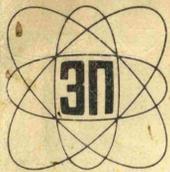


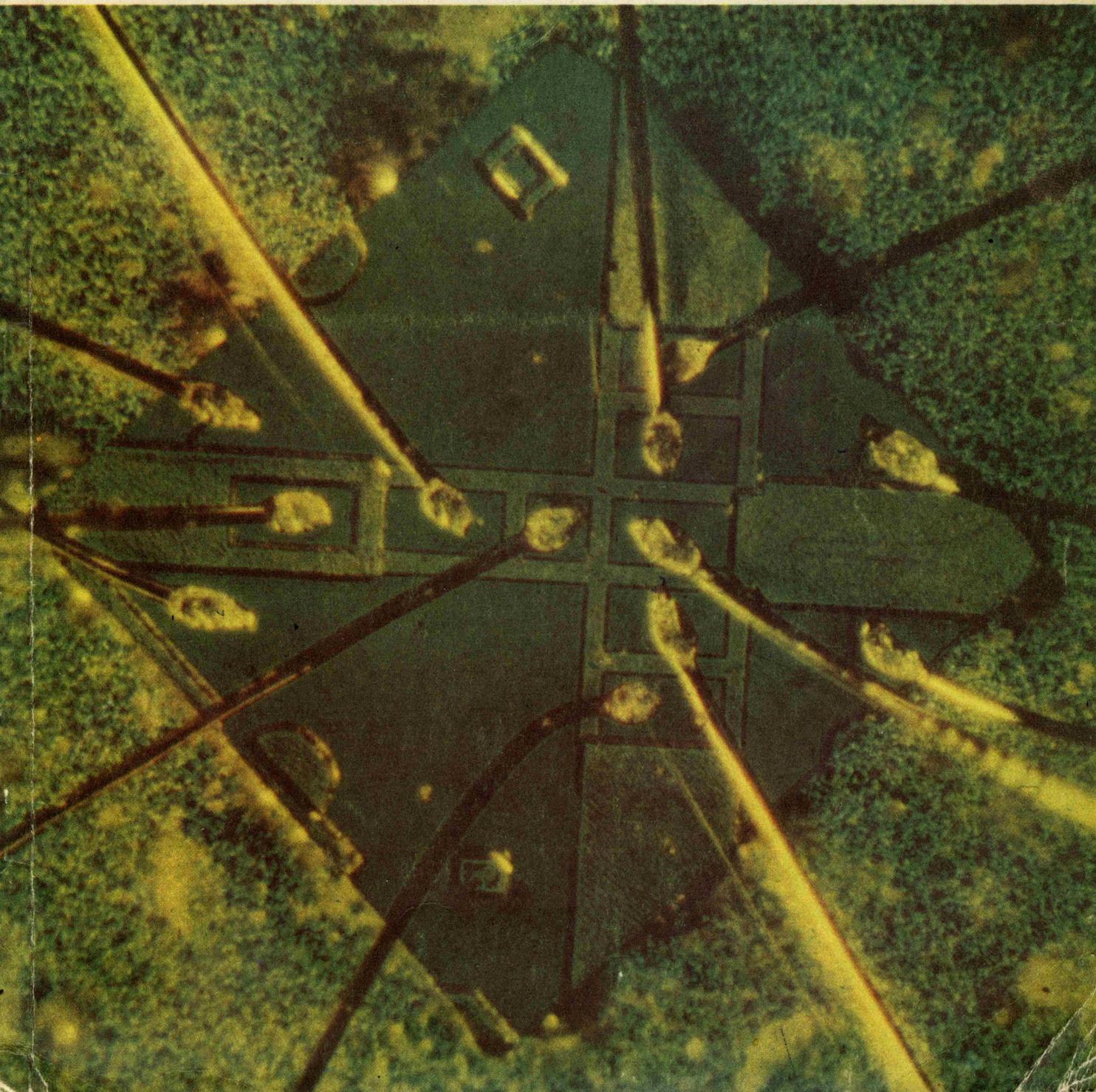
6316



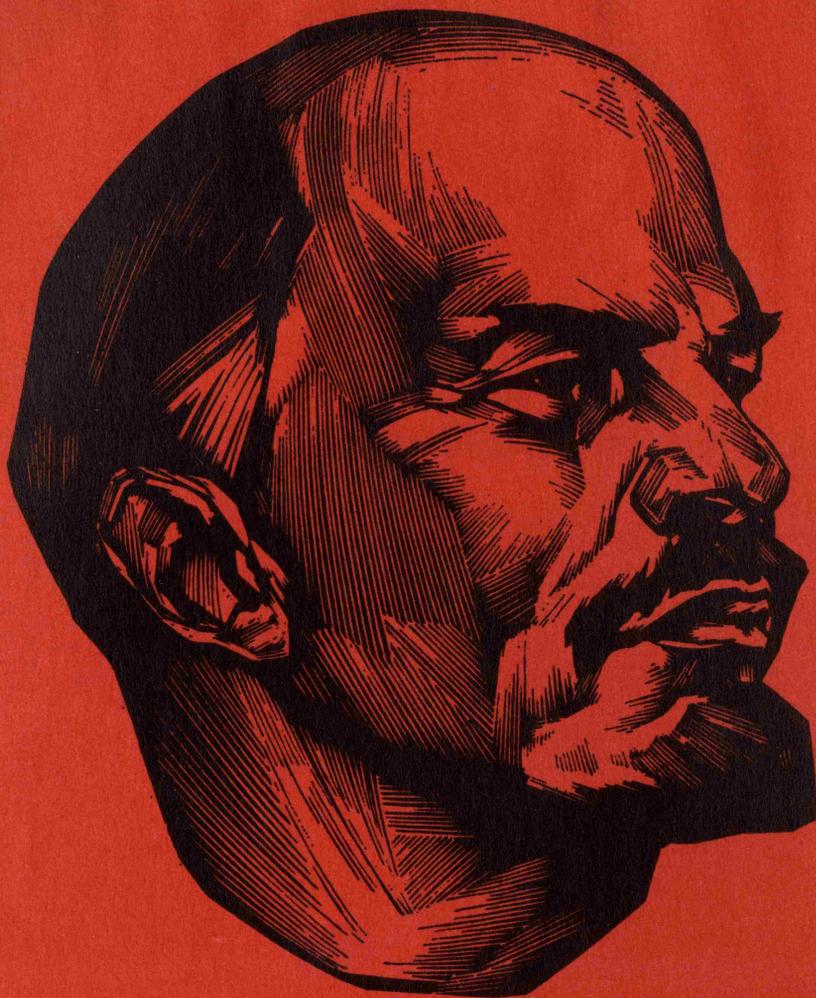
ЭЛЕКТРОННАЯ

№1-1970

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



МИНИСТЕРСТВО
ЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

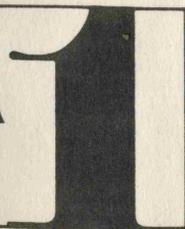


1870-1970



ВАШ ОРУЖИЕ

МОСКВА
1970



На дом
не выдается

6316

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

FANUC6.RU
САЙТ О СТАРЫХ ЧПУ

Научно-техническая
библиотека ТПО
№ _____

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- 9 *Вальков В.М.* Принципы проектирования автоматизированных систем оперативного управления технологическими линиями
- 16 *Вершин В.Е.* Некоторые тенденции развития систем управления предприятиями электронной промышленности
- 18 *Провад В.А., Мареева Л.Ф., Лунев А.Ф.* Модель автоматизированной подсистемы управления материально-техническим снабжением отрасли

ИЗДЕЛИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 22 *Старос Ф.Г.* Микроэлектроника в вычислительной технике
- 27 *Клементьев М.М.* Микроэлектроника в медицине
- 31 *Уральский Ю.А., Оганезов Р.Х., Павлов А.Н.* Микроэлектронные логические схемы в многовыводных металлостеклянных корпусах
- 34 *Сидоров Ю.И., Гусаков В.М., Королев М.А., Федоренко Ю.С.* Интегральные полупроводниковые схемы на МОП-транзисторах
- 39 *Быков А.П., Быстров В.М., Баркар Е.Т., Иванов А.А., Игнатьев С.С.* Линейный ускоритель электронов серии "Электроника" типа ЭЛУ-5-1-5

ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКИ, МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

- 42 *Васенков А.А., Никишин В.И., Удовик А.П., Скороходов В.Д., Стоянов А.И.* МОП-транзистор с переменной концентрацией примеси в канале

- 45 *Сапронов В.И., Глазов В.М., Соловьев И.Л.* Защита интегральных схем на МОП-транзисторах от высокого электростатического потенциала
- 48 *Баталов Б.В., Зверев С.А., Казеннов Г.Г., Курмаев Ф.А., Руденко А.А.* Комплектование партий полупроводниковых пластин с использованием ЭВМ
- 50 *Банковский Ю.В., Котко А.П., Рябина В.А., Удовичкий В.П.* Оценка объективности контроля электрохимическим методом дефектности окисной пленки кремния
- 52 *Валнев К.А., Банковский Ю.В., Раков А.В.* Повышение вероятности выхода годных кремниевых интегральных микросхем

ОБОРУДОВАНИЕ

- 62 *Савин В.В.* Основные направления в развитии оборудования для массового производства интегральных схем
- 67 *Гревцев Н.В., Егоров А.В., Кошкин В.В., Костинский Л.Н., Красулин Ю.Л., Петров Ю.П.* Установка для напыления пленок методом электрического взрыва фольги
- 69 *Блинов И.Г., Валеев А.С., Мелехин Ю.А., Михневич В.А., Панкратов Л.М., Сладков В.И.* Катодное распыление тонких пленок тантала
- 71 *Сатаров Г.Х.* Высокопроизводительная установка для ионного распыления материалов УВН-72Р-1
- 73 *Гаврилкин А.А., Кононович А.Ю., Точичкий Я.И.* Двупольный микроскоп для совмещения и экспонирования
- 75 *Райхман Я.А.* Уникальная микрофотонаборная установка ЭМ-508

- 77 Царев В.А., Анисимов Е.В. Ионная пушка для СВЧ приборов
- 78 Елагин В.М. Оборудование для аргонодуговой сварки крупногабаритных электровакуумных приборов

ТЕХНОЛОГИЯ

- 84 Юдин В.В., Курносое А.И. Перспективные технологические направления в полупроводниковом приборостроении
- 89 Смолко Г.Г., Заумыслов Ю.В., Желтов В.Н. Электронно-ионная технология изготовления интегральных схем
- 92 Черняев В.Н., Пинчук Я.М., Кожитов Л.В., Герман Ю.И. Омические контакты для силовых полупроводниковых приборов
- 93 Васильев Г.Ф., Радковский С.Г. Способы монтажа гибридных интегральных схем
- 99 Белов Н.А., Эрлих Р.Н., Казанов В.М., Кондратьева Т.С. Свойства автоэпитаксиальных слоев кремния
- 100 Дробышев Е.П., Дольников С.С., Кудряшов А.Г. Повышение надежности монтажа кремниевых микросхем
- 102 Саперов В.П., Киреев П.С. Твердый раствор Cd_xHg_{1-x} Те для генератора шума

ОБМЕН ОПЫТОМ

- 104 Грицына О.Я. Точный электропривод в электронном машиностроении
- 106 Морозов А.М., Тимофеев Б.А., Поваров Н.С., Евстигнеев С.И., Терентьева С.Г. Рентгено-телевизионный контроль качества катодных узлов электровакуумных приборов

- 108 Иванов В.Д., Никитин В.Г. Номограммы режимов термокомпрессии и сварки косвенным импульсным нагревом
- 111 Шустов Б.Н., Шугаев В.А. Установка термокомпрессионной сварки металла с керамикой
- 111 Шустов Б.Н., Туманов Л.В. Установка для литья крупногабаритных керамических деталей.
- 112 Петрук А.П., Махтингер Э.Я. Взрывобезопасность при продувке печей, работающих с водородом и азотоводородными атмосферами
- 115 Шутлины В.Н., Лемкин Ю.Б., Боронин В.И. Малогабаритные клапаны, вентили и дроссели для агрессивных жидких и газообразных сред
- 118 Богданов М.Т., Попов В.Ф., Преснов В.И., Жданов Ю.Ф. Изготовление деталей приборов методом литья по выплавляемым моделям
- 119 Шур М.Б., Ларин В.И. Метод одновременного выдавливания резонаторной системы и щели связи в анодных блоках
- 121 Лагерева Л.И., Базарный Е.М., Исаков В.Н., Маркин В.И. Новые волноводные соединения

НОВОСТИ – СООБЩЕНИЯ – ХРОНИКА

- 124 Васенков А.А. Отечественные электронные приборы на зарубежных выставках
- 126 Балаш И.С., Ничипорович С.А., Яковлев В.Я., Смолко Г.Г. Скандинавия знакомится с продукцией электронной промышленности СССР
- 127 Воронин В.К., Иванов Е.Ф., Караваев А.В. Изделия электронной техники СССР на международной ярмарке "Нуклекс-69"

НЕОБХОДИМАЯ КНИГА

Издательство "Советское радио" выпустило в свет второе издание книги профессора Я.А.Федотова "Основы физики полупроводниковых приборов".

Книга написана на высоком научном уровне и вместе с тем простым, доходчивым языком, благодаря чему она стала настольной книгой студентов и специалистов электронной промышленности. Ценность ее – в острой направленности на задачи и нужды полупроводниковой электроники. В ней освещены самые последние достижения в области физики полупроводниковых приборов.

В книге убедительно показана органическая связь физики с техникой. Сложнейшие физические явления рассматриваются под углом зрения их связи с техникой. И в то же время технические, инженерные проблемы (конструктивно-технологические вопросы, надежность и стабильность) излагаются исключительно "физично".

Можно с уверенностью сказать, что эта книга является одной из лучших работ по полупроводниковой электронике не только среди отечественных, но и среди зарубежных изданий.

Ответственный научный редактор Г.Татаровская
 Ответственный литературный редактор Т.Привалова
 Художественно-технический редактор А.Дайлидо
 Корректор Т.Мартемьянова

Подписано в печать 17.IV.70 г. Т-05167 Объем 16,00 п.л. Уч.-изд. 15,37
 Тираж 2100 Формат 60 x 90/8 Цена 1 р. 29 к. Зак. 603

Производственно-издательский отдел института "Электроника"

**Идя по ленинскому пути,
КПСС видит
главную задачу
строительства коммунизма
прежде всего в создании
его материально-
технической базы. Суть
экономической политики
партии состоит в том,
чтобы на основе
всемерного
использования
достижений
науки и техники,
индустриального развития
всего общественного
производства, повышения
его эффективности
и производительности труда
обеспечить дальнейший
значительный
рост промышленности.**

Из Тезисов ЦК КПСС
"К 100-летию со дня рождения
Владимира Ильича Ленина"



ОТ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

В числе важнейших научно-технических направлений второй половины нашего века особое место принадлежит электронике — базовой отрасли народного хозяйства, которая, пронизывая своими идеями и методами практически все отрасли промышленности, развивается стремительными темпами. Начиная с 1940 г. объем производства изделий электронной техники в нашей стране удваивается почти каждые пять лет. Масштабы научных исследований и опытно-конструкторских работ растут также чрезвычайно быстро, что, естественно, приводит к большому потоку информации в этой области, которая рассредоточивается по многим видам изданий.

Декабрьский Пленум (1969 г.) ЦК КПСС поставил перед промышленностью задачу — повысить уровень научного планирования и разработок. В этом свете большая роль отводится правильно организованной информации об основных разработках, выполненных в электронной промышленности и в смежных отраслях в интересах развития отечественной электронной техники.

Высокие темпы развития электронной промышленности выдвигают все возрастающие требования к ряду смежных отраслей. Только совместные усилия в производстве специальных материалов, прецизионного фотооптического, механического и контрольно-измерительного оборудования, специальных приспособлений, автоматизированных линий позволят обеспечить требуемый сегодня уровень производства изделий электронной промышленности, которые находят все новые и новые области применения в промышленных и научных исследованиях, открывая широкие возможности для решения многих технических проблем.

В последние годы наиболее интенсивно развиваются прогрессивные технологические методы обработки материалов и процессы формообразования, все глубже проникает во все области науки и техники микроэлектроника, разрабатывается на основе базовых моделей высокопроизводительное оборудование, внедряются механизированные и автоматизированные средства контроля, создаются автоматизированные технологические линии производства с целью повышения качества и выхода годных изделий, разрабатываются и внедряются автоматизированные системы производственного и административного управления на базе ЭВМ, успешно применяются новые методы планирования.

Перечисленные главные направления показывают, что проблемы, стоящие перед электронной промышленностью и наукой, многоаспектны. Дальнейшее расширение применения изделий электронной техники, повышение эффективности их использования, проведение разработок по созданию современной аппаратуры на высоком научно-техническом уровне во многом зависят от повышения знаний и осведомленности специалистов как электронной, так и смежных отраслей промышленности. Поэтому издание научно-технического сборника "Электронная промышленность", предлагаемого нами вниманию читателей, признано своевременным.

Основные направления, по которым будет развиваться электронная промышленность в ближайшие годы, известны. Задача состоит в конкретном претворении в жизнь намеченных перспектив.

Наш сборник наряду с перспективами развития электронной техники, проблемными научно-техническими вопросами и проблемами экономики будет широко освещать:

результаты новых исследований и разработок в области физических явлений, технологии, измерений, конструирования по таким основным направлениям электронной техники, как полупроводники, микроэлектроника, квантовая электроника, СВЧ техника, электронное машиностроение, электровакуумная техника, радиодеталестроение, а также в области создания технологического оборудования, комплексных и механизированных линий производства;

новые методы расчетов и проектирования;
вопросы наиболее эффективного использования изделий электронной техники;
применение ЭВМ при проведении научных экспериментов, решении исследовательских и статистических задач, организации технологических процессов, а также в системах информации, в области производственного и административного управления.

Будет уделено внимание и вопросам развития таких новых направлений электроники, как бионика, криогенная техника, функциональная микросхемотехника.

Редколлегия надеется, что актуальность и новизна публикаций по всем аспектам электронной техники, инженерный подход к исследованиям и разработкам новых принципов проектирования, доступность изложения, информативность помогут журналу завоевать широкую популярность среди читателей.

В феврале 1970 г. состоялось совещание хозяйственных и партийных руководящих работников электронной промышленности. Совещание отметило, что благодаря систематической помощи, оказываемой ЦК КПСС и Советом Министров СССР электронной промышленности, и широко развернутому социалистическому соревнованию рабочие, служащие и инженерно-технические работники предприятий и организаций отрасли, готовясь к достойной встрече 100-летия со дня рождения В.И. Ленина, досрочно выполнили план производства четвертого года пятилетки и принятые социалистические обязательства.

Главные итоги истекших четырех лет убеждают в том, что Директивы партии по пятилетнему плану развития народного хозяйства страны в области электронной промышленности будут успешно выполнены. За четыре года пятилетки рост производительности труда достиг 160,1% при задании по народнохозяйственному плану за пятилетие в размере 157%, т. е. пятилетний план производительности труда выполнен к 1 января 1970 г. и среднегодовой темп роста производительности труда составил 12,5%.

В 1969 г. практически все серийные промышленные предприятия работали по новой системе планирования и экономического стимулирования.

