

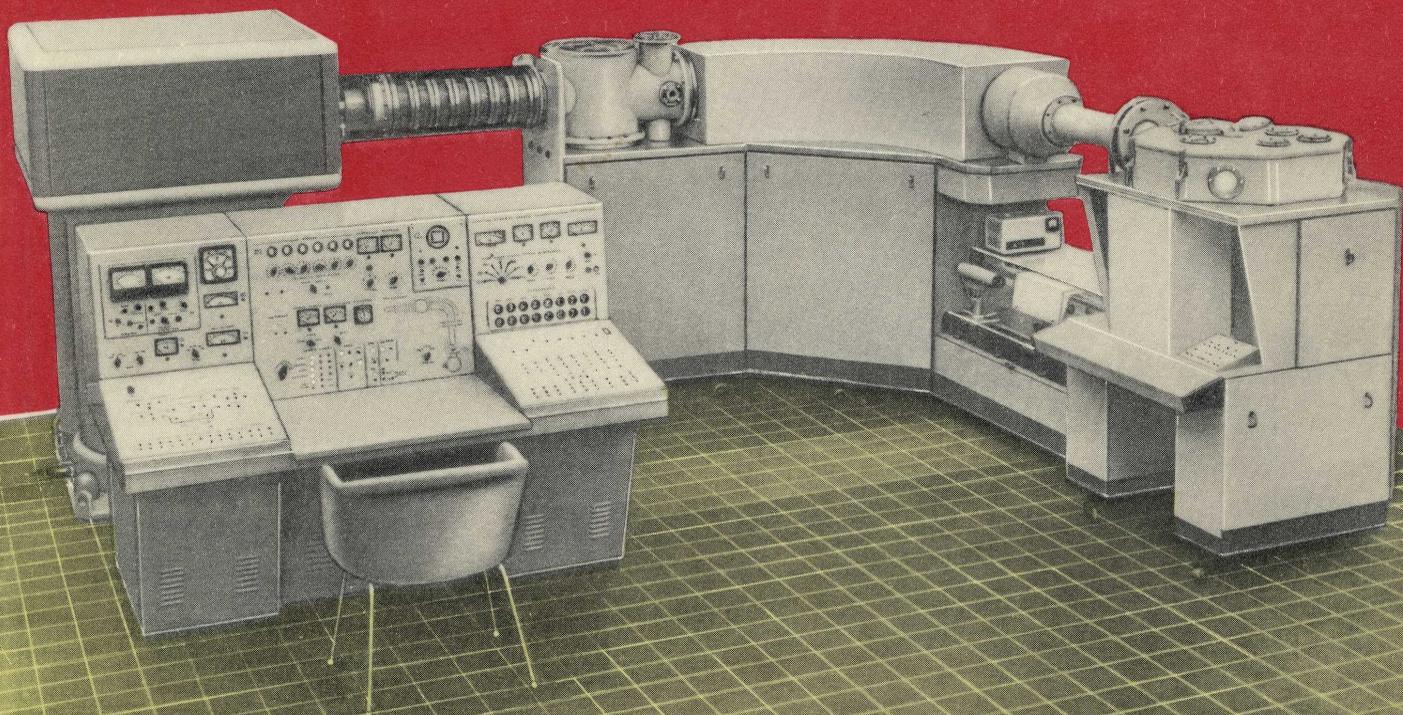


# ЭЛЕКТРОННАЯ

№ 1971

# ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

СОВРЕМЕННАЯ  
УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИОННОЙ  
ИМПЛАНТАЦИИ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
СТРУКТУР



МИНИСТЕРСТВО  
ЭЛЕКТРОННОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ГЛАВНАЯ ЗАДАЧА  
ПЯТИЛЕТКИ СОСТОИТ В  
ТОМ, ЧТОБЫ ОБЕСПЕЧИТЬ  
ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ПОДЪЕМ  
МАТЕРИАЛЬНОГО И  
КУЛЬТУРНОГО УРОВНЯ  
ЖИЗНИ НАРОДА НА  
ОСНОВЕ ВЫСОКИХ  
ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА,  
ПОВЫШЕНИЯ ЕГО  
ЭФФЕКТИВНОСТИ,  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
ПРОГРЕССА И УСКОРЕНИЯ  
РОСТА  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ТРУДА

Из проекта Директив XXIV съезда КПСС  
по пятилетнему плану развития народного хо-  
зяйства на 1971-1975 годы

ВАЖНО  
ОТЖЕЛ  
С

МОСКВА  
1971

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

На дом  
не выдается

FANUC6.RU  
САЙТ О СТАРЫХ ЧПУ

## СОДЕРЖАНИЕ

3 Встречу XXIV съезду КПСС

### ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ

- 5 Данилин Б.С. Микроэлектроника и задачи подготовки инженерных кадров
- 7 Козлов Н.И. Подготовка рабочих кадров в электронной промышленности
- 10 Люди трудовой славы. Лучшие рабочие

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- 13 Стуколов П.М., Баранов В.А., Белов Б.М. Экономико-математические методы перспективного планирования в ОАСУ
- 15 Вершин В.Е., Лапшин Г.М., Набиев Я.Н. Упорядоченность производства и экономическая эффективность систем управления
- 18 Гофман Б.И., Шведова Л.А., Громов В.Н., Зернов А.Н. Технологические работы и их типовая сетевая модель в полупроводниковой промышленности

### ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Микроэлектроника в вычислительной технике

- 23 Старос Ф.Г. Опыт создания малогабаритных и миниатюрных машин

30 Старостин В.С., Капитонов В.А. Классификация приборов М-типа

37 Карханян Э.Р. Новые ячейки памяти на МОП-транзисторах

39 Кравченко В.А., Беляев Е.Я., Меркулов К.Г., Гудым В.Д. Кремниевый быстродействующий бескорпусный тиристор

### ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

43 Казанский В.В., Кизуб В.А. Перспективы использования пленочных элементов в устройствах ввода информации

47 Баталов Б.В., Казеннов Г.Г., Котко А.П., Курмаев Ф.А., Руденко А.А. Оценка однородности параметров транзисторов интегральных полупроводниковых схем

51 Прядилов В.К., Старенький В.П., Васильев Г.Ф., Дорофеев А.П., Яковлев А.Т. Элементы памяти и матрицы на взаимодополняющих МОП-транзисторах

55 Киреев П.С., Корницкий А.Г., Кондауров Н.М. Пленочные фоторезисторы на основе CdSe

56 Росновский В.К. Новый метод исследования процессов в электровакуумных приборах

Научно-техническая  
библиотека ТИИ  
№

---

## ТЕХНОЛОГИЯ

---

- 60 Райтман Я.А., Глазков И.М. Основные тенденции в конструировании и производстве оборудования для фотолитографии
- 63 Колесников В.Г., Никишин В.И., Колесников А.П., Шапошник К.И., Тонких Н.Н. Диэлектрическая изоляция элементов интегральных схем
- 65 Большаков Ю.В., Иванов В.И., Родионов А.В., Фомин Г.А. Нарастивание эпитаксиальных слоев кремния при лучистом нагреве
- 66 Корзо В.Ф., Курносое А.И. Применение полупроводниковых стекол

---

## ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

---

- 69 Носиков С.В., Пресс Ф.Л. Электрографический метод исследования слоев двуокиси и нитрида кремния
- 74 Осипов А.А., Евдокимов К.В., Иванов В.И., Матвеев В.А., Мухин Б.С. Прецизионные регуляторы температуры типа "Репид"
- 77 Смирнова Г.И., Бокоев Ю.С., Лаврищев В.П., Белыков В.М. Профилографический метод контроля элементов микросхем
- 79 Бородай А.А., Волжонский В.И., Невский А.Б., Прокоцкий Ю.М. Методика оценки совмещаемости фотошаблонов
- 80 Костычев Г.И. Явления пробоя в тонких слоях МОП-структур

---

## ОБОРУДОВАНИЕ

---

- 83 Вальков В.М. Устройства ввода и вывода информации в автоматизированных системах управления технологическими процессами
- 88 Автоматизированная линия для изготовления постоянных непроволочных углеродистых резисторов

- 92 Алексеев А.А., Балакин Н.С., Дмитриев Е.В., Мелехин Ю.Я., Панкратов Л.М. Сверхвысоковакуумная установка УВН-84Р-1 для эпитаксиального выращивания кремния
- 94 Гольшев В.И., Иванов В.И., Круглов Р.Н., Любимов Е.С., Сазонов Л.В., Суходаев Б.А., Степанов У.Н. Устройство для газоразрядного легирования эпитаксиальных слоев кремния
- 96 Дядюн Ю.А., Косенков А.С., Прима А.П. Устройство для испарения тугоплавких металлов
- 99 Орлов К.Н., Николаев Е.А., Коновалов В.Г. Пост камерной откачки крупногабаритных электровакуумных приборов

---

## ОБМЕН ОПЫТОМ

---

- 103 Оболенский С.А. О кураторстве разраб-боток
- 106 Ямпольский В.М. Нагрев в вакууме дуговым разрядом
- 107 Мухин В.Е., Попов В.Ф. Вакуумный цемент вместо дорогостоящих припоев
- 109 Золотарев Ю.М., Крутякова М.Г., Курносое А.И. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> для защиты СВЧ полупроводниковых структур
- 110 Гуськов Г.В., Мартюшов Б.И., Глебов Г.Д. Метод оценки водородопроницаемости металлокерамических узлов электронных ламп

---

## НОВОСТИ – СООБЩЕНИЯ – ХРОНИКА

---

- 113 Богоявленский В.С., Гринев М.И. Симпозиум по электронным компонентам
- 114 Иванов Е.Ф. Технологическое оборудование МЭП на выставке в Париже

# НАВСТРЕЧУ XXIV СЪЕЗДУ КПСС

*На основе технического прогресса, совершенствования управления народным хозяйством, применения новых методов планирования и экономического стимулирования возросла эффективность общественного производства. Ускорились темпы роста общественной производительности труда. Увеличилась прибыль предприятий и повысилась рентабельность производства.*

Из проекта Директив XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства на 1971-1975 годы

Трудящиеся электронной промышленности СССР, развернув социалистическое соревнование в честь ленинского юбилея и за достойную встречу XXIV съезда КПСС, добились в 1970 г. больших трудовых успехов. Выполняя решения XXIII съезда партии, направленные на повышение эффективности производства, производительности труда в промышленности и улучшение использования производственных фондов, предприятия отрасли к концу 1970 г. существенно превысили эти показатели по сравнению с предыдущим годом. Плановое задание на 1970 г. по объему производства выполнено к 22 декабря 1970 г. В истекшем году более 2/3 прироста объема производства в отрасли получено за счет роста производительности труда.

В ходе соревнования за досрочное выполнение повышенных трудовых обязательств вскрыты новые резервы производства, что позволило увеличить выпуск и повысить качество таких изделий, как интегральные схемы, полупроводниковые приборы, цветные кинескопы и др. Резко возрос объем производства товаров культурно-бытового назначения. За 1970 г. он увеличился по сравнению с прошедшим годом на 27,8%.

Немалый вклад в осуществление задач, поставленных XXIII съездом КПСС, внесли научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации отрасли, которые совместно с промышленными предприятиями работали над решением важнейших проблем научно-технического прогресса, добиваясь максимальной эффективности производства, совершенствуя систему управления, внедряя новое высокопроизводительное оборудование и передовые методы технологии, что обеспечило условногодовой экономический эффект около 100 млн.руб. Если внедрение одной только прогрессивной технологии изготовления пассивных элементов тонкопленочных схем с использованием лазерной техники позволило в три раза увеличить выход годных элементов (резисторов, конденсаторов) и таким образом сэкономить более 345 тыс.руб. в год, то еще больший экономический эффект будет получен благодаря внедрению в производство вновь разработанной современной технологии ионной имплантации.

В 1970 г. разработано и внедрено в производство новое технологическое и контрольно-измерительное оборудование в количестве 276 наименований. Введены в эксплуатацию новые комплексно-механизированные линии для производства полупроводниковых приборов, интегральных схем, радиокомпонентов и других изделий электронной техники. В этих линиях осуществлены автоматизированный контроль и управление производственным процессом на основе ЭВМ.

Особенно широкое развитие в отрасли получили работы по внедрению автоматизированных систем управления, что позволило добиться больших успехов в совершенствовании управления планирования и хозяйственного расчета.

Трудящиеся отрасли развернули большую работу по внедрению последних достижений науки и техники. По сравнению с 1969 г. заметно возрос объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, что позволило освоить в серийном производстве на 12% больше новых изделий электронной техники, чем в прошлом году. Повысилось качество изделий электронной техники. В 1970 г. 60 изделиям присвоен Знак качества. В 1,5–3 раза против норм существующих ЧТУ повышена долговечность 37 типов электронных приборов. Одновременно был снят с производства ряд устаревших изделий.

Забываясь о снижении себестоимости продукции, трудящиеся отрасли проявили высокую творческую активность. В результате внедрения изобретений и рационализаторских предложений получена годовая экономия в размере 56 млн.руб.

Учитывая необходимость дальнейшего повышения технического уровня выпускаемых изделий, а также организационного уровня производства, Министерство электронной промышленности придает большое значение подготовке и повышению квалификации рабочих и инженерно-технических работников отрасли. На предприятиях отрасли постоянно действуют производственно-технические курсы, на которых в 1970 г. совершенствовали свои знания и опыт десятки тысяч рабочих. Для повышения квалификации инженерно-технических работников организованы специальные факультеты при вузах. В истекшем году их закончило более 1000 человек.

Подводя итоги минувшего года, можно с уверенностью сказать, что трудящиеся электронной промышленности полны решимости претворить в жизнь поставленные перед ними задачи, с честью выполнить социалистические обязательства, взятые к XXIV съезду КПСС, и тем самым всемерно способствовать росту экономики страны.



...осуществить необходимые меры по подготовке высококвалифицированных специалистов и рабочих и переподготовке кадров в связи с внедрением новой техники и улучшением организации производства.

Из проекта Директив XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы

Б.С.ДАНИЛИН

## МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

*В порядке обсуждения*

Ускорение научно-технического прогресса требует постоянно-го совершенствования подготовки инженерных кадров.

В нашем народном хозяйстве трудится свыше двух миллионов инженеров и только за 1968 г. дипломы об окончании технических вузов получили 210 тыс. человек.

В развитии высшего образования в СССР отчетливо проявляются две тенденции. Во-первых, оно становится все более массовым. Во-вторых, повышается уровень вузовской подготовки специалистов.

Опыт Советского Союза и других высокоразвитых в техническом отношении стран показывает, что для ряда ведущих отраслей науки и техники высшая школа при подготовке инженерных кадров должна уже сегодня учитывать потребности завтрашнего дня. К числу этих отраслей относится микроэлектроника, одной из характерных черт которой является тесная взаимосвязь материаловедения, физики твердого тела, схмотехники и других, ранее практически почти не связанных (или связанных очень слабо) областей, что требует своеобразной интеграции инженерных знаний.

Если в период интенсивного развития электронных ламп, начавшийся примерно 40 лет назад, специалисты в области материалов, приборов, схем и систем могли работать практически почти независимо друг от друга, и объем их знаний был вполне достаточен, то переход к транзисторам поставил инженеров перед необходимостью повышения знаний не только в своей области, но и в смежных областях. Процесс интеграции знаний особенно характерен для специалистов в области микроэлектроники, поскольку в принципе нельзя создавать интегральные схемы и системы на их основе, не имея, например, должной подготовки в области свойств материалов и физики процессов, происходящих в различных приборах, используемых в микроэлектронных устройствах.

Разработка микроэлектронной аппаратуры складывается из двух основных этапов: разработки интегральных схем и проектирования систем на их основе. В связи с этим учебный план должен быть комбинированным, чтобы будущий специалист, с одной стороны, усвоил расчет, проектирование и технологию интегральных схем, с другой стороны, научился проектировать и строить самые разнообразные системы на их основе. Это тем более необходимо, что с появлением и развитием микроэлектроники постепенно стираются границы между приборами и системами, и сегодняшние системы по мере увеличения уровня интеграции завтра могут стать приборами.

Говоря об интегральной электронике в связи с подготовкой для нее инженерных кадров, следует иметь в виду, что она по существу является начальной ступенью микроэлектроники. Интегральная электроника развивалась чрезвычайно быстро, главным образом эмпирическим путем, зачастую не имея возможности опереться на результаты фундаментальных научных исследований, и в основном она обобщила многие технологические приемы, ранее использовавшиеся в полупроводниковом производстве и при изготовлении тонких пленок.

Переход к новому этапу развития микроэлектроники - функциональной электронике - означает необходимость коренного пересмотра сложившихся в течение десятилетия и ставших уже традиционными для многих вузов дисциплин, связанных со схемотехникой.

Так как же готовить полноценных специалистов в условиях непрерывно нарастающих темпов научно-технической революции, когда количество знаний, накапливаемых отдельной отраслью, удваивается за какой-либо десяток лет и этот процесс все время ускоряется? Единого мнения на этот счет нет. Одни, например, считают, что в связи с разветвлением наук, их усложнением и резким увеличением объема необходимых для работы знаний надо разделить специальности и готовить более узких специалистов. Другие, наоборот, полагают, что поскольку одновременно идет процесс интеграции знаний, слияния, переплетения наук, то в основу следует положить широкопрофильное университетское образование.

Надо прямо сказать, что подготовка специалистов как узкого, так и широкого профиля имеет свои существенные недостатки. Инженер, получивший узкую подготовку, даже в том случае, если он работает по своей прямой специальности, уже через несколько лет начинает чувствовать недостаточность знаний, приобретенных в вузе, и слабость своей общенаучной подготовки. Ему остается одно: учиться самому. В противном случае он волей-неволей станет не проводником, а тормозом технического прогресса. Недостаток широкой университетской подготовки состоит в том, что она не имеет четкой направленности. Заканчивая вуз, студент не знает, какого рода деятельностью ему предстоит заниматься. Давно уже прошли те времена, когда одновременно можно было готовить и учителя и исследователя. Исследователя нельзя подготовить вне стен исследовательской лаборатории, в отрыве от процесса научного творчества. А возможности вузовских лабораторий слишком ограничены, чтобы привлечь каждого студента (хотя бы двух последних курсов) к проведению активных исследований.

Для специалистов в области микроэлектроники необходим своеобразный синтез университетского и технического образования, что возможно лишь при условии использования системы близлежащих базовых предприятий. Такой подход к подготовке инженерных кадров оправдал себя в ряде передовых вузов нашей страны (Московский физико-технический институт, Ленинградский технологический институт, Новосибирский государственный университет, Московский институт электронной техники).

В течение первых трех лет обучения студенты должны пройти основательную подготовку по фундаментальным наукам и получить глубокие знания по основам наук (в первую очередь по физике и математике), научиться пользоваться современными физическими и математическими методами и приборами (включая электронные вычислительные машины). Начиная с четвертого курса студенты совмещают учебу в вузе с работой в НИИ и КБ, специализируясь и одновременно приобретая практические навыки исследовательской или конструкторской работы в научных лабораториях или конструкторских бюро. Таким образом, в подготовку студентов помимо выпускающей кафедры вовлекается большое число специалистов базового предприятия (где иногда и остается работать инженер после окончания вуза). Профиль подготовки специалистов при использовании систем базовых предприятий будет непрерывно меняться по мере изменения профиля НИИ и КБ. Получается своеобразная «следящая система», автоматически настроенная на современный уровень развития микроэлектроники. Тесная

связь с промышленностью позволит преподавателям и студентам постоянно быть в курсе последних достижений в области производства микроэлектронных изделий, знание которых в дальнейшем поможет им преодолеть технологические и другие барьеры, мешающие развитию микроэлектроники. Именно в вузе имеются все возможности для интересных, хотя иногда и рискованных с точки зрения экономического эффекта и реального выхода, исследований по актуальным проблемам поискового характера (чего подчас не может себе позволить промышленность), зато в промышленности, которая по сравнению с вузом располагает более крупной технологической и производственной базой, есть все условия для реализации найденного решения проблемы.

Основанная на тесной взаимосвязи между вузом и промышленными предприятиями подготовка инженерных кадров даст возможность вооружить специалистов такими логикой и знаниями, которые позволят им не только успешно работать в области микроэлектроники сегодняшнего дня, но и быстро ориентироваться в случае каких-либо резких перемен в этой бурно развивающейся отрасли науки, техники и промышленного производства.

УДК 621.382.8:658:382

Н.И.КОЗЛОВ

## ПОДГОТОВКА РАБОЧИХ КАДРОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В условиях быстрого научно-технического прогресса потребность в рабочих, имеющих высокий квалификационный и технический уровень, обладающих необходимыми элементами инженерно-технических знаний, умением эффективно использовать новейшее оборудование, все более возрастает. Рабочий должен уметь логически мыслить, разбираться в сущности сложных процессов, в чертежах и схемах, анализировать, обобщать ход технологического процесса, своевременно принимать правильные решения. В связи с этим на современном этапе развития производства к профессиональной подготовке рабочих предъявляются качественно новые требования. Обучение рабочего должно проводиться на более широкой профессиональной и научно-технической основе.

Подготовка квалифицированных рабочих в электронной промышленности осуществляется в учебных заведениях системы профтехобразования и непосредственно на предприятиях отрасли. Из табл.1 видно, что удельный вес рабочих, подготовленных на предприятиях отрасли, преобладает в общем объеме подготовленных рабочих. Такое положение объясняется рядом обстоятельств. Во-первых, сеть учебных заведений системы профтехобразования, действующих на базе предприятий отрасли, не может полностью обеспечить отрасль квалифицированными рабочими кадрами. Во-вторых, в учебных заведениях профтехобразования не представляется возможным готовить рабочих по всем необходимым для электронной промышленности профессиям. Кроме того, значительное количество профессий не требует длительного срока обучения. В-третьих, производство нуждается в пополнении рабочей силы равномерно в течение всего года, тогда как учебные заведения профтехобразования, как правило, выпускают рабочих один раз в год. Поэтому наряду с расширением и улучшением подготовки квалифицированных рабочих в учебных заведениях профтехобразования необходимо всемерно совершенствовать подготовку рабочих непосредственно на предприятиях отрасли.

Таблица 1

Год	Удельный вес подготовки рабочих кадров, %	
	непосредственно на предприятиях отрасли	в учебных заведениях системы профтехобразования
1965	97	3
1966	94	6
1967	91	9
1968	92,4	7,6
1969	90,5	9,5
1970	89,1	10,9

Подготовка рабочих из числа вновь принятых на предприятия отрасли проводится путем индивидуального, бригадного и курсового обучения. По своему удельному весу в общем объеме подготовки рабочих на предприятиях отрасли эти формы подготовки неодинаковы (табл.2).

Таблица 2

Форма подготовки рабочих	Удельный вес, %	Средняя продолжительность обучения, месяц
Индивидуальная	86,4	3,3
Бригадная	9,6	2,8
Курсовая	4,0	3,3

Преобладание индивидуального обучения в общем объеме подготовки рабочих на производстве объясняется прежде всего тем, что такое обучение результативно с точки зрения сроков овладения учащимися производственными операциями, поскольку обучение с самого начала связано лишь с той практической работой, которую рабочий будет выполнять по окончании учебы, освоением трудовых приемов лишь того рабочего, который его обучает, и проводится на том оборудовании, на котором ему придется работать. Но с точки зрения овладения рабочим профессией в целом в соответствии с требованиями единого тарифно-квалификационного справочника (ЕТКС) индивидуальное обучение имеет ряд недостатков: ученики получают неполные теоретические знания (занятия проводятся главным образом в порядке индивидуальных консультаций по отдельным темам теоретического курса) и осваивают только часть технологических операций и работ, которые составляют содержание труда данной профессии; обучение не всегда проводится путем последовательного усложнения осваиваемых практических навыков, поскольку производственное оборудование и производственная программа не могут быть подчинены задачам обучения рабочих. Подготовленные методом индивидуального обучения рабочие имеют минимум профессиональных знаний и навыков, достаточных для выполнения лишь однородных операций и работ на однотипном оборудовании. Даже незначительные изменения в оборудовании и технологии требуют дополнительного обучения рабочих, что приводит к увеличению затрат на подготовку рабочих кадров. Таким образом, индивидуальное обучение, широко распространенное вследствие необходимости подготавливать рабочих в сжатые сроки, в условиях быстрого научно-технического прогресса в электронной промышленности не может полностью обеспечить требуемого профиля и уровня подготовки рабочих. Особенно это относится к обучению рабочих сложным профессиям, включающим элементы инженерно-технической подготовки.

По сравнению с индивидуальным и бригадным обучением более прогрессивной формой подготовки квалифицированных рабочих непосредственно на производстве является курсовое обучение. Главные его преимущества - учебно-материальная база и стабильный преподавательский и инструкторский состав. Следует отметить, что одной из важнейших задач в области совершенствования организации подготовки рабочих кадров является создание системы курсового обучения в масштабе отрасли (учебно-курсовых комбинатов). Это будет способствовать рациональному и экономному расходованию средств, выделяемых на подготовку рабочих кадров, и повышению качества подготовки. При организации таких комбинатов возможно сотрудничество родственных предприятий в вопросах подготовки рабочих кадров, что особенно выгодно небольшим предприятиям, на которых нецелесообразно создавать свою учебно-материальную базу из-за экономических соображений. Следует также отметить, что организация подготовки рабочих на постоянно действующих курсах не исключает индивидуального обучения. Требуется только установить оптимальные пропорции подготовки рабочих в различных звеньях системы профессионального обучения.

Результаты анализа профессиональной структуры рабочих кадров в отрасли показали, что оптимальным является следующее соотношение объемов подготовки рабочих (в процентах):

В учебных заведениях системы профтех-	
образования . . . . .	40
Непосредственно на производстве . . . . .	60
в том числе	
на постоянно действующих курсах . . . . .	50
путем индивидуального обучения в производственных цехах предприятий . . . . .	10

Изменение объемов подготовки рабочих в отрасли предполагает систематизацию профессий по трем группам:

- профессии, приобретаемые в учебных заведениях системы профтехобразования (профессии, общие для большинства отраслей народного хозяйства);

- профессии, приобретаемые в учебно-курсовых комбинатах предприятий отрасли (технологические профессии электронной промышленности, требующие основательной общетехнической и специальной подготовки);

- профессии, приобретаемые путем индивидуального обучения в производственных цехах предприятий (технологические профессии малоквалифицированного труда).

Качество подготовки рабочих на производстве в значительной мере зависит от правильной организации и технического оснащения учебного процесса. Поэтому в отрасли необходимо организовать разработку и изготовление учебно-наглядных пособий, а также издание учебно-методической литературы, отражающих современный уровень развития электроники и последние достижения в области технологии изготовления изделий электронной техники.

Не менее важное значение для улучшения качества подготовки рабочих имеет совершенствование методов обучения. На заводах отрасли начинают применяться методы программированного обучения рабочих. Для сохранения оптимальных сроков обучения при все возрастающем объеме учебного материала следует еще шире применять технические средства и программированное обучение рабочих на предприятиях отрасли.

Необходимым условием комплектования предприятий квалифицированными кадрами, наряду с улучшением качества подготовки рабочих на производстве, является также и профессиональный отбор на серьезной научной основе с участием психологов, физиологов и педагогов, который позволяет молодежи выбрать специальности, соответствующие ее склонностям и способностям, физическому развитию и состоянию здоровья. Это способствует решению проблем создания постоянных квалифицированных кадров и предотвращению текучести молодых рабочих на промышленных предприятиях.

Сейчас в отрасли организована централизованная система разработки и издания учебных программ по профессиям и обеспечения ими предприятий и организаций. Учебные программы, разрабатываемые самостоятельно каждым предприятием, не гарантировали единого подхода к определению объема и единого содержания учебного материала, а следовательно, и одинакового уровня квалификации по одноименным профессиям. В основу разработки учебных программ положены единые требования к профессии в соответствии с ЕТКС, что позволило установить единый уровень подготовки рабочих по одноименным профессиям на всех предприятиях.

Программы разрабатываются по единой методике, предусматривающей три ступени обучения (уровни квалификации):

программы для первоначальной подготовки рабочих на 1-2 разряды (I ступень обучения - начальный уровень квалификации);

программы для повышения квалификации рабочих на 3-4 разряды (II ступень обучения - средний уровень квалификации);

программы для повышения квалификации рабочих на 5-6 разряды (III ступень обучения - высший уровень квалификации).

Совершенствование подготовки рабочих кадров в настоящее время является одним из средств ускорения технического прогресса в отрасли.

УДК 658.386:621.38

## ЛЮДИ ТРУДОВОЙ СЛАВЫ

В Министерстве электронной промышленности СССР подведены итоги Всесоюзного социалистического соревнования коллективов предприятий за 1970 г., а также итоги соревнования за звание "Лучший рабочий" по профессии, "Лучший производственный мастер", "Лучший технолог", "Лучший конструктор электронной промышленности".

На страницах журнала "Электронная промышленность" мы познакомим своих читателей с лучшими работниками, удостоенными этих высоких званий. Сегодня нашу рубрику "Люди трудовой славы" мы посвящаем лучшим рабочим отрасли.

### ЛУЧШИЕ РАБОЧИЕ

Производственные задания выполняет на 120–125%. За доблестный труд ей присвоено высокое звание ударника коммунистического труда и лучшего рабочего по профессии. Антонина Васильевна постоянно повышает свой уровень технических знаний, совершенствует мастерство и охотно делится своим опытом с молодыми рабочими. Профессии оператора Антонина Васильевна обучила 12 человек. Ее имя неоднократно заносилось на Доску почета и в Книгу почета завода. К 100-летию со дня рождения В.И.Ленина А.В.Потапкина награждена юбилейной Почетной грамотой МЭП СССР.

**ПОТАПКИНА**  
Антонина  
Васильевна  
*сборщица*

Личный пятилетний план завершила в ноябре 1969 г. Производственные сменные задания выполняет на 125–130%. В 1970 г. Екатерина Исаевна семь раз побеждала в социалистическом соревновании за звание "Лучший рабочий" по профессии, проводимом на заводе. В школе передовых методов труда своей профессии она обучила 12 человек. Внедрение рационализаторских предложений Е.И.Слесаревой дало экономический эффект в сумме 3 тыс.руб. Звание ударника коммунистического труда, присвоенное ей в 1968 г., ежегодно подтверждается. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина Екатерина Исаевна Слесарева награждена медалью "За доблестный труд".

**СЛЕСАРЕВА**  
Екатерина  
Исаевна  
*м аркировщица*

**РЕШЕТНИКОВ**  
Николай  
Федорович  
*фрезеровщик*

Выполняет производственные задания на 150–160%. Изготовленные детали сдает с первого предъявления. Личный пятилетний план выполнил за 3 года 2 месяца и сейчас трудится в счет 1972 г. Свои профессиональные навыки Николай Федорович передает молодым рабочим. Удостоен чести называться лучшим фрезеровщиком завода. Николай Федорович Решетников неоднократно награждался почетными грамотами.

**ПОРТАХ**  
Андрей  
Степанович  
*токарь*

Завоевал право сдавать продукцию с личным клеймом. Нормы выработки выполняет на 150–170%, в настоящее время уже работает в счет 1972 г. Он заслуженно носит звания лучшего рабочего по профессии и мастера золотые руки. Свой богатейший опыт и знания А.С.Портах передает молодым рабочим. Разработал и внедрил много приспособлений – оправок для комбинированных режущих инструментов. Андрей Степанович постоянно повышает свои технические знания: сейчас учится на четвертом курсе техникума. Одному из первых на заводе ему выпала честь называться ударником коммунистического труда. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина А.С.Портах награжден юбилейной медалью "За доблестный труд".

**ГАВРИЛОВА**  
Галина  
Ивановна  
*монтажница*

В совершенстве владеет четырьмя смежными операциями. Сменные производственные задания выполняет на 130–140%, при этом выпускаемая ею продукция всегда отличного качества. Завершив личную пятилетку в феврале 1970 г., Галина Ивановна трудится сейчас в счет 1972 г. Став на трудовую вахту в честь XXIV съезда КПСС, взяла повышенное социалистическое обязательство – ко дню открытия съезда выполнить производственное задание четырех месяцев. Г.И.Гаврилова неоднократно награждалась почетными грамотами, ее имя украшает Доску почета завода. С 1965 г. за ней закреплено звание ударника коммунистического труда.

**ЦАРЫК**  
Лоретта  
Александровна  
*сборщица*

Выполнила личную пятилетку в ноябре 1969 г. Первой в цехе начала работать на автоматах сборки приборов, каждый из которых заменяет 8 человек. Сейчас Лоретта Александровна обслуживает 2 таких автомата. Ее почину последовали и другие работницы, а это позволило высвободить 120 человек и вдвое повысить производительность труда на этих операциях. В том, что ряду приборов, изготавливаемых на заводе, присвоен государственный Знак качества, есть заслуга и Л.А.Царык. Процент выхода годных на автоматах, обслуживаемых Л.А.Царык, самый высокий в цехе. За годы пятилетки Лоретта Александровна обучила своей специальности 15 человек. В честь XXIV съезда КПСС приняла повышенные социалистические обязательства: на 1,5% повысить выход годных приборов, сдавать продукцию только с первого предъявления, обучить своей профессии еще трех молодых работниц, а в день открытия съезда работать на сэкономленном материале.

**ЗАЙЦЕВА**  
Надежда  
Ивановна  
*серебрильщица*

Производственные задания выполняет только на 150–170%. Изготовленную продукцию сдает с личным клеймом. Пятилетний план Надежда Ивановна выполнила за три с половиной года. Неоднократно ей присваивалось звание лучшей серебрильщицы завода. Надежда Ивановна Зайцева ударник коммунистического труда. Охотно делится опытом с молодыми рабочими: профессии серебрильщицы обучила 20 человек. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина Надежда Ивановна Зайцева награждена медалью "За доблестный труд".

**ПАНЮШКИНА**  
Галина  
Николаевна  
*контролер,  
сборщица*

Выполняет сменные производственные задания на 140–150%, изготавливая продукцию только высокого качества. В 1964 г. ей присвоено звание ударника коммунистического труда, которое ежегодно подтверждается. В 1970 г. она 10 раз завоевывала право называться лучшей сборщицей цеха. Ее имя занесено в заводскую Книгу почета.

Применяя передовые приемы и методы труда и снижая материальные затраты, добилась высокой производительности. Сменные задания выполняет на 150–160%. Личный пятилетний план Ирина Валентиновна завершила в апреле 1969 г. В 1970 г. сэкономила материалов на сумму 4484 руб. За время работы в цехе И.В.Пушкина овладела второй профессией – сборщицы. Изготовленные ею приборы выпускаются с личным клеймом. С 1963 г. Ирина Валентиновна ударник коммунистического труда, а в юбилейном году по итогам социалистического соревнования ей как лучшей намотчице присвоено звание "Мастер золотые руки".

**ПУШКИНА**  
Ирина  
Валентиновна  
*намотчица*

Овладев ответственной из операций обработки вольфрама и молибдена, успешно выполняет производственные задания на 115–120%. За 1970 г. сэкономил 60 кг дорогостоящего металла. В 1962 г. Виктор Ива́нович завоевал право называться ударником коммунистического труда. Личный пятилетний план выполнил за 4 года и 2 месяца. На протяжении 1970 г. ему трижды присваивалось звание "Лучший рабочий завода". Готовясь достойно встретить XXIV съезд КПСС, В.И.Карпов принял повышенное социалистическое обязательство – завершить работу первого квартала 1971 г. к 25 марта.

**КАРПОВ**  
Виктор  
Иванович  
*ковщик  
тугоплавких  
металлов*

Изготавливая детали любой сложности и конфигурации, производственные задания выполняет на 150–160%, причем сдает продукцию высокого качества с первого предъявления. У Владимира Петровича каждая минута рабочего времени на учете; он активный рационализатор. Разработал и внедрил автоматизатор контактов, автомат пружины переключателя и целый ряд других приспособлений. В.П.Юхляков заслуженно носит высокое звание ударника коммунистического труда. Неоднократно был признан лучшим рабочим завода.

**ЮХЛЯКОВ**  
Владимир  
Петрович  
*Слесарь-  
инструментальщик*

В совершенстве освоив монтаж цифровых индикаторов трех типов, ежемесячно перевыполняет производственные задания. Личный пятилетний план выполнила за три с половиной года. Клавдия Сергеевна обладает замечательным умением передавать мастерство молодым рабочим. Являясь инструктором школы передового опыта, в 1970 г. обучила своей профессии 5 человек. Внедрение рационализаторского предложения К.С.Лукашовой по организации сборки узлов индикаторных приборов дало большой экономический эффект и позволило значительно улучшить качество выпускаемой продукции. С 1965 г. Клавдия Сергеевна ударник коммунистического труда, а в юбилейном году по итогам социалистического соревнования трижды была признана лучшей монтажницей завода.

**ЛУКАШОВА**  
Клавдия  
Сергеевна  
*Монтажница-  
вакуумщица*

Отлично овладев сложной операцией намотки секций, выполняет нормы выработки на 160–170%. В процессе работы освоила смежные специальности: измерителя и укладчицы радиодеталей. Завоевала право выпускать продукцию с личным клеймом. Валентина Васильевна – ударник коммунистического труда. В.В.Кобахидзе не только повышает свой уровень технических знаний, занимаясь в школе коммунистического труда, но и охотно обучает мастерству намотчицы молодых работниц. Более 10 учениц Валентины Васильевны успешно выполняют операцию намотки секций конденсаторов. На протяжении 1970 г. Валентина Васильевна 11 раз выходила победителем в заводском соревновании за звание "Лучший рабочий".

**КОБАХИДЗЕ**  
Валентина  
Васильевна  
*Намотчица*

Можно продолжить список людей трудовой славы. Это К.Л.Лукашова, А.С.Волконская, Г.Н.Васильев, Н.И.Горошенко и др. И каждый день рождает новые трудовые подвиги. Девиз передовиков *ежедневно давать сверхплановую продукцию высокого качества* подхвачен сотнями рабочих и инженерно-технических работников отрасли.

В следующем номере мы расскажем о лучших производственных мастерах, чей труд во многом способствует успешному выполнению задач новой пятилетки.

П.М. СТУКОЛОВ, В.А. БАРАНОВ,  
Б.М. БЕЛОВ

### ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ОАСУ

Одним из важнейших направлений повышения эффективности производства отрасли является создание и внедрение отраслевой автоматизированной системы управления, составной частью которой является подсистема перспективного планирования.

Оптимальный подход к планированию отрасли предполагает учет всех основных, определяющих план хозяйственного развития факторов и условий, возможность сопоставления многих допустимых вариантов плана и нахождение наиболее экономичного. Такой подход может быть реализован только при использовании специальных математических методов и современной электронно-вычислительной техники.

При перспективном планировании для установления тенденций изменения технико-экономических показателей целесообразно использовать результаты корреляционного и регрессионного анализа исходных данных за прошлые периоды времени с последующим созданием на их основе соответствующих экономико-математических моделей. При этом используются изменения как абсолютных (например, валовой продукции, основных производственных фондов, численности работающих), так и относительных величин экономических показателей (фондоёмкости, фондовооруженности, фондоотдачи, выработки и т.д.).

Применение корреляционного анализа при разработке нормативной базы ОАСУ в данной статье показано на примере расчета объема валовой продукции в зависимости от меняющихся условий производства, в частности от изменения производственных фондов и численности работающих. В линейной форме эту зависимость можно представить формулой

$$\hat{B} = a_0 + a_1 \Phi_0 + a_2 \text{ч}, \quad (1)$$

- где  $\hat{B}$  — расчетное значение объема валовой продукции;  
 $\Phi_0$  — объем среднегодовых основных производственных фондов;  
 $\text{ч}$  — среднегодовая численность работающих;  
 $a_1, a_2$  — коэффициенты, учитывающие скорость изменения функции в зависимости от скорости изменения аргументов  $\Phi_0$  и  $\text{ч}$ ;  
 $a_0$  — случайная погрешность или показатель "степени запаздывания" параметра за счет наличия периода освоения производства.

Для того чтобы определить объем продукции, снимаемой с одного рубля основных производст-

венных фондов, необходимо уравнение (1) преобразовать и ввести следующие обозначения:

$$\hat{c} = \frac{\hat{B}}{\Phi_0} = \frac{1}{f_0} (a_2 + a_0 \frac{f_0}{\Phi_0}) + a_1; \quad f_0 = \frac{\Phi_0}{\chi};$$

$$\alpha_0 = \frac{f_0}{\Phi_0};$$

Тогда  $\hat{c} = \frac{1}{f_0} (a_2 + a_0 \alpha_0) + a_1,$  (2)

где  $\hat{c}$  – расчетное значение объема продукции, снимаемой с одного рубля основных производственных фондов;

$f_0$  – фондовооруженность одного работающего;

$\alpha_0$  – фондовооруженность на единицу фондов.

Коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_0$  определяются из уравнения (1). Выработку на одного работающего можно представить уравнением

$$\hat{w} = a_0 \alpha_0 + a_1 f_0 + a_2,$$
 (3)

где  $\hat{w} = \frac{\hat{B}}{\chi}$  – расчетное значение выработки на одного работающего.

Расчет полученных уравнений на ЭВМ методом корреляционного анализа с заменой переменных по различным видам продукции показал, что в логарифмической интерпретации указанные зависимости имеют более точное приближение; относительное и абсолютное отклонения фактических значений от линии регрессии в этом случае уменьшаются.

Зависимость валовой продукции от размера основных производственных фондов и численности работающих можно выразить в степенной форме:

$$\hat{B} = a_0 \Phi_0^{a_1} \chi^{a_2}$$
 (4)

или в логарифмической форме:

$$\ln \hat{B} = \ln a_0 + a_1 \ln \Phi_0 + a_2 \ln \chi.$$
 (4a)

На основе уравнений (1) и (4a) строятся экономико-математические модели для определения средних уровней экономических показателей и определяются значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , отражающих взаимосвязь факторов, характерных для всего исследуемого периода в целом.

При прогнозировании условий экономического развития с учетом фактора технического прогресса производственная функция примет вид

$$\hat{B} = a_0(t) \Phi_0^{a_1(t)} \chi^{a_2(t)},$$
 (5)

где  $t$  – период прогнозирования.

С помощью рассмотренной экономико-математической модели прогнозирование осуществляется в несколько этапов. Сначала на основе эмпирических данных об изменениях  $B$ ,  $\Phi_0$  и  $\chi$  рассчитываются параметры экономико-математической модели, характеризующие степень количественного воздействия  $\Phi_0$  и  $\chi$  на величину  $B$  для каждого года исследуемого периода. Затем на основе полученных данных определяются коэффициенты уравнений регрессии по годам периода:

$$a_0(t) = b_0 + b_1 t,$$

$$a_1(t) = c_0 + c_1 t,$$

$$a_2(t) = d_0 + d_1 t.$$

Коэффициенты  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $d_0$ ,  $d_1$  рассчитываются методом наименьших квадратов по значениям  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  за все годы исследуемого периода.

По формуле производственной функции наряду с другими показателями можно определить эффективность каждого вида затрат. В частности, для модели, представленной в логарифмической форме эффективность равна произведению коэффициента регрессии на отношение средних геометрических функций и изучаемого фактора, характеризующее изменение производственной функции на единицу фактора:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} = a_i \frac{\bar{y}}{\bar{x}_i}.$$

Для определения зависимостей выработки  $\hat{c}$  и фондоотдачи  $\hat{w}$  от исследуемых показателей необходимо производственную функцию преобразовать:

$$\hat{c} = \frac{\hat{B}}{\Phi_0} = a_0 \Phi_0^{a_1+a_2-1} (\chi/\Phi_0)^{a_2} =$$

$$= a_0 \Phi_0^{a_1+a_2-1} f_0^{-a_2};$$
 (6)

$$\hat{w} = \frac{\hat{B}}{\chi} = a_0 \left(\frac{\Phi_0}{\chi}\right)^{a_1} \chi^{a_1+a_2-1} =$$

$$= a_0 \chi^{a_2+a_1-1} f_0^{a_1}$$
 (7)

Расчеты производственной функции фондоотдачи и выработки удобнее производить в логарифмической форме:

$$\ln \hat{c} = \ln a_0 + (a_1 + a_2 - 1) \ln \Phi_0 - a_2 \ln f_0,$$
 (6a)

$$\ln \hat{w} = \ln a_0 + (a_2 + a_1 - 1) \ln \chi + a_1 \ln f_0.$$
 (7a)

Расчеты производственной функции за каждый год позволяют оценить ежегодные изменения рассматриваемых параметров и тенденцию их разви-

тия на перспективу. Установление временной функциональной зависимости коэффициентов обеспечивает возможность перспективного прогнозирования валовой продукции с учетом технического прогресса.

По формуле (5) можно определить рост валовой продукции и производительности труда при изменении основных производственных фондов на единицу:

$$\frac{\partial \hat{B}}{\partial \hat{\Phi}_0} = a_1 \frac{\hat{B}}{\hat{\Phi}_0} = a_1 \hat{c};$$

$$\frac{\partial \hat{w}}{\partial \hat{\Phi}_0} = a_1 \frac{\hat{w}}{\hat{\Phi}_0}.$$

Эти величины, характеризуемые первой производной от валовой продукции и выработки по основным фондам, должны быть приняты в качестве нормативов для текущего и перспективного планирования по видам продукции электронной техники в ОАСУ.

В институте "Электроника" по данной методике проведены расчеты производственных функций по различным направлениям электронной техники (см. таблицу).

Наименование продукции	Значения параметров уравнения производственной функции		
	$\ln a_0$	$a_1$	$a_2$
Полупроводниковые приборы	0,369313	0,210040	1,089591
Приемно-усилительные лампы	1,052461	0,064289	1,122749
Резисторы	0,776528	0,095575	0,959732
Кинескопы	1,214236	0,085366	1,319227
Конденсаторы	0,959806	0,055249	1,283372

После определения функциональной зависимости величины  $\hat{B}$ , поддающейся аналитическому описанию на предшествующем отрезке времени, и вычисления первой производной этой функции ( $B'$ ) представляется целесообразным применение качественного анализа зависимости  $\hat{B}$ ,  $B'$  на фазовых плоскостях, так как параметр времени при этом можно исключить из рассмотрения, что даст возможность отыскать общую закономерность поведения системы при значениях параметра  $t$ , отличающихся от первоначального значения. Достаточно разработанные методы качественного анализа систем на фазовых плоскостях позволят в дальнейшем при разработке общих законов функционирования ОАСУ определить законы управления, использующие элементы оптимизации при расчетах перспективных планов отрасли. Применение этих методов может оказаться весьма эффективным при проработке вопросов взаимодействия факторов экономического развития отрасли и управления взаимосвязанных отраслей.

УДК 658.511.012.122

В.Е.ВЕРШИН, Г.М.ЛАПШИН, Я.Н.НАБИЕВ

## Упорядоченность производства и экономическая эффективность систем управления

Потери производства, возникающие за счет его неупорядоченности, могут быть уменьшены путем внедрения автоматизированных систем управления (АСУП). Определяющим критерием экономической эффективности АСУП являются сроки окупаемости затрат на ее создание. В этой связи требования абсолютной упорядоченности производства, как результата внедрения АСУП, являются экономически нецелесообразными, поскольку сроки окупаемости таких затрат будут бесконечно большими.

Экономический эффект от внедрения автоматизированных систем управления предприятиями является одним из важнейших факторов, определяющих целесообразность создания таких систем,

Методы расчета эффективности АСУП в основном сводятся к традиционным подсчетам экономического эффекта от внедрения новой техники [1]. Однако внедрение АСУП отличается от работ по

новой технике тем, что оно переводит производство на новую ступень развития, характеризуемую более высокой организованностью или упорядоченностью.

Теоретические основы оценки экономической эффективности систем управления заложены в работах академика Трапезникова В.А., основные положения которых использованы авторами данной работы при проведении экономико-математического анализа эффективности систем управления.

Не рассматривая здесь математической модели производства, укажем только, что колебания его учитываются в модели как результат действия некоторых переменных, из которых характер действия одних известен (детерминированные переменные), а других — не известен (случайные переменные). Последние вызывают отклонения хода производства от некоторого идеального (планового), причем результаты этих отклонений устраняются путем воздействия на детерминированные переменные.

Отклонения хода производства от заданного определяются неупорядоченностью производства и системы управления.

Полагая, что  $y(t)$  является выходной функцией объекта управления (производства), а  $y_0(t)$  — некоторая оптимальная выходная функция, можно установить, что любое отклонение  $y(t)$  от  $y_0(t)$  ведет к потерям.

Первый вид потерь — это потери, связанные с последствиями отклонений  $y(t)$  от  $y_0(t)$ :

$$A = \sum_K \phi(t_K, y_0, y) |y_0(t_K) - y(t_K)|^*, \quad (1)$$

где  $\phi(t_K, y_0, y)$  — весовая функция, отражающая тот факт, что последствия одних и тех же отклонений  $y_0(t_K) - y(t_K)$  в разные моменты времени могут быть неравноценны.

Второй вид потерь связан с затратами, которые несет производство при компенсации отклонений  $\Delta y(t_K)$ , имевших место ранее. Эти потери могут быть определены соотношением

$$B = \sum_K \psi(t_K, y_0, y, \Delta y_0, \Delta y) |\Delta y_0 - \Delta y|, \quad (2)$$

где  $\psi(t_K, y_0, y, \Delta y_0, \Delta y)$  — весовая функция, определяющая цену отклонений;

$\Delta y_0(t_K)$  — оптимальный темп приращения выходной функции (в частности, объем производства);

\* Здесь и далее имеется в виду дискретное производство. Для непрерывных производств соотношения представляются в интегральной форме.

$\Delta y(t_K)$  — действительный темп приращения выходной функции, необходимый, например, и для выполнения плана в текущий момент времени и для компенсации отклонений, имевших место ранее.

Потери, связанные с отрицательным отклонением  $y(t)$  от  $y_0(t)$ , имеются в любом производстве, независимо от степени совершенства системы управления (потери из-за невыполнения плана). Однако при известном режиме производства (когда выпуск продукции полностью соответствует спросу на нее) потери могут возникнуть и при положительных отклонениях  $y(t)$  от  $y_0(t)$  из-за трудностей с реализацией избытков. С другой стороны, попытка компенсировать перепроизводство недовыпуском продукции в последующий период приведет к появлению вынужденных простоев рабочих и оборудования. Однако для предприятий, выпускающих дефицитную продукцию (легко реализуемую) превышение  $y(t)$  над  $y_0(t)$  может и не приводить к потерям.

Для минимизации последствий потерь (1), если они возникают в некоторый момент  $t_K$ , необходимо увеличить (или уменьшить) в последующие моменты темп выпуска продукции, что приводит к новому изменению  $y_0(t) - y(t)$ , т.е. в системе управления происходят колебания ("блуждание" управления). Каждое локальное отклонение темпа роста реального производства от оптимального связано с потерями (2), характеризующими степень несовершенства производства, в частности качество системы управления им. Заметим также, что при  $\psi \equiv 1$  (положительные и отрицательные отклонения темпов роста производства равны) выражение (2) представляет собой полную вариацию величины  $y_0(t) - y(t)$ , т.е. определяет величину "блуждания" управления.

Обозначим нормированное значение потерь  $B$  коэффициентом неупорядоченности производства

$$r_H = \frac{\sum_K (t_K, y_0, y, \Delta y_0, \Delta y) |\Delta y_0 - \Delta y|}{y_0(T) + y(T)}, \quad (3)$$

где  $T$  — период наблюдения.

Поскольку отклонения  $y(t)$  от  $y_0(t)$  являются случайными,  $r_H$  — также величина случайная. Отсюда неупорядоченность производства можно выразить как

$$r = M[r_H], \quad (4)$$

где  $M$  — символ математического ожидания.

Упорядоченностью производства назовем величину

$$R = \frac{1}{r}. \quad (5)$$

Оценкой для  $r$  является среднее арифметическое нескольких значений  $r_n$ , вычисленных для разных периодов. Тогда потери от неупорядоченности производства могут быть определены соотношением

$$p \approx r[\bar{y}_o + \bar{y}], \quad (6)$$

где  $\bar{y}_o, \bar{y}$  – средние значения  $y(T)$  и  $y_o(T)$ .

Интересно отметить, что зависимость (3) по виду напоминает формулу определения коэффициента неритмичности [3]:

$$K_{nr} = \frac{\sum \Phi - \Pi a}{\sum \Pi}, \quad (7)$$

где  $\Phi$  – фактический выпуск продукции за отдельные отрезки рассматриваемого периода;  $\Pi$  – плановый выпуск за те же отрезки периода;  $a$  – коэффициент, введенный с целью учета ритмичности выполнения плана за весь период.

При наложении ряда ограничений на функцию  $\psi$  можно получить

$$r_n \approx K_{nr} / 2. \quad (8)$$

Казалось бы, воспользовавшись соотношением (3) или, при определенных ограничениях, соотношением (7), можно определить экономический эффект от внедрения системы управления, полагая, что система управления позволит нам абсолютно упорядочить производство, т.е. привести  $r$  к нулю [1].

Однако можно показать, что при совершенствовании системы управления экономически целесообразным следует считать не абсолютную ликвидацию неупорядоченности, а доведение ее до некоторого конечного значения.

Поскольку качество системы управления определяется количеством перерабатываемой и используемой информации  $I$  при неизменности условий функционирования производства, величина  $r$  является функцией количества используемой информации, т.е.  $r = f(I)$ .

Следуя рекомендациям, данным в литературе [2], можно определить вид функции  $f(I)$ , соответствующий неупорядоченности  $r$ :

$$r = e^{-(I/I_o) \ln R_o}, \quad (9)$$

где  $I_o$  – некоторое частное значение  $I$ , получаемое, например, при исследовании документооборота и его информативности на предприятии;  $R_o$  – соответствующее значение упорядоченности производства.

Определим далее допустимую величину неупорядоченности производства  $r_{\min}$ . Исходя из формулы (9), пользуясь методом, изложенным в ра-

боте [2], можно оценить экономическую эффективность проектируемой системы управления  $\xi$ :

$$\xi = \xi_{\max} \left( 1 - R_o e^{-\frac{S}{S_o} \ln R_o} \right), \quad (10)$$

где  $S$  и  $S_o$  – стоимость сбора и обработки информации для проектируемой и существующей систем управления предприятием соответственно;  $\xi_{\max}$  – эффективность при полном устранении неупорядоченности.

Отсюда срок окупаемости затрат на создание новой системы управления

$$n = \frac{S_o}{\ln R_o} \cdot \frac{1}{\xi_{\max} - \xi}. \quad (11)$$

Из формул (10) и (11) следует:

1. При любых затратах  $\xi < \xi_{\max}$ , т.е. реальная эффективность производства всегда меньше его эффективности, рассчитанной традиционным способом и предполагающей полное использование производственной мощности предприятия, как конечного результата действия системы управления.

2.  $\xi = \xi_{\max}$  только при  $S = \infty$ , следовательно, получение максимально возможного эффекта при конечных затратах невозможно.

3. Основным определяющим критерием затрат и экономической эффективности АСУП должно быть задание допустимых сроков окупаемости затрат на создание системы.

4. Экономически нецелесообразно добиваться абсолютной упорядоченности производства, так как при этом срок окупаемости затрат будет бесконечно большим.

Определим допустимые границы неупорядоченности производства.

Предположим, что приемлемыми сроками окупаемости являются значения  $n \leq n_o$ . Тогда из формул (9) и (11) получаем, что

$$r > r_{\min} = \frac{S_o}{\xi_{\max} n_o R_o \ln R_o}, \quad (12)$$

или, учитывая соотношение (6),

$$r_{\min} = \frac{S_o}{n_o (\bar{y}_o + \bar{y}) \ln R_o}. \quad (13)$$

Таким образом, при внедрении новой системы управления необходимо стремиться к снижению неупорядоченности производства до величины  $r = r_{\min}$ .

При этом эффективность новой системы управления будет

$$\xi = \xi_{\max} \left( 1 - \frac{r_{\min}}{r_o} \right). \quad (14)$$

Это соотношение определяет величину потерь, ликвидировать которые позволяет введение новой системы управления.

На конкретном примере покажем расчет экономической эффективности АСУП с учетом остаточной упорядоченности. Воспользуемся для этого данными, приведенными в работе [1]. Причем положим, что система уже создана (капиталовложения составили 2500,0 тыс.руб.) и при подсчете срока окупаемости затрат на систему учитываются только затраты на ее эксплуатацию и обслуживание. Рассчитанная в работе [1] сумма экономии, получаемая при эксплуатации автоматизированной системы управления за счет полной ликвидации потерь от неупорядоченности  $\xi_{\max} = 463,5$  тыс.руб. при затратах на ее эксплуатацию  $S_0 = 250,0$  тыс.руб. Нормативный срок окупаемости капитальных вложений  $n_0$  при использовании кредита Госбанка равен двум годам.

По экспериментальным данным [1], неупорядоченность производства до внедрения системы управления  $r_0 = 0,025$ . По формуле (12) при  $n_0 = 2$  находим  $r_{\min} = 0,018$ , используя далее формулу (14), получаем величину потерь от неупорядоченности производства, устранить которые позволяет эксплуатация новой системы управления ( $\xi = 129,8$  тыс.руб., а не 463,5 тыс.руб., как это определено в работе [1]).

При увеличении нормативного срока окупаемости неупорядоченность производства при тех же самых затратах на обслуживание системы уп-

равления уменьшается, а экономический эффект растет, оставаясь, однако, меньше, чем при абсолютной упорядоченности производства. Так, например, при  $n_0 = 3$  и  $n_0 = 4$  получаем соответственно  $r_{\min} = 0,012$  и  $r_{\min} = 0,009$ ,  $\xi = 241,0$  тыс.руб. и  $\xi = 296,6$  тыс.руб.

Аналогичные поправки, учитывающие остаточную неупорядоченность производства, могут быть получены и для других технико-экономических показателей системы.

