; 3 –  $800^\circ C$ , 90 мин

коэффициента диффузии зависит от скорости диффузии примеси в стекловидной пленке, в пограничном окисном слое и в кремнии, а также от скорости реакции восстановления окислов примеси. Так как диффузия примеси замедляется с уменьшением температуры значительно быстрее, чем скорость окисления кремния, то влияние окислительной среды оказывается более заметным при низких температурах.

Исследования показали, что уменьшение толщины стекловидной пленки при содержании  $P_2O_5$  в ней менее 40% по массе сопровождается ростом  $R_S$  кремниевой пластины при температуре диффузии выше  $900^\circ C$  и снижением  $R_S$  при температуре  $880^\circ C$ . Это явление, по-видимому, связано с изменением соотношения между толщиной стекловидной пленки и диффузионной длиной примеси в ней.

На рис. 3 показаны типичные профили распределения электрически активного фосфора по глубине диффузионного слоя, снятые на образцах, отличающихся концентрацией фосфора в пленке и режимом диффузии. Как видно, распределение примеси не подчиняется закону функции ошибок: все кривые имеют перегиб, разделяющий профиль на два участка. Его возникновение обусловлено, возможно, быстрым движением нейтрально заряженных и медленным движением отрицательно заряженных Е-центров [5]. При снижении температуры диффузии до  $790^\circ C$  наблюдалось приближение профиля распределения к гауссову. Для всех рассмотренных режимов диффузии концентрация примеси на поверхности

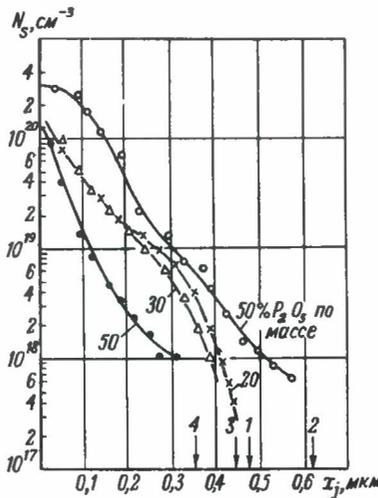


Рис. 3. Профили распределения электрически активного фосфора по глубине диффузионного слоя при различных режимах диффузии: 1 –  $960^\circ C$ , 40 мин; 2, 3 –  $880^\circ C$ , 40 мин; 4 –  $790^\circ C$ , 90 мин

кремния превышала  $10^{20}$   $см^{-3}$ , и легированные пленки являлись неограниченными источниками диффузанта.

Поскольку большой практический интерес представляет одновременная диффузия в кремний фосфора и бора, аналогичные исследования были проведены для стеклообразующих пленок с различным содержанием  $B_2O_3$ . Выяснилось, что заметного влияния на величину  $R_S$  содержание  $B_2O_3$  в пленке не оказывает. Поэтому в дальнейших экспериментах использовался раствор с содержанием 30% по массе  $B_2O_3$ .

Значения  $R_S$  очень чувствительны к степени осушки аргона: они резко возрастают во влажном газе. Диффузия на воздухе происходит еще более медленно. Во избежание эффекта "запаздывания", связанного с возникновением на границе с кремнием тонкого слоя барьерного оксида [1], перед диффузией при  $790^\circ C$  в атмосфере воздуха проводилась термообработка пленки. Зависимость  $R_S$  от температуры в случае диффузии бора аналогична полученной для диффузии фосфора, но значительно сильнее. Это объясняется тем, что подвижность электронов выше, чем дырок (при равной степени легирования фосфором и бором диффузионного слоя), а испарение  $B_2O_3$  из пленки очень интенсивно. Если пренебречь испарением бора, то его концентрация в пленке для 30%  $B_2O_3$  по массе составляет  $1,4 \cdot 10^{22}$   $см^{-3}$  что на два порядка превышает требуемую концентрацию бора в диффузионном слое.

Об интенсивности испарения  $B_2O_3$  свидетельствует тот факт, что на контрольных пластинах кремния, прижатых к образцам со стекловидными пленками, значения  $R_S$  оказались в 1,5–2 раза ниже по сравнению с пластинами со стекловидной пленкой на поверхности. Можно предположить, что в стекловид-

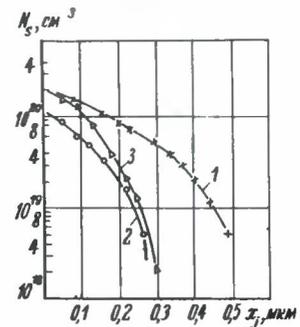


Рис. 4. Профили распределения электрически активного бора по глубине диффузионного слоя при различных режимах диффузии: 1 –  $960^\circ C$ , 40 мин; 2, 3 –  $880^\circ C$ , 40 мин

ной боросиликатной пленке прочность химической связи  $B_2O_3$  с  $SiO_2$  слабее, чем связь  $P_2O_5$  с  $SiO_2$  в фосфоросиликатной пленке. По этой причине стекловидные пленки, образованные из растворных композиций типа КБМК, можно считать хорошими внешними твердотельными источниками бора, подобно используемым для этой цели пластинам из нитрида бора. Поскольку диффузия бора в расположенные параллельно таким источникам пластины кремния идет через газовую фазу, параметры диффузионного слоя чувствительны к составу и скорости обновления газовой среды. Наименьшие значения  $R_S$  получали при небольших скоростях потока сухого инертного газа.

Профили распределения электрически активного бора по глубине диффузионного слоя показаны на рис. 4. Распределение примеси для образцов с нанесенной на поверхность стекловидной пленкой (кривая 2) и свободной от нее (кривая 3) подчиняется закону, близкому к закону функции ошибок. Диффузии из внешнего источника бора свойственна более высокая равномерность  $R_S$  по пластине, повышенная концентрация примеси в приповерхностном слое и несколько большая толщина диффузионного слоя по сравнению с диффузией из стеклообразующей пленки. Одной из причин может являться то, что на чистой поверхности кремния, имеющей тонкий слой окиси (менее 1 мкм), скорость восстановления окислов бора идет более быстро, и условия для перераспределения бора между пленкой и объемом кремния отсутствуют. Возможно также, что из внешнего источника бор диффундирует частично в элементарной форме и скорость диффузии не ограничена механизмом диффузии через силикатную пленку.

Проведенные исследования показали, что использование диффузии бора из внешнего источника позволяет получать диффузионные слои, близкие по свойствам к диффузионному слою, получаемому диффузией фосфора из пленки с содержанием 30%  $P_2O_5$  по массе, что дает возможность с помощью одновременной диффузии фосфора и бора формировать на разных участках кремния идентичные сильно легированные слои глубиной около 0,4 мкм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тонкие неорганические пленки в микроэлектронике/Борисенко А.И., Новиков В.В., Приходько Н.Е. и др. - Л.: Наука, 1972.

2. Применение силикатных пленок, полученных из растворов, в планарной технологии/Грибов В.Г., Зайцевская З.А., Звездочкин А.Р., Зиновьев К.В. - Электронная промышленность, 1978, вып. 1, с. 44.

3. Обзор по электронной технике? Получение окисных пленок из растворов и использование их в электронной технике/Зиновьев К.В., Вишняков О.Ф., Грибов В.Г. - М., 1974 - Вып. 13(250). Сер. Материалы.

4. Новиков В.В., Приходько Н.Е., Митникова И.М. Исследование диффузии фосфора из стекловидных пленок в кремний в окислительной среде. - Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПО, 1972, вып. 2, с. 27.

5. Matsumoto Saturo, Niimi Tatsuna. Phosphorus diffusion into silicon under the controlled surface concentration. - Jap. J. Appl. Phys., 1976, v.15, N 11, p. 2077-2082.

Статья поступила 22 ноября 1978 г.

А. Т. Буравцев, Л. В. Введенский,  
Л. Н. Каплин, С. И. Эйгель

#### ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТИВНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ РАСПЫЛЕНИЯ

С помощью регулируемой распылительной форсунки в полуавтомате ПНФ-1 осуществляется формирование высококачественных активных объемов с переменным по толщине профилем.