Продолжая развиваться высокими темпами как по объему производства, так и по количеству отдельных видов изделий, электронная промышленность выполнила план по установленной Министерству номенклатуре электронных изделий по всем технико-экономическим показателям. По объему реализации продукции план выполнен досрочно к 25 декабря, по товарному выпуску (в действующих ценах) — к 24 декабря 1969 г. Высокими темпами наращивались мощности по выпуску основных изделий электронной промышленности. Возрос выпуск интегральных схем, микромодулей, полупроводниковых приборов, резисторов, крупногабаритных кинескопов, товаров культурно-бытового назначения. Подавляющее большинство вновь созданных электронных приборов, по оценкам государственных комиссий, находится на высоком научно-техническом уровне. План присвоения государственного Знака качества изделиям электронной техники в 1969 г. был перевыполнен на 41%. Выпуск товаров культурно-бытового назначения и изделий электронной техники, поставляемых непосредственно в торговую сеть и телеателье, увеличился в 2,3 раза.

Значительный вклад в достижение отмеченных успехов электронной промышленности внесли НИИ и КБ отрасли, которые успешно выполнили планы НИР и ОКР по обеспечению потребностей народного хозяйства в разработках важнейших изделий электронной техники.

Научно-конструкторские организации МЭП совместно с заводами проделали большую работу по созданию и внедрению прогрессивной технологии, высокопроизводительного оборудования, по стандартизации и унификации изделий и технологических процессов. Это обеспечило сверхплановое снижение себестоимости продукции, позволило получить экономию различных материалов и полуфабрикатов на значительную сумму. В целях усиления связи науки с производством в Министерстве организованы производственные и научно-производственные объединения. Проведена большая подготовительная работа по переводу на новую систему планирования и экономического стимулирования ряда научных организаций.

В 1969 г. перевыполнен общий объем капитальных вложений. На предприятиях и в организациях систематически укрепляется социалистическая трудовая дисциплина, что способствует повышению производительности труда и увеличению выпуска продукции. Предприятия и организации отрасли в 1969 г. добились повышения уровня организационной работы с кадрами, в результате чего улучшился качественный состав инженерно-технических и руководящих кадров. Вместе с тем имели место недостатки, отмеченные в решениях декабрьского (1969 г.) Пленума ЦК КПСС. Недостаточно внимания уделялось вопросу повышения эффективности работы отдельных НИИ и КБ. В некоторых случаях медленно проводилось внедрение новых разработок в промышленность. Серийные заводы, на которых должны внедряться ОКР, не всегда привлекались к выполнению этих работ в процессе разработки. На ряде предприятий допускался опережающий рост численности против проектной, а иногда имеют место нерациональная расстановка кадров и чрезмерная осторожность при выдвижении кандидатур из числа молодых специалистов на руководящие должности.

Совещание отметило, что главная задача, стоящая перед электронной промышленностью в 1970 г. в свете решений декабрьского (1969 г.) Пленума ЦК КПСС, — это резкое повышение эффектив-

ности производства и науки, наращивание производства и улучшение качества продукции в основном за счет качественных факторов экономического роста, т.е. за счет повышения производительности труда, полного и рационального использования уже имеющихся площадей, обновления оборудования, внедрения достижений науки и техники, а также за счет рачительного отношения к каждой минуте рабочего времени, к каждому механизму и к каждой машине, каждому грамму сырья и топлива.

Для обеспечения стоящих перед Министерством задач совещание решило:

— предусмотреть в новом пятилетнем плане значительное повышение уровня технического прогресса на базе внедрения новых современных приборов, более совершенных технологических процессов, разработки, изготовления и ввода в эксплуатацию автоматизированных и поточно-механизированных линий, внедрения АСУП и НОТ;

— принять социалистические обязательства на 1970 г.;

— считать важнейшей задачей коллективов предприятий и организаций успешное выполнение плана на 1970 г. на основе повышения эффективности использования имеющихся трудовых и материальных ресурсов, дальнейшее развитие социали-

ческого соревнования за достойную встречу столетия со дня рождения В.И.Ленина и XXIV съезда КПСС, укрепление социалистической дисциплины труда и коммунистического воспитания советских людей;

— устранить все отмеченные недостатки в вопросах разработки и ввода в эксплуатацию АСУ на базе ЭВМ, освоения новых приборов на серийных заводах, финансовой дисциплины, подбора и расстановки кадров, совершенствования организационной структуры и управления производствами, усиления воспитательной работы.

Совещание обращается с призывом ко всем работникам предприятий и организаций отрасли шире развернуть социалистическое соревнование за досрочное выполнение плана 1970 г. и достойную встречу столетия со дня рождения великого вождя и основателя социалистического государства В.И.Ленина, приложить все свои силы, знания и энергию для успешного выполнения принятых социалистических обязательств.

Из Решения совещания хозяйственных и партийных руководящих работников электронной промышленности в феврале 1970 г.

ИТОГИ СМОТРА РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ИЗОБРЕТЕНИЙ И РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина в течение 1969 г. в отрасли проходил общественный смотр работы предприятий по внедрению в промышленность изобретений и рационализаторских предложений. В ходе смотра рационализаторами и изобретателями подано 65,5 тыс. предложений. На предприятиях оформлено свыше 3 тыс. заявок на изобретения. За период смотра в производство внедрено 43 тыс. предложений (на 4,5 тыс. больше, чем в 1968 г.), в том числе 500 изобретений. В смотре принимали участие профсоюзные организации и Всесоюзное общество изобретателей и рационализаторов. Проводилась массовая работа в коллективах цехов и отделов по широкому ознакомлению с условиями смотра, по оказанию помощи рационализаторам и внедрению их предложений. Были организованы юбилейные вахты новаторов производства, соревнование за звание лучшего цеха (отдела) по рационализации и изобретательству и т.п. Ежеквартальные итоги смотра освещались в местной печати и радиопередачах на предприятиях.

Экономия, полученная в результате эффективных рационализаторских предложений и изобретений в 1969 г., превысила экономию за прошлый год на 9,3 млн.руб. Кроме того, внедрение этих предложений способствовало улучшению технологии по многим изделиям, значительному повышению качества, технических характеристик и надежности многих электронных изделий, оборудования и аппаратуры.

Восемнадцать предприятиям отрасли были присуждены классные места. Предприятия в электровакуумной и полупроводниковой промышленности получили наибольшее количество призовых мест.

ЭКОНОМИКА и организация производства

В.М.ВАЛЬКОВ

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ

В порядке обсуждения

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

При организации производства наблюдается стремление к прямоточности производственного процесса, что определяет установку оборудования по ходу технологического процесса, связанного с последовательной обработкой заготовки одного и того же изделия. Отсюда термин — технологическая линия. Технологические линии являются характерными участками производства на большинстве предприятий электронной промышленности. Желание более полного использования технологического оборудования в ряде случаев привело к созданию нелинейных технологических потоков, для которых характерны "возвратные" по ходу технологического процесса родственные технологические операции, выполняемые на оборудовании одного и того же типа. При такой структуре производства родственное технологическое оборудование концентрируется на соответствующих участках, а производство приобретает "маятниковый"

характер. Линейно-участковая организация производственных процессов наиболее характерна для предприятий, выпускающих полупроводниковые приборы. Одна или несколько такого рода линий вместе со вспомогательными и административными службами образуют соответствующие цехи (например, планарно-диффузионный цех [1]). Задача управления цехом и технологическими линиями, входящими в его состав, является типовой задачей управления организационно-технологического характера для предприятий электронной промышленности. Поэтому в предлагаемой статье делается попытка сформулировать некоторые основные положения по проектированию цеховых систем управления технологическими линиями, определить главные задачи и место таких систем в общей схеме автоматизированной системы управления предприятием.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ АСУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ

Автоматизированные системы управления принято делить на два основных класса [2]: системы управления технологическими процессами и сис-

темы организационного или административного управления. При этом наиболее важными классификационными признаками являются характер

объекта управления и форма передачи информации. В первом случае управляющие сигналы передаются исполнительным механизмам, а формой передачи информации являются электрические, механические и другие сигналы. Во втором случае управляющие сигналы передаются людям, а основной формой передачи информации является документ.

Автоматизированным системам управления технологическими линиями присущи признаки обоих вышеуказанных классов систем. В таких системах сигналы управления могут выдаваться как непосредственно исполнительным механизмам технологических установок, так и операторам, технологам, диспетчерам, участвующим в производственном процессе. При этом широко используется наглядное отображение информации.

Могут создаваться системы управления технологическими линиями с резко выраженным "технологическим" характером управления (автоматический сбор и обработка информации о технологических режимах, о состоянии оборудования и т. д.), либо системы, в которых задачи организационного управления (при создании системы управления цехом, охватывающей несколько линий, службу подготовки производства, планово-диспетчерскую службу цеха и т. д.).

Если рассматривать автоматизированные системы управления технологическими линиями (цехами с предметным характером производства) как среднюю ступень в иерархической структуре АСУП, то их можно назвать третьим, промежуточным организационно-технологическим классом АСУ, в отличие от верхнего уровня АСУП чисто организационного характера и нижнего "технологического" уровня (управления отдельными технологическими операциями или установками).

Представляет интерес вопрос, в какой мере отдельные принципы построения АСУ организационного характера, сформулированные в рабо-

те [2], применимы к рассматриваемому классу систем управления.

Поскольку документ здесь не является основной формой передачи информации, принцип автоматизации документооборота реализуется лишь при составлении сводных форм о работе линии (цеха) и не определяет сути системы. Более того, внедрение АСУ должно привести к резкому сокращению документооборота на линии и в цехе.

Принцип однократного ввода информации и принцип накопления массивов главным образом применимы для информации технологического характера (ход процесса по операциям, данные для статистической обработки). Что касается плановой информации, то ее ввод в цеховую ЭВМ и накопление зависят от взаимодействия с вычислительным центром предприятия (распределение задач, возможность автоматического обмена информацией и т. п.).

Принцип совмещения подготовки исходных данных для машины с подготовкой первичного документа, реализуемый в системе с целью исключения ошибок при вводе информации, применим в рассматриваемом случае для однократного ввода информации, которая хранится длительное время в памяти машины. Не менее важным является контроль оперативной информации, которая вводится вручную с отдельных участков технологической линии. Поскольку объем этой информации относительно невелик и требования к скорости ввода, как правило, невысоки, применяются пульты ручного ввода. Для них последний принцип должен быть реализован как принцип "совмещения ввода информации с ее автоматическим наглядным отображением".

Принцип типизации программ математического обеспечения крайне важен при построении автоматизированных систем управления технологическими линиями, так как это является основой для широкого внедрения таких систем управления.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ И НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ВЫБОРУ СРЕДСТВ

Основные технические средства автоматизированной системы управления технологическими линиями можно разделить на следующие группы:

- локальные устройства сбора и передачи информации;

- цеховая информационно-вычислительная управляющая машина;

- локальные устройства наглядного отображения (УНО) и документирования (печатающие устройства) с пультами вызова данных из машины;

- локальные системы автоматического контроля и управления отдельными технологическими операциями с двусторонней автоматической ин-

формационной связью с цеховой управляющей машиной.

В частном случае, когда на автоматизированную систему управления технологическими линиями возлагаются отдельные задачи автоматического управления некоторыми технологическими установками, в систему будут входить соответствующие регуляторы технологических режимов.

К цеховой информационно-вычислительной управляющей машине предъявляются следующие основные требования:

- средняя производительность при выполнении арифметических операций и высокая скорость

выполнения операций сравнения и ввода-вывода массивов информации;

– наличие постоянной и оперативной памяти блочной конструкции с возможностью ее наращивания;

– наличие долговременной памяти большой емкости типа магнитной ленты или магнитного диска;

– наличие аппаратно-программных средств для работы системы управления в реальном масштабе времени в режиме прерывания (блоки прерывания программ, программа-диспетчер, блок "электронные часы" и т.п.).

Для удовлетворения указанных выше технических требований практически необходимо применение достаточно мощной управляющей вычислительной машины.

Из известных отечественных УВМ в качестве основы для цеховых АСУ могут рассматриваться ВНИИЭМ-3, "Днепр-2" (комплекс "Днепр-21-22"), "Электроника К-200", технические характеристики которой приводятся ниже.

Процессор

Разрядность, знаков 23(22+1)
 Быстродействие, операций/сек до 40 тыс.
 Адресность переменная (1 или 2 адреса в команде)

Количество операций (в том числе умножение, деление, извлечение корня) 32

Количество приоритетов в блоке прерывания 23

Количество регистров сверхоперативной памяти 8

Основной тип логического элемента гибридные микросхемы с транзисторно-резистивной логикой

Память

Емкость оперативного запоминающего устройства, слов до 16384 (блоками по 512 слов)

Емкость постоянного запоминающего устройства, слов до 16384 (блоками по 2048 слов)

Емкость совмещенного поля памяти (чисел и команд) для ОЗУ и ПЗУ, слов до 8192

Разрядность чисел 24(22+1 зн. +1 контр.)
 команд 24 (23+1 контр.)

Емкость накопителя на магнитной ленте (в стадии разработки), слов 1 000 000

Устройства ввода-вывода информации

Максимальная скорость обмена, бит/сек 100000

Максимальное количество каналов ввода (вывода) информации до 8192

Цифровые каналы

Блок цифровых полноразрядных выходов 2 канала по 23 разряда

Блок десятичных выходов 30 декад

Блок релейных выходов 128 каналов с дешифратором

Блок цифровых полноразрядных входов 8 потенциальных и 1 импульсный по 23 разряда

Многоканальный автономный двоичный дискриминатор для цифровых следящих систем 8 каналов, 13 разрядов

Аналого-цифровые каналы:

преобразователь "напряжение-код" 11 дв.разрядов диапазон 0-10 в точность 0,1%

преобразователь "вал-код" 13 дв.разрядов (двоичный циклический и двоично-сдвинутый код) точность 0,01%

преобразователь "время-код" ... время-сутки точность $\pm 0,1$ сек

Цифро-аналоговые каналы:

преобразователь "код-напряжение" диапазон 0-10 в точность 0,1%

преобразователь "код-вал" ... управление шаговыми двигателями серий ДШ и СЧ

Ввод-вывод на перфоленду телетайпы РГА-60, СТА-35

Печать телетайп РГА-60, "Консул"

Средства повышения эксплуатационной надежности:

поэлементное дублирование, пониженный энергетический уровень работы элементов. Контроль на четность ЗУ. Хранение программ и констант в ПЗУ, "витой" монтаж, сменные функциональные блоки с автономными источниками питания.

Математическое обеспечение:

математическое описание УВМ, система контрольных тестов, система стандартных подпрограмм, программа-диспетчер, автокод.

Основным требованием, предъявляемым к устройствам сбора, передачи и отображения информации, является обеспечение достоверности информации. Большая роль в обеспечении аппаратно-программного контроля достоверности информации должна возлагаться на УВМ. Выше уже говорилось о принципе совмещения ручного ввода информации с ее автоматическим наглядным отображением на тех же пультах ввода (обратная связь от УВМ). Реализация этого принципа дает простое, но эффективное средство уменьшения количества ошибок человека.

Для устройств наглядного отображения (УНО) информации: мнемосхем, цифровых табло и т.п. — объективно существуют противоречивые требования. С одной стороны, желательно увеличивать

информативность наглядного отображения текущего состояния производственного процесса, с другой стороны, вся выводимая на УНО информация должна быть легко обозрима, а сами УНО — по возможности компактнее. Для практического решения этой проблемы целесообразно рекомендовать "принудительное от УВМ" отображение только наиболее важной, с точки зрения оперативного управления, информации (тенденция хода технологического процесса, аварийные ситуации и т.п.) и обеспечение возможности вызова (по желанию) на один и тот же индикатор значений различных параметров, а в ряде случаев вывода более подробной информации на локальное устройство печати по вызову.

В настоящее время отсутствуют стандартные пульта ввода и устройства наглядного отображения для комплектования АСУ. Однако целый ряд технических решений в этом вопросе, реализованных в разработанных и внедренных системах, может быть применен для вновь проектируемых автоматизированных систем управления технологическими линиями.

ОБ ОПЫТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Первой попыткой создания системы управления технологическими линиями производства изделий электронной техники с применением УВМ явилась опытная система диспетчерско-технологического контроля за двумя механизированными линиями, выпускающими конусы и экраны для стеклооболочек кинескопов [3]. На систему возлагались следующие функции:

— сбор и обработка дискретной информации от релейных датчиков прохождения продукции, установленных на линиях;

— сбор и обработка дискретной информации для обнаружения простоя оборудования или аварийного состояния параметров;

— сбор дискретной полноразрядной информации для корректировки счетчиков и индикации положения многоточечных потенциометров;

— сбор и обработка аналоговой информации от вторичных приборов — электронных потенциометров ЭПД;

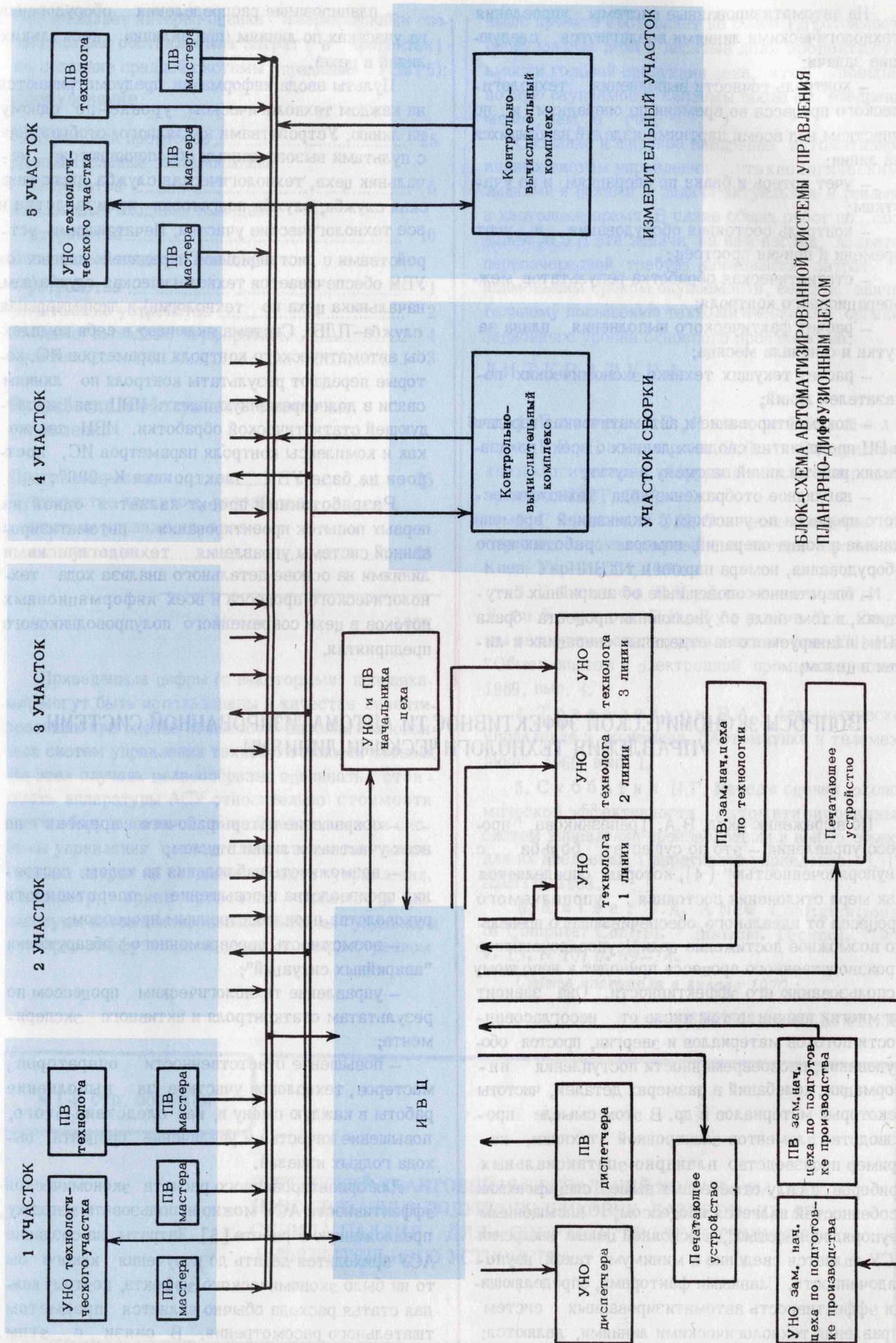
— печатание бланка диспетчера с результатами обработки вводимой в УВМ информации за каждые полчаса и за смену;

— вывод на световое табло рекомендаций диспетчеру по применению режима стекловаренной печи.