Таким образом, игнорирование основных законов развития производства и стремление к достижению абсолютной упорядоченности производства, как результату внедрения АСУП, дают при подсчете экономического эффекта от внедрения систем управления ошибочные и всегда завышенные оценки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методика технико-экономического обоснования автоматизации управления производством с применением вычислительной техники (РТМ 2873.30). Киев, Тяжпромавтоматика, 1969.
2. Трапезников В.А. "Автоматическое управление и экономика, Автоматика и телемеханика", 1966, № 1.
3. Казинец Л.С. Тезисы докладов II Всесоюзного научно-технического совещания "Организация и методы экономического анализа в промышленности", М., 1968.

УДК 658.51

Б.И.ГОФМАН, Л.А.ШВЕДОВА,  
В.Н.ГРОМОВ, А.Н.ЗЕРНОВ

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И ИХ ТИПОВАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

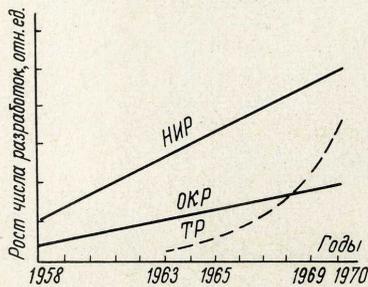
*В порядке обсуждения*

Возросшие требования к технологической оснащенности разработок приводят к необходимости выделения технологических работ в самостоятельную категорию, в результате чего изменяется разрабатываемый цикл НИИ.

В последние годы количество "обеспечивающих" разработок по сравнению с числом приборных разработок заметно возросло. Так, если в период 1958–1960 гг. в отраслевом НИИ на одну прибор-

ную ОКР приходилось три обеспечивающие работы, то в период 1965–1968 гг. – уже более пяти, среди которых особое место занимают работы технологические (ТР), поскольку разработка полупровод-

никовых приборов и ИС требует создания комплексов сложного технологического оборудования. Ниже показано соотношение динамики роста отдельных типов работ в отраслевом НИИ полупроводниковой промышленности.



Возрастание веса технологических работ объясняется тем, что главной проблемой в разработках электронной промышленности в настоящее время стала проблема качественной реализации их с наименьшими затратами при наибольшем экономическом эффекте.

В планово-экономической литературе до сих пор отсутствует какое-либо упоминание о технологических работах, хотя по формальным признакам и по содержанию (назначение, выходные позиции, внедрение результатов в производство) они отличаются от НИР и ОКР.

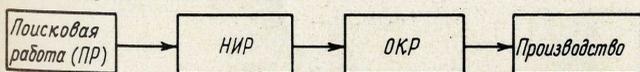
Специфика технологических работ заключается в разработке технологической операции или цикла технологических операций, составляющих определенный технологический комплекс. С этой точки зрения технологические работы можно разделить на три группы:

1. Разработка базовой технологии для получения новых полупроводниковых приборов и ИС, служащая основой для серии краткосрочных ОКР.

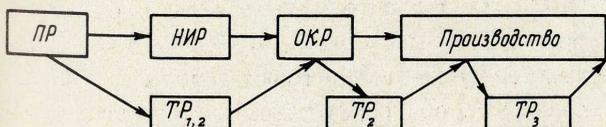
2. Разработка новой или совершенствование известной технологической операции (напыление, фотолитография, герметизация и т.д.), имеющая целью решение определенной технологической проблемы.

3. Усовершенствование технологического цикла по выпуску какого-либо полупроводникового прибора или схемы на основе результатов пооперационного анализа с целью повышения выхода годных, снижения трудоемкости, замены дефицитных материалов и т.д.

Рабочий цикл отраслевого НИИ полупроводниковой промышленности



с появлением технологических работ приобретает вид



Технологические работы имеют ряд особенностей. Значительная часть работы посвящается выбору и отработке структуры перехода полупроводникового прибора, определению технологических способов получения этой структуры и сопутствующих операций. Большое внимание уделяется выбору технологического оборудования и отработке его технологических режимов. Результаты работы отражаются в технологических картах. Технологические работы предполагают обязательное внедрение в производство, что позволяет требовать от них быстроощутимого экономического эффекта. Следовательно, в технологических работах участвует ряд подразделений, занимающихся отдельными технологическими проблемами, разрабатывающих оборудование, а также цехов и служб заводов-изготовителей. Управление такими работами, являющееся сложным процессом, немыслимо без использования методов сетевого планирования:

Основными этапами технологических работ являются:

- составление, согласование и утверждение ТЗ;
- изучение литературы, анализ существующих технологических вариантов, выбор основного направления работ, разработка требований к оборудованию с четким обоснованием необходимости разработки и изготовления нестандартного оборудования;

- приобретение стандартного оборудования, установка его и отработка технологических режимов, конструирование и изготовление, в случае необходимости, нестандартного технологического и измерительного оборудования;

- подготовка опытно-производственного участка или внедрение новой технологии на действующей производственной линейке для окончательной отработки технологии и выпуска полупроводниковых структур или ИС;

- испытание и исследование полученных процессов и образцов;

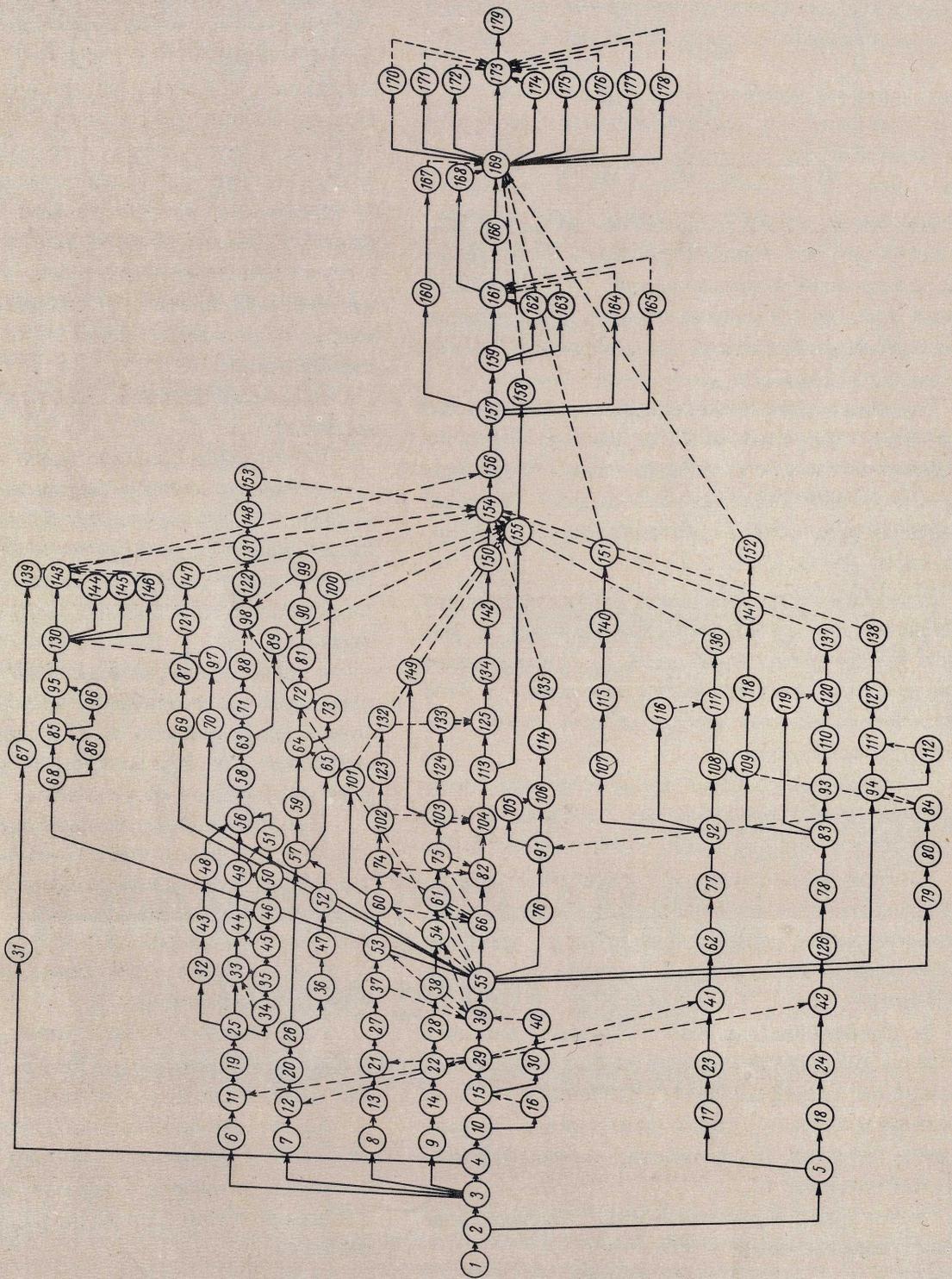
- оформление технологической документации, составление, оформление отчета и материалов для комиссии по приемке темы.

Анализ технологических работ, проведенных по сетевым графикам, сравнение ТР с НИР и ОКР позволили разработать типовую сетевую модель ТР первой группы, как наиболее важной и всеобъемлющей.

Рассмотрим узловые моменты этой модели.

Событие 1 означает начало разработки – составление проекта ТЗ (хотя фактически проект ТЗ рассматривается при включении разработки в план предприятия). На этом этапе проект ТЗ обсуждается у главного инженера (событие 3). Отсюда параллельно идет ряд путей: составление ТТ на тех-

ТИПОВАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ТР ПЕРВОЙ ГРУППЫ



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ОСНОВНЫХ ПУТЕЙ И РАБОТ ТИПОВОЙ МОДЕЛИ

Последовательность	Содержание работ
1-2-3-4-31-67-139	Составление, согласование и утверждение ТЗ
3-6-11-19-25-32-43-48; 25-33-44-49; 25-34-35-45-46-50-51-56-58-63-71-88	Составление ТТ, ТЗ, разработка методов бескорпусной герметизации, выбор герметизирующего покрытия, проектирование и изготовление оснастки, описание технологии бескорпусной герметизации
3-7-12-20-26-36-47-52-57-59-64-72-81-90	Составление ТТ, ТЗ, разработка и отработка технологии изготовления корпуса, проектирование и изготовление оснастки на корпус
3-8-13-21-27-37-53-60-74-102-123-132	Разработка технологии эпитаксии, измерения параметров структуры, отработка в лабораторных условиях, анализ результатов
3-9-14-22-28-38-54-61-75-103-124-133	Разработка технологии резки, шлифовки, золочения и отработка ее в лабораторных условиях, анализ результатов
4-15-29-39-55-66-82-104-113-125-134-142-154-156-157-159-161-166-169	Разработка технологии создания структур и отработка ее в лабораторных условиях, исследование полученных результатов, проверка, обобщение технологии, изготовление опытных образцов, корректировка технологии
55-68-85-95-130-143	Составление норм расхода материалов, проверка, корректировка, составление плана выпуска деталей, изготовление деталей
55-69-87-121-147	Расчет драгоценных металлов, проверка, корректировка расчета и приобретение металлов
55-94-111-127-138	Обеспечение участка стандартным оборудованием, монтаж, отладка, сдача в эксплуатацию

Последовательность	Содержание работ
55-76-91-106-114-135	Изготовление оборудования по имеющимся чертежам, монтаж на участке, отладка, сдача в эксплуатацию
2-5-17-23-41-62-77-92-108-117-136	Составление перечня нестандартного* измерительного оборудования, конструирование, изготовление и отладка, передача на участок
2-5-18-24-42-126-78-83-93-110-120-137	Составление перечня нестандартного* технологического оборудования, конструирование, изготовление и отладка, передача на участок
55-79-80-84	Составление и утверждение планировки участка, выдача разрешения на подключение оборудования
157-160-167	Проведение технологического и технико-экономического анализа
169-170; 169-171; 169-172; 169-173; 169-174; 169-175; 169-176; 169-177; 169-178	Работы по подготовке материалов для представления Госкомиссии в соответствии с установленными правилами: оформление технической документации, составление перечня оборудования, справки о проценте использования типовых технологических операций, справки об ожидаемой экономической эффективности и т.д.
173-179	Предъявление темы Госкомиссии

\* В случае отсутствия необходимого стандартного оборудования.

нологические работы по разработке корпуса прибора, определение перечня стандартного и нестандартного оборудования и т.д.

Событие 55 означает, что технологические методы создания прибора или процесса в лабораторных условиях разработаны, и в то же время именно с этого момента начинаются корректировка ТЗ на нестандартное технологическое и измерительное оборудование, планировка технологического участка в цехе, обеспечение технологического участка стандартным технологическим оборудованием, составление норм расхода материалов, расчет драгоценных металлов и т.д., т.е. все мероприятия, которые необходимо выполнить для внедрения разработки в производство.

От события 154, подтверждающего, что все необходимое для организации участка выполнено, начинается изготовление приборов, их испытание, корректировка технологии и т.д.

Событие 169 свидетельствует о том, что цикл работ, предусмотренных ТЗ, фактически выполнен и следует готовить документацию для представления темы Госкомиссии.

Параллелизм работ на отрезках между узловыми событиями говорит об их правильной организации, способствующей сокращению сроков разработки. Однако это не означает, что эти работы не связаны между собой. Работы главного конструктора (события 10-15, 15-29 и т.д.) взаимосвязаны с работами физико-технологического отдела и отдела физики материалов (события 13-21, 21-27, 27-37 и др.). Соразработчики постоянно обмениваются результатами исследований и корректируют дальнейшее направление работ. Это взаимодействие показано на типовой модели фиктивными связями (34-33-35, 45-44-46, 50-49-51, 37-39-53, 38-39-54), которые не требуют непосредственных затрат труда при переходе от одного события к другому, но означают, что последующая работа не может быть начата до окончания предыдущей. Характер этих связей отражает динамичность процесса разработки, в которой участвует несколько подразделений. Тесное взаимодействие разработчиков на всех этапах разработки является залогом успешного выполнения всего цикла работ.

Все работы, предусмотренные типовой моделью, должны заканчиваться отработкой технологических операций и оформлением соответствующей технологической документации.

Типовая сетевая модель технологической работы предполагает творческий подход к ее использованию в зависимости от типа технологической работы, структуры НИИ и КБ и условий внедрения результатов ТР.

При составлении на основе типовой сетевой модели рабочего сетевого графика одни звенья могут быть опущены, другие же усложнены.

Типовая модель ТР облегчает планирование работы на стадии предварительного планирования. Практика показывает, что даже опытные разработчики не всегда могут предусмотреть все необходимые связи между работами. Являясь основой для рабочего графика, она дает возможность исключить такие общепринятые в теории и практике СПУ этапы разработки сетевого графика, как составление укрупненной схемы, составление и "сшивание" локальных графиков, трудоемкость которых в общей сложности довольно велика (не менее 35-40% всей трудоемкости составления графика).

В действующей на предприятии системе СПУ сетевые графики становятся планово-контрольными документами, ибо именно они служат основными источниками информации о состоянии выполнения работ. Связь между рабочими сетевыми графиками и основным финансовым документом — оперативно-календарным планом (ОКП) — определяет успех взаимодействия системы СПУ с действующей системой планирования.

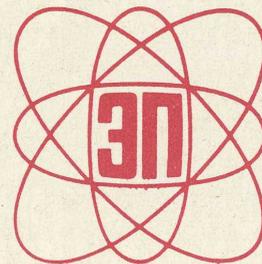
Как показывает опыт, типовая сетевая модель позволяет разработать типовую форму ОКП, что является лучшей формой сочетания сетевых графиков и ОКП. Различные модификации сетевых графиков на технологические работы в полупроводниковой промышленности принципиальных отличий иметь не будут.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Типовое положение "О порядке заключения хозяйственных договоров и выдачи внутриминистерских заказов на проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ", ГКНТ СМ СССР, 1969.

2. Гофман Б.И., Шведова Л.А., Громов В.Н. Типовая модель сетевого графика на ОКП в отраслевом институте полупроводниковой промышленности. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1968, вып. 6.

УДК 621.382.002.2



# ИЗДЕЛИЯ

ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

И ИХ

ПРИМЕ-

НЕНИЕ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА  
В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКЕ

*Ф.Г.СТАРОС*

## Опыт создания малогабаритных и миниатюрных машин

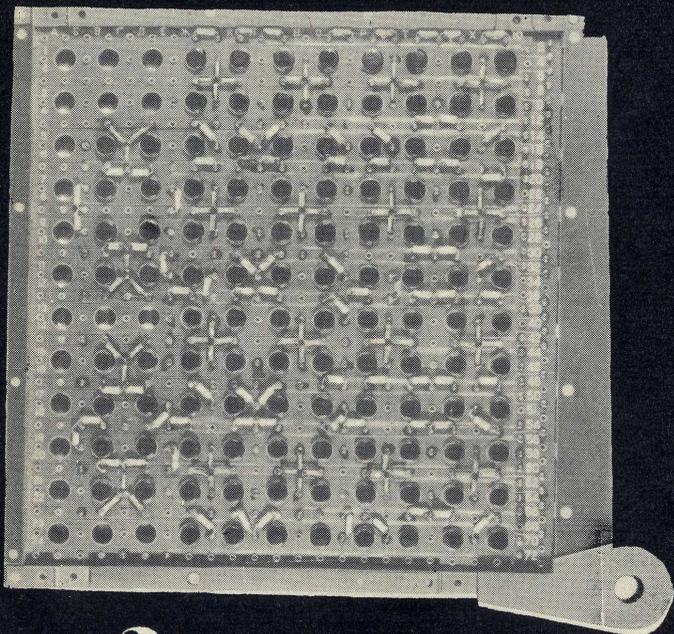
В предыдущей статье\* этой серии рассказывалось о том, что первым шагом на пути создания микроэлектронной элементной базы была разработка нового схемотехнического подхода, при котором логические ячейки создавались на транзисторных схемах с непосредственными связями. Про-

цесс разработки первых микросхем и практического их доведения до производства был длительным и дорогостоящим, и поэтому из тактических соображений было решено параллельно проверить и схемотехническое решение и микроминиатюрные запоминающие элементы созданием на их основе малогабаритной вычислительной машины. Уже тогда было ясно, что применение цифровых вычислительных машин для управления всякого рода процессами может обеспечить новое качест-

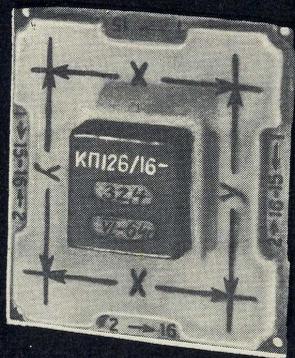
\* Электронная промышленность, 1970, вып. 1, стр. 22.



**1**



**2**



**3**

во работы управляемого объекта. Однако применение существующих вычислительных машин в системах управления оказалось нецелесообразным.

Анализ показал, что если ориентировать проектируемую машину в основном на управление промышленными объектами, то с изменением некоторых требований к машине можно получить большой экономический эффект. Управляющая машина для технологического процесса на заводе могла иметь весьма скромное быстродействие (порядка 3–6 тыс. операций в секунду) и минимальную разрядность (12–16 разрядов) и в то же время она должна была быть компактной, высоконадежной и дешевой. Ряд удачных решений позволил создать именно такую управляющую машину для народного хозяйства. Она получила название УМ1–НХ (рис.1).

### ПЕРВЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ МИНИПЬЮТЕР

Компактная, надежная и дешевая цифровая управляющая машина УМ1–НХ оказалась пригодной для решения широкой гаммы задач управления в реальном масштабе времени.

#### Техническая характеристика УМ1–НХ

(базовая модель)

Разрядность	
слов	.....15 (один разряд – знаковый)
команд	..... 20
Адресность – переменная	.....1,2 или 3
Время выполнения операций, мксек	
сложения	..... 90
умножения, деления	..... 900
цифрового ввода или вывода	..... 200
Количество каналов (с электронным преобразованием)	
ввода	..... 17
вывода	..... 9
Время преобразования, мксек	
угол-код 11–13 разрядов	..... 75
код-напряжение	..... 200
напряжение-код	..... 600
Объем памяти, слов	
постоянного ЗУ	..... 2560 × 20
оперативного	..... 256 × 15
Потребляемая мощность (от сети 50 гц), вт	..... 150
Вес, кг	..... 85

Самая простая комплектация была рассчитана на использование машины для управления объектами в замкнутом контуре. Со временем машина была обеспечена агрегатной произвольно наращиваемой системой дополнительных устройств: большой номенклатурой устройств связи с объектом; внешним запоминающим устройством и системой прерывания (некоторые характеристики этих устройств показаны в табл.1), что позволило перейти к созданию первых многоканальных управляющих систем в различных отраслях народного хозяйства.

В качестве основного переключающего элемента для логических схем был выбран самый обычный германиевый сплавной транзистор П15. По быстродействию (1–2 мксек средняя задержка) этот транзистор значительно уступал другим, особенно диффузионным, но зато имел три больших преимущества: он был самым дешевым массовым транзистором, обладал низким коллекторным напряжением в насыщении (~ 50 мв) и не имел отказов по обрывам.

Частота отказов транзисторов П15 не превышала  $(1-4) \cdot 10^{-4}$  1/ч, что позволило конструкторам принять смелое решение – осуществить сборку свыше 100 транзисторов на каждой странице, крепление страниц – на шарнире и соединение

страниц с общей расшивочной панелью – жгутами без штепсельных разъемов (рис.2), тем более, что разъемов надежных, дешевых и достаточно малогабаритных еще не было. Но тут же появилось сомнение: можно ли получить 10 000 циклов раскрытия страниц без отказа, если жгуты работают в прогибе. Многочисленные опыты подтвердили такую возможность.

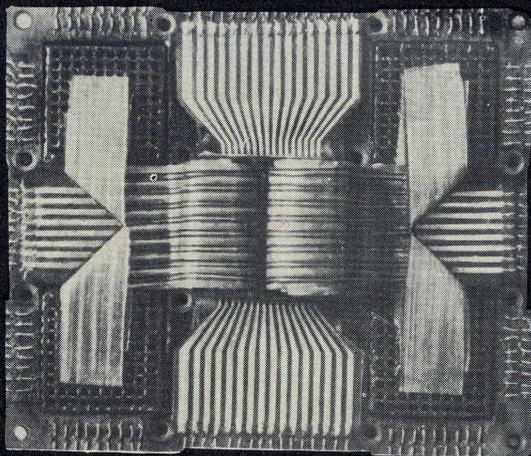
Отсутствие штепсельных разъемов диктует новый подход к эксплуатации арифметического устройства машины. Запасных страниц нет, есть только транзисторы в ЗИПе. Это на 30 мин удлиняет время поиска и устранения причины отказа, но отсутствие штепсельных разъемов значительно уменьшает количество отказов.

Для создания оперативного запоминающего устройства машины УМ1–НХ использовался специальный куб памяти с применением интегральных магнитных элементов. Один из первых образцов "Куб–1", состоящий из 16 интегральных ферритовых элементов, печатных соединительных шлейфов, дешифраторных пластинок и плоских микрокабелей, показан на рис.3 и 4. Применение "Куба–1" дало большой выигрыш по потребляемой мощности (она составляла всего 20 вт) и позволило отказаться от традиционного обдува и термостатирования.

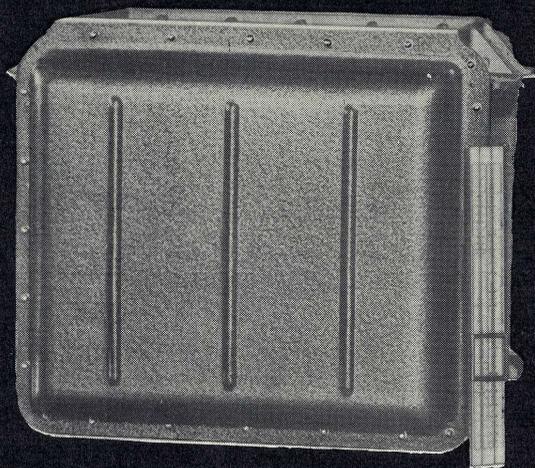
Таблица 1

Характеристики устройств "ввод – вывод"

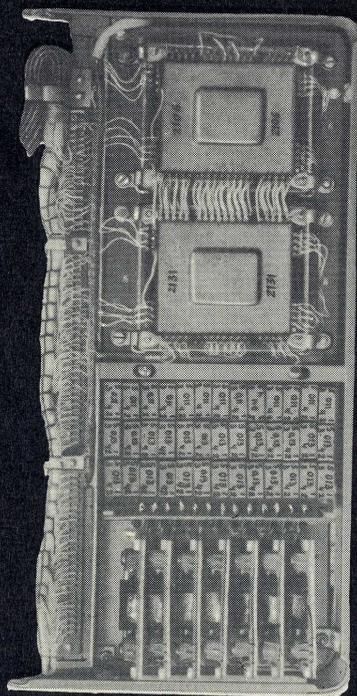
Входные				Выходные			
Тип устройства	Количество каналов	Точность преобразования	Время преобразования, мксек	Тип устройства	Количество каналов	Точность преобразования	Время преобразования, мксек
Напряжение – код (0–50 мв)	2048	0,4%	32	Код–напряжение (от –5 до +5 в)	До 2048	0,4%	200
Угол – код	До 2048	11 или 13 разрядов	100	Код–напряжение (от 0 до –15 в)	До 2048	2%	200
Напряжение – код (0–10 в)	До 2048	0,2%	300	Цифровое устройство	До 2048	15 разрядов	200
Ток – код (0–5 ма)	До 2048	0,2%	300	Релейное устройство	До 2048	–	200
Релейное устройство	До 2048	–	200	Электрические часы	1	1 сек	–
Цифровое устройство	До 2048	15 разрядов	200	Код–вал	До 2048	–	–
Частота – код	До 2048	0,5%	70				
Интервал время – код ( $\geq 0,1$ мсек)	8	12 разрядов	–				
Текущее время – код	1	1 сек (в пределах суток)	–				



4



5



6

Своеобразное применение в машине УМ1-НХ нашли диодные матрицы. Совместно с адресным дешифратором они использовались как ПЗУ-ми - кропрограммы для управления арифметическим устройством. На их основе была реализована операция "взятие функции", причем в 10-100 раз быстрее, чем по подпрограмме.

## НОВЫЙ МИНИПЬЮТЕР

Одна из первых микроминиатюрных управляющих машин УМ-2 (рис.5) разрабатывалась в два этапа: создание универсальной базовой вычислительной машины и создание агрегатной системы устройств связи с объектом. В качестве ОЗУ использовался "Куб-1" (на рис. 6 показана страница ОЗУ), который был уже опробован в первой машине и внедрялся в серийном производстве.

Для создания постоянного запоминающего устройства не было идеального запоминающего элемента, который обеспечил бы при простоте использования возможность электрической перезаписи программ. Пришлось разработать магнитный модуль постоянного запоминающего устройства с использованием серийно выпускаемых ферритовых сердечников. Каждый модуль содержит 128 полноразрядных чисел, набираемых методом прошивки сердечников в прямом ("1") и обратном ("0") направлениях. Прошивка в любом направлении осуществляется медным проводом через технологические отверстия в плате. Страница ПЗУ с 10 модулями (8 числовых и 2 дешифраторных) показана на рис.7.

Отсутствие возможности произвольного изменения программ, кроме сложной перепайки, считалось вначале существенным недостатком разработанного варианта ПЗУ. Однако преимущества, доказанные многолетним опытом, подтвердили в целом правильность принятого решения: ПЗУ показало очень высокую надежность, отсутствие сбоев, имело малую потребляемую мощность (5-20 вт на 2048 чисел) и отличалось большой компактностью.

Интересно отметить, что американские специалисты, имея печальный опыт с сохранением уязвимой программы в оперативном запоминающем устройстве\*, начали позже применять аналогичные постоянные запоминающие устройства. Так, постоянное запоминающее устройство с прошивкой применялось в машине "Аполлон" [1]. Даже в современных машинах для промышленных применений используются постоянные запоминающие устройства модульной конструкции, поставляемые заводом для хранения отработанных программ [2].

\* Когда программа хранится в ОЗУ, один сбой его может привести к полному отказу управляемой системы.

В итоге можно сказать, что применение жестких ПЗУ (без возможности перезаписи) оправдано для управляющих систем, так как схема и программа управления после отработки обычно не меняются.

Самая сложная проблема при создании УМ-2 возникла из-за отсутствия подходящего переключающего элемента на кремнии. Было принято решение применять германиевые диффузионные бескорпусные транзисторы во всех схемах. Ряд плоских микромодулей большой номенклатуры, разработанный на базе этих транзисторов, содержал не только логические схемы, но и схемы для запоминающих устройств и устройств сопряжения с объектом. Принцип интеграции здесь был применен в смысле монолитной защиты большого количества элементов (заливка модулей кремнийорганической резиной, герметизация корпуса машины). Высокая плотность элементов в этих модулях (40 элементов/см<sup>2</sup>) позволяет говорить о них как о микросхемах, правда, без слова "интегральные".

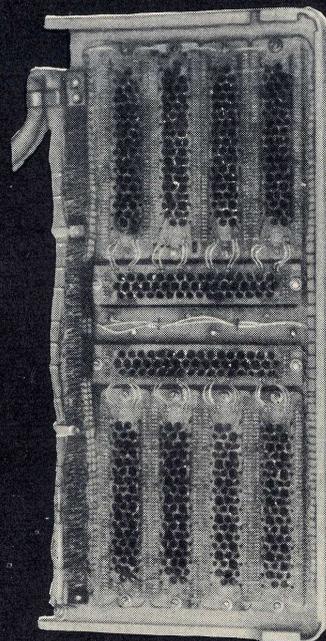
Отличительной чертой первой модификации микросхем машин УМ-2 являлось применение системы поэлементного резервирования. Для следующей модификации был найден оригинальный способ выявления полноты резерва электрической подкачкой эмиттерных шин, выведенных отдельно. На схеме резервирования (рис.8) подача положительного смещения на шину Э<sub>л</sub> прекращает работу левых транзисторов узла, блока или машины – по желанию, не влияя на правые. Таким образом проверяются либо правые, либо левые половины логических ячеек. Принятая система резервирования вместе с тщательной отработкой схемотехники и технологии производства дали ряд микросхем с рекордной надежностью:

Частота отказов для микросхемы с 12 НЕ-ИЛИ

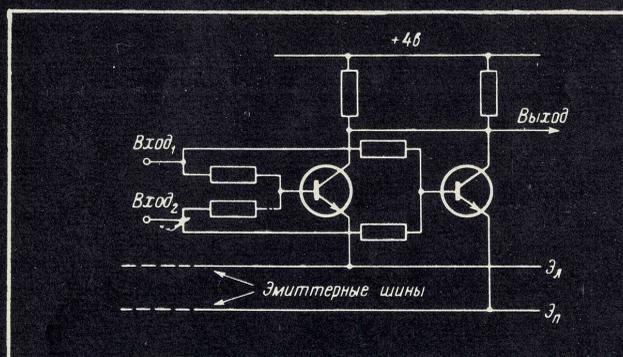
Микросхемы без резервирования	$\lambda_{б/рез} = 6,5 \cdot 10^{-6}$
Микросхемы с резервированием	$\lambda_{расп} = 4,2 \cdot 10^{-8}$
Микросхемы с резервированием	$\lambda_{70^{\circ}C} = 2 \cdot 10^{-8}$
Микросхемы с резервированием	$\lambda_{хран} = 7,6 \cdot 10^{-9}$

Однако эти схемы обладали быстроедействием в 4 раза меньшим по сравнению со схемами, рассчитанными, допустим, на транзисторы со строго регламентированной и стабильной во времени базовой характеристикой. Для частичного возмещения потерь в скорости был принят ряд мер.

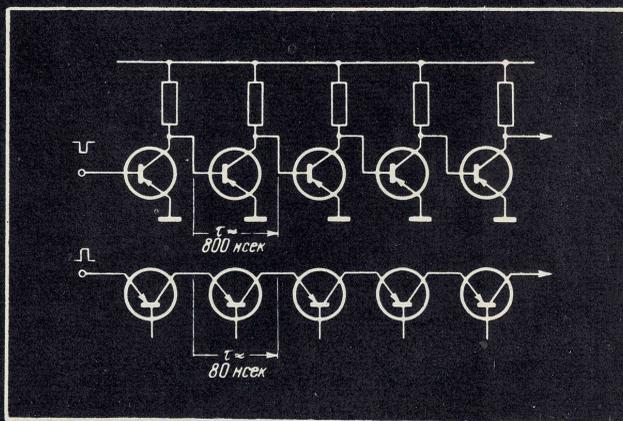
Одна из схемотехнических мер ускорения работы вычислителя показана на рис.9. В схеме



7



8



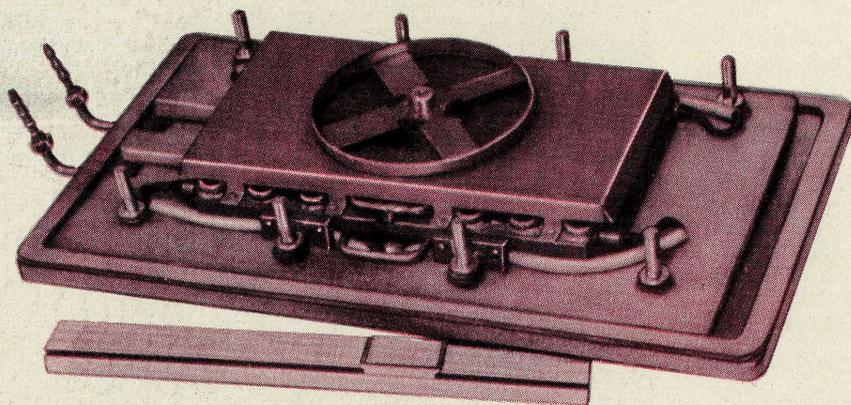
9

с общим эмиттером средняя задержка при передаче сигнала с базы на коллектор составляет для германиевых транзисторов МТ-10  $800 \text{ нсек}$ . Тот же транзистор в нижней схеме дает задержку  $80 \text{ нсек/каскад}$ . Применение такой схемы в арифметическом устройстве уменьшило время сложения на  $17 \text{ мксек}$ .

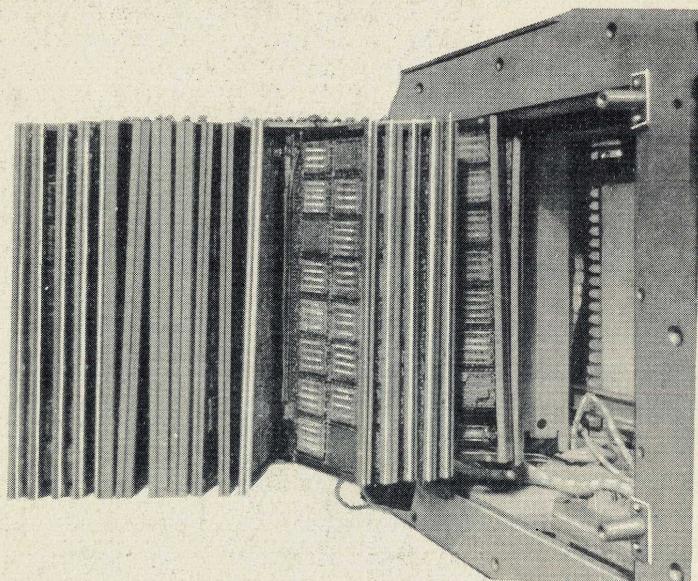
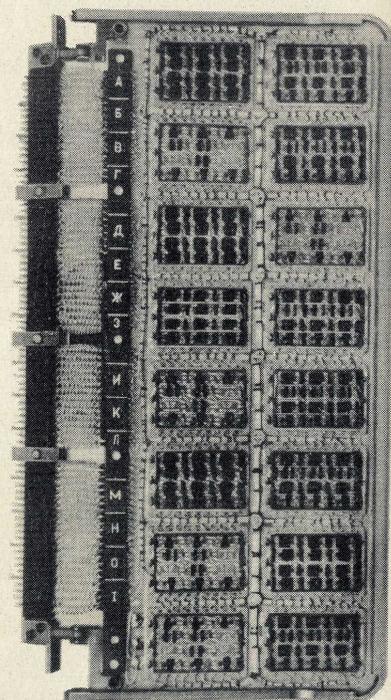
Еще одним примером увеличения эффективно-го быстродействия машины служит введение сверх-оперативной памяти (СОП) на транзисторных ре-гистрах. СОП связана с ОЗУ, ПЗУ и АУ и может хранить до 8 чисел. Цикл обращения в СОП со-ставляет 2-3, а в ОЗУ или ПЗУ - 10 - 15  $\text{мксек}$ . Анализ программ для различных задач показал, что для многих задач в связи с многократным использованием чисел и констант при наличии 8 ячеек в СОП 80% всех обращений будет в СОП и 20% - в ОЗУ. Таким образом, наличие несколь-ких страниц СОП не только значительно увеличи-ло быстродействие, но и улучшило внешние связи машины.

Основной конструктивной особенностью УМ-2 считалось применение устройства микроклимата, так как, во-первых, ОЗУ и ПЗУ не могли работать в диапазоне шире  $0-40^\circ\text{C}$  - нуждались в термо-статировании; во-вторых, арифметическое уст-ройство могло работать в интервале от  $-40$  до  $+70^\circ\text{C}$ , но со значительной потерей надежности на краях; в-третьих, все электронные элементы вели себя лучше в сухой атмосфере, чем во влаж-ной; в-четвертых, внутренний теплоотвод требо-вал во всех условиях  $0,5 \text{ атм}$  минимального дав-ления внутри корпуса.

Пришлось принять такое решение: заключить ма-шину целиком в герметичный изолированный кор-пус, в котором размещены пакеты с сушильным агентом; на верхней крышке смонтировать опре-деленный тип теплообменника в зависимости от условий данного объекта. Теплообменник типа "жидкость-воздух" (рис.10), работая с системой автоматики, поддерживал температуру внутри корпуса  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ . На рис.11 показан блок арифме-



**10**



**11**

**12**

тики, состоящий из 20 логических страниц. Шарнирное соединение блока с корпусом и страниц с блоком дает удобный доступ к любому элементу. Штепсельные разъемы не применялись внутри машины, за исключением некоторых модификаций блоков.

Логическая страница, представленная на рис. 12, содержит 32 микросхемы, соединенные при помощи кос из проволоки со фторопластовой изоляцией. Позже были разработаны многослойные печатные страницы (рис. 13), имеющие до 6 медных слоев с

каждой стороны. В качестве изоляционных слоев применялась фоточувствительная эмаль. На фотографии видны луженые контактные площадки для припайки микросхем, а печатные линии не видны из-за верхнего слоя изоляции.

Ниже приводится характеристика машины УМ-2. Спустя год после разработки УМ-2 завершилась разработка агрегатной системы УСО. Характеристики некоторых из этих устройств приведены в табл. 2.

### Техническая характеристика УМ-2

Назначение	Универсальная управляющая вычислительная машина
Тип машины	Параллельная, с фиксированной запятой
Адресность	Один-три
Быстродействие, <i>мксек</i>	Сложение - 52; умножение - 275; деление - 780
Среднее быстродействие*, <i>операций/сек</i>	8100
Объем памяти, слов	ОЗУ - 512; ПЗУ - 4096
Цикл памяти, <i>мксек</i>	15
Разрядность	23
Логика	1000 модулей по 8 схем; НЕ-ИЛИ в каждом
Объем, <i>дм³</i>	70
Потребляемая мощность, <i>вт</i>	120
Время безотказной работы, <i>ч</i>	556 (полученное при полном комплексе испытаний)

\* 75% - сложение, 23% - умножение, 3% - деление.

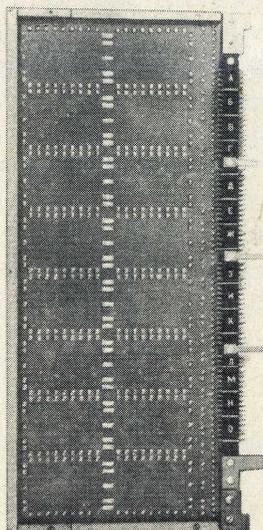
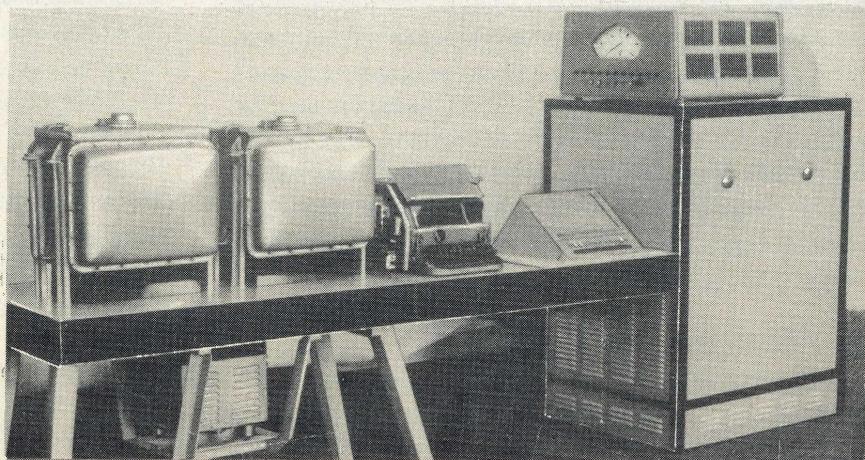
Характеристики некоторых устройств связи с объектом машины УМ-2

Таблица 2

Тип устройства	Количество каналов на одной странице*	Точность, разряды	Время операции, <i>мксек</i>
Устройство ввода			
цифровое	2	23	85
релейное	32	1	85
вал-код	-	-	-
преобразователь (на 40 коммутаторов)	1 (на 2 стр.)	13	100
коммутатор	4	-	25
напряжение-код преобразователь (на 8 коммутаторов)	1	8	570
коммутатор	8	-	25
время-код и код-время	6	13	100
Устройство выводов			
цифровое	2	23	35
релейное	32	1	35
код-вал	8	1**	80
код-напряжение	2	8	50
Устройство управления			
прерывание	10	-	-
преддешифратор	1	16 АДР	10
дешифратор	1	СЧ АДР	15
пирамиды	-	29	5
смесители информации	-	26	5

\* 40 страниц размещается в одном корпусе.

\*\* ± 1 шаг шагового двигателя

**13****14**

Управляющий комплекс на 260 электронных каналов ввода-вывода размещается в двух стандартных корпусах. На рис.14 он показан на стенде для отработки программ.

Опыт создания малогабаритных и микроминиатюрных управляющих машин, изложенный в этой статье, относится к первому периоду развития микроэлектроники. С тех пор прошло много лет и, надо полагать, сегодня можно создавать вычисли-

тельные машины, далеко превосходящие предыдущие, что в первую очередь зависит от улучшения элементной базы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Electronic Navigator Charts Path to Moon. "Electronics", 1967, Jan. 9, p. 109-118.
2. Supernova. "Electronics", 1969, Sept. 1, p. 119-120.

УДК 621.382.8

В.С.СТАРОСТИН, В.А.КАПИТОНОВ

## Классификация приборов М-типа

Изобретение простейшего магнетрона, совершенствование его конструкции и технологии, а также развитие теории позволили разработать десятки приборов М-типа, различных по конструкции, виду взаимодействия электронного потока с электромагнитной волной и назначению. В разное время появлялись работы по систематизации общих признаков СВЧ приборов [1-5] и отдельных групп приборов М-типа [6], однако подробная классификация приборов М-типа не проводилась.

Кроме того, в последние годы появилось много новых типов и конструкций этих приборов. Поэтому представляет интерес провести более подробную классификацию приборов М-типа по общим физическим признакам и режимам применения, которая должна учитывать наиболее общие свойства приборов М-типа различных конструкций; основные физические и конструктивные отличия, обуславливающие различие этих свойств; возможность проведения анализа новых типов приборов, в том

числе и "гибридных", сочетающих в себе свойства приборов различных групп (например, "бидематрона").

Предложенная схема классификации охватывает в основном те приборы, которые находят практическое применение или являются, по мнению авторов, перспективными. За ее основу взят прибор М-типа, наиболее общими характерными физическими особенностями которого являются наличие скрещенных постоянных электрического и магнитного полей в пространстве взаимодействия, переход потенциальной энергии электронов в энергию волны при неизменной синхронной скорости электронов.

За основные отличительные признаки приборов, с учетом которых составлена схема классификации, приняты:

- способ ввода электронного потока в пространство взаимодействия (с помощью эмиттирующего катода в пространстве взаимодействия и с помощью инжектированного электронного потока);
- наличие или отсутствие обратной связи по электронному потоку ("с замкнутым электронным потоком" и "с разомкнутым электронным потоком");
- направление инжектированного электронного потока ("перпендикулярно магнитному полю" и "вдоль магнитного поля");
- свойства замедляющей системы ("резонансный" и "нерезонансный");
- назначение прибора ("генераторный" и "усилительный");
- вид взаимодействия электронного потока с электромагнитной волной ("на  $\pi$  виде", "на прямой волне", "на обратной волне" и "на поперечной волне").

Схема классификации, составленная с учетом перечисленных отличительных признаков, позволяет расположить в ней большинство существующих в настоящее время приборов М-типа. Для удобства анализа введем обозначения приборов по группам:

*А – группа приборов "с эмиттирующим катодом в пространстве взаимодействия";*

*Б – группа приборов "с инжектированным электронным потоком".*

Рассмотрим свойства приборов этих групп с учетом указанных ниже отличительных признаков. Приборы групп А и Б различаются по конструкции, а также имеют различные рабочие характеристики. Анодный ток приборов группы А ограничивается пространственным зарядом, а приборов группы Б – током катода. В группу А входят маломощные (от единиц киловатт и менее) и мощные (единицы мегаватт и более) генераторные и усилительные приборы с высоким к.п.д. (50–60%) и небольшим коэффициентом усиления (10–15 дБ) в сравнительно неширокой полосе частот (10%) при анодном напряжении, как правило, не превышающем 50–60 кВ. В группу Б входят относительно маломощные генераторные приборы (сотни киловатт в импульсе)

в основном с электронной перестройкой частоты и усилительные приборы с коэффициентом усиления 15–20 дБ в широкой полосе частот. Однако известны приборы, сочетающие отдельные свойства групп А и Б: приборы с эмиттирующим катодом в пространстве взаимодействия, но с ограничением анодного тока током катода. Такие приборы могут быть отнесены к группе А или Б по совокупности остальных признаков. Например, магнетрон непрерывного действия с ограниченной эмиссией катода по данной схеме относится к группе А.

*В приборах группы А с замкнутым электронным потоком* имеется сильная обратная связь по электронному потоку между входом и выходом прибора, что обеспечивает фокусировку потока ("спицы") на входе, при этом достигается высокий к.п.д., но рабочая полоса частот суживается.

*В приборах группы А с разомкнутым электронным потоком* поток на входе не сфокусирован из-за отсутствия обратной связи по потоку, что позволяет получать широкую полосу частот, но ограничивает к.п.д.

*В приборах группы Б с электронным потоком, инжектированным перпендикулярно магнитному полю*, направление вектора скорости электронного потока при выходе из зоны электронной пушки совпадает с направлением синхронной скорости электронов в пространстве взаимодействия прибора. К этой группе приборов относятся обычные ЛБВМ и ЛОВМ.

*В приборах группы Б с электронным потоком, инжектированным вдоль магнитного поля*, вектор осевой скорости электронного потока перпендикулярен направлению синхронной скорости и потока в пространстве взаимодействия. Как правило, электронный поток в таких приборах замкнут вокруг отрицательного электрода (кольцевой электронный поток). Введение кольцевого электронного потока со стороны торцевой полости прибора позволяет получить режим ограничения анодного тока током катода и повысить эффективность взаимодействия с высокочастотным полем за счет приближения потока к замедляющей системе. Однако наличие дополнительной составляющей скорости электронного потока приводит к понижению к.п.д.

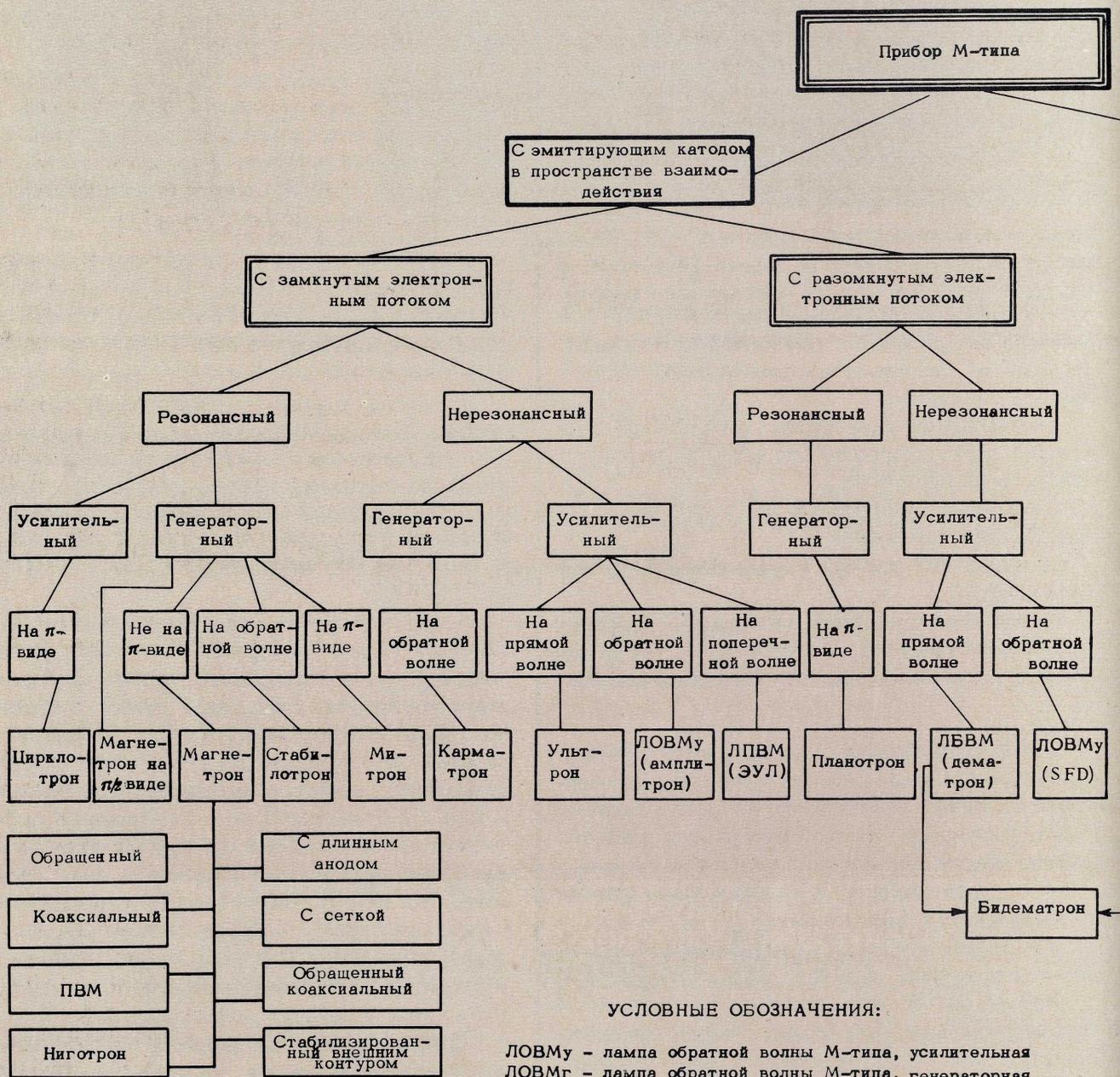
Приборы обеих групп различаются также по типам замедляющих систем. За наиболее характерные признаки замедляющих систем в данном случае приняты:

– наличие стоячей или бегущей волны ("резонансные" и "нерезонансные" замедляющие системы);

– вид гармоник высокочастотного поля, с которой взаимодействуют электроны (" $\pi$ -вид", "прямая", "обратная", "поперечная" волны).

Деление приборов по режиму работы на генераторные и усилительные по существу условно и имеет целью выделить режим преимущественного использования конкретных приборов.

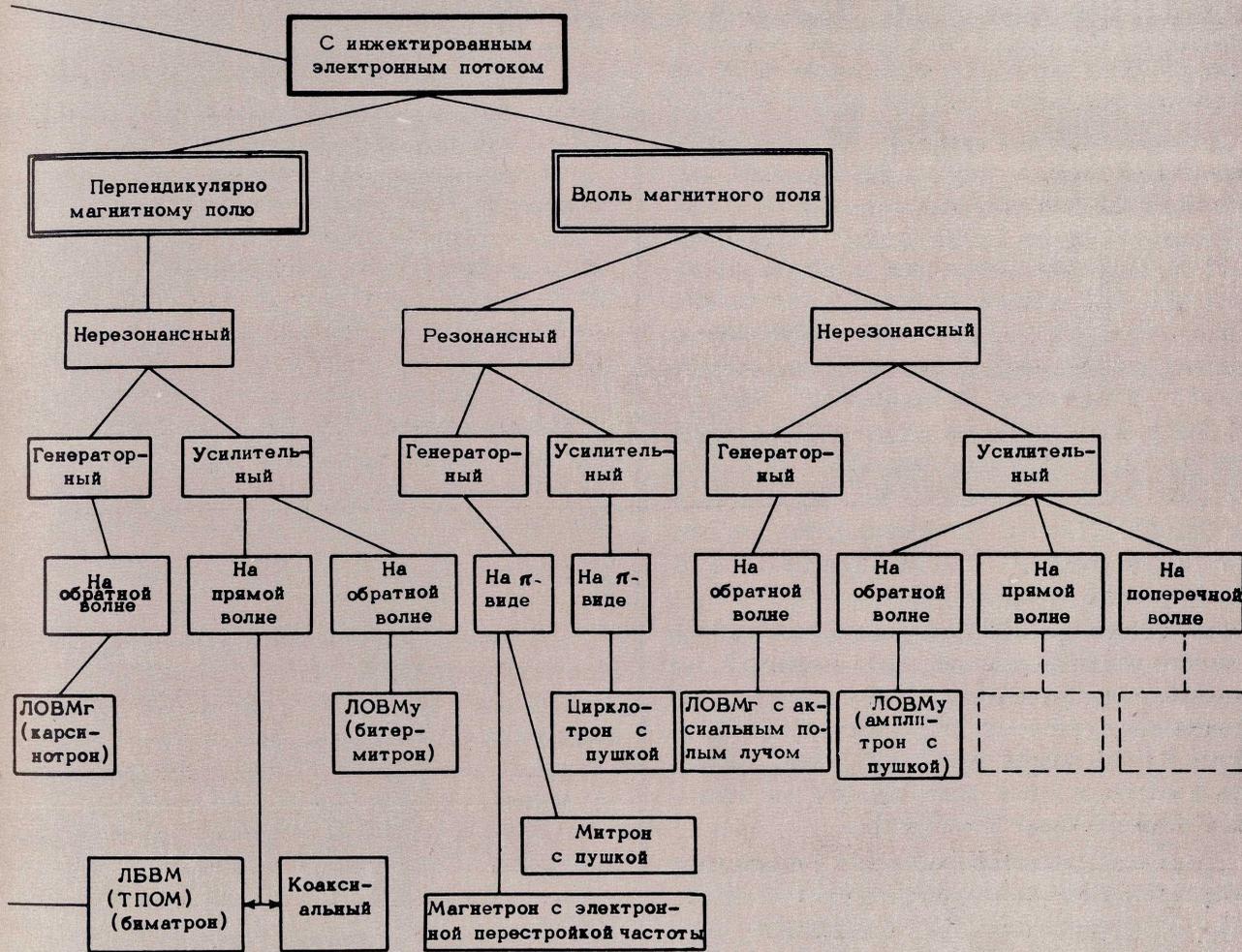
# СХЕМА КЛАССИФИКАЦИИ



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- ЛОВМу - лампа обратной волны М-типа, усилительная
  - ЛОВМг - лампа обратной волны М-типа, генераторная
  - ЛПВМ - лампа поперечной волны М-типа
  - ЗУЛ - электромагнитная усилительная линза
  - ПВМ - предельно-волноводный магнетрон
- В скобках указан конкретный тип прибора данной группы

# ПРИБОРОВ М-ТИПА



Данная классификация приборов М-типа по физическим и конструктивным признакам позволяет систематизировать почти все типы приборов СВЧ диапазона и может быть использована в целях разработки параметрических рядов. *Прим.ред.*

Ниже приведены наиболее характерные параметры отдельных групп приборов М-типа.

*Резонансные генераторные приборы М-типа с замкнутым электронным потоком* имеют большую импульсную и среднюю мощность при достаточно высоком к.п.д. и анодном напряжении, не превышающем 50–60 кВ. Стабильность коаксиального и обращенного коаксиального магнетронов, стабилотрона и магнетрона, стабилизированного внешним контуром, на порядок выше стабильности других генераторных приборов М-типа. Магнетрон с длинным анодом М-565 [7] на частоте 1215–1365 МГц имеет импульсную выходную мощность 5 Мвт и среднюю 12,5 квт при к.п.д. 43% и анодном напряжении 48 кВ. Ниготрон в непрерывном режиме на волне 18–20 см имеет выходную мощность 150 квт при анодном напряжении 18–22 кВ и к.п.д. 35–50% [8].

Для *нерезонансных приборов с замкнутым электронным потоком* характерны большая импульсная и средняя выходная мощность в полосе частот 8–10% при коэффициенте усиления 10–12 дБ. Выходная импульсная мощность амплитрона QKS-1030 в 10-см диапазоне составляет 25 Мвт, а средняя – 15 квт при коэффициенте усиления, равном 9 дБ, и анодном напряжении 130 кВ [9], а амплитрон непрерывного действия QKS-849 в 10-см диапазоне отдает 425 квт мощности при к.п.д. 72% и коэффициенте усиления 10 дБ [10]. Наиболее типичным амплитроном является QKS-622 [11] с выходной мощностью в импульсе 3 Мвт, средней – 15 квт, усилением 10 дБ, к.п.д. 70%, полосой частот 7%.