УДК 621.317.799.049.77

Фоторезистивное покрытие на кремниевых подложках формируется нанесением на предварительно подготовленную поверхность жидких фоторезистов, которые образуют на поверхности эластичную монолитную пленку. Качество покрытия зависит от выбранного фоторезиста, подготовки поверхности, способа нанесения, режима сушки.

Полуавтомат ПНФ-1Р\* позволяет получать толстые фоторезистивные пленки (до 3 мкм) методом дисперсионного распыления на рельефных под-

ложках (окисленных и металлизированных) с разрешением до 3 мкм и плотностью дефектов менее 1 деф/см<sup>2</sup>.

Наличие в полуавтомате распылительной форсунки, создающей "мягкий" факел, позволяет обеспечивать выполнение основных требований, предъявляемых к системе распыления фоторезиста: мелкодисперсное распыление, равномерность распределения фоторезиста по поверхности подложки, минимальные потери фоторезиста, регулирование производительности процесса, нанесение фоторезистов с различной вязкостью. Увеличение или уменьшение среднего диаметра капель снижает равномерность и плотность покрытия.

Эффективное использование фоторезистивных распылителей (форсунок) для рельефных подложек зависит от правильного выбора оптимальных параметров процесса распыления: вязкости фоторезиста, расхода резиста из сопла, давления воздуха, необходимого для распыления  $P_{расп}$ , давления на емкость с фоторезистом  $P_{ф}$  скорости перемещения форсунки  $V_{ф}$  (100-150 мм/с), скорости движения стола  $V_{ст}$  с подложками (10-25 мм/с), а также расстояния от сопла форсунки до подложки (100-120 мм).

Для получения удовлетворительной дисперсности распыленных частиц фоторезиста при малых потерях необходимо использовать минимально возможное давление сжатого воздуха для нормального распыления. В зависимости от типа фоторезиста, его вязкости, производительности и скорости перемещения форсунки, а также скорости движения стола с подложками толщина покрытия  $\delta$  на поверхности подложки может колебаться в пределах 0,7-8 мкм (рис. 1). Для достижения равномерного по пластине покрытия движения стола и форсунки должны быть согласованы, а скорости их перемещения в зависимости от диаметра пластин и формы подложек могут быть определены для каждого отдельного случая экспериментально. За один проход форсунки наносится полоса фоторезиста, ширина которой называется шириной отпечатка и равна 15-20 мм. Ее величина зависит от производительности форсунки, принятого технологического режима нанесения, конструкции форсунки и расстояния от ее сопла до подложки.

Практически определение оптимальных режимов работы распылительной системы проводится в следующей последовательности: для выбранного фоторезиста определяются оптимальная величина рабочей вязкости, минимально

\* Буравцев А.Т., Введенский Л.В., Каплин Л.Н., Эйгель С.И. Полуавтомат нанесения фоторезиста распылением ПНФ-1Р. - Электронная промышленность, 1977, вып. 2, с. 46-48.

возможная величина давления воздуха для распыления  $P_{расп}$ , толщина покрытия  $\delta$ , производительность форсунки.

Толщина пленки измеряется методом профилографирования, при этом разброс по пластине не превышает 10%.

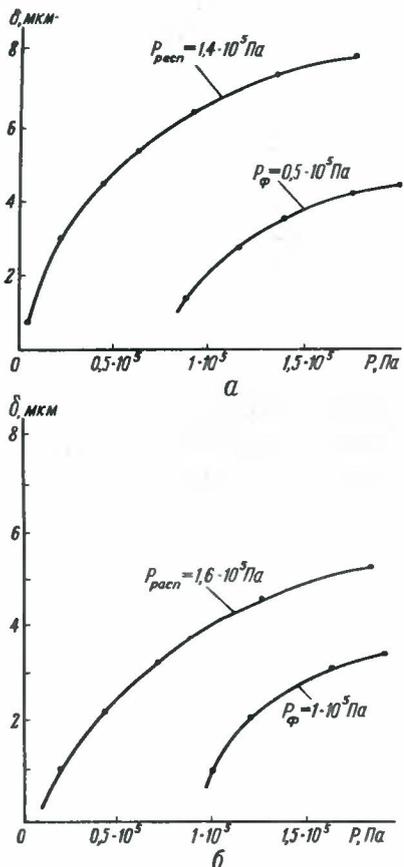


Рис. 1. Зависимость толщины пленки фоторезиста РН-7 (а) и ФП-30 (б) от режима нанесения

Внешний вид пленки контролируется визуально. Пленка должна быть блестящей, ровной и гладкой, без проколов, пузырей и подтеков. Если на поверхности пластин выявляются какие-либо дефекты, то производится корректировка либо величины расхода фоторезиста (производительности форсунки), либо скоростей перемещения стола и форсунки. Расход фоторезиста измеряется взвешиванием его при проходе через сопло форсунки определенного се-

чения за единицу времени. Зависимость производительности форсунки от давления, подаваемого в герметичную емкость с фоторезистом, приведена в таблице.

Производительность форсунки, мл/с	0,47	0,55	0,62	0,71	0,83	1,0
Давление воздуха на фоторезист, $10^5 \cdot \text{Па}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0

Определение количества различного размера капель в факеле форсунки, проведенное методом микроскопического анализа пластин после кратковременного напыления фоторезиста РН-7, показало, что их наибольшее количество имеет размер в диаметре 25 мкм (рис. 2).

Для оценки фильтрующей способности фильтра форсунки и плотности посторонних включений сравнивали степень загрязненности пленок фоторезиста РН-7 при напылении с фильтром и без него. Исследованиями установлено, что применение фильтра снижает средний размер загрязнений в 3 раза (с 21 до 6 мкм), а их среднюю плотность по пластине почти в 2 раза (с 40 до 25 включений на  $1 \text{ мм}^2$ ). В целях дальнейшего снижения загрязненности пленок вводится предварительная фильтрация фоторезиста.

Полуавтомат ПНФ-1Р обеспечивает высококачественное формирование активных объемов с переменным по толщине профилем, что принципиально невозможно при нанесении фоторезиста на центрифуге.

При нанесении фоторезиста распылением по контуру равномерным слоем толщиной 2–4 мкм с огибанием выступов и впадин мезаструктуры без предварительного заливания объемов достигается отличная адгезия слоя и исключаются случаи его поднятия или обрыва.

Дисперсионное нанесение фоторезиста находит применение и при создании металлизированной разводки по глубокому рельефу, когда фоторезист заливает углубления мезаструктуры и надежно маскирует непроявленные участки. Если при обработке плоских подложек способ нанесения не оказывает существенного влияния на распределение дефектности пленок фоторезиста (рис. 3), при обработке рельефных подложек (рис. 4) метод дисперсионного распыления незаменим.