Объектом автоматизированного управления были выбраны механизированные линии производства крупногабаритных деталей с автоматическим перемещением их по линиям; с помощью установки релейных датчиков в соответствующих точках

линий был осуществлен автоматический ввод информации о количестве годных и бракованных изделий по операциям. Результаты контроля деталей, прошедших все операции на линии, вводились с помощью кнопочных станций контролерами. Общее количество каналов ввода информации в УВМ как для релейных датчиков, так и для аналоговой информации составило 64. Впервые были реализованы ввод и обработка технологической информации от струнных преобразователей с точностью до 0,02%. Спроектированная система изготовлена в металле, смонтирована и опробована в цехе стеклооболочек одного из предприятий отрасли. На основании проведенной работы нетрудно сделать вывод о том, что подобные системы целесообразно разрабатывать применительно к условиям серийного и массового производства. Результаты этой работы использованы рядом предприятий отрасли для проектирования цеховых АСУ на серийных заводах.

Автором статьи совместно с Ю.М. Ильюшенко и другими сотрудниками проведен анализ работы технологических линий производства полупроводниковых интегральных схем в планарно-диффузионном цехе. На основании проведенного анализа разработан (в виде эскизно-технического проекта) один из возможных вариантов построения автоматизированной системы управления планарно-диффузионным цехом, построенным по линейно-участковому принципу (см. рисунок).



БЛОК-СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПЛАНАРНО-ДИФФУЗИОННЫМ ЦЕХОМ

На автоматизированные системы управления технологическими линиями возлагаются следующие задачи:

- контроль точности выполнения технологического процесса во времени по операциям и по участкам над всеми партиями изделий, находящихся на линии;
- учет потерь и брака по операциям и по участкам;
- контроль состояния оборудования и учет времени и причин простоев;
- статистическая обработка результатов межоперационного контроля;
- расчет фактического выполнения плана за сутки и с начала месяца;
- расчет текущих технико-экономических показателей линий;
- документирование и автоматическая передача в ВЦ предприятия сводных данных о всех показателях работы линий за смену и сутки;
- наглядное отображение хода технологического процесса по участкам с индикацией времени начала и конца операций, номера работающего оборудования, номера партии и т.д.;
- оперативное оповещение об аварийных ситуациях, в том числе об увеличении процента брака выше планируемого на отдельных операциях и линии в целом;

ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ

По выражению акад. В.А. Трапезникова, " процесс управления – это по существу борьба с неупорядоченностью" [4], которая определяется как мера отклонения состояния управляемого процесса от идеального, обеспечивающего предельно возможное достижение цели. Неупорядоченность производственного процесса приводит к неполному использованию его эффективности. Она зависит от многих причин, в том числе от несогласованности потоков материалов и энергии, простоя оборудования, несвоевременности поступления информации, колебаний в размерах деталей, чистоты некоторых материалов и др. В этом смысле производство элементов электронной техники, например производство планарно-эпитаксиальных приборов, в силу отмеченных выше специфических особенностей является процессом, " насыщенным неупорядоченностью", а основной целью внедрения АСУ является сведение к минимуму такой неупорядоченности. Главными факторами, определяющими эффективность автоматизированных систем управления технологическими линиями, являются:

– планирование распределения оборудования на участках по линиям (при наличии нескольких линий в цехе).

Пульты ввода информации предусматриваются на каждом технологическом уровне – по одному на линию. Устройствами наглядного отображения с пультами вызова данных обеспечиваются: начальник цеха, технологическая служба, диспетчерская служба, служба подготовки производства и все технологические участки. Печатающими устройствами с дистанционной передачей данных от УВМ обеспечивается технологическая служба (зам. начальника цеха по технологии) и диспетчерская служба – ПДБ. Система включает в себя комплексы автоматического контроля параметров ИС, которые передают результаты контроля по линиям связи в долговременную память ИВЦ для последующей статистической обработки. ИВЦ так же, как и комплексы контроля параметров ИС, построен на базе УВМ "Электроника К-200".

Разработанный проект является одной из первых попыток проектирования автоматизированной системы управления технологическими линиями на основе детального анализа хода технологического процесса и всех информационных потоков в цехе современного полупроводникового предприятия.

- сокращение потерь рабочего времени на всех участках и линии в целом;
- возможность наблюдения за ходом состояния производства и повышение оперативности руководства производственным процессом;
- возможность своевременного обнаружения "аварийных ситуаций";
- управление технологическим процессом по результатам статконтроля и активного эксперимента;
- повышение ответственности операторов, мастеров, технологов участков за выполнение работы в каждую смену и, как следствие этого, повышение качества и увеличение процента выхода годных изделий.

Для ориентировочного расчета экономической эффективности АСУ можно использовать методику, предложенную в работе [5]. Затраты на создание АСУ приходится делать до получения какого бы то ни было экономического эффекта, поэтому каждая статья расхода обычно является предметом тщательного рассмотрения. В связи с этим

представляет интерес оценка американскими специалистами составляющих затрат (в процентах) на создание средней системы управления с УВМ [6]:

Оборудование

Центральный процессор	25
Дополнительные запоминающие устройства	5
Аналоговые входные/ выходные устройства	10
Дискретные входные/ выходные устройства	1
Печатающие устройства	2
Входные/ выходные перфораторы	4
Пульты	3

Разработка и обслуживание системы управления

Программирование	25
Руководство проектом, разработка системы управления, ввод в эксплуатацию	25

Итого 100%

Приведенные цифры (с некоторыми поправками) могут быть использованы в качестве ориентировочных при оценке стоимости автоматизированных систем управления технологическими линиями. Во всех случаях целесообразно оценивать стоимость аппаратуры АСУ относительно стоимости всего оборудования линии и общей стоимости системы управления относительно стоимости капитальных затрат на создание объекта управления. Например, ориентировочная стоимость аппаратуры автоматизированной системы управления планарно-диффузионным цехом в рассмотренном

выше проекте составляет не более 1,5% стоимости оборудования цеха и десятые доли процента стоимости годовой продукции цеха, что обещает полную окупаемость системы после ее внедрения менее, чем за год.

Создание и широкое внедрение автоматизированных систем управления технологическими линиями и цехами – задача актуальная и реальная в настоящее время. В плане общих работ по созданию АСУП эта задача, на наш взгляд, является первоочередной, требует наименьших затрат с наименьшим сроком окупаемости, ведет к значительному повышению технологического и организационного уровня основного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов И.Г., Иванов В.И., Мелехин Ю.Я., Сандеров В.Л. Специальное технологическое оборудование для микроэлектроники. МИЭТ, 1968.
2. Глушков В.М. Основные принципы построения автоматизированных систем управления. Киев, УкрНИНТИ, 1969.
3. Вальков В.М., Ажоткин Д.И., Хлебников В.И., Чугунов Ю.А. Системы автоматического управления на базе УМ1-НХ. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1969, вып. 4.
4. Трапезников В.А. Автоматическое управление и экономика. "Автоматика и телемеханика", 1966, вып. 1.
5. Субботин Н.Г. Методы оценки экономической эффективности автоматизированных систем управления производством и выбор объекта для их внедрения. Оперативное управление. Ч. 1, ЛДНТП, 1968.
6. Kaiser V.A. A New Configurations in Computer Control. "Instrum. Technol.," 1968, v. 15, N 10, p. 69-74.

Статья поступила в январе 1970 г.

УДК 658.51.011.56:621.38

к 1-й стр. обложки

ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ СВЕРХЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА.

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Любая система управления должна в той или иной степени учитывать свойства объекта управления. От степени учета этих свойств зависят и качество системы управления, и ее жизнеспособность.

Таким образом, если объект управления рассматривать как материальную базу, то систему управления, строящуюся на этой базе, можно рассматривать как организационную надстройку. Взаимосвязь объекта и системы управления им очевидна.

Материальной базой любого производства являются технологические процессы, которые можно подразделить на две группы: детерминированные и вероятностные процессы. К первой группе процессов относятся хорошо изученные и в достаточной мере управляемые процессы механической обработки материалов, а также сборочные технологические процессы механических и приборостроительных производств. Принципиальное повышение производительности труда на этих предприятиях может быть достигнуто либо путем принципиального изменения технологических процессов (например, автоматизацией), либо путем улучшения организационных процессов управления ими. К таким производствам в отрасли относятся машиностроительные предприятия и предприятия, выпускающие радиокомпоненты. Ко второй группе технологических процессов относятся недостаточно изученные, малоуправляемые и нестабильные технологические процессы, при которых выход годных изделий носит вероятностный характер. Вероятностные технологические процессы могут быть как непрерывными (например, процессы нефтехимии), так и дискретными (технологические процессы изготовления практически всех изделий электронной техники, причем количество технологических операций вероятностного характера в технологическом процессе увеличивается с ростом интеграции изделий). В этом случае большие резервы повышения произ-

водительности труда лежат не только в совершенствовании организационной системы управления, но и в создании систем управления технологическими процессами.

Своевременность внедрения на предприятиях электронной промышленности систем управления технологическими процессами, казалось бы, очевидна. Однако возросшие сложность и объем современного производства изделий электронной техники требуют для управления им создания автоматизированных организационных систем управления.

Поэтому наиболее целесообразной в настоящее время можно считать разработку комплексных — организационно-технологических систем управления предприятиями электронной промышленности. Вес технологической и организационной систем управления в общей системе управления предприятием может быть для разных предприятий разным и должен определяться в каждом случае отдельно.

Характерным примером реализации требования единства одновременного функционирования технологической и организационной систем управления в комплексной системе управления предприятием является система управления номенклатурным распределением полупроводниковых приборов, упрощенно функционирующая следующим образом. В организационной системе управления анализируется конъюнктура рынка, и посредством системы управления технологическими процессами устанавливаются технологические режимы, с наибольшей вероятностью обеспечивающие максимальный выход годных приборов требуемого типоминимала. Одновременно организационная система на базе имеющегося у нее "опыта" прогнозирует конъюнктуру рынка и с учетом текущего спроса и перспективы организует, например, материальное и финансовое обеспечение производства. Однако в связи с тем, что даже управляемый технологический процесс имеет флуктуации,

текущий анализ его может показать, что следует ожидать отличное от прогнозируемого распределение типонаименований. Данная информация поступает в организационную систему управления, которая принимает решение об изменении принятого ранее порядка обеспечения производства. Аналогично, при анализе конъюнктуры рынка организационная система управления может установить расхождение прогноза с реально существующей ситуацией на рынке, уменьшить которое можно, изменив технологический процесс.

Однако, несмотря на очевидность необходимости комплексных систем управления предприятиями, остается невыясненным вопрос: почему все-таки до настоящего времени большинство предприятий отрасли интенсивно ведут работы в основном в сфере создания организационных систем управления. Вопрос этот следует рассматривать в двух аспектах: историческом и экономическом.

Организационные системы управления впервые начали зарождаться в механических и приборостроительных производствах, что соответствовало объективной возможности существенного повышения производительности труда на данных предприятиях при относительно малых затратах путем улучшения организации производства, тем более, что решение проблемы принципиального повышения уровня автоматизации технологических процессов встретило здесь значительные трудности. Поэтому системы управления механическими и приборостроительными предприятиями являются чисто организационными. Такая структура систем управления была перенесена и в нашу отрасль.

Объективной экономической причиной, тормозившей развитие технологических систем управления, явилось то обстоятельство, что до введения новой экономической реформы предприятия имели недостаточное экономическое стимулирование в вопросах внедрения систем управления технологическими процессами, без которых не могло быть достигнуто существенное и устойчивое повышение процента выхода годных изделий, а также не могли быть решены принципиальные вопросы управления материальным производством.

В настоящее время в связи со все более широким внедрением экономической реформы положение на предприятиях Министерства резко изменилось, возросла заинтересованность в улучшении технологии производства. Этому также способствовал ряд мероприятий, проведенных в отрасли как в деле внедрения и совершенствования экономического стимулирования развития производства, так и в деле совершенствования технологических процессов и внедрения систем управления ими. Сформулированная директивными документами руководства отрасли задача широкого внедрения автоматизированных систем управления предприятиями и технологическими процессами подчеркивает важность создания в отрасли

как систем управления организационными, так и систем управления технологическими процессами.

Анализ развития работ в деле создания систем управления технологическими процессами показывает, что в ряде случаев уже решены вопросы получения (не обязательно автоматического) информации о состоянии технологических процессов, и мы научились обрабатывать эту информацию и по ней контролировать ход производства. Получили широкое распространение системы статистического контроля технологических процессов, в различных модификациях существующие на ряде предприятий отрасли. В настоящее время центр тяжести в проблеме создания систем управления технологическими процессами переместился в область разработки математических моделей технологических процессов и операций, без которых невозможно ни прогнозирование, ни управление. Методы математического описания технологических процессов достаточно хорошо разработаны, в области создания математических моделей достигнут ряд успехов и, следует полагать, что в недалеком будущем центр тяжести в разработке систем управления технологическими процессами переместится в область создания специализированного технологического оборудования для этих систем.

При попытке оценить хотя бы ближайшую перспективу развития организационных систем управления полезно выяснить, какое сходство и какое различие имеется между организационными и технологическими системами управления, причем в порядке ограничения проблемы рассмотрим только вопросы, связанные с получением и качеством информации.

Информация о физических процессах (имеется ввиду макропроцессы) имеет аналоговый характер (переменные изменяются непрерывно) и основной трудностью (помимо получения информации) является преобразование ее с требуемой точностью в дискретную форму. Как правило, необходимый для управления технологическими процессами объем информации на производстве отсутствует. Эту информацию приходится получать специально.

Информация же об экономических процессах имеется на предприятиях в значительном объеме, однако в отличие от исходной технологической информации (аналоговой) она всегда дискретна, а следовательно, не требует указанного выше преобразования. Все это вместе взятое, казалось бы, должно облегчить разработку организационных систем управления. Однако, как следует из теоремы Котельникова, дискретный набор данных однозначно определяет состояние объекта только в случае, если эти данные были получены определенным способом преобразования из аналоговой информации. В случае, если известен только дискретный набор данных, однозначную оценку со-

стояния объекта получить нельзя, т.е. одному и тому же набору могут соответствовать разные состояния объекта и, наоборот, одному и тому же состоянию объекта могут соответствовать разные наборы дискретных данных. Такое положение мы и наблюдаем в экономических системах.

Другой трудностью в оценке состояния экономической системы является то, что точность, с которой были определены экономические показатели, как правило, не известна. Положение усугубляется еще и тем, что зачастую требуется выдерживание экономических параметров с различной степенью точности, порой весьма высокой и трудно достижимой.

Таким образом, создание организационных систем управления требует первоочередного решения вопросов, связанных с установлением адекватности описания экономических процессов существующими наборами (ансамблями) дискретных экономических данных, определением достоверности существующей экономической информации и требований к ее точности, а также определения допустимых дисперсий значений основных характеристик производства (например, допуск на колебания себестоимости выпускаемой продукции, размер прибыли и т.д.).

Решение этих вопросов позволит реализовать на практике организационные системы управления первого порядка, аналогичные во многом системам статистического контроля технологических процессов, которые, возможно, по аналогии с системами статистического контроля технологических процессов получают названия систем статистического контроля экономических процессов. Поэтому следует полагать, что в ближайшем будущем центр тяжести в разработке организационных систем управления переместится из области создания систем обработки экономических данных в область разработки систем статистического контроля экономических процессов, в развитии которых может сыграть немаловажную роль опыт работы специалистов отрасли в деле создания систем статистического контроля технологических процессов.

Анализ состояния работ в отрасли в области создания организационных и технологических систем управления, внедрения вычислительной техники и математических методов, усилия, принимаемые руководством Министерства в деле организации и развития данных работ, а также наличие сформировавшегося в отрасли коллектива высококвалифицированных специалистов позволяют быть уверенным в том, что задачи, стоящие перед электронной промышленностью в деле дальнейшего совершенствования производства и управления им, будут успешно решены.

Статья поступила в январе 1970 г.

УДК 658.51.011.56:621.38

МОДЕЛЬ автоматизированной подсистемы управления материально- техническим снабжением отрасли



*Статья депонирована в институте
"Электроника"*

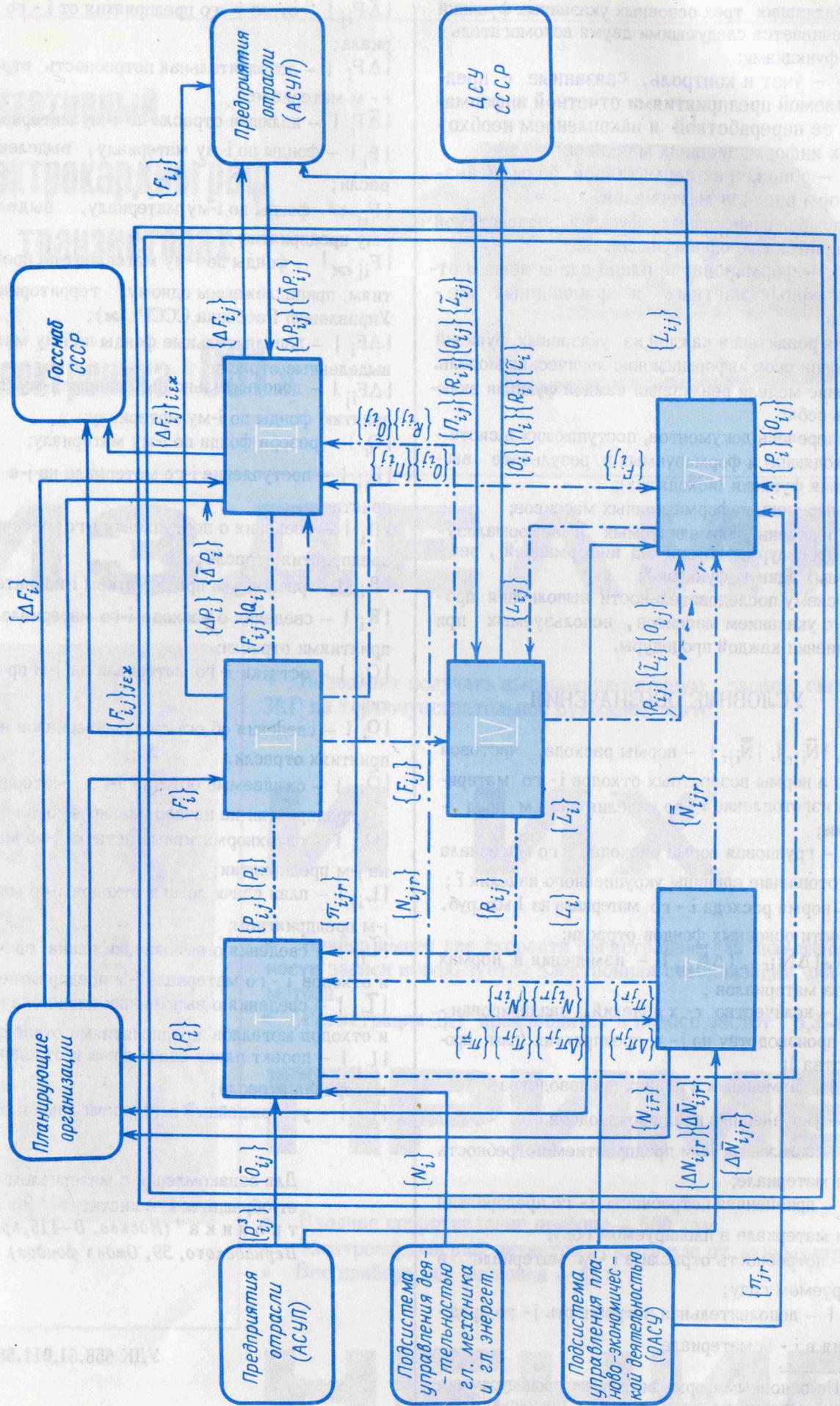
№ ДЭ-178, 36 стр., 8 рис.