Фирма Raytheon (США) разрабатывает электромагнитную усилительную линзу на диапазон 3 см с выходной средней мощностью 1 Мвт при к.п.д. 80% и коэффициенте усиления 20 дБ. Ультрон SFD202 на частоте 3 ГГц в полосе частот 10% имеет мощность в импульсе 1 Мвт при к.п.д. 60% и коэффициенте усиления более 15 дБ [11].

Среди *нерезонансных приборов с разомкнутым электронным потоком* следует отметить дематрон L5111 (фирма Litton, США) с выходной импульсной мощностью 1 Мвт и средней 5 квт в полосе частот 10% при коэффициенте усиления, равном 13 дБ, и прибор SFD237, работающий в диапазоне 5,4–5,9 ГГц с выходной импульсной мощностью 1 Мвт и средней 10 квт при к.п.д. 50%, коэффициенте усиления 13 дБ и анодном напряжении не выше 25 кВ [12].

В группе *нерезонансных приборов с электронным потоком, инжектированным вдоль магнитного поля*, наиболее известными из опубликованных являются битермитрон K540 [13] со средней мощностью 0,6 квт в диапазоне 2,5–3,3 ГГц при коэффициенте усиления 15 дБ и к.п.д. 45% и биматрон L-3913 [14], который в полосе частот 15,5% имеет коэффициент усиления 27 дБ. Коэффициент усиления ЛБВМ дециметрового диапазона QKS-751 в полосе частот 17% равен 16 дБ, выходная импульс-

ная мощность этого прибора составляет 10 Мвт [11]. Выходная мощность ЛОВМ (карсинотрона) СМА 1246 и ОКА 1534 соответственно равна 700 вт в диапазоне 2,6–3,4 ГГц и 1000 вт в диапазоне 2,9–3,1 ГГц.

Разрабатываемый гибридный прибор бидематрон L-3778 [6], обладающий свойствами приборов группы А (дематрона) и группы Б (биматрона), в 10-см диапазоне по проекту должен иметь выходную мощность 10 Мвт и среднюю 200 квт при к.п.д. 70% и коэффициенте усиления 35 дБ.

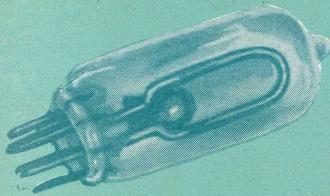
В группе *резонансных приборов с инжектированным электронным потоком вдоль магнитного поля* следует отметить митрон ZM-6279 (США), выходная мощность которого составляет 250 вт в диапазоне 2,6–3,2 ГГц при к.п.д. 60%. Фирма Micron (США) разрабатывает митроны в диапазоне 0,2–7 ГГц на выходную мощность, равную 1–500 вт.

За последнее время появились сообщения о разработке новых усилительных приборов М-типа с сеточным управлением [15]. Прибор RW-617 в 10-см диапазоне имеет коэффициент усиления 20 дБ, выходная импульсная мощность составляет 3–6 квт, а непрерывная – 1 квт при усилении 17 дБ.

Представленная схема позволяет предположить принципиальную возможность разработки новых, еще не созданных приборов М-типа. В качестве примера на схеме пунктиром показаны возможные новые приборы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kleen W. Einführung in die Mikrowellen-elektronik, 1952, S.125.
2. Warnescke R. L' Evolution des principes des tubes electroniques modernes pour microondes. Convegno di Electronica e Televisione, Milano, 1954, p. 706.
3. Туровер Я.М. Основы классификации электронных СВЧ приборов. "Электроника", 1958, № 5.
4. Лебедев И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот, ч. II, 1964, изд-во "Энергия".
5. Сретенский В.Н. Основы применения электронных приборов сверхвысоких частот. "Сов. радио", 1963.
6. Microwave J., 1964, v.7, N 5, p.66–77.
7. DATA, 1968, v. 21, N 142.
8. Электроника больших мощностей, 1969, № 6, стр. 59–83.
9. DATA, 1968, v. 21. N 413 k.
10. Microwave J., 1964, v.7, N 10, p.65–69.
11. Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями. Перев. с англ. под ред. М.М. Федорова, т. I, ИИЛ, 1961.
12. DATA, 1969, v.21, N 943 c.
13. Elteknik, 1963, Aug. 6, N 3, p. 39–46.
14. Tubes pour hyperfrequences, Travaux du 5-e congress international, Paris, 14–18 Sept.
15. Electronic News, 1969, v. 14, N 721, p. 8.



## Ф-14

- △ чувствительность 80 *мкА/лм*
- △ темновой ток  $1 \cdot 10^{-7}$  *а*
- △ габариты 19 × 47,5 *мм*

# ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

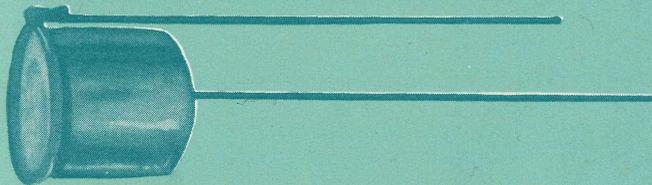
Ф-14      Ф-16      Ф-18



## Ф-16

- △ чувствительность 100 *мкА/лм*
- △ темновой ток  $1 \cdot 10^{-7}$  *а*
- △ габариты 55 × 55 *мм*

ОБЛАДАЮТ ВЫСОКОЙ ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬЮ,  
ВИБРОПРОЧНОСТЬЮ  
МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ В РАЗЛИЧНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ,  
КОНТРОЛЬНЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ.

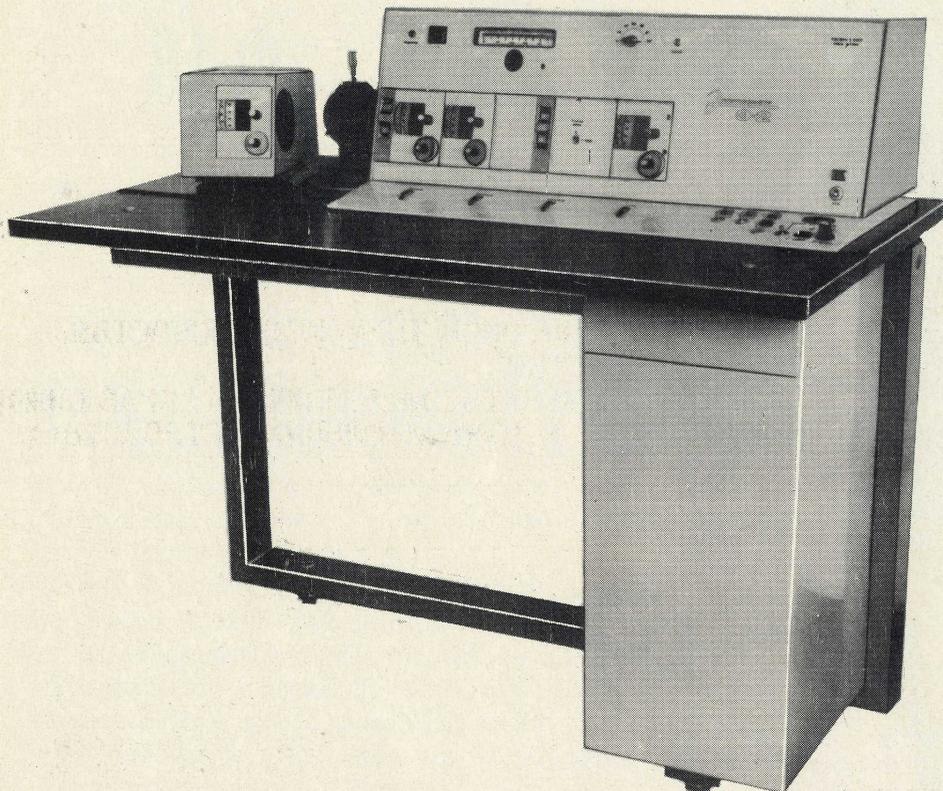


## Ф-18

- △ имеет широкий угол обзора  $\geq 60^\circ$
- △ чувствительность к излучению, прошедшему через синий светофильтр  $\geq 57$  *мкА/мвт*
- △ обладает способностью работать на фоне постоянной засветки 10 000 *лк*
- △ габариты 22 × 26 *мм*

# Э-2

# ЭЛЛИПСОМЕТР



ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ И ТОЛЩИН ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА ЛЮБЫХ ПОДЛОЖКАХ, А ТАКЖЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ДЕЙСТВИЕ ПРИБОРА ОСНОВАНО НА ОПРЕДЕЛЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА, ОТРАЖЕННОГО ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.

Диапазон измеряемых толщин для одного периода решетки, Å

при длине волны света 4360 Å	10–1965
5460 Å	10–2460
5780 Å	10–2600
6328 Å	10–2850

Гарантийная разрешающая способность

по толщине, Å	не хуже 10
по коэффициенту преломления	0,005
Диаметр измеряемого образца, мм	до 80
Потребляемая мощность, квт	0,5

# Новые ячейки памяти на МОП-транзисторах

СОЗДАНИЕ ЗАПОМИНАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С МАЛОЙ РАССЕИВАЕМОЙ ЭНЕРГИЕЙ ЯВЛЯЕТСЯ ВАЖНЫМ ЭТАПОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОМИНИАТЮРНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ.

Основным элементом при проектировании полупроводниковых оперативных ЗУ является триггер. Предельно малой рассеиваемой энергией обладает запоминающий элемент на основе МОП-транзисторов со взаимодополняющей симметрией. Однако в настоящее время имеются некоторые трудности в решении проблемы создания на одной подложке МОП-транзисторов с *p*- и *n*-каналами проводимости.

На рис. 1 показана известная [1] схема ячейки памяти, выполненная на МОП-транзисторах с *p*-каналом. Малый расход мощности достигается за счет использования восстанавливающих импульсов. Собственно триггер образуют транзисторы  $T_1$ – $T_4$ ; причем, транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  предназначены для хранения информации; транзисторы  $T_3$  и  $T_4$  служат в качестве нагрузочных сопротивлений, транзисторы  $T_5$  и  $T_6$  обеспечивают связь ячейки памяти с цепями записи и считывания.  $C_{31}$  ( $C_{32}$ ) – паразитные емкости, образованные емкостями переходов истоковых областей транзисторов  $T_4$ ,  $T_6$  ( $T_3$ ,  $T_5$ ) и стоковой области транзистора  $T_2$  ( $T_1$ ), а также емкости затвор–исток транзистора  $T_1$  ( $T_2$ ).

Восстанавливающие импульсы обеспечивают подзаряд частично разряженного конденсатора от источника через открывающийся транзистор.

Мощность, рассеиваемая ячейкой, составляет

$$P_1 = P_0 2,2 \frac{E}{\Delta U}, \quad (1)$$

$$\text{где } P_0 = EI_0; \quad (2)$$

$\Delta U$  – допустимое колебание напряжения на конденсаторе;

$I_0$  – ток обратно смещенных *p-n* переходов, шунтирующих конденсатор.

При этом не учитывается нелинейность сопротивлений транзисторов  $T_3$  и  $T_4$ .

Если допустимое колебание напряжения  $\frac{\Delta U}{E} = 0,1$ , то минимальная мощность, рассеиваемая открытым плечом, в 22 раза больше мощности, рассеиваемой закрытым плечом ячейки памяти.

Значительно меньшую энергию рассеивает ячейка памяти с емкостными связями [2] (рис.2). Принципиальное отличие данной ячейки памяти заключается

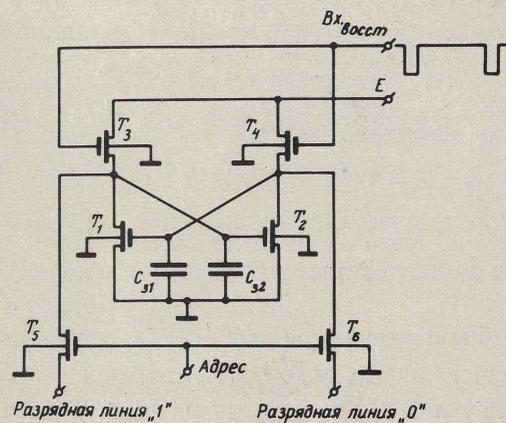


Рис.1. Ячейка памяти с резистивными связями

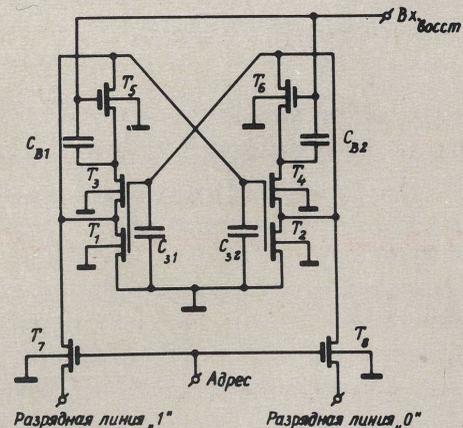


Рис.2. Ячейка памяти с емкостными связями

чается в том, что связь запоминающих конденсаторов с источником питания осуществляется при помощи конденсаторов связи  $C_{B1}$  и  $C_{B2}$ . Для предотвращения короткого замыкания стоковых и истоковых областей транзисторов  $T_5$  и  $T_6$  в ячейке памяти с емкостными связями предусмотрены разделительные транзисторы  $T_3$  и  $T_4$ .

Рассмотрим принцип работы схемы в режиме хранения информации. Предположим, что транзисторы  $T_1$  и  $T_3$  закрыты, а транзисторы  $T_2$  и  $T_4$  открыты, т.е. конденсатор  $C_{32}$  заряжен, а  $C_{31}$  разряжен. Когда транзисторы  $T_5$  и  $T_6$  закрыты, конденсатор  $C_{32}$  медленно разряжается через обратно смещенные  $p-n$  переходы, образованные стоковыми областями транзисторов  $T_1$  и  $T_3$  и истоковой областью транзистора  $T_7$ . Медленно изменяющееся напряжение восстановления открывает транзисторы  $T_5$  и  $T_6$ , и конденсатор  $C_{32}$  заряжается по цепи источник восстанавливающего сигнала — конденсатор  $C_{B1}$  — транзистор  $T_5$  — конденсатор  $C_{32}$  — земля, а конденсатор связи  $C_{B2}$  — по цепи источник восстанавливающих сигналов — конденсатор  $C_{B2}$  — транзисторы  $T_2$  и  $T_4$  — земля. Конденсатор  $C_{31}$  зарядиться при этом не сможет, так как он зашунтирован открытыми транзисторами  $T_2$  и  $T_4$ .

Если восстанавливающий сигнал меняется по экспоненциальному закону с постоянной  $\tau$ , то энергия, рассеиваемая транзистором  $T_2$  и  $T_4$  во время заряда и разряда конденсатора  $C_{B2}$ ,

$$W_2 = C_B E^2 \cdot \frac{1}{n+1}, \quad (3)$$

где  $C_B$  — емкость конденсатора  $C_{B2}$ ;  $n$  — отношение постоянной восстанавливающего сигнала к постоянной  $RC$ -цепи, образуемой конденсатором  $C_{B2}$  и транзисторами  $T_2$  и  $T_4$ .

Для ячейки с резистивными связями (энергия, рассеиваемая аналогичным транзистором  $W_1 = 2,2 CE^2$ ), отношение  $W_2$  к  $W_1$  составит

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{C_B}{2,2C} \cdot \frac{1}{n+1}. \quad (4)$$

Емкость конденсатора  $C_B$  может быть меньше емкости конденсатора  $C$  и по существу равна емкости перекрытия стоковых областей затвором транзисторов  $T_5$  и  $T_6$ , неизбежно возникающей при изготовлении транзисторов.

Так как период следования восстанавливающих сигналов определяется временем разряда конденсаторов  $C_{31}$  и  $C_{32}$  через обратно смещенные  $p-n$  переходы, а постоянная  $RC$  — зарядом одного из конденсаторов ( $C_{B1}$  или  $C_{B2}$ ) через два последовательно соединенных транзистора ( $T_1-T_3$  или  $T_2-T_4$ ), то величина  $n$  может составлять сотни единиц и более. Таким образом, мощность, рассеиваемая ячейкой памяти с емкостными связями, по величине не превышает мощности, рассеиваемой триггером на МОП-транзисторах со взаимодополняющей симметрией. Дополнительное важное преимущество ячейки памяти с емкостными связями заключается в том, что значительно снижаются требования к генератору восстанавливающего сигнала. Для ячейки памяти (см. рис. 2) можно использовать восстанавливающий сигнал синусоидальной формы. Экспериментальное исследование схемы показывает, что хранение информации возможно при частоте восстанавливающего сигнала 80–100  $\mu\text{c}$ . Емкости запоминающих конденсаторов при этом составляли 3–4  $\text{пф}$ . Ячейка памяти с емкостными связями имеет меньшее число выводов; следовательно, подсистема памяти, реализованная на ячейке этого типа, может иметь большую информационную емкость, чем на ячейках памяти с резистивными связями, если ограничено число выводов корпуса интегральной схемы. Несмотря на то, что количество компонентов в ячейке памяти с емкостными связями больше, чем в ячейке памяти с резистивными связями, площади, занимаемые обоими типами схем, практически одинаковы, так как транзисторы  $T_5-T_6$  могут быть выполнены с минимальными размерами и значения их сопротивлений не определяют динамических характеристик элемента памяти. Несколько меньшую площадь занимает ячейка памяти с емкостными связями, представленная на рис. 3, за счет того, что тран-

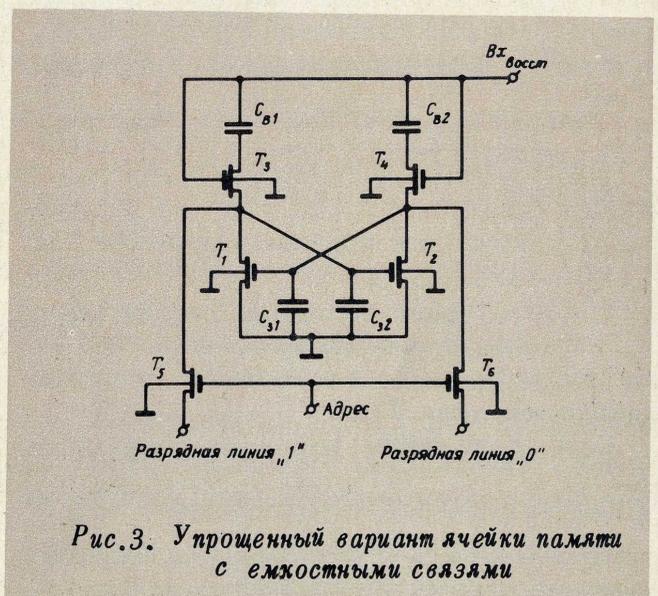


Рис. 3. Упрощенный вариант ячейки памяти с емкостными связями

зисторы  $T_1$  и  $T_2$  могут быть выполнены минимальных размеров, в то время как аналогичные транзисторы ячейки памяти с резистивными связями должны иметь значительную (60–80 мкм) длину канала. Но эта ячейка несколько уступает по величине мощности, рассеиваемой в режиме хранения, ячейке, описанной выше. Здесь заряд конденсатора связи  $C_{B1}$  ( $C_{B2}$ ) происходит через открывающийся транзистор  $T_1$  ( $T_2$ ). Если  $U_0$  – пороговое напряжение транзисторов, то дополнительная энергия, рассеиваемая открытым плечом,

$$W_{\text{доп}} = C_{B1} \frac{U_0^2}{2} \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что  $W_2 \ll W_{\text{доп}} \ll W_1$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бруер, Ниссим, Подреза. Компактное запоминающее устройство для длительных космических полетов. "Электроника", 1967, № 23, стр. 46–55.

2. Караянян Э.Р. Нановаттная ячейка памяти на МДП-транзисторах. Авт. свид. по заявке № 1294108/18–24 от 9 сентября 1969 г.

3. Караянян Э.Р. Нановаттная ячейка памяти на МДП-транзисторах. Авт. свид. по заявке № 1328993/18–24 от 19 ноября 1969 г.

УДК 681.327.6:621.382.3

В.А.КРАВЧЕНКО, Е.Я.БЕЛЯЕВ,  
Б.Г.МЕРКУЛОВ, В.Д.ГУДЫМ

# кремниевый быстродействующий бескорпусный ТИРИСТОР

найдет широкое применение в различных радиозлектронных устройствах в гибридном исполнении. Обладает высокой чувствительностью и высоким быстродействием ( $I_{\text{спр}} = 0,2 + 0,5 \text{ ма}$ ,  $\tau_{\text{выкл}} < 1,0 \text{ мксек}$ ,  $\tau_{\text{уст}} < 20 \text{ нсек}$ ,  $U_p = 15 + 30 \text{ в}$ ).

Разработан маломощный быстродействующий бескорпусный тиристор для гибридных схем, изготовленный по планарно-эпитаксиальной технологии. На подложке  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $0,02 \text{ ом} \cdot \text{см}$  выращивался эпитаксиальный слой  $n$ -типа толщиной  $30 \text{ мкм}$  и удельным сопротивлением  $1,5 \text{ ом} \cdot \text{см}$ . Затем проводилось локальное травление  $n$ -слоя до подложки  $p$ -типа, исключаящее продолжительную разделительную диффузию акцепторной примеси. Для получения  $n$ - и  $p$ -баз проводится диффузия бора (в две стадии) и фосфора в окна, полученные с помощью фотогравировки в окиси кремния. Чтобы уменьшить время жизни неосновных носителей заряда до  $50\text{--}70 \text{ нсек}$ , в кремний путем диффузии из предварительно напыленного слоя вводится золото. Перед созданием омических контактов к катоду, аноду и управляющему электроду проводится дополнительная диффузия бора для уменьшения удельного сопротивления поверхностного слоя и снижения контактных сопротивлений

областей анода и управляющего электрода. Омические контакты получаются путем вакуумного напыления пленки алюминия и ее термообработки. Пластина с готовыми четырехслойными структурами режется на кристаллы алмазным диском. Присоединение золотых выводов осуществляется методом термокомпрессии. На кристалл с выводами наносится защитное покрытие на основе эпоксидной смолы и проводится его термообработка, образцы для измерений монтируются в индивидуальной упаковке.

Экспериментальные исследования статических и импульсных параметров образцов бескорпусных планарно-эпитаксиальных тиристоров (рис. 1) показали, что при температуре окружающей среды  $20^\circ\text{C}$  напряжение переключения у полученных образцов составляло  $20\text{--}90 \text{ в}$ , токи утечки при анодном напряжении  $30 \text{ в}$  для приборов с напряжением переключения свыше  $40 \text{ в}$  составляли  $0,003\text{--}0,5 \text{ мка}$  на

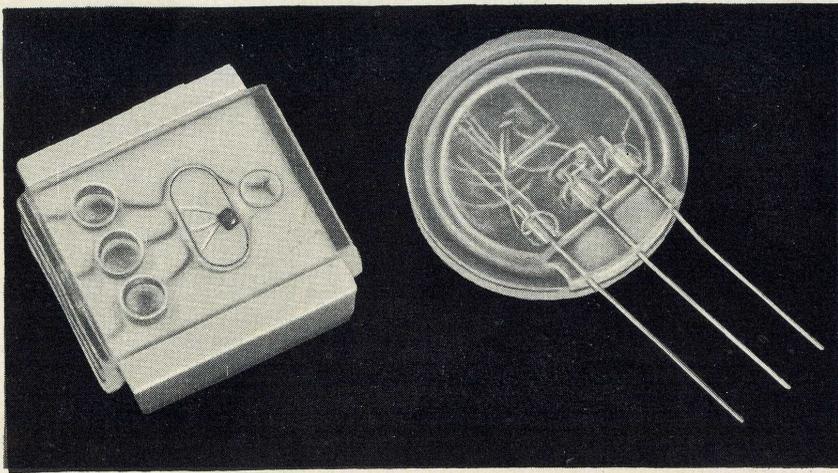


Рис. 1. Внешний вид прибора в упаковке для измерений

прямой ветви и  $0,07-2,5$  мка на обратной, остаточные напряжения при предельно допустимом прямом токе  $50$  ма не превышали  $0,9$  в (рис. 2, 3). При изменении температуры окружающей среды от  $-60$  до  $+125^\circ\text{C}$  величины прямого и обратного тока утечки отличались высокой стабильностью, величины тока выключения уменьшались или возрастали по сравнению с номинальными значениями в  $1,2-1,4$  раза, напряжения переключения — в  $1,4-1,6$  раза, напряжения и тока спрямления — в  $1,8-2$  раза.

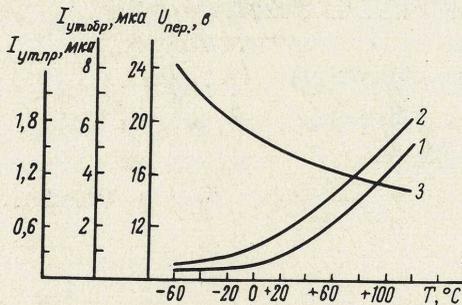


Рис. 2. Зависимости прямых токов утечки (1), обратных токов утечки (2) и напряжения переключения (3) от температуры

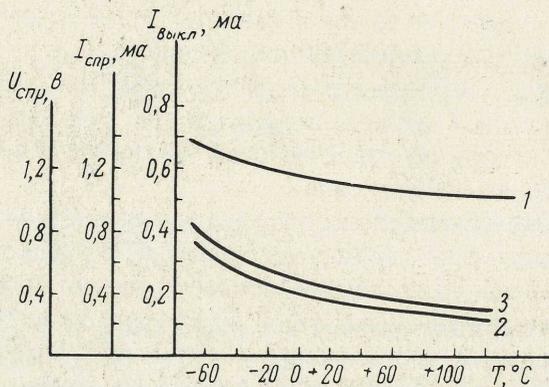


Рис. 3. Зависимости тока выключения (1), тока спрямления (2) и напряжения спрямления (3) от температуры

Исследование статических параметров цепи управления ( $I_{\text{спр}}, U_{\text{спр}}$ ) и импульсных параметров проводилось при шунтирующем сопротивлении между управляющим электродом и катодом, повышающим стабильность работы тиристорov, особенно приборов с тонкими базами. Стабилизирующее действие шунтирующего сопротивления увеличивается с уменьшением сопротивления, однако уменьшение шунтирующего сопротивления приводит к значительному возрастанию тока выключения и тока спрямления [ 1 ]. Исходя из специфики применения приборов величина шунтирующего сопротивления должна подбираться в каждом конкретном случае в зависимости от того, что является основным требованием: высокая чувствительность или высокое быстродействие (рис. 4, 5). Время выключения определялось как минимальный отрезок времени с момента прохождения прямого тока через нуль и до момента, когда значение вновь приложенного прямого напряжения, не

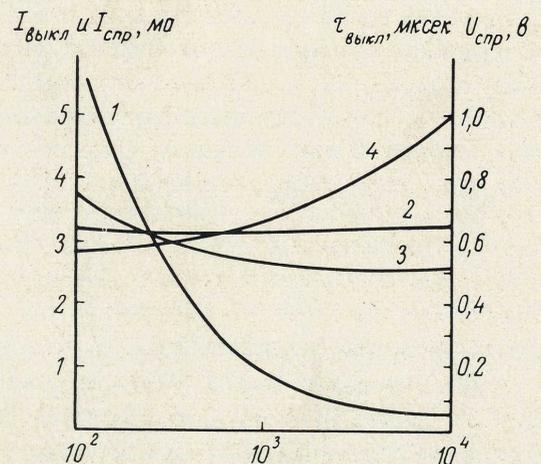


Рис. 4. Зависимости тока спрямления (1), напряжения спрямления (2), тока выключения (3) и времени выключения (4) от величины шунтирующего сопротивления

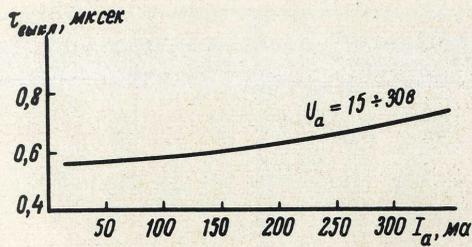


Рис.5. Зависимость времени выключения от амплитуды анодного тока при температуре  $20^{\circ}\text{C}$

выключающего тиристор, равнялось нулю [2]. Исследовалась зависимость времени задержки, установления и результирующего времени включения от амплитуды включающего импульса в цепи управления (рис.6) и от амплитуды анодного тока (рис.7).

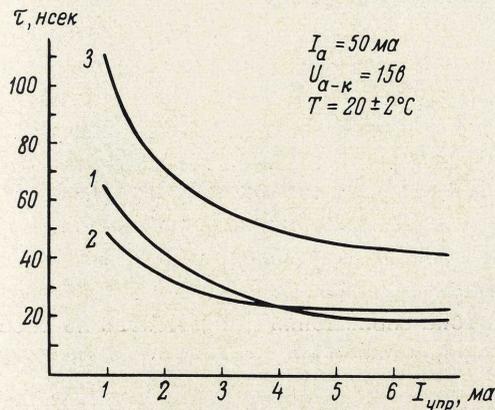


Рис. 6. Зависимости времени задержки (1), времени установления (2) и времени включения (3) от тока управляющего электрода

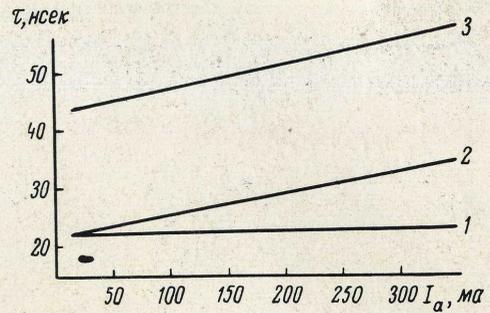


Рис.7. Зависимости времени задержки (1), времени установления (2) и времени включения (3) от амплитуды анодного тока при  $I_{упр} = 4 \text{ ма}$  и  $U_a = 15 \text{ в}$

Исследования показали, что разработанные приборы обладают высокой чувствительностью и высоким быстродействием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.А., Бражников В.А. "Радиотехника и электроника", 1963, № 7, стр.1193.
2. Кузьмин В.А., Сенаторов К.Я. Четырехслойные полупроводниковые приборы. Изд-во "Энергия", 1967.

УДК 621.382.2.072.1:546.28



### Выпускаемые со Знаком качества

■ ГЕРМАНИЕВЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ДИОДЫ ДЗ10 ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЯХ, ДЕТЕКТОРНЫХ СХЕМАХ И В СХЕМАХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.

ДИОДЫ РАБОТАЮТ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ  $-55$  ДО  $+60^{\circ}\text{C}$ . ВЫПОЛНЕНЫ В МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННОМ ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСЕ.

■ СПЛАВНЫЕ ГЕРМАНИЕВЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ ГТ109А – ГТ109И ПРИМЕНЯЮТСЯ В МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКАХ, МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЕ И ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМАХ. ТРАНЗИСТОРЫ РАБОТАЮТ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ  $-20$  ДО  $+55^{\circ}\text{C}$ . ВЫПОЛНЕНЫ В МИНИАТЮРНОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСЕ С ГИБКИМИ ВЫВОДАМИ.

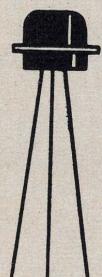
<b>p-n-p</b>	<b>КТ337А    КТ337Б    КТ337В</b>	НОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ
--------------	-----------------------------------	---------------

Максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, $P_m$ , <i>вт</i> .....	0,15
Предельная частота усиления по току $f_T$ , <i>МГц</i> .....	$\geq 500$
Напряжение пробоя $U_{кЭР}$ при $R_{эб} \leq 1 \text{ ком}$ и $I_K = 5 \text{ мка}$ , <i>в</i> .....	6
Напряжение коллектор-эмиттер в режиме насыщения $U_{кЭН}$ при $I_K = 10 \text{ ма}$ и $I_б = 1 \text{ ма}$ , <i>в</i> .....	$< 0,2$
Емкость коллекторного перехода $C_K$ при $f = 10 \text{ МГц}$ и $U_K = 5 \text{ в}$ , <i>пф</i> .....	$< 5$
Время рассасывания $t_p$ при $I_{б1} = I_{б2} = 1 \text{ ма}$ и $I_K = 10 \text{ ма}$ , <i>нсек</i> .....	$< 20$
Коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ при $U_K = 0,3 \text{ в}$ и $I_э = 10 \text{ ма}$ .....	$\geq 30$ (А); $\geq 50$ (Б); $\geq 70$ (В)

ТРАНЗИСТОРЫ  
КРЕМНИЕВЫЕ  
ДЛЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКИ

<b>n-p-n</b>	<b>КТ342А    КТ342Б    КТ342В</b>
--------------	-----------------------------------

Максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, $P_m$ , <i>вт</i> .....	0,25
Предельная частота усиления по току $f_T$ , <i>МГц</i> .....	$\geq 300$
Коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ при $U_K = 5 \text{ в}$ и $I_э = 1 \text{ ма}$ .....	100-1000 (А, Б)
при $U_K = 5 \text{ в}$ и $I_э = 0,01 \text{ ма}$ .....	$> 80$ (В)

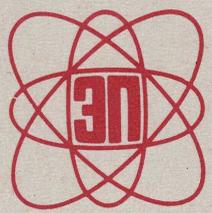


<b>p-n-p</b>	<b>КТ343А    КТ343Б</b>
--------------	-------------------------

Максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, $P_m$ , <i>вт</i> .....	0,15
Предельная частота усиления $f_T$ , <i>МГц</i> .....	$\geq 300$
Напряжение пробоя $U_{кЭР}$ при $R_{эб} \leq 1 \text{ ком}$ и $I_K = 100 \text{ ма}$ , <i>в</i> .....	15 (А); 8 (Б)
Напряжение коллектор-эмиттер в режиме насыщения $U_{кЭН}$ при $I_K = 10 \text{ ма}$ и $I_б = 1 \text{ ма}$ , <i>в</i> .....	0,3
Емкость коллекторного перехода $C_K$ при $f = 10 \text{ МГц}$ и $U_K = 5 \text{ в}$ , <i>пф</i> .....	5
Время рассасывания $t_p$ при $I_{б1} = I_{б2} = 1 \text{ ма}$ и $I_K = 10 \text{ ма}$ , <i>нсек</i> .....	$< 10$
Коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ при $U_K = 1 \text{ в}$ и $I_э = 10 \text{ ма}$ .....	$\geq 30$

<b>n-p-n</b>	<b>КТ344</b> <small>сдвоенный транзистор</small>
--------------	--

Максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, $P_m$ , <i>вт</i> .....	0,1
Предельная частота усиления $f_T$ , <i>МГц</i> .....	100
Емкость коллекторного перехода $C_K$ при $f = 10 \text{ МГц}$ и $U_K = 5 \text{ в}$ , <i>пф</i> .....	$\leq 1$
Коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ при $U_K = 1 \text{ в}$ и $I_э = 1 \text{ ма}$ .....	50-250



# ИССЛЕДОВАНИЯ



РАЗ

РА

БОТ

КИ



*В.В.КАЗАНСКИЙ, В.А.КИЗУБ*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСТРОЙСТВАХ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ

Широкое развитие автоматизированных систем управления предъявляет все новые требования к разработке высоконадежных быстродействующих устройств первичного ввода информации.

■ В статье дан анализ фотоэлектрических считывающих устройств и показана целесообразность создания интегрального фотоприемника — фоторезистивной матрицы на основе тонких пленок.

■ Для работы с матрицей созданы плоские источники света площадью  $20 \times 60$  мм, обеспечивающие начальную яркость 25 нт.

Все расширяющийся поток информации требует создания современного, усовершенствованного периферийного оборудования для систем обработки данных и в том числе — устройств для ввода информации небольшого объема в низовых звеньях систем управления.

# МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

При многократном использовании носителя информации (чаще всего это бумажные перфоносители), как правило, применяются считывающие устройства статического типа [1] (динамический ввод информации приводит к быстрому износу бумажных перфоносителей).

Одним из самых перспективных физических принципов, которые легли в основу конструирования различных считывающих устройств статического типа, является принцип фотоэлектрического преобразования. Наиболее простое конструктивное решение в этом случае: источник света – держатель перфоносителя – матрица фотоприемников. Размещение отдельных фотоприемников в матрице соответствует рисунку кодовых отверстий перфоносителя.

Сравнивая габариты отечественных фотоприемников, наиболее приемлемых для применения в считывающих устройствах статического типа (см. таблицу), с размерами перфорационных отверстий (рис. 1) и межцентровым расстоянием отверстий, а также учитывая допуски на эти размеры, можно сделать вывод, что набор матрицы из большого количества отдельных фотоприемников представляет довольно сложную технологическую задачу. Если же поместить между перфоносителем и матрицей фотоприемников проекционную систему (рис. 2) или световоды (рис. 3), то можно компоновать матрицу из фотоприемников практически любых габаритов. Однако в этом случае возникает необходимость значительного увеличения мощности излучения источника света и габаритов считывающего устройства.

Более рациональное решение проблемы – это применение матричного фотоприемника, выполненного в виде интегральной схемы. Работы по созданию интегральных матричных фотоприемников

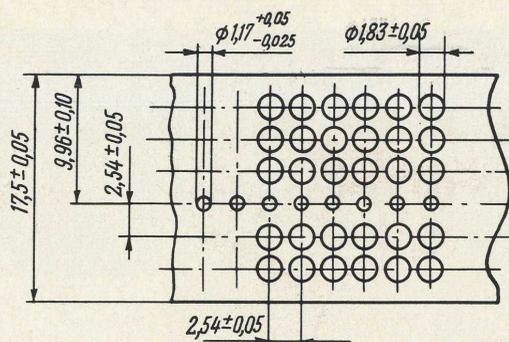


Рис. 1

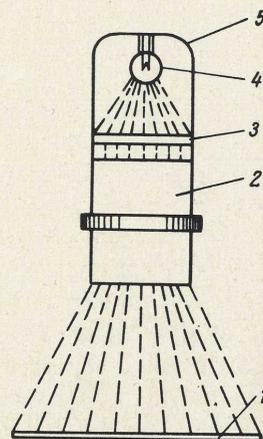


Рис. 2. Схема проекционной системы:

1 – матрица фотоприемников; 2 – проекционная система; 3 – носитель информации; 4 – источник света; 5 – рефлектор

ведутся в двух направлениях: на базе пленочной и на базе твердотельной технологии. Как и в других областях микроэлектроники, матрицы активных фотоприемников (фотодиоды, фототранзисторы и

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ СЧИТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СТАТИЧЕСКОГО ТИПА

Вид фотоприемника	Тип прибора	Габариты без выводов, мм	Площадь фоточувствительной площадки	Вес, г	Материал фоточувствительного слоя
Фоторезистор	СФЗ-2	15x9x3,5	(1x4)x7 мм*	-	Сульфид кадмия
	ФСК-III	13x8x2,8	2x6 мм	-	
	СФ2-1	8x5x2,5	0,3x1,5 мм	-	
	СФ2-2	15x9x3,5	(0,5x5)x13 мм*	-	
	СФЗ-1	8x5x2,5	0,3x1,5 мм	-	
Фотодиод	ФД-2	22x10x15	1 мм <sup>2</sup>	0,5	Германий
	ФД-3	φ 3,85x9	2 мм <sup>2</sup>	0,42	Германий
	ФТ-1	φ 8,6x6	2 мм <sup>2</sup>	0,98	Кремний
	ФТ-1п	φ 3,85x10	2 мм <sup>2</sup>	0,42	Кремний

\* Фоточувствительная площадка имеет сложную форму.

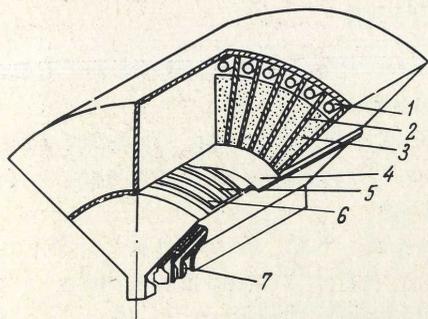


Рис. 3. Схема световода:  
1 — источник света; 2, 5 — свето-  
непроницаемая перегородка; 3, 6 —  
световод; 4 — перфокарта;  
7 — фотоприемник

т.п.) выполняются обычно в монокристаллических полупроводниковых кристаллах, а фоторезисторные матрицы изготавливаются методом вакуумного напыления.

В этом случае, когда при вводе информации не требуется высокой скорости считывания, пленочные фоторезисторные матрицы, обладающие хорошей чувствительностью, воспроизводимостью, относительно низкой стоимостью и изготавливаемые на базе достаточно хорошо отработанной технологии, имеют преимущество перед другими типами матричных фотоприемников.

Используемый в качестве материала фоточувствительного слоя для пленочных фоторезисторов сульфид кадмия, по мнению ряда специалистов, является идеальным детектором видимого света с длиной волны 0,51–0,65 мкм. К тому же, он обладает и другими положительными качествами: устойчивостью к воздействию окружающей среды и большим периодом старения. Недостаток сульфида кадмия — высокая световая инерционность. Селенид кадмия, также используемый для получения фоточувствительных слоев, менее инерционен, но более чувствителен к изменениям температуры и процессам старения. Максимум спектральной чувствительности чистого селенида кадмия составляет примерно 0,72 мкм. Наилучшее качество фоточувствительного слоя [2] обеспечивает сочетание сульфида кадмия и селенида кадмия.

В отечественных фотоэлектрических приборах широко используются одноэлементные пленочные фоторезисторы типа СФ2–2, СФ3–1 и т.д. (см. таблицу). Однако только многоэлементные структуры отвечают таким специфическим требованиям, как высокая плотность элементов малых размеров; прецизионная точность геометрических размеров отдельных элементов; высокая степень идентичности световых и электрических параметров всех элементов матрицы; обеспечение тепловода от подложки.

В нашей стране уже несколько лет ведутся работы в области создания многоэлементных фото-

приемников [3,4]. Сейчас уже разработаны конструкция, технология изготовления и получены опытные образцы пленочных многоэлементных фоторезисторов [5,6]. Фоточувствительные слои получены испарением в вакууме. Для создания слоев с относительно низким сопротивлением в качестве исходного вещества был использован состав  $CdS_{0,05}Se_{0,95}$ , легированный медью. Для создания омического контакта в вакууме через маски путем испарения наносился алюминий. Затем омические контакты с помощью напыленных проводников соединялись с выходными контактами матрицы, расположенными по периметру подложки. Образцы пленочных многоэлементных фоторезисторов имели следующие характеристики:

Световой ток при освещенности $10^4$ лк, ма	> 2
Рабочее напряжение, в	27
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до + 60
Отношение теплового сопротивления к световому в рабочем диапазоне температур	> $10^2$
Максимум спектральной характеристики, А	5850
Максимально допустимая мощность рассеяния на один фоторезистор, мвт	5
Плотность размещения фоторезисторов в матрице, элементов/см <sup>2</sup>	12,5
Размер фоточувствительной площадки, мм	2x0,2

Источник света для считывающего устройства статического типа должен иметь достаточную яркость и обеспечивать равномерную освещенность рабочей поверхности матрицы фотоприемников, причем он должен располагаться как можно ближе к матрице фотоприемников, что даст возможность уменьшить габариты устройства. Этим требованиям лучше всего отвечают плоские электролюминесцентные конденсаторы: они обладают удобной формой, малой потребляемой мощностью, небольшой инерционностью, достаточно низкой стоимостью.

В настоящее время электролюминесцентные источники света чаще всего изготавливают на основе порошковых покрытий, которые состоят из смеси цинкосульфидных электролюминофоров с каким-либо затвердевающим диэлектриком. Такие конденсаторы работают при сравнительно высоких напряжениях (100–300 в). Применение высоковольтных электролюминесцентных источников света в современной аппаратуре, построенной на низковольтных микроэлектронных элементах, связано с необходимостью использования дополнительных преобразующих каскадов, что усложняет аппаратуру, снижает ее надежность. Добиться снижения рабочего напряжения электролюминесцентных конденсаторов можно путем перехода на сублимированные пленки, полученные с помощью вакуумной технологии.

Кроме перечисленных достоинств, эти конденсаторы обладают еще одним положительным качеством: электролюминесценция возникает при работе не только на переменном, но и на постоянном токе.

Правда, при малых рабочих напряжениях яркость свечения в постоянном поле на один-два порядка слабее, чем в переменном. Эффективность электролюминесценции в постоянном поле также значительно ниже, чем в переменном (0,05 лм/вт вместо 3 лм/вт) [7]. И все же достоинства сублимированных электролюминесцентных пленок и, в первую очередь, их лучшая совместимость с современными электронными схемами привлекают к ним внимание разработчиков. Сейчас уже получены опытные образцы (рис. 4) низковольтных электролюминесцентных источников света на постоянном токе относительно большой площади 20x60 мм. Технологический процесс их изготовления состоит из следующих основных операций:

- нанесение на стеклянную подложку прозрачного электрода;
- химическая очистка подложки;
- нанесение электролюминесцентного покрытия (электролюминофор Эл-580 и сульфид меди марки ч.д.а.);
- напыление металлического электрода в вакууме через маску.

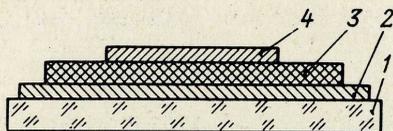


Рис. 4. Опытный образец пленочного электролюминесцентного конденсатора:

- 1 – стеклянная подложка;
- 2 – прозрачный электрод;
- 3 – фоточувствительный слой;
- 4 – металлический электрод

Параметры изготовленных образцов плоских источников света следующие:

Рабочее напряжение, в .....	~30
Рабочий ток, ма .....	120–150
Начальная яркость, нт .....	20–25
Ресурс работы без балластного сопротивления, ч .....	< 100

Работу над созданием пленочных конденсаторов нельзя считать завершенной. У полученных образцов обнаружен ряд недостатков, основной из них – неоднородность свечения по поверхности. Как правило, яркость увеличивается по направлению к центру. Причина этого явления заключается в неравномерном распределении выводов с электродов пленки, в результате чего возникает градиент напряжения по поверхности пленки.

Исследования в этой области необходимо продолжать, так как полученные результаты убедительно говорят о перспективности выбранного направления и о том, что будущее за считывающими устройствами, полностью построенными на интегральных пленочных элементах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. L a n n a n P a t r i c k. "Meas. and Data", 1968, N 6, p.84–87.
2. Фотопроводящие матрицы универсального применения. "Электроника" (рус. пер.), 1968, № 17, стр. 42–43.
3. Б у д и н о с Г.Ю., В и ш а к а с Ю.К., Ж и н д у л и с А.И. "Тонкие пленки и их применение", Вильнюс, 1968, стр. 96–98.
4. К в а с о в В.М., С в е ч н и к о в С.В. "Вычислительные системы" (Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам), 1967, вып. 5, "Наука", 1968, стр. 95–102.
5. К и р ь я ш к и н а А.П. и др. "Физика полупроводников и полупроводниковая электроника", Саратовский университет, 1968, вып. 2, стр. 42.
6. Б у г р о в В.И., К и з у б В.А. "Опτικο-электроника", ч. 2, ЛДНТП, 1968, стр. 51.
7. Д е р к а ч В.П., К о р с у н с к и й В.М. "Электролюминесцентные устройства", Киев, "Наукова думка", 1968.

УДК 658.51.011.56:681.327.12

  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
**ДЕПОНИРОВАНИЕ**

И.М.Дубовицкая,  
 И.Г.Казарин,  
 В.С.Степанский

## К ВОПРОСУ О ВЛАГОСТОЙКОСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Статья депонирована в институте "Электроника"

ДЭ-332, 8 стр., 3 рис.

Исследовалось влияние скорости напыления и толщины защитной пленки на влагостойкость тонкопленочных конденсаторов. В качестве диэлектрика конденсатора опробована моноокись германия. Материалом для защитной пленки послужил фтористый алюминий. Экспериментально показано, что при малых скоростях напыления пленка имеет рыхлую структуру, насыщенную остаточными газами и, следовательно, обладает меньшей влагостойкостью, чем пленка, полученная при больших скоростях напыления. Результаты исследований позволяют дать некоторые рекомендации по повышению влагостойкости пленочных покрытий.

Для ознакомления с материалом следует обращаться в институт "Электроника" (Москва, В-415, проспект Вернадского, 39, Отдел фондов).

УДК 621.319.4–416.019.38

# ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СХЕМ

— Разработанная методика количественной оценки степени однородности параметров транзисторов ИПС может быть использована при проектировании ИПС и контроле в условиях производства. В качестве меры однородности принят коэффициент парной корреляции, позволяющий получать условные распределения параметров.

Изготовление всех компонентов ИПС в едином технологическом цикле предопределяет взаимосвязанность электрических параметров. Однако в силу возможных флуктуаций физических параметров исходной структуры эпитаксиальной пленки по всей поверхности кристалла однородность компонентов будет иметь не функциональный, а статистический характер.

Предлагаемая количественная оценка однородности компонентов может быть использована при проектировании ИПС для решения задач анализа и синтеза, а также для контроля параметров в процессе их производства. В случае высокой однородности параметров компонентов отпадает потребность в их 100%-ном контроле. Необходимо осуществить полный контроль лишь одного компонента соответствующего типа, а остальные только проверить на функционирование.

В качестве меры однородности при проектировании и контроле ИПС принят коэффициент корреляции, позволяющий получить условные распределения. Пусть  $\xi_1$  и  $\xi_2$  — значения некоторого параметра  $x$  для первого и второго транзисторов в микросхеме;  $r$  — коэффициент корреляции между значениями  $x$ ;  $m_1, \sigma_1, m_2, \sigma_2$  — математические ожидания и средние квадратические отклонения  $x$  соответственно. Примем  $\xi_1 = x_1$ . Тогда математическое ожидание  $m_2(x_1)$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_2(x_1)$  величины  $\xi_2$  вычисляются по формулам, приведенным в работе [1]:

$$m_2(x_1) = m_2 + (x_1 - m_1) \frac{\sigma_2}{\sigma_1} r, \quad (1)$$

$$\sigma_2(x_1) = \sqrt{1 - r^2} \sigma_2. \quad (2)$$

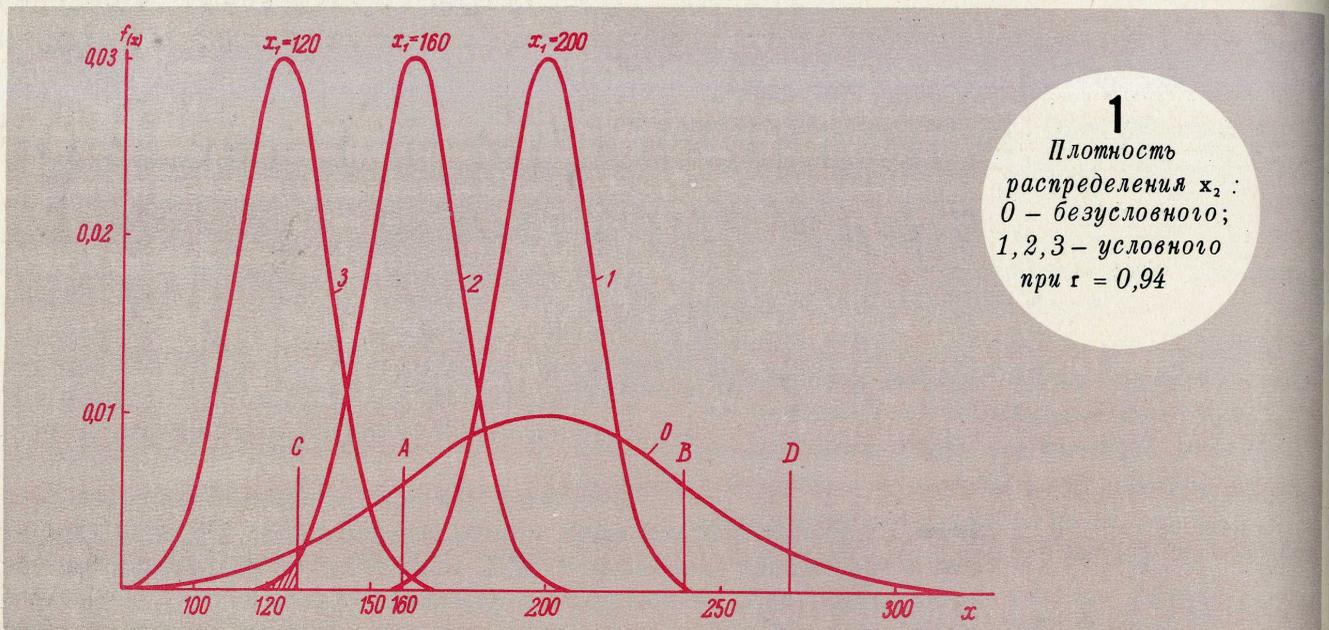
Если первый и второй транзисторы имеют одинаковые конфигурации и геометрические размеры, то можно считать, что  $m_1 = m_2 = m$  и  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ . Тогда формулы (1) и (2) преобразуются:

$$m_2(x_1) = m + (x_1 - m) r, \quad (3)$$

$$\sigma_2(x_1) = \sqrt{1 - r^2} \sigma. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) видно, что чем больше значение  $r$ , тем меньше дисперсия условного распределения и значение  $m_2(x_1)$  ближе к  $x_1$ . При  $r = 0,98$  практически  $m_2(x_1) = x_1$ . Значения  $m_2(x_1)$  зависят от изменения  $x_1$  (рис.1). Таким образом, величина  $r$  может служить мерой однородности параметров. Следует заметить, что формулы (1—4) и рис.1 верны только для нормального распределения случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ . Однако это не ограничивает общности, так как с помощью известных преобразований можно общий случай распределения свести к нормальному [2].

Экспериментальное исследование однородности параметров транзисторов ИПС проводилось на тестовых разводках ИПС — микросхеме 1 и микросхеме 2 (исследовали по 75 микросхем). Микросхема 1 (рис.2) состоит из транзисторов  $T_1, T_2$  и  $T_3$ . Транзистор  $T_2$  отличается от транзисторов  $T_1$  и  $T_3$  конфигурацией и размерами. Микросхема 2 (рис.2) состоит из транзисторов  $T_4, T_5$  и  $T_6$ . Транзистор  $T_5$  отличается от транзистора  $T_6$  только расположением контакта к коллекторной области и несколько различными по площади размерами изолированных областей. Транзистор  $T_4$  резко отличается от транзисторов  $T_5$  и  $T_6$  как по конфигурации, так и по геометрическим размерам. Пло-

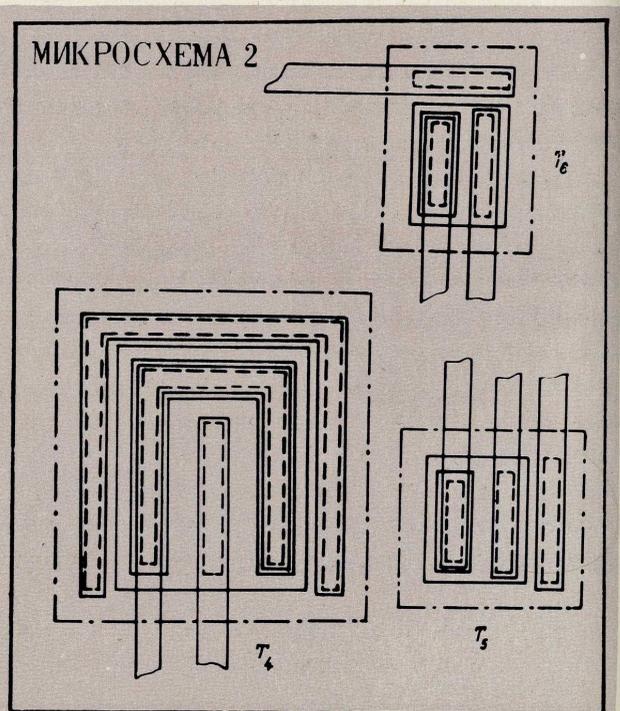
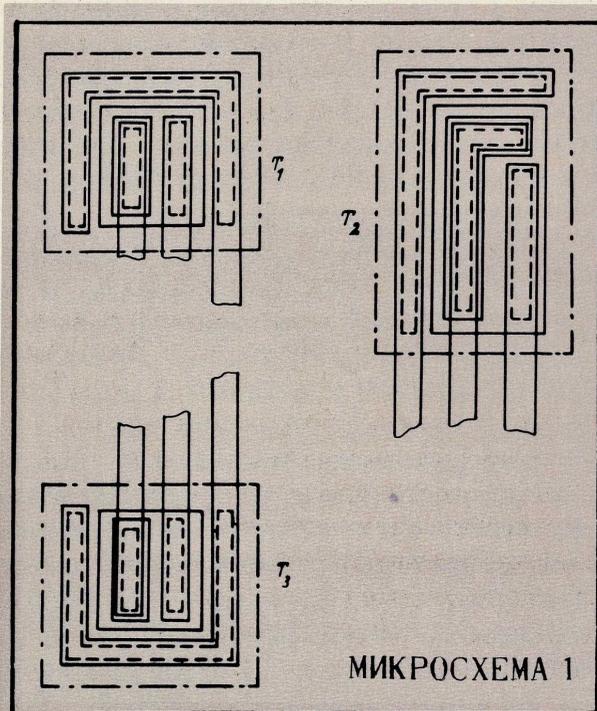


**1**  
 Плотность  
 распределения  $x_2$ :  
 0 – безусловного;  
 1, 2, 3 – условного  
 при  $r = 0,94$

щадь изолированной области транзистора  $T_4$  примерно в 10 раз больше площадей изолированных областей транзисторов  $T_5$  и  $T_6$ . Для транзисторов  $T_1-T_6$  измерялись следующие параметры: пробивное напряжение  $U_{кп.проб}$ ,  $U_{кэ.проб}$ ,  $U_{эб.проб}$ ; предельная частота усиления по току  $f_T$  и коэффициент усиления при низком входном сигнале  $h_{21э}$  в схеме с общим эмиттером, а также напряжения насыщения эмиттер – база и коллектор – эмиттер  $U_{эбн}$ ,  $U_{кэп}$ . Выбор такой системы исследуемых параметров обусловлен тем, что  $U_{кп.проб}$ ,  $U_{кэ.проб}$ ,

$U_{эб.проб}$  и  $h_{21э}$  контролируется в процессе производства непосредственно на пластине, а параметры  $U_{эбн}$ ,  $U_{кэп}$  и  $f_T$  дают основную информацию о транзисторе, используемом в качестве переключающего элемента в ИПС.