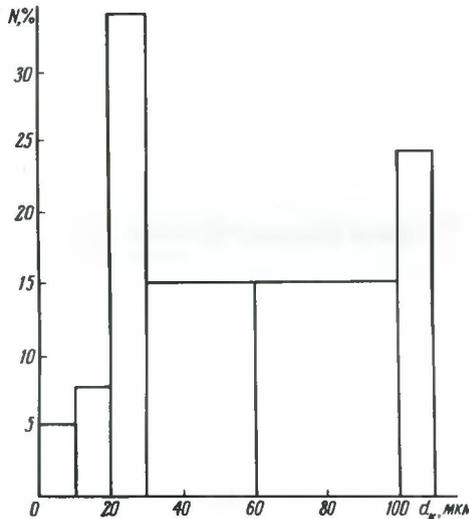


Рис. 2. Гистограмма распределения размеров капель фоторезиста в факеле форсунки

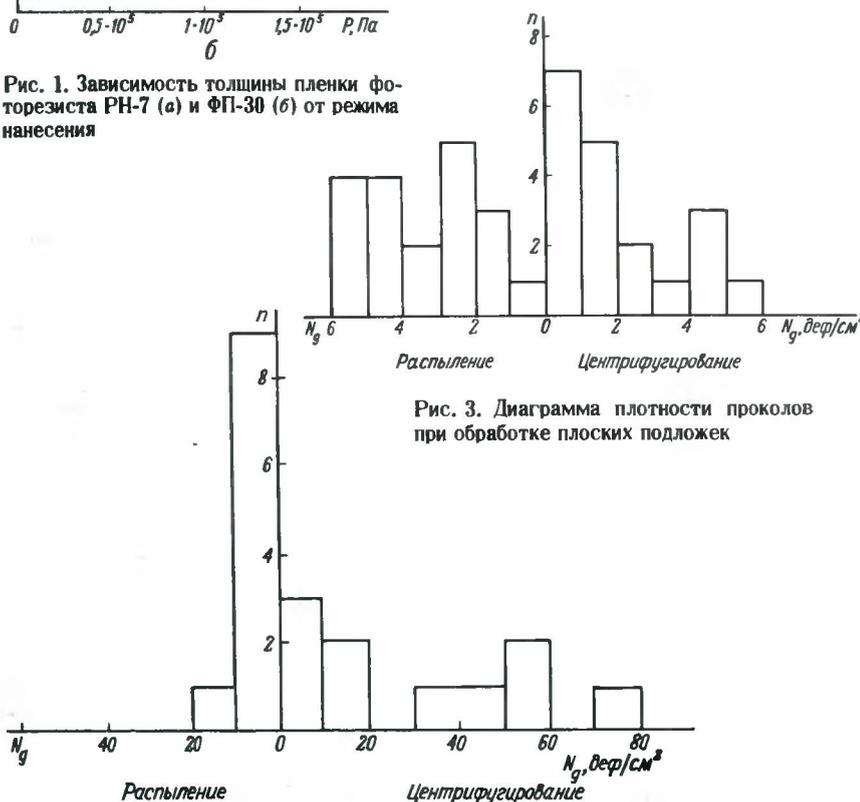


Рис. 3. Диаграмма плотности проколов при обработке плоских подложек

Рис. 4. Диаграмма плотности проколов при обработке рельефных подложек

ЭП	НОВОСТИ	ЭП
----	---------	----

## НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**СВЧ ТЕХНИКА.** Из новинок электронных СВЧ приборов можно отметить ЛБВ для передатчиков систем спутниковой связи. Специалистами фирмы Hughes (США) создана мощная ЛБВ 3-см диапазона, которая может усиливать одновременно от 1 до 10 сигналов на различных частотах, обеспечивая работу передатчика в помехоустойчивом режиме.

Новая ЛБВ с низким уровнем вносимых потерь имеет односекционную замедляющую систему и не содержит внутренних согласованных нагрузок. Она работает в диапазоне частот 7,9–8,4 ГГц и обеспечивает выходную мощность 5 кВт. В отключенном состоянии при работе в режиме, прозрачном для СВЧ сигнала, вносимые потери ЛБВ равны 0,5 дБ. При включении лампа имеет относительно низкий коэффициент усиления (15 дБ в режиме насыщения и 19 дБ в режиме малого сигнала), которого достаточно для получения выходной мощности более 5 кВт при мощности входного сигнала 160 Вт. Чтобы обеспечить работу лампы в режиме насыщения, необходима мощность возбуждения 200–400 Вт.

По оценке специалистов, для спутниковой системы связи требуется лампа-возбудитель мощностью 800 Вт, которая обеспечивает нормальную передачу сообщения при отключенной выходной лампе. Последняя подключается, когда требуется повысить мощность передатчика. Оценка работы выходной лампы в реальных условиях эксплуатации была проведена в наземной станции системы связи через спутник типа AN/MS-C-46. На станции было установлено два передатчика. В усилителе выходного каскада одного из них использовалась ЛБВ мощностью 3 кВт. Этот передатчик мог работать и с лампой мощностью 5 кВт. В выходном каскаде второго передатчика использовался усилительный клистрон мощностью 10 кВт. Для облегчения установки в систему новая лампа проектировалась таким образом, чтобы ее форм-фактор соответствовал форм-фактору заменяемой обычной ЛБВ.

Отмечается, что возможности спутниковой системы связи можно расширить за счет увеличения выходной мощности и обеспечения резервирования, заменив в передатчике мощную ЛБВ обычной конструкции блоком из параллельно включенных ламп новой конструкции. Новые лампы имеют меньшую

первоначальную стоимость, больший срок службы и требуют меньших затрат на ремонт [1].

По оценке специалистов фирмы Hewlett – Packard (США), цифровые СВЧ схемы на основе арсенида галлия, характеризующиеся большим быстродействием, по сравнению со схемами на основе кремния, позволяют получить скорость передачи данных порядка нескольких гигабит в секунду.

В настоящее время созданы цифровые схемы со средним уровнем интеграции, обеспечивающие надежную работу на частотах до 4 ГГц. Примером такого прибора является схема делителя частоты, содержащая 20 полевых транзисторов с затвором на основе барьера Шоттки (длина канала 1 мкм) и 12 диодов Шоттки, соединенных друг с другом вторым слоем металлизации.

Для большинства цифровых систем требуются схемы, выполняющие более сложные функции, поэтому в настоящее время основные усилия специалистов сосредоточены не на увеличении быстродействия, а на повышении уровня интеграции. Трудности создания цифровых схем с высоким уровнем интеграции обусловлены низким процентом выхода годных при обработке кристаллов арсенида галлия и высокой мощностью (40 мВт), потребляемой логическим вентиляем [2]. Тем не менее в настоящее время созданы схемы с шириной токопроводящих дорожек 1 мкм, что дало возможность изготовить кристаллы арсенида галлия, содержащие более 100 логических вентиляей и выполненные на 500 полевых транзисторах.

Благодаря применению ионного внедрения удалось существенно снизить напряжение запираения и уменьшить мощность, потребляемую логическим вентиляем (~2 мВт). Вентили с малой потребляемой мощностью характеризуются высоким быстродействием (время задержки распространения сигнала составляет 100 пс) и достаточно низким уровнем шумов. В будущем на их основе предполагается создать довольно сложные цифровые схемы с быстродействием несколько гигабит в секунду.

В ближайшие 5–10 лет ожидается создание цифровых БИС на полевых транзисторах из арсенида галлия, содержащих более 1000 вентиляей. Для этого необходимо усовершенствовать технологию выращивания полуизолирующего материала для подложек ИС и повысить процент выхода годных при изготовлении схем с субмикронной геометрией. Предполагается, что будущие БИС на полевых транзисторах с затвором на основе барьера Шоттки обеспечат быстродействие до 5 Гбит/с.

Отмечается, что среди логических схем на основе арсенида галлия наибольшим быстродействием характеризуются схемы, в которых используются приборы на эффекте Ганна. Они могут обеспечивать скорость передачи данных до 15 Гбит/с. Однако из-за необходимости регули-

ровки напряжения смещения по отношению к пороговому уровню с элементами на эффекте Ганна имеют низкий уровень интеграции. В будущем предполагается использовать метод селективного ионного внедрения для объединения на одном кристалле приборов на эффекте Ганна и полевых транзисторов с затвором на основе барьера Шоттки.

Первым шагом на пути создания аналоговых СВЧ схем на основе GaAs является разработка отдельных блоков (цифроаналоговых преобразователей, компараторов напряжения, схем квантования и запоминания, операционных усилителей) с высокой точностью и стабильностью параметров. Созданная в последнее время одноразрядная ячейка аналого-цифрового преобразователя с частотой выборки дискретных данных до 8 ГГц состоит из пяти активных приборов. Дискретное представление непрерывного сигнала и квантование выполняются с помощью приборов на эффекте Ганна с двумя управляющими затворами; сигнал управления генерируется полевыми транзисторами. В ближайшие пять лет ожидается разработка восьмиразрядных аналого-цифровых преобразователей с частотой выборки 0,5–1,0 ГГц [3].