Создана информационно-логическая модель* (см.рисунок), предназначенная для решения основной задачи подсистемы управления материально-техническим снабжением отрасли — задачи своевременного обеспечения предприятий отрасли необходимыми материалами с учетом ограничений по фондам. В этой модели определены и взаимосвязаны следующие функции подсистемы:

- I — определение потребности отрасли в материальных ресурсах на планируемый год;
- II — распределение фондов, выделенных отрасли, между предприятиями;
- III — оперативное управление, назначение которого реагировать на отклонения от заданных режимов.

* Информационно-логической моделью системы или отдельных ее функций назовем последовательность взаимосвязанных процедур, реализующих функции системы, которая позволяет путем изменения исходных параметров исследовать пути оптимизации числа процедур и пути нахождения локальных оптимумов при реализации каждой функции.

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АПУ МТС ОТРАСЛИ



Реализация трех основных указанных функций обеспечивается следующими двумя вспомогательными функциями:

IV — учет и контроль, связанные с представляемой предприятиями отчетной информацией, ее переработкой и накоплением необходимых информационных массивов;

V — обновление нормативной базы и анализ норм расхода материалов.

Кроме перечисленных функций подсистемой выполняется еще одна функция:

VI — формирование плана сдачи лома и отходов черных, цветных и драгоценных металлов.

Для реализации каждой из указанных функций построена своя информационно-логическая модель. Описание модели реализации каждой функции включает в себя:

— перечень документов, поступающих в систему (входящих) и формируемых в результате выполнения функции (исходящих);

— перечень информационных массивов;

— перечень формализуемых и неформализуемых процедур (действий над информацией), реализующих данную функцию*;

— схему последовательности выполнения процедур с указанием массивов, используемых при выполнении каждой процедуры.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\{N_{ijr}\}$, $\{\bar{N}_{ijr}\}$, $\{\bar{N}_{ijr}\}$ — нормы расхода, чистовой расход и нормы возвратных отходов i -го материала на изготовление r -го изделия на j -м предприятии;

$\{N_{i\bar{r}}\}$ — групповая норма расхода i -го материала на изготовление единицы укрупненного изделия \bar{r} ;

$\{N_i\}$ — норма расхода i -го материала на 1 млн. руб. стоимости основных фондов отрасли;

$\{\Delta N_{ijr}\}$, $\{\Delta \bar{N}_{ijr}\}$, $\{\Delta \bar{N}_{ijr}\}$ — изменения в нормах расхода материалов;

$\{\pi_{jr}\}$ — количество r -х изделий, запланированных к производству на j -м предприятии (план производства);

$\{\Delta \pi_{jr}\}$ — изменения в планах производства;

$\{\pi_{\bar{r}}\}$ — укрупненный план производства;

$\{P_{ij}^1\}$ — заявленная j -м предприятием потребность в i -м материале;

$\{P_{ij}^2\}$ — признанная потребность j -го предприятия в i -м материале в планируемом году;

$\{P_i\}$ — потребность отрасли в i -м материале в планируемом году;

$\{\Delta P_{ij}\}$ — дополнительная потребность j -го предприятия в i -м материале;

$\{\bar{\Delta P}_{ij}\}$ — отказ j -го предприятия от i -го материала;

$\{\Delta P_i\}$ — дополнительная потребность отрасли в i -м материале;

$\{\bar{\Delta P}_i\}$ — излишки отрасли по i -му материалу;

$\{F_i\}$ — фонды по i -му материалу, выделенные отрасли;

$\{F_{ij}\}$ — фонды по i -му материалу, выделенные j -му предприятию;

$\{F_{ij}^{\text{сх}}\}$ — фонды по i -му материалу по предприятиям, принадлежащим одному территориальному Управлению Госбанка СССР (сх);

$\{\Delta F_i\}$ — дополнительные фонды по i -му материалу, выделенные отрасли;

$\{\Delta F_{ij}\}$ — дополнительно выделенные j -му предприятию фонды по i -му материалу;

$\{Q_i\}$ — резерв фонда по i -му материалу;

$\{P_{ij}\}$ — поступление i -го материала на j -е предприятие;

$\{P_i\}$ — сведения о поступлении i -го материала на предприятия отрасли;

$\{R_{ij}\}$ — расход j -м предприятием i -го материала;

$\{R_i\}$ — сведения о расходе i -го материала предприятиями отрасли;

$\{O_{ij}\}$ — остатки i -го материала на j -м предприятии;

$\{O_i\}$ — сведения об остатках материалов на предприятиях отрасли;

$\{\bar{O}_{ij}\}$ — ожидаемые остатки i -го материала на j -м предприятии на начало планируемого года;

$\{\tilde{O}_{ij}\}$ — сверхнормативные остатки i -го материала на j -м предприятии;

$\{L_{ij}\}$ — план сдачи лома и отходов i -го материала j -м предприятием;

$\{\tilde{L}_{ij}\}$ — сведения о выполнении плана сдачи лома и отходов i -го материала j -м предприятием;

$\{\tilde{L}_i\}$ — сведения о выполнении плана сдачи лома и отходов металлов предприятиями отрасли;

$\{L_i\}$ — проект плана сдачи лома и отходов i -го материала отрасли;

$\{\bar{L}_i\}$ — утвержденный план сдачи лома и отходов.

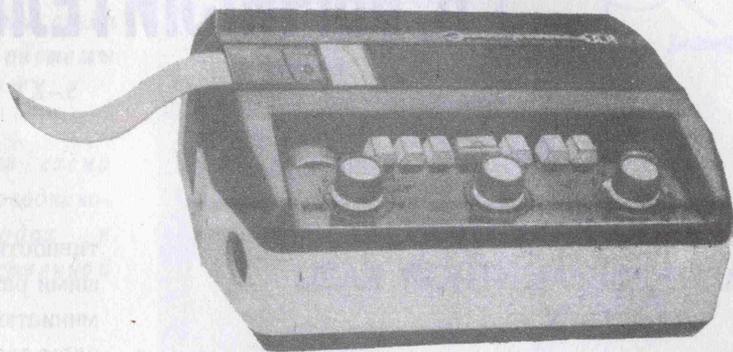
Для ознакомления с материалом следует обращаться в институт "Электроника" (Москва, В-415, проспект Вернадского, 39, Отдел фондов).

УДК 658.51.011.56:658.7

* По основным формализуемым процедурам построены алгоритмы выполнения их с помощью ЭВМ.

**портативный
электрокардиограф
на транзисторах**

«электроника 001»



ИЗДЕЛИЯ



- Позволяет получать высококачественную запись сигналов ЭКГ на термочувствительной бумажной ленте.

И ИХ

- Прибор имеет две скорости регистрации, для повышения точности записи используется электронная стабилизация оборотов мотора.
- Регистрация ЭКГ производится в полосе частот 0,3–60 гц.

ПРИМЕ

- Входное сопротивление прибора – 500 ком.
- Электрокардиограф питается от сети или от аккумуляторов.
- Вес прибора без упаковки – 42 кг.

НЕНИЕ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ*

НАЧАЛО РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Микроэлектроника развивается настолько быстро, что конкретные примеры недавних технических решений могут вызвать у специалистов и даже у неспециалистов улыбку или, что хуже, чувство жалости. Ведь достаточно двух-трех лет, чтобы "новое", "прогрессивное", "умнейшее" стало "устаревшим", "отсталым", "примитивным". Даже при сокращенном цикле внедрения каждого ряда элементов в производство разработки на их базе к началу производства кажутся уже морально устаревшими, хотя по своему техническому уровню они значительно выше предыдущих. Эта дилемма объясняется, как нам кажется, простой истиной: микроэлектроника является главным действующим оружием в бурной кибернетической революции. Значит, следует критически изучать прошлое развития микроэлектроники, чтобы лучше вести настоящее и правильно направлять будущее.

ТОННЫ ТОРМОЗЯТ ПРОГРЕСС

Люди создают вычислительные машины, тоннаж которых из года в год растет вместе с потребляемой мощностью. Соревнуясь в наращивании километража соединительных проводов, создатели продолжают улучшать свои машины, повышая их производительность, улучшая их структуру. Однако внушительные физические размеры тормозят распространение машин даже для вычислительных целей, а использование их для управления практически исключается. Но кибернетическая революция требует именно автоматизации процессов управления, и для этого нужны компактные вычислительные машины — килограммы вместо тонн. Как же их сделать компактными? Казалось бы просто — или сократить количество деталей, или уменьшить их размеры.

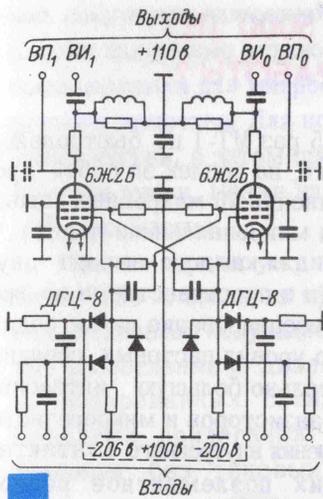
Уменьшить количество логических ячеек можно только ценой значительного уменьшения эффек-

тивности машины, что подтвердилось дальнейшими разработками. Остается искать пути микроминиатюризации всех деталей, а также упрощения схем логических и запоминающих ячеек, которые составляют большую часть машины. Уменьшить габариты всех деталей в сотню или тысячу раз, а с ними и несущие конструкции — значит, во столько же раз уменьшить машину. Но если потребляемую мощность оставить прежней, то получится не вычислительная машина, а печка. Встал вопрос: можно ли в принципе уменьшить энергетический уровень работы логических и запоминающих ячеек и если да, то как. Эти размышления положили начало развитию такого направления микроэлектроники, как микросхемотехника.

ВАТТЫ — В МИЛЛИВАТТЫ

На рис. 1 наглядно представлено, как развитие микросхемотехники отразилось на эволюции схемы логического регистра. На верхнем рисунке — классическая ламповая схема, в середине — схема, которая в то время называлась транзисторной, но по существу являлась транзисторным вариантом ламповой схемы. Она, как видно, потребляет мощность на порядок меньшую, чем ламповая схема. А схему, размещенную внизу, можно назвать микроэлектронной, так как у нее потребляемая мощность и номенклатура деталей сведены к минимуму. Она основана на использовании важной особенности транзисторной характеристики в области насыщения, где коллекторное напряжение составляет около 50 мв и значительно ниже базового напряжения закрытого триода. Уровень потребляемой мощности уже в 1000 раз ниже, чем у ламповых схем, и, если сделать плотность компоновки этих ячеек в 1000 раз больше, чем у ламповых, интенсивность нагрева аппаратуры была бы одинакова. Но как достичь такой плотности?

* Публикуемая статья является первой из серии статей, посвященных микроэлектронике в вычислительной технике — ее прошлому, настоящему и будущему.



■ Электрическая схема триггерной ячейки типа T_H

△ Электрическая схема триггера системы элементов ТХ-2

▼ Логическая схема на полупроводниковых триодах с непосредственной связью

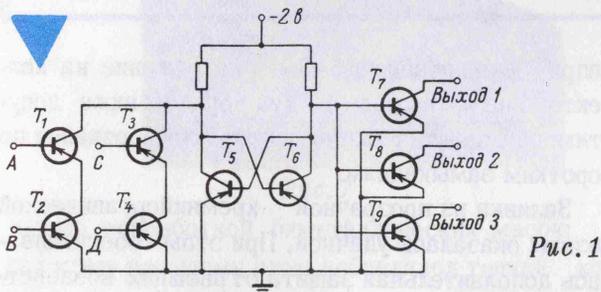
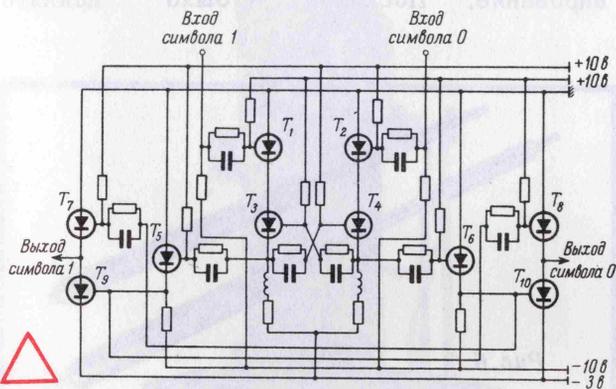


Рис. 1

ГРАММЫ – В МИЛЛИГРАММЫ, ТОННЫ – В КИЛОГРАММЫ

Малая номенклатура деталей микросхем упростила проблему микроминиатюризации – надо создавать микротранзисторы, микрорезисторы и разрабатывать способ плотного соединения. Задача создания микротранзистора была решена применением одного из основных принципов микроэлектроники – "интегральной защиты". Объем монокристалла в транзисторе в несколько тысяч раз меньше, чем общий объем его корпуса. Нужно создать транзистор с той минимальной индивидуальной защитой, которая необходима для дальнейших операций с ним, а оставшуюся защиту обеспечить на последующих уровнях сборки. Так родились бескорпусные микротранзисторы. Некоторые представители этого типа показаны на рис. 2 и 3. Интересно отметить, что в

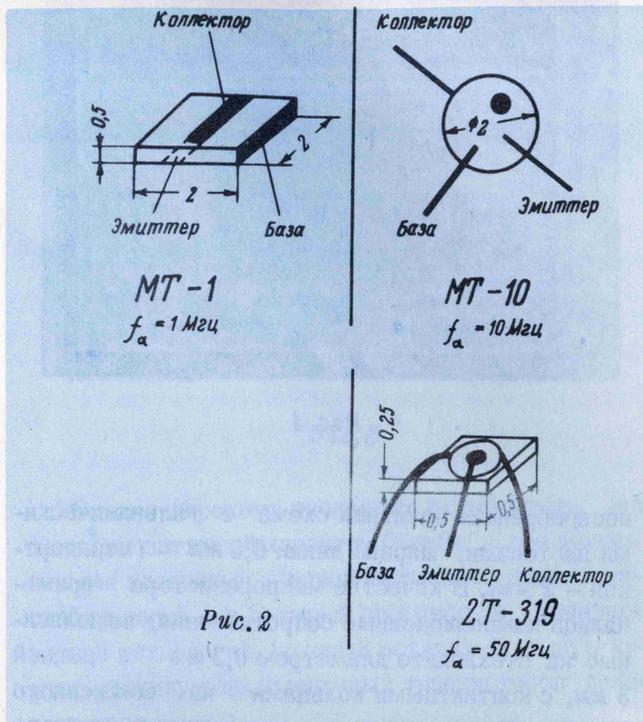


Рис. 2

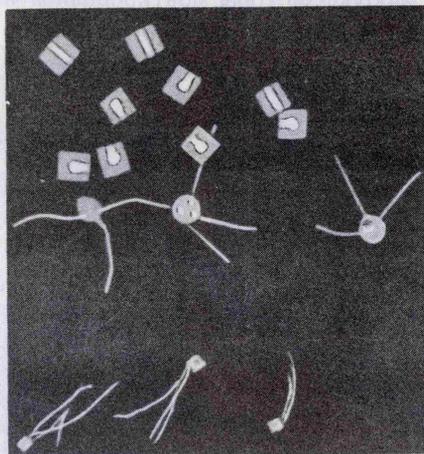


Рис. 3

первом из них была заложена прогрессивная идея беспроводного монтажа – не совсем "перевернутый кристалл" – но, увы, коллектор и эмиттер у германиевых транзисторов выходили с противоположных сторон.

ЗА НЕСКОЛЬКО ЛЕТ "ДО НАШЕЙ ЭРЫ"

Разработка микротранзисторов МТ-1 и МТ-10 (по сегодняшним нормам примитивных) позволила, однако, создать функционально полный ряд микросхем, разработать и изготовить миниатюрные машины на них за несколько лет до эры гибридных полупроводниковых интегральных схем.

На рис. 4 представлены типовые плоские микросхемы. В них были осуществлены оригинальные решения: эпоксидно-гетинаксовая дешевая основа со стандартной сеткой отверстий, двусторонняя

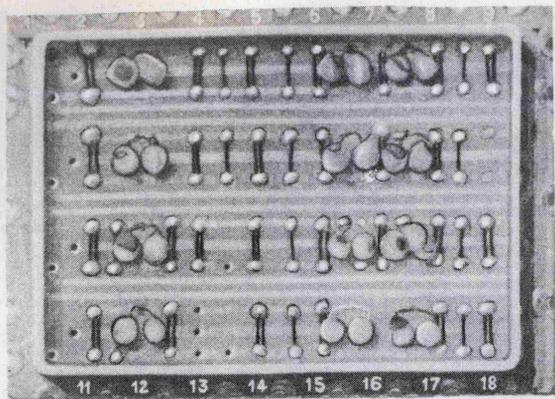


Рис. 4

посеребренная печатная схема с гальваническими пистонами, ширина линии 0,5 мм (стандартная — 2 мм). В качестве микрорезистора применялись композиционные сопротивления, выполненные на стеклоните диаметром 0,2 мм и длиной 3 мм, с контактными кольцами из вожженного серебра. Микрорезисторы монтировались на плате при помощи серебряной пасты (контактола) с применением специально сконструированного шприц-карандаша (рис. 5, а).