Для каждого варианта статистические характеристики (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и коэффициент корреляции) вычислялись по формулам, приведенным в работах [1, 3, 4]. Доверительные границы для коэффициента корреляции оценивались с помощью графика, приведенного в работе [4].



## Результаты статистической обработки экспериментальных данных

Статистические характеристики	Микросхема 1							Микросхема 2						
	U <sub>кзн</sub> , мс	f <sub>T</sub> , МГц	U <sub>бзн</sub> , мс	U <sub>эб.проб</sub> , в	h <sub>21э</sub>	U <sub>кэ.проб</sub> , в	U <sub>кп.проб</sub> , в	U <sub>кзн</sub> , мс	f <sub>T</sub> , МГц	U <sub>бзн</sub> , мс	U <sub>бэ.проб</sub> , в	h <sub>21э</sub>	U <sub>кэ.проб</sub> , в	U <sub>кп.проб</sub> , в
$\bar{x}_1(4)$	206	266	848	7,5	46	8,4	39	166	265	809	7,3	49	9,8	38
$\bar{x}_2(5)$	239	248	821	7,5	49	8,3	39	359	249	852	7,3	46	9,8	39
$\bar{x}_3(6)$	204	266	846	7,5	47	8,8	38	350	243	908	7,3	40	9,8	37
$\sigma_1(4)$	40	45	17	0,20	22	2,4	7,5	28	30	14	0,35	31	1,5	7,5
$\sigma_2(5)$	49	39	16	0,22	26	2,5	8,4	53	43	21	0,35	27	1,2	6,4
$\sigma_3(6)$	38	46	13	0,15	21	1,5	6,6	44	44	27	0,31	23	1,3	8,2
$r_{T_1, T_2(45)}$ при $R_{\text{дов}}=0,95$														
верхняя	0,96	0,92	0,62	0,68	0,95	0,61	0,44	0,81	0,82	0,78	0,55	0,84	0,89	0,46
средняя	0,94	0,88	0,46	0,53	0,92	0,44	0,23	0,71	0,72	0,66	0,36	0,75	0,83	0,25
нижняя	0,90	0,81	0,27	0,35	0,87	0,25	0,00	0,59	0,60	0,52	0,15	0,63	0,74	0,03
$r_{T_1, T_2(46)}$ при $R_{\text{дов}}=0,95$														
верхняя	0,95	0,93	0,83	0,71	0,97	0,71	0,67	0,87	0,85	0,62	0,53	0,78	0,83	0,47
средняя	0,93	0,89	0,74	0,64	0,96	0,57	0,51	0,80	0,77	0,46	0,34	0,67	0,74	0,27
нижняя	0,89	0,83	0,63	0,49	0,95	0,40	0,33	0,70	0,66	0,27	0,13	0,53	0,63	0,05
$r_{T_1, T_2(56)}$ при $R_{\text{дов}}=0,95$														
верхняя	0,95	0,90	0,43	0,54	0,94	0,58	0,62	0,92	0,86	0,84	0,78	0,95	0,92	0,54
средняя	0,92	0,84	0,22	0,35	0,91	0,40	0,46	0,87	0,79	0,76	0,67	0,92	0,87	0,35
нижняя	0,87	0,76	0,01	0,14	0,86	0,20	0,27	0,80	0,69	0,65	0,53	0,87	0,80	0,14

Результаты обработки, сведенные в таблицу, позволяют сделать следующие выводы:

1. Параметры  $U_{\text{кзн}}$ ,  $f_T$ ,  $h_{21э}$  для транзисторов микросхемы 1 имеют существенную взаимосвязь, причем значения коэффициентов корреляции между соответствующими параметрами транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  выше, чем для других пар сочетаний  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_1$ ,  $T_2$ . Значения коэффициентов парных корреляций между вышеуказанными параметрами для транзисторов  $T_4$ ,  $T_5$  и  $T_6$  микросхемы 2 несколько ниже, чем в предыдущем случае, причем наиболее отличителен в этом отношении транзистор  $T_4$ .

2. Тот же характер отличия сохраняется для сочетаний  $T_1$  и  $T_2$ ;  $T_2$  и  $T_3$  микросхемы 1 по параметру  $U_{\text{бзн}}$ .

3. Параметры  $U_{\text{эб.проб}}$ ,  $U_{\text{кп.проб}}$  для  $T_1$ – $T_3$  микросхемы 1 и  $T_4$ – $T_6$  микросхемы 2 коррелируют значительно слабее, чем остальные.

Очевидно, что различие в геометрических размерах и конфигурациях транзисторов ИПС предопределяет значение коэффициентов парных корреляций.

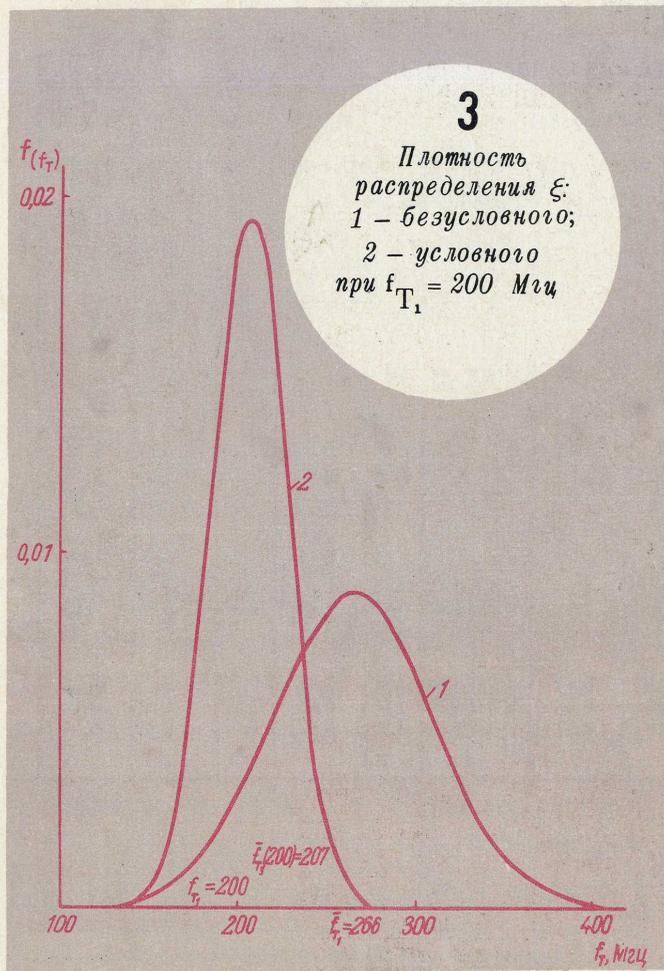
Применимость метода количественной оценки степени однородности рассмотрим на примере параметра предельной частоты усиления транзистора.

За параметры  $\xi_1$  и  $\xi_2$  примем предельную частоту усиления для транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  –  $f_{T_1}$  и

$f_{T_2}$ . Плотность безусловного распределения данного параметра для  $T_1$  изображена кривой на рис. 3 ( $m = 266$  МГц,  $\sigma = 45,5$  МГц). Закон распределения нормальный, что хорошо соответствует эксперименту.

Высокие значения парных корреляций ( $r = 0,89$ ) для величин  $f_{T_1}$  и  $f_{T_2}$  приводят к значительному смещению и деформации плотности условного распределения вероятностей для  $f_{T_2}$  (кривая 2 на рис. 3), если  $f_{T_1}$  приняло конкретное значение (например,  $f_{T_1} = 200$  МГц). В этом случае при заданном  $f_{T_1}$  генератор случайных величин для  $f_{T_2}$  должен выработать значение случайного числа в соответствии с плотностью распределения. Поэтому в расчетах схемы будут практически отсутствовать значения  $f_{T_2}$ , лежащие за пределами  $m_2(f_{T_1}) \pm 3\sigma_{f_{T_2}}(f_{T_1})$ .

В случае высокой однородности параметров компонентов отпадает потребность в их 100%-ном контроле. Осуществив полный контроль лишь одного компонента соответствующего типа, остальные можно проверить на функционирование, что позволяет значительно сократить общий объем контрольных операций. Действительно, как следует из рис. 1, если результаты измерения параметра



$f_{T_1}$  первого компонента попали даже на границы зоны АВ, то параметры второго и других компонентов с достоверностью  $\alpha = 0,95$  не выйдут за пределы технологического допуска CD. Однако если результаты измерения первого компонента показали, что  $f_{T_1}$  находится в зонах СА или ВD, то необходимо проводить измерение  $f_{T_i}$  всех остальных компонентов. Здесь ( $i = 2, 3, \dots$ ), безусловно, необходимо при выборе зоны CD (или АВ) учитывать точностные характеристики измерительного прибора.

Очевидно, что существенное сокращение времени измерения возможно в следующих случаях:  
— при высоких значениях коэффициентов корреляций (действительно, с ростом  $r$  убывает  $\sigma_2(f_{T_1})$ , поэтому область АВ растет, приближаясь к CD);

— при работе измерительной установки в комплексе с вычислительным устройством, которое оперативно могло бы вводить информацию в измерительное устройство о характере последующих замеров.

■ Предложена методика количественной оценки степени однородности компонентов ИПС, основанная на расчете коэффициентов парных корреляций.

■ Получены результаты расчета однородности параметров транзисторов с различными конфигурациями и геометрией, а также показано, что для ряда параметров ( $f_T, U_{кЭН}$ ) имеет место высокая однородность, коэффициенты корреляции близки к единице.

■ На основании полученных результатов предложен способ использования показателей однородности в задачах проектирования ИПС, а также при контроле ИПС в условиях производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М., Физматгиз, 1965.
2. Голенко Д.И. Моделирование и статистический анализ псевдослучайных чисел на ЭВМ. М., "Наука", 1965.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. Перев. с англ. под ред. А.Н. Колмогорова. ИИЛ, 1948.
4. Янко Я. Математико-статистические таблицы. Госстатиздат, 1961.

УДК 621.382.3.012.001.4



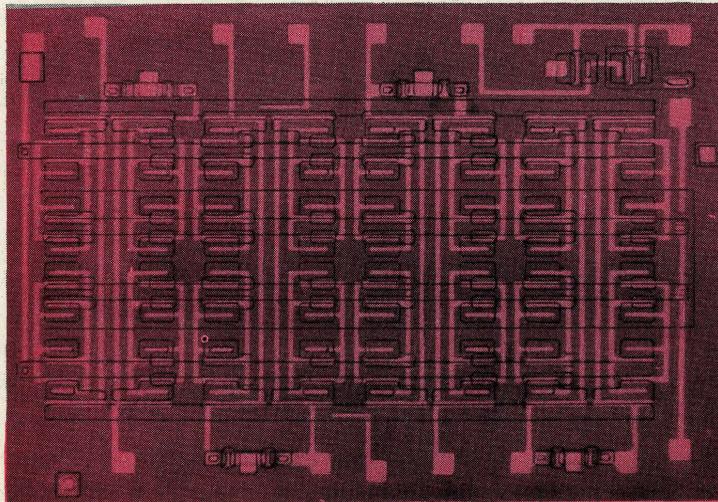
Выпускаемый со Знаком качества

ТРЕХХЛОРИСТЫЙ ФОСФОР ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В КАЧЕСТВЕ ЛЕГИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДИСКРЕТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ. СОДЕРЖАНИЕ ПРИМЕСЕЙ НЕ БОЛЕЕ  $1 \cdot 10^{-6} \%$ .

В.К.ПРЯДИЛОВ,  
В.П.СТАРЕНЬКИЙ,  
Г.Ф.ВАСИЛЬЕВ,  
А.П.ДОРОФЕЕВ,  
А.Т.ЯКОВЛЕВ

# ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ И МАТРИЦЫ НА ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩИХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

На основе анализа схем элементов памяти на взаимодополняющих МОП-транзисторах выбрана оптимальная схема. Предложен критерий оптимальности для построения экономического ЗУ с высоким уровнем интеграции.



Схемы элементов памяти, выполненные на взаимодополняющих МОП-транзисторах, отличаются ничтожно малой величиной потребляемой статической мощности, высокими быстродействием и помехоустойчивостью. Кроме того, такие элементы позволяют экономно использовать площадь кремниевой пластины (по сравнению с биполярными схемами) и допускают возможность значительного отклонения параметров компонентов при их изготовлении, что существенно увеличивает процент выхода годных. Эти особенности элементов памяти на взаимодополняющих МОП-транзисторах делают их перспективными для построения матриц накопителя ЗУ большого объема.

Существует два способа построения схем запоминающего элемента на основе триггера [1]. При первом способе построения информационный

ток проходит через бистабильную схему и цепи управления, при втором — только по цепям управления, минуя бистабильную схему. Выбор способа построения схемы элемента памяти определяется теми требованиями, которые предъявляются к элементу (скорость изменения состояний в элементе, устойчивость к помехам, экономичность, простота построения топологии).

На рис. 1 приведена схема запоминающего элемента, в которой цепь положительной обратной связи триггера (транзисторы  $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) разрывается при записи информации. В статическом состоянии транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  открыты, а  $T_3$  и  $T_4$  закрыты. Таким образом, цепь обратной связи замкнута, а вход триггера закрыт для сигналов, идущих по разрядной шине.

Условие записи информации в элемент:

$$U_{\text{ч}} = 0; \bar{U}_{\text{ч}} = E_{\text{п}}.$$

При этом транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  закрываются (разрывается обратная связь) и вход триггера (точка  $a$ ) соединяется через открытые транзисторы  $T_3, T_4$  с разрядной шиной. После передачи информации на вход триггера цепь обратной связи замыкается.

Условие считывания информации:

$$U_{\text{ч}} = U_{\text{р}} = 0.$$

При считывании (если был записан "0") транзисторы  $T_7, T_{10}$  открываются и по низкоомной разрядной шине протекает информационный ток.

Как видно из работы схемы, информационный ток не протекает через триггер-хранитель информации. Поэтому схема является потенциально высоконадежной. Наличие двух транзисторов ( $T_3$  и  $T_4$ ) необходимо, во-первых, для получения минимального времени записи "0" или "1" (поскольку один из них всегда работает в режиме с общим истоком), во-вторых, для работы с уровнями напряжения, не превышающими величину источника питания. Все транзисторы могут быть выполнены одинаковых размеров.

Допустив некоторое уменьшение скорости записи, схему рис. 1 можно упростить, как это показано на рис. 2. Полученная схема содержит меньшее число транзисторов. Для нее условие замыкания обратной связи (статическое состояние) следующее:

$$|U_{\text{ч}}| \geq |U_0|,$$

где  $U_0$  — пороговое напряжение транзистора  $T_6$ .

При выбранном расположении полюсов источника питания  $U_{\text{ч}}$  для р-канального транзистора  $T_6$  должно быть отрицательным, т.е.

$$U_{\text{ч}} = -U_0 - \Delta U_0 = -(U_0 + \Delta U_{\text{ор}}),$$

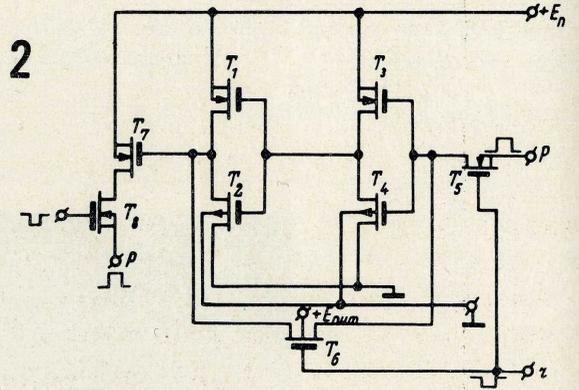
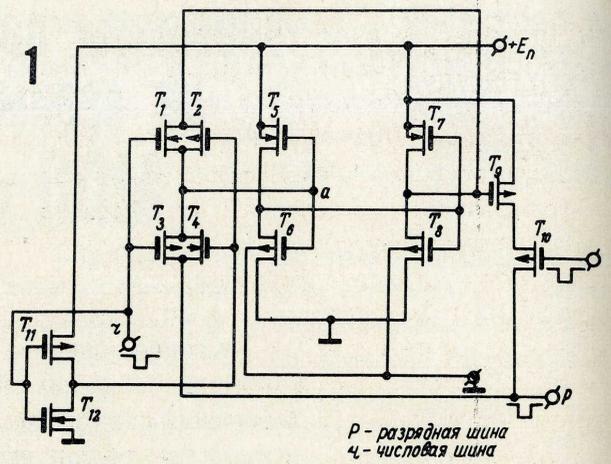
где  $U_{\text{ор}}$  — увеличение порогового напряжения из-за влияния напряжения смещения со стороны подложки.

Для n-канального транзистора  $T_6$

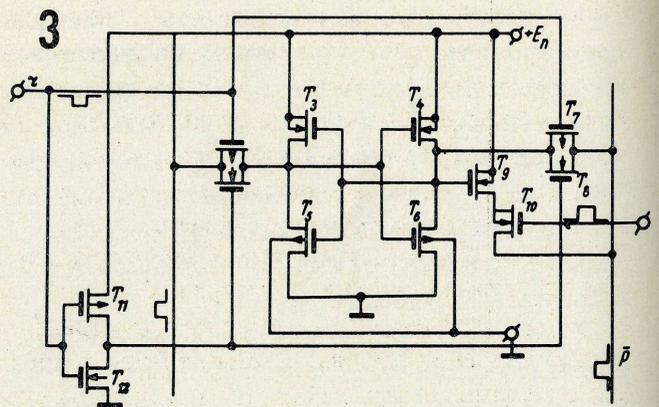
$$U_{\text{ч}} = U_{0\text{п}} + \Delta U_{0\text{п}} + E_{\text{п}}.$$

Итак, напряжение числовой шины должно быть либо отрицательным, либо положительным (для последнего случая  $U_{\text{ч}} > E_{\text{п}}$ ).

Неразрушающее считывание происходит так же, как в схеме, приведенной на рис. 1. Здесь все транзисторы, как и в предыдущем случае, могут быть выполнены одинаковых размеров.



На рис. 3 показана схема элемента, в основу построения которой положено требование получения максимального быстродействия. В режиме записи "0" или "1" на две разрядные шины  $p, \bar{p}$  одновременно поступают сигналы  $U_{\text{р}}$  и  $\bar{U}_{\text{р}}$ . Таким образом, информация записывается в каждое плечо триггера. Скорость записи в этом случае определяется скоростью перезаряда узловых емкостей через управляющие транзисторы  $T_1, T_2, T_7, T_8$ .



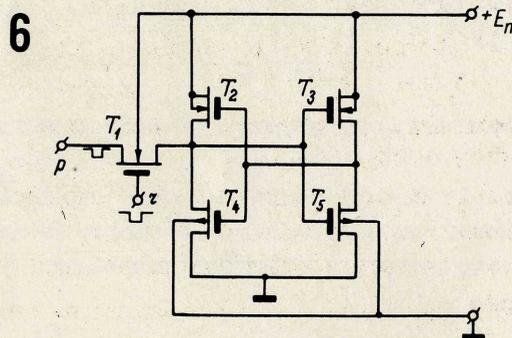
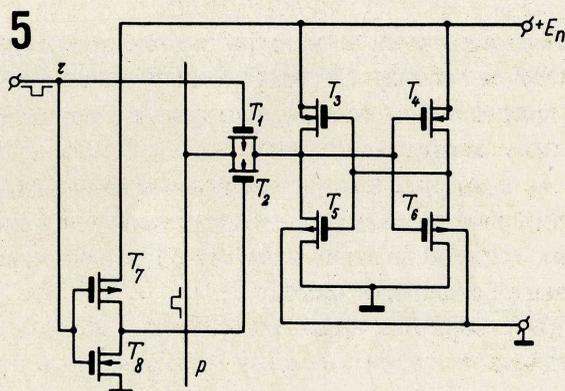
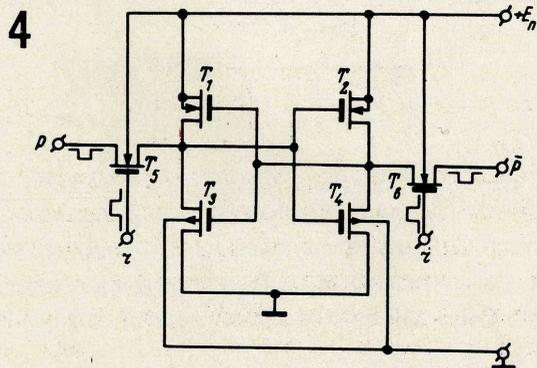
Поскольку триггеру отводится в данном случае только роль хранителя информации, то для уменьшения потребляемой статической мощности размеры транзисторов  $T_3 - T_6$  следует уменьшать до технологически приемлемого предела. Так как информационный ток протекает через триггер, то управляющие транзисторы следует выбирать большими, чем триггерные. Если пойти на некоторое ухудшение быстродействия элемента, то схему можно значительно упростить (рис. 4), и напряжение на числовой шине при записи "0" или "1" не будет превышать напряжения источника питания. Неразрушающее считывание осуществляется либо соответствующим выбором амплитуды сигнала числовой или разрядной шины, либо за счет выбора длительности сигнала считывания, либо за счет выбора геометрии транзисторов  $T_5, T_6$ . Для сокращения числа сигнальных шин можно использовать одноплечевое управление триггером (рис. 5). В этой схеме амплитуда импульсов числовой шины не превышает напряжения источника питания. Все вышперечисленные схемы имеют значительное количество транзисторов и несколько сигнальных шин.

Авторами предложена схема запоминающего элемента (рис. 6), состоящая из бистабильной схемы ( $T_2 - T_5$ ) и всего лишь одного управляющего транзистора  $T_1$ . Схема имеет минимально возможное число транзисторов и сигнальных шин. В качестве управляющих транзисторов целесообразно выбирать  $p$ -канальные (в данной работе рассматривались схемы, выполненные на Si  $n$ -типа), так как применение  $n$ -канальных транзисторов, располагаемых в "кармане"  $p$ -областей кремниевой пластины, потребовало бы увеличения площади "кармана" и соответственно увеличения потребляемой статической мощности. К тому же влияние напряжения смещения подложки для  $n$ -канальных транзисторов больше, чем для  $p$ -канальных.

Было проведено экспериментальное исследование четырех схем (рис. 3, 4, 5, 6), в которых использовался один и тот же триггер в виде интегральной твердой схемы. Время записи определялось как минимальная длительность числовых импульсов (сигнала выборки) на уровне 0,5 от их амплитуды, время считывания — как задержка сигнала на выходе усилителя считывания (во всех случаях оно составляло 5  $\mu\text{сек}$ ). Входная емкость регистратора сигналов не превышала 1  $\text{пф}$ . Результаты испытаний приведены в таблице.

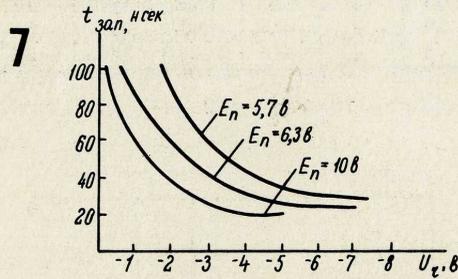
Наименьшее время записи — у элемента с двумя разрядными шинами и симметричной схемой управления, наибольшее — у элемента с однострансistorным управлением (однако число транзисторов и число сигнальных шин в последнем случае наименьшее).

Схема элементов	Число транзисторов	Число сигнальных шин	Амплитуда записи, $\phi$	Амплитуда считывания, $\phi$	Время записи, $\mu\text{сек}$	Статическая мощность, $\text{мквт}$
Рис. 3	12	3	+6,3	+6,3	20	1,5
Рис. 4	12	4	+6,3	+6,3	10	1,5
Рис. 5	6	3	+6,3	+6,3	20	0,5
Рис. 6	5	2	-6,3	0	30	0,5



Поскольку задержка сигнала выборки в цепях выборки реального устройства оказывается более 10  $\mu\text{сек}$ , то разницу во времени записи (10–30  $\mu\text{сек}$ ) можно считать несущественной. В качестве критериев оценки элементов, приведенных в таблице, были приняты быстродействие, потребляемая статическая мощность, число сигнальных шин и число транзисторов на элемент. В результате как оптимальная для построения матриц накопителя была выбрана схема элемента памяти, показанная на рис. 6.

На рис. 7 приведена зависимость времени записи от амплитуды числовых импульсов для различных значений питающего напряжения выбранного элемента.



Итак, для построения запоминающих устройств на МОП-транзисторах целесообразно использовать запоминающий элемент, содержащий минимальное количество активных компонентов и одну общую сигнальную шину для записи и считывания информации.

### Построение оптимальной интегральной матрицы накопителя

При построении накопителя запоминающего устройства со "словарной" организацией из интегральных матриц запоминающих элементов возникает проблема оптимальной функциональной связи элементов в матрице или выбора оптимальной матрицы. Решение ее связано с тем критерием оптимальности, который положен в основу разбиения накопителя на отдельные блоки.

Если выбрать в качестве критерия оптимальности количество выводов  $K$  в интегральной матрице, определяющее количество междухемных функциональных соединений в накопителе  $K_H$ , то для матрицы ЗУ

$$K = n + m,$$

где  $n$  — количество слов в матрице,  $m$  — количество разрядов.

Поскольку емкость матрицы  $q = nm$  определяется технологически достижимой степенью интеграции, будем считать  $q$  величиной постоянной. В этом случае

$$K = \frac{q}{m} + m.$$

$K$  минимально при  $m = n = \sqrt{q}$

$$K_{\min} = 2\sqrt{q},$$

т. е. оптимальным является построение "квадратной" матрицы с количеством слов, равным количеству разрядов. Другими словами, количество элементов, приходящееся на один вывод, в этом случае будет максимальным [1]. Однако при такой структуре матрицы значительное количество раз-

рядов при построении накопителя может оказаться избыточным, т. е. матрица будет не универсальной для ЗУ различного объема. В наихудшем случае избыточными могут оказаться все разряды, кроме одного, во всех числах. Максимальная избыточность накопителя

$$S = N(m - 1),$$

где  $N$  — число слов накопителя ЗУ.

Если выбрать в качестве критерия оптимальности величину избыточности накопителя, то оптимальной будет одноразрядная матрица. Таким образом, при выборе критерия оптимальности необходимо учитывать как количество междухемных функциональных соединений  $K_H$ , так и избыточность накопителя  $S$ . Если в качестве критерия оптимальности выбрать сумму  $S + K_H$ , где  $K_H = (\frac{q}{m} + m) \frac{NM}{q} +$

$$+(\frac{q}{m} + m) \frac{N(m-1)}{q}, \text{ то } S + K_H = N(m-1) +$$

$$+(\frac{q}{m} + m) \times \frac{N}{q} (M + m - 1).$$

$$\text{Полагая } \overline{S + K_H} = \frac{S + K_H}{NM},$$

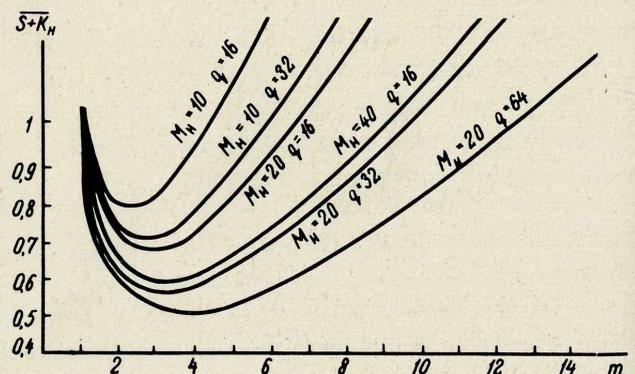
$$\text{получим } \overline{S + K_H} = \frac{m-1}{M} + (\frac{1}{m} + \frac{m}{q})(1 + \frac{m-1}{M}).$$

Оптимальное число разрядов в матрице

$$m_{\text{опт}} = \frac{d(\overline{S + K_H})}{dm} = 0.$$

Так как при этом аналитическое выражение для  $m_{\text{опт}}$  оказывается громоздким, то целесообразно пользоваться графическим решением (рис. 8). Из рисунка видно, что с увеличением  $q$  оптимальные значения  $m$  сдвигаются вправо, а с увеличением  $M$  "эффективность" такого оптимума увеличивается.

8



Количество слов в матрице  $n$  должно удовлетворять равенству:  $n = 2^j$ , где  $j = 1, 2, 3, 4 \dots$

Учитывая, что накопитель связан с дешифратором, необходимо выполнение следующего условия:  $N = A \cdot 2^j$ . Тогда для  $q = 16$  и  $m_{\text{ОПТ}} = 2$   $n_{\text{ОПТ}} = 8$ . Если уровень интеграции  $q = 32$ , то  $m_{\text{ОПТ}} = 3$ . Однако при этом не выполняется равенство  $n = 2^j$ . Из графика также видно, что скорость роста  $\overline{S+K}_n$  слева от точки  $m = m_{\text{ОПТ}}$  выше, чем справа. При  $q=64$   $m_{\text{ОПТ}} = m = 4$ ,  $n = 2^3 = 8$ .

На фотографии, приведенной в начале статьи, показана матрица из восьми двухразрядных слов, построенная на основе выбранного оптимального запоминающего элемента. Матрица включает в себя 48  $p$ -канальных и 32  $n$ -канальных транзистора и содержит всего 12 внешних выводов, расположенных на кремниевой подложке  $2 \times 1,5$  мм. Напряжение питания матрицы +6,3 в. Потребляемая статическая мощность не превышает 10 мквт. Время записи информации не более 60 нсек, время считывания – не более 10 нсек.

Блок, составленный из таких матриц, содержит малое количество выводов. На четыре матрицы (по 16 бит в каждой) имеется всего лишь один вывод на 4 бит.

Таким образом, использование предложенного критерия оптимальности при изготовлении матриц накопителя ЗУ на взаимодополняющих МОП-транзисторах позволяет свести к минимуму количество междусхемных соединений при максимально достижимом уровне интеграции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Katz S., Hanchett C. The development of a large integrated complementary MOS memory Comput.Design. 1968, v. 7, N 1, p. 44.
2. Гордеев Б.К. Об оптимальном разбеге структур интегральных запоминающих устройств. "Микроэлектроника", 1969, вып.3.

УДК 681.327.6:621.382.323

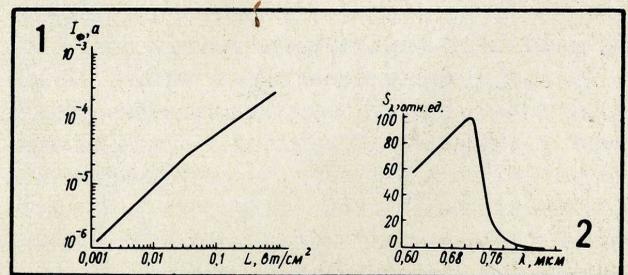
П.С.КИРЕЕВ, А.Г.КОРНИЦКИЙ, Н.М.КАНДАУРОВ

## ПЛЕНОЧНЫЕ ФОТОРЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ CdSe

Проведено исследование фоторезисторов на основе монокристаллических пленок селенида кадмия, полученных методом химической транспортной реакции в открытой системе. Селенид кадмия осаждали на подложки из сапфира с ориентациями (0001) и (1120), а также на флюорит и слюду в плоскости (111) и (001) соответственно. Полученные пленки обладали гладкой зеркальной поверхностью.

Измерения фотоэлектрических свойств пленок проводили при модулированном и постоянном освещении при комнатной температуре. При освещении белым светом измеряли люкс-амперные характеристики (ЛАХ) (рис.1) и исследовали формы фотоответа. Темновое сопротивление пленок составило  $10^7 - 10^{10}$  ом (кратность изменения сопротивления для различных пленок  $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^7$  при освещенности у поверхности пленок  $6,3 \cdot 10^{-1}$  вт/см<sup>2</sup>). Абсолютная фоточувствительность исследованных пленок –  $5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}$  а/в · вт. Наклон сублинейного участка для различных пленок различный и составляет  $0,5 > a \leq 0,78$ , что обусловлено процессом прилипания или наличием в запрещенной зоне центров чувствительности. Величина освещенности, при которой наблюдается перегиб ЛАХ, для различных пленок составила  $(0-2) \cdot 10^2$  вт/см<sup>2</sup>. Отдельные пленки имели сублинейную ЛАХ во всем интервале освещенностей.

На рис.2 показан типичный спектр фототока в области линейной ЛАХ. Максимум фототока находится при  $\lambda = 0,71$  мкм и соответствует ширине запрещенной зоны селенида кадмия. Кривые спада и нарастания фототока имеют два экспоненциальных участка с постоянными времени  $\tau_1 = 10^{-2}$  сек и  $\tau_2 = 10^{-3}$  сек. На пленках не наблюдались процессы релаксации со временем  $10^{-2}$  сек.



Приведенные выше значения параметров пленок близки к значениям, которые характеризуют промышленные фоторезисторы на основе поликристаллических таблеток селенида кадмия. Описанные монокристаллические пленки могут успешно использоваться в электронной технике.

УДК 621.383.52.029.64.546.28

# НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ

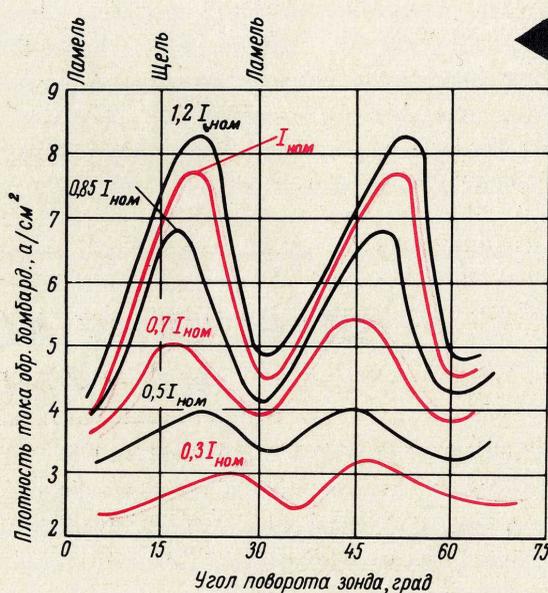
Обратная бомбардировка катода магнетрона имеет азимутально-периодический характер. Пространственный заряд магнетрона является пульсирующим.

Сложность явлений в области пространственного заряда и особенно в прикатодной области магнетрона весьма затрудняет аналитическое определение траекторий электронов в пространстве взаимодействия и расчет электрических параметров прибора. В связи с этим представлялось целесообразным экспериментально исследовать характер процессов, происходящих при электронной бомбардировке катода. С этой целью использовали метод вращающегося зонда. Последний находился в подвижном катоде и представлял собой плоскую металлическую пластину в щели прямоугольной формы, электрически изолированную от катода. Для вращения катода с зондом в работающем магнетроне использовали гибкое вакуумное сочленение.

На рис. 1 приведена зависимость плотности тока в цепи зонда от угла поворота зонда для различных значений анодного тока магнетрона. Видно, что ток обратной бомбардировки (катода) носит периодический характер, причем число периодов токораспределения равно числу ламелей анода, а ток зонда при неизменной величине индукции магнитного поля пропорционален величине анодного тока. При дальнейшем вращении зонда полученная зависимость периодически повторяется.

Используя метод тормозящего поля, можно определить энергетическое распределение электронов, возвращающихся на катод. Оказывается, что энергия этих электронов также пропорциональна величине анодного тока магнетрона и характеризуется периодическими изменениями по азимуту пространства взаимодействия. Таким образом, мощность обратной бомбардировки отдельных участков катода может резко различаться. Участки, где обратная бомбардировка более интенсивна, при изменении режима работы магнетрона перемещаются по азимуту катода и в номинальном режиме расположены приблизительно между плоскостями, проходящими через середину щели и соответственно через середину ламели анода.

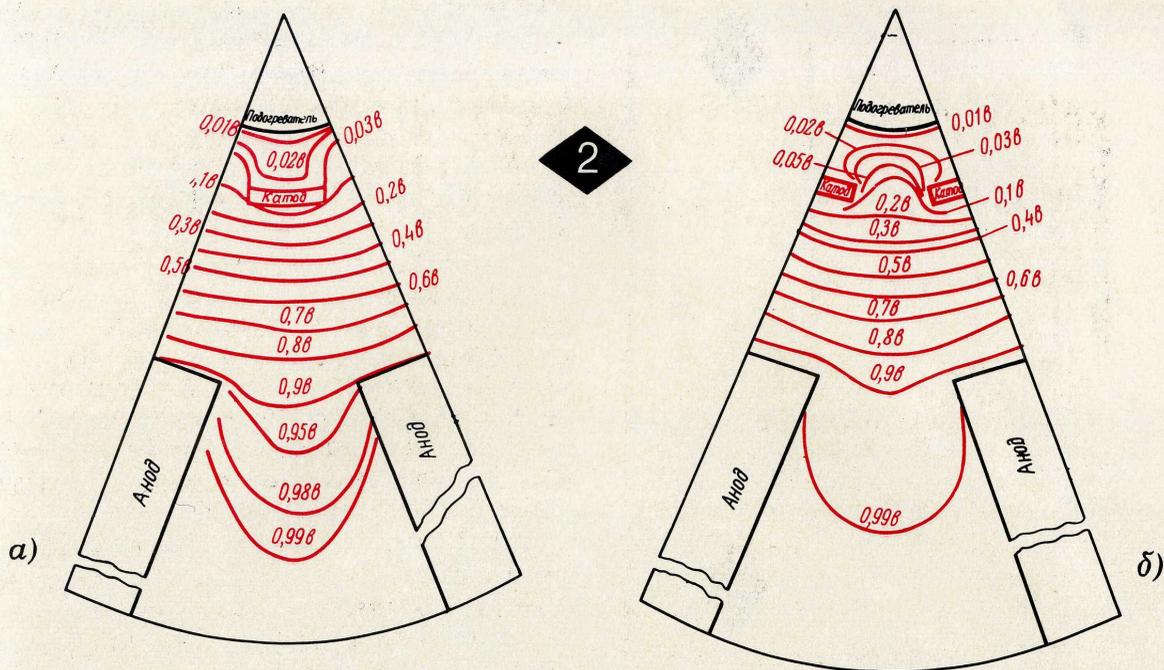
С целью проверки результатов зондовых измерений был проведен ряд экспериментов с секци-



онированным катодом, имеющим продольные разрезы, отделяющие один участок, покрытый активным слоем, от другого. Число активных секций в таком катоде равнялось числу щелей резонаторной системы, а ширина каждой секции соответствовала проекции щели на поверхность катода. При работе магнетрона секционированный катод можно было вращать вокруг его оси.

Для оценки возможных искажений поля в пространстве взаимодействия такую структуру помещали в электролитическую ванну. На рис. 2, а показано распределение потенциалов при расположении активной секции против щели, а на рис. 2, б — против ламели анодного блока. Видно, что вблизи резонаторной системы "дискретность" катода не вносит существенного искажения в поле, а вблизи катода последнее изменяется периодически, причем пространственный период равен шагу структуры катода.

В процессе данного эксперимента фиксировали значения основных электрических параметров



магнетрона при различных углах поворота секционированного катода относительно резонаторной системы. Вращение катода производили в пределах одного шага системы (при больших углах поворота явления периодически повторяются).

На рис.3 приведено семейство рабочих характеристик магнетрона для случая, когда активные секции катода расположены там, где в соответствии с данными зондовых измерений обратная бомбардировка наиболее интенсивна. На рис.4 показан противоположный случай – секции попадают в область наименьшей бомбардировки.

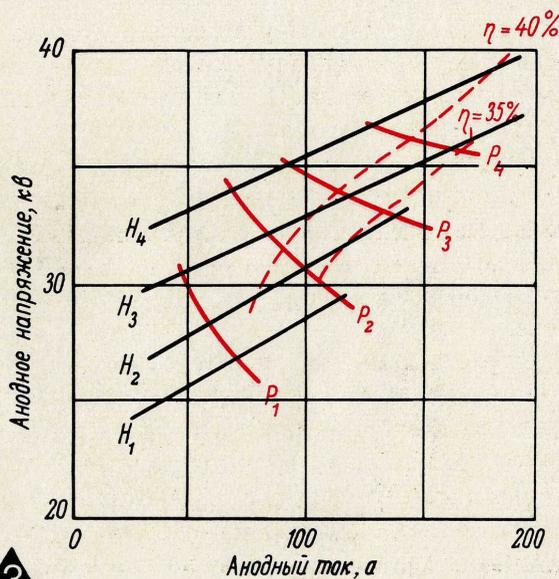
Зависимость дифференциального сопротивления магнетрона от угла поворота катода дана на рис.5. При вращении секционированного катода в пределах одного шага резонаторной системы это сопротивление изменяется приблизительно вдвое.

Изменение выходной мощности при вращении катода иллюстрируется рис.6 (при неизменном значении подводимой мощности).

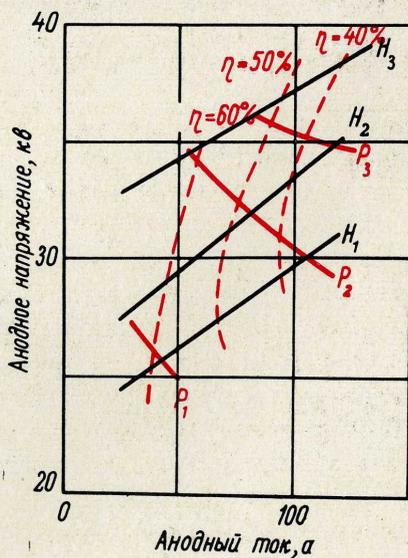
Наконец, как следует из рис. 7, электронное смещение генерируемой частоты в указанных условиях меняется в несколько раз.

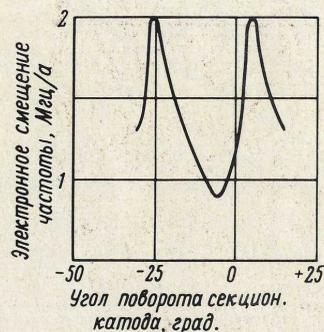
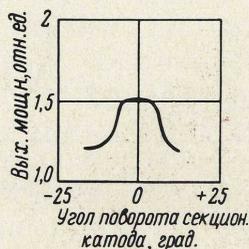
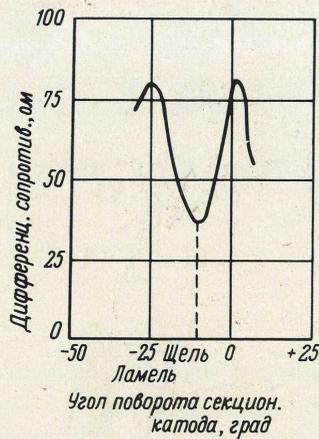
Таким образом, при вращении секционированного катода электрические параметры магнетрона периодически изменяются. Это подтверждает полученный из зондовых измерений вывод об азимутальной периодичности эмиссии с катода.

Можно считать, что области наиболее интенсивной обратной бомбардировки (на катоде) соответствуют участкам повышенной вторично-электронной эмиссии. Действительно, из того факта, что дифференциальное сопротивление магнетрона увеличивается или уменьшается почти в два раза при повороте активных секций на половину шага резонаторной системы, следует, что эффективная поверхность катода при этом также изменяется



3  
4





приблизительно вдвое. Минимальная величина дифференциального сопротивления достигается, когда секции расположены там, где обратная бомбардировка наиболее интенсивна. При этом положении катода магнетрон обладает наибольшими выходной мощностью и коэффициентом полезного действия и наименьшим электронным смещением частоты.

Следовательно, напрашивается вывод, что пространственный заряд магнетрона не может быть представлен в виде известной модели "вращающегося колеса со спицами и ступицей", ибо в таком случае интенсивность обратной бомбардировки по периметру катода была бы равномерной и не зависела бы от азимута пространства взаимодействия. На это обстоятельство впервые обратил внимание А.П.Федосеев в 1948 г.

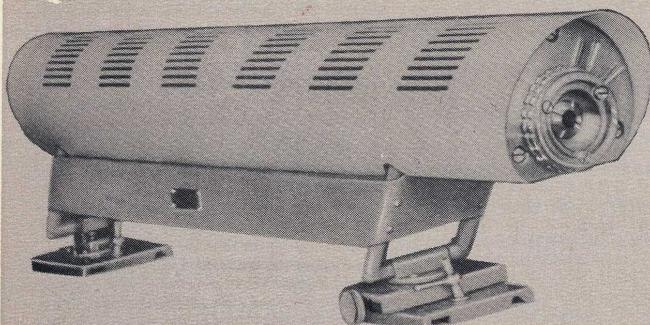
При больших амплитудах колебаний на вращающийся электронный заряд магнетрона накладывается пространственная модуляция, приводящая к пульсации заряда. Поэтому вместо упомянутой модели может быть предложена такая, которая лучше согласуется с экспериментом, а именно модель "колеса с пульсирующими спицами". Последние можно рассматривать как электронные уплотнения, простирающиеся от катода до анода. При работе магнетрона на П-виде колебаний эти уплотнения образуются поочередно (через период изменения высокочастотного поля) под четными и нечетными резонаторами. Движение электронов в области пространственного заряда в среднем можно считать прецессирующим, как это и должно быть для случая скрещенных электрического и магнитного полей.

Результаты исследования необходимо учитывать при развитии теории, которая обычно предполагает взаимодействие электронов только с основной пространственной гармоникой, а также при расчете нагрузки на катод.

УДК 621.385.64.032.21:537.533

## газовый оптический квантовый генератор

# ЛГ-17



### ПРИМЕНЯЕТСЯ

- В ЛАБОРАТОРНЫХ, ПРОМЫШЛЕННЫХ И ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ
- ПРИ ОБРАБОТКЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
- В СИСТЕМАХ СВЯЗИ
- В ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ И МЕДИЦИНЕ.

Длина волны излучения  $10,6 \pm 0,1$  мкм  
 Выходная мощность излучения в течение длительного срока службы не менее 5 вт  
 Диаметр луча на выходе ОКГ 2 мм  
 Расхождение луча не более 15 угл. мин  
 Вес 25 кг

# МЕХНОЛОГИЯ



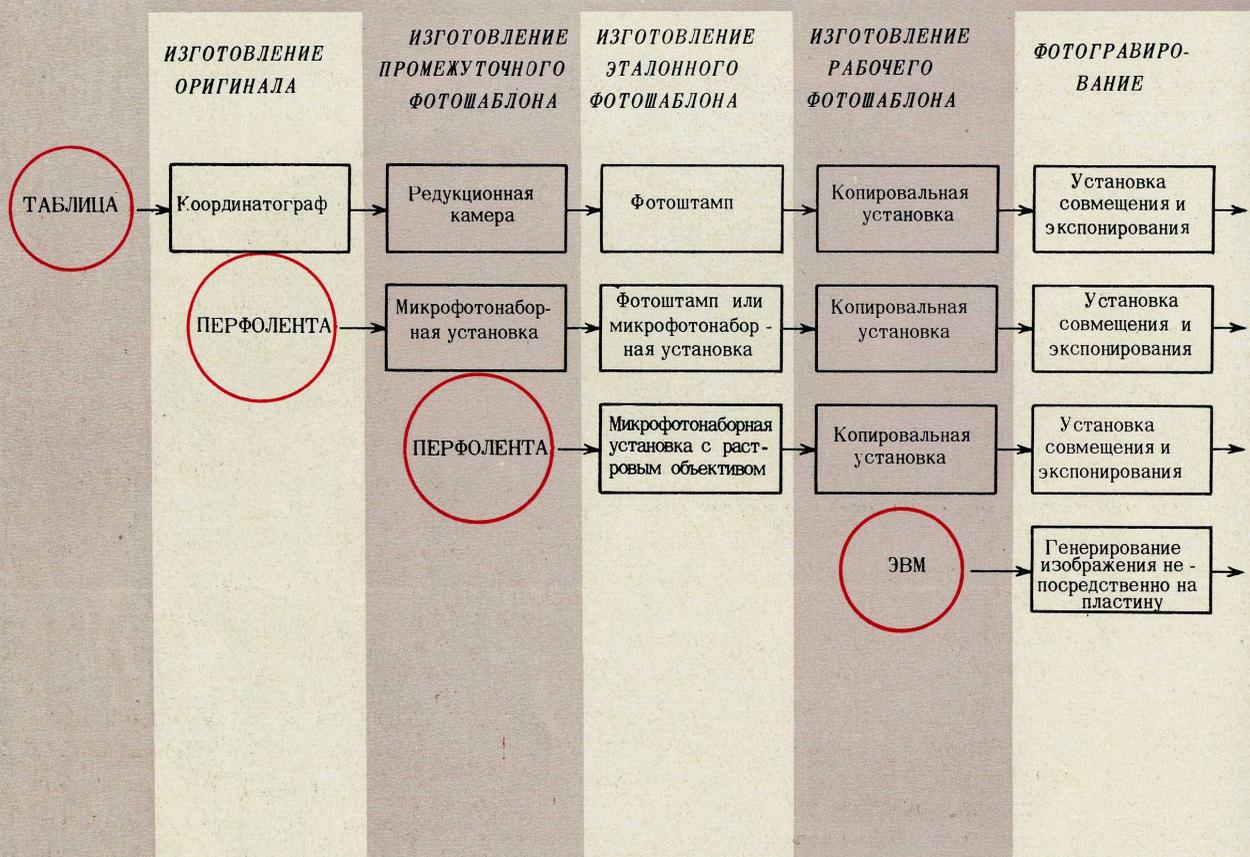
**ЭМ-624**

**базовая универсальная многозондовая установка  
с программным управлением**

■ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МОНОЛИТНЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ СХЕМ НА ПЛАСТИНЕ. ■ МОЖЕТ РАБОТАТЬ В КОМПЛЕКСЕ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ. ■ ПРИМЕНЯЕТСЯ ПРИ МАШИННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ИС И БИС.

Количество зондовых головок 58 шт. • Количество маркировочных головок 4 шт. • Ход стола по двум координатам 75 мм. • Точность перемещения по шагу  $\pm 0,005$  мм. • Ход предметного стола в вертикальной плоскости 0,15–0,2 мм. • Производительность при шаге 1 мм 12 000 операций/ч.

# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОТОЛИТОГРАФИИ



Применение в фотолитографических процессах оптико-механического оборудования высокой точности, фотоэлектрического контроля, "библиотек оригиналов", генераторов изображений обеспечит поступательное развитие микроэлектроники.

Фотолиитография на рубеже 50–60-х годов сделала возможным переход от сплавно-диффузионной технологии изготовления полупроводниковых приборов к планарной, и сейчас сочетание методов фотолиитографии, диффузии и нанесения тонких пленок позволяет находить оптимальные варианты изготовления интегральных схем. Очевидно, что и в ближайшее десятилетие она останется

наиболее дешевым, производительным и доступным для промышленности методом. Такое оптимистическое заключение можно сделать на основании успехов, достигнутых в последние годы в области создания автоматического прецизионного оптико-механического оборудования для фотолиитографии в микроэлектронике.

Основной тенденцией развития микроэлектроники на современном этапе является резкое повышение степени интеграции, переход от интегральных схем к большим (БИС) и сверхбольшим (СБИС) интегральным системам. Высокая функциональная сложность БИС и СБИС определяет ограниченные возможности унификации изделий, которые будут выпускаться относительно небольшими партиями или изготавливаться по заказу единичными экземплярами. Производство таких устройств станет рентабельным только в том случае, если процессы проектирования и изготовления фотошаблонов будут дешевыми и достаточно быстрыми, если фотолитография обеспечит высокий выход годных. Традиционные процессы фотолитографии и имеющееся оборудование уже не удовлетворяют этим требованиям.

Существенным недостатком современных процессов фотолитографии в микроэлектронике является их многоступенчатость, что увеличивает сроки и стоимость изготовления фотошаблонов. На редуцированных камерах громоздкие оригиналы (до  $1,2 \times 1,2$  м) фотографируются с уменьшением — изготавливаются промежуточные фотошаблоны, которые затем на проекционных фотоштампах снова фотографируются с уменьшением и одновременно мультиплицируются. Многоступенчатость процесса повышает вероятность возникновения различных погрешностей. Приходится увеличивать допуск на совмещаемость, что в конечном счете приводит к ухудшению параметров приборов, или идти на заведомо низкий выход годных изделий. Получаемые фотошаблоны использовать непосредственно для фотогравирования невыгодно из-за их высокой стоимости и поэтому с них снимают фотокопии. Фотокопирование же ухудшает в свою очередь качество фотошаблонов.

Одним из наиболее перспективных методов, позволяющих повысить производительность и уменьшить многоступенчатость процессов фотолитографии в микроэлектронике, является микрофотонабор (топологический рисунок набирается из прямоугольных элементов последовательным экспонированием в соответствующих местах фотопластины изображения прямоугольной диафрагмы изменяемых размеров). Созданные микрофотонаборные установки сразу изготавливают промежуточный фотошаблон, совмещая две операции — изготовление оригиналов и первичный отъем; при использовании растрового объектива исключается еще и мультипликация. Получение фотошаблонов на этой установке обходится сравнительно недорого, и поэтому процесс копирования можно ликивидировать.

В отечественной промышленности уже эксплуатируются микрофотонаборные установки ЭМ-508\*. Разработана более совершенная микрофотонаборная универсальная установка ЭМ-519. Она имеет большее рабочее поле (до  $80 \times 80$  мм); число наборных элементов до  $1000 \times 1000$ . Информацию можно вводить как в абсолютных значениях координат положения прямоугольного элемента, так и в приращениях, причем положение элемента задается не его центром, а одним из углов. Установка может работать в пяти режимах: набор мультиплицированного фотошаблона через растровый объектив с уменьшением  $\times 300$ ; набор промежуточного фотошаблона с уменьшением  $\times 30$  с переходом без переналадки на режим мультипликации с уменьшением  $\times 10$ ; набор промежуточного фотошаблона с уменьшением  $\times 7,5$  с переходом без переналадки на режим мультипликации с уменьшением  $\times 2$ .

С помощью микрофотонаборных установок можно изготовить достаточно точные фотошаблоны, однако последовательное поэлементное экспонирование рисунка снижает производительность при изготовлении сложных коммутационных фотошаблонов БИС и СБИС. Особенностью коммутационных фотошаблонов является то, что в основном они состоят из линий (различаемых по ширине), расположенных вдоль регулярной прямоугольной сетки. Такие фотошаблоны целесообразно изготовлять методом сканирования (экспонирование линий перемещением фотопластины относительно неподвижного светового пятна).

Создана и проходит экспериментальную эксплуатацию сканирующая установка экспонирования межсоединений ЭМ-511, предназначенная для изготовления коммутационных фотошаблонов в производстве БИС методом "избирательных межсоединений". При непосредственном управлении от ЭВМ на установке ЭМ-511 можно за 10–15 мин изготовить комплект из четырех фотошаблонов (все фотошаблоны экспонируются одновременно). Успешно эксплуатируется при производстве гибридных интегральных схем установка ЭМ-518, в которой сочетаются два метода — фотонабор и сканирование.

Переход от традиционных методов фотолитографии в микроэлектронике к генерированию изображений только начался. Получены уже положительные результаты. Однако автоматизация получения топологических рисунков не решает до конца проблемы точности совмещения на последовательных операциях фотогравирования. Она еще зависит от точности работы фотоштампов и установок совмещения. На многопозиционных фотоштампах можно добиться точности совмещения до

\*"Электронная промышленность", 1970, № 1, стр. 75, 76.

нескольких микрон путем одновременного мультиплицирования всего комплекта фотошаблонов, причем ошибки позиционирования координатного стола практически не сказываются на совмещаемости. Сейчас стоит задача добиться точности совмещения до десятых долей микрона. Такую точность на многопозиционных фотоштампах получить нельзя, поэтому особо точные фотоштампы делают однопозиционными с координатными столами, оснащенными высокочувствительными фотоэлектрическими датчиками. Точность позиционирования лучших современных фотоштампов достигает  $0,2 \text{ мкм}$ . Высокой точности перемещения координатного стола недостаточно для обеспечения субмикронной точности совмещения комплекта фотошаблонов. Необходима еще точная установка промежуточного фотошаблона. Отечественные фотоштампы, да и большинство зарубежных, проецируют промежуточный фотошаблон с уменьшением  $\times 10$ . Для обеспечения совмещаемости порядка десятых долей микрона промежуточный фотошаблон необходимо устанавливать с точностью до микрона. Визуальные методы контроля базирования уже недостаточно эффективны, и в некоторых разработках прецизионных фотоштампов для этих целей предусматривается использование фотоэлектрических микроскопов. В конструкции разрабатываемых фотоштампов новым является применение фотоэлектрического контроля установки промежуточных фотошаблонов и "библиотеки оригиналов". В "библиотеку оригиналов" загружается несколько промежуточных фотошаблонов, которые, в соответствии с вводимой информацией, впечатываются в нужных местах при мультипликации. Это позволяет на одной подложке изготавливать несколько типов интегральных схем, что особенно важно при производстве БИС и СБИС.

Последней фотолитографической операцией является фотогравирование. До последнего времени на этой операции применялась в основном контактная печать. Для улучшения качества совмещения и исключения ошибок оператора созданы установки с фотоэлектрическим контролем совмещения. Первая такая экспериментальная установка ЭМ-507 показала возможность совмещения до  $0,2 \text{ мкм}$ . Разработана и проходит опытную эксплуатацию промышленная установка совмещения с фотоэлектрическим контролем ЭМ-521. Проводятся работы по созданию проекционных установок совмещения и экспонирования (создан объектив с рабочим полем диаметром до  $50 \text{ мм}$  и разрешающей способностью до  $600 \text{ линий/мм}$ , скоррегированный в двух участках спектра света: в коротковолновом — для экспонирования и в длинноволновом — для контроля совмещения).