Специалистами ведущих японских фирм "Ниппон дэнки" и "Мицубиси" достигнуты значительные успехи в разработке маломощных и мощных полевых СВЧ транзисторов. Так, фирмой "Ниппон дэнки" разработаны СВЧ транзисторы с длиной затвора 0,5 мкм, работающих на частоте 12 ГГц. У них достигнута шумовая температура 175 К, которую в дальнейшем предполагается снизить до 120 К. На частоте 4 ГГц получена шумовая температура 120 К. В будущем ожидается создание маломощных полевых транзисторов с шумовой температурой 90 К, предназначенных для аппаратуры наземных станций. Параметры современных мощных полевых СВЧ транзисторов японских фирм приведены в таблице.

Фирма	Частота, ГГц	Мощность	Коэффициент усиления, дБ	Примечание
"Ниппон дэнки"	6	10 Вт (12 Вт при насыщении)	4,0	Экспериментальный двухкаскадный усилитель Экспериментальный усилитель
	11	1,6 Вт (2,5 Вт при насыщении)	4,0	
	18	10 дБм	10,0	
	30	5 дБм	3,0	
"Фудзицу"	4	18,5 Вт	3,6	
	12	2,6 Вт	4,0	
	13	1,2 Вт	5,0	

Фирмой "Фудзицу" с целью увеличения пробивного напряжения транзисторов использована золо-

тая металлизация кристаллов. В будущем планируется создание транзисторов мощностью 20 Вт (фирма "Ниппон дэнки") и 25 Вт (фирма "Фудзицу") на частоте 6 ГГц, приборов мощностью 3 Вт на частоте 11–12 ГГц (фирма "Ниппон дэнки") и 10 Вт на частоте 10 ГГц (фирма "Фудзицу"). Фирма "Фудзицу" планирует также разработать усилитель с рабочей частотой 20 ГГц и мощностью 5 Вт. Высокую мощность специалисты фирмы предполагают достичь за счет использования метода сложения мощностей отдельных приборов.

Планируются работы по увеличению ширины затвора, пробивного напряжения и надежности мощных транзисторов. В настоящее время наметилась тенденция к изготовлению мощных транзисторных усилителей в интегральном исполнении. Вопрос о том, каким интегральным схемам отдать предпочтение (гибридным или монокристалльным), будет зависеть от их стоимости.

В последнее время со стороны японских фирм возник интерес к использованию полевых СВЧ транзисторов в системах связи. Мощные и маломощные приборы, работающие на частотах от 10- до 3-см диапазона, были поставлены фирмой "Ниппон дэнки" в страны Северной и Южной Америки, Западной и Восточной Европы для наземных и спутниковых систем связи. Транзисторные усилители мощностью 6 Вт на частоте 6 ГГц были использованы для замены ЛБВ. Для передатчиков систем телевизионного вещания создан прибор мощностью 1,5 Вт на частоте 12 ГГц. Фирма "Фудзицу", которая также много внимания уделяет разработке мощных полевых транзисторов для замены ЛБВ, разработала 5-каскадный усилитель мощностью 10 Вт в диапазоне частот 3,6–4,2 ГГц. В усилителе использованы приборы с длиной затвора 1,5 мкм и шириной 15 000 мкм.

Фирма "Мицубиси" разрабатывает мощный полевой транзистор со сдвоенным затвором, надеясь использовать его для замены мощных ламп в СВЧ печах. От четырех транзисторов на частоте 1 ГГц получена мощность 100 Вт при коэффициенте усиления 2,2 дБ и КПД стока 42%. Но специалисты фирм "Ниппон дэнки" и "Фудзицу" скептически относятся к возможности такой замены [4].

Зарубежные специалисты разрабатывают новые образцы мощных IMPATT-диодов 3-см диапазона. Сотрудниками Исследовательского центра Британского Министерства почти создан усилитель на IMPATT-диоде с высоким КПД и выходной мощностью 8,4 Вт, предназначенный для замены ЛБВ в системе цифровой связи на частотах ~11 ГГц. Такая замена обусловлена необходимостью увеличения срока службы системы связи. Усилитель, созданный английскими специалистами, имеет полосу пропускания 260 МГц, коэффициент

усиления 6 дБ и КПД 19%. Высокая выходная мощность при довольно большом сроке службы диода ( $10^6$  ч) получена благодаря низкой температуре перехода. Для снижения температуры два активных элемента монтировались на позолоченный серебряный штифт с керамической боковой поверхностью. Усилитель состоит из двух таких диодов. В будущем предполагается усовершенствовать его конструкцию с целью получения выходной мощности 10 Вт, сравнимой с мощностью ЛБВ.

Созданный Исследовательским центром фирмы General Electric Co., Ltd. (Великобритания) опытный образец усилителя на IMPATT-диодах предполагается использовать для замены ЛБВ в СВЧ системе цифровой связи. Для получения сопоставимого с ЛБВ коэффициента усиления (10 дБ) усилитель должен иметь два каскада. Перекрытие полосы частот системы (10,7–11,7 ГГц), разделенной на два канала, каждый из которых имеет полосу пропускания 500 МГц, будет осуществляться с помощью четырех усилителей.

Специалистами фирмы Varian (США) исследована возможность использования фосфида индия для изготовления диодов с  $p^+-n-n^+$  структурой. В полученных образцах мезадиодов  $p^+-n$  переходы созданы методом внедрения ионов бериллия в равномерно легированный серой эпитаксиальный слой  $n$ -типа, выращенный на подложке, легированной оловом. Внедрение ионов с энергией 50 кэВ и дозой  $1 \cdot 10^{14}$  см $^{-2}$  осуществлялось при комнатной температуре.

Результаты экспериментов показали, что приборы способны выдерживать довольно высокую рабочую температуру. По мощности и КПД они сравнимы с диодами из арсенида галлия, но имеют более высокие значения пробивного и рабочего напряжений. В непрерывном режиме на частоте 9,78 ГГц получена выходная мощность 1,6 Вт при КПД 11,1%. Температура перехода при максимальной непрерывной мощности диода (1,7 Вт) и КПД 10,8% оказывается на 250°C выше температуры окружающей среды. В импульсном режиме на частоте 10,8 ГГц выходная мощность составила 6,1 Вт при КПД 13,7%, длительности импульса 500 нс и коэффициенте заполнения 10% (максимальный КПД = 14% был получен при выходной мощности 5 Вт). В непрерывном режиме диоды работали при напряжении 89 В, а в импульсном – при 73В. Обратное пробивное напряжение составляло 60 В. Приборы имели более низкий уровень ЧМ-шумов вблизи несущей по сравнению с генераторами на IMPATT-диодах и диодах Ганна из арсенида галлия. По этому параметру они сопоставимы с некоторыми кремниевыми IMPATT-диодами [5, 6].

С увеличением быстродействия БИС и СБИС возрастает потребность и в быстродействующей контрольно-измерительной аппаратуре. Специа-

листами японской фирмы Takeda Riken Industry в 1978 г. создана лабораторная установка для испытания БИС на частоте 100 МГц, что значительно выше частоты современных американских испытательных систем, равной, как правило, 10 МГц. Большинство американских изготовителей тестовой аппаратуры считает, что в ближайшие два-три года при испытаниях БИС и СБИС рабочая частота оборудования может не превышать 25 МГц. Спрос же на тестеры с частотой 100 МГц будет невелик, поскольку сейчас эти устройства необходимы лишь для испытания ЭСЛ схем, небольшой объем производства которых не оправдывает покупку такой установки. Испытательные системы, работающие на частоте 25 МГц, выпущены фирмами Fairchild и Macrodata.

Отмечается, что срок службы испытательной аппаратуры (стоимость которой может составлять 500 тыс. – 750 тыс. долл.) равен примерно 5 годам, что обусловлено быстрыми темпами совершенствования БИС [7, 8].