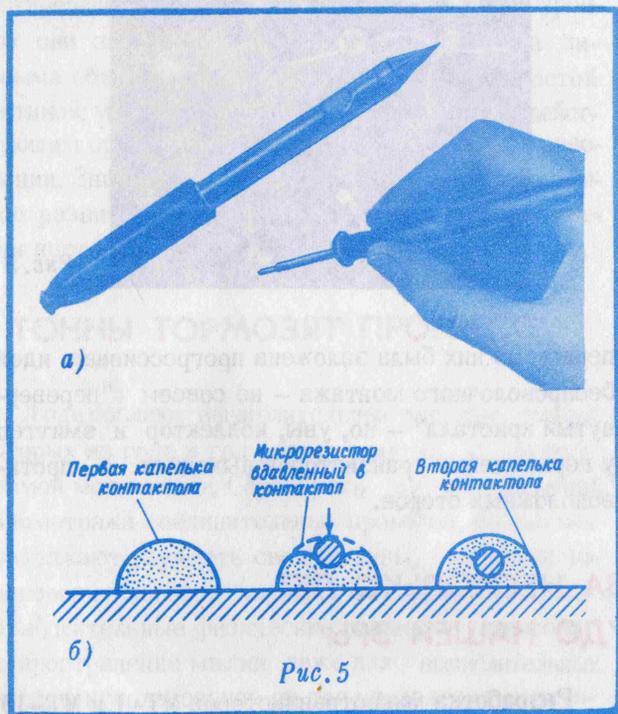


Рис. 5

Выдавливая из шприца на контактные площадки капельки пасты объемом в 0,05 мм³, оператор точно и быстро вставлял ниточное сопротивление в капельки и сверху добавлял вторую капельку (рис. 5, б). Такое своеобразное резервирование контакта дало надежность, значительно превышающую надежность паяных контактов.

КАК ПОЛУЧИТЬ 5000 ЛЕТ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ?

МТ-10, превзойдя в 5 раз МТ-1 по быстродействию, скоро вытеснил его, но повлек за собой проблему надежного соединения 50-микронных выводов. На помощь пришли микропаяльники (рис. 6), а также идея применения для каждого вывода двух паек последовательно (и в пространстве, и во времени). Поэлементное резервирование пайки подняло надежность почти до уровня пастовых соединений. Учитывая сравнительно большую интенсивность отказов микротранзисторов и микрорезисторов из-за из-за нарушения внутреннего контакта, повсюду применяли их поэлементное резервирование. Поскольку было принято

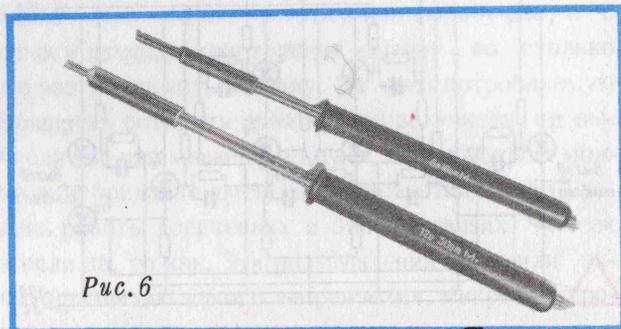


Рис. 6

напряжение питания 1,5–3 в и напряжение на коллекторе не превышало 1 в (на порядок ниже допустимого), практически не наблюдалось отказов по коротким замыканиям.

Заливка из прозрачной кремнийорганической резины оказалась удачной. При этом обеспечивалась дополнительная защита от внешних воздействий; все микроэлементы легко амортизировались, были видны все технологические отклонения, обеспечивались полная ремонтоспособность и 100%-ный выход годных даже после "суровых испытаний". Это позволило получить (после отработки технологических процессов) сложные 24-транзисторные микросхемы с рекордной надежностью: 50 млн. ч на отказ для одной микросхемы или 600 млн. ч на отказ для одной логической ячейки НЕ-ИЛИ при критических условиях испытаний.

Однако эти схемы еще нельзя было считать интегральными, хотя над проблемой их создания разработчики бились уже давно.

СВЕТЛАЯ МЕЧТА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Разработчики хотели создать технологию получения многослойных гибридных интегральных микросхем одной последовательностью однород-

ных вакуумных напылений. Они создали специальные вакуумные установки, в которых размещали подложки для микросхем и источники испаряемого вещества. Для испарения применяли токовый нагрев, а затем специально созданные электронные пушки. Позже напыляли методом катодного распыления.

Одна из первых установок вакуумного напыления 1959 г. показана на рис. 7. На этой и других установках получались достаточно качественные резистивные и диэлектрические пленки на полированных ситалловых подложках. Проблема прилегания масок достаточной толщины без теневых искажений была ре-

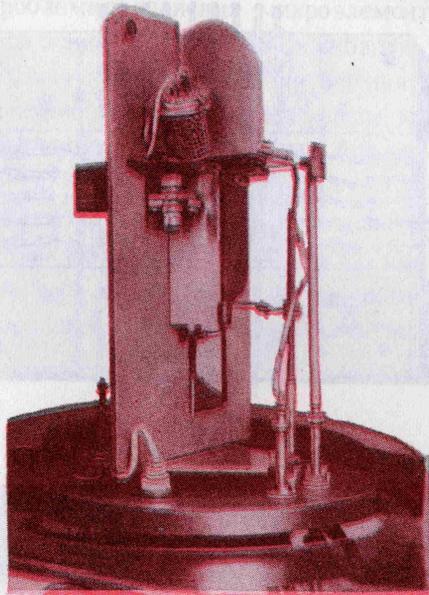


Рис. 7

шена разработкой биметаллических масок: к толстому несущему слою добавлялся тонкий консольный слой для точного воспроизведения геометрии рисунков. Немаловажным оказался накопленный опыт по точному совмещению последовательности рисунков. Проблема совмещения продолжает быть актуальной и в самых современных процессах микроэлектроники.

СЛОЖНЕЕ, ЧЕМ КАЗАЛОСЬ

Об оптимизме раннего периода развития тонкопленочной технологии свидетельствует 14-слойная (!) пассивная схема (рис. 8), разработанная для гибридных схем. В дальнейшем 14 слоев с емкостями переработали в 5 слоев без емкостей и потом в 3 слоя, которые наконец-то дали надежные результаты в производстве и в эксплуатации.

Поиск тонкопленочных транзисторов увенчался успехом в том смысле, что были получены тонкопленочные триоды с пентодной характеристикой (рис. 9).

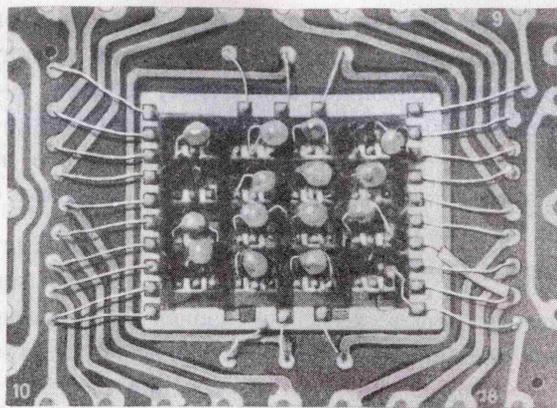


Рис. 8

Однако широкому внедрению их помешали два фактора: затяжной характер борьбы с релаксационными явлениями – одной из главных причин нестабильности – и быстрый прогресс в транзисторной технологии, который оставил скромную характеристику тонкопленочных транзисторов далеко позади.

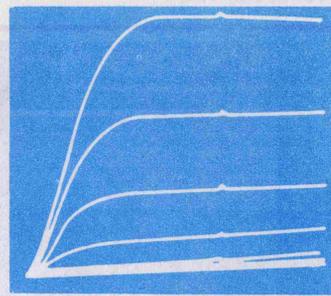
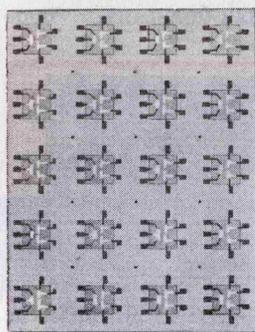


Рис. 9

ПЛЕНКИ ВЫХОДЯТ В СВЕТ С ПАРТНЕРОМ

Наконец-то налаживается промышленный выпуск ряда логических интегральных схем на основе тонкопленочной гибридной технологии (рис. 10).

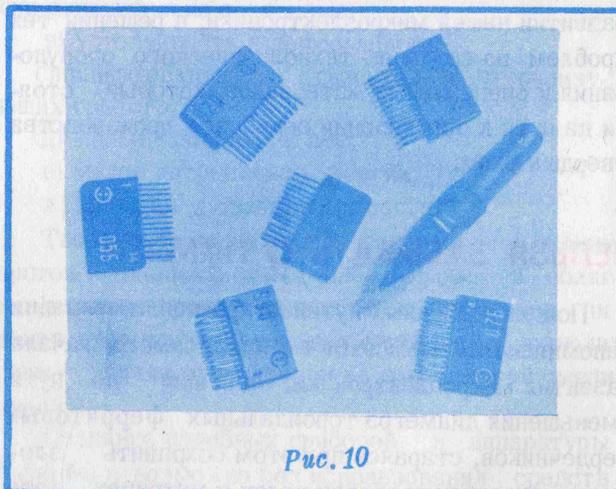


Рис. 10

Применение микротранзисторов в фольговых ячейках с ориентированными выводами упростило приварку к тонкопленочной схеме, создало амортизацию и обеспечило большую влагостойкость при использовании залитого металлического корпуса. Плотность компоновки в этих гибридных схемах была не ниже, чем у схем, выпускаемых в корпусе ТО-5.

МУКИ РОЖДЕНИЯ

Быстрый прогресс в транзисторной технике создал необходимые предпосылки для разработки чисто интегральных схем. Среди первых разработок стоит упомянуть интегральные схемы под названием Р-10, состоящие из двух транзисторов и трех резисторов на одной германиевой пластине. Первой кремниевой интегральной схемой оказалась микросхема ТС-100 из 4-8 транзисторов в схемах с непосредственной связью. Хотя эти схемы, размещенные в металлокерамических корпусах (рис. 11), и не обеспечивали большого про-

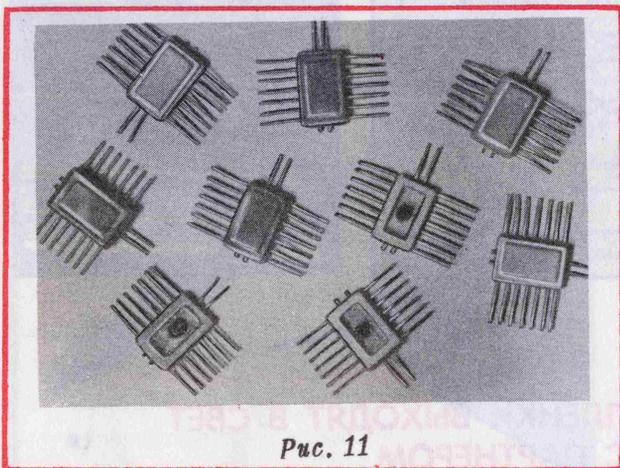


Рис. 11

цента выхода годных, а также не отличались высокой надежностью, они сыграли большую роль в развитии нашей микроэлектроники, в решении тех проблем по созданию технологического оборудования и специальных материалов, которые стояли на пути к организации серийного производства твердых схем.

НЕЛЬЗЯ ЗАБЫВАТЬ О ПАМЯТИ

Поиски различных путей микроминиатюризации запоминающих элементов велись с самого начала развития микроэлектроники. Одни шли по пути уменьшения диаметра тороидальных ферритовых сердечников, стараясь при этом сохранить элемент механизации сборки колец в матрицах (это

удалось только для предельных диаметров 2 и 1 мм). Другие искали технологию создания плоских матриц из пятен ферромагнитного сплава, бились над проблемами однородности и повторяемости и, естественно, над задачей создания схем управления. Третьи создавали запоминающие матрицы на ферроэлектрических материалах — поликристаллических и монокристаллических (рис. 12), но не смогли сделать гистерезисную петлю независимой от сигналов опроса. Иные искали криотронные элементы и работают над ними до сегодняшнего дня.

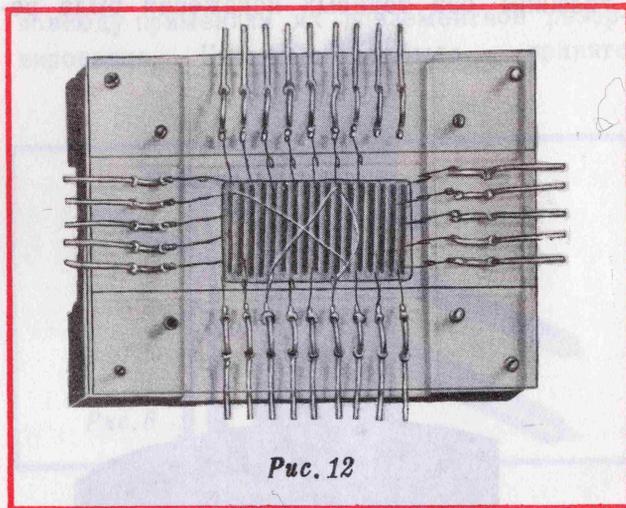


Рис. 12

Некоторые вели поиск магнитных интегральных схем, положив в основу идею многоотверстных ферритовых пластин МФП, где отдельные ферритовые сердечники заменяются отверстиями. На одной пластине оказалось возможным разместить 256 отверстий диаметром 0,28 мм, которые получают одной ультразвуковой прошивкой за 30 сек (рис. 13). Последовательная прошивка от-

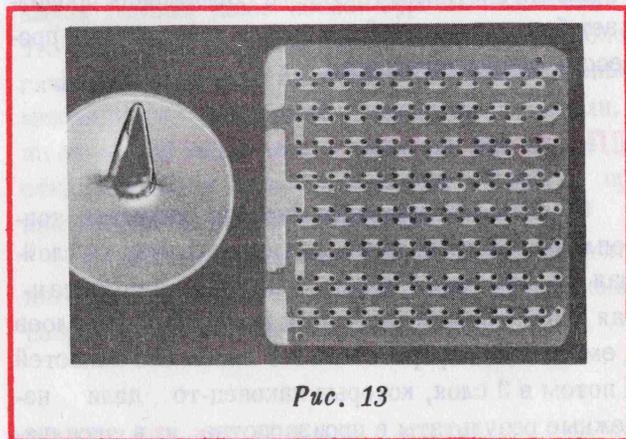


Рис. 13

верстий проволокой на каждой пластине заменяется микропечатной схемой. При сборке накопителя набирают пакет из таких пластин и пропускают по одному проводнику в каждую серию совмещенных отверстий. Поскольку отверстия полу-

чаются прошивкой "спеченных" пластин при помощи точного инструмента, совмещение получается весьма точным. Применение МФП позволило получить запоминающие ячейки, меньшие по размеру, чем ячейки, получаемые в виде отдельных сердечников, и, как показало серийное производство, значительно более технологичные при сборке.

ВСЕ ДОЛЖНО БЫТЬ СОЕДИНЕНО ВМЕСТЕ

По мере увеличения степени микроминиатюризации проблема соединения микроэлементов в микросхемы и микросхем в узлы или блоки требовала новых решений. Элемент соединения уже стал рассматриваться опытными людьми как элемент, не менее важный, чем всякие другие, поскольку он также стоит денег и может дать отказ. Основные силы направлялись на поиск упорядоченных групповых соединений элементов. Односторонние печатные схемы даже с утонченной линией занимали большую площадь, чем элементы. Тогда

на печатных схемах разместили второй слой (на обратной стороне), а для соединения печатных проводников между схемами с двух сторон пришлось делать в каждой плате много отверстий — задача не из легких! С учетом этого серьезного недостатка параллельно велись исследования fotocувствительных эмалей. При их помощи были получены многослойные печатные схемы, где каждая медная схема наносилась сверх слоя фигурной изоляции, соединяясь с предыдущей схемой через отверстия в изоляции.

Наряду с этим оригинальным методом была разработана технология получения многослойных схем из отдельных тонких печатных листов с последующей склейкой, пробивкой и пистонированием.

Такова история получения ряда элементов, необходимых для создания компактных, высоконадежных вычислительных машин.

Статья поступила 26 декабря 1969 г.

УДК 621.382.8

М.М.КЛЕМЕНТЬЕВ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА В МЕДИЦИНЕ

В настоящее время бурный прогресс науки и техники заставляет искать пути и средства решения задач, о возможности постановки которых в недалеком прошлом нельзя было и думать.

Наиболее эффективным средством в решении задач науки и производства сегодня является электроника, и в частности микроэлектроника, прочно занимающая свои позиции в области такой некогда далекой от техники науки, как медицина.

Микроэлектроника в медицине перестает быть достоянием отдельных ученых и обретает промышленную базу. Использование микроэлектроники в недалеком будущем позволит медикам не только контролировать все протекающие в организме процессы, но и управлять ими.

При проектировании микроэлектронных приборов в зависимости от того, к какому классу аппаратуры они относятся: имплантируемой, неимплантируемой, клинической, переносной, диагностической, малой телеметрии или аппаратуре

космической медицины — выдвигаются такие требования, как:

- а) нетоксичность и индифферентность относительно организма;
- б) большое и стабильное сопротивление изоляции относительно организма;
- в) устойчивость к деформациям;
- г) индифферентность относительно стерилизующих средств;
- д) малые габариты и вес;
- е) малое потребление энергии;
- ж) высокий уровень надежности.

Творческое содружество физиологов и клиницистов со специалистами, работающими в области микроэлектроники, разработок источников питания, герметизирующих покрытий и т.п., позволит решить задачи, стоящие перед современной медициной.

Создание подобных приборов и аппаратуры было бы невозможно без использования средств микроэлектроники.

СТИМУЛЯТОРЫ СЕРДЦА

Импантируемый стимулятор сердца пока еще далек от совершенства: у него ненадежные проводочные электроды, ограничен срок службы источника питания, отсутствует возможность регулировки частоты и амплитуды стимулирующих импульсов, его нельзя включить и выключить в любой момент времени. И все же это надежный сторож для больных, требующих постоянной стимуляции сердца. Из ряда стимуляторов наибольший интерес представляет собой вживляемый асинхронный стимулятор КС-1, проходящий в настоящее время физиологические испытания (рис.1). Предполагаемый срок службы прибора 2,5 года.

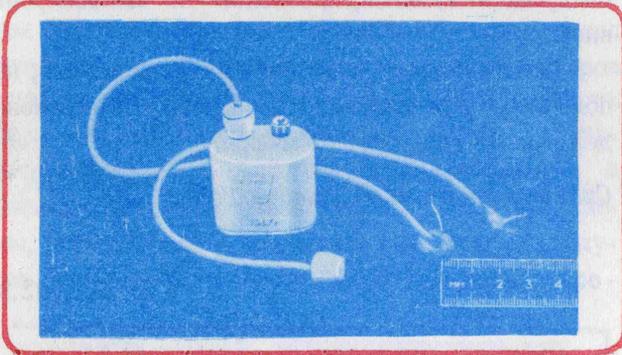


Рис.1. Стимулятор КС-1

Стимулятор питается от четырех батарей РЦ-55С, соединенных последовательно. Схема выполнена методом тонкопленочной технологии. Миокардиальный электрод в виде спирали из платиново-иридиевого сплава ПЛИ-10 заключен в оболочку из кремнийорганической резины.

Основные параметры стимулятора КС-1

Длительность импульса, мсек.....	$2 \pm 0,5$
Амплитуда импульса (при нагрузке 300 ом), в	5
Источник питания	(РЦ-55С)×4
Потребление тока (при нагрузке 300 ом), мка.....	≤ 28
Частота повторения импульсов при температуре $37 \pm 0,3^\circ\text{C}$, имп/мин.....	55-80
Габариты (без электродов), мм	40×38×22
Вес, г.....	70-80

В стимуляторе КС-1 удалось решить проблему герметизации, но источник питания по-прежнему занимает около 75% всего объема и веса.