В промышленном производстве интегральных схем фотогравироваемые элементы пока имеют минимальные размеры  $3 - 5 \text{ мкм}$ . Можно добиться

минимальных размеров элементов  $0,3 - 0,5 \text{ мкм}$ , если выполнить следующие условия: печать должна быть проекционной, а совмещение — автоматическим, нужно исключить фотошаблоны как источник погрешностей. Задача в этом случае сводится к генерированию изображений непосредственно на полупроводниковую пластину.

Достижение теоретического предела разрешения — гравирование в промышленном производстве ИС элементов с минимальными размерами  $0,3 - 0,5 \text{ мкм}$ , очевидно, является последней ступенью развития фотолитографии. Что будет дальше? Исходя из современного уровня знаний можно предположить, что фотолитографию сменит электронолитография — экспонирование фоторезиста электронными лучами. Может быть, электронно-ионная технология. Но это наступит не скоро. Фотолитография еще долго будет применяться в микроэлектронике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Райхан Я.А. Уникальная микрофотонаборная установка ЭМ-508. "Электронная промышленность", 1970, вып.1, стр.75.
2. Патент № 406444, 21д 11/02 (Швейцария). Способ и устройство для получения микроэлементов, необходимых в производстве полупроводниковых приборов по методу масок.
3. Б и х. Автоматизированная система изготовления фотошаблонов интегральных схем. "Электроника" (русс.перев.), 1968, № 3.

УДК 621.382.8.002.2:776



# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Интегральные схемы с диэлектрической изоляцией элементов обладают радиационной стойкостью, значительно превышающей стойкость приборов с изоляцией  $p-n$  переходом, и имеют более высокие пробивные напряжения.

Выбор метода изоляции является одной из серьезных проблем при создании интегральных схем. Что лучше: изоляция элементов интегральной схемы  $p-n$  переходом или диэлектрическая изоляция?

В результате исследований установлено, что интегральные схемы с диэлектрической изоляцией элементов по многим параметрам превосходят ИС с изоляцией  $p-n$  переходом. Например, ток утечки на подложку для окисла толщиной 3 мкм составляет  $0,6 \cdot 10^{-10}$  а/см<sup>2</sup>, т.е. на шесть порядков меньше, чем для случая изоляции обратным смещенным  $p-n$  переходом. Такие малые токи утечки полностью устраняют проблему развязки по постоянному току. Паразитная емкость для окисла толщиной 5 мкм составляет  $(0,16-0,30) \cdot 10^{-5}$  пф/мм<sup>2</sup>, что примерно на два порядка ниже емкости  $p-n$  перехода. Уменьшение емкости на подложку приводит к сокращению времени нарастания и спада импульса логической ячейки в 2-3 раза по сравнению с обычной изоляцией  $p-n$  переходом при тех же геометрических размерах элементов. Схемы с диэлектрической изоляцией имеют повышенную радиационную стойкость. Кроме того, благодаря исключению ряда термических процессов (диффузии "скрытого" слоя, разделительной диффузии) и связанных с ними окислений значительно уменьшается температурное воздействие на кремний. При условии применения бездислокационного кремния это дает возможность производить схемы с улучшенными электропараметрами при достаточно высоком проценте выхода годных приборов.

Однако производству ИС с диэлектрической изоляцией элементов присущ ряд специфических недостатков. Повышение степени интеграции сдерживается значительными размерами канавок, получаемых при травлении кремния. Процент выхода годных структур существенно снижается за счет деформации кремниевых пластин

при наращивании изолирующего окисла и поликристаллического кремния, что вызвано различными коэффициентами термического расширения кремния, двуокиси кремния и поликристаллического кремния. Значительным недостатком является также большая площадь, занимаемая ИС с диэлектрической изоляцией.

Были проведены исследования по выбору оптимального способа нанесения изолирующего окисла и поликристаллического кремния, а также по введению анизотропных травителей кремния.

## Получение изоляционного окисла

Окисел выращивался из газовой смеси состава  $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$  в реакторе для эпитаксиального наращивания. Применение паров воды вместо двуокиси углерода в качестве окислительного реагента улучшает структуру получаемой окисной пленки (при использовании  $\text{CO}_2$  пленка содержит заметное количество кристаллических включений карбида кремния). Слой окисла, прилегающий к кремнию, имеет наведенную подложкой упорядоченность структуры. Несоответствие кристаллических решеток кремния и окисла достигает 12%.

По замеру стрелы прогиба пластин удалось определить величину напряжения в окисной пленке и кремниевой пластине. В окисле толщиной 6 мкм на кремниевой подложке толщиной 200 мкм напряжения достигают величины  $4,9 \cdot 10^2$  кГ/см<sup>2</sup>. В этом случае напряжения возникают только из-за разности коэффициента термического расширения и не связаны с реакцией окисления кремния. При термическом окислении область, где происходит образование окисла, ограничена двумя относительно жесткими фазами кремния и окисла. В этом одна из причин отказа от использования термического окисла для изоляции элементов ИС.

## Наращивание поликристалла

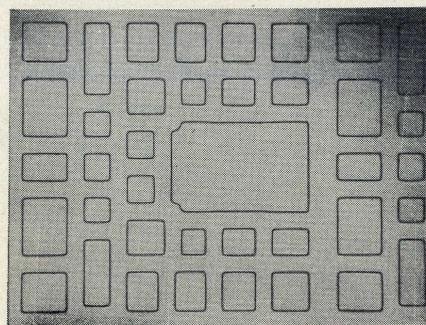
Для образования центров кристаллизации на пленке применяли специальную химическую обработку. Наличие поликристаллического кремния позволило значительно снизить деформацию кремниевых пластин.

## Анизотропное травление

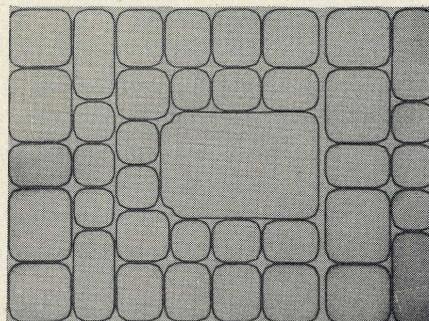
При применении анизотропных травителей травление вдоль плоскости (100) идет в 30 раз быстрее, чем вдоль плоскости (111). В результате образуется V-образная канавка, глубина которой зависит только от исходной ширины дорожки в окисле. Травление практически прекращается при пересечении плоскостей (100) и (111). Операция вытравливания канавок становится некритичной. Ширина и глубина канавок легко регулируются. Расстояние между коллекторными областями ИС может быть уменьшено до 10 мкм, вследствие чего плотность монтажа значительно повышается.

При толщине эпитаксиальной пленки  $8 \pm 1$  мкм, ширине дорожки в окисле  $12 \pm 0,2$  мкм с учетом допуска на совмещение и расположение коллекторного контакта и изоляционного  $p^+$  — объема обычный транзистор  $n-p-n$  типа занимает площадь  $350 \times 350$  мкм, в то время как при электрической изоляции с применением анизотропного травителя занимаемая транзистором площадь уменьшается до  $180 \times 180$  мкм, т.е. примерно в четыре раза. Уменьшение ширины изолирующих дорожек при применении анизотропного травителя наглядно показано на рис.1, а и б. Для сравнения укажем, что в серии интегральных схем, выпускаемых американской фирмой Texas Instruments Inc. типа № 54/74, ширина изоляционных дорожек с учетом боковой диффузии составляет величину порядка 30 мкм (в нашем случае 10 мкм). Соответственно двойной  $j-k$  триггер № 54/73 размещается на кристалле размером  $1,8 \times 1,6$  мм, в то время как тот же двойной  $j-k$  триггер с использованием процесса анизотропного травления кремния с ориентацией (100) размещается на кристалле  $1,6 \times 1,4$  мм. В настоящее время ведутся работы по уменьшению расстояния между элементами до 5 мкм и менее (рис. 2).

Выращивание окисла из паровой фазы с использованием воды в качестве окисляющего реагента, создание центров кристаллизации перед нанесением поликристаллического кремния и подбор оптимальных технологических условий процесса нанесения уменьшают деформацию кремниевых пластин. Соответственно повышается процент выхода годных структур. Применение анизотропного травителя повышает плотность рас-



а)



б)

Рис.1. Диэлектрические изолированные структуры, полученные на кремнии: а — травление вдоль плоскости (111); б — вдоль плоскости (100)

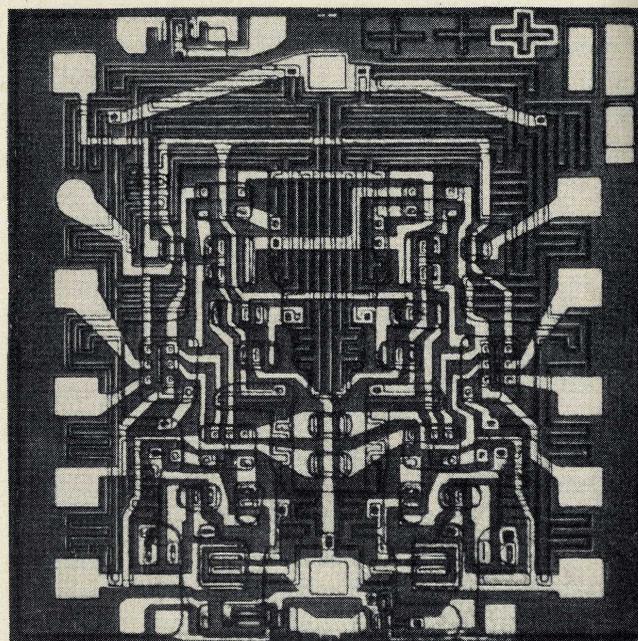


Рис.2. Общий вид одинарного  $j-k$  триггера

положения элементов. Благодаря этим преимуществам использование электрической изоляции элементов ИС во многих случаях более целесообразно, чем изоляция с помощью  $p-n$  переходов.

УДК 621.382.8.002.2

# НАРАЩИВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ ПРИ ЛУЧИСТОМ НАГРЕВЕ

Основными преимуществами лучистого нагрева являются: возможность избирательного нагрева изделия в различных средах при сравнительно холодных элементах конструкции печи, безынерционность нагрева, компактность и простота оборудования, а также возможность активации технологических процессов (изменение условий протекания и кинетики процесса за счет ионизации, фотохимического воздействия на обрабатываемые материалы, влияния на адсорбцию и десорбцию реагентов и т.д.).

Наиболее интересным является использование преимуществ лучистого нагрева для основных процессов, таких, как эпитаксиальное наращивание, диффузия, окисление [1-3].

Разработана установка эпитаксиального наращивания с лучистым нагревом, на которой выполняется комплекс технологических операций эпитаксиального процесса как подготовительных (покрытие стеклографитового пьедестала карбидом кремния и поликристаллическим кремнием), так и основных (отжиг подложек в водороде, осаждение эпитаксиальных слоев кремния и их окисление).

Установка состоит из нагревательной камеры с круглым кварцевым реактором, системы газораспределения, системы электропитания и регулирования температуры.

Нагревательная камера представляет собой разъемный металлический цилиндрический водоохлаждаемый кожух, внутри которого расположены 17 ламп КИ-220-1000. Внутренняя часть кожуха выполнена из алюминия А7, подвергнутого механической полировке до чистоты  $\nabla 8$  и анодированию (толщина слоя 1,2 мкм). По оси камеры устанавливается цилиндрический кварцевый реактор диаметром 70 мм, в который загружается вместе с держателем из кварцевых прутков стеклографитовый пьедестал. Загрузочное отверстие реактора закрывается пробкой, имеющей водоохлаждаемую полость, внутренняя поверхность которой для уменьшения потерь излучения снабжена серебряным покрытием.

Для охлаждения ламп и наружной поверхности реактора применен обдув сжатым воздухом.

Система газораспределения установки была аналогична примененной в серийной эпитаксиальной установке типа УНЭС-1 [4]. Система электропитания и регулирования температуры построена на регуляторе РЕПИД-2, блоке тиристоров ВКДУ 150-7 и специально разработанном фотоэлектрическом пирометре с фотопротивлением ФСТ-1А и германиевым фильтром.

Проведенные исследования параметров установки показали возможность нагрева пьедестала до температур 1400-1450°C. Диапазон рабочих температур составлял 800-1270°C. Точность поддержания заданного уровня температур при этом была в пределах  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Максимальная мощность печи достигалась за 30-60 сек. Время достижения установившегося режима не превышало 3 мин.

Было проведено более ста процессов в широком температурном диапазоне от 900 до 1270°C. Во всех процессах получены монокристаллические слои кремния, что подтверждалось электронограммами. Качество эпитаксиальных слоев, полученных при температуре 1000°C, не уступает качеству слоев, полученных в серийном производстве на установках с индукционным нагревом.

Принципиально важным результатом работы явилось установление возможности снижения температуры эпитаксиального наращивания хлоридным методом при использовании лучистого нагрева на 200-250°C, что уменьшает автолегирование и обеспечивает более узкие переходы эпитаксиальный слой - подложка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. Electrochem. Soc., v.115, N 4, p.401.
2. Japanese J. Appl. Phys., 1968, v.7, N 11, p.1332.
3. Приборы для научных исследований, 1964, т.35, № 8, стр.74.
4. Блиннов И.Г., Иванов В.И. и др. Специальное технологическое оборудование в микроэлектронике. МИЭТ, 1969.

НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МОЖНО ИЗГОТОВИТЬ БИСТАБИЛЬНЫЕ ЯЧЕЙКИ ПАМЯТИ, А ТАКЖЕ ПОРОГОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ.

Разработка ключевых систем на основе полупроводниковых стекол, скачкообразно изменяющих собственную электропроводность при некотором критическом напряжении и обладающих "эффектом памяти", будет иметь решающее значение для микроэлектроники только в том случае, если будет обеспечена воспроизводимость и стабильность их рабочих характеристик. Не менее важным является увеличение допустимой мощности рассеяния в переключателях при одновременном снижении омических потерь на выделение тепла. Аморфные стеклообразные переключатели в настоящее время лишь начинают выходить за рамки лабораторных исследований. Первые попытки промышленного внедрения этих многообещающих приборов зачастую бывают сопряжены с большими трудностями. Однако некоторое сочетание полупроводниковых материалов позволяет добиться выпуска опытных партий переключателей на основе полупроводниковых стекол. Одно из таких сочетаний, основанное на многослойном наращивании тонких слоев кремния, окиси цинка и халькогенидного стекла на полупроводниковой подложке, описано в настоящей работе.

Изготовление переключателей на большие мощности проводилось по следующей технологической схеме. Для увеличения рабочих токов переключателей на Si-подложку в паровой фазе эпитаксиально наращивался низкоомный слой  $n^+$ -Si, служивший омической базой переключателя. Образец перемещался в реакционную камеру (вакуум  $\sim 10^{-6}$  торр), в которой при активационном пиролизе паров пропионата цинка на него наносился слой  $n$ -ZnO толщиной  $0,5 - 1 \text{ мкм}$  [1-3], после чего образец отжигали в вакууме  $10^{-6}$  торр при температуре  $300^\circ\text{C}$  в течение часа. Затем термическим испарением в вакууме  $10^{-5}$  торр наносился слой халькогенидного стекла ИКС-23 толщиной  $0,8 \text{ мкм}$ . В качестве металлических электродов напыляли слой золота или алюминия толщиной  $0,5 \text{ мкм}$ . Омический контакт

к кремнию представлял собой сплав алюминия с сурьмой (10%). Введение высокоомного слоя окиси цинка позволяло повысить входной импеданс прибора в закрытом состоянии до  $100 \text{ Мом}$ . Слой халькогенидного стекла обеспечивал воспроизводимое переключение из высокоомного в проводящее состояние со скоростью нескольких наносекунд. Тонкий слой полупроводника улучшал теплоотвод прибора в проводящем состоянии.

Готовые образцы вырезались из общей матрицы, запаивались в герметичный корпус с консольными выводами и подвергались дальнейшим исследованиям. Исследовалась работа приборов в качестве бистабильных ячеек памяти и пороговых быстродействующих переключателей. Статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследовались на формованных и неформованных образцах (рис. 1). Прямое направление тока соответ-

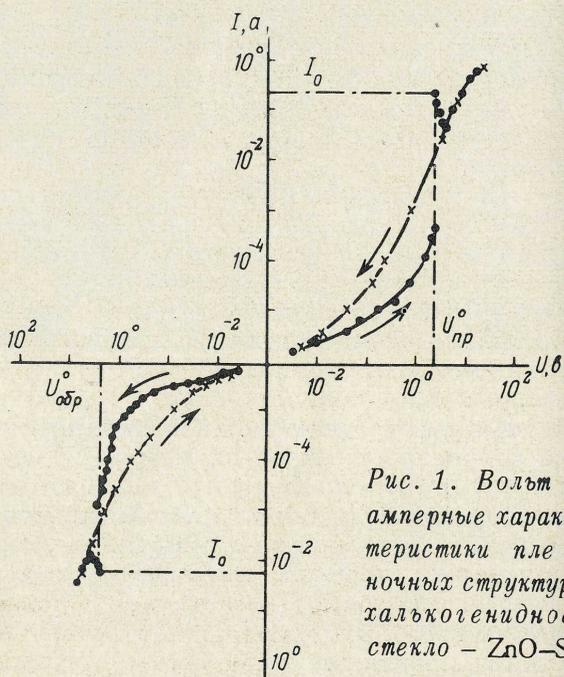


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики пленочных структур халькогенидное стекло - ZnO-Si

ствовало отрицательному потенциалу пленки эпитаксиального кремния. Ток вблизи нуля изменялся по степенному закону с показателем  $\alpha$ , величина которого с ростом напряжения плавно возрастала в пределах 0,6–2 для  $I_{пр}$  ( $\alpha_1$ ) и 0,8–5 для  $I_{обр}$  ( $\alpha_2$ ). У некоторых образцов был отмечен экспоненциальный рост тока с напряжением. У неформованных образцов ток в окрестностях нуля возрастал более плавно и при некотором пороговом напряжении  $U_0$  наблюдался резкий скачок тока. Пороговое напряжение почти не зависело от полярности внешнего напряжения, слабо уменьшалось при повышении окружающей температуры и достигало  $U_{0 пр}$  3,07 – 3,1 в и  $U_{0 обр}$  3,2 – 3,4 в. Время переключения не превышало  $10^{-7}$  –  $10^{-8}$  сек. При дальнейшем увеличении напряжения наблюдалось уменьшение тока, соответствующее падающему участку ВАХ N-типа. Величина отрицательного сопротивления достигала ~ 100 ом.

Исходное или "закрытое" состояние проводимости  $n^+n-p$  структур восстанавливалось лишь при переходе к напряжениям обратной полярности (при переходе через нуль), в противном случае наблюдался гистерезис ВАХ (на рис. 1 показан стрелкой).

Таким образом, при серийном изготовлении би-стабильных ячеек памяти основное внимание необходимо уделять не только технологии изготовления многослойной пленочной системы, но и режиму ее формовки, так как последнее существенно изменяет режим работы приборов на основе полупроводниковых стекол.

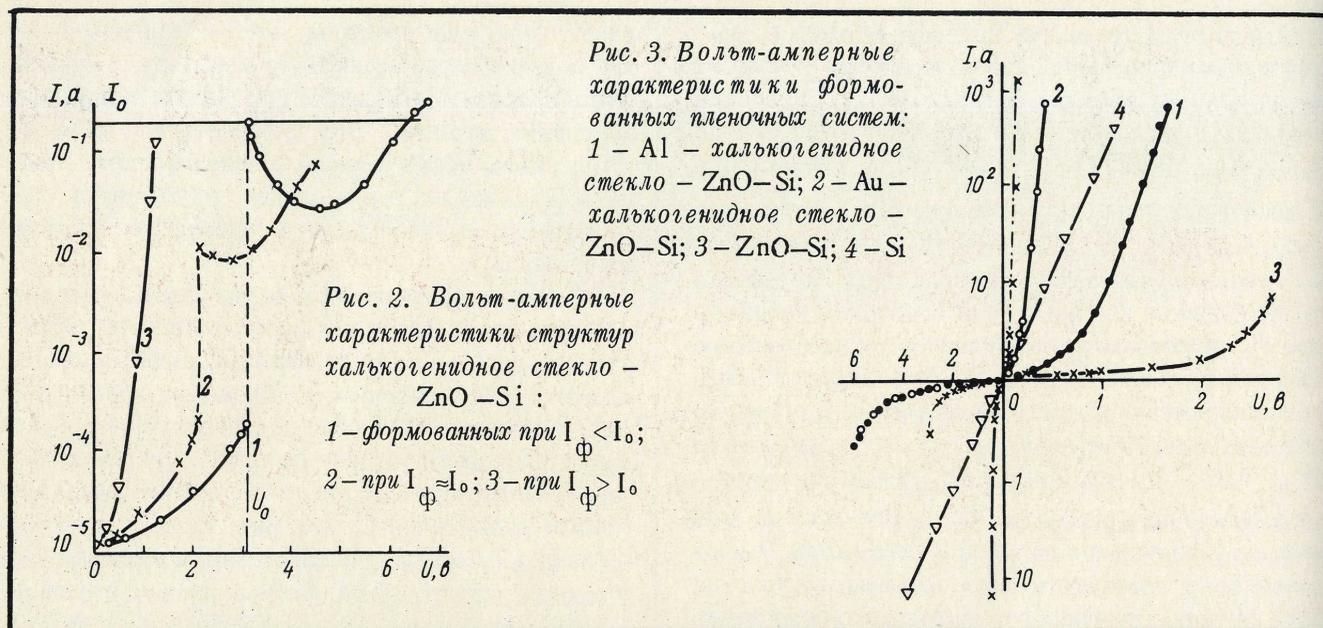
Эффекты скачкообразного перехода из высокоомного в низкоомное состояние под действием электрического поля наблюдались в последнее время рядом авторов на различных пленочных материалах [4–9]. Механизм переключения в таких системах в настоящее время остается невыясненным. Одна из причин, затрудняющих промышленный выпуск приборов на основе халькогенидного стекла, заключена в недостаточно ясном понимании механизма переключения в стеклах; при этом воспроизводимость, прогнозирование характеристик приборов и их надежность могут оказаться очень сложными задачами. Так, одни авторы допускают возможность теплового или электрического локального микропробоя самовосстанавливающегося типа после снятия напряжения. Другие считают, что переключение является свойством аморфных материалов, содержащих большое число локализованных центров захвата. Мы полагаем, что переключение в рассматриваемых здесь  $n^+n-p$  структурах связано с полевыми эффектами в пленках полупроводниковых стекол типа халькогенидных и ZnO. Эти материалы в процессе изготовления содержат большое число незавершенных связей, имеющих локализованный характер, способных захватывать как свободные носители, так и примесные атомы или ионы. Ловушка обычно захватывает

только один электрон, поэтому при определенной величине поля существует конечная вероятность заполнить ловушки и тем самым выключить механизм захвата. Это эквивалентно резкому уменьшению эффективного сечения захвата свободных носителей в том случае, когда прибор переходит из высокоомного в проводящее состояние [10, 11].

В пользу полевого механизма переключения (в отличие от теплового или переключения по дефектам) свидетельствует нелинейный характер проводимости у электрически формованных образцов. На рис. 2 показаны ВАХ образцов на различных стадиях их формовки постоянным током. При увеличении тока формовки до значений, превышающих максимум тока скачка  $I_0$  (см. рис. 1), в структуре образцов происходят необратимые изменения, связанные с перестройкой центров захвата в стекле.

Из рис. 3 видно, что, хотя кривые 1–3 являются типично диодными характеристиками, между ними имеются определенные различия. ВАХ  $n^+n-p$  структур с алюминиевым электродом имеют слабую крутизну в окрестностях нуля и описываются квадратичной зависимостью тока от напряжения, переходящей при напряжениях 1 в экспоненциальную (кривая 1). Экспоненциальный рост ток прямой ветви в системе Si–ZnO–ХС-зонд начинается практически с нуля и отличается крутизной ~ 0,3 ма · в<sup>-1</sup> (кривая 2). При промышленном изготовлении приборов в качестве верхнего инжектирующего контакта целесообразно применять алюминий или другие неактивные металлы. ВАХ переходов Si–ZnO качественно повторяют ход кривых 1 и 2, однако наблюдаются только при обратной полярности внешнего напряжения. Такие структуры могут найти применение в интегральных схемах в качестве инвертирующих диодных ячеек, работающих в комбинации с переключателями на одной плате. Кривая 4 указывает на омический характер проводимости слоев эпитаксиального кремния. Таким образом, выпрямляющее действие пленочных  $n^+n-p$  структур складывается из выпрямления двух диодных переходов с различными величинами контактных барьеров, включенных навстречу друг другу. Входной импеданс приборов достигал 10 Мом в закрытом состоянии и 10 ом в открытом. Так как в окрестностях нуля ВАХ образцов с алюминиевыми электродами имели малую крутизну, удавалось измерить величину собственной емкости образцов на малом сигнале, которая составляла обычно 15–30 пф. Сопротивление утечки по постоянному току достигло 500 Мом.

Динамические характеристики  $n^+n-p$  структур, регистрируемые с помощью двухлучевого осциллографа или характериографа, позволявшие сравнивать форму входного и выходного сигналов, показывали выпрямление до частот 1 МГц. Однако попытка изготовить генератор синусоидальных колебаний на низкие частоты, работающий на падающем участке ВАХ свежеприготовленных образцов,



фактически не увенчалась успехом из-за нестабильной работы такого генератора. Участок отрицательного сопротивления, как видно из рис. 1 и 2, соответствует напряжениям  $U > U_0$ , когда начинается электрическая формовка образца и появляются необратимые изменения в его электрической структуре. В то же время эффект переключения у  $n^+n-p$  структур подобного типа был стабильным и сохранялся после многих часов непрерывной работы прибора.

Исследованные  $n^+n-p$  структуры на основе полупроводниковых стекол могут найти практическое применение в ИС как бистабильные ячейки памяти или пороговые переключатели. В этом отношении их характеристики напоминают известные переключатели [6], однако у первых имеются и существенные отличия. Наличие высокоомной пролетной базы из ZnO, как показали испытания, стабилизирует работу прибора при перегрузках и позволяет регулировать импеданс прибора в открытом и закрытом состояниях. Последнее важно для обеспечения согласования каскадов при схемном включении ячеек. Слой  $n^+Si$  устраняет возможности перегрева ячеек посредством омического теплоотвода. Малые размеры приборов, сочетающиеся с высокой рассеиваемой мощностью и стабильностью при воздействии перегрузок, способствуют широкому внедрению переключателей в ИС. Предлагаемая технология изготовления позволяет обеспечить выпуск ИС или БИС с бистабильными ячейками памяти или пороговыми переключателями, выполненными по гибридной технологии совместно с МОП-транзисторами и другими элементами ИС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корзо В.Ф., Рябова Л.А., Савицкая Я.С., Лященко Г.А. "Радиотехника и электроника", 1968, № 13, стр. 2041.
2. Seitz M.A., Whitmore D.H. "J. Phys. Chem. Solids", 1968, N 29, p. 1033.
3. Корзо В.Ф., Киреев П.С., Лященко Г.А. "Неорганические материалы", 1969, № 5, стр. 367.
4. Чугунова М.Е., Елинсон М.И., Ждан А.Г., ФТТ, 1969, № 11, стр. 1072.
5. Коломиец Б.Т., Лебедев Е.А. "Радиотехника и электроника", 1963, № 8, стр. 2097.
6. Simmons J.G. "Contemp. Phys.", 1970, v. 11, N 1, p. 21.
7. Milnes T.D., Paige E.G. "Electron Letters", 1967, N 4, p. 450.
8. Patil S.G., Sinha A.P. "Brit. J. Appl. Phys.", 1967, N 18, p. 361.
9. Okimura H. "Japan J. Appl. Phys.", 1968, N 7, p. 1297.
10. Feldman G., Gutierrez W. A. "J. Appl. Phys.", 1968, N 39, p. 2474.
11. Сандомирский В.Б., Ждан А.Г. Письма ЖЭТФ, 1969, № 9, стр. 201.

УДК 666.266.6.004

# ИЗМЕРЕНИЯ

## И КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

С.В.НОСИКОВ,Ф.П.ПРЕСС

### ЭЛЕКТРОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЕВ ДВУОКСИ И НИТРИДА КРЕМНИЯ

ПОЗВОЛЯЕТ ПРОСТЫМИ СРЕДСТВАМИ ПОЛУЧИТЬ КАРТИНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОДЕФЕКТОВ, А ТАКЖЕ ВЫЯВИТЬ ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРЕМНИЯ И УСЛОВИЙ ОКИСЛЕНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО ДЕФЕКТОВ

Большинство работ по окисным и нитридным пленкам посвящено дефектам атомного размера: вакансиям или избыточным ионам. "Макродефекты" (поры, трещины, проводящие трубки, включения, границы кристаллов), зачастую определяющие разброс параметров и понижение надежности планарных приборов, исследованы мало. Не считая сложной и малоэффективной методики контроля по газопроницаемости, для изучения макродефектов применяются в основном хлорное травление [1] и контроль пробивного напряжения МОП-структур [2]. Метод хлорного травления позволяет выявить мельчайшие поры окисной пленки, но обладает рядом недостатков: для него необходимо довольно сложное оборудование, поверхность кремния разрушается, трудно оценить общую картину распределения дефектов по образцу. Измерение пробивных напряжений МОП-структур, как показывает опыт, дает только грубую оценку качества окисной пленки.

Представляют интерес методы, основанные на выделении (декорировании) дефектов или же получении "отпечатков" дефектов. О декорировании макродефектов в литературе сведений нет, если не считать частного сообщения [3] о том, что "электрофоретическое" декорирование позволяет обнаружить плотности дефектов порядка  $10^2 \text{ см}^{-2}$ . К методам, основанным на получении отпечатков дефектов, относится так называемая "окислительно-восстановительная печать" (redox printing technique), применяемая для контроля дефектов конденсаторных пленок [4]. Аналогичным является метод фиксации дефектов с помощью фотоэмульсии, предложенный старшим научным сотрудником Института физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР С.П.Синицей. Между электродами помещается образец с прижатой к поверхности окисла фотобумагой, смоченной водой; после пропускания электрического тока на бумаге наблюдаются почернения, соответствующие электро-

проводящим дефектам. Электрографический метод применим для изучения макродефектов окисных и нитридных пленок; он прост, нагляден и позволяет сохранить образец.

## МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОГРАФИИ

В основу описываемого метода положено следующее явление: электрический ток, проходя через помещенную в водную среду (водный раствор солей) фотобумагу, воздействует на эмульсию, вызывая ее почернение в местах макродефектов. Для выяснения основных закономерностей процесса электрографии использовалось устройство, представляющее собой два графитовых электрода, между которыми зажимались фотобумага и образец — кремниевая пластина с окисленной поверхностью. Кремниевая пластина служила катодом; напряжение регулировалось в диапазоне 0–300 в. Фотобумага смачивалась водой, и через систему пропускался ток, регистрируемый с помощью миллиамперметра. После этого визуально оценивалось полученное на бумаге изображение. Серия опытов по подбору режимов электрографии показала следующее. Характер изображения зависит от полярности приложенного напряжения: при положительном потенциале кремниевой пластины получается обратное изображение. Степень почернения при фиксированном времени проявления зависит от величины тока и времени его протекания. При достаточно большой выдержке (времени протекания тока) можно получить видимое изображение, не прибегая к проявлению. Величина тока спадает во времени. Характер изображения зависит от степени прижима эмульсии к электроду и от состава водной среды.

В основе наблюдаемых явлений, очевидно, лежит электролитический механизм. Восстановление ионов серебра на границе раздела эмульсия — катод (дефект) зависит от площади катода, количества растворенного серебра, количества нейтральных атомов на границе раздела, подвижности ионов и потенциала электрода. Этим объясняется изменение характера изображения в связи с переменной полярности, среды, а также зависимость плотности почернения от плотности тока. Появление видимого изображения при достаточной выдержке и плотности тока характеризует значительную интенсивность процесса. Спад тока во времени может быть связан либо с ограниченным числом носителей (ионов серебра или примеси), либо с поляризационными эффектами на границе кремний—электролит. Степень локального почернения эмульсии, пропорциональная количеству восстановленного серебра, характеризуется параметрами электролитического процесса: плотностью тока и временем его протекания. Малая плотность тока может, очевидно, компенсировать

ся увеличением времени выдержки, и, следовательно, возможно получение изображения микроатомов (дефектов) с достаточно большим сопротивлением.

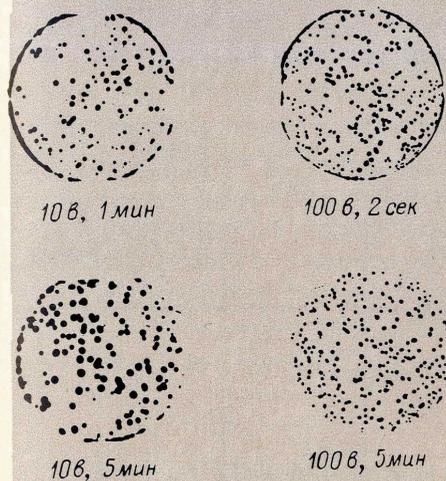
## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ДВУОКИСИ И НИТРИДА КРЕМНИЯ

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности. Сначала подбирался режим измерения и проверялась воспроизводимость результатов для окисных термических пленок. Затем оценивалось влияние химической и термической обработки на плотность дефектов в этих пленках, проводились сравнительные исследования нитридных и окисных пленок, полученными различными способами (реактивным распылением, пиролизом и др.).

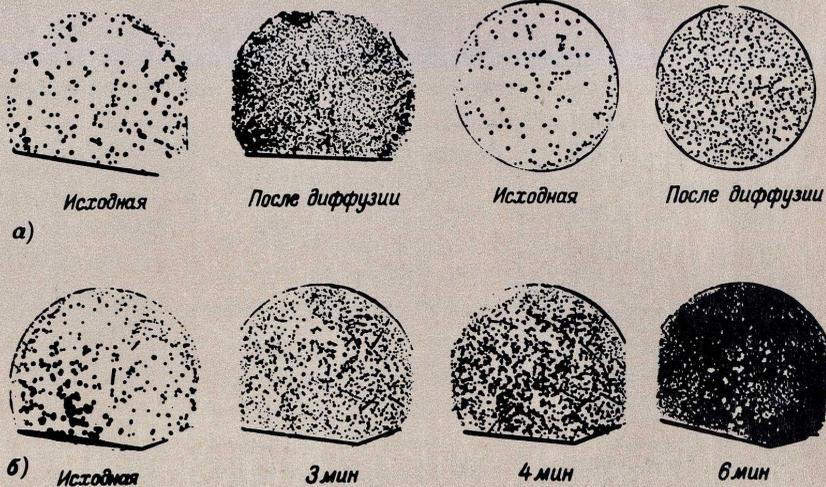
Полированные пластины кремния тщательно обрабатывались по схеме: кипячение в азотной кислоте — отмывка — травление в плавиковой кислоте — отмывка — УЗ обработка в изопропиловом спирте — сушка на центрифуге — и окислялись при температуре 1100°C в течение 15 мин в сухом кислороде, 2 ч — в парах дистиллированной воды, затем 15 мин — снова в сухом кислороде; толщина окисла составляла 0,7 мкм.

Рассмотрение электрограмм, снятых в различных режимах с термически окисленной пластины кремния, позволяет установить некоторые закономерности. Размеры изображений дефектов велики (0,01–3 мм). Изменение выдержки, как правило, влияет на размер изображений. При увеличении напряжения количество отпечатков возрастает, причем картина частично сохраняется, если впоследствии сделать с этой же пленки электрограмму при значительно меньшем напряжении. Изменение напряжения влияет и на размеры изображений: размеры отдельных точек с ростом напряжения переходят через максимум. Меняется также вид изображений: при малых напряжениях — темный кружок, при больших — темное ядро, окруженное кольцом. Примеры электрограмм, полученных при разных режимах, приведены на рис. 1.

Увеличение размеров изображений при больших выдержках приводит к искажению электрограмм (изображения отдельных дефектов сливаются); кроме того, при достаточно больших выдержках (10–30 мин) происходит электрохимическое травление подложки через дефект. С учетом этих факторов выбран интервал выдержек 3–60 сек. Максимальная величина рабочего напряжения определяется электрической прочностью пленки данной толщины. Для сокращения выдержки желательно работать при напряжении, близком к пробивному. Как правило, выдерживалось соотношение  $U = 0,5 \div 0,7 U_{проб}$ .



**1** Электрограммы термических пленок двуокиси кремния, снятые при различных напряжениях и выдержках



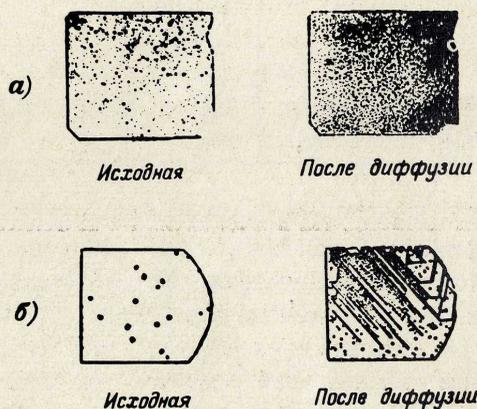
**2** Влияние процессов диффузии примесей (а) и травления в буферном тра- вителе (б) на количество макродефектов в окисных пленках

На рис.2 приведены электрограммы термических окисных пленок толщиной 0,7 мкм, подвергнутых диффузии примесей или травлению. Подготовка и окисление такие же, как и в первой серии экспериментов. Максимальное время травления окисных пленок составляло около 30–50% времени полного травления окисла данной толщины. Как видно из рисунка, диффузия и травление приводят к резкому увеличению количества проводящих дефектов, причем после диффузии фосфора количество выявляемых дефектов больше, чем после диффузии бора. Тонкие пленки нитрида кремния (0,1 мкм), полученные пиролизом смеси аммиака и тетрахлорида кремния при температуре 1050°C (рис.3), содержат значительное число дефектов, и после диффузии примесей в них так же, как и в окисных пленках, возникают дополнительные дефекты. На толстых пленках нитрида кремния (0,3 мкм) при этом возникают многочисленные правильно расположенные трещины, хорошо фиксируемые электрограммой.

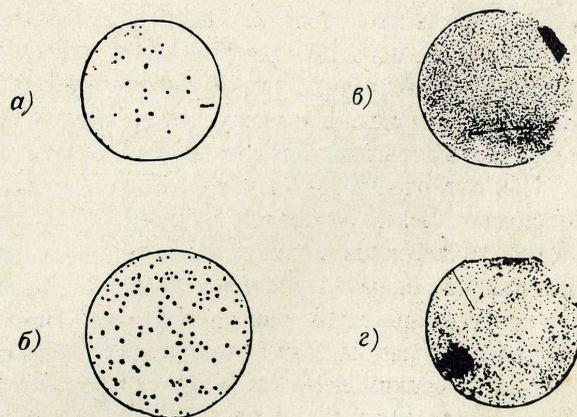
На рис.4 и в табл.1 представлены результаты исследований окисных пленок, изготовленных различными способами.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предполагаемый электролитический механизм электрографии включает в себя процессы поляризации, диффузию и дрейф ионов серебра и примесей, активацию и восстановление ионов серебра. Предварительные данные говорят о том, что из-



**3** Электрограммы пленок нитрида кремния толщиной 0,1 мкм (а) и 0,3 мкм (б) до и после диффузии



**4** Электрограммы пленок, полученных различными способами: а – в эпитаксиальной установке; б – термическим окислением; в – реактивным распылением; г – пиролитическим разложением тетраэтоксисилана без уплотнения

Сравнительные характеристики качества окислов в зависимости от метода получения пленки

Метод получения	Режим получения	Толщина окисла, <i>мкм</i>	Плотность дефектов, $1/\text{мм}^2$		Уд.вес, $\%/\text{см}^3$	Скорость травления в травителе (состав в $\text{см}^3$ : $\text{HNO}_3-15$ ; $\text{HF}-10$ ; $\text{H}_2\text{O}-300$ ) <i>Å/сек</i>
			Исходный окисел	После 2 ч диффузии бора при $1000^\circ\text{C}$		
Термическое окисление (сухой-влажный-сухой кислород)	$1100^\circ\text{C}$ ; 0,5–1,5– 0,5 ч	0,7	0,27–0,24	1,4–1,1	2,18–2,21	2,0
Термическое окисление (сухой кислород)	$1200^\circ\text{C}$ ; 1 ч	0,2	1,4	–	2,24–2,27	2,0
Осаждение в эпитаксиальной установке из $\text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{SiCl}_4$	$1200^\circ\text{C}$	0,2 0,6	0,4 0,07	0,32	2,3	2,4–4,2
Реактивное распыление	$I_a = 1 \text{ а}$ $U = 500 \text{ в}$ $I_M = 50 \text{ ма}$	0,6	5–9	–	–	3–300
Пиролиз (разложение тетраэтоксисилана)	$700^\circ\text{C}$ ; 1 ч	0,4	3–10	–	2,09–2,15	6–20

за совокупности электрофизических (дрейф в поле, диффузия) и фотохимических факторов размеры наблюдаемых изображений дают весьма приближенное представление о реальных размерах дефектов. Дефекты с размерами  $1 \text{ мкм}$  (трещина в нитриде кремния, наблюдаемая при увеличении  $\times 400$ ) и  $100 \text{ мкм}$  дают на фотобумаге изображения почти одного размера ( $0,2-0,5 \text{ мм}$ ) в зависимости от выдержки. Таким образом, данный метод позволяет получить информацию об отдельных дефектах с малыми размерами, но не обеспечивает тонкой дифференциации дефектов по размерам и не выявляет раздельно близлежащие дефекты. Очевидно, повысить разрешающую (точнее сказать, "различающую") способность метода можно за счет импульсного пропускания тока и применения мелкозернистых тонкослойных эмульсий.

При интерпретации электрограмм окисных и нитридных пленок бросается в глаза высокая плотность дефектов во всех исследованных пленках. Как же, однако, удается выпускать планарные приборы при таком обилии дефектов? Во-первых, электрограмма дает увеличенные изображения самых мелких дефектов и, во-вторых, не все наблюдаемые дефекты опасны, так как критические области приборов обычно малы.

Другая четко проявляющаяся закономерность — рост плотности дефектов после диффузии примесей и травления — связана с превращением так называемых "потенциальных" дефектов в физические [2]. Природа потенциальных дефектов

изучена недостаточно. Известно, что их электрическая прочность не меньше, чем у окружающей пленки окисла, и определить их по пробое МОР-структур или методом электрографии невозможно. Установлено также, что потенциальные дефекты травятся быстрее, чем пленка окисла, и по ним идет ускоренная диффузия таких примесей, как бор и фосфор. После травления или диффузии с последующим удалением примесно-силикатного стекла потенциальные дефекты переходят в физические. По данным работы [2], физические дефекты представляют собой сквозные отверстия в окисной пленке и, следовательно, хорошо выявляются электрографией. Возможно, что при снятии электрограмм исходных пленок при повышенных напряжениях пробивается часть потенциальных дефектов, чем и объясняется увеличение точек на электрограммах. Это предположение противоречит данным работы [2] и требует уточнения.

Электрограммы нитридных пленок подтверждают данные работы [5]. Пленка нитрида толщиной  $0,1 \text{ мкм}$  после диффузии фосфора при  $1000^\circ\text{C}$  в течение 2 ч должна терять маскирующие свойства, что хорошо видно на электрограмме. Толстые нитридные пленки после диффузионной обработки растрескиваются; в работе [5] растрескивания объясняются переходом  $\text{Si}_3\text{N}_4$  из аморфной в кристаллическую фазу, хотя вероятной причиной может являться и термическое рассогласование между пленкой и подложкой.

Плотность дефектов в окисных пленках, полученных различными методами (табл.1), хорошо согласуется со структурными свойствами окисных пленок [6]. Наиболее плотные окислы получают термическим окислением или осаждением из паро-газовой фазы (удельный вес 2,2–2,3 г/см<sup>3</sup>, скорость травления 2–4 мкм), на них наблюдается меньшая плотность дефектов. Реактивные и пиролитические окислы с меньшим удельным весом и большей скоростью травления характеризуются заметно повышенной плотностью дефектов. Взаимосвязь этих факторов требует дальнейшего исследования.

Таблица 2

Зависимость плотности дефектов термического окисла от вида обработки подложки перед окислением

№ пп.	Вид обработки подложки	Толщина окисла, мкм	Плотность дефектов исходной пленки, 1/мм <sup>2</sup>	Плотность дефектов после диффузии бора (2 ч, 1000°C), 1/мм <sup>2</sup>
1	Без отмывки	0,7	0,9	4,3
2	Кипящая азотная кислота – плавиковая кислота – УЗ обработка в изопропиловом спирте – сушка на центрифуге – протирка толуолом	0,7	0,3	1,4
3	Дважды по п.2	0,7	0,2	1,3
4	Дважды по п.2, выдержка на воздухе после обработки 4 ч	0,7	0,5	–

## В В О Д Ы

Метод электрографии позволяет быстро оценить плотность проводящих дефектов в диэлектрических пленках и дает возможность наглядно судить о распределении дефектов по полю, определить их тенденции к группировке, выявить динамику картины дефектов в процессе технологической обработки. В качестве примера использования метода (табл.2) приведены данные о качестве термических окислов, выращенных на пластинах кремния, подвергнутых различной обработке перед окислением. Эти данные помогают определить эффективность отмывки, допустимую выдержку в атмосфере перед окислением и в то же время до некоторой степени объясняют происхождение дефектов, явно связанных с поверхностными загрязнениями.

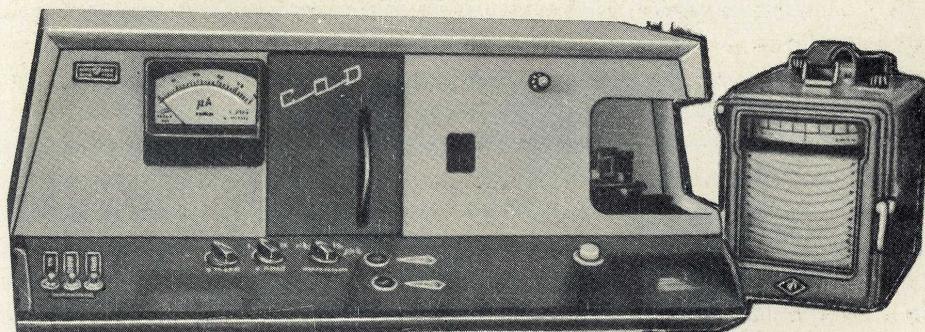
## ЛИТЕРАТУРА

1. Ing S.W., Morrison R.E., Sandor I.E. "J. Electrochem. Soc.", 1962, March, N 109, p.221–226.
2. Lopes A.D. "J. Electrochem. Soc.", 1966, Jan., p.89–90.
3. Brown G.A., Robineffe W.C., Carlson H.G. "J. Electrochem. Soc.", 1968, v.115, N 9, p.948–955.
4. Klein G.P. "J. Electrochem. Soc." 1966, Apr., v.113, p.345–348.
5. Neuman F.K., Brown D.M. "J. Electrochem. Soc.", 1968, Jan., v.115, p.99–101.
6. Основы технологии кремниевых интегральных схем. Изд-во "Мир", 1969.

УДК [539.216.2:621.315.61]:620.187.5

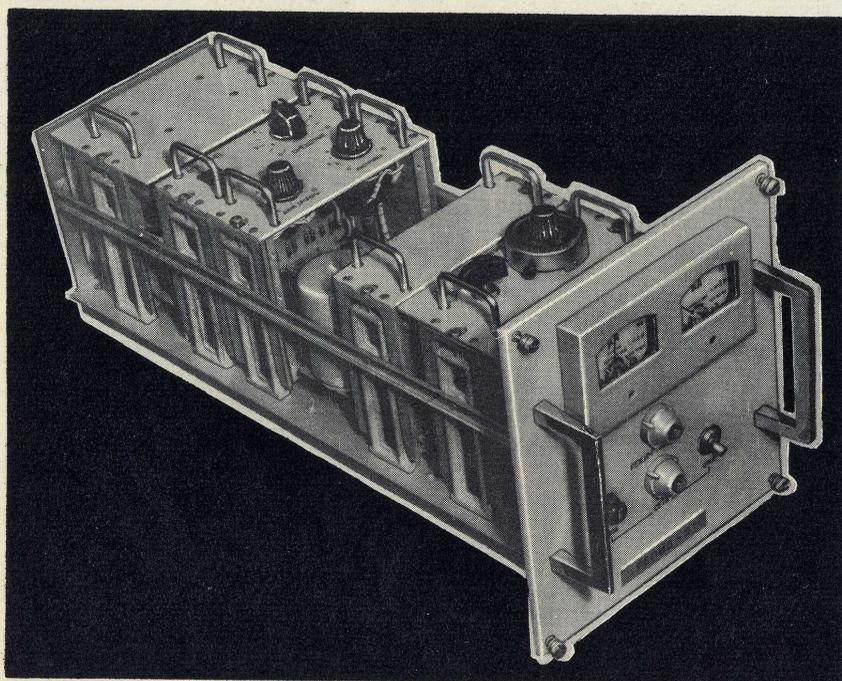
# СОД

## СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ



Методика прогнозирования уровня надежности резисторов с помощью установки СОД позволяет в десятки раз быстрее и дешевле производить оценку уровня надежности по сравнению с существующей методикой длительных испытаний

## прецизионные регуляторы



В настоящей работе рассматриваются конструктивные особенности и функциональное построение регуляторов температуры "Репид-1" и "Репид-2", применяемых в серийных диффузионных агрегатированных печах, установках наращивания эпитаксиальных слоев и других видах термического оборудования. Регулятор температуры "Репид-2" — одноканальное регулирующее устройство для управления температурой в одной контролируемой точке. Регулятор температуры "Репид-1" предназначен для диффузионных печей и имеет три канала регулирования, работающих по единому принципу.

Структурная схема одного из каналов регулирования представлена на рисунке. Входной сигнал  $U_{ВХ}$  в виде термо-э.д.с. от датчика температуры через компенсатор температуры холодных концов термопары  $KХК$  поступает в схему сравнения блока задания температуры  $БЗТ$ , где он суммируется с заранее установленным опорным напряжением  $U_{Зад}$ . Для умень-

## температуры типа «РЕПИД»

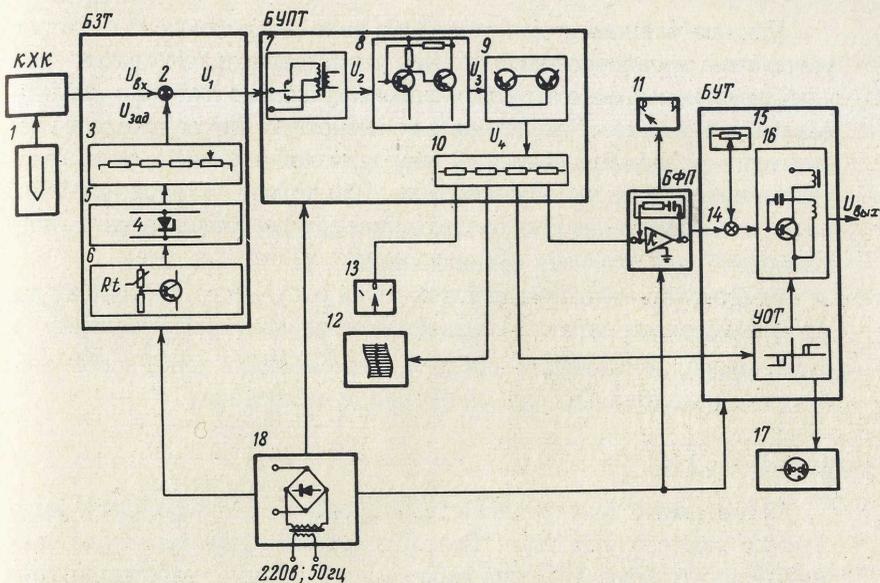
ОБЕСПЕЧИВАЮТ ТОЧНОСТЬ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  $\pm 0,5^\circ\text{C}$

Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных схем базируется на ряде высокоточных термических процессов, требующих прецизионных регуляторов температуры. Наиболее высокая точность поддержания температуры необходима для проведения диффузионных и окислительных процессов.

Разработанная система автоматического регулирования температуры диффузионной печи на ламповых элементах описана в работах [1,2]. Постоянно возрастающие требования к повышению прецизионности, надежности и уменьшению габаритов привели к необходимости разработки новых типов регуляторов температуры на полупроводниковых приборах и интегральных схемах.

шения влияния температуры окружающей среды на величину опорного напряжения стабилитрон последнего каскада стабилизатора напряжения заключен в термостат, температура в котором поддерживается термостабилизатором с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Разность между заданным и текущим значением температуры в виде напряжения разбаланса  $U_1$  поступает в блок усилителя постоянного тока  $БУПТ$ , где сигнал разбаланса модулируется вибропреобразователем в переменный сигнал  $U_2$ , усиливается по амплитуде усилителем переменного тока до величины  $U_3$  и демодулируется транзисторным ключом в сигнал постоянного тока  $U_4$ . Выходной сигнал блока усилителя постоянного тока на резистивном делителе дифференцируется на сигналы управления для следующих устройств:

- блока функционального преобразователя  $БФП$ , воспроизводящего необходимый закон управления: пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) или пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД);
- устройства ограничения температуры  $УОТ$ , включающего лампу аварийной сигнализации при нарушении режима работы печи и отключающего сигнал управления тиристорами в случае перегрева нагревательного элемента относительно задания;
- индикатора отклонения для визуального контроля сигнала разбаланса;



Структурная схема центрального канала регулирования регуляторов температуры типа "Репид":

1—датчик температуры; 2—элемент сравнения; 3—задатчик; 4—стабилизатор напряжения; 5—термостат; 6—термостабилизатор; 7—вибропреобразователь (модулятор); 8—усилитель переменного тока; 9—транзисторный ключ (демодулятор); 10—резистивный делитель; 11—измерительный прибор тока управления; 12—выносной самопишущий прибор; 13—индикатор отклонения сигнала разбаланса; 14—элемент сравнения; 15—цепь смещения; 16—преобразовательное устройство; 17—лампа аварийной сигнализации; 18—блок питания

— выносного самопишущего прибора для регистрации сигнала разбаланса.

Выходной сигнал блока функционального преобразователя контролируется измерительным прибором и в схеме сравнения блока управления тиристорами БУТ суммируется с регулируемым вручную напряжением постоянного тока  $U_{см}$ , поступающим из цепи смещения. Суммарный сигнал в преобразовательном устройстве формируется в серию управляемых по фазе импульсов  $U_{вых}$ , необходимых для управления тиристорами или симисторами. Напряжения, необходимые для каждого блока регулятора, поступают от блока питания.

Регуляторы температуры оформлены в виде приборов для щитового монтажа и состоят из функциональных модулей, собранных на типовых литых каркасах. Модули размещаются в порядке прохождения сигнала управления на выдвижном шасси и подключаются к схеме через штепсельные разъемы. Металлический корпус защищает модули от электромагнитных полей и механических повреждений. Элементы регулятора смонтированы печатным способом.

Ниже рассматриваются основные особенности блока задания температуры, блока усилителя постоянного тока, блока функционального преобразования и блока управления тиристорами.

Блок задания температуры состоит из трехступенчатого параметрического стабилизатора опорного напряжения и схемы сравнения. Напряжение задания снимается с проволочных манганиновых резисторов и десятиоборотного потенциометра, выполненного в герметичном корпусе, заполненном маслом. Изменение выходного напряжения осуществляется ступенчато переключателем в пределах 0—12 мВ с разрешающей способностью 3 мВ и плавно — десятиоборотным потенциометром в пределах 0—4 мВ с разрешающей способностью 4 мкВ.

Блок усилителя постоянного тока предназначен для предварительного усиления слабых сигналов постоянного тока от БЗТ и выполнен по схеме модулятор — усилитель переменного тока — демодулятор. Во входном устройстве, состоящем из вибропреобразователя ВПМ-2р и входного трансформатора специальной конструкции, сигнал рассогласования постоянного тока модулируется с частотой 50 Гц. Усилитель переменного тока выполнен на шести транзисторах с непосредственной связью в первичных каскадах усиления. Снижению уровня шумов и повышению стабильности усилителя способствуют: пониженное напряжение питания транзисторов первых трех каскадов усиления с постепенным увеличением напряжения от первого каскада к последнему; применение на первых трех каскадах усиления транзисторов с малым уровнем шумов; межкаскадные параллельные отрицательные обратные связи по постоянному току и отрицательная обратная связь по переменному току.

Демодулятор выполнен по ключевой схеме и обеспечивает двухполупериодное фазочувствительное выпрямление при высокой стабильности нуля и линейности характеристики. Допустимые токи через транзисторы ключа ограничиваются резисторами в базовой цепи.

Для улучшения помехоустойчивости усилитель полностью изолирован от корпуса регулятора температуры.

Блок функционального преобразования воспроизводит закон управления и представляет собой операционный усилитель постоянного тока, охваченный функциональной обратной связью. Характерные особенности блока: малый уровень дрейфа нуля, высокоомный вход и высокая надежность при относительной простоте схемы.

Входной каскад построен в виде эмиттерного повторителя на симметричных интегральных микросхемах типа ИП-1. Разность между основным сигналом и сигналом обратной связи усиливается двухкаскадным балансным усили-

телем на интегральных микросхемах типа П2222 и выходным каскадом на транзисторах КТ-301 и МП-116. Для согласования выходных параметров микросхем с выходным каскадом служит балансный эмиттерный повторитель на транзисторах КТ-301В. С выходного транзистора блока сигнал поступает в цепь нагрузки и в цепь функциональной обратной связи, построенной на RC-элементах. Блок функционального преобразования обеспечивает П-, ПИ- и ПИД-законы управления, которые могут легко изменяться установкой или снятием соответствующих перемычек на печатной плате.

*Блок управления тиристорами* предназначен, во-первых, для преобразования сигнала управления в фазоимпульсный сигнал, состоящий из пакета смещенных по фазе импульсов, необходимых при управлении тиристорами и симисторами, во-вторых, для сигнализации о нарушении работы диффузионной печи при отклонении рабочей температуры от заданной на  $\pm 10^\circ\text{C}$  и отключения напряжения питания от нагрузки (нагревательного элемента рабочей камеры), если температура выше заданной на  $10^\circ\text{C}$ , в-третьих, для формирования сигнала смещения рабочей точки регулятора.