Фирмой RCA создаются пять перспективных моделей ИК преобразователей. Каждый преобразователь содержит кремниевый кристалл  $p$ -типа длиной 10 мм с 256 детекторными ячейками. Дуга обзора каждой ячейки по периметру – 0,3 м. Детекторы представляют собой диоды на основе барьера Шоттки, полученного напылением слоя платины на кремниевую подложку. На кристалле размещены два ПЗС регистра для сравнения двух соседних кадров просматриваемого участка с целью выявления различий и включения в случае необходимости сигнализации. Преобразователь необходимо охлаждать до температуры 90 К. Изменение температуры окружающей среды, которое обнаруживается устройством, составляет 0,1°C.

К достоинствам ИК преобразователя относят однородную чувствительность ячеек, отсутствие перекрестных искажений между соседними ячейками и относительно низкую стоимость. В настоящее время разрабатывается двумерная детекторная матрица с более высокой чувствительностью.

Специалистами Римского исследовательского центра создан малогабаритный прибор, включающий девять ПАВ фильтров и перекрывающий диапазон от 360 до 468 МГц. Перестройка частоты фильтра осуществляется менее чем за 0,5 мкс, при этом подавление сигналов на нежелательных частотах составляет 60 дБ. Эти фильтры предназначены для синтезаторов частоты объединенной тактической системы распределения информации. В настоящее время усилия специалистов направлены на повышение рабочих частот фильтров (до 1 – 2 ГГц) путем уменьшения ширины линий (до 0,6 мкм) ПАВ элементов, достигаемого благодаря применению рентгенолитографии. Новые приборы на магнитостатических поверхностных вол-

нах в сравнении с ПАВ элементами работают на более высоких частотах ( 2 ГГц), которые в будущем предполагается увеличить до 20 ГГц [9].

**ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА.** Согласно прогнозным оценкам журнала *Laser Focus*, объем продаж лазерной техники и вспомогательных приборов на мировом рынке составил в 1979 г. 740,1 млн.долл., что на 21,8% превысило уровень 1978 г. (607,6 млн. долл.). Особенностью развития этой отрасли промышленности в 1979 г. является снижение темпов прироста ассигнований на НИР и ОКР при увеличении темпов прироста объема производства изделий лазерной промышленности.

Как и в 1978г., темпы прироста объема продаж государственных организаций превысили темпы прироста объема продаж на рынке коммерческих приборов. Большой объем продаж изделий приходится на долю лазерных целеуказателей, дальномеров и систем самонаведения. В связи с этим темпы прироста объема продаж твердотельных лазеров в сравнении с лазерами других типов были самыми высокими.

На долю таких оптических компонентов, как лампы-вспышки и модуляторы света, пришлось более половины объема продаж вспомогательного оборудования для лазеров. Остальная часть объема продаж пришлась на долю юстировочных устройств, электронных систем обработки оптических сигналов и генераторов электронных пучков, используемых для накачки некоторых типов лазеров.

Ассигнования на НИР в области лазерной техники увеличились с 239,7 млн.долл. в 1978г. до 284 млн.долл. в 1979 г. при одновременном снижении темпов прироста с 19,3 до 18,6% (без учета зарплаты научно-технического персонала и затрат на капитальное строительство). Значительно снизились темпы прироста ассигнований (с 18,6% в 1978 г. до 4,9% в 1979 г.) на НИР в области энергетических лазерных установок. При этом следует отметить, что ассигнования на эти цели возросли с 81 млн. долл. в 1978 г. до 85 млн.долл. в 1979 г. [10].

Ведутся работы по использованию лазеров в технологических процессах. Так, специалистами различных фирм, в том числе Intel National Semiconductor, Texas Instruments и Стенфордского университета разрабатывается технология лазерного отжига кремниевых пластин после операции ионного внедрения примесей.

Специалисты Стенфордского университета использовали ионный аргоновый лазер с мощностью в непрерывном режиме 24 Вт. Отклонение лазерного пучка осуществлялось с помощью двух вращающихся во взаимно перпендикулярных направлениях зеркал. Исследования проводились на кремниевой пластине *p*-типа с ориентацией (100) и удель-

ным объемным сопротивлением 10 Ом см. Плотность внедренных ионов бора составляла  $10^{14}$  ионов/см<sup>2</sup> при энергии ионов 15 кэВ. После проведения лазерного отжига глубина залегания *p-n* перехода почти не превышала заданной величины, равной 0,36 мкм (при термическом отжиге глубина залегания перехода составляла 0,55 мкм). На отжиг одной пластины диаметром 76 мм затрачивалось менее 3 мин.

Однако, по мнению специалистов, метод лазерного отжига еще не отработан. При его использовании возникает ряд проблем, таких как появление точечных дефектов (вакансии в узлах кристаллической решетки), влияющих на электрические свойства интегральных схем, которые частично устраняются последующим отжигом при температуре 500–600°C, образование окисных слоев на поверхности полупроводниковых пластин в процессе ионного внедрения, что снижает эффективность лазерного отжига. Кроме того, специалистами Стенфордского университета продемонстрирована возможность применения лазерного отжига для обработки токоведущих дорожек из поликристаллического кремния с целью уменьшения их сопротивления и для получения омических контактов улучшенного качества на пластинах арсенида галлия. Контакты формируются осаждением на поверхности арсенида галлия сначала пленок золота, а затем — германия. В результате отжига излучением импульсного лазера (плотность энергии менее 1 Дж/см<sup>2</sup>) образуется омический контакт с очень гладкой поверхностью, обеспечивающий высокую надежность присоединения проволочного вывода. Кроме того, лазерный отжиг исключает смешивание и миграцию атомов золота и германия, которые наблюдаются при термической обработке контактов [11].

#### ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ.

Состоянию американского рынка волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) была посвящена конференция, организованная фирмой Kessler Marketing Intelligence в октябре 1978 г. Согласно оценкам промышленных экспертов, объем продаж ВОЛС (исключая затраты на НИР и ОКР) возрастет с 30 млн.долл. в 1978 г. до 350 млн.долл. в 1982 г. При этом первое место будет принадлежать ВОЛС для телефонного оборудования (65% от общего объема продаж в 1979 г. и 54% — в 1982 г.), второе — линиям связи для вычислительной техники (7% — в 1978 г. и 24% — в 1982 г.), третье — линиям связи для промышленного оборудования (7% — 1978 г. и 9% — в 1982 г.). Ожидается, что объем продаж ВОЛС для передачи данных со скоростью 1 Гбит/с и более к 1990 г. достигнет нескольких миллиардов долларов.

Объем продаж ВОЛС в 1979 г. составит 47 млн. долл., что на 50% больше, чем в 1978 г. Годовой

прирост объема продаж ВОЛС в 1980 г. составит 90%, в 1981 г. — 85%, а в 1982 г. — только 33%. Отмечается, что все оценки сделаны с учетом инфляции.

По мнению специалистов фирмы Rank Precision Industries Inc., объем продаж оптических соединителей (включая соединители волоконных жгутов) увеличится с 12,4 млн.долл. в 1978 г. до 32,4 млн.долл. в 1985 г. Объем продаж моноволоконных соединителей увеличится в стоимостном выражении с 1,1 млн.долл. (35 тыс.шт. в количественном выражении) в 1978 г. до 18 млн.долл. (4,5 млн.шт.) в 1985 г., а стоимость согласованной пары соединителей за тот же период снизится с 30 до 4 долл.

Согласно оценкам специалистов, объем продаж устройств сопряжения волокон увеличится с 200 тыс. долл. (400 шт.) в 1978 г. до 7,5 млн.долл. (187,5 тыс. шт.) в 1985 г., при этом стоимость одного устройства сопряжения за тот же период снизится с 500 до 400 долл. [12].

**ИНДИКАТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА.** Специалистами фирмы Bell Telephone Labs создана электрохромная индикаторная ячейка на основе фосфорно-вольфрамовой кислоты, которая при комнатной температуре одновременно является электрохромным материалом и ионным проводником. Время отклика ячейки составляет  $\sim 50$  мс при воспроизведении данных синего цвета на белом фоне. Кроме того, ячейка обладает памятью. При ее изготовлении на прозрачном проводящем электроде из двуокиси олова, нанесенном на стеклянную подложку, формируется сжатый под давлением  $5 \cdot 10^7$  Па слой фосфорно-вольфрамовой кислоты, заключенный в керамическую трубку диаметром 3 мм. Слой двуокиси олова представляет собой передний (видимый) электрод. В качестве противоположного электрода используется слой серебра, меди или проводник нестехиометрического состава, из которого в слой фосфорно-вольфрамовой кислоты поступают ионы лития, меди или серебра. Отмечается, что характеристики ячейки не зависят от типа материала противоположного электрода. Механизмы окраски и обесцвечивания слоя фосфорно-вольфрамовой кислоты подобны этим механизмам в аморфных пленках триоксида вольфрама.

При подаче отрицательного импульса, а затем снятия смещения окраска индикатора не изменяется, что обеспечивает эффект запоминания. При уменьшении коэффициента отражения с 1 до  $\sim 0,3$  на длине волны 1 мкм поверхностная плотность заряда центров окраски составляет  $\sim 1$  мК/см<sup>2</sup>, что соответствует минимальной толщине окрашенного слоя  $\sim 50$  нм. Амплитуда отрицательного импульса напряжения, необходимая для получения окрас-

ки, равна  $\sim 1$  В, положительного импульса (для обесцвечивания) — 2,5 В. Мощность, потребляемая при воспроизведении данных, равна 100 мкВт. Время стирания при подаче импульса длительностью 50 мс составляет  $\sim 0,2$  с. Однако под воздействием отрицательного напряжения в течение нескольких секунд стирание при подаче положительного смещения может занять несколько минут. По мнению специалистов фирмы, индикаторы на основе фосфорно-вольфрамовой кислоты заслуживают дальнейшего исследования [13, 14].

Специалистами фирмы Bell Laboratories разработана также опытная структура индикатора, воспроизводящего данные в результате обратимого электроосаждения пленок галогенидов серебра на прозрачные контакты из окиси индия — олова или вещества, делающего раствор непрозрачным (например, двуокись титана). Одна из опытных индикаторных ячеек проработала при напряжении возбуждения менее 2 В без деградации характеристик 10 млн.циклов. В экспериментальной индикаторной ячейке на белом фоне воспроизводились данные темно-красного цвета. Благодаря хорошим характеристикам (быстрому отклику, высокой эффективности, четкости и контрастности воспроизводимой информации при большом угле обзора и низком рабочем напряжении, а также химической устойчивости и простоте конструкции) такая структура перспективна для изготовления плоских индикаторов.

Специалистами фирмы создана опытная ячейка (поперечное сечение 1 см<sup>2</sup> и толщина  $\sim 125$  мкм) с раствором на основе йодистого серебра, йодистого рубидия и йода. Время срабатывания ячейки зависит от концентрации йодистого серебра и принимает минимальное значение для 0,3 М раствора. Коэффициент пропускания ячейки изменялся от 100 до 10% менее чем за 1 с и в 0,25 раз за 10 мс при напряжении 5 В. Образцы работали при импульсах напряжения до 100 В и плотности тока  $\sim 1$  А/см<sup>2</sup>. Эффективность ячейки, определяемая отношением изменения оптической плотности к заряду, прошедшему через единицу площади, составляла 50 см<sup>2</sup>/К, что соизмеримо с эффективностью электрохромных устройств на основе триоксида вольфрама (25–100 см<sup>2</sup>/К).

Создана также опытная индикаторная ячейка на основе раствора йодида рубидия-серебра, окиси алюминия и двуокиси титана в диметилсульфоксиде. Она проработала при напряжении возбуждения менее 2 В более 10 млн.циклов. При этом заметного ухудшения свойств ячейки не наблюдалось. Темно-красное изображение, воспроизводимое на белом фоне, хорошо видно на значительном расстоянии и при большом угле обзора [15].

Специалистами фирмы Rockwell International разработана опытная твердотельная плоская (тол-

шиной 2 мм) электролюминесцентная панель с разрешающей способностью  $\sim 20$  линий/мм и средней яркостью свечения до  $24$  кд/м<sup>2</sup>. Такая панель, представляющая собой матрицу  $100 \times 100$  активных элементов, может воспроизводить высококачественное телевизионное изображение. Новая панель отличается высокими вибростойкостью и ударопрочностью, имеет небольшие габариты и вес.

Индикаторная панель изготавливается с помощью стандартных методов напыления тонких пленок и фотолитографии.

Для высвечивания какого-либо элемента на панель от устройства возбуждения строки подается отрицательный импульс с напряжением  $100$  В длительностью  $33$  мкс, а затем от устройства возбуждения столбца — положительный импульс той же амплитуды. Изменение яркости, обеспечивающее отображение не менее восьми оттенков серого, получается за счет широтно-импульсной модуляции сигнала устройства возбуждения столбца. Зависимость яркости от напряжения носит нелинейный характер, поэтому требуемая яркость достигается лишь при максимальном возбуждающем напряжении. Малые значения времени нарастания и спада импульсов позволяют воспроизводить быстро движущийся объект; при этом частота повторений составляет  $30$  кадров/с. Отношение активной площади к общей площади превышает  $0,7$ . Благодаря стеклянному защитному экрану индикаторная панель может работать при температурах до  $70^\circ\text{C}$ , а при усовершенствовании герметизации рабочий диапазон температур может быть увеличен до  $125^\circ\text{C}$ . В будущем планируется создать индикаторную панель с  $500 \times 500$  элементами, однако для этого необходимо определить оптимальные средства сопряжения индикаторной панели с управляющей электронной системой и создать схемы ТВ развертки [16].

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.** Несмотря на прогнозируемое снижение темпов прироста объема продаж полупроводниковых приборов в США в 1979 г., изготовители технологического оборудования и тестовой аппаратуры планируют увеличение спроса на свои изделия. Это обусловлено тем, что по мере повышения сложности ИС возникает необходимость в более совершенном оборудовании, обеспечивающем достаточно высокие производительность и процент выхода годных. Так, согласно прогнозам фирмы Frost & Sullivan, объем продаж систем управления технологическими процессами на базе микропроцессоров увеличится за период с 1976 по 1986 гг. с  $2,2$  млрд. до  $4,3$  млрд. долл.

Согласно прогнозам Ассоциации полупроводниковой промышленности США, темпы прироста объема отгрузок ИС в 1979 г. составят  $13\%$  против  $28$

в 1978 г. Однако изготовители технологического оборудования считают, что спрос на их системы определяется не объемом продаж ИС, а тенденцией к постоянному увеличению их сложности. Сохранение достаточно высокого спроса на технологическое оборудование способствует сокращению сроков его окупаемости. Так, по данным фирмы Perkin-Elmer, затраты на приобретение системы совмещения типа Micralign (стоимостью  $135$  тыс. —  $165$  тыс. долл.) благодаря увеличению производительности и процента выхода годных приборов окупаются примерно за шесть месяцев. Растет спрос на технологическое оборудование со стороны японских и западноевропейских фирм, что также способствует увеличению объема его продаж. В области систем управления технологическими процессами отмечается тенденция к замене аналоговых контроллеров цифровыми устройствами на базе микропроцессоров.

По данным консультативной фирмы Salzer Technology Enterprises, доходы от продаж оборудования литографии за период с 1978 по 1985 гг. увеличатся со  $100$  млн. до  $500$  млн. долл. Одновременно ожидается, что объем продаж систем электролитографии, используемых для изготовления фотошаблонов, увеличится за период с 1978 по 1985 гг. в пять раз.