Поиски возможности регулировки частоты и амплитуды стимулирующих импульсов, а главное, замены источников питания без прерывания стиму-

ляции привели к разработке частично вживляемых или радиочастотных стимуляторов, включающих в себя передающее устройство, расположенное на пациенте, и вживляемую часть, нагрузкой которого является сердце.

ПУЛЬСМЕТР ПОМОГАЕТ В ДИАГНОСТИКЕ

Из группы диагностической переносной аппаратуры интересен разрабатываемый переносный малогабаритный пульсметр "Электрон ПМ-2" (рис.2).

Прибор представляет собой миниатюрный фотоэлектрический пульсметр, выполненный с применением тонкопленочной технологии и предназначенный для измерения частоты сердцебиения при исследовании функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека в условиях клиники, научных медицинских лабораторий, в промышленной и спортивной медицине, а также во всех случаях, когда необходимо быстрое обследование системы кровообращения большого количества пациентов.



Рис.2. Пульсметр ПМ-2 с зарядным устройством

Электрическая схема пульсметра имеет модульную структуру и построена на бескорпусных кремниевых транзисторах типа КТ307Б, 2Т319Б и бескорпусных диодах типа КД901А.

В датчике прибора, надеваемого на палец пациента, применены высокочувствительный селенисто-кадмиевый фоторезистор типа СФ3-5 и миниатюрная лампочка накаливания НСМ.

Источником питания служит аккумуляторная батарея 6Д-0,25 с номинальным напряжением 7,5 в и емкостью 0,25 а/ч, что обеспечивает непрерывную работу прибора в течение 7-8 ч. Контроль за состоянием аккумуляторной батареи осуществляется по микроамперметру. Подзарядка аккумуляторной батареи не требует вскрытия прибора — пульсметр имеет на тыльной стороне два гнезда для штырей зарядного устройства. Постоянство

зарядного тока (от источника 90–250 в) во время процесса зарядки обеспечивает возможность непрерывной работы пульсметра.

Индикация частоты сердечных ударов осуществляется стрелочным микроамперметром, шкала которого отградуирована непосредственно в ударах в минуту. Микрофон и неоновая индикаторная лампа позволяют услышать и увидеть ритм работы сердца.

КАК РЕГИСТРИРОВАТЬ БИОПОНЕНЦИАЛЫ

Методы регистрации биопотенциалов являются наиболее важными при анализе явлений, происходящих в живых организмах. Основная задача в этом случае состоит в получении максимального количества неискаженной информации. Значит, нужны физиологические электронные усилители, безынерционные, с высокой чувствительностью и большим входным сопротивлением.

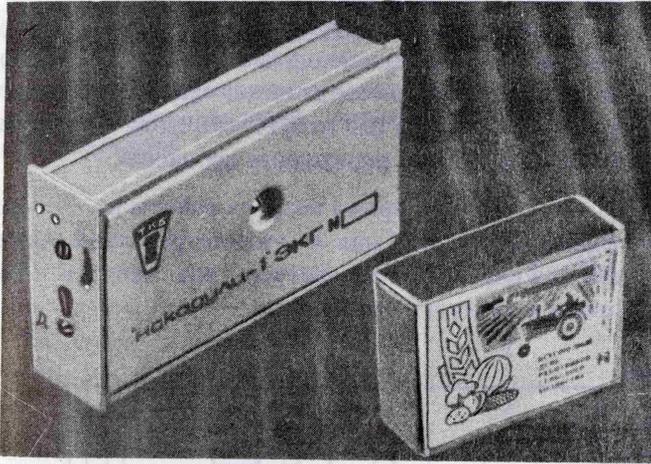


Рис.3. Усилитель биопотенциалов "Накадули-1"

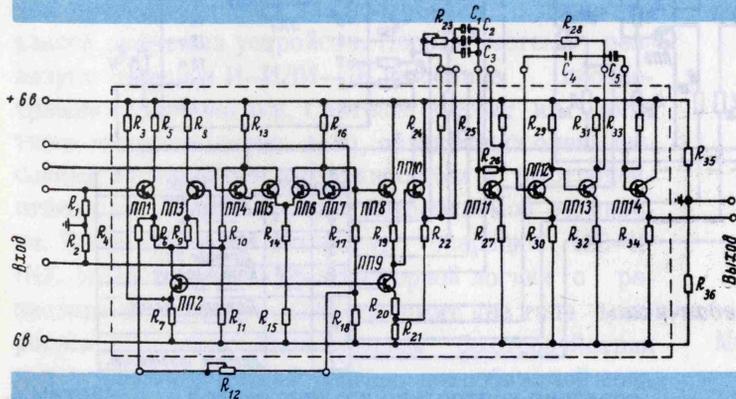


Рис.4. Принципиальная схема усилителя биопотенциалов

По своему назначению физиологические усилители различаются как усилители электрокардиограмм, электроэнцефалограмм и т.д. Несмотря на трудности, связанные с получением высокого входного сопротивления, значительного коэффициента подавления синфазной помехи, низкого уровня шумов, а также с воспроизведением без искажений формы маломощных и инфранизких потенциалов при наличии сильных помех и нестабильном внутреннем сопротивлении источника сигнала, был создан универсальный биоусилитель в микроэлектронном исполнении (рис.3).

Усилитель собран на кремниевых транзисторах КТ332 (рис.4). Использование схемы с двумя дифференциальными каскадами и применение обратных связей повысили коэффициент дискриминации, который в модуле с напыленными резисторами достигает 3000–3500. Таким образом, была подобрана схема, наиболее технологичная с точки зрения микроэлектроники, и количество элементов, выполненное с помощью пленочной технологии, достигло 90%. При этом для сопротивлений использовался кермет с $\rho = 2 \text{ ком}/\square$

По электрическим параметрам усилители, в зависимости от их применения, отличаются друг от друга рабочим диапазоном частот, коэффициентом усиления, прочие же параметры одинаковы. Для всех разрабатываемых видов усилителей напыляемый модуль микросхемы является унифицированным. С целью регулировки параметров используют навесные компоненты, что позволяет регулировать коэффициент усиления по напряжению в пределах 500–2500 (для усилителя ЭКГ) и 3000–40000 (для усилителя ЭЭГ) и т.д. Входное сопротивление усилителя $2 \times 1 \text{ Мом}$. Габариты этого прибора говорят сами за себя: $96 \times 21 \times 19 \text{ мм}$, что намного меньше обычных, применяемых в этих случаях усилителей.

Безусловно, подобные усилители найдут самое широкое применение, особенно при применении в перспективе МОП-транзисторов, что резко увеличит возможность получения высокого входного сопротивления (порядка десятков, сотен мегом). Особую трудность представляет подбор транзисторов с одинаковыми параметрами для дифференциальных каскадов – проблема, требующая быстрого решения.

ИНФОРМАЦИЯ О БОЛЬНОМ – НА РАССТОЯНИИ

Достаточно только представить себе больного на операционном столе, обремененного множеством датчиков и сетью проводов от них к приборам, чтобы понять, как трудно хирургическому персона-

лу работать в таких условиях. Здесь медики призвали на помощь "малую" телеметрию, обеспечивающую беспроводную передачу информации на расстоянии десятков метров, и радиотелеметрию.

Передающее устройство "малой" телеметрической системы (датчики, усилители, преобразователи и передатчик) располагается непосредственно на исследуемом объекте и обеспечивает съем и передачу информации, не мешая нормальной деятельности организма испытуемого. При этом исключается ремонт, регулировка и наладка. Эта аппаратура создана в микроминиатюрном исполнении с применением тонкопленочной технологии.

Как выглядит приемо-передающее устройство в гибридно-пленочном исполнении, видно из рис. 5. Оно не только не уступает ранее разработанным аналогичным приборам, но и превосходит их по надежности, меньше по весу и габаритам.



Рис. 5. Приемо-передающее телеметрическое устройство

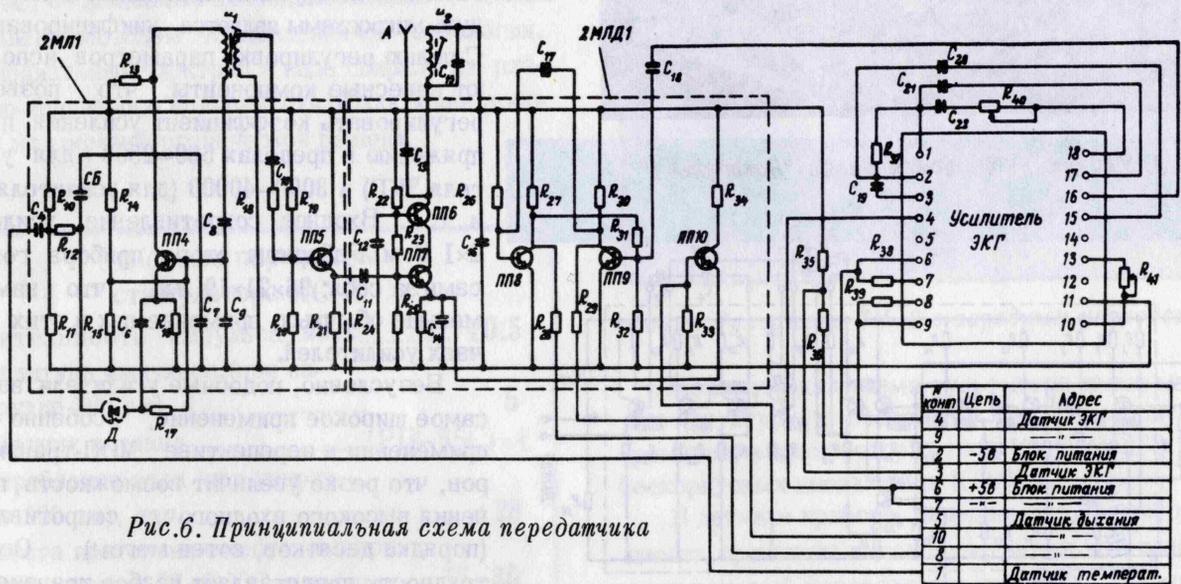


Рис. 6. Принципиальная схема передатчика

Дальнейшее усовершенствование схемы биотелеметрической системы и технологии ее производства на основе тонких пленок позволит создать новую четырехканальную блочную унифицированную телеметрическую систему с радиусом действия 500–2500 м.

Уже сегодня мы стоим на пути решения таких вопросов, как надежный прием физиологической информации из космоса, прием и передача сложных физиологических параметров в клинических условиях и даже

Основные параметры приемо-передающего устройства

Напряжение питания передатчика, в.....	5
Стабильность напряжения питания, %	±1
Время непрерывной работы, ч.....	24
Рабочая частота, Мгц.....	40,6
Радиус действия, м	10
Габариты, мм	60x40x25
Вес, г.....	8

Устройство (рис. 6) предназначено для передачи трех физиологических параметров:

- частоты пульса с выделением зубца R из ЭКГ;
- частоты дыхания с помощью контактного датчика, срабатывающего при изменении параметра грудной клетки в течение цикла дыхания;
- температуры тела с помощью термисторного датчика.

Частичное разделение каналов позволяет осуществить передачу нескольких параметров одновременно и непрерывно, так как врача интересует не только наличие или отсутствие сдвига значений показателей, но и переходные процессы.

В настоящее время ведутся работы по уменьшению габаритов "малой" телеметрической системы для передачи температуры тела, частоты дыхания и кардиограммы.

создание контрольно-измерительной системы, следящей за многими параметрами нескольких тяжелобольных, подающей сигналы тревоги в критических ситуациях. Дальнейшее тесное сотрудничество ученых медиков и специалистов электронной техники позволит решить многие нерешенные проблемы, стоящие перед медицинской наукой.

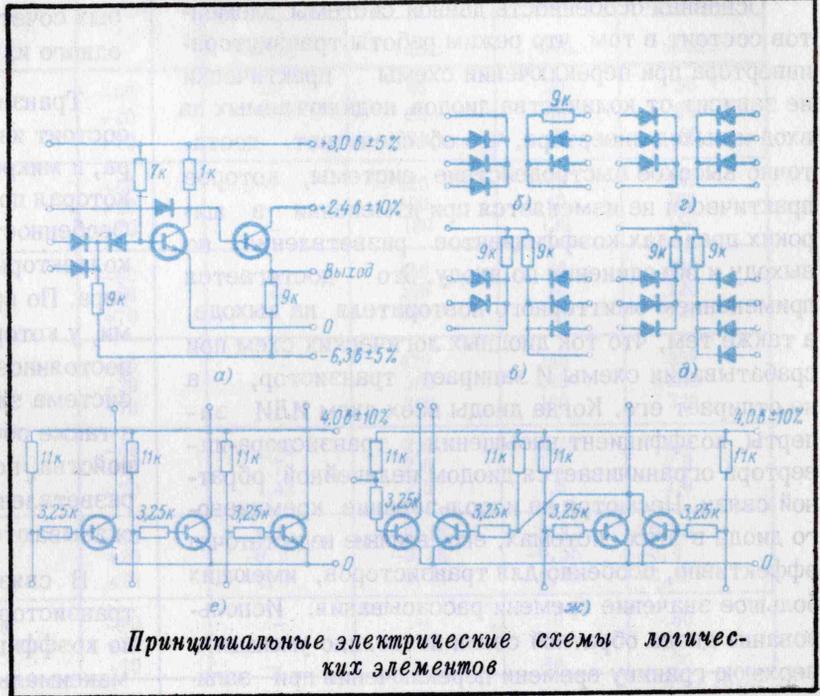
Статья поступила 16 декабря 1969 г.

УДК 621.382.8 :61

Ю.А.УРАЛЬСКИЙ,
Р.Х.ОГАНЕЗОВ,
А.Н.ПАВЛОВ

Микроэлектронные логические схемы в многовыводных металлостеклянных корпусах

Микросхемы на основе диодно-транзисторной логики и транзисторной логики с резистивными связями обеспечивают высокие электрические и эксплуатационные характеристики вычислительных устройств.



Принципиальные электрические схемы логических элементов

Рассмотрены две системы логических элементов, предназначенных для построения широкого класса цифровых устройств. Первая система реализует операции И–ИЛИ–НЕ на основе диодно-транзисторной логики. Система состоит из пяти типов микросхем (рис. а–д), обладающих очень высокими логическими возможностями и быстродействием при среднем уровне потребляемой мощности. Вторая система реализует операцию НЕ–И (НЕ–ИЛИ) на основе транзисторной логики с резистивными связями. Она содержит два типа микросхем (рис. е–ж) и при среднем быстродействии имеет довольно низкий уровень потребляемой мощности.

Конструктивно микросхемы выполнены в круглых металлостеклянных корпусах с восемью выводами (диаметр корпуса 11 мм, высота 4 мм), в которых установлены бескорпусные кремниевые планарные диоды, транзисторы и подложка с тонкопленочными резисторами.

Основой диодно-транзисторной системы элементов является микросхема, состоящая из двух-

входной диодной логической схемой и транзисторного усилителя–инвертора с эмиттерным повто-

Характеристики микросхем

	Диодно-транзисторная логика	Транзисторная логика с резистивными связями
Максимальный коэффициент разветвления . . .	8	5
Максимальный коэффициент объединения для входов		
И	8	10
ИЛИ	8	—
Среднее время распространения сигнала, нсек . . .	80	500
Средняя мощность, рассеиваемая в микросхемах, мвт . . .	20	7

рителем на выходе (рис. а). Для построения многоходовой схемы И—ИЛИ к базе транзистора-инвертора подключаются аноды диодов других микросхем, выполняющих операцию ИЛИ. Эти микросхемы предназначены для расширения логических возможностей схемы рис. а. Большое количество диодных схем обеспечивает минимальное число неиспользуемых компонентов при проектировании вычислительных устройств. Диодные группы, не содержащие резисторов, в микросхемах рис. б и г позволяют образовать многоходовые схемы И.

Основная особенность данной системы элементов состоит в том, что режим работы транзистора-инвертора при переключении схемы практически не зависит от количества диодов, подключаемых на вход и выход инвертора, что обеспечивает достаточно высокое быстродействие системы, которое практически не изменяется при изменении в широких пределах коэффициентов разветвления по выходу и объединению по входу. Это достигается применением эмиттерного повторителя на выходе, а также тем, что ток диодных логических схем при срабатывании схемы И запирает транзистор, а не отпирает его. Когда диоды всех схем ИЛИ заперты, коэффициент насыщения транзистора-инвертора ограничивается диодом нелинейной обратной связи. Несмотря на использование кремниевого диода в этих системах, его влияние недостаточно эффективно, особенно для транзисторов, имеющих большое значение времени рассасывания. Использование диода обратной связи позволило уменьшить верхнюю границу времени переключения при запираании транзистора на 200 нсек. Эмиттерный повторитель используется в режиме насыщения, что уменьшает возможность возникновения паразитной генерации при значительных емкостных нагрузках и сокращает рассеиваемую мощность. Допускается использование эмиттерного повторителя в ненасыщенном режиме, для чего его коллектор соединяется с источником питания ($U = 3 \text{ в}$).

При работе на большие емкостные нагрузки увеличивается длительность фронта спада выходного сигнала, в течение которого эмиттерный повторитель оказывается запертым. Проведенные расчеты, подтвержденные результатами эксперимента, показывают, что длительность фронта спада, измеренная по уровням 0,1–0,9 от амплитуды выходного сигнала, может быть оценена по приближенной формуле

$$\tau_{\text{ф.с}} = 3,3C \text{ нсек},$$

где C — емкость нагрузки, нф .

5%-ный допуск на основные питающие напряжения диодно-транзисторных микросхем установлен исходя из требования стабилизации параметров, определяющих быстродействие схемы. Работа схемы на низких частотах не нарушается при изме-

нении питающих напряжений в более широких пределах, что подтверждается следующим экспериментом. Проведены исследования схемы трехрядного последовательного двухтактного счетчика, построенного на микросхемах рис. а и д. Один из регистров счетчика был помещен в камеру тепла с температурой $+70^\circ\text{C}$, а другой — в камеру холода, имеющую температуру -60°C . Паразитная емкость соединительных жгутов составляла 100–150 нф . Счетчик устойчиво работал на частоте 125 кГц при длительности входных сигналов 0,5 мсек и изменении питающих напряжений в пределах $\pm 10\%$ в любых сочетаниях, а также при изменении только одного из напряжений в пределах 20–100%.

Транзисторная система логических элементов состоит из микросхемы, содержащей три инвертора, и микросхемы, содержащей четыре инвертора, которая предназначена для построения триггеров. Особенностью этих схем является размещение коллекторных резисторов на входе каждого инвертора. По сравнению с широко известными схемами, у которых в цепи коллектора устанавливается постоянное нагрузочное сопротивление, данная система элементов потребляет меньшую мощность, а также обеспечивает большую надежность устройства, поскольку при больших коэффициентах разветвления коллекторные резисторы фактически оказываются резервированными.

В связи с увеличением коллекторного тока транзистора в открытом состоянии пропорционально коэффициенту разветвления данного инвертора максимальный коэффициент разветвления последующей схемы зависит от коэффициента разветвления предыдущей схемы и от коэффициента объединения по выходу.