В соответствии с перечисленными функциями блок управления тиристорами состоит из трех основных узлов: преобразователя сигнала управления, устройства сигнализации и отключения фазоимпульсного сигнала от управляемых вентилях, устройства смещения. Преобразователь сигнала управления практически ничем не отличается от описанного ранее [1].

Устройство сигнализации и отключения фазоимпульсного сигнала представляет собой реверсивное трехпозиционное реле, выполненное на транзисторах по схеме триггера Шмидта.

При срабатывании одного из плеч реле отключается питание устройства преобразования сигнала управления и тем самым исключается возможность подачи фазоимпульсного сигнала на управляющий электрод тиристора или симистора. Когда входной сигнал этого реле уменьшается до определенной величины, реле подключает питание к преобразователю. При подаче отрицательного по фазе входного сигнала срабатывает другое плечо реле и подключается цепь внешней сигнализации.

Устройство смещения рабочей точки регулятора состоит из цепи суммирования сигнала управления с опорным напряжением и эмиттерного повторителя, согласующего входные цепи преобразователя сигнала управления со схемой суммирования.

## ВЫВОДЫ

Проведенные типовые испытания и опытная эксплуатация регуляторов температуры типа "Репид" в производственных условиях показали, что регулятор при непрерывном режиме работы устойчиво гарантирует следующие параметры:

Суммарный дрейф нуля, <i>мкв</i> .....	$\pm 5$
Диапазон пропорциональности, % .....	4-400
Время изодрома, <i>сек</i> .....	3-550
Время предварения, <i>сек</i> .....	2-200
Диапазон изменения входного сигнала регулятора, при котором срабатывает цепь ограничения температуры, <i>мкв</i> .....	$\pm 120$
Габариты регуляторов, <i>мм</i>	
"Репид-1" .....	542x470x220
"Репид-2" .....	542x200x220
Питание от сети переменного тока напряжением, <i>в</i> .....	220
Потребляемая мощность, <i>ва</i> .....	$\leq 40$

Применение регулятора температуры "Репид-1" в серийно выпускаемых агрегатированных диффузионных печах СДО-125/4 А при работе с термопарами градуировки ПП-1 обеспечивает точность поддержания температуры  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Сочетание трехсекционного резистивного нагревателя с трехканальным регулятором "Репид-1" позволяет настраивать и поддерживать равномерное температурное поле с распределением  $\pm 1^\circ\text{C}$  в рабочем пространстве печи длиной не менее 450 мм.

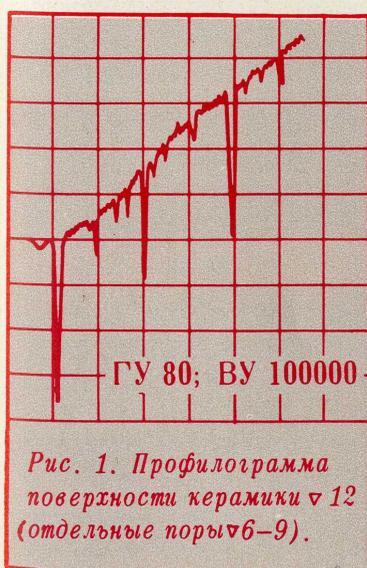
Использование регулятора температуры "Репид-2" в комплексе с высокочастотным генератором ИО.60.011 и фотопирометром ДП1 для регулирования температуры в установках эпитаксиального наращивания слоев кремния позволяет поддерживать температуру с точностью  $\pm 3^\circ\text{C}$ . При этом указанная точность системы в основном зависит от загрязнения кварцевого стекла между фотопирометром и объектом измерения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.И., Осипов А.А., Барил М.А., Мухин Б.С., Наквасин Ф.С. Оборудование для диффузионных процессов. "Электронная техника", сер. VI, "Микроэлектроника", 1967, вып. VIII.
2. Блинов И.Г., Иванов В.И., Мелехин Ю.Я., Сандеров В.Л. Специальное технологическое оборудование для микроэлектроники, МИЭТ, 1968.

# ПРОФИЛО- ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ

ПОЗВОЛЯЕТ ОПЕРАТИВНО  
ОПРЕДЕЛИТЬ КАЧЕСТВО  
ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖЕК  
И РАЗМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ИС  
ПРИ ФОТОЛИТОГРАФИИ



Развитие технологии интегральных и гибридных схем, и в особенности СВЧ интегральных схем, определило необходимость использования проводящих элементов микросхем толщиной 5–20 мкм. Применяемый для измерения таких толщин оптический прибор МИС-11 недостаточно точен (погрешность 7,5–24%). Поэтому была исследована возможность применения для этой цели профилографического метода. В качестве прибора для определения шероховатости поверхности использовался профилометр – профилограф завода "Калибр" (мод. 201), позволяющий определять неровности поверхности от 5 до 14 кл., т.е. от 20 до 0,05 мкм.

С помощью щупа из твердого материала конической формы, в данном случае алмазной иглы с радиусом закругления 2 мкм, осуществляется сечение поверхности, затем высота этого профиля изображается графически. Прибор дает возможность измерения шероховатости поверхности с различными величинами базовых длин, т.е. с отсечкой неровностей с шагами больше установленных базовых длин: 0,08; 0,25; 0,8; 2,5 мкм. Наибольшая длина хода датчика 40 мм, что позволяет проводить проверку волнистости с большим шагом. Погрешность горизонтального увеличения (ГУ)  $\pm 10\%$ , вертикального (ВУ) –  $\pm 4\%$ .

Профилограф позволяет оценить качество поверхности используемой подложки и определить класс общей шероховатости, а также обнаружить волнистость и наличие отдельных пор и их концентрацию на поверхности (рис. 1). В процессе напыления эти поры заполняются металлом, который прочно удерживается в них капиллярными силами, увеличивая время травления, что ведет к перетравливанию, и, следовательно, сказывается на результатах воспроизведения размеров элементов. С помощью профилометрии можно оценить также изменение поверхности в процессе травления и определить качество поверхности элементов, полученных методом фотолитографии на напыленных и гальванически выращенных пленках меди (рис. 2). Как видно из профилограмм, поверхности имеют совершенно различный характер, т.е. состояние поверхности определяется не только толщиной пленки, но и механизмом ее получения; в зависимости от силы тока в гальванической ванне получаются покрытия с различным качеством поверхности. Профилографический метод дает возможность осуществлять контроль геометрических размеров элементов, получаемых при последовательных операциях фотолитографии. Например, по профилограммам можно проследить фотолитографический процесс точного воспроизведения размеров алюминиевых элементов толщиной 0,25–0,3 мкм, шириной 15–16 мкм на сителле (см. таблицу и рис. 3).

На толстых пленках рельеф поверхности и профиль получаемых элементов определяются в значительной степени рельефом поверхности подложки. Профилографический метод исследования позволяет оценивать правильность выбора технологических режимов, в частности условий травления пленок меди. Найдено, например, что скорость травления меди в растворе хлорного железа несколько выше, чем при использовании персульфата аммония. При травлении меди в растворе хлорного железа образуется элемент с профилем в виде равнобокой трапеции. При применении раствора персульфата аммония на границе элемента с поверхностью фоторезиста наблюдается дополнительное искажение профиля проводника. Подобные "скосы" являются, вероятно, следствием диффузии травителя на границе металл–фоторезист и меньшей стойкости последнего к действию серной кислоты, образующейся в результате процесса травления (рис. 4).

Измерение размеров  
алюминиевых элементов  
в процессе фотолитографии

Номер элемента	Толщина, мкм	Ширина, мкм	Операция
1	0,25	17,5	Изготовление фотошаблона
2	0,25	17,0	
3	0,25	17,0	
4	0,25	17,0	
5	0,25	17,0	
1	1,2	22,0	Проявление
2	1,25	21,5	
3	1,28	21,5	
4	1,20	22,0	
5	1,25	22,5	
1	1,60	22,0	Травление
2	1,50	21,5	
3	1,60	21,5	
4	1,50	22,0	
5	1,50	22,5	
1	0,27	16,0	Снятие фоторезиста
2	0,26	16,0	
3	0,26	16,0	
4	0,27	16,0	
5	0,27	14,0	

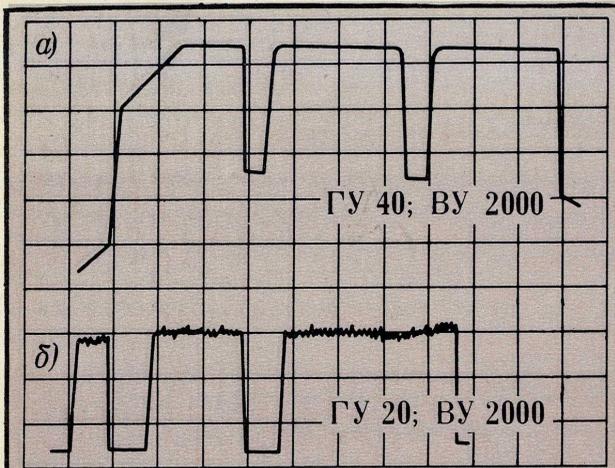
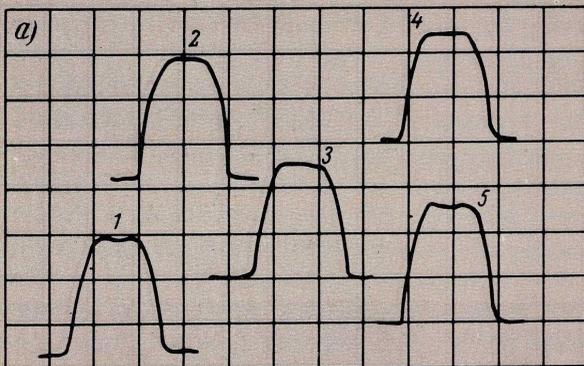
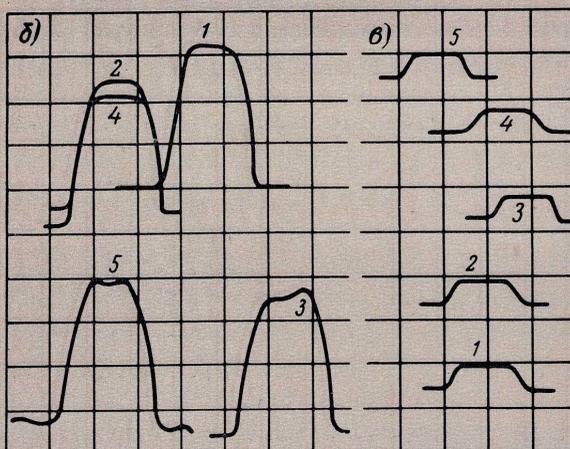


Рис. 2. Профилограмма медных элементов, полученных фотолитографией:  
а – на напыленной меди  $\nabla 14$ ;  
б – на гальванической меди  $\nabla 12$



ГУ 1000; ВУ 20000



ГУ 1000; ВУ 20000

Рис. 3. Профилограммы алюминиевых элементов с фоторезистом после проявления (а), после травления (б) и после снятия фоторезиста (в)



Рис. 4. Влияние условий травления на профиль медного элемента: 1 – травитель-персульфат аммония; 2 – травитель-хлорное железо

Таким образом, профилографический метод можно рекомендовать как высокоточный экспресс-метод для контроля технологических процессов точного воспроизведения размеров элементов схем при фотолитографии, а также для контроля качества поверхности подложек.

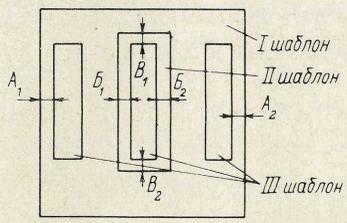
УДК 658.562:621.382.8

# Методика оценки совмещаемости фотошаблонов

В технологии фотошаблонов для полупроводниковых приборов до сих пор не решена проблема оперативного и надежного контроля совмещаемости. Предлагается методика проверки совмещаемости (с определением процента несовмещаемости) отдельных фотошаблонов в комплекте, к которым предъявляются наиболее высокие требования по точности и совмещенности.

В комплект чертежей на фотошаблоны вводится чертеж совмещения (рис.1), на котором обозначены расстояния между элементами изображения, расположенными на разных фотошаблонах. Для проверки совмещаемости проводится пробная фотолитография. При этом используется контрольная кремниевая пластина, покрытая пленкой окисла толщиной 4000–6000 Å. На пленке окисла последовательно проводятся фотолитографические операции (совмещение, экспонирование, проявление, травление) с использованием фотошаблонов, указанных в чертеже совмещения. Глубина протравливания около 1000 Å. Последняя фотолитография может быть ограничена операцией проявления фоторезиста. Под микроскопом МИМ-7 измеряются размеры, указанные в чертеже совмещения. Точность измерений ± 0,3 мкм. Результаты заносятся в таблицу по нижеприведенной форме. В верхнюю часть таблицы вписываются номинальные значения измеряемых величин, далее следуют непосредственно измеренные величины. При измерениях отсчет производится слева направо и сверху вниз. Измерения выполняются в двух взаимно перпендикулярных рядах (по осям *x* и *y*), проходящих через ключевой знак (пропущенные на фотошаблонах три идентичных модуля в виде буквы "Г").

1



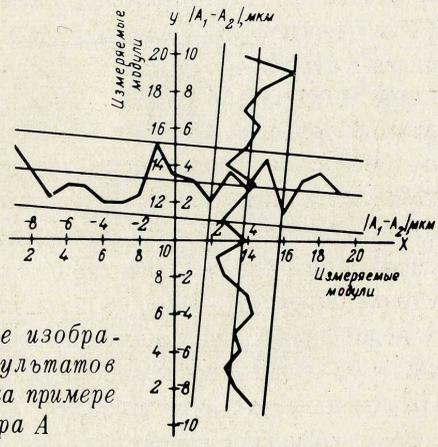
А, мкм			Б, мкм			В, мкм		
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> -B <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub>

По данным таблицы строятся графические зависимости изменения разности измеряемых величин на протяжении проверяемого ряда модулей

(рис.2). Для каждого из определяемых размеров (А, Б или В) строится отдельный график, причем один из модулей ключевого знака должен находиться в начале координат. По экспериментальным точкам проводятся усредненные графики, положение которых относительно осей *x* и *y* определяется точностью проведения операции совмещения и позволяет исключить связанные с ней ошибки. Совмещаемость фотошаблонов характеризуется разбросом точек относительно усредненного графика.

Для определения процента несовмещаемости используются специальные трафареты, выполненные на прозрачной пленке в том же масштабе, что и графики.

2



Графическое изображение результатов измерения на примере размера А

Процент совмещаемости *N* вычисляется по формуле  $N = m_A \cdot m_B \cdot m_V \cdot \dots \cdot 100$ ,

где *m<sub>A</sub>*, *m<sub>B</sub>*, *m<sub>V</sub>* – относительные доли модулей, совмещаемых в пределах допуска от всего числа промеренных модулей по обеим осям.

В общем случае  $m = \frac{n - n'}{n}$ ,

где *n* – количество модулей, промеренных по определенному размеру;  
*n'* – число модулей, вышедших за пределы допуска.

Процент несовмещаемых модулей  $N' = 100 - N$ .

Определенная по описанной методике статистическая величина несовмещаемости достаточно хорошо соответствует реальной величине.

# ЯВЛЕНИЕ ПРОБОЯ В ТОНКИХ СЛОЯХ МОП-СТРУКТУР

исследовалось неразрушающим методом контроля, который позволяет выявить дефекты в приборах в процессе эксплуатации

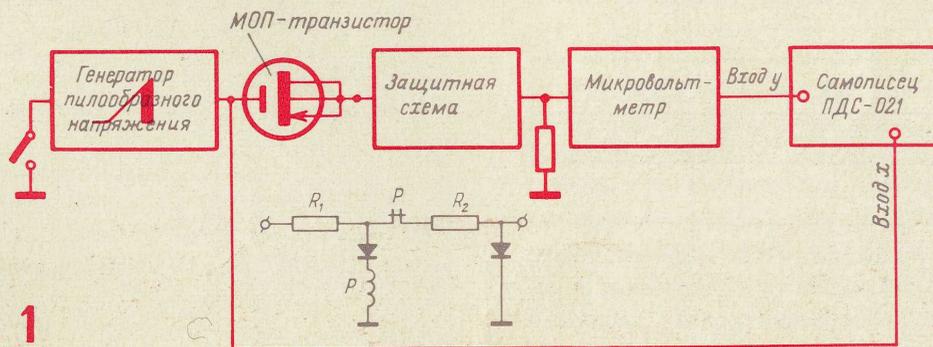
С развитием производства интегральных схем на МОП-структурах все большее внимание технологов привлекают процессы в тонком окисле, приводящие к пробоям.

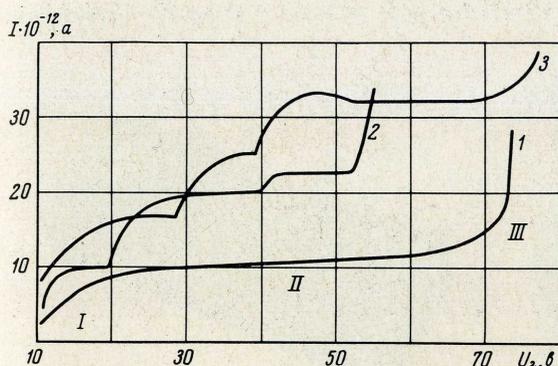
В работах [1, 2], посвященных явлению пробоя в МОП-конденсаторах, у которых слой окисла ( $\text{SiO}_2$ ) выращен в атмосфере сухого или влажного кислорода при температуре  $1060^\circ\text{C}$ , рассматривается необратимый тепловой пробой в окислах толщиной  $1000\text{--}10000 \text{ \AA}$ . Величина напряжения пробоя зависит в основном от наличия дефектов в окисле (микрочаналов, микротрещин). Напряженность электрического поля, при которой происходит пробой в диэлектрике, равна  $10^6\text{--}10^7 \text{ в/см}$ , в воздухе —  $10^4 \text{ в/см}$ . Если подать электрическое напряжение на окисел, то в первую очередь происходит пробой на пустотах (микротрещинах), что приводит к понижению величины пробивного напряжения всего окисла.

Для выявления дефектов в окисле и исследования процесса пробоя была собрана установка [3], позволяющая определить без разрушения величину напряжения пробоя тонкого окисла МОП-транзистора и получить кривые изменения тока через окисел в зависимости от величины напряжения на нем. На рис. 1 приведена блок-схема установки. При размыкании ключа на затвор транзистора с целью уменьшения влияния емкости объемного заряда в

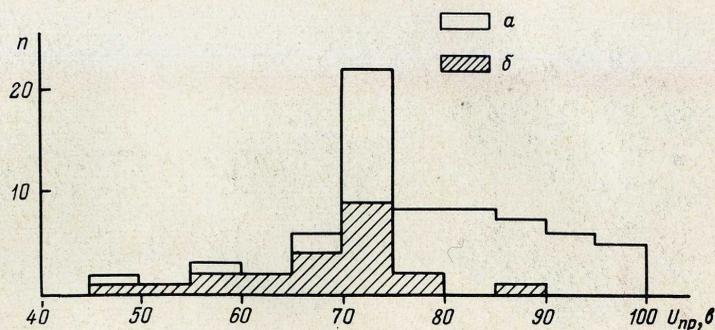
полупроводнике подается напряжение пилообразной формы положительной полярности. При этом через окисел транзистора протекает ток  $I$ , состоящий из тока утечки, емкостного тока и тока пробоя (при напряжении на окисле, близком к пробоям). Падение напряжения на сопротивлении  $R$  ( $10 \text{ мом}$ ), обусловленное величиной тока  $I$ , фиксируется микровольтметром В2-11 и подается на самописец ПДС-021. Точность измерения тока  $I$  составляет 10%. На входе микровольтметра имеется защитное устройство, автоматически разрывающее цепь при необратимом пробое окисла МОП-транзистора. Порог срабатывания устройства зависит от величины сопротивления  $R_1$  и тока срабатывания  $I_c$  реле  $P$ . В данном случае порог срабатывания устанавливался равным  $30 \text{ в}$ . При  $I_c = 4,6 \text{ ма}$  величина  $R_1 = 4,7 \text{ ком}$ .

Для повышения чувствительности установки необходимо, чтобы сумма емкостного тока и тока утечки была минимальна. Это достигается за счет уменьшения скорости нарастания пилообразного напряжения и повышения его линейности. В данном эксперименте использовался генератор напряжения со скоростью нарастания пилообразного импульса  $1 \text{ в/сек}$  и нелинейностью меньше 1% в диапазоне  $10\text{--}95 \text{ в}$ .





**2**



**3**

Явление пробоя исследовалось на МОП-транзисторах с индуцированным каналом  $p$ -типа. Тонкий окисел  $\text{SiO}_2$  под затвором толщиной  $0,11 \text{ мкм}$  получен при температуре  $1150^\circ\text{C}$  термическим окислением кремния с удельным сопротивлением  $4,5 \text{ ом} \cdot \text{см}$ . Площадь тонкого окисла  $160 \times 20 \text{ мкм}$ .

Зависимости тока  $I$  от величины напряжения на затворе для различных транзисторов показаны на рис. 2. Изменение тока  $I$  от напряжения на затворе  $U_z$  различно для транзисторов, изготовленных на одной пластине и по единой технологии. На кривой 1 можно выделить три участка. Первый участок (I) вызван возрастанием тока  $I$  вследствие заряда емкости окисла. Наклон кривой на втором участке (II) характеризует величину входного сопротивления транзистора. Минимальная величина сопротивления, как видно из рисунка, равна  $2 \cdot 10^3 \text{ ом}$ . Возрастание тока на третьем участке (III) носит лавинный характер. Как только величина  $I$  превысит  $25 \text{ нА}$ , начинается необратимый пробой, приводящий к разрушению окисла. По виду кривой 1, на наш взгляд, можно судить о качестве диэлектрика. Пробой наступает при достижении критической напряженности поля  $E$  (в данном случае  $7 \cdot 10^6 \text{ в/см}$ ), когда энергия электронов превышает величину максимальных электрических потерь в диэлектрике [4]. В результате ускорения электронов под действием электрического поля возникает лавинообразный процесс. До наступления пробоя в окисле не наблюдается никаких структурных изменений, что свидетельствует о его однородности (отсутствии дефектов). Если окисел неоднороден, то прежде

де всего происходит пробой в электрически менее прочных частях диэлектрика (в данном случае в области микроканалов, микротрещин), что приводит к резкому изменению тока  $I$  через окисел. Кривые 2, 3, имеющие характерный ступенчатый вид, соответствуют пробоям тонкого окисла с дефектами.

На рис. 3 приведены гистограммы распределения величин пробивного напряжения окислов одной партии (гистограмма  $a$ ) и окислов из той же партии с явно выраженными дефектами (гистограмма  $b$ ).

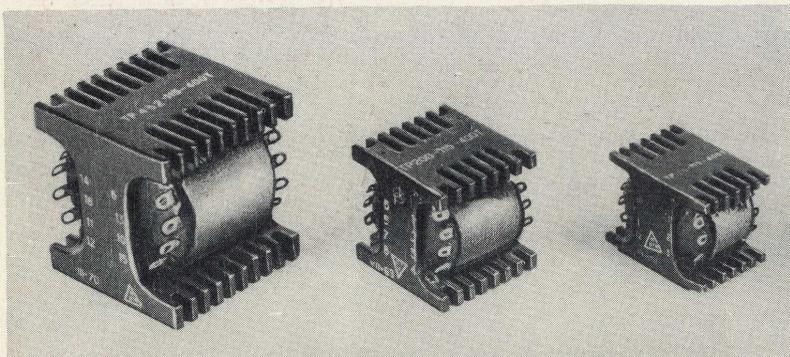
Исследования характеристик пробоя окисла неразрушающим методом позволяют определить величину пробивного напряжения, вид пробоя и наличие дефектов в окисле. Эти исследования могут способствовать выявлению причин, вызывающих пробой окисла под затвором в МОП-транзисторах в процессе эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Klein N., Gafni H. "IEEE Transaction", 1966, v.ED-13, N 2, p.281-290.
2. Klein N. "IEEE Transaction", 1966, v.ED-13, N 11, p.788-806.
3. Hilber D.F., Lucas R.C. "IEEE Transaction", 1967, v.ED-14, N 7, p.402-403.
4. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). Гос.изд-во физ.-мат.лит. 1958, стр.591.

УДК 621.382.323-416.015.51

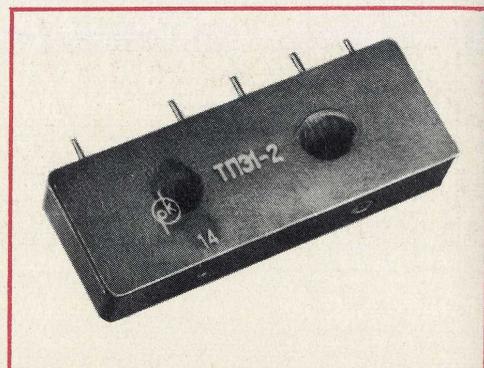




### УНИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД НИЗКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПИТАНИЯ

- Благодаря оригинальной конструкции поверхности охлаждения, специальной форме сердечника и применению высокопрочного материала изоляции достигнуто существенное уменьшение веса трансформаторов (в 2-2,5 раза) и габаритов (в 1,8-2 раза).
- Разработано 1200 типонаименований трансформаторов, которые могут эксплуатироваться при интенсивных механических нагрузках, в тяжелых климатических условиях.

*Входное напряжение* 115, 200, 220в  
*Выходное напряжение* 1-1200в  
*Мощность* 10-450вт  
*Ток нагрузки* 0,06-11,4а

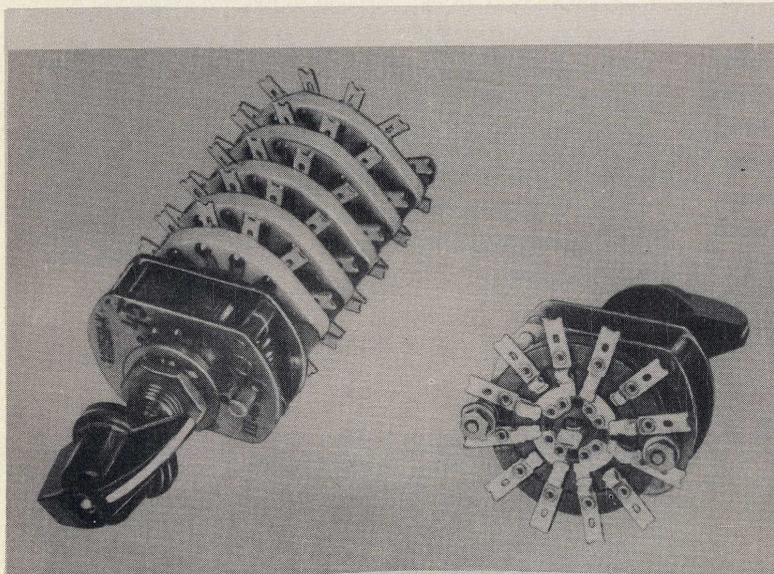


### ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

#### ТПЭ1-1 и ТПЭ1-2

Использование физических свойств пьезокерамических материалов позволило создать принципиально новые малогабаритные приборы, не уступающие по своим техническим характеристикам ранее выпускаемым высоковольтным намоточным трансформаторам

	ТПЭ1-1	ТПЭ1-2
Напряжение, в		
входное	40	40
выходное	≥700	≥1000
Габариты, мм	68x31x10	68x31x10
Вес, г	20,5	25



### МАЛОГАБАРИТНЫЕ ГАЛЕТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

- разработаны специально для коммутации токов малой величины
- могут надежно работать в широком интервале температур от -60 до +100°C
- 80 типонаименований переключателей выполнены на керамических и пластмассовых платах

*Количество плат* 1-5  
*Количество положений* 2-11  
*Количество направлений* 1-20  
*Переходное сопротивление замкнутых контактов* не более 0,015ом  
*Коммутируемый ток* от 0,5ма до 0,5а  
*Коммутируемое напряжение* 1,6- 400в

#### 2P4H-P и 11P5H-K

# ОБОРУДОВАНИЕ

В.М.ВАЛЬКОВ

## Устройства ввода и вывода информации в автоматизированных системах управления технологическими процессами

Использование автоматизированных систем для управления многообразными технологическими процессами в электронной промышленности выдвигает требование оптимального выбора и разработки устройств ввода и вывода информации — промежуточного звена в системах "ЦВМ — исполнительные устройства (датчики)". Предлагаемая классификация известных типов УВВИ и рекомендации по их применению помогут разработчикам при создании систем управления технологическими процессами.

Классификация  
и  
основные  
технические  
характеристики

Развертываются работы по автоматизации технологических процессов в производстве электронных приборов на базе современной управляющей вычислительной техники. Поскольку основным звеном автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) являются управляющие ЦВМ — центральные процессоры систем управления, главное внимание до настоящего времени уделялось выбору, разработке и обеспечению производства таких машин. Однако, как показывает опыт, при разработке отечественных и зарубежных АСУ и, в частности, АСУТП, одной из серьезных проблем является создание устройств ввода и вывода информации (УВВИ), которые должны обеспечивать информационную связь управляющей ЦВМ с датчиками и исполнительными механизмами технологического оборудования, а также с операторами, ведущими технологический процесс. Комплекс устройств ввода и вывода информации, в зависимости от степени сложности системы управления, может значительно превосходить по объему электронное оборудование центрального процессора. По опыту внедрения управляющей ЦВМ УМ1—НХ объем электронного оборудования УВВИ колеблется от 0,6 (в системе управления нажимным устройством блюминга) до 17 (в системе централизованного контроля энергоблока атомной электростанции) эквивалентов оборудования ЦВМ. Разнообразие технологических процессов и технологического оборудования вынуждает разработчиков создавать новые типы согласующих устройств ЦВМ с управляемыми объектами (в настоящее время существует уже несколько десятков типов УВВИ). Наличие широкой номенклатуры УВВИ и стремление использовать однотипные управляющие ЦВМ заставляют разработчиков искать наиболее гибкую структуру организации связи с ЦВМ и ставят задачу выбора оптимальной конструкторской компоновки УВВИ. Эта задача решается путем создания агрегатной системы УВВИ.

Все УВВИ можно разделить на четыре группы:

- I. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи информации.
- II. Цифровые устройства ввода и вывода информации.
- III. Устройства связи оператора с управляющей ЦВМ.
- IV. Устройства коммутации каналов связи ЦВМ с датчиками, регуляторами или другими УВВИ.

I группа УВВИ по характеру обмена информацией относится к устройствам автоматической связи с объектом (УСО) [1]. Их схемная реализация, кроме логических функций, требует выполнения принципиально отличных от других типов устройств технических задач – аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

К УВВИ I группы относятся следующие типы преобразователей:

- "напряжение – код" (ПНК) и "ток – код" (ПТК) постоянных и переменных электрических величин, в частности ПНК милливольтового диапазона (ПМНК);
- "код – напряжение" и "код – ток";
- "перемещение – код", в частности преобразователи с кодовыми датчиками;
- "код – перемещение", в частности преобразователи с использованием шаговых двигателей;
- "пневматический сигнал – код" и "код – пневматический сигнал";
- "частота – код".

Последний тип преобразователей чаще всего реализуется на обычных логических элементах и с этой точки зрения может быть отнесен ко II группе УВВИ, однако при работе с частотно-импульсными датчиками расхода электроэнергии, жидкостей и газов имеет место преобразование аналоговой величины в код.

Основные характеристики аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, разработанных для комплектования некоторых отечественных управляющих ЦВМ, приведены в таблице.

Типы преобразователей	Тип ЭВМ											
	АСВТ			"Днепр-2" (22)			"Электроника К-200"			УМ1-НХ		
	Диапазон	Точность, %	Быстродействие, мсек	Диапазон	Точность, %	Быстродействие, мсек	Диапазон	Точность, %	Быстродействие, мсек	Диапазон	Точность, %	Быстродействие, мсек
"Напряжение – код" и "ток – код"	0–10 мв 0–20 мв 0–50 мв 0–100 мв	0,4	20									
	0–5 в 0–20 в 0–100 ма	0,25	0,2	0–5 ма 0–5 в	0,5 0,5	1,5 1,5	0–50 мв ±10 в ±1 ма	0,2 0,2 0,2	0,2 0,08 0,08	0–50 мв 0 ± 5 в 0–10 в 0–5 ма	0,4 0,4 0,2 0,2	32 0,6 0,3 0,3
	0–20 в 0–100 ма 0–10 в	0,1	1									
"Код – напряжение" и "код – ток"	0–5 ма 0–10 в	0,6–1,5	до 1	0–12 в 0–5 ма	0,6 0,6	– –	0–10 в	0,1	0,02	2,5 в ± 5 в 0–15 в	3 0,4 2	0,2 0,2 0,2
	1,5–2,5 кгц	0,4	4	1,5–2,5 кгц 4–8 кгц	0,4	1–20	–	–	–	–	–	–
"Код – пневматический сигнал"	0,2–1 кг/см <sup>2</sup>	0,6	до 80	–	–	–	–	–	–	–	–	–
"Вал – код"	–	–	–	–	–	–	360°х х 64	0,01	0,02	360°х х 64 360°х х 32	0,01 0,05	0,2 0,2

Основное назначение цифровых УВВИ – автоматическая передача дискретной информации от датчика или УВВИ другой группы в управляющую ЦВМ и от нее к управляемому объекту. Схемы этих устройств строятся на логических элементах и выполняют, как правило, обычные логические функции. Ко II группе УВВИ следует отнести устройства ввода и вывода одноразрядной двоичной, двоично-десятичной, а также "полноразрядной" (соответствующей длине слова ЦВМ) информации. В эту же группу входят устройства, выполняющие функции последовательно-параллельного преобразования, для дистанционной передачи (приема) цифровой информации. Цифровые УВВИ применяются также в качестве промежуточных звеньев в УВВИ III группы и при автоматическом вводе данных с линий телеграфной и телефонной связи.

Постоянное или периодическое участие оперативного персонала в работе автоматизированной системы управления технологическими процессами определяет необходимость иметь устройства связи оператора с управляющей ЦВМ – III группа УВВИ. В эти УВВИ входят устройства отображения (мнемосхемы, буквенно-цифровые индикаторы, ЭЛТ и др.), устройства звуковой индикации (в том числе устройства вывода информации голосом), устройства документирования информации, пульта ручного ввода. К этой группе устройств следует относить также устройства ввода со стандартных носителей информации (перфоленга, перфокарта) и вывода на них, если таковые включаются в состав АСУТП. С точки зрения схемотехники, каждое устройство III группы, как правило, имеет автономное конструктивное исполнение и кроме логических схем включает в себя сильноточные элементы для управления индикаторами, электромеханическими узлами и т.д.

УВВИ, выделяемые в IV группу, по существу, выполняют служебные функции, подключая в необходимый момент тот или иной источник (приемник) информации к ЦВМ. Однако без устройств коммутации невозможно на базе одной управляющей ЦВМ строить АСУТП различной мощности и назначения. Устройства коммутации являются неотъемлемой частью агрегатных систем УВВИ и входят в них в виде блоков коммутации на определенное число каналов. Схемотехническое решение этих устройств в значительной степени определяется характеристиками конкретной ЦВМ, однако выполняемые ими функции почти одинаковы. Центральный процессор системы управления имеет для связи с объектом обычно один–два информационных канала и один–два канала управления. Устройства коммутации в соответствии с адресом канала связи и служебными сигналами, передаваемыми из ЦВМ по каналу управления, "соединяют" информационный канал ЦВМ с источником (приемником) информации заданного адреса. Известны различные схемы организации связи ЦВМ с датчиками и исполнительными механизмами посредством устройств коммутации, например автоматизированная система управления производственным процессом с двухступенчатой коммутацией каналов связи [2]. В качестве другого примера можно привести организацию связи центрального процессора "Электроника К-200" с произвольным количеством УВВИ различной комплектации. В состав центрального процессора включены блок прерывания программ на 23 приоритета и блок управления вводом–выводом информации с каналом "оперативно-программного" управления и селекторным каналом. Первый канал обеспечивает связь ЦВМ с выбранными источниками (приемниками) информации для ввода (вывода) слов или частей слов. Селекторный канал обеспечивает управление двусторонним обменом массивами слов. Нарращивание количества внешних устройств, подключаемых к этим каналам осуществляется через типовые блоки коммутации, каждый из которых обеспечивает коммутацию 128 каналов связи.

Проектирование АСУТП применительно к различным по характеру и сложности процессам производства в электронной промышленности требует наряду с использованием разработанных типов УВВИ, уже применяемых в химии, металлургии, энергетике, создания их новых разновидностей. Экономические

соображения и необходимость сокращения сроков проектирования АСУТП диктуют требования уменьшения номенклатуры УВВИ, т.е. проведения работ по их типизации и унификации. Компромисс в данном случае следует искать в разработке перспективных и наиболее совместимых с технологическим оборудованием типов УВВИ. Решение этой задачи тесно связано с вопросом оснащения оборудования датчиками и исполнительными механизмами.

"Электронная" основа выпускаемых промышленностью изделий определяет необходимость использования практически всех типов аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей электрических величин. Унификации подлежат диапазоны и точность преобразования. Особое внимание следует обратить на преобразователи милливольтового диапазона (ПМНК), поскольку многие предприятия отрасли оснащены термическим оборудованием и термопары являются одним из наиболее распространенных типов датчиков. Весьма актуальной задачей является разработка нового типа преобразователя сверхмалых токов с входным сопротивлением порядка  $10^{-9} - 10^{-11}$  ом, необходимость применения которого определяется спецификой работы многих электронных приборов. Целесообразно включать в состав аналого-цифровых преобразователей встроенные коммутаторы датчиков измеряемых величин, что в ряде случаев дает существенную экономию в оборудовании.

В связи с тем, что в парке технологического оборудования электронной промышленности имеется большое количество установок с перемещающимися механизмами, необходимо уделить серьезное внимание применению преобразователей типа "перемещение — код" и "код — перемещение". Для оснащения технологического оборудования могут быть рекомендованы преобразователи типа КПВК (контактные преобразователи типа "вал — код"), разработанные в электронной промышленности [3]. Несмотря на некоторые ограничения, этот ряд малогабаритных контактных преобразователей, оригинальных по технологии изготовления [4], показал высокие эксплуатационные качества в условиях, например, металлургического производства. Следует отметить, что малогабаритные контактные преобразователи типа "вал — код" давно вошли в номенклатуру электронной промышленности США (по параметрам они не превосходят отечественные КПВК). Контактные преобразователи особенно привлекают простотой конструкции и легкостью включения в систему. Такие устройства, как шаговые двигатели, которые вместе со схемами управления (УВВИ II группы) можно назвать "кодовыми" исполнительными механизмами, также представляются перспективными, особенно в системах мультипрограммного управления рядом однотипных технологических установок. В настоящее время некоторые виды нового технологического оборудования уже оснащены исполнительными механизмами в виде шаговых двигателей.

Выбор цифровых устройств ввода и вывода информации и устройств коммутации в определенной степени зависит от характеристик ЦВМ. Для комплектования автоматизированных систем управления технологическими процессами в первую очередь требуются одноразрядные двоичные и двоично-десятичные устройства ввода и вывода, а также цифровые каналы, соответствующие разрядности выбранного центрального процессора.

В качестве устройств связи управляющей ЦВМ с оператором в первую очередь следует рекомендовать устройства ввода-вывода информации с применением ЭЛТ или электрифицированной пишущей машинки "Consul". Из стандартного периферийного оборудования в АСУТП могут найти применение УВВИ на перфоленте (ПЛ-80, ПЛ-150, СП-3, FS-1500). Разработчики АСУТП должны стремиться к тому, чтобы в создаваемой системе основные массивы информации циркулировали внутри нее и лишь наиболее важная информация выводилась на устройства регистрации и отображения.

Перспективным типом устройств связи оператора с машиной следует считать "речевое" устройство вывода информации с использованием, в частности, словарного барабана магнитного типа [6]. Такое представление информации

в ряде технических ситуаций воспринимается человеком легче и безошибочнее, чем в визуальной форме.

Что касается отдельных элементов мнемосхем, технологических пультов и других устройств аналогичного назначения, то здесь необходимо проведение унификации.

Правильный и обоснованный выбор УВВИ в значительной степени определит успешное решение задач автоматизации технологических процессов в промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрегатная система средств вычислительной техники. ЦНИИТЭИ приборостроения. М., 1969.
2. Микадзе И.С., Джангавадзе С.К., Учанейшвили С.В. Устройство связи с объектом. Автоматизация народному хозяйству, сб. трудов, М. "Энергия", 1969, стр. 103–109.
3. Вальков В.М. Малогабаритные контактные преобразователи "вал – код". "Вопросы радиоэлектроники", 1964, сер. Ш, вып. 5.
4. Старос Ф.Г., Берг И.В., Вальков В.М., Петров П.А. Способ изготовления барабанов для контактных преобразователей "вал – код". Авт. свид. 219625, "Бюллетень изобретений", № 19, 1968.
5. Вальков В.М. Устройство для коммутации электрических цепей контактных цифраторов. Авт. свид. 251262. "Бюллетень изобретений" 1970, № 27.
6. IEEE Intern. Conv. Rec., 1965, N 1.

УДК 658.51.011,56:681.327



Е.Н.ГЛИНСКИЙ, В.Ю.МЕХАНИК,  
В.С.ТЫКВЕНКО, Н.Д.ЧИБИСТКОВ

## АППАРАТУРА СОПРЯЖЕНИЯ ЭВМ «МИНСК-22» С КАНАЛАМИ СВЯЗИ

*Статья депонирована в институте «Электроника»  
№ ДЭ-318, 13 стр., 3 рис.*

Разработана аппаратура «Каскад», предназначенная для сопряжения ЭВМ «Минск-22» с телеграфными каналами связи и обеспечивающая одновременный и независимый ввод (вывод) информации в (из) ЭВМ по пяти телеграфным каналам в режиме прерывания.

Каждый из подключаемых каналов связи имеет свою причину прерывания и обслуживается по приоритетному признаку, причем приоритет любого канала выше других причин прерывания ЭВМ. Введено дополнительное прерывание для обращения к магнитной ленте, которое обслуживается после окончания очередной работы с каналами. Прерывание ЭВМ для обмена с каналами связи блокирует работу стандартных устройств ввода-вывода информации, кроме оперативной печати.

В систему команд ЭВМ «Минск-22» введены специальные команды: «ввод с телеграфной линии», «вывод в телеграфную линию». Расширены функции команды «разрешение (запрещение) прерывания» включением в нее информации о режиме работы (ввод или вывод) и номере канала. Проверка на достоверность информации, поступающей в ЭВМ, производится программой ввода, для чего в сообщении вводится избыточность, позволяющая обнаруживать ошибки и исправлять одиночные ошибки. При обнаружении ошибок, не поддающихся исправлению, абоненту (в канал) выдается сигнал «повторить сообщение».

В комплект аппаратуры входят: собственно шкаф аппаратуры; стол оператора; телеграфный аппарат СТА-2М; вызывной прибор УВП-2И; тумба питания.

Аппаратура «Каскад», выполненная на базе стандартных ячеек ЭВМ серии «Минск», совместно с ЭВМ «Минск-22» может найти применение при проектировании систем сбора и обработки информации.

Для ознакомления с материалом следует обращаться в институт «Электроника» (Москва, В-415, проспект Вернадского, 39, Отдел фондов).

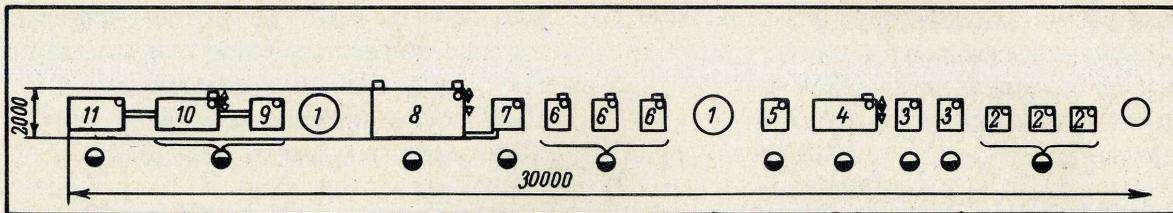
УДК 681.325.5



## Автоматизированная линия для изготовления постоянных непроволочных углеродистых резисторов

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИЙ

	С1-4-0,125	С1-4-0,25 С1-4-0,5
Производительность (при коэффициенте производительности 0,75-0,8), шт/ч	2750	3300
Расход холодной воды, л/ч	320	350
Питание от трехфазной сети переменного тока, в	220/380 (50 гц)	220/380 (50 гц)
Установленная мощность, квт	33	50
Объем отсасываемого воздуха в час, м <sup>3</sup>	4000	4000
Количество обслуживающего персонала, чел.	10	7
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	60	50,4



### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАНИРОВКА ЛИНИИ С 1-4-0,125:

1 – касса; 2 – автомат сварки контактного узла; 3 – автомат армировки; 4 – автомат лакировки; 5 – автомат раскалибровки заготовок резисторов на группы исходных величин; 6 – автомат нарезки; 7 – автомат электрической тренировки; 8 – автомат двухразовой окраски; 9 – автомат раскалибровки по классам точности; 10 – автомат маркировки; 11 – автомат упаковки

- – место подвода электроэнергии;
- – место подключения вытяжной вентиляции;
- ▽ – место подвода холодной воды;
- ◆ – место подвода канализации;
- – место оператора.

#### КРАТКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ ЛИНИИ С 1 4 0,125

1. **КАССА** для хранения межоперационного задела заготовок.

Число ящиков в кассе	220
Емкость ящика, см <sup>3</sup>	3000
Диаметр кассы, мм	1250
Высота кассы, мм	1800
Вес, кг	470

Для удобства обслуживания касса выполнена вращающейся.

2. **АВТОМАТ СВАРКИ КОНТАКТНОГО УЗЛА** предназначен для приварки медных проволочных выводов  $\phi$  0,6 мм к колпачкам.

Производительность, шт/ч	3600
Установленная мощность, квт	1,5
Габариты, мм	900 × 500 × 1600
Вес, кг	300

3. **АВТОМАТ АРМИРОВКИ** керамических углежженных стержней контактными узлами.

Производительность, шт/ч	3600
Установленная мощность, квт	0,4
Габариты, мм	900 × 500 × 1180
Вес, кг	300

4. **АВТОМАТ ЛАКИРОВКИ** предназначен для покрытия лаком токопроводящего слоя резистора и для сушки нанесенного лака. Автомат снабжен

загрузочным устройством для автоматической укладки резисторов (тип АЗМ).

Производительность, шт/ч	4200
Установленная мощность, квт	7,0
Объем отсасываемого воздуха в час, м <sup>3</sup>	500
Расход холодной воды, л/ч	60
Габариты, мм	2300 × 560 × 1300
Вес, кг	850

5. **АВТОМАТ РАСКАЛИБРОВКИ ЗАГОТОВОК РЕЗИСТОРОВ НА ГРУППЫ** по величине омического сопротивления армированных заготовок.

Производительность, шт/ч	4800
Число групп	83
Установленная мощность, квт	0,3
Габариты, мм	1100 × 450 × 1500
Вес, кг	300

6. **АВТОМАТ НАРЕЗКИ** винтовой канавки на армированных контактными узлами заготовках резисторов с целью увеличения сопротивления до требуемой величины

Производительность, шт/ч	1800–2000
Шаг нарезки, мм	0,5–1,5
Установленная мощность, квт	0,7
Объем отсасываемого воздуха в час, м <sup>3</sup>	800
Габариты, мм	715 × 630 × 1600
Вес, кг	300

7. **АВТОМАТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ** предназначен для тренировки электрическим напряжением резисторов. Автомат

снабжен загрузочным устройством для автоматической укладки резисторов (тип АЗМ).

Производительность, шт/ч 4300  
 Установленная мощность, квт 0,5  
 Габариты, мм 1100×650×1500  
 Вес, кг 300

8. **АВТОМАТ ДВУХРАЗОВОЙ ОКРАСКИ** предназначен для окраски резисторов эмалью (с последующей сушкой) с целью предохранения токопроводящего слоя от механических и климатических воздействий.

Производительность, шт/ч 4300  
 Установленная мощность, квт 10,0  
 Объем отсасываемого воздуха в час, м<sup>3</sup> 600  
 Расход холодной воды, л/ч 200  
 Габариты, мм 3200×560×1840  
 Вес, кг 1400

9. **АВТОМАТ РАСКАЛИБРОВКИ ПО КЛАССАМ ТОЧНОСТИ** резисторов снабжен загрузочным устройством для автоматической укладки резисторов (тип АЗМ).

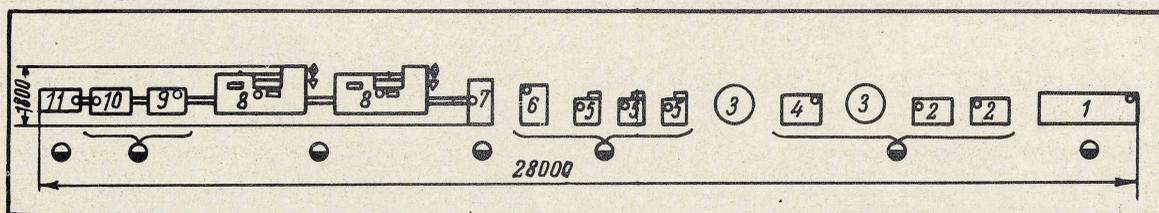
Производительность, шт/ч 4300  
 Установленная мощность, квт 0,4  
 Габариты, мм 1600×500×1300  
 Вес, кг 250

10. **АВТОМАТ МАРКИРОВКИ** предназначен для цифровой маркировки резисторов и покрытия их лаком с целью защиты маркировки.

Производительность, шт/ч 4200  
 Установленная мощность, квт 7,0  
 Объем отсасываемого воздуха в час, м<sup>3</sup> 500  
 Расход холодной воды, л/ч 60  
 Габариты, мм 2080×585×1195  
 Вес, кг 600

11. **АВТОМАТ УПАКОВКИ** предназначен для упаковки резисторов в липкую бумажную ленту с последующей намоткой на катушку по 500 шт. в каждой. Автомат снабжен загрузочным устройством для автоматической укладки резисторов (тип АЗМ).

Производительность, шт/ч 4200  
 Установленная мощность, квт 0,4  
 Габариты, мм 1540×550×1530  
 Вес, кг 500



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАНИРОВКА ЛИНИЙ С 1-4-0,25 и С 1-4-0,5:

1 – автомат лакировки и сушки; 2 – автомат армировки; 3 – касса; 4 – автомат-группомер; 5 – автомат нарезки; 6 – автомат электротренировки; 7 – автомат приварки проволочных выводов; 8 – автомат окраски и сушки; 9 – автомат раскалибровки по классам точности; 10 – автомат маркировки; 11 – автомат упаковки.

В составе линий автоматы 1-6 не имеют транспортных связей, а автоматы 7-11 имеют автоматическую транспортную связь

- – место подвода электроэнергии;
- – место подключения вытяжной вентиляции;
- ▽ – место подвода холодной воды;
- ◆ – место подвода канализации;
- – место оператора.

КРАТКАЯ  
 ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
 ОБОРУДОВАНИЯ ЛИНИЙ  
 С 1 4 0,25 И С 1 4 0,5

1. **АВТОМАТ ЛАКИРОВКИ И СУШКИ** предназначен для нанесения на поверхность науглероженной заготовки защитного лакового слоя с последующей его сушкой.

Производительность, шт/ч 4500  
 Установленная мощность, квт 4,4  
 Объем отсасываемого воздуха в час, м<sup>3</sup> 600  
 Габариты, мм 2500×1000×1350  
 Вес, кг 580

2. **АВТОМАТ АРМИРОВКИ** керамических науглероженных стержней колпачками.

Производительность, шт/ч	2500
Установленная мощность, квт	0,6
Габариты, мм	820×1550×1200
Вес, кг	200

3. **КАССА** для хранения межоперационного задела заготовок.

Число ящиков в кассе	220
Емкость ящика, см <sup>3</sup>	3000
Диаметр кассы, мм	1250
Высота кассы, мм	1800
Вес, кг	470

4. **АВТОМАТ-ГРУППОМЕР** для раскалибровки заготовок на группы по величине их омического сопротивления.

Производительность, шт/ч	4300
Число групп раскалибровки	91
Установленная мощность, квт	0,4
Габариты, мм	1060×530×2280
Вес, кг	300

5. **АВТОМАТ НАРЕЗКИ** винтовой канавки на армированных колпачками заготовках резисторов с целью увеличения сопротивления до требуемой величины.

Производительность, шт/ч	1800 × 2000
Шаг нарезки, мм	0,5 – 12
Установленная мощность, квт	0,6
Объем отсасываемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	400
Габариты, мм	715×630×1600
Вес, кг	250

6. **АВТОМАТ ЭЛЕКТРОТРЕНИРОВКИ** предназначен для кратковременной электротренировки заготовок при нагрузке, превышающей в 12–18 раз их допустимую номинальную мощность.

Производительность, шт/ч	4300
Установленная мощность, квт	1,2
Габариты, мм	1020×700×1600
Вес, кг	350

7. **АВТОМАТ ПРИВАРКИ ПРОВОЛОЧНЫХ ВЫВОДОВ** предназначен для контактной приварки проволочных выводов к заготовкам резисторов.

Производительность, шт/ч	3700
Установленная мощность, квт	1,4
Габариты, мм	1120×640×1880
Вес, кг	600

8. **АВТОМАТ ОКРАСКИ** предназначен для окраски резисторов эмалью (с последующей сушкой) с целью защиты проводящего слоя от воздействия климатических условий, а также от механических повреждений.

Производительность, шт/ч	3700
Установленная мощность, квт	15,7
Объем отсасываемого воздуха в час, м <sup>3</sup>	900
Габариты, мм	2100×1250×1800
Вес, кг	1000

9. **АВТОМАТ РАСКАЛИБРОВКИ ПО КЛАССАМ ТОЧНОСТИ** резисторов с отклонением от номинала ±2, ±5 и ±10%, а также для отбраковки резисторов, не уложившихся в эти допуски. Автомат снабжен загрузочным устройством для автоматической укладки резисторов (тип АЗМ).

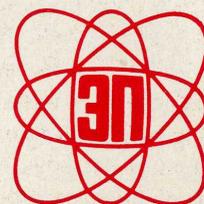
Производительность, шт/ч	3700
Установленная мощность, квт	0,8
Габариты, мм	1580×700×1980
Вес, кг	300

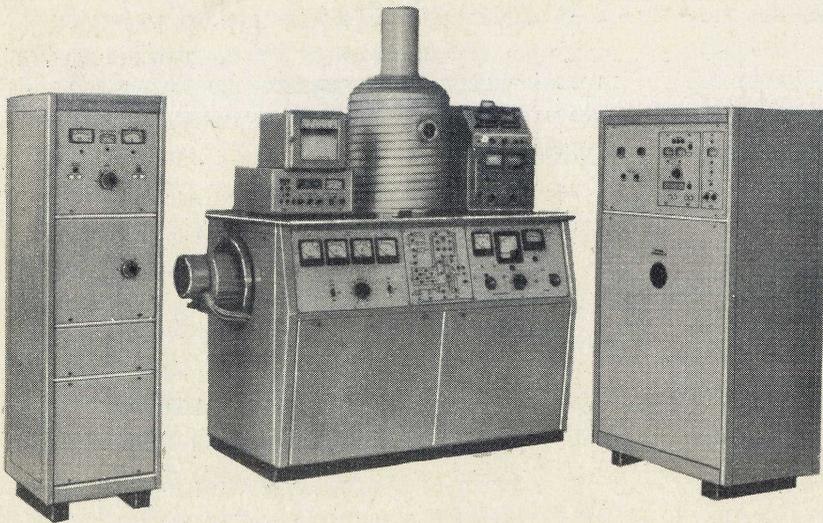
10. **АВТОМАТ МАРКИРОВКИ** предназначен для маркировки резисторов с последующей его лакировкой и сушкой.

Установленная мощность, квт	7
Объем отсасываемого воздуха в час, м <sup>3</sup>	300
Габариты, мм	1500×750×3200
Вес, кг	500

11. **АВТОМАТ УПАКОВКИ** предназначен для упаковки резисторов в липкую бумажную ленту с последующей намоткой на катушку по 500 шт. в каждой. В конструкции автомата предусмотрен контроль резисторов на соответствие номиналу.

Производительность, шт/ч	3700
Установленная мощность, квт	0,4
Габариты, мм	1100×630×1220
Вес, кг	220





## сверхвысоковакуумная установка УВН-84Р-1 для эпитаксиального выращивания кремния

Установка универсальна для проведения исследований в области пленочной технологии и может быть использована для получения эпитаксиальных слоев, пленок чистых металлов и диэлектриков.

Установка состоит из вакуумного агрегата, системы питания электронного нагревателя подложек, системы питания электроннолучевого испарителя и прибора для контроля скорости осаждения и толщины наносимого слоя.

Вакуумный агрегат сконструирован в сварном каркасе, имеющем съемные щиты. На передней стенке каркаса расположены панели управления, внутри — система откачки и элементы электрооборудования, сверху — рабочая камера с технологическим устройством. В откачиваемом объеме предельное давление прямо пропорционально величине потока газа (определяемого в основном двумя составляющими: газоотделением со стенок камеры и натеканием газа через неплотности) и обратно пропорционально скорости откачки. Обезгаживание камеры проводили при температуре 400–450°С с последующим охлаждением.

В обычных сверхвысоковакуумных системах для уплотнений используют металлические прокладки. В камерах с большим диаметром это приводит к значительным затратам времени на герметизацию и разгерметизацию откачиваемого

объема, вызывает неудобства при вскрытии рабочей камеры. Кроме того, металлические прокладки необходимо часто заменять. Механизмы, служащие для передачи крутящего момента и поступательных движений устройствам, находящимся в прогреваемых сверхвысоковакуумных системах, имеют, как правило, сложную конструкцию и большие габариты.