Наряду с новыми методами электроно- и рентгенолитографии еще долгое время будет использоваться фотолитография, с помощью которой в настоящее время можно получать линии шириной  $1$  мкм. По мнению представителей фирмы Perkin-Elmer, методы фотолитографии с использованием УФ и глубокого УФ излучения будут применяться в полупроводниковом производстве еще не менее восьми лет. Тем не менее, такие крупные фирмы-изготовители фотолитографического оборудования как Perkin-Elmer и GCA, проводят программы по созданию новых систем электроно- и рентгенолитографии.

В области электролитографии фирма Extrion проводит программу (на ее проведение ассигнуется  $10$  млн. долл.) по разработке системы для непосредственного нанесения за  $3$  мин рисунка на пластину диаметром  $101$  мм. Стоимость промышленных систем такого типа должна быть равна  $1$  млн. долл., что почти в два раза ниже стоимости современных менее сложных электронно-лучевых установок. Предполагается, что такая система будет выпущена к 1982 г. Однако, по мнению большинства изготовителей, эти установки начнут широко использоваться лишь с 1985—1986 гг. [7, 8].

Специалистами фирмы IBM разработана новая рентгеновская трубка, позволяющая получать короткие импульсы (длительностью  $60$  —  $100$  нс) мощного рентгеновского излучения.

Трубка состоит из небольшого капилляра (с полиэтиленовыми стенками и графитовыми электродами), внутри которого происходит разряд. Образующаяся внутри него углеродная плазма (плотность  $3 \times 10^{19}$  см<sup>-3</sup>; температура 35–40 эВ) дополнительно облучается интенсивным пучком электронов (с плотностью тока  $2,10^8$  А/см<sup>2</sup>), испускаемых из катода стержневого типа, расположенного аксиально по отношению к капилляру (величина тока 5–10 кА, ускоряющее напряжение 30–100 кВ), что увеличивает долю испускаемого трубкой мягкого рентгеновского излучения. Малые размеры источника (~200 мкм) и наличие широкого спектра излучения позволяют избежать возникновения полутеневого размывания контуров изображения.

Благодаря чрезвычайно малому времени экспозиции и большой мощности излучения новая трубка найдет применение при изготовлении СВИС методами рентгенолитографии. Использование рентгеновских лучей с длиной волны 1–10 нм позволит получать линии субмикронных размеров. Мягкое рентгеновское излучение (длиной 2,3–4,4 нм), для которого вода представляет собой прозрачную среду, позволяет получить контрастные снимки живых объектов без их повреждения (при длительной экспозиции получению таких рентгенограмм препятствует движение клеток). С помощью электронных микроскопов можно достичь и более высокого разрешения, однако при этом требуется тщательная подготовка препарата, фиксация клеток, что часто не только убивает клетки, но и меняет их структуру [17, 18].

Имеются определенные достижения и в области совершенствования условий производства. Так, группой аэрокосмической динамики Lostock фирмы British Aerospace Corp. введен в строй новый корпус площадью 1200 м<sup>2</sup> для производства стандартных толстоплночных схем специального назначения, в состав которого входят восемь сверхчистых комнат класса 1, окруженных шестью комнатами класса 2, а также административные помещения, комнаты приема и отдыха. Корпус, в котором будут работать 70–80 человек, снабжен автономным оборудованием очистки. В каждой комнате строго регулируются температура, влажность и давление воздуха. Между соседними комнатами предусмотрены специальные люки, система блокировки которых не позволяет открывать их одновременно с двух сторон. Через люки проходят конвейерные ленты для автоматического переноса лотков с компонентами из одного помещения в другое. Все бумаги и документы заносятся в чистые комнаты в конвертах из полиэфирных пленок. Перед входом в чистые комнаты операторы надевают безворсную антистатическую спецодежду и проходят через двухэтапный воздухоочиститель. На

первом этапе частицы пыли удаляются через решетку в полу, на втором — поток воздуха, поступающий со скоростью ~56 км/ч, окончательно очищает одежду от пыли.

Относительная влажность в помещениях составляет 45%, температура —  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ . Помещения, предназначенные для проведения операций нанесения толстых пленок и присоединения выводов к схеме, должны соответствовать условиям класса 1 (концентрация частиц пыли размером 0,5 мкм и более не должна превышать  $3 \cdot 10^3$  м<sup>-3</sup>, а наибольший размер частиц, присутствующих в пробе — 5 мкм). На этих участках рабочие места с вертикальным ламинарным воздушным потоком размещаются с двух сторон у стен, образуя туннель. Подложки с нанесенной на них пастой размещаются на медленно движущемся конвейере, переносимом их через один из трех сушильных шкафов в печь, расположенную в другой комнате.

Во многих чистых комнатах воздух меняется до 20 раз в час, в рабочем помещении с тремя сушильными шкафами и печами для поддержания необходимой температуры воздух должен меняться до 40 раз в час. В системе кондиционирования воздуха, перегоняющей 23 тыс. м<sup>3</sup> воздуха в минуту, используется более 100 т охлаждаемой воды.

Отмечается, что давление в рабочих помещениях различно: в комнате очистки оно превышает атмосферное на 635 мм вод.ст.; в комнатах, соответствующих требованиям класса 2 (концентрация частиц размером 0,5 мкм не должна превышать  $3 \cdot 10^5$  м<sup>-3</sup>, частиц размером 1 мкм —  $2 \cdot 10^3$  м<sup>-3</sup>, более 5 мкм — 30 м<sup>-3</sup>), давление выше. На всех участках (кроме участка закорачивания выводов корпуса) рабочие места оборудованы заземляющими шинами, проводящими лентами, прикрепленными к запястью оператора, и прерывателями, срабатывающими от тока утечки и контролирующими электрическую энергию, подаваемую на рабочее место. Под большинством рабочих мест расположена небольшая "вакуумная" система для индивидуальной очистки одежды и рабочего места, которая собирает также осаждаемые на рабочем месте частицы благородных металлов для их регенерации [19].

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.** Американскими фирмами исследован ряд новых пластмассовых материалов для подложек СВЧ схем. Специалистами фирмы Rogers Corp. создан материал марки Duroid 6010, представляющий собой смесь тефлона со стекляннным порошком, который сопоставим по величине диэлектрической проницаемости ( $10,5 \pm 0,25$ ) с окисью алюминия. Отмечается, что применение этого материала для изготовления подложек (вместо применяемых прежде материалов) позволяет в два раза уменьшить габариты схемы. По

сравнению с керамикой он легче подвергается резке и сверлению; схемы на подложках из этого материала можно изготавливать с помощью обычного оборудования. Материал предназначен для замены окиси алюминия в приборах, работающих в диапазоне частот от 0,1 до 10 ГГц. По оценке специалистов фирмы Mektron ( филиала фирмы Rogers Corp.), занимающейся сбытом этого материала во Франции, схемы на подложках из нового материала должны быть в пять раз дешевле схем на подложках из окиси алюминия. В настоящее время изготовлены образцы подложек стандартной толщины 0,25–2,5 мм размером 23×23 см.

Специалистами фирмы Polyflon Corp. создан материал марки Cu-flon, специально обработанный для нанесения гальванического медного покрытия тефлон, который может быть использован для изготовления дешевых подложек. Он обладает низкими потерями, величина которых на частотах от дециметрового до миллиметрового диапазона в 2 раза меньше, чем у тефлона со стеклянным наполнителем. Новый материал имеет относительную диэлектрическую проницаемость 2,1 на частотах 1 МГц, 1 ГГц и 18 ГГц при температуре 23°C. Минимальная прочность медного покрытия на отрыв составляет 0,07 кг/мм. Фирмой изготовлены стандартные подложки толщиной от 0,025 до 3,2 мм, слой медного покрытия – 5 мкм с допуском ±25%. В связи с характерным для этого материала явлением хладнотекучести в процессе монтажа рекомендуется припаивать подложку к заземленной пластине, а не крепить винтами или другими зажимными приспособлениями.