Допустим, что m_i — максимальный коэффициент объединения по выходу в i -м узле логической сети; p_i — коэффициент разветвления для i -го узла; p_{i+1} — максимальный коэффициент разветвления какой-либо из p_i схем, вход которой подключен к i -му узлу. Тогда при увеличении p_{i+1} возрастает разброс базовых токов вследствие изменения напряжения база-эмиттер при изменении коллекторного тока, для компенсации которого необходимо уменьшать значение m_i , т.е. уменьшать ток утечки в i -м узле. При этом наибольшее значение p_{i+1} достигается при $p_i < 2$, однако m_i при этом также мало. Увеличение p_i приводит к уменьшению значения p_{i+1} , но при этом возрастает m_i (табл. 1).

Разброс величины остаточного напряжения коллектор-эмиттер в данной системе элементов можно практически не учитывать в силу больших сопротивлений резисторов в цепях базы (табл. 2 и 3).

Таблица 1

Расчетные значения n_i ; n_{i+1} и m_i системы элементов для наилучшего режима работы в диапазоне температур

m_i	1				2		1-3	2-5	3-5	4-5
n_{i+1}	1	2	3	5	3	5	4	2	3	4
n_i	8	7	5	2	7	1	4	10	10	5

Параметры микросхем диодно-транзисторной логики

Таблица 2

Наименование	Температура, °C	Значение параметра			
		по ТУ		экспериментальное	
		мин.	макс.	мин.	макс.
Длительность фронта нарастания выходного напряжения, <i>нсек</i>	-60	—	90	30	50
	+20	—	90	30	60
	+70	—	100	40	60
Длительность фронта спада выходного напряжения, <i>нсек</i>	-60	—	220	60	160
	+20	—	180	60	160
	+70	—	180	130	150
Время задержки при переключении схемы из состояния "1" в состояние "0", <i>нсек</i>	-60	—	150	40	130
	+20	—	150	40	120
	+70	—	200	60	120
Время задержки при переключении схемы из состояния "0" в состояние "1", <i>нсек</i>	-60	—	420	240	330
	+20	—	360	210	280
	+70	—	360	160	320
Верхний уровень выходного напряжения (состояние "0"), <i>в</i>	-60	1,42	2,6	1,75	2,2
	+20	1,7	2,6	1,7	2,0
	+70	1,42	2,5	1,8	2,0
Низкий уровень выходного напряжения (состояние "1"), <i>в</i>	-60	-0,9	-0,18	-0,8	-0,45
	+20	-0,9	-0,18	-0,55	-0,4
	+70	-0,9	-0,18	-0,45	-0,35
Задержка схемы, измеренная в кольце, <i>нсек</i>	-60	—	—	50	80
	+20	—	—	30	60
	+70	—	—	40	70

Таблица 3

Параметры микросхем транзисторной логики с резистивными связями

Наименование	Температура, °C	Значение параметров			
		по ТУ		экспериментальное	
		мин.	макс.	мин.	макс.
Задержка при выключении транзистора, <i>мксек</i>	-60	—	—	—	—
	+20	—	1,9	0,9	1,5
	+70	—	2,1	1,2	1,6
Длительность фронта выходного сигнала при включении транзистора, <i>мксек</i>	-60	—	1,5	0,14	0,5
	+20	—	0,7	0,07	0,3
	+70	—	—	0,07	0,12
Входное напряжение, <i>в</i>	-60	1,35	—	1,40	1,49
	+20	1,26	—	1,28	1,35
	+70	1,12	—	1,21	1,29
Низкий уровень выходного напряжения, <i>в</i>	-60	—	0,31	0,05	0,21
	+20	—	0,3	0,05	0,14
	+70	—	0,31	0,05	0,17
Ток утечки, <i>мкА</i>	-60	—	—	—	—
	+20	—	10	0,3	8,5
	+70	—	15	0,6	5,5
Задержка двух инверторов микросхемы (рис. ж), <i>мксек</i>	-60	—	—	0,8	1,4
	+20	—	1,5	0,5	1,3
	+70	—	—	0,7	1,3

Опыт эксплуатации вычислительных устройств, построенных на основе этих микросхем, показал, что система микросхем удобна для проектирования аппаратуры и обеспечивает ее высокие электрические и эксплуатационные характеристики.

Статья поступила 23 сентября 1969 г.

УДК 621.382.83:681.325.65

Интегральные полупроводниковые схемы на МОП - транзисторах

Обзор
технико-экономических
показателей ИПС МОП
различного назначения,
выпускаемых в США

Последние годы ознаменовались стремительным развитием интегральных полупроводниковых схем на МОП-транзисторах (ИПС МОП). В короткий срок (первые разработки ИПС МОП относятся к 1964 г. [1]) получены схемы с рекордными по сравнению с ИПС на биполярных приборах значениями степени интеграции, потребляемой мощности и стоимости. Разработаны ИПС МОП, содержащие сотни МОП-транзисторов на одном кристалле, потребляющие мощность 0,2–2,0 мвт/бит, стоимостью несколько центов за бит и с перспективой снижения стоимости до долей цента за 1 бит [2,3].

Разработанные ИПС МОП динамического типа с многотактной (до четырех тактов) синхронизацией и ИПС на дополняющих МОП-транзисторах имеют быстродействие 1,0–10,0 Мгц. При этом потребляемая мощность первых 10–100 мквт/бит, а вторых – 0,1–10 мквт/бит [4–6].

Одной из важнейших проблем в разработке ИПС МОП является надежность. Большая по сравнению с биполярными структурами нестабильность МОП-структуры связана с физикой работы этого прибора и технологией его получения. Так как МОП-транзистор работает на поверхности раздела полупроводника и диэлектрика, его характеристики существенно зависят от технологии обработки поверхности полупроводника и структуры диэлектрика.

Управление полупроводниковым прибором типа МОП-транзистор осуществляется сильным электрическим полем (до 10^6 в/см), приложенным к окислу, что вызывает дрейф подвижных ионов примесей, как в диэлектрике, так и на поверхности раздела. Поэтому в последние годы основные усилия научных сил ведущих зарубежных фирм были направлены на создание стабильной МОП-структуры. 1968–1969 гг. явились переломными в разработках стабильных ИПС МОП, что связано с применением новых материалов (например, Si_3N_4 , Al_2O_3) в качестве второго диэлектрического слоя на пленке SiO_2 . Применение двойных диэлектриков

в настоящее время позволило создать ИПС МОП, по надежности не уступающие ИПС на биполярных приборах [7].

ЛОГИЧЕСКИЕ ИПС МОП

Параметры логических интегральных схем в настоящее время совершенствуются в трех основных направлениях:

- снижается время переключения ИПС до 1 нсек и менее (для вентиля);
- снижается потребляемая мощность до 0,1 мвт и менее (для вентиля);
- снижается стоимость ИПС до 1 долл. и менее.

Выполнение этих требований вызывает значительные трудности при создании ИПС, поэтому для определенных областей применения создаются ИПС с теми или иными доминирующими параметрами. Для больших универсальных ЭЦВМ фактор быстродействия важнее величины потребляемой мощности. Для бортовых устройств необходимы ИПС с малой потребляемой мощностью. Вопрос стоимости важен для всех областей применения ИПС и, прежде всего, для аппаратуры широкого назначения (например, электронных клавишных вычислительных машин). Из всех существующих типов логических ИПС наиболее оптимальное сочетание низкой стоимости (в пересчете на компоненты) и низкой потребляемой мощности имеют ИПС МОП [3, 8, 9].

В настоящее время все ведущие зарубежные фирмы производят логические ИПС МОП. Объем только одного контракта между фирмами Autonetics (США) и "Хаякава" (Япония) на поставку ИПС МОП достигает 30 млн.долл.

Логические ИПС МОП можно условно разделить на две большие группы: со средней степенью интеграции и с высокой степенью интеграции – БИС (табл. 1) [3, 9, 10]. Метод гибридной сборки кристаллов с ИПС позволяет довести число транзисторов в корпусе до нескольких тысяч.

Обобщенные характеристики логических ИПС МОП со средней и высокой степенью интеграции

Характеристики ИПС и число фирм-изготовителей	Логические ИПС МОП со средней степенью интеграции		Логические ИПС МОП с высокой степенью интеграции			
	Логические ячейки	Триггеры	Сдвиговые регистры		Счетчики	Сумматоры
			статические	динамические		
Быстродействие, <i>МГц</i>	1–3	0,5–4	≤ 1	0,5–10	≤ 2,5	≤ 1
Потребляемая мощность, <i>мвт</i>	1–3	2–5	0,5–6 на разряд	0,02–2,0 на разряд	20–40 на разряд	55 на разряд
Число транзисторов на кристалле	5–20	10–30	100–500	300–800	≤ 100	≤ 100
Число типов схем, выпускаемых за рубежом	38	14	18	100	10	2
Число фирм, выпускающих ИПС МОП	9	9	15 (в т.ч. динамические)	15 (в т.ч. статические)	5	2

Крупнейшим достижением зарубежных фирм в 1969 г. являются БИС МОП фирмы Autonetics для ЭКВМ [11, 12]. Для полной комплектации ЭКВМ надо иметь всего четыре БИС МОП: первую — для обеспечения индикации и выполнения функции цифровой записи, вторую — для управления десятичной запятой, третью — для цифрового сложения и управления вводом в регистр, четвертую — для арифметических операций и обеспечения заполнения регистров. В среднем БИС МОП с содержанием в одном кристалле до 700–750 МОП-транзисторов в условиях серийного производства будет стоить около 15 долл. Такие БИС МОП появились в результате разработки новой схемотехники ЭКВМ на основе четырехтактной логики.

Приведенные выше данные относятся к логи-

ческим ИПС МОП, изготовленным на основе р-канальных МОП-транзисторов. В настоящее время фирмы, производящие ИПС МОП, пытаются освоить более сложную технологию ИПС на р-канальных и n-канальных (дополняющих) МОП-транзисторах. Освоила эту технологию и начала промышленный выпуск серии ИПС на дополняющих МОП-транзисторах только одна фирма RCA (табл.2) [13].

Как видно из сравнения данных табл.1 и 2, логические ИПС МОП на дополняющих транзисторах имеют преимущества: более низкую потребляемую мощность (в статике в 100–1000 раз, в динамике на частоте 1 *МГц* в 5–10 раз) и в 2–3 раза более высокое быстродействие. Однако сложность технологии изготовления дополняющих МОП-транзисторов предопределяет их сравнительно большую

Таблица 2

Параметры ИПС фирмы RCA

Параметры	TA5361	TA5455	TA5456	TA5362	TA5385	TA5459
Выполняемая функция	Сдвоенная схема на 3 входа ИЛИ–НЕ с инвертором	Счетверенная схема на 2 входа ИЛИ–НЕ	Сдвоенная схема на 4 входа ИЛИ–НЕ	Сдвоенный триггер Д-типа	Двоичный счетчик на 7 разрядов	Регистр сдвига на 18 разрядов
Быстродействие	70 <i>нсек</i>	70 <i>нсек</i>	70 <i>нсек</i>	4 <i>МГц</i>	8 <i>МГц</i>	—
Потребляемая мощность, <i>мвт</i>	10	10	10	100	100	100
Число транзисторов	14	16	16	48	132	218

стоимость. ИПС МОП по обобщенному параметру — "коэффициенту качества" (табл.3), определяемому как произведение времени задержки на потребляемую мощность, — превосходят ИПС типа ДТЛ и ТТЛ. Уступая указанным типам ИПС в быстродействии, ИПС МОП имеют существенное преимущество по потребляемой мощности. Если к этому

сравнению добавить преимущества ИПС МОП по стоимости, то становится понятным все возрастающий интерес к ним разработчиков ЭЦВМ. Нельзя исключить возможность вытеснения в будущем схемами на МОП-транзисторах логических ИПС других типов, за исключением, вероятно, сверхбыстродействующих ИПС на основе ЕСА.

Таблица 3

Сравнительные характеристики ИПС МОП и ИПС на биполярных транзисторах

Характеристика	Фирма-изготовитель и тип схем					
	RCA		Motorola		Texas Instruments	
	TA5455	TA5362	MC946	MC942	SN5402	SN5474
Тип элементов	ИПС МОП на дополняющих транзисторах		ДТЛ		ТТЛ	
Выполняемая функция	Счетверенная схема на 2 входа ИЛИ-НЕ	Сдвоенный Д-триггер	Счетверенная схема на 2 входа И-НЕ	Д-триггер со схемой на 2 входа ИЛИ и с инвертором	Счетверенная схема на 2 входа ИЛИ-НЕ	Сдвоенный Д-триггер
Быстродействие, нсек	70	90	30	40	13	24
Потребляемая мощность, мвт	2,4* 10 ⁻⁵ **	12* 10 ⁻⁴ **	44**	110**	57**	85**
Коэффициент качества, мвт · нсек	168* 7 · 10 ⁻⁴ **	1080* 9 · 10 ⁻³ **	1320**	4440**	741**	2040**

* Среднее значение потребляемой мощности на $f = 1 \text{ МГц}$ при скважности $Q = 5$.

** Среднее значение потребляемой мощности в статическом режиме.

ИПС МОП ДЛЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

При конструировании ЗУ разработчик должен учитывать необходимость совмещения двух требований: увеличение емкости хранимой информации и увеличение быстродействия [14]. На рис. 1 показано распределение объема и быстродействия ЗУ по годам. Основные технологические решения ЗУ и их связь с параметрами графически представлены на рис. 2 [15]. Полупроводниковое ЗУ имеет макси-

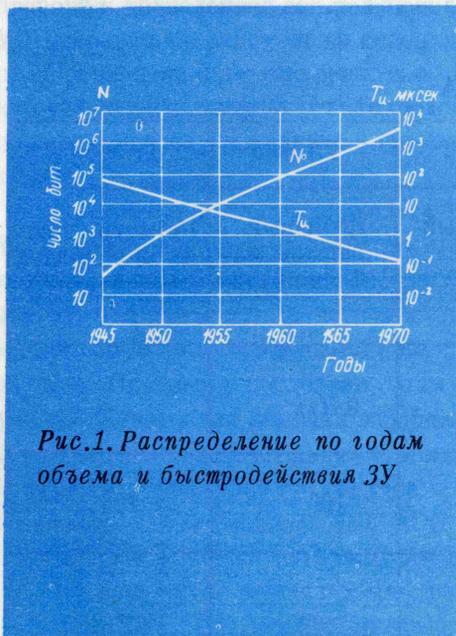


Рис.1. Распределение по годам объема и быстродействия ЗУ

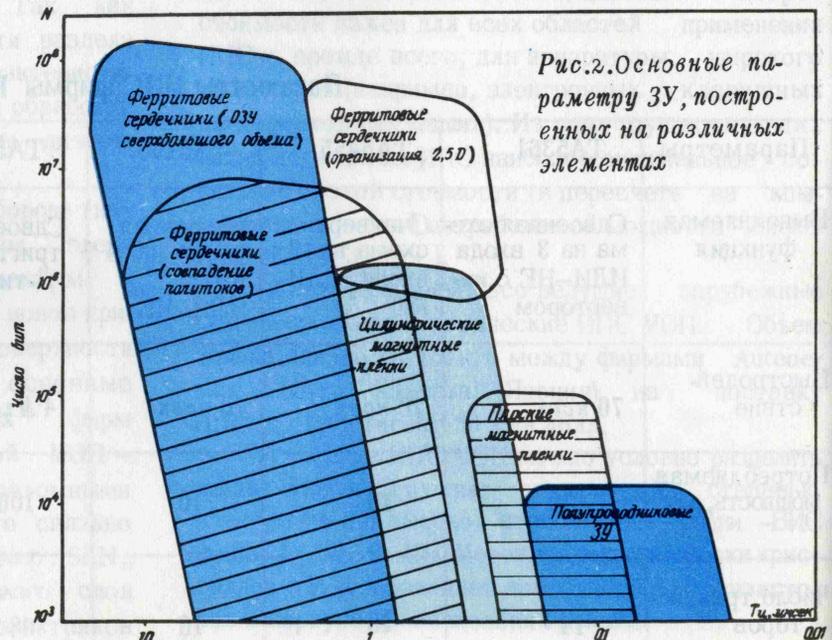


Рис.2. Основные параметры ЗУ, построенных на различных элементах

мальное быстродействие при ограниченной емкости хранимой информации, что указывает на целесообразность их применения при создании оперативных (ОЗУ) и в особенности сверхоперативных (СОЗУ) запоминающих устройств. В современной универсальной высокопроизводительной ЭЦВМ ОЗУ имеет емкость 10^6 бит и более с быстродействием 0,2–1,0 мксек, а СОЗУ – 10^4 бит и более с быстродействием 0,1–0,4 мксек. До настоящего времени наиболее полно отвечают этим требованиям ЗУ на ферритовых сердечниках и магнитных пленках. Однако эти ЗУ имеют ряд недостатков: большие значения потребляемых рабочих токов, сложность микроминиатюризации и дальнейшего увеличения быстродействия. Более эффективное решение этих задач может быть достигнуто при использовании ИПС МОП и особенно БИС МОП [16].

ПЗУ на МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Оба типа ПЗУ (статические и динамические) строятся на основе р-канальных МОП-транзисторов. В статическом ПЗУ слово может храниться сколько угодно и считываться любое число раз, причем для хранения и считывания его не требуются тактовые сигналы. Статическое ПЗУ (сама запоминающая матрица и дешифратор адреса) строится на основе схем И–НЕ/ИЛИ–НЕ, время выборки из такого ПЗУ составляет 3–4 мксек при емкости 1024 бит (размер кристалла $2,3 \times 2,3$ мм), потребляемая мощность 80 – 250 мквт/бит [2].

В динамическом ПЗУ для получения считываемого слова на выходе устройства необходимо осуществлять постоянное восстановление хранимой информации с помощью тактовых импульсов низкой частоты. Динамическое ПЗУ имеет вдвое большую плотность компоновки, чем статическое ПЗУ (на кристалле размером $2,3 \times 2,3$ мм располагается 2048 бит), значительно большее (в 5–10 раз выше) быстродействие, потребляет мощность 20–50 мквт/бит [2].

В настоящее время 11 фирм США выпускают 18 типов ИПС МОП для ПЗУ [3, 17]. Фирма National Semiconductor выпускает коммерческие ПЗУ MM 420/520 на 256 бит; Fairchild – ПЗУ 9034 на 256 бит, ПЗУ 3500 на 512 бит, ПЗУ 3501 на 1024 бит; Philco–Ford – ПЗУ рМ 1024 на 1024 бит; Texas Instruments – ПЗУ 1А 4800 на 1024 бит; General Instrument – ПЗУ ROM–2048 на 2048 бит. Уже имеются в продаже динамические ПЗУ емкостью 4096 бит [2, 18].

Приведенные технико-экономические характеристики ПЗУ на МОП-транзисторах позволяют считать их наиболее перспективными по сравнению с другими типами полупроводниковых ПЗУ большой емкости и среднего быстродействия, так как их удельная стоимость может быть доведена до 0,5–1 цент/бит.

ОЗУ на МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Статические ОЗУ построены на статических триггерах или на статических запоминающих элементах, а динамические ОЗУ построены либо на основе динамических запоминающих элементов, представляющих собой одноразрядные сдвиговые регистры, либо на основе динамических многозарядных последовательных регистров сдвига. В обоих случаях динамическое (временное) запоминание информации осуществляется на запоминающих емкостях (паразитных емкостях МОП-транзисторов). Постоянное восстановление хранимой информации осуществляется подачей тактирующих сигналов низкой частоты (несколько килогерц). В первом случае восстановление информации происходит одновременно (параллельно) во всех запоминающих элементах ОЗУ, выборка информации осуществляется произвольно. Во втором случае восстановление информации обеспечивается за счет ее последовательного прохождения (циркуляции) в последовательном динамическом регистре сдвига (двух- или четырехтактном), представляющем собой линию задержки; выборка информации в данном случае – последовательная [2, 3, 19–23].