Для получения сверхвысокого вакуума в установке УВН-84Р-1 был использован известный принцип "вакуум в вакууме"\*, основанный на применении двухколпаковой системы, что позволило отказаться от металлических уплотняющих прокладок и резко уменьшить натекание газа в рабочую камеру. Под внутренним колпаком давление достигает  $5 \cdot 10^{-9}$  торр, а в пространстве между колпаками —  $3 \cdot 10^{-7}$  торр. Для всех уплотнений внешнего колпака и нижней плиты используется резина марки 9024. Уплотнение на внут-

\* Дантом Р., Ривера М. Патент США № 309 5494 кл.219-35, 25.6.1960 г.

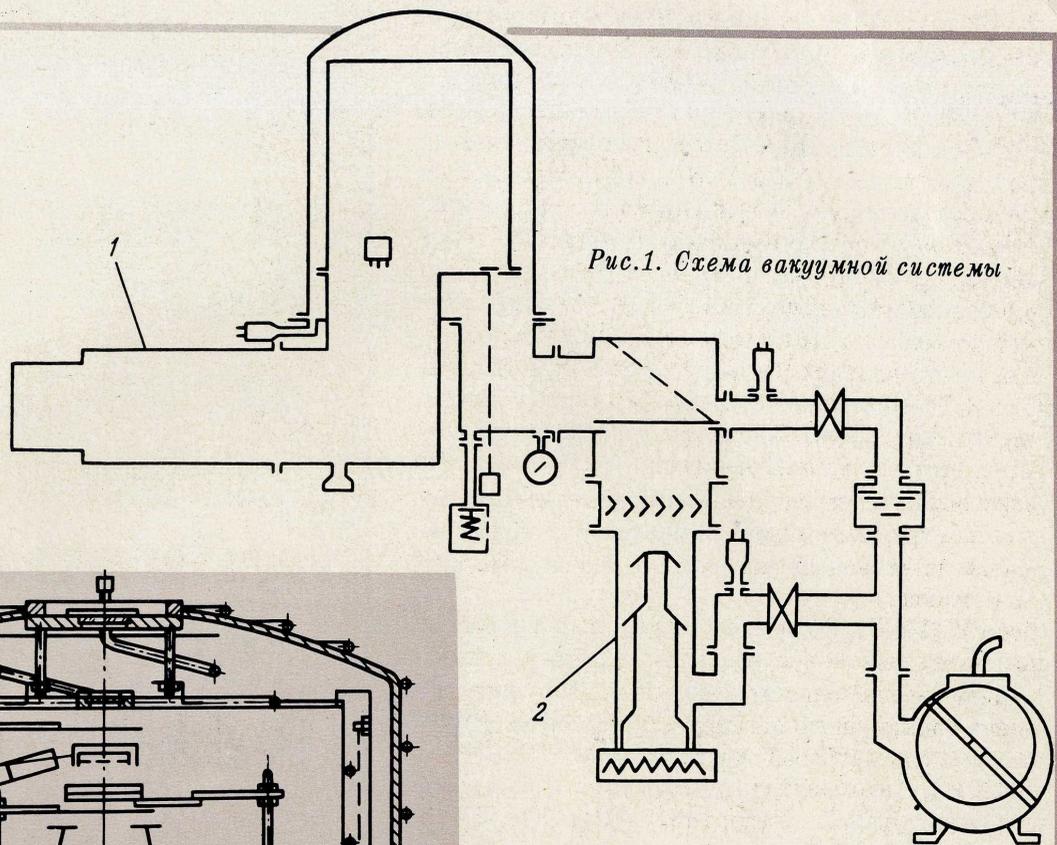


Рис.1. Схема вакуумной системы

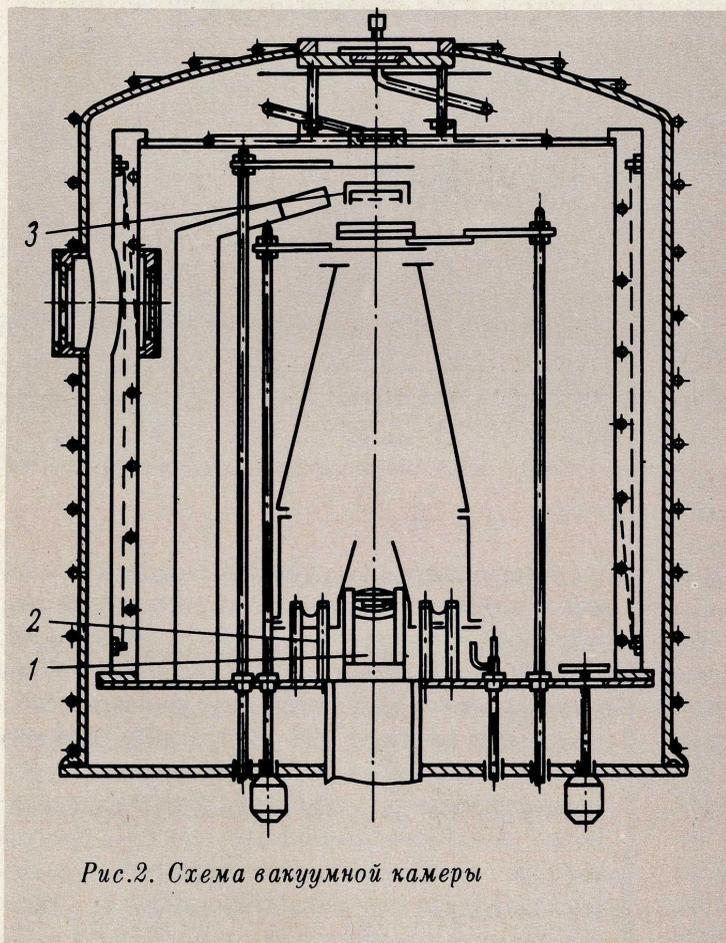


Рис.2. Схема вакуумной камеры

реннем колпаке и верхней плите обеспечивается плотным прилеганием сопрягаемых поверхностей.

Основным средством откачки вакуумной системы установки (рис. 1) является насос ГИН-2(1). Вспомогательная система откачки выполнена на основе паромасляного насоса типа Н-5С-1(2). Давление во внешней камере измеряется вакуумметром ВИТ-1А с манометрическими преобразователями ЛМ-2 и ЛТ-4М, давление в рабочей камере – вакуумметром ВИ-12 с манометрическим преобразователем МИ-12-8. Предварительная откачка рабочего объема и насоса ГИН-2, а также откачка в процессе

обезгаживания системы прогревом производится при открытом сверхвысоковакуумном клапане с электромагнитным приводом. С целью уменьшения времени охлаждения прогретых частей к внутреннему колпаку приварен трубопровод, через который пропускается воздух, а затем холодная вода. Давление  $5 \cdot 10^{-9}$  торр в рабочей камере может быть получено за 6–10 ч с момента включения установки, причем за 6 ч можно откачать "чистую" рабочую камеру (рис.2). Диаметр внутреннего колпака 400 мм, высота 430 мм. На стенке расположено смотровое окно, а на верхнем торце – окно для измерения температуры подложек. На поворотном держателе подложек размещены три кассеты, в каждой из которых закреплены по три подложки диаметром

25–28 мм и толщиной 0,6 мм. Различные материалы, включая и тугоплавкие металлы, напыляются на подложки электроннолучевым испарителем 1 (мощностью до 2 квт) с двумя водоохлаждаемыми тиглями. В рабочей камере расположены также два резистивных испарителя 2 мощностью до 2 квт (максимальный ток 500 а). Подложки нагреваются до 1400°C электронным нагревателем 3 мощностью до 1 квт; температура их измеряется пирометрическим датчиком через верхнее окно. Фотоприемником служит германиевый фотодиод. К выходу датчика при соединен измерительный прибор ПСР1–0,8. Зона испарения ограждена системой быстросъемных экранов с зеркалом для наблюдения за положением луча в тигле при работе электронного испарителя. Поток осаждаемого материала при достижении номинальной толщины пленки прерывается заслонкой с электромагнитным приводом, управляемой вручную или от прибора ИСТИ–2. Подвижный экран, расположенный над электронным нагревателем подложек, предохраняет верхнее окно от запыления. Источник питания электронного нагревателя подложек расположен в отдельном шкафу размерами 1750×500×600 мм. Максимальное ускоряющее напряжение источника равно 2 кв при токе эмиссии до 0,5 а. Источник питания электроннолучевого испарителя помещен в шкаф размерами 1750×950×600 мм. Стабилизированное анодное напряжение источника 6–10 кв (регулировка через 0,5 кв) при токе эмиссии до 0,2 а.

В процессе эксплуатации на установке УВН–84Р–1 получены совершенные монокристаллические пленки кремния на сапфировых и кремниевых подложках. Заготовку кремния диаметром 30 мм и высотой 10 мм помещали в водоохлаждаемый тигель и нагревали электроннолучевым испарителем при напряжении 6 кв и токе 90 ма. При осаждении кремния на подложки за 15 мин получали монокристаллические пленки кремния толщиной 1,5 мкм. Подложки нагревались до температуры 1200°C. Вакуум в процессе нанесения был не хуже  $4 \cdot 10^{-7}$  торр. Кроме того, в процессе эксплуатации установлено, что давление  $5 \cdot 10^{-5}$  торр на установке может быть достигнуто после 30-мин откачки насосом Н–5С–1 (с азотной ловушкой); при включении нагревателей системы давление сначала возрастает до  $5 \cdot 10^{-5}$  торр, а затем плавно снижается до  $7 \cdot 10^{-6}$  торр в конце прогрева (длительность прогрева примерно 3,5 ч). После отключения нагревателей и включения насоса ГИН–2 предельное давление может быть достигнуто через 1,5 ч.

Спектральный анализ остаточной атмосферы на установке УВН–84Р–1 не проводился, но исследование полученных монокристаллических пленок позволяет сделать заключение, что количество молекул масла в рабочей камере очень незначительно.

УДК 621.523

В.И.ГОЛЫШЕВ, В.И.ИВАНОВ,  
Р.Н.КРУГЛОВ, Е.С.ЛЮБИМОВ,  
Л.В.САЗОНОВ, Б.А.СУХОДАЕВ,  
У.Н.СТЕПАНОВ

## устройство для газоразрядного легирования эпитаксиальных слоев кремния

позволяет получать эпитаксиальные слои кремния *n*-типа с удельным сопротивлением 0,04–3 ом·см

В последнее время уделяется серьезное внимание газоразрядному легированию эпитаксиальных слоев из твердой фазы [1–3], но применить данный метод в промышленности трудно из-за ограниченного числа детальных исследований и отсутствия производства достаточно надежных и легкоуправляемых устройств для газоразрядного легирования. В этих устройствах подаваемый в реакционную камеру эпитаксиального наращивания чистый водород или парогазовая смесь проходит через газоразрядную камеру с двумя электродами из материала, содержащего необходимое для легирования донорную или акцепторную примесь. В плазме искрового разряда происходит испарение материала электродов и образование летучих соединений примеси. Получаемая концентрация примеси изменяется в зависимости от химического состава электродов и режима работы устройства (расстояния между электродами, величины прикладываемого напряжения, частоты и длительности импульсов).

Разработанное устройство состоит из двух самостоятельных узлов: газоразрядной камеры (рис.1 и 2) и импульсного источника питания, выполненный в виде компактного блока (рис.3).

Рис.1. Газоразрядная камера

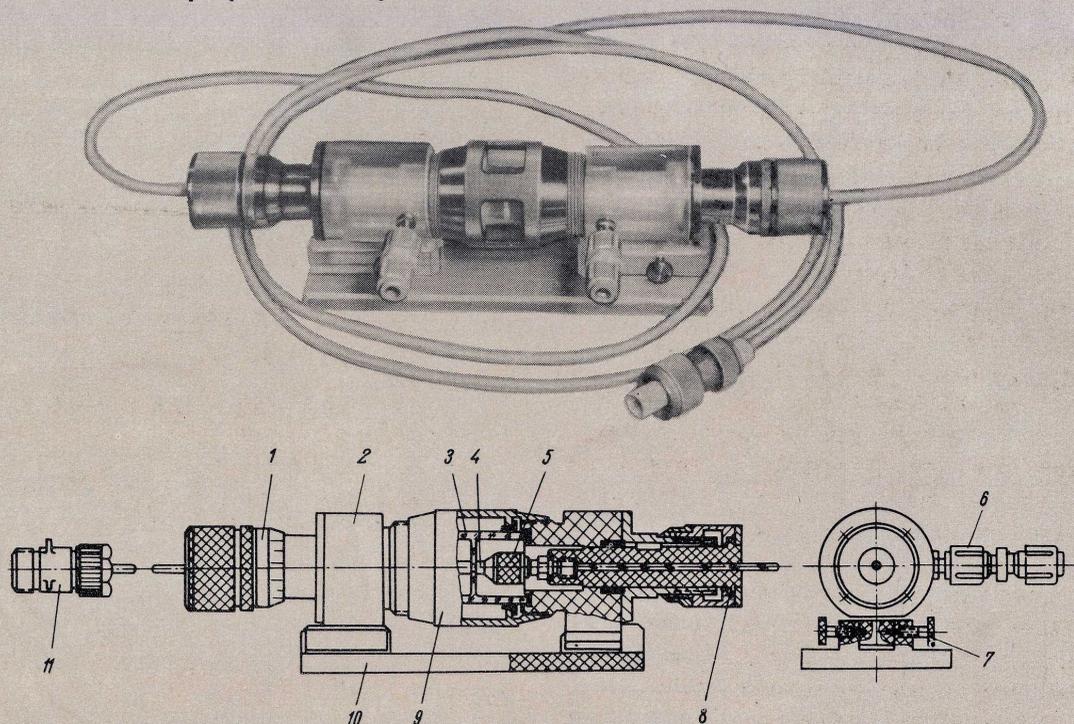


Рис.2. Конструкция газоразрядной камеры:

1—микрометрический винт для задания и регулировки расстояния между электродами; 2—уплотняющие фланцы из органического стекла; 3—кварцевая трубка с диафрагмой; 4—рабочие электроды; 5—цанговые зажимы; 6—штуцер для присоединения к газовой магистрали; 7—зажимные винты; 8—изоляторы из фторопласта; 9—зажимная муфта; 10—основание для крепления камеры в установке; 11—высоковольтный разъем

Все элементы газоразрядной камеры смонтированы на специальном основании. С газовой системой эпитаксиальной установки камера соединяется через два штуцера, а с источником питания — через высоковольтный разъем. Основной рабочий объем газоразрядной камеры образуется отрезком кварцевой трубки с внутренним диаметром 40 мм, разделенной диафрагмой с отверстием диаметром 2–5 мм. Зажимная муфта с помощью резиновых уплотнений удерживает кварцевую трубку между двумя фланцами из органического стекла. Через фланцы с обеих сторон по оси камеры введены подвижные изоляторы с цанговыми зажимами на концах для крепления рабочих электродов. Расстояние между электродами устанавливается микрометрическими винтами в пределах 2–10 мм с точностью 0,2 мм. Диаметр применяемых электродов 2–5 мм, длина 10 мм.

Гибкое управление уровнем легирования при работе газоразрядного устройства достигается с помощью импульсного источника питания, который состоит из двух каскадов: задающего генератора и импульсного усилителя. Частота повторения импульсов регулируется от 5 до 200 гц, напряжение амплитуды импульса 22 кв, амплитуда



Рис.3. Блок импульсного источника питания

тока разряда в импульсе 0,8 а. Точность поддержания частоты следования импульсов  $\pm 10\%$ .

Работа устройства газоразрядного легирования исследовалась на установке эпитаксиального наращивания с горизонтальным реактором при

стандартном хлоридном технологическом процессе со скоростью роста эпитаксиального слоя  $1 \text{ мкм/мин}$ , длительностью процесса  $20 \text{ мин}$  и расходом водорода  $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для легирования мышьяком в качестве электродов использовался арсенид галлия. Была исследована зависимость концентрации мышьяка от изменения расстояния между электродами в пределах  $1-10 \text{ мм}$  и частоты следования импульсов в диапазоне  $10-210 \text{ гц}$ .

**Некоторые данные по легированию эпитаксиальных слоев кремния мышьяком с использованием подложки КДБ-10 (электрод — GaAs)**

Режим работы		Толщина слоя по дефектам упаковки и по шаровому шлифу, <i>мкм</i>	Удельное сопротивление (четырёхзондовый метод), <i>ом·см</i>
Частота повторения импульсов, <i>гц</i>	Расстояние между электродами, <i>мм</i>		
210	5	15,5	0,074
	7	20	0,09
	10	18,5	0,107
	6	20	0,04
100	5	18,3	0,1
	7	16,3	0,106
	10	14,1	0,138
50	5	19	3,0
	7	18,2	2,5
	10	16,3	1,0
	6	19	3,0

Максимальное удельное сопротивление эпитаксиальных слоев  $0,5 \text{ ом·см}$  получено при расстоянии между электродами  $5 \text{ мм}$  и частоте  $50 \text{ гц}$ . Разброс по удельному сопротивлению во всех режимах не превышает  $20\%$ .

Опыт эксплуатации устройства показал, что оно может быть широко использовано [4], достаточно удобно и надежно в эксплуатации, позволяет менять концентрацию примеси от  $1 \cdot 10^{17} \text{ атом/см}^3$  ( $0,04 \text{ ом·см}$ ) до  $2 \cdot 10^{15} \text{ атом/см}^3$  ( $3 \text{ ом·см}$ ).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Goorissen J. Bruijning H.G., "Philips Technical Review", 1965, v.26, N 7, p.194.
2. Alexander I., Sterling H. "Solid State Electronics", 1967, v.10, N 5, p.485.
3. Дуткина Т.А., Николаева В.В., Скворцов И.М., Лымарь Г.Ф. Легирование эпитаксиальных слоев кремния мышьяком с помощью электрического разряда. "Изв.АН СССР", сер."Неорганические материалы", 1968, т.4, №7, стр.1176-1177.
4. Блинов И.Г., Иванов В.И., Мелехин Ю.Я., Сандеров В.Д. Специальное технологическое оборудование для микроэлектроники. МИЭТ, 1968.

УДК 621.365.2:548.554

Ю.А.ДЯДЮН, А.С.КОСЕНКОВ, А.П.ПРИМА

Испаритель с кольцевым катодом позволяет производить в одном вакуумном цикле многократное напыление пленок тугоплавких металлов толщиной до  $2000-6000 \text{ Å}$ .

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПАРЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Наиболее эффективным методом нанесения пленок металлов в вакууме является испарение материала электронной бомбардировкой. Испаритель, построенный на этом принципе (пушка с кольцевым катодом), используется в вакуумных напылительных установках для нанесения пленок тугоплавких металлов [1,2]. Однако этот испаритель обладает существенными недостатками, ко-

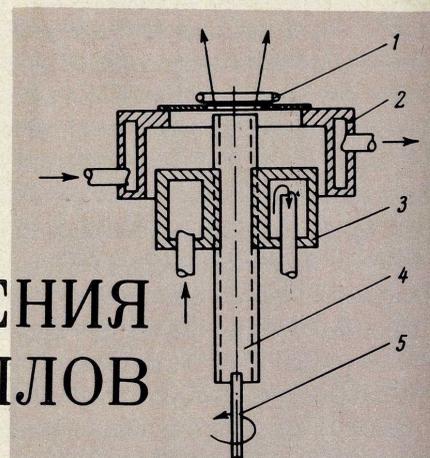


Рис. 1. Конструкция испарителя:

- 1 — катод; 2 — основание с фокусирующим электродом;
- 3 — водоохлаждаемый анод;
- 4 — испаряемый материал;
- 5 — привод подачи

торые особенно четко проявляются при использовании его для многократного напыления в одном вакуумном цикле пленок толщиной свыше  $1000 \text{ \AA}$ . При этом возникает необходимость частой замены испаряемого материала, что требует развакуумирования рабочего объема, повторной юстировки пушки и исключает возможность автоматизации процесса напыления. Кроме того, малая поверхность соприкосновения с охлаждаемым анодом ограничивает верхний предел скорости напыления.

Для устранения указанных недостатков предлагается другая конструкция испарителя (рис.1). Анод представляет собой водоохлаждаемый цилиндр с резьбовым отверстием, в которое ввинчен стержень испаряемого материала. При многократном напылении пленок толщиной  $5000-6000 \text{ \AA}$  подача испаряемого материала осуществляется при вращении стержня, которое можно производить без нарушения вакуума. В этом случае в процессе напыления сохраняется неизменной геометрия испарителя, а следовательно, и режим испарения. При длительной работе испарителя происходит сильный разогрев арматуры и фокусирующего электрода за счет излучения, что увеличивает газоотделение и ухудшает стабильность его работы. Применение водоохлаждаемого основания для крепления фокусирующего электрода в значительной мере устраняет этот эффект. Устройство обеспечивает стабильный режим испарения.

Испаритель этой конструкции применялся для нанесения пленок тантала толщиной  $2000-3000 \text{ \AA}$  и пленок никеля толщиной  $6000-7000 \text{ \AA}$ . Испаряемые материалы имели вид стержня длиной  $80-100 \text{ мм}$  с резьбой  $10 \times 1$ . Расстояние между испарителем и подложкой составляло  $120 \text{ мм}$ . Толщина пленок измерялась с помощью микроинтерферометра МИИ-4.

На рис.2 приведены зависимости толщины пленок никеля и тантала от времени напыления для оптимальных режимов испарения ( $U=5 \text{ кВ}$  и  $I=140 \text{ ма}$  для никеля;  $U=6,5 \text{ кВ}$  и  $I=170 \text{ ма}$  для тантала). Скорость напыления составляла  $700 \text{ \AA/мин}$  для никеля и  $300 \text{ \AA/мин}$  для тантала.

Для поддержания постоянной скорости при многократных напылениях пленок тантала толщиной  $2500 \text{ \AA}$  и пленок никеля толщиной  $6000 \text{ \AA}$  необходимо после каждого напыления производить подъем испаряемого материала на  $0,5 \text{ мм}$  для никеля (что соответствует  $0,5$  оборота стержня) и  $0,25 \text{ мм}$  для тантала (что соответствует  $0,25$  оборота стержня). Поворот стержня производится без нарушения вакуума с помощью электромотора и несложной системы передачи. Разброс толщины пленки никеля (время напыления  $8 \text{ мин}$ ) для разных подложек составлял около  $10\%$ .

Применение описанной конструкции испарителя для напыления пленок тугоплавких металлов повышает производительность вакуумных напылительных установок и обеспечивает возможность полной автоматизации процесса напыления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев А.М., Саватьев В.А. "Обмен опытом в радиоэлектронной промышленности", 1965, вып.8.
2. Холленд Л. "Пленочная микроэлектроника", М., изд-во "Мир", 1968.

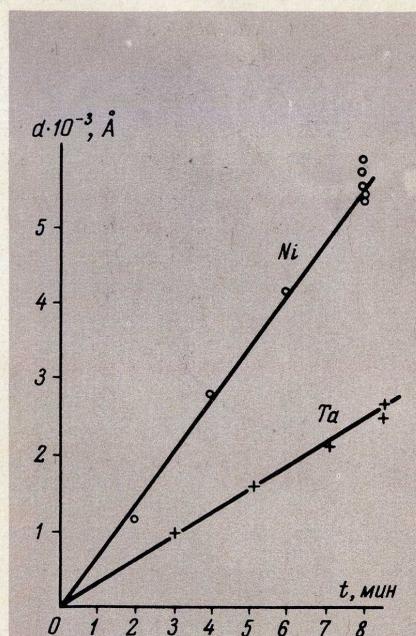
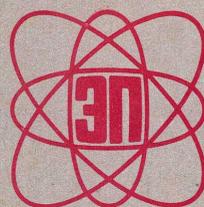
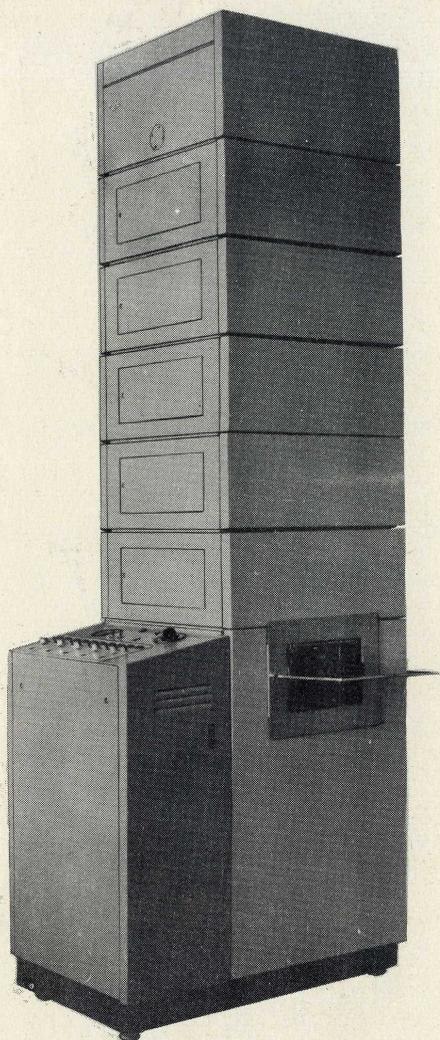


Рис. 2. Зависимость толщины пленок от времени напыления





**ФСМ-75-1**

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ**

**КОНВЕЙЕРНАЯ**

**ПЕЧЬ**

**ФСМ-75-1**

Для ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР, ЛАКОКРАСОЧНЫХ И ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, МАРКИРОВКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАСТМАСС

Модульно-блочное исполнение печи отвечает современным требованиям технологии производства полупроводниковых приборов. Позволяет в 3-4 раза сократить производственные площади, занимаемые в настоящее время под сушильное оборудование.

■ Одновременно в печь загружаются 25 кассет размером 300x100x30 мм. ■ Диапазон регулирования температуры 50-300°C с точностью поддержания температуры  $\pm 2$  град. ■ Разброс температуры по зоне сушки  $\pm 5$  град.

## ПОСТ КАМЕРНОЙ ОТКАЧКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ОБЩИЙ СРОК ОТКАЧКИ ПРИБОРОВ ЗА СЧЕТ СОВМЕЩЕНИЯ ЦИКЛА ОБЕЗГАЗИВАНИЯ АНОДНЫХ БЛОКОВ И КАТОДНОГО УЗЛА

Откачку приборов камерным способом производили на установке, схема которой приведена на рис. 1. Диаметр рабочей зоны 280 мм, высота 900 мм. К верхнему фланцу камеры 7 крепится сорбционный титановый охлаждаемый насос типа СТОН 14. Откачной пост снабжен также турбомолекулярным насосом типа TVP-501 11, соединенным с технологической камерой краном ВП-160\* 12 и форвакуумным насосом 10 производительностью 12 м<sup>3</sup>/ч. Система нагрева прибора состоит из трех трубчатых молибденовых элементов 2, изготовленных из ленты толщиной 0,3 мм, и экранов 1 и 13. Медные экраны общей площадью 1,2 м<sup>2</sup> охлаждались водой; экраны 1 из ниобия площадью 3 м<sup>2</sup> вообще не охлаждались. На днище камеры 8 расположены механизм герметизации прибора 6, изготовленный из стали ЭИ-696, и устройство экранировки 9, обеспечивающее защиту рабочих поверхностей анодного блока от напыления со стороны катода в процессе активировки последнего. Привод заслонки сделан из стали 1Х18Н9Т, экран — из молибдена. Уплотнение мест разъема корпуса титанового насоса с камерой и камеры с днищем

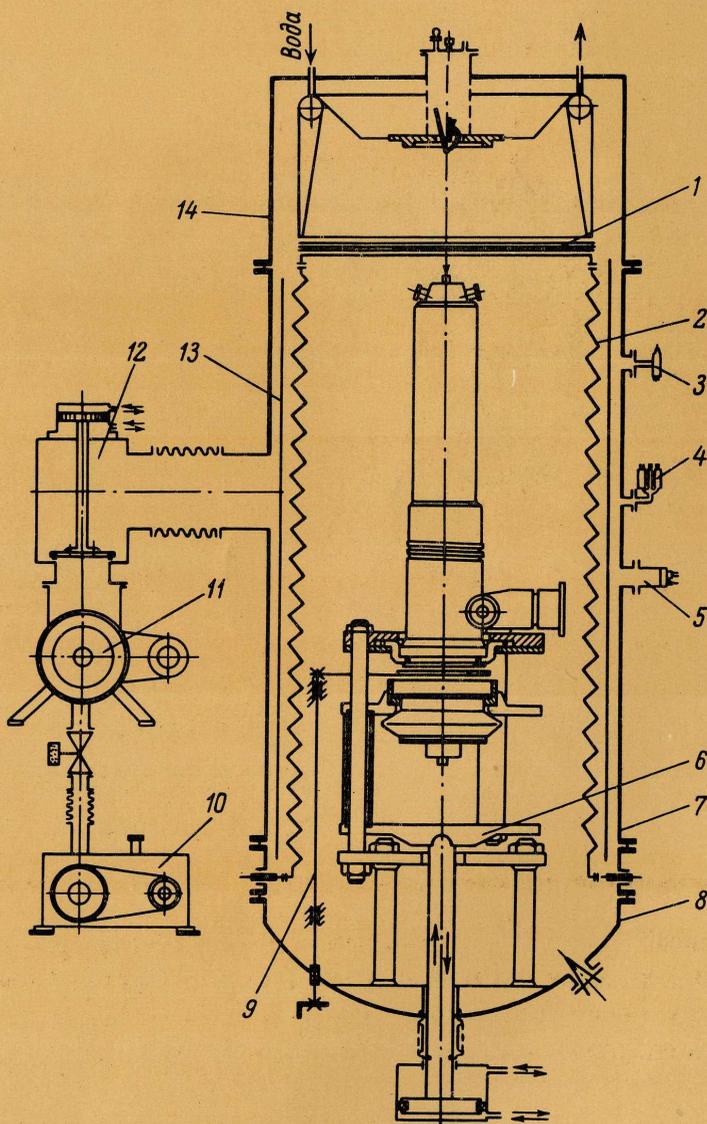


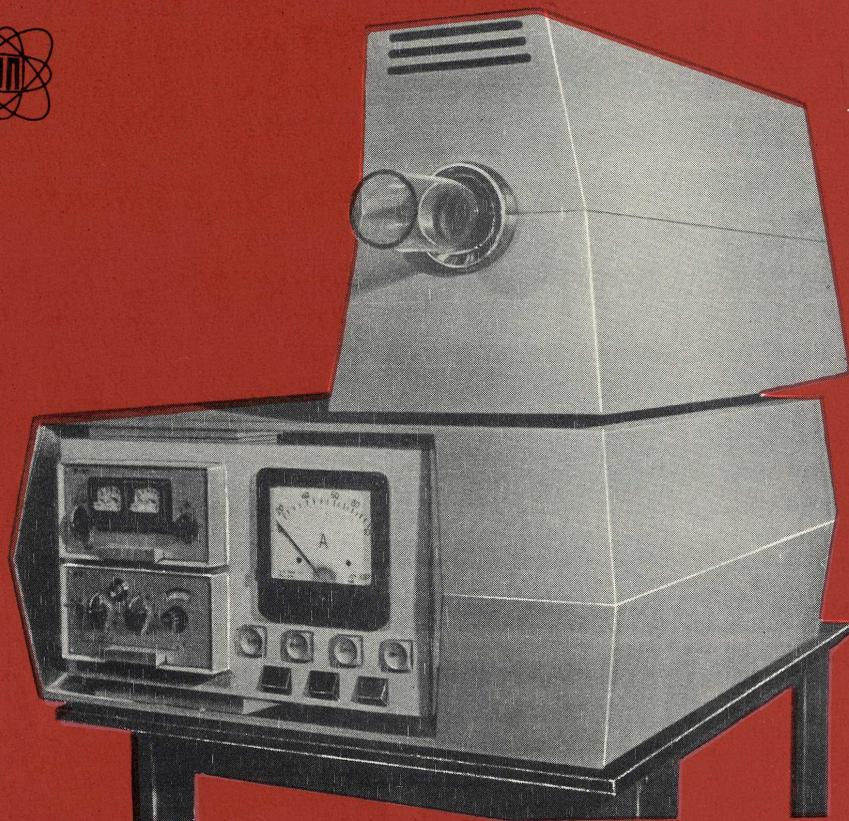
Рис. 1. Схема камерной откачки приборов

\* Александрова А. Т., Кондрашев В. С., Пак К., Полотай Г. А. Высоковакуумные прогреваемые краны с пневматическим приводом. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1968, № 3.

ВПЕРВЫЕ РАЗРАБОТАНЫ И ВЫПУСКАЮТСЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ  
МАЛОГАБАРИТНЫЕ УСТАНОВКИ

серии **ИЗОПРИН**



для проведения процессов

ДИФФУЗИИ,  
ОКИСЛЕНИЯ,  
ЭПИТАКСИЛЬНОГО НАРАЩИВАНИЯ,  
ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

- Интенсивный лучистый нагрев обеспечивает выход на заданный температурный режим в течение 100 сек.
- Установки снабжены системами автоматического переключения температурных режимов
- Незаменимы при проведении лабораторных исследований различных технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов, интегральных схем.

Максимальная рабочая температура  
при импульсном режиме 1450°C  
при длительном режиме 1200°C

Внутренний диаметр кварцевой трубки 48 мм

осуществлялось на прокладках из резины марки ИРП – 2043.

Остальные высоковакуумные разборные соединения уплотняли прокладками из меди марки МБ. Охлаждение стенок поста осуществлялось проточной водой, которая циркулировала по трубкам, приваренным к камере, днищу и корпусу СТОН снаружи. Для измерения давлений пост снабжен вакуумметрическими датчиками типа ЛТ-2 и ЛМ-2 4, МИ-12 (открытого типа) 5 и РМО-4С 3.

В процессе испытания постов камерной откачки (с целью оценки эффективности работы откачных средств) проводились измерения величин газовых потоков методом переменной проводимости и парциальных давлений в течение всего цикла откачки прибора.

В качестве устройства для изменения проводимости вакуумной системы был использован кран ВП-160. Наличие омегатрона (РМО-4С) позволяло определить потоки различных газов в течение всего времени обработки прибора.

Величины потоков рассчитывались по формуле

$$Q = K(P_{\text{п}} - P_0),$$

где  $K$  – проводимость щели для данного газа, л/сек;  $P_{\text{п}}$  – парциальное давление газа при закрытом кране, торр;  $P_0$  – парциальное давление газа при открытом кране, торр. Общее давление газовой смеси определялось как сумма всех парциальных давлений.

Контроль парциальных давлений проводили на лабораторном варианте поста и на промышленных установках. Измерения газопотоков проводились только на лабораторном посту, где сорбционный насос мог быть изолирован от камеры краном (с проходным сечением  $\phi$  300 мм).

Вначале каждого цикла откачки камера открывалась на 1–2 ч (время, необходимое для загрузки прибора). При этом в систему охлаждения поста подавали горячую воду ( $70 - 80^\circ \text{C}$ ). До давления  $1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$  торр камере откачивали турбомолекулярным насосом. На этом этапе от-

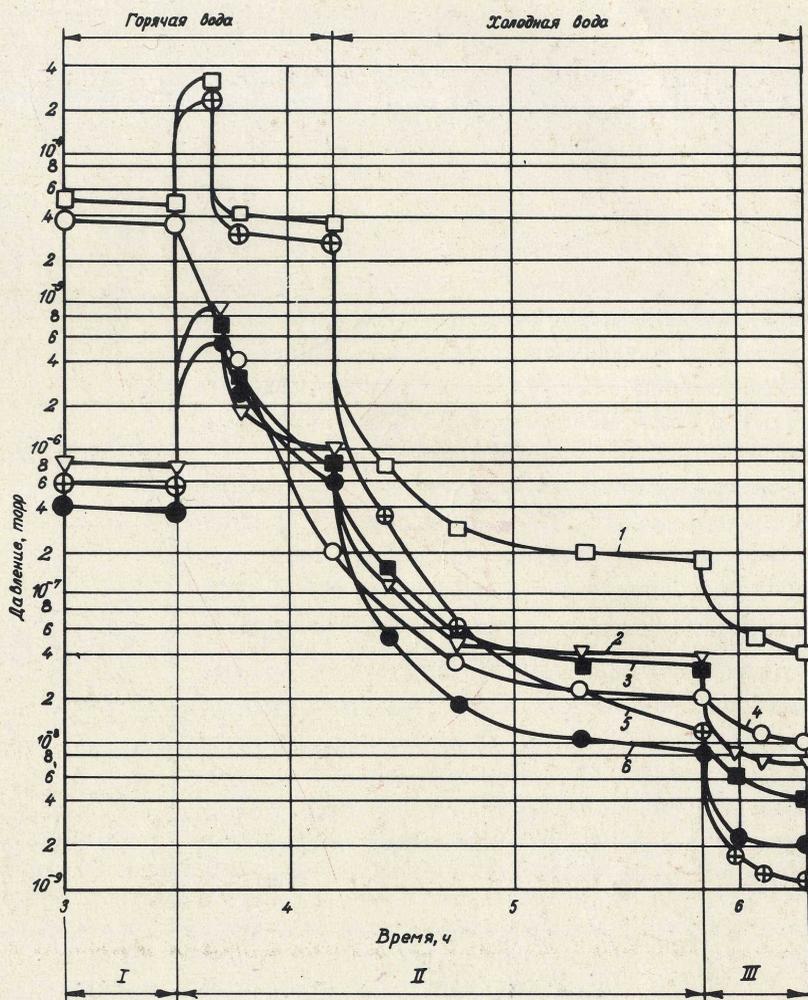


Рис.2. Изменение парциальных давлений газов в камере поста на начальном этапе откачки:

1 – общее давление; 2 – азот +  $\text{CO}$ ; 3 – метан; 4 – пары воды; 5 – водород; 6 – углекислый газ; I – работает только турбомолекулярный насос; II – работают СТОН и турбомолекулярный насос; III – работает только турбомолекулярный насос

качки разрежение в камере определяется парциальным давлением паров воды, которое превышает давление всех других газов не менее чем в 50 раз (рис.2).

Включение титанового насоса (при давлении  $1 \cdot 10^{-4}$  торр) позволяет в короткий срок (30 мин) снизить концентрацию паров воды в  $10^2 - 10^3$  раз, что обусловлено диссоциацией молекул  $\text{H}_2\text{O}$  при работе титанового испарителя. На этой стадии прогрев всех элементов камеры, вызывающий усиленное испарение воды с металлических поверхностей, полезен. Однако нагрев титановой пленки практически сводит на нет ее откачивающий эффект, в результате чего общее давление в камере (определяемое теперь парциальным давлением водорода) остается на достаточно высоком уровне ( $P_{\text{H}_2} \approx 3 \cdot 10^{-5}$  торр). Появляется метан, давление которого составляет 3% общего давления. Отсутствие кислорода, который образуется при диссоциации паров воды, объясняется его высокой химической активностью. Через 3 ч после начала откачки подача горячей воды прекращается. Последующее охлаждение оболочки СТОН приводит к быстрому снижению давления в камере. Скорость откачки резко возрастает, особенно по водороду, давление ко-

торого снижается за 2 ч до величины около  $1 \cdot 10^{-8}$  торр и составляет при этом всего 5% общего давления, равного  $2 \cdot 10^{-7}$  торр. Доминирующими газами теперь становятся метан, окись углерода и азот (в основном CO). Суммарное давление двух последних ( $P_{N_2 + CO} = 8 \cdot 10^{-8}$  торр) составляет примерно 40% общего давления. Причина этого состоит в газоотделении титанового испарителя. При его выключении давление снижается примерно до  $3 \cdot 10^{-8}$  торр. Основными компонентами в данном случае являются пары воды (~ 30%), азот и окись углерода (~ 23,1%). По достижении вакуума до  $(1+5) \cdot 10^{-7}$  торр температуру повышают (со скоростью 70–80 град/ч) до 650°C.

Максимальная газоотдача камеры и прибора составляет около  $3 \cdot 10^{-3}$  л.торр/сек (рис.3), практически она определяется потоком водорода (~  $2 \cdot 10^{-3}$  л.торр/сек), который после 40 ч прогрева при 650°C снижается примерно до  $2 \cdot 10^{-4}$  л.торр/сек, но дальнейший спад концентрации  $H_2$  идет чрезвычайно медленно. Потоки всех остальных газов, за исключением паров воды, в первые часы прогрева приблизительно в 10 раз меньше; после 40-ч выдержки при 650°C эта разница еще больше увеличивается, и к моменту герметизации прибора эти потоки составляют:

$$Q_{N_2+CO} \approx 7 \cdot 10^{-6} \text{ л.торр/сек};$$

$$Q_{H_2O} \approx 2 \cdot 10^{-6} \text{ л.торр/сек};$$

$$Q_{CO_2} \approx 8 \cdot 10^{-7} \text{ л.торр/сек}.$$

Общее давление в камере при обезгаживании прибора не превышало  $(1-3) \cdot 10^{-6}$  торр, а к концу цикла откачки падало до  $1 \cdot 10^{-7}$  торр. Скорости откачки, измеренные в реальных условиях работы поста, в диапазоне давлений  $10^{-6} - 10^{-8}$  торр составляли: по водороду ~  $10^4$  л/сек, азоту ~  $2 \cdot 10^3$  л/сек, воде ~  $3 \cdot 10^3$  л/сек.

Автономное расположение катодной ножки и достаточно низкое давление в камере в процессе всего цикла откачки позволяют начинать обработку и обезгаживание катода в любое время прогрева прибора при температуре 650°C и вести эти операции в течение десятков часов. Обработка катода практически не влияет на давление в камере. За 15–20 мин до герметизации прибора сорбционный насос выключали. За счет устранения газоотдачи испарителя давление уменьшалось в 3–4 раза. Затем отводили заслонку механизма экранирования и осуществляли сочленение узлов прибора и его общую герметизацию. Суммарное время пребывания прибора на посту не превышало 60 ч.

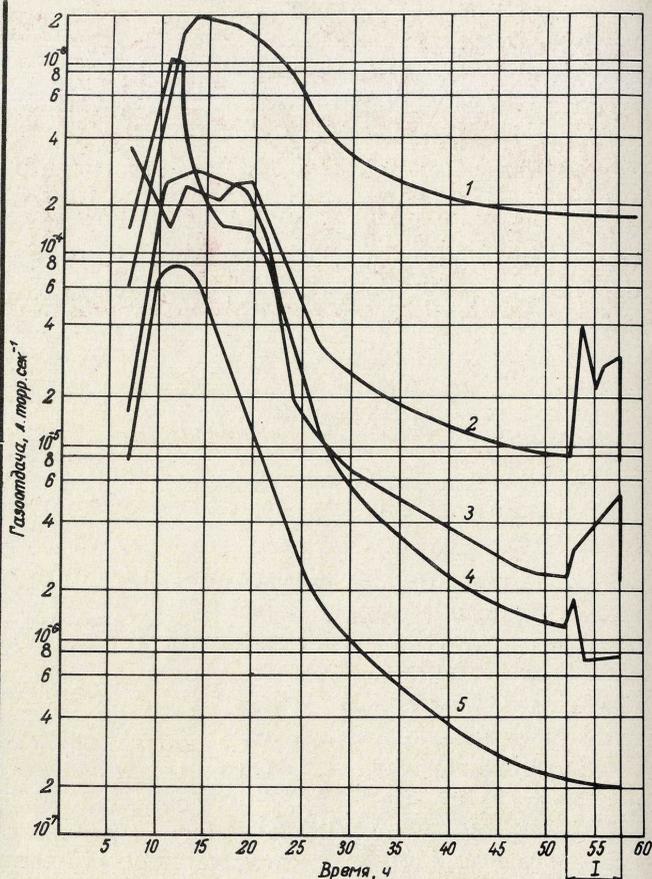


Рис.3. Газовыделение камеры и прибора в процессе откачки:

1 — водород; 2 — азот + CO; 3 — пары воды; 4 — углекислый газ; 5 — углеводы с  $m \approx 56$ ; I — включен катод прибора

## ВЫВОДЫ

1. Применение откачного поста позволяет сократить общий срок обработки прибора за счет совмещения цикла обезгаживания анодных блоков и катодного узла.

2. Использование механизма экранирования обеспечивает надежную защиту анодного блока прибора от напыления веществ с катода.

3. Переход на принципиально новый метод откачки не требует от обслуживающего персонала специальной подготовки и может быть проведен в течение месяца.

УДК 621.525



# ОБМЕН ОПЫТОМ

С.А.ОБОЛЕНСКИЙ

## О КУРАТОРСТВЕ РАЗРАБОТОК



С.А.ОБОЛЕНСКИЙ  
Заслуженный  
деятель  
науки и техники

46 лет трудится на одном из предприятий электронной промышленности. Прошел путь от рядового инженера до руководящего работника. Имеет около 50 печатных трудов и авторских свидетельств. В 1965 г. за заслуги в развитии электронной промышленности был удостоен звания Заслуженного деятеля науки и техники. С.А.Оболенский с энтузиазмом трудится и в настоящее время, передавая свой опыт молодым специалистам.

Любая разработка практически оправдана лишь в тех случаях, когда ее результат получает производственное завершение. Поэтому в известной триаде слов «разработка - освоение - производство» основное значение имеет «производство». Для того чтобы производственное завершение удовлетворяло основным требованиям современного рентабельного и высококачественного производства, прежде всего, необходимо быстрое, дешевое и высококачественное освоение, т.е. новая продукция должна удовлетворять всем требованиям качества и надежности, к ней предъявляемым.

Одним из основных условий такого высококачественного освоения новой продукции является так называемое *кураторство* разработчиком своих изделий или отдельных, наиболее сложных и ответственных, технологических процессов. Курирование разработчиком нового изделия при его освоении и во время производства - это прежде всего непрерывная забота о нем. Куратор должен стараться ввести новое изделие в строй заводского выпуска как можно скорее, дешевле, устойчивее, а самое главное, в соответствии со всеми требованиями качества и количества, предъявляемыми к нему исходным заданием при его разработке. Курирование разработчиком своего детища по существу должно начинаться еще до его рождения (в процессе подготовки технических условий на разработку и в период начальной ее организации) и продолжаться до снятия соответствующего изделия с производства, если оно не будет передано для освоения на другой завод, когда это курирование может быть продлено, но уже, так сказать, в новом его качестве.

Идея кураторства возникла еще в 30-х годах в Отраслевой вакуумной лаборатории (ОВЛ) и имела своей целью, прежде всего, быструю и наиболее эффективную реализацию разработки в производстве. Необходимо отметить также, что никто не может так хорошо знать свое изделие, как сам разработчик, и что практическая связь разработчика с производством - наилучшая школа для любого конструктора, технолога и метриста. С организацией КБ при заводе сама традиция кураторства была целиком перенесена в КБ, а после введения положения о квартальном премировании лучших разработчиков, технологов и метристов была установлена премия для лучшего куратора.

Поскольку разработчик-куратор связан со своей разработкой в течение всего времени ее использования на производстве, - связан не только морально, но и формально, как один из конкретных ответчиков за ее качество, за процент выхода соответствующих деталей или готовых изделий и соответствие их требованиям по-

требителя, - то, конечно, никакие изменения в курируемых приборах или технологических процессах не должны осуществляться без ведома и согласия ответственного разработчика-куратора (здесь имеются в виду конструктивные и технологические вариации, а также всякого рода изменения технических условий - «сдаточные» и внутризаводские). Такая взаимосвязь разработчика с производством дает руководству завода и КБ полную уверенность в том, что это производство находится под дополнительным (кроме чисто заводских служб) квалифицированным научно-техническим контролем. Та или иная подгонка под цеховые требования и небольшие конструктивные изменения изделия на стадии его внедрения безболезненно и достаточно обоснованно (в порядке неоднократных проб) могут проводиться лишь при наличии соответствующего контакта разработчика с цеховой администрацией и, прежде всего, с технологом линейки. Взаимосвязь разработчика с цехом на заводе получила название «подхватывания». Такая система взаимопомощи разработчика и освоителя лучше налаживается, если деловой, творческий контакт между ними устанавливается еще в процессе самой разработки. При защите эскизного проекта разработки в КБ будущей цеховой освоитель должен выступать в качестве оппонента по докладу разработчика, полноправно участвовать в комиссии по лабораторному испытанию, а тем более входить в состав Государственной комиссии по приемке нового изделия. Систематическая творческая связь между ответственным разработчиком и непосредственным освоителем является залогом как высококачественной разработки, так и высококачественного освоения новых изделий.

С организацией объединения и переходом нашего завода на роль головного в объединении кураторство среди ведущих сотрудников КБ приняло характер совершенно обязательный, причем список кураторов и контролируемых ими изделий стал утверждаться дирекцией завода и КБ.

Более тесная связь КБ с заводом в рамках объединения поставила кураторство на более высокую ступень. Наряду с индивидуальным кураторством на нашем заводе появилось «коллективное» кураторство, которое заключалось в следующем: в результате детального обсуждения технического положения наиболее важных или массовых типов приборов стали организовываться бригады из специалистов ОКБ, цехов и служб завода, которые в рамках точной программы действий и твердых сроков стали проводить довольно сложные работы по улучшению отдельных типов ламп. Бригады возглавили ответственные руководители служб завода и отделов КБ. Так как эти мероприятия включались в план КБ и завода и регулярно контролировались, то результат большинства этих работ оказался положительным, т.е. не только улучшилось качество, но и повысился процент выхода, что дало значительный экономический эффект.

Можно привести многочисленные примеры реализации системы кураторства на заводе. Одним из наиболее эффективных примеров индивидуального кураторства можно считать настойчивую и систематическую работу ведущего инженера химической лаборатории КБ М.Ф.Бояриной. Она курировала производство газопоглотителей и газопоглотительных покрытий на анодах и сетках электровакуумных приборов в одном из заготовительных цехов, а также во всех сборочных цехах завода. Кроме того, она совместно с цеховыми технологами внедрила новый эффективный вид газопоглотителей (пористых нераспыляемых ГП-СПН) в приборах, выпускаемых семью цехами завода. Во всех приборах, где внедрен этот газопоглотитель (более 15 типов), долговечность повышена примерно в два раза, в результате чего получена огромная экономия в народном хозяйстве. Следует отметить, что химический отдел КБ проводит очень широкую систему кураторства вообще, держа на учете более сложные химические операции в цехах завода. Так, старшие инженеры З.В.Кулясова и Е.Н.Лаврова оказывают систематическую техническую помощь гальваническим участкам цехов, а в настоящее время совместно с работниками отдела Главного технолога и цехов проводят работу по внедрению на генера-

торных приборах хромоникелевого покрытия взамен серебряного. Ведущие конструкторы и старшие инженеры завода курируют цехи завода по вопросам лакокрасочных покрытий, клеймению приборов, а также такие процессы, как очистка, катафорезное покрытие сеток. Всю кураторскую работу эти сотрудники проводят в тесном контакте с химиками отдела Главного технолога завода, а также технологами цехов.

Одними из лучших индивидуальных кураторов могут считаться ведущие конструкторы КБ Н.Н.Серова и А.А.Легкова. В результате длительного кураторства и их настойчивой работы с технологами цеха реальный срок службы телевизионных тетродов ГУ-35Б и ГУ-40Б возрос почти в три раза (внедрен новый катод, разработан оптимальный режим откачки, применен нераспыляемый газопоглотитель), процент выхода лампы ГУ-36Б повышен до 90, а реальная долговечность увеличилась в 2,5 раза за счет перевода катода на ренированный, торированный вольфрам, разработки оптимального режима откачки и введения нераспыляемого газопоглотителя.

Эффективность бригадного кураторства можно продемонстрировать на работе отдела генераторных ламп средней мощности если взять только приборы ГУ-19 и один из типов маячковых ламп. Бригадой под руководством начальника отдела КБ В.Н.Маняфова проведена модернизация серийной лампы, при этом процент выхода на опытной партии повышен с 10 до 60, создан запас по колебательной мощности, улучшены высокочастотные свойства и стабильность лампы. Сейчас модернизированный прибор осваивается производством. Бригадой под руководством Р.Н.Гордеева при активном участии ведущего конструктора отдела катодов и подогревателей, старшего технолога и старшего инженера цеха проведена работа по повышению процента выхода одного из приборов маячковой серии и найдено техническое решение, позволяющее обеспечить в заданных пределах стабильность параметров в процессе испытания на долговечность.

Примеров такого рода можно привести много. Только за последнее время из наиболее квалифицированных сотрудников КБ и завода было создано семь комплексных бригад.

Коллективное кураторство наряду с индивидуальным кураторством практикуется все больше и становится одним из важнейших средств борьбы за повышение качества заводской продукции и эффективности производства.

УДК 658.5



## **ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ со ЗНАКОМ КАЧЕСТВА**

МНОГОТРУБНАЯ ДИФфуЗИОННАЯ УСТАНОВКА СДО-125/4-А  
ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ СТАНОК ДЛЯ МОНТАЖА МИКРОСХЕМ  
СВАРКОЙ МС-41ПЗ-2  
АВТОМАТЫ ДЛЯ НАМОТКИ СЕКЦИЙ КОНДЕНСАТОРОВ АНСК-1  
и АНСК-2  
АВТОМАТ ДЛЯ РАЗБРАКОВКИ МИКРОСТРУКТУР НА ПЛАСТИ-  
НЕ "ЗОНД-А-1"  
УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОКОМПРЕССИОННОГО ПРИСОЕДИНЕ-  
НИЯ ВЫВОДОВ ЭМ-422  
УСТАНОВКИ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОЧИСТКИ УФ-100А и УФ-250

# НАГРЕВ В ВАКУУМЕ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ

ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧАТЬ ТОНКИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ ИЗ МЕДИ, АЛЮМИНИЯ, МОЛИБДЕНА

Разработана и изготовлена установка (рис.1), в которой удалось получить и стабилизировать в вакууме дуговой разряд продолжительностью горения до часа. Установка состоит из герметичной вакуумной камеры 1 объемом 300 л, соединенной с вакуумной системой, быстрота откачки которой 500 л/сек при рабочем вакууме 1–510<sup>-4</sup> торр. В данной установке применен паромасляный насос Н5С 2 в сочетании с форвакуумным насосом ВН-1МГ 3. Загрузка изделий в камеру производится через откидную крышку 4 с уплотнением из вакуумной резины. На крышке и стенках камеры имеются иллюминаторы 5 для наблюдения за процессом. Изделия в вакуумной камере закрепляются на столе 6 и могут перемещаться внутри камеры при помощи механизмов, расположенных вне камеры и передающих вращение в вакуум через вакуумные уплотнения. Ввод в вакуумную камеру воды для охлаждения горелки и соленоида электромагнита осуществляется через вакуумный ввод 7.

В результате исследований установлено, что, возбуждаясь между катодом 8 сварочной горелки 9 и обрабатываемым изделием или, если изделие нетокопроводящее (а также если его нельзя подвергать сильному нагреву), между катодом и водоохлаждаемым анодом, дуговой разряд может существовать исключительно в парах материала катода. Остаточные газы (азот и кислород) практически не принимают участия в процессе плазмообразования и переноса зарядов через дуговой промежуток.

Электронные процессы на катоде вакуумной дуги носят в основном автоэлектронный характер, что требует для поддержания стабильного горения дуги сохранения поверхности катода в твердом кристаллическом состоянии. Подплавление поверхности катода приводит к уменьшению интенсивности эмиссионных процессов и погасанию дуги.

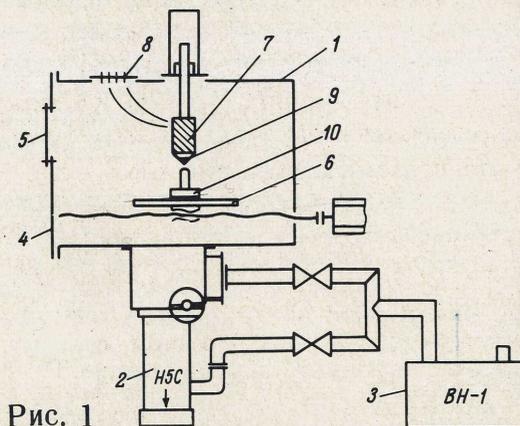


Рис. 1

Для фиксации катодного пятна на поверхности катода был использован физический эффект Смита–Штарка\*. Практически это реализуется наложением аксиального магнитного поля на поверхность катода, выполненного в виде конуса с углом при вершине 70–90°. На основе этих принципов спроектирована и изготовлена горелка. Электромагнит соленоида выполнен в два слоя из 20 витков медной трубки, охлаждаемой водой. Магнитная система горелки обеспечивает у катода напряженность магнитного поля порядка 700 э при 5 000 ав, что позволяет стабильно фиксировать каждое пятно на поверхности катода.

На рис.2 показана дуга в вакууме с катодом из молибдена и медным анодом. Дуга стабильно горит в диапазоне токов от 30 а и выше, обладает высокой эластичностью, может быть растянута до длины 150–200 мм. Питание дуги осуществляется от сварочного генератора или выпрямителя с падающей характеристикой. Для увеличения стабильности горения в цепь дуги включается дополнительная индуктивность (сварочный дроссель РСТЭ–24).



Рис. 2

\* Кесаев И.Г. Катодные процессы ртутной дуги и вопросы ее устойчивости. Госэнергоиздат, 1959.

Исследование физических особенностей дугового разряда в вакууме, полученного на установке, показало, что тепловой баланс выделения тепла в различных областях дугового промежутка распределяется следующим образом: катод — 15–20% всей мощности дугового разряда, столб дуги — 5–10%; анод — 70–80%.

Изменением длины дугового разряда регулируются процессы плавления металла на аноде (что имеет большое значение при сварке и наплавке металла) и испарения поверхности материала катода. Испарение происходит по плоскостям, перпендикулярным вектору напряженности магнитного поля соленоида горелки. Осаждение паров материала катода происходит в двух зонах (рис. 3): зона диффузионного осаждения из столба дуги (А) и зона направленного движения паров мелкодисперсных паров частиц катода (Б) через отверстие в аноде. В зоне А получены тонкие металлические пленки с хорошей адгезией к поверхности стекла в широком диапазоне толщин (от нескольких десятков ангстрем до 100 мкм), в зоне Б — пленки большой толщины (до 0,5 мм) с рыхлой пористой структурой.