Новый материал по стоимости конкурирует с тефлоном со стеклянным наполнителем. Согласно оценкам, пластина из этого материала толщиной 0,8 мм, размером 41×25 см и массой медного покрытия с двух сторон 14 г при объеме выпускаемой партии до 10 шт. будет стоить 69 долл., при партии до 100 шт. – 62 долл., до 1000 шт. – 55 долл.

К новым пластмассовым материалам относятся также слоистый пластик марки Micarply 5032 фирмы Mica Corp. с диэлектрической постоянной 4,8 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,01, композиционный материал марки Epsilon-10 фирмы 3M Corp. с высокой диэлектрической проницаемостью (10) и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,002, материал серии 800 фирмы Keene Corp. Этот класс материалов в основном используется для изготовления подложек микрополосковых схем и служит для замены окиси алюминия [20–22].

В настоящее время изготовители вакуумного оборудования для производства полупроводниковых приборов все чаще используют герметизирующие уплотнители на основе магнитных жидкостей, предлагаемые фирмой Ferrofluidics Corp. Скорость утечки гелия при использовании таких уплот-

нителей, названных феррометиками (ferrometic), не превышает  $10^{-11}$  см<sup>3</sup>/с. Кроме того, для феррометиков характерны высокая износостойчивость, большой срок службы, возможность большой скорости вращения сочленений (до 10 тыс. об/м) практически без трения.

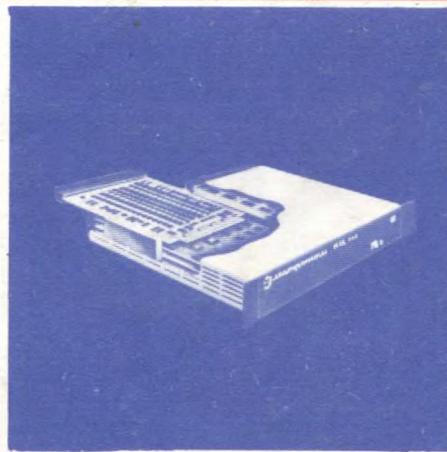
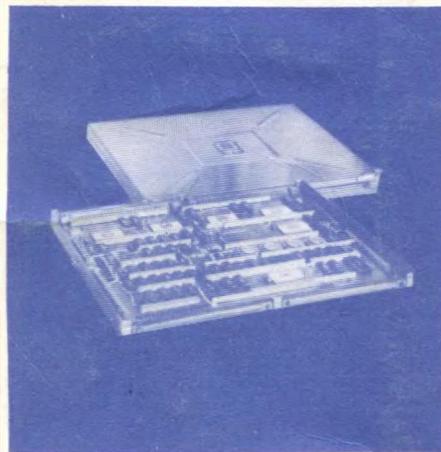
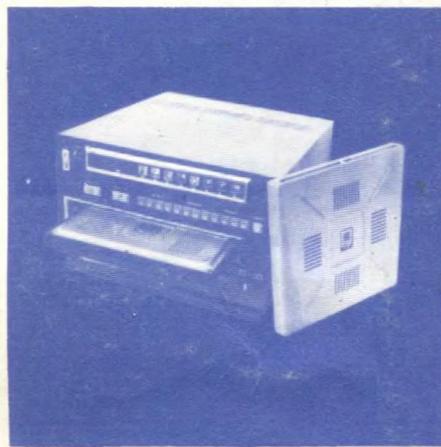
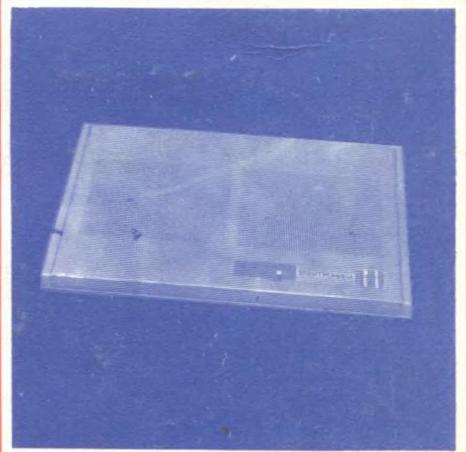
В двух вакуумных установках производственной линии фирмы National Semiconductor гофрированные уплотнители заменены уплотнителями на основе феррометиков модели ES-250, выполненными в виде вращающегося сочленения в алюминиевом кожухе. Хотя относительная скорость вращения элементов сочленения сравнительно мала (до 100 об/мин), применение нового уплотнителя позволило существенно снизить стоимость обслуживания и уменьшить время простоя оборудования. При этом отмечается, что за два года, прошедших после установки таких уплотнителей, в оборудовании не наблюдалось утечек и не возникала необходимость их замены (гофрированные уплотнители заменялись новыми уже через три месяца, для обнаружения участка утечки иногда затрачивалось 10 ч, а на замену неисправного уплотнителя еще 3–5 ч).

Фирма Film-Micro Electronics использует новые уплотнители с вращающимся сочленением в вакуумной установке для нанесения тонкопленочных покрытий. Эти установки уже проработали без замены уплотнителей 5 лет при 10-часовом рабочем дне.

Уплотнители на основе магнитной жидкости пригодны также для замены уплотнителей на основе эластомеров, которые подвержены "утечке в результате осадки", возникающей при деформации эластомеров под воздействием стационарных нагрузок [23].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Microwaves*, 1978, vol.17, N 11, p.116–119.
2. *Electronics*, 1978, vol.51, N 23, p.41, 43, 94, 96.
3. *Microwaves*, 1978, vol.17, N 10, p.48, 49.
4. *Microwaves Systems News*, 1978, vol. 8, N 11, p.53, 54, 58, 59.
5. *Electronics*, 1978, vol.51, N 25, p.74.
6. *Electronic Letters*, 1978, vol.14, N 21, p.683, 684.
7. *Electronic News Suppl.*, 1979, vol.25, N 1223, p.3.
8. *Canadian Electronics Engng*, 1979, vol.23, N 1, p.3.
9. *Aviation Week & Space Techn.*, 1979, vol.110, N5, p.221–224.
10. *Laser Focus*, 1979, vol.15, N 1, p.34, 36.
11. *Electronic Design*, 1979, vol.27, N 2, p.23–25.
12. *Laser Focus*, 1979, vol.15, N 1, p.44, 46.
13. *Appl. Physics Lett.*, 1978, vol.33, N 9, p.837, 838.
14. *Electronics*, 1979, vol.52, N 2, p.67, 68.
15. *Appl. Physics Lett.*, 1978, vol.33, N 9, p.793–794.
16. *Electronic Engng*, 1979, vol.51, N 617, p.8.
17. *Electronics Weekly*, 1979, N 984, p.20.
18. *Science*, 1979, vol.205, N 4404, p.401–402.
19. *Electronic Production*, 1979, vol.8, N 1, p.9–13.
20. *Microwave J.*, 1978, vol.21, N 11, p.39–40.
21. *Microwaves*, 1978, vol.17, N 9, p.104.
22. *Inter Electronique*, 1978, N 237, p.37.
23. *Electronic Design*, 1979, vol.27, N 2, p.31–33.



# 1980

	ВТ.	СР.	ЧТ.	ПТ.	СБ.	ВС.	ПН.	ВТ.	СР.	ЧТ.	ПТ.	СБ.	ВС.	ПН.	ВТ.	СР.	ЧТ.	ПТ.	СБ.	ВС.	ПН.	ВТ.	СР.	ЧТ.	ПТ.	СБ.	ВС.	ПН.	ВТ.	СР.	
Январь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Февраль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
Март	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Апрель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Май	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Июнь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Июль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Август	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Сентябрь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Октябрь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Ноябрь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Декабрь	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

## ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК «ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

Публикуемые в нем материалы отражают новейшие достижения электронной промышленности и отраслевой науки и способствуют ускорению их внедрения в народное хозяйство. Расширяется тематическая направленность публикуемых материалов, отражающих новейшие

результаты поисковых исследований, конструкторских разработок, прогрессивной технологии, планирования и управления, основные тенденции и перспективы развития электроники, что содействует ускорению научно-технического прогресса.