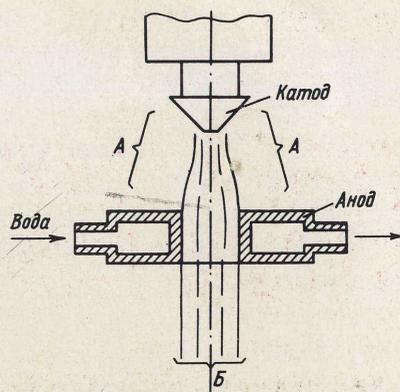


Рис. 3. Схема испарения материала катода при горении дугового разряда в вакууме

Проводились эксперименты с катодами из различных материалов: меди, алюминия, молибдена. Во всех случаях получено устойчивое горение дуги в вакууме и испарение материала катода, что позволило изготовить тонкие металлические пленки из вышеупомянутых материалов.

УДК 621.525

В. Е. МУХИН, В. Ф. ПОПОВ

## ВАКУУМНЫЙ ЦЕМЕНТ ВМЕСТО ДОРОГОСТОЯЩИХ ПРИПОЕВ

При сборке отдельных узлов электровакуумных приборов целесообразно вместо высокотемпературных паек с использованием дорогостоящих серебряных и золотых припоев применять метод склеивания деталей при пониженных температурах.

Для этой цели разработан специальный состав токопроводящего вакуумного цемента, устойчивого к воздействию восстановительной, окислительной, инертной и вакуумной среды [1–5]. В качестве проводящего наполнителя в клеящей композиции применен мелкодисперсный графит. Такие наполнители, как вольфрам, молибден, тантал, титан, рений, платина, серебро, золото и другие, часто применить невозможно либо из-за полной окисляемости некоторых из них уже при температурах 500–600°С, либо вследствие интенсивного наводороживания, либо из-за высокой стоимости. Использование тугоплавких материалов (карбидов, нитридов, боридов, силицидов) затруднено, так как они окисляются при нагреве на воздухе до температур 500–1100°С.

Для решения различных технологических задач опробован ряд составов алюмофосфатных цемента на основе графита:

№ п. п.	Содержание компонентов, вес. %				Нейтрализация алюмофосфатной связки, %
	графит	электрокорунд	алюмофосфатная связка	вода дистиллированная	
1	10	20	20	50	20
2	10	25	15	50	
3	20	20	15	45	
4	25	10	15	50	
5	35	—	15	50	
6	50	—	20	30	
7	10	25	15	50	30
8	15	20	20	45	
9	17	17	14	52	
10	20	20	15	45	
11	23	23	14	40	
12	25	15	20	40	
13	27	27	20	36	
14	35	—	15	50	
15	50	—	20	30	
16	50	—	50	—	

Хорошая адгезия к штабику из частично восстановленной двуокиси титана и к коваровому держателю при сборке узла электрода вспомогательного разряда была получена при использовании состава № 9. Составы № 1, 2, 7 и 8 обладают высоким удельным сопротивлением (1–100 *ком/см*), в составах № 3, 4, 10, 11, 15 и 16 возникают трещины при склеивании указанных материалов, а составы № 5, 6, 12, 13 и 14 малопрочны.

Алюмофосфатная связка для цемента готовится из ортофосфорной кислоты ч.д.а. (уд. вес 1,47) и химически чистого гидрата окиси алюминия. Доведение кислоты до требуемого удельного веса осуществляется добавлением дистиллированной воды. На 1 г гидрата окиси алюминия расходуется 4,4 мл ортофосфорной кислоты. Смесь перемешивается в течение 10 мин при температуре кипения. По внешнему виду связка представляет собой тягучую светлую жидкость. Срок хранения в колбе с притертой пробкой не более пяти суток, в дальнейшем наблюдается разложение – выпадение в осадок кислых солей алюминия.

Перед приготовлением состава токопроводящего вакуумного цемента электрокорунд прокаливается в воздушной среде при 1000°C в течение трех часов с целью очистки от возможных летучих примесей. Затем состав тщательно перемешивается в барабанах на валковой мельнице, после чего может быть употреблен в работу в течение 8 ч.

Токопроводящий цемент наносится на склеиваемые поверхности ровным тонким слоем. Детали, склеенные по плоскостям, устанавливаются в муфельную печь. В случае необходимости получения заданных размеров узла детали сжимаются в приспособлении. Процесс спекания производится в две стадии. Первая – медленное повышение температуры до 280°C в течение 3 ч; вторая – двухтрехчасовая выдержка при этой температуре. После

спекания получается прочный клеевой шов. Разработанным составом склеивались образцы из ковара, стали–3 и меди. В результате испытаний установлена высокая прочность образцов на разрыв (150–300 *кг/см<sup>2</sup>*). Образцы прошли испытания на вибрацию и удары с ускорением до 150 g.

Удельное сопротивление цемента приведенного состава в среднем 8 *ом·см* при температуре 20°C. У серебряных контактов оно ниже (2,5 × 10<sup>-3</sup> *ом·см*), однако использовать их для соединения внутриламповой арматуры невозможно из-за низких допустимых температур нагрева (до 160°C).

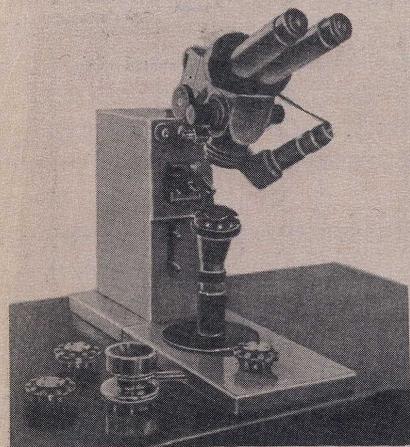
Замена припоев из драгоценных металлов на токопроводящий цемент позволит получить значительный экономический эффект; например, если учесть, что на 1000 приборов расходуется 25 кг золото-серебряного припоя, то в результате внедрения цемента условная экономия составит примерно 8 тыс. руб.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мухин В.Е., Радаман А.К. Авт. свид. № 240525. "Бюллетень изобретений", 1969, № 12.
2. Еременко В.Н. Карбид титана и жаростойкие сплавы на его основе. Изд-во АН СССР, 1954.
3. Самсонов Г.В., Успенский Л.С. Твердые соединения тугоплавких металлов. Металлургиздат, 1957.
4. Campbell J., Powell C., Novicki D., Gonser B. "J. Electrochem. Soc.", 1949, N 96, p.318–333.
5. Матвеев М.А., Рабухин А.И. "Огнеупоры", 1961, № 6, стр. 281–285.

УДК 621.385.002:621.315.6

## Установка для ультразвуковой сварки ЭМ-404А



■ предназначена для приварки выводов к элементам полупроводниковых приборов, интегральных схем ■ работает в двух независимых режимах, дифференцированных по мощности ультразвуковых колебаний, времени сварки и усилию на сварочный инструмент. Производительность установки 750–800 *сварок/ч*.

Мощность ультразвукового генератора	0,05–10 <i>вт</i>
Номинальная частота ультразвукового генератора	60 <i>кГц</i>
Пределы регулирования времени сварки	0,04–1 <i>сек</i>
Пределы регулирования давления инструмента на свариваемые элементы	10–200 <i>г</i>
Точность выдержки времени сварки	0,01 <i>сек</i>
Диаметр привариваемой проволоки	25–60 <i>мкм</i>
Вес установки	120 <i>кг</i>

# Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

## для защиты СВЧ полупроводниковых структур

Работа по опробованию защитных пленок проводилась на мощных СВЧ р-і-п диодах, изготовленных по сплавной технологии. Пленки нитрида кремния реактивно-плазменным распылением наносились на отдельные кристаллы перед сборкой. Торцевые поверхности, на которые выходит р-п переход, покрывались пленкой толщиной ≈ 0,1 мкм. Поверхность для присоединения контактов специально не защищалась. Электрическая прочность пленок составляла ~ 5 · 10<sup>6</sup> в/см, удельное сопротивление ~ 10<sup>3</sup> ом · см, диэлектрическая проницаемость ~ 4. При исследовании инфракрасного спектра полученных пленок установлено, что они обладают аморфной структурой, стехиометричностью состава и имеют небольшое количество примеси SiO<sub>2</sub>. Сравнение статических параметров приборов до нанесения пленки и после нанесения, а также после проведения технологических испытаний, показало, что приборы, защищенные нитридом кремния, имеют лучшие параметры.

На рис.1 приведены кривые распределения защищенных р-і-п-диодных структур по величине обратного тока для различных технологических операций. Герметизация не оказывает существенного влияния на параметры, что свидетельствует о химической стойкости защитного покрытия.

При испытаниях в камере влаги в течение трех суток (температура 50°С, влажность 98%) происходит некоторое ухудшение электрических параметров приборов, однако выход из строя приборов после этого испытания носит случайный характер.

\* Золотарев Ю.М., Крутякова М.Г., Курносов А.И. Пленки нитрида кремния, полученные методом реактивного плазменного распыления. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1969, вып. 7.

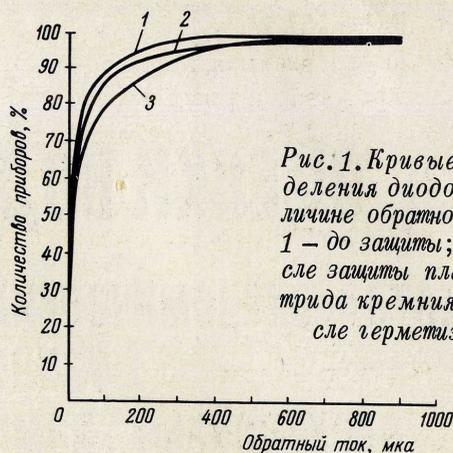


Рис.1. Кривые распределения диодов по величине обратного тока: 1 - до защиты; 2 - после защиты пленкой нитрида кремния; 3 - после герметизации

Измерение импульсных параметров диодов и испытание электрической прочности проводились на высоком уровне СВЧ мощности. На рис.2 представлено типичное распределение по пробивным мощностям для диодов с защитой нитридом кремния. Наибольшее количество приборов (60%) соответствует установленным нормам, 24,5% обладают повышенной прочностью, у 15,5% диодов низкое значение пробивной мощности.

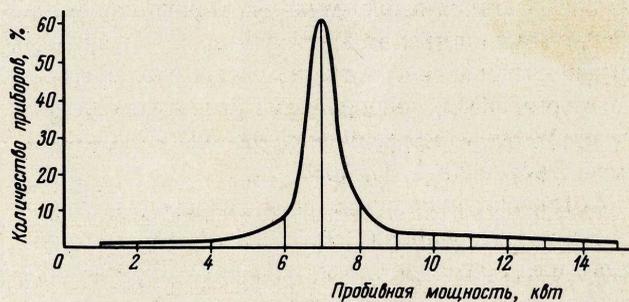


Рис.2. Кривая распределения диодов по величине пробивной мощности

Ниже приводятся данные измерений температурной стабильности обратного тока р-і-п-диодных структур при  $U_{обр} = 200$  в.

Обратный ток, мкА, при температуре			
20°С	100°С		
	в первоначальный момент	через 20 мин	через 60 мин
1,1	33	33	44
1,0	28	32	31-28
4,0	21	19	16
1,4	50	58	60
2,6	83	86	86
0,34	45	49	49

Изменение величины обратного тока при повышенной температуре укладывается в пределах существующих норм, а некоторая его нестабильность, видимо, объясняется процессом старения самой структуры.

# МЕТОД ОЦЕНКИ ВОДОРОДОПРОНИЦАЕМОСТИ

## МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Наибольшую опасность проникновения водорода в прибор вследствие диффузии представляют металлокерамические узлы ЭВП, конструктивной особенностью которых является наличие элементов термомеханической развязки в виде тонких металлических мембран. Металлы, применяемые для изготовления оболочек ламп, обладают заметной проницаемостью по отношению к водороду (рис.1); высокоглиноземистая керамика (например, марки 22ХС) непроницаема для водорода при температурах по меньшей мере до 900°С (даже при толщине образцов 1–1,5 мм).

Установка для определения водородопроницаемости узлов приборов (рис.2) имеет две независимые вакуумные системы: измерительную и вспомогательную. Измерительная вакуумная система выполнена на базе турбомолекулярного насоса 1. Испытуемый узел 2 монтируется к ней с помощью фланца с клиновым уплотнением, место соединения охлаждается проточной водой. Откачка образца на этапе предварительного обезгаживания осуществляется через вентиль 3, а при измерении потока диффундирующего газа – через диафрагму 4. В качестве индикаторов общего давления использованы датчики типа МИ–12–8 5, для контроля парциального давления водорода применен омега-трон 6. Вспомогательная вакуумная система 7 предназначена для откачки объема колпака 8 при обезгаживании исследуемого узла. Нагрев образца производится кольцевой печью прямого накала, контроль температуры – посредством термопары ПП–1. Перед проведением испытаний на водородопроницаемость образец подвергали длительному (10–15 ч) обезгаживанию при температуре 650–700°С. В объеме колпака при этом обеспечивали вакуум  $10^{-5}$  торр. По достижении в измерительной системе динамического разрежения  $5 \cdot 10^{-7}$  торр обезгаживание заканчивали и производили измерение "фоновый" потока водорода во всем рабочем интервале температур. Затем устанавливали начальную температуру испытаний, перекрывали

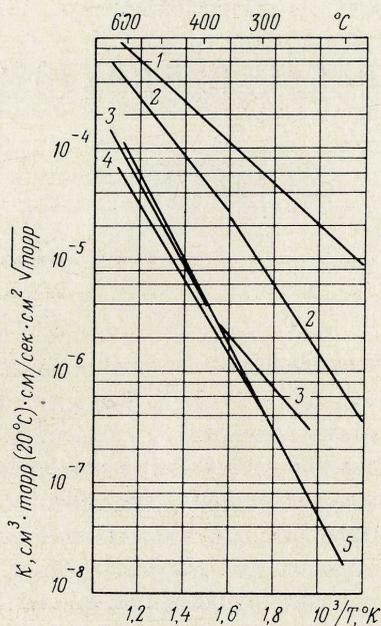


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента проницаемости водорода в металлах оболочек электронных ламп:

- 1 – железо; 2 – никель; 3 – ковар 29НК;  
4 – сталь X18H10T; 5 – сталь 000X18H12;  
5 – медь МБ

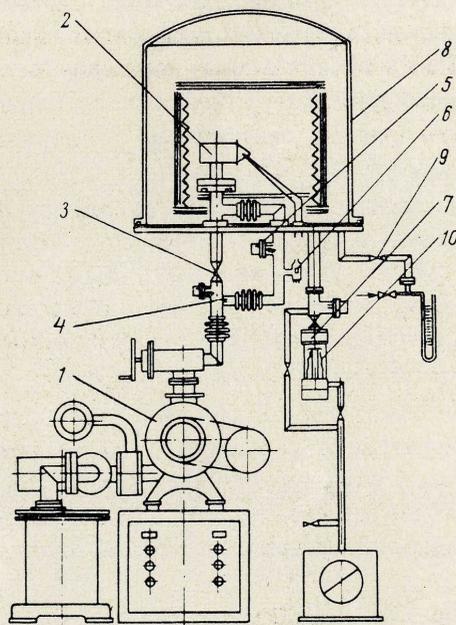


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

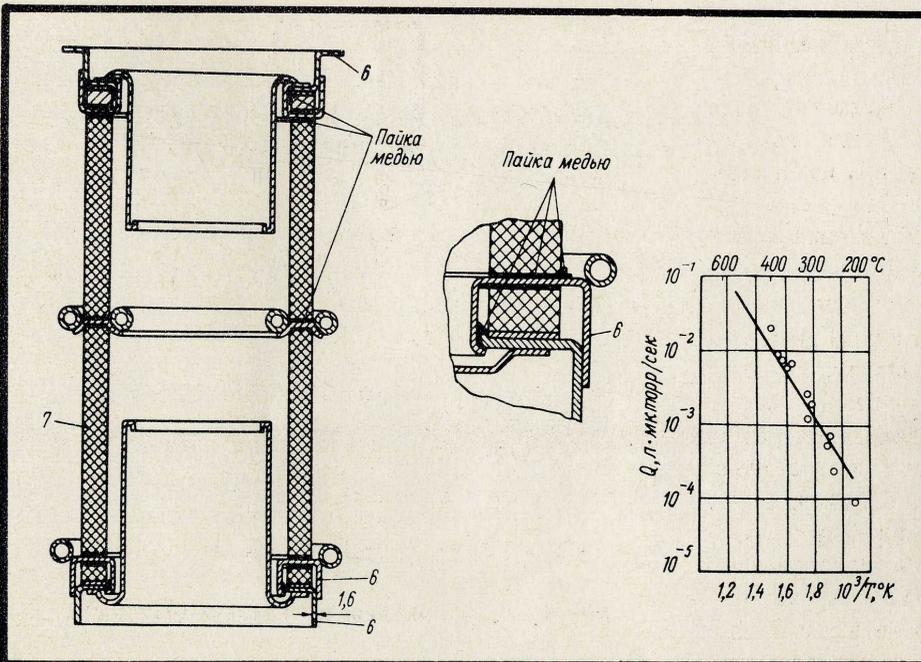
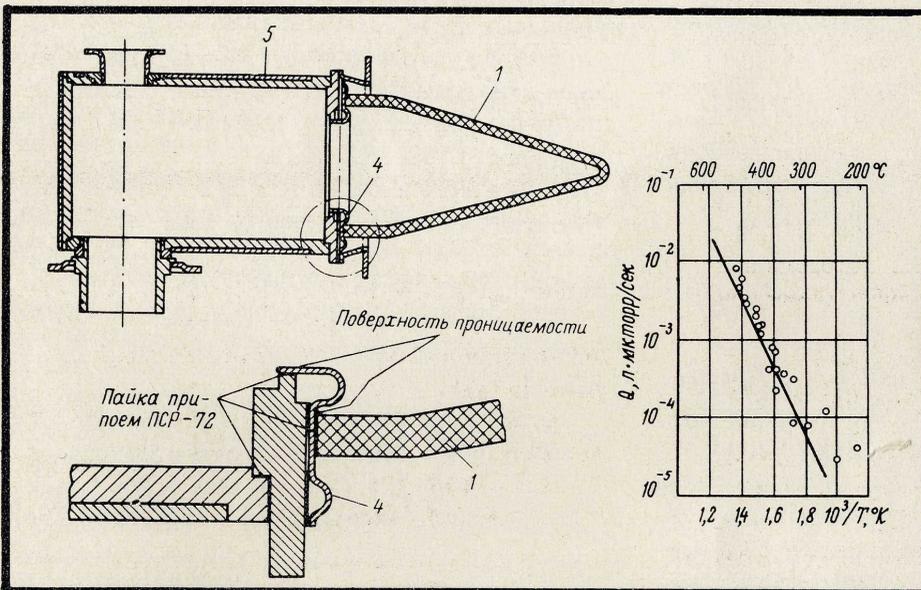
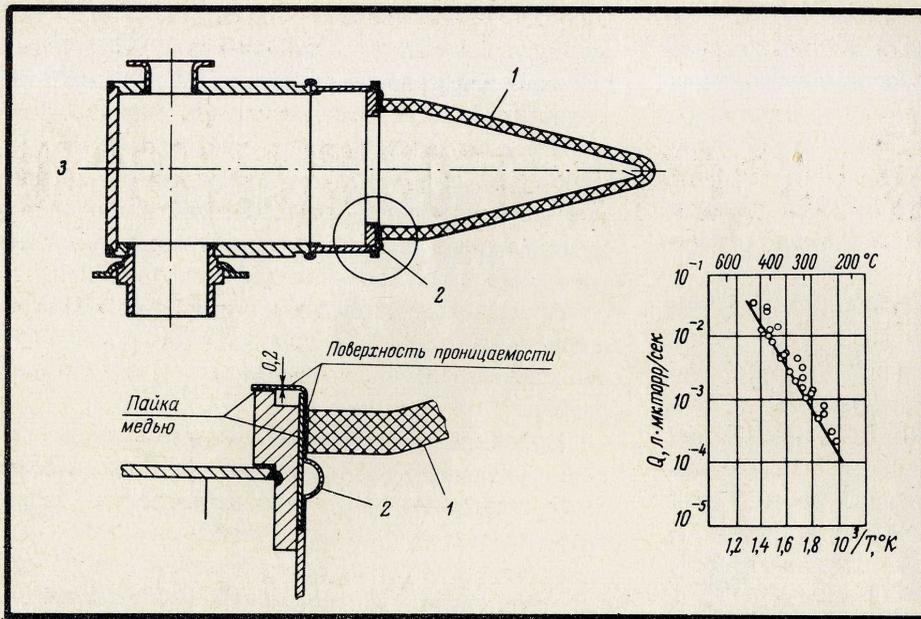


Рис. 3. Конструктивная схема узлов различных конструкций:

- 1 — колпачок из керамики 22ХС; 2 — манжета коваровая (толщина 0,2 мм); 3 — основание; 4 — манжета медная (толщина 0,5 мм); 5 — основание биметаллическое; 6 — манжета коваровая (толщина 0,3 мм); 7 — цилиндр керамический

вспомогательную систему откачки и через вентиль 9 и натекаатель 10 подавали под колпак пробный газ. С целью исключения погрешностей, причиной которых могло бы явиться разуплотнение стыков или возникновение течей в самом образце, обычно работали на смеси водорода с гелием. Наличие гелия в измерительной системе периодически контролировали с помощью масс-спектрометра.

Обследование водородопроницаемости узлов ЭВП проводили в интервале температур 250–550°C при внешнем парциальном давлении водорода 10–500 торр. Для обследования были выбраны металлокерамические узлы различных конструкций (рис.3). На рисунке представлены экспериментальные результаты по водородопроницаемости узлов в исследованном температурном интервале. По оси ординат указан общий поток проницаемости при внешнем давлении водорода 1 торр ( $Q/\sqrt{P_{H_2}}$ ). Сплошной линией показан расчетный поток, вычисленный по данным испытаний отдельных материалов, входящих в конструкцию узла, с учетом их толщины и площади. Наличие сварных и паяных швов при этом во внимание не принималось. Температурная зависимость потока проникновения водорода через исследованные металлокерамические узлы хорошо согласуется с выражением

$$Q = Q_0 \exp \left| - \frac{E_k}{RT} \right|,$$

что подтверждает диффузионный характер процесса ( $Q_0$  – постоянная величина,  $E_k$  – энергия процесса проникновения,  $T$  – температура, °K).

Абсолютная величина потока пропорциональна внешнему давлению водорода в степени 1/2, т. е. процесс проникновения диссоциативен. В обычных условиях хранения приборов величина диффузион-

ного потока проникновения водорода для одного узла составляет  $10^{-10}$  л·мкторр/сек. Полученные значения диффузионного потока соизмеримы с величинами молекулярных натеканий, определяемыми методами прецизионного течеискания.

Сравнение результатов испытаний по различным узлам свидетельствует о преимуществе меди перед коваром (как материала термомеханического перехода) с точки зрения проницаемости.

Проведенные исследования показали возможность предварительной оценки диффузионного проникновения водорода в совершенно герметичный прибор.

Предложенная методика рекомендуется для конструктивного испытания металлокерамических узлов в процессе опытно-конструкторской разработки ламп.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закиров Ф. Г., Ильин В. Н. "Электронная техника", сер.1, 1969, вып.7, стр.110.
2. G o r t m a n I. K., N a r d e l l a W. R. "Vacuum", 1962, 12, p.19.
3. Калябина И. А., Батуева А. С. "Электронная техника", сер.1, 1968, вып.2, стр.138.
4. E i c h e n a u e r W. et al. "Zs. Metallkunde", 1965, N 56, S.287.
5. Черепнин Н. В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., "Сов. радио", 1966.
6. Бравинский В. Г. и др. "Электронная техника", сер.1, 1967, вып.10, стр.117.
7. Гуськов Г. В., Мартюшов Б. И. "Электронная техника", сер.14, 1970, вып.1, стр.52.

УДК 621.385.032–76



## НОВЫЕ СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРНОВ ПРОФИЛЬНЫХ КАТОДОВ ЭВП

Статья депонирована в институте «Электроника»  
№ ДЭ-295, 21 стр., 9 рис., 1 табл.

Рассмотрены новые способы формообразования кернов профильных катодов ЭВП: профилирование, гидравлическая формовка и свободная формовка без задающей оправки. Отличие новых способов от существующих заключается в том, что формообразование профиля происходит по наружному периметру заготовки и тем самым исключается влияние разностенности трубки на форму и геометрические размеры профиля. По результатам исследований наиболее эффективным признан способ свободной формовки без задающей оправки, для которого выведены эмпирические закономерности, определяющие область его применения. На основе этого способа создан высокопроизводительный автомат, нашедший применение на ряде предприятий отрасли. Приведены краткие технологические данные и кинематическая схема автомата. Для ознакомления с материалами следует обращаться в институт «Электроника» (Москва, В-415, проспект Вернадского, 39, Отдел фондов).

Ю.К.ГУЛЕВИЧ, Н.А.ИОФИС,  
С.А.ФАЙВУСОВИЧ

УДК 621.385.7.032.002.2

## СИМПОЗИУМ ПО ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПОНЕНТАМ

19–22 мая 1970 г. в Москве проходил симпозиум Международного концерна ИТТ (International Telephone and Telegraph) по электронным компонентам, созданный по инициативе Министерства электронной промышленности. Этот симпозиум явился как бы продолжением встреч, организованных ИТТ ранее, которые посвящались навигационной аппаратуре, коммутации в области дистанционной связи и техники автоматизации.

Несколько цифр, характеризующих деятельность компании. В 1969 г. оборот концерна составил 5,5 млрд долл., общее число служащих компании ИТТ достигло 353 тыс. Более 2 тыс. ученых и инженеров занято научными изысканиями и разработкой материалов и компонентов в четырех центральных лабораториях для фундаментальных исследований и 20 производственных лабораториях во многих странах мира. На фундаментальные исследования в области материалов и компонентов концерн ежегодно затрачивает более 30 млн долл. Только в Европе (в 16 странах) концерн насчитывает 26 заводов, 38 главных торговых организаций и 4 центра изысканий. Европейское отделение концерна ИТТ (центр в Брюсселе) выпускает и продает большое число электронных компонентов: кварцевые кристаллы, ВЧ кварцевые фильтры, магнитные материалы, резисторы, конденсаторы, транзисторы, ИК светофильтры, электронные трубки, СВЧ приборы, полупроводниковые приборы, переключатели, выпрямители, измерительные приборы, провода и кабели, изделия из пластмасс, пленочные схемы, модули и др. С многими из перечисленных компонентов участники симпозиума могли ознакомиться на специально организованной выставке.

Открывая симпозиум, коммерческий директор Европейского отделения ИТТ г-н Бриер подчеркнул, что проведение симпозиума преследует вполне определенные цели: расширение международной кооперации между учеными и инженерами и всемерное развитие международной торговли.

В обзорном докладе технического директора ИТТ г-на Флешена отмечалось, что в производстве и разработке электронных компонентов наблюдается бурный качественный и количественный скачок. По



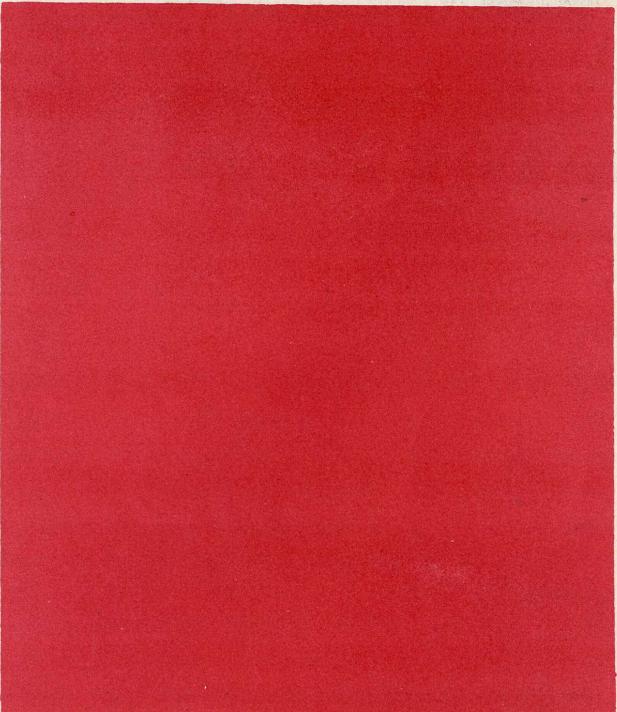
# НОВОСТИ



# СООБЩЕНИЯ



# ХРОНИКА



оценке ИТТ, более 100 тыс. ученых и инженеров мира работает над постоянным улучшением свойств новых материалов и компонентов. Свыше 1,5 млн. долл. тратится ежедневно на развитие электронных компонентов и материалов.

В 60-х годах уровень развития технологии производства компонентов позволил выпустить ряд новых видов изделий: цифровые и линейные интегральные схемы с постоянно возрастающей степенью интеграции, полупроводниковые приборы с МОП-структурой, полупроводниковые запоминающие устройства, твердотельные СВЧ приборы, СВЧ приборы на объемном эффекте, твердотельные источники света, полупроводники на стекле и аморфных веществах, твердотельные лазеры, ЗУ на цилиндрических магнитных пленках, усилители света канального типа.

Создание новых компонентов позволило совершенно по-новому решить многие идеи в схемотехнике и конструировании аппаратуры.

Доклады, прочитанные на симпозиуме, были посвящены главным образом разработкам электротехнических деталей, технологии производства конденсаторов и резисторов, в том числе и пленочных, а также разработкам в области полупроводниковой техники и интегральных схем.

Основными направлениями в разработке электронных компонентов являются увеличение степени интеграции, миниатюризация, использование модульных конструкций, повышение надежности, быстродействия и снижение стоимости изделий.

Определяющее влияние на развитие компонентов в настоящее время оказывают интегральные схемы. В докладах д-ра Герлаха "Линейные монолитные биполярные интегральные схемы и их применение" и г-на Джексона "Технологические методы для микроэлектроники" наиболее полно показаны достижения ученых и инженеров ИТТ в области технологии производства и применения ИС.

Применение интегральных схем меняет методы конструирования схем и оборудования. Фирмы, производящие электронные компоненты, становятся также создателями электронных схем и подсистем. Отсюда следует, что инженеры, занимающиеся материалами и компонентами, должны обладать знаниями и в области конструирования электронного оборудования.

Большой интерес представил доклад г-на Боуэлла "Тонкопленочные резисторы в схемах (сравнение рабочих характеристик и надежности)". В настоящее время, когда большие интегральные схемы стали реальностью, выдвигается предположение, что гибридные системы, содержащие пленочные резисторы, конденсаторы и интегральные схемы, найдут применение прежде всего в аналоговых умножителях, делителях. Одним из первых пленочных модулей в массовом производстве будет схема тон-генератора для тонального сигнала в телефонных аппаратах.

Доклады, прочитанные на симпозиуме, отличались высоким научным уровнем. Встреча специалистов прошла в атмосфере делового сотрудничества, что способствовало более всестороннему взаимному обмену информацией.

УДК 061.3:621.396.69

*В.С.Боговяленский, М.И.Гринев*

---

---

## Технологическое оборудование МЭП на выставке в Париже

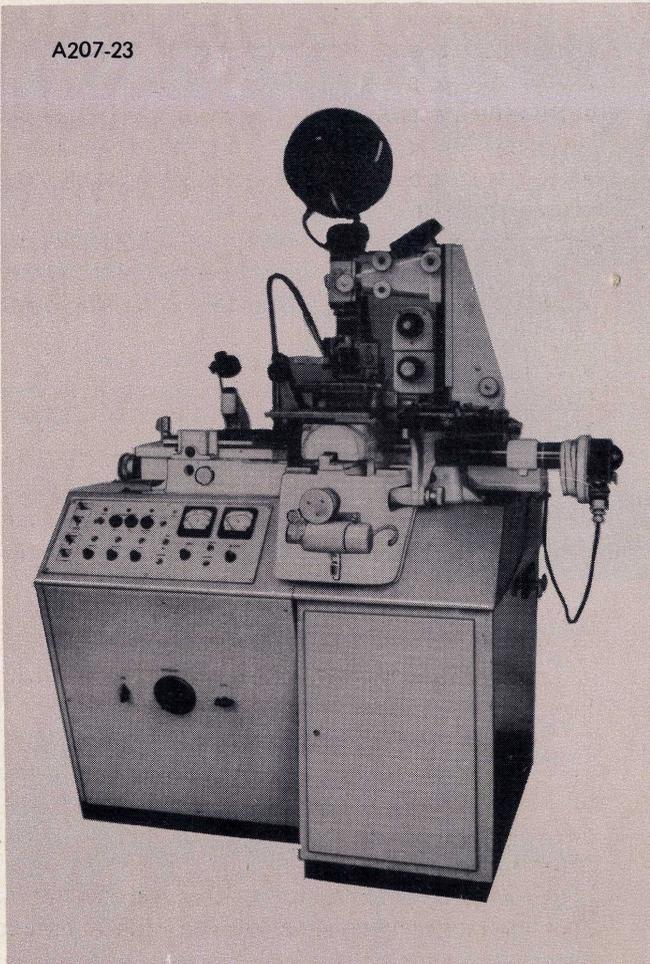
На советской торгово-промышленной выставке, проходившей в июне 1970 г. в Париже, раздел Министерства электронной промышленности был представлен специальным технологическим оборудованием для производства полупроводниковых приборов и интегральных схем, радиодеталей и радиокомпонентов.

Наибольший интерес у специалистов вызвали следующие экспонаты:

■ **МАКЕТ КОМПЛЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ "КОРУНД" ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ.** Особый интерес был проявлен к таким его участкам, как термический, теххимический, контрольно-измерительный, сборочный.

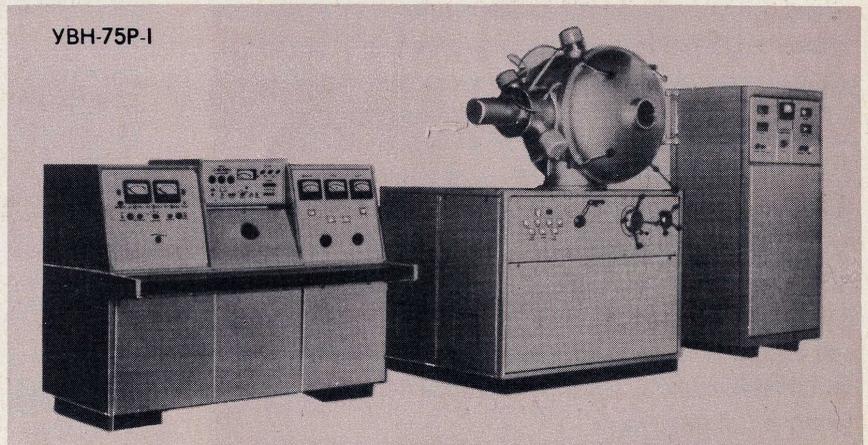


A207-23



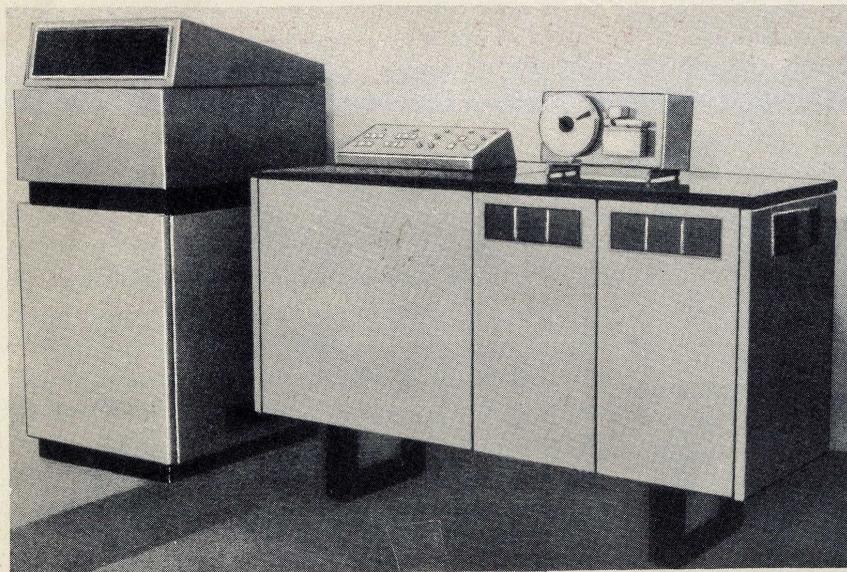
■ **ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СТАНОК ТИПА А207-23** предназначен для прецизионного изготовления деталей любого профиля из различных токопроводящих и полупроводниковых материалов практически без изменения физико-химических свойств поверхностного слоя. Точность изготовления отверстий  $0,002$  мм, шероховатость отработанной поверхности  $0,4-6$  мкм. На установке можно изготавливать детали методом копирования профиля электрода — проволоки диаметром до  $15$  мкм, что значительно расширяет ее технологические возможности. Вот один из отзывов ведущего специалиста по созданию подобных установок в книге посетителей: "Являясь специалистом в области электроэрозионной обработки, могу сказать, что не видел станка с такой точностью".

УВН-75Р-1



■ **МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА УВН-75Р-1** для ионного и электроннолучевого напыления пленок. Широкие технологические возможности и большая производительность этой установки позволяют использовать ее для производства многослойных тонкопленочных микроэлементов и микросхем в замкнутом технологическом цикле и наносить тонкие пленки почти из всех материалов, применяемых в микроэлектронике, методами ионной бомбардировки и электроннолу-

чевого нагрева. После ознакомления с установкой руководитель лаборатории отделения микроэлектроники фирмы Thomson-CSF г-н Вал записал в книге посетителей: "Ваша установка УВН-75Р-1, оснащенная двумя электронными и одним ионным источником испарения и позволяющая в одном цикле получать три слоя металлов или диэлектриков, находится на уровне лучших образцов. Еще одним ее достоинством является возможность использования в серийном производстве".



ЭМ-508

■ **МИКРОФОТОНАБОРНАЯ УСТАНОВКА ЭМ-508**, которой дали высокую оценку специалисты фирм Thomson—CSF, Siemens, Sescosem, отметив оригинальность конструкции, высокие технические данные, хорошую разрешающую способность (1000 *лин/мм*). Эта установка выгодно отличается от наиболее совершенных аналогов, например от установок американской фирмы David W. Mann, где те же операции изготовления и размножения фотошаблонов осуществляются на двух разных установках. Единственный недостаток установки ЭМ-508 — малое поле (40 x 40 *мм*) — уже устранен, сейчас разработана установка ЭМ-519 с полем (80 x 80 *мм*).

■ **УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗБРАКОВКИ ОСНОВНОЙ РЕЗИСТОРОВ "АКОР-1"** с применением лазера. Руководитель отделения технологии и оборудования для производства компонентов фирмы Thomson—CSF г-н Жак Шабрель сказал, что на Западе аналогов этой установки нет. Фирма Thomson CSF работает над подобной установкой (однако без применения лазера), но ее производительность будет в 3,5 раза ниже.

Успех советского технологического оборудования для производства полупроводниковых приборов был отмечен в американской прессе. Говоря о том, что Советский Союз представил оборудование "в выгодном свете", американцы особенно выделяют диффузионные печи для изготовления ИС; технические новинки с применением лазера; установку для изготовления масок ИС, о которой пишут, что "русские создали простую, умную машину с техническими характеристиками, соответствующими западным образцам".



АКОР I



# НОВЫЕ КНИГИ

В 1971 г. выйдут из печати

*Лисичкин В.А.* Отраслевое научно-техническое прогнозирование (вопросы теории и практики). М., "Экономика", 1971.

В работе комплексно решаются вопросы отраслевого научно-технического прогнозирования. Исследуется проблема прогнозирования потребностей с целью выявления перспектив развития отрасли. Анализируются объекты и методы отраслевого научно-технического прогнозирования. Разработка методов доводится до программ и алгоритмов для ЭВМ.

Книга предназначена для научных работников различных областей знаний.

*Эйрес Р.* Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. М., "Мир", 1971.

Книга известного американского специалиста в области математической физики посвящена анализу достоинств и недостатков различных методов научно-технического прогнозирования. Автор дает оценку факторов, влияющих на точность прогнозов и раскрывает роль прогнозов в определении научно-технической политики, перспективном и текущем планировании фундаментальных и прикладных исследований.

Материал ценен своей практической направленностью и может быть полезен для широкого круга специалистов.

*Анализ конкретных ситуаций в управлении производством, ч. 1, пер. с англ. М., "Прогресс", 1971.*

Сборник методических материалов для проведения занятий по курсу организации производства и управления составлен на основе ряда изданий, опубликованных в последние годы в США и Англии.

Книга представляет интерес для работников промышленности, преподавателей, руководящих работников.

*Теория и практика прогнозирования развития науки и техники в странах — членах СЭВ. М., "Экономика", 1971.*

Сборник представляет собой труды Международного симпозиума стран — членов СЭВ и СФРЮ по методологическим вопросам прогнозирования науки и техники. В сборник включены доклады и сообщения, посвященные как теоретическим

проблемам прогнозирования научно-технического прогресса, так и вопросам разработки прогнозов по конкретным отраслям народного хозяйства.

*Пролейко В.М., Чекмарев А.А.* Качество, надежность и долговечность электронных приборов. М., "Энергия", 1971.

Рассматриваются основные направления работ по повышению качества, надежности и долговечности: совершенствование конструкции и технологии изготовления приборов, методов и средств контроля.

Книга рассчитана на инженеров-конструкторов, технологов и руководящих работников предприятий.

*Якобсон Б.М., Розинкин А.Е.* Автоматизированные системы управления производством. М., "Советское радио", 1971.

Рассматриваются вопросы проектирования, внедрения и эксплуатации автоматизированных систем управления. Излагаются методы сбора, обработки и передачи информации. Приводятся характеристики отдельных систем управления, в том числе агрегатной системы.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся вопросами разработки и проектирования систем управления.

*Кузьмин И.В.* Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления сложными объектами. М., "Советское радио", 1971.

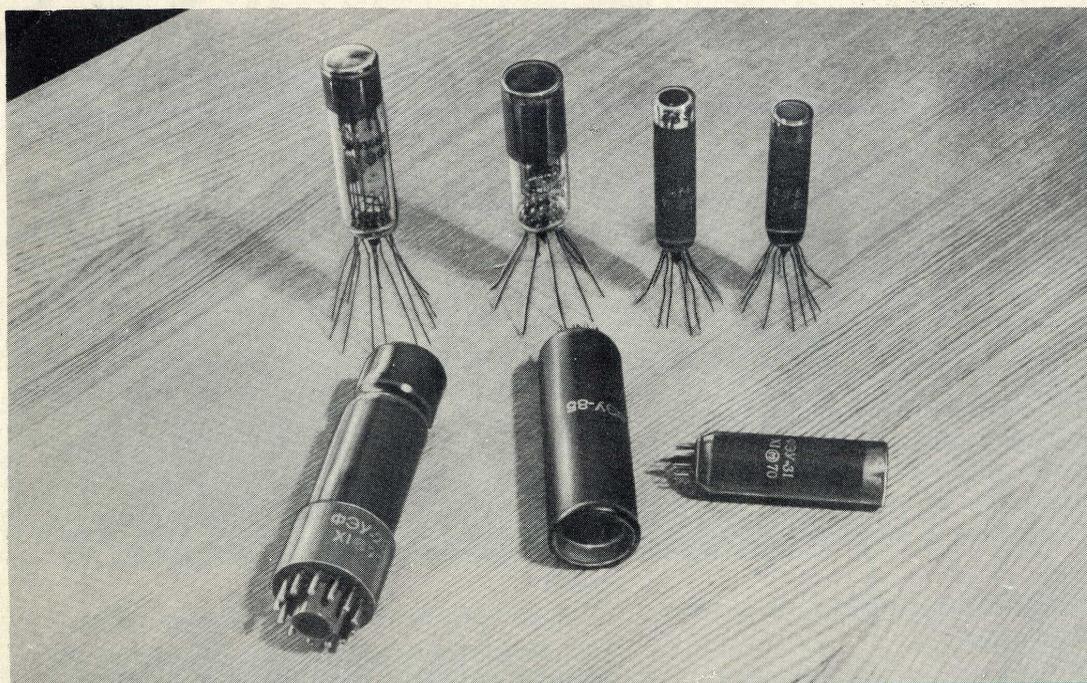
Рассматриваются методы оценки эффективности и оптимизации систем контроля и управления по обобщенному функционально-статистическому критерию с учетом вероятности выполнения объектом задачи, а также с учетом его стоимости, быстроедействия, объема и веса оборудования.

Книга может быть использована в качестве пособия при проектировании систем контроля и управления в проектных организациях и НИИ.

*Ицкович Э.Х.* Контроль работы производств с помощью ЦВМ. М., "Энергия", 1971.

Излагаются основы проектирования систем автоматического контроля непрерывных производств, использующих УВМ. Рассматриваются основные алгоритмы и методы их расчета.

Книга предназначена для специалистов в области вычислительной техники.



## ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ

### МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ

- ▶ в радио- и электронной промышленности,
- ▶ медицине и сельском хозяйстве,
- ▶ металлургии и химической промышленности,
- ▶ астрономии и кинопроизводстве,
- ▶ текстильной промышленности и на транспорте
  
- ▶ в приборах автоматического контроля и фотометрических устройствах,
- ▶ звуковоспроизводящей и кинопроекционной аппаратуре,
- ▶ автоматических пирометрах и калориметрах



**ВЫПУСКАЮТСЯ**

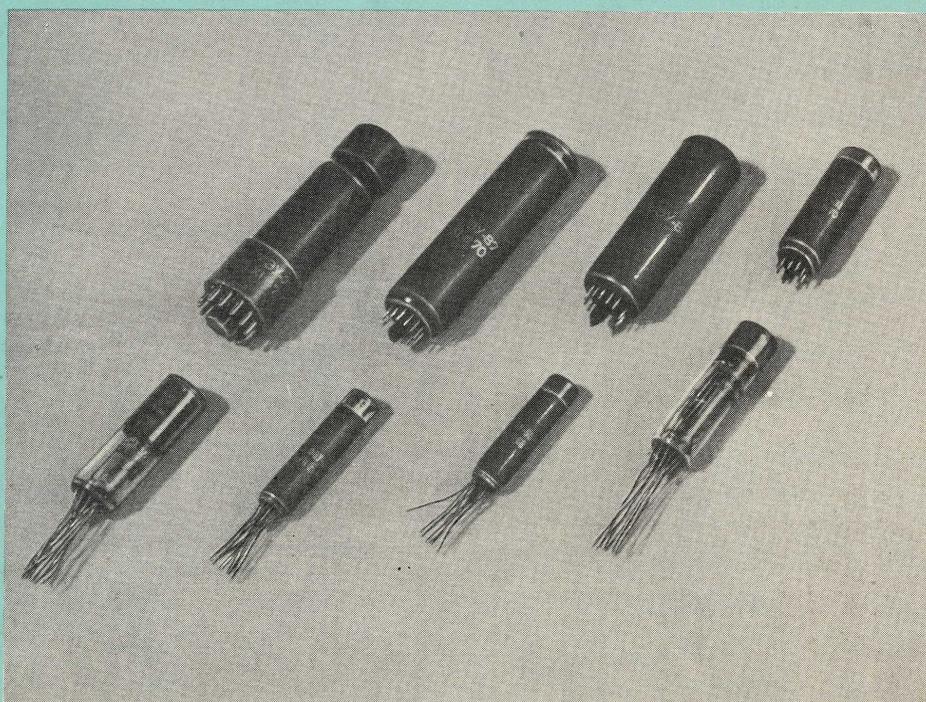
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКЕ, ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И РАДИОАКТИВНЫХ РУД

ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ, ПРИ ФОТОМЕТРИИ СЛАБЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА (ОТ ДАЛЕКОЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ДО ИНФРАКРАСНОЙ)

ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ И УДАРНЫХ НАГРУЗОК

ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Тип ФЭУ	Рабочий диаметр фото-катода, мм	Область спектральной чувствительности, нм	Чувствительность фото-катода, мкка/лм
ФЭУ-29	34	300-600	≥ 30
ФЭУ-31	18	300-600	≥ 20
ФЭУ-37	34	300-600	≥ 30
ФЭУ-38	34	300-820	≥ 60
ФЭУ-60	10	300-600	≥ 20
ФЭУ-85	25	300-600	≥ 30
ФЭУ-27	25	300-800	≥ 30
ФЭУ-28	25	400-1100	≥ 15
ФЭУ-39	34	160-600	≥ 25
ФЭУ-68	10	300-820	≥ 60
ФЭУ-79	6	300-830	≥ 80
ФЭУ-67	10	300-600	≥ 20
ФЭУ-86	10	300-600	≥ 60
ФЭУ-30	54	350-600	≥ 40
ФЭУ-36	34	300-600	≥ 30
ФЭУ-87	20	300-600	≥ 30



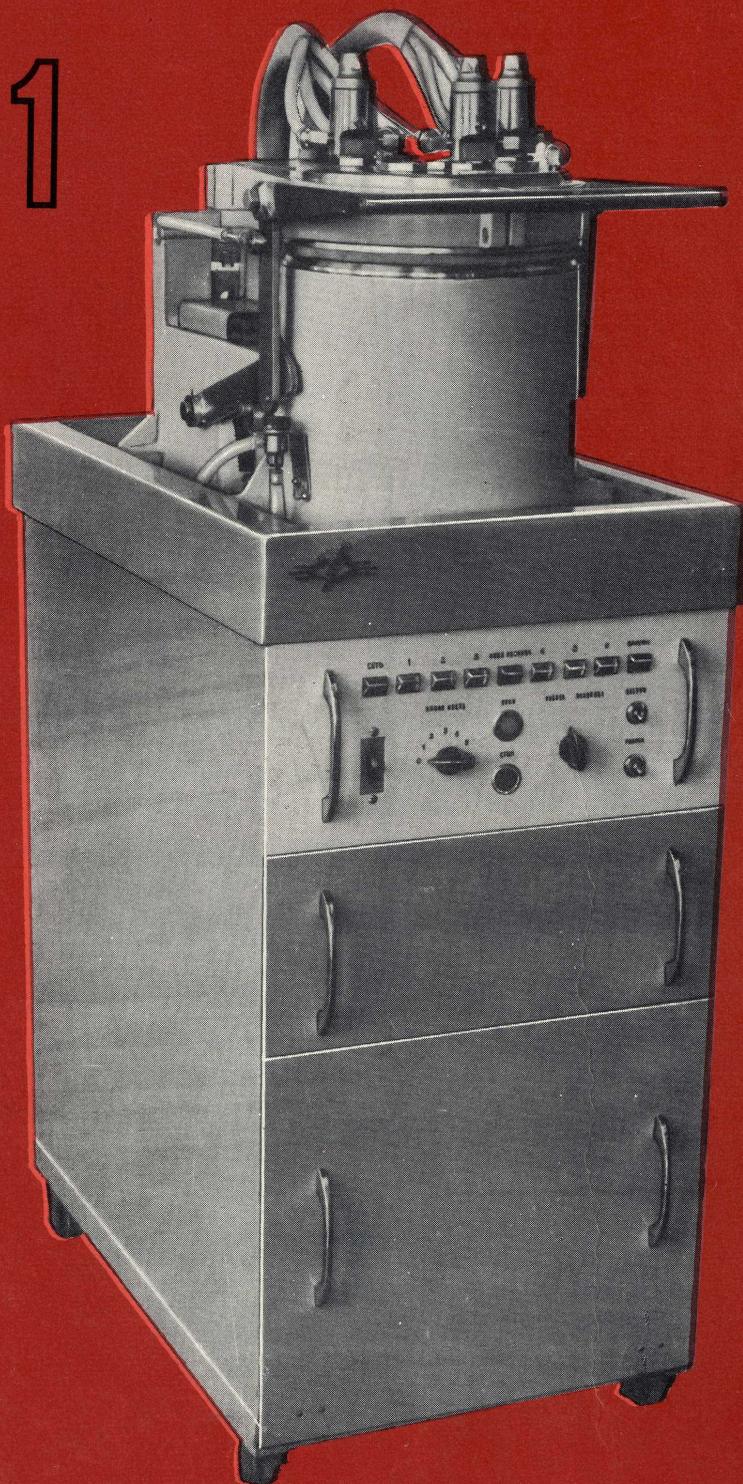
# Установка для проявления фоторезиста на пластинах в среде распыленного до высокой дисперсности реактива

## УПФ-1

■ Групповая загрузка и выгрузка пластин (10 шт.) в рабочую камеру осуществляется с помощью специальной кассеты.

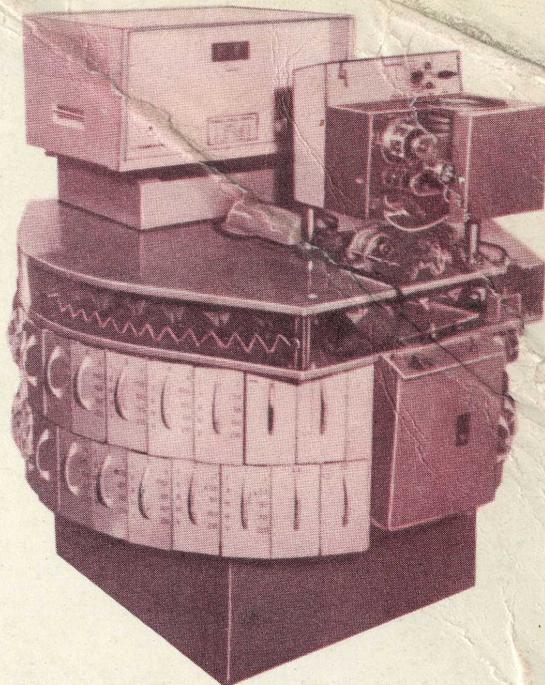
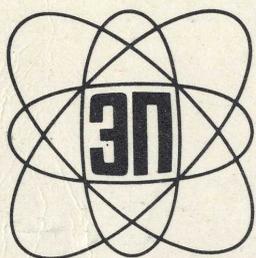
■ Распыление реактива производится форсункой, снабженной противокapelным устройством. ■ Обработка пластин ведется в автоматическом режиме с широким диапазоном регулирования времени проявления (1–5 мин).

УСТАНОВКА ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ВЫСОКУЮ РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ, ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАИМЕНЬШИЙ РАСХОД РЕАКТИВОВ, УСТРАНЯЕТ ОСТАТОЧНОЕ ПОВТОРНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ.



# АГМ-3

- Предназначен для раскалибровки на 220 групп металлизированных заготовок резисторов МТ и МЛТ перед нарезкой.
- Имеет высокую производительность — 6000 шт/ч.
- Диапазон раскалибровки 0,961—44100 ом.
- Погрешность раскалибровки  $\pm 1\%$ .
- Потребляемая мощность 0,7 ква.
- Вес 400 кг.



## Автомат для раскалибровки резисторов

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор К.И.МАРТЮШОВ

Члены редколлегии: В.А.Афанасьев, А.Р.Бодиков, А.А.Васенков, В.Е.Вершин, В.И.Виноградов, В.И.Владиславлев, Е.А.Гайлиш, А.А.Захаров, В.В.Иванов, А.И.Казьмин, Н.Г.Кашников, В.Г.Колесников, А.М.Коршанов, С.И.Крохин, В.Г.Мавродиadi, И.С.Марченко, М.И.Меньшиков, Ю.Б.Митюшин, В.И.Павлов, В.М.Пролейко (зам. главного редактора), А.В.Пивоваров, М.Л.Русецкий, В.В.Савин, А.Г.Салин, М.Ф.Стельмах, П.М.Стуколов (зам. главного редактора), В.М.Сычев, Г.Г.Татаровская (ответственный секретарь), А.Ф.Трутко, Г.А.Умнов, В.А.Федоренчик, В.Ф.Федоров, О.В.Филатов, С.К.Цаллагов, Ю.Г.Шелюхин

Ответственные за выпуск Н.В.Левина и Т.К.Привалова

Фото В.П.Прохорова

Художественно-технический редактор А.В.Дайлидо

Подписано в печать 23.II.70 г.

Т01877

Объем 15,00 п.л.

Уч.-изд. 14,75

Тираж 2100

Формат 60 × 90/8

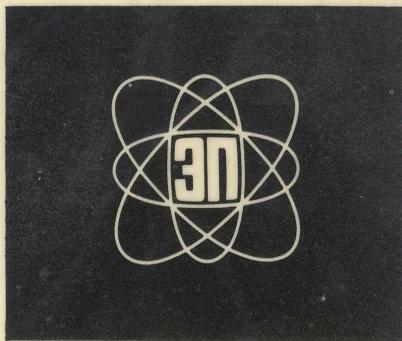
Цена 1 р. 25 к.

Заказ 366

Производственно-издательский отдел института "Электроника"

# МОНТИРОВАННАЯ ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА

для ионного  
и электроннолучевого  
напыления



ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И МИКРОСХЕМ В ЗАМКНУТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ МЕТОДАМИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ И ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОГО НАГРЕВА. РАСПЫЛЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ: МЕТАЛЛЫ, СПЛАВЫ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУПРОВОДНИКИ, ДИЭЛЕКТРИКИ.

- ▶ Число последовательно распыляемых материалов 3
- ▶ Предельный вакуум  $7 \cdot 10^{-7}$  торр
- ▶ Время достижения предельного вакуума при нормальных условиях 2 ч при нагретом насосе Н-2Т-3 1 ч
- ▶ Максимальный размер подложки  $60 \times 48 \times 0,5$  мм
- ▶ Количество подложек, обрабатываемых за 1 цикл, 100 шт.
- ▶ Максимальная потребляемая мощность 16 квт

## УВН-75Р-1