Можно выделить три направления в построении ОЗУ на основе ИПС МОП:

1. Построенные полностью на р-канальных МОП-транзисторах (накопитель и схемы управления). К ним относятся ОЗУ емкостью 10^6 – 10^8 бит, с полным временем обращения до нескольких микросекунд, потребляемой мощностью 0,2 мвт/бит (для динамических ОЗУ) и 2,0 мвт/бит (для статических ОЗУ), предполагаемой удельной стоимостью 2,5–3,5 цент/бит для динамических ОЗУ и 10 – 15 цент/бит для статических.

2. Построенные полностью на дополняющих МОП-транзисторах. К ним относятся СОЗУ емкостью 10^3 – 10^4 бит, с полным временем обращения 50–200 нсек, потребляемой мощностью до 0,1 мвт/бит, ориентировочной удельной стоимостью около 1 долл/бит.

3. Накопитель построен на МОП-транзисторах, а схемы управления (дешифратор и схемы записи – считывания) – на биполярных транзисторах. Сюда следует отнести ОЗУ емкостью до 10^6 бит, с полным временем обращения 0,2–1,0 мсек, потребляемой мощностью около 1,0 мвт/бит, ориентировочной стоимостью 1–4 цент/бит.

В США имеются в продаже семь типов ИПС МОП для ОЗУ, выпускаемые шестью фирмами [3]. Ведутся дальнейшие интенсивные разработки этой номенклатуры схем, направленные прежде всего на увеличение степени их интеграции. Фирма Fairchild выпускает коммерческие ОЗУ 3530 емкостью 64 бит; Motorola – ОЗУ MC1170 емкостью 64 бит; Texas Instruments – ОЗУ TMS7A4003 MC–

емкостью 256 бит; RCA — ОЗУ СД 4005 на 16 бит (на дополняющих МОП-транзисторах). Ведутся разработки ОЗУ на 1024 бит [20] на р-канальных МОП-транзисторах и на 288 бит на дополняющих МОП-транзисторах [5].

В последовательных ОЗУ применяются динамические сдвиговые регистры, например MEM 3100 (General Instrument) 100 разрядов; MEM 3198 (General Instrument) на 66 x 3 разрядов; pL 5R100 (Philco—Ford) на 100 разрядов; 7B 3002 (Texas Instruments) на 100 разрядов; C 1164 (American Micro—Systems) на 200 разрядов; MM 406/506 (National Semiconductor) на 200 разрядов; pL 5R256 (Philco—Ford) на 256 разрядов; C 1160 (American Micro—Systems) на 432 разряда. Разрабатываются динамические сдвиговые регистры до 2000 разрядов с предполагаемой удельной стоимостью менее 1 цент/бит [23, 24].



Приведенные технико-экономические характеристики ИПС МОП позволяют сделать следующие основные выводы. В области логических узлов ЭЦВМ ИПС МОП начинают конкурировать с ИПС на биполярных транзисторах, вытесняя их полностью в некоторых областях применения (например, ИПС для ЭКВМ).

Запоминающие устройства ЭЦВМ (ПЗУ, СОЗУ и ОЗУ) в ближайшие годы превзойдут соответствующие виды ЗУ на основе ферритовых сердечников и магнитных пленок и будут конкурировать с ЗУ на биполярных транзисторах. Меньшая стоимость ИПС МОП по сравнению с другими типами элементов и перспектива дальнейшего существенного снижения их стоимости чрезвычайно важны для разработчиков аппаратуры различных классов, а уникальные свойства динамических многотактных и дополняющих ИПС МОП по величине потребляемой мощности открывают им широкую дорогу в бортовую и космическую аппаратуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical Data Sheet, 1965.
2. Б о й з л. Техничко-экономические характеристики ЗУ на МОП приборах. "Электроника", 1969, № 2, стр.33—36.
3. S p e e r R. D. "Electronic Design", 1969, May 10, p.76—103.
4. К а р п J. "Electronic Design", 1967, v.15, N 7, p.62—66.
5. EEE, 1967, v. 15, N 3, p.26—32.
6. E v a n s J. D. "Microelectronics and Reliability", 1968, v. 7, p.11—36.
7. IEEE Trans. on Electron Dev., 1969, v.16, N 4.
8. T h o r n t o n C. G. ISSCC Digest of Technical Papers, Feb. 1968.
9. Electronic Design, 1969, Apr. 12, p.71—77.
10. E i m b i n d e r J. EEE, 1968, v. 16, N 8, p.88—95.
11. Electronics, 1969, v. 42, N 6, p.52—53.
12. Electronics, 1969, v. 42, N 9, p.37—41.
13. RCA Catalog, Digital Integrated Circuits, Aug. 1968.
14. К р а й з м е р Л. П. Устройства хранения информации. "Изв. вузов", сер. "Приборостроение", 1967, № 10.
15. Б л ю и Ч е н. Использование оптических явлений в запоминающих устройствах большой емкости. "Электроника", 1969, № 5, стр.18—23.
16. N e i m a n F. P. "IEEE Intern. Convention Record", 1967, part 6, p.12—18.
17. Electronic Design, 1969, Apr.12, p.71—77.
18. Electronic Engineer, 1968, Sept., p.47—51.
19. H o d g e s D. A. "Proc. of the IEEE", 1968, v.56, N 7.
20. IFIP Congress, Edinburgh, 1968.
21. ISSCC, 1967.
22. W o o d J., B a l l R. G. "Radio and Electron Engineering", 1966, N 1, p. 33—45.
23. Т а н з и. ОЗУ на МОП-матрицах. "Электроника", 1969, № 2, стр.30—32.
24. Electronics, 1969, v.42, N 4, p.25—29.

Статья поступила 8 декабря 1969 г.

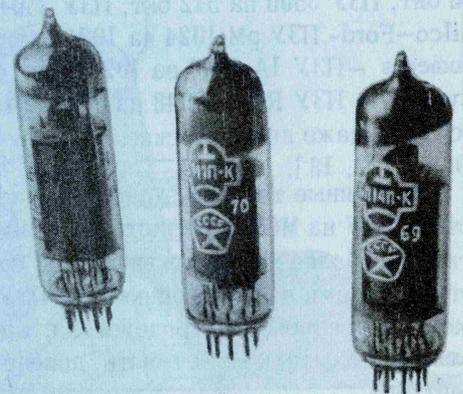
УДК 621.382.82

РАДИОЛАМПЫ

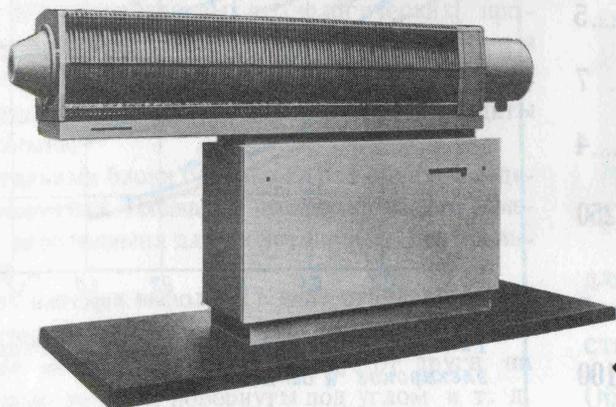
6ИП-К и 6П14П-К

ВЫПУСКАЮТСЯ СО

ЗНАКОМ КАЧЕСТВА



Линейный ускоритель электронов



предназначен для широкого применения в промышленности и в научных исследованиях

СЕРИИ

«ЭЛЕКТРОНИКА»

ТИПА

ЗЛУ-5-1-5

Разработан и уже применяется в промышленных масштабах ряд радиационно-технологических процессов в химической промышленности, в производстве кабелей, для стерилизации медикаментов и медицинских инструментов, для консервирования продуктов [1-4]. Разрабатываются технологические процессы, использующие ионизирующее излучение с целью улучшения свойств полупроводниковых приборов и режущего инструмента, для дезинсекции зерна [5-7] и т.д. Большое значение имеет использование источников ионизирующего излучения при создании радиационно-стойкой аппаратуры и приборов.

Эффективность многих процессов радиационной технологии возрастает с увеличением энергии излучения. Однако при некоторых пороговых значениях энергии, различных для разных материалов, возможно возникновение наведенного радиоактивного излучения со стороны этих материалов. В таких случаях дальнейшее использование продуктов обработки возможно лишь спустя некоторое (иногда продолжительное) время, в течение которого эти продукты должны выдерживаться для снижения уровня остаточного излучения в специальных помещениях-складах, обеспечивающих биологическую защиту обслуживающего персонала от излучения и снабженных специальной вентиляционной системой, системой дистанционного управления складированием и дозиметрического контроля. Все это снижает экономические пока-

затели радиационной обработки, вследствие чего верхний предел энергии ионизирующего излучения ограничен величиной 8-12 Мэв.

Наиболее эффективным и мощным источником энергии ионизирующего излучения в интервале 3-12 Мэв является линейный ускоритель электронов. Выпуском линейных ускорителей, в частности, для промышленного применения занимаются многие зарубежные радиоэлектронные фирмы: Varian и High Voltage Eng. Corp. в США, CSF во Франции, Mullard и Vickers в Англии, Philips в Голландии, Hitachi в Японии и т.д. В СССР также выпускаются линейные ускорители для промышленного применения [8, 9].

НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСКОРИТЕЛЯ

Линейный ускоритель электронов "Электроника" — это радиоэлектронный комплекс, в котором происходит преобразование электрической энергии переменного тока от промышленной сети в энергию быстрых электронов, излучаемых в атмосферу.

Ускоритель предназначен для промышленного и лабораторного применения как мощный импульсный источник быстрых электронов, а также других видов ионизирующего излучения в случае использования специальных мишеней.

Ускоритель типа ЭЛУ-5-1-5 имеет следующие технические характеристики:

Энергия ускоренных электронов (номинальное значение), МэВ	5
Ток пучка ускоренных электронов в импульсе (номинальное значение), а	1
Средняя мощность пучка (номинальное значение), кВт	5
Ширина энергетического спектра по полувысоте тока, %	7
Длительность импульса тока (номинальное значение), мксек	4
Частота следования импульсов (номинальное значение), иц	250
Диаметр пучка ускоренных электронов в плоскости выходного окна (номинальное значение), мм	8
Высота оси пучка от пола (для первой модели ускорителя), мм	1100

Энергия ускоренных электронов, ток пучка и средняя мощность пучка могут регулироваться в широких пределах с пульта управления.

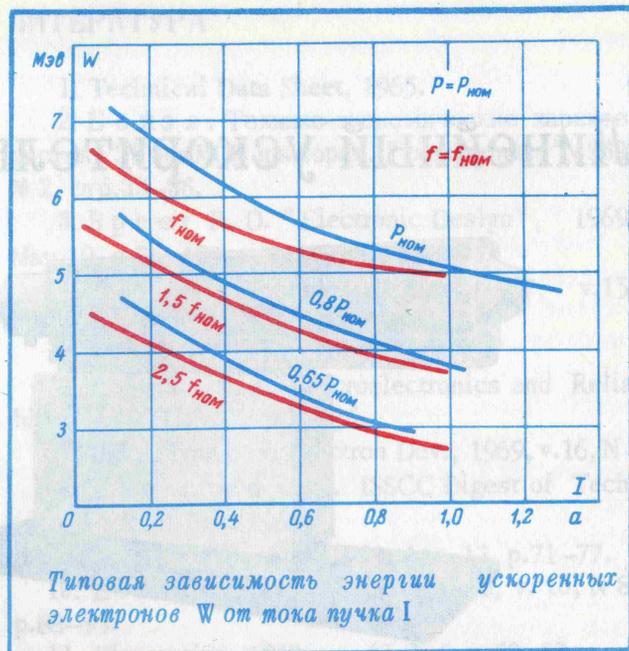
Дополнительные специальные блоки и узлы обеспечивают следующие параметры пучка и режимы работы ускорителя:

Максимальная ширина поля при линейной развертке пучка, мм	500
Пределы плавной регулировки длительности импульса тока, мксек	0,2
Пределы плавной регулировки частоты следования импульсов, иц	0-250
Питание от трехфазной сети напряжением, в	220/380
Потребляемая мощность, кВт	60
Расход дистиллированной воды при температуре на входе не более 30°C, м ³ /ч	5
Расход сжатого воздуха при давлении 4 атм, м ³ /ч	0,2

Режимы работы ускорителя:

- однократный импульс тока;
- автоматическое отключение тока пучка при наработке заданного числа импульсов тока;
- заданная программа частоты следования импульсов.

Регулировка выходных параметров ускорителя производится с пульта управления. На рисунке представлена зависимость энергии ускоренных электронов от тока пучка для различных значений мощности генератора высокочастотных колебаний при номинальном значении частоты генератора



Типовая зависимость энергии ускоренных электронов W от тока пучка I

($f_{ном}$). Для контроля тока пучка на пульте управления установлен измерительный прибор. Мощность генератора высокочастотных колебаний контролируется также с пульта управления. На этом же графике представлена типовая зависимость энергии ускоренных электронов от тока пучка при различных значениях частоты генератора и номинальном значении мощности высокочастотных колебаний.

По графику с помощью прибора для контроля частоты генератора сравнительно легко установить требуемый режим работы ускорителя, однако при промышленном использовании ускорителя наиболее целесообразна регулировка энергии путем изменения тока пучка при работе на номинальной частоте. В этом случае промышленный коэффициент полезного действия ускорителя будет максимален.

СОСТАВ И КОМПОНОВКА УСКОРИТЕЛЯ

Как отмечалось выше, ускоритель "Электроника" - это сложный радиоэлектронный комплекс. В него входит ряд отдельных блоков. Ускоритель типа ЭЛУ-5-1-5 выпускается в двух вариантах: с горизонтальным и вертикальным направлением пучка ускоренных электронов. Модели отличаются конструктивным оформлением ускоряющего блока.

Ускоряющий блок должен устанавливаться в специальном помещении, оборудованном биологической защитой персонала от ионизирующего излучения, возникающего при работе ускорителя. Площадь помещения, необходимая для установки этого блока, не превышает 10 м². Наибольшая интенсивность и жесткость излучения - вблизи выхода пучка ускоренных электронов в атмосферу,

а также в месте попадания пучка на объект. Наибольший поток этого излучения направлен в сторону движения электронов. Поэтому биологическая защита от излучения в случае использования второй модели ускорителя, выполненная в виде толстых бетонных стен и перекрытий, более проста. Ускоритель этой модели рекомендуется использовать для промышленных технологических процессов, так как для его установки требуется меньшая производственная площадь, а затраты на возведение элементов биологической защиты минимальны.

Остальные блоки одинаковы для обеих моделей ускорителя. Площадь производственного помещения, необходимая для их установки, не превышает 20 м².

Блок питания выполнен в виде отдельных секций, которые в зависимости от имеющегося помещения могут быть отнесены друг от друга на расстояние до 20 м, повернуты под углом и т. д. Генераторный блок может устанавливаться на расстоянии до 30 м от блока питания, хотя это менее желательно. При этом он должен располагаться возможно ближе к ускоряющему блоку. Пульт управления может быть расположен на расстоянии до 50 м от остальных блоков и при необходимости продублирован в другом помещении.

Опыт эксплуатации изготовленных ускорителей данного типа показал пригодность их для проведения широкого круга радиационно-технологических процессов как в лабораторном, так и в промышленном масштабе. Ускоритель надежен и сравнительно прост в эксплуатации.

Ускоритель типа ЗЛУ-5-1-5 демонстрировался на Международной выставке в Монреале в 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. of the British Nuclear Energy Soc., 1967, v.6, N 4.
2. Финкель Э. Э. и др. Радиационная химия и кабельная техника. Атомиздат, 1968.
3. Радиационная техника, 1966, № 3 и 32.
4. Радиационная техника, 1966, № 2 и 14.
5. Science et vie, 1967, v. 112, N 603, p. 106.
6. Радиационная техника, 1966, № 1.
7. Werkstattstechnik und Maschinenbau, 1955, N 6 и 45.
8. Вальднер О.А. и др. Линейные ускорители. Атомиздат, 1969.
9. Петренко Л., Никишичев Ю. Ускорители электронов для промышленности и радиационных исследований. "Атомная энергия", 1968, № 24, стр. 292.

Статья поступила 5 января 1970 г.

УДК 621.384.64

КНОПЧНЫЕ

П2К

МАЛОГАБАРИТНЫЕ

МОДУЛЬНЫЕ

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

для коммутации постоянного и переменного тока в радиоэлектронной аппаратуре, устройствах коммутации, счетных машинах и т.п.

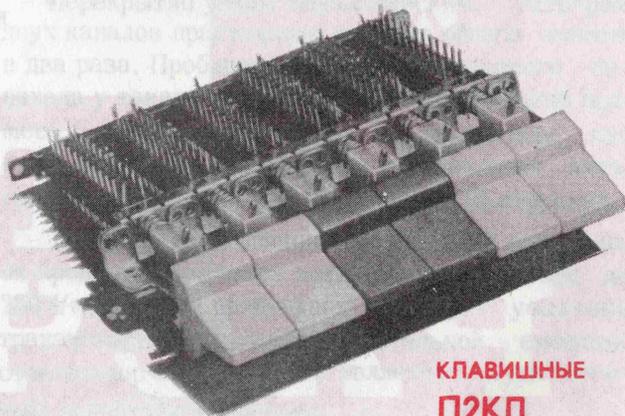
Обладают высокой стабильностью параметров. Ремонтоспособны.

Основу блока переключателя составляет ячейка-модуль с количеством контактов 2, 4, 6, 8 или 0. Переключатель может состоять из 1 ячейки, 2-19 ячеек при шаге 10 мм, 2-10 ячеек при шаге 15 и 20 мм (рис. 1, 2). В любом наборе переключателя могут быть установлены ячейки с зависимой и независимой фиксацией включения и без фиксации. Нулевая ячейка обеспечивает одновременный сброс всех включенных ячеек. Модульная конструкция обеспечивает неограниченное число вариантов исполнения переключателей без принципиальной перестройки технологии.

По заказу потребителя, присланному за 45 дней до начала квартала поставки, можно изготовить любой вариант блока переключателя.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Износостойчивость, включений	≥ 15000
Сопротивление контактов, ом	≤ 0,025
Сопротивление изоляции, Мом	
в нормальных условиях	1000
при температуре 30°C	
и относительной влажности 93%	≥ 50
Электрическая прочность изоляции	
(на частоте 50 Гц), в	1500
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при частоте 1 МГц	≤ 0,05
Допустимый ток при активной нагрузке, а	
постоянный	0,1-1,0
переменный	0,2-1,5
Усилие переключения, кг	0,2-3,0
Температура окружающей среды (при атм. давлении ≤ 600 торр), °C	от -20 до +60



КЛАВИШНЫЕ
П2КЛ

ИССЛЕДОВАНИЯ



РАЗ

РА

БОТ

КИ



А.А.ВАСЕНКОВ, В.И.НИКИШИН, А.П.УДОВИК,
В.Д.СКОРОХОВОВ, А.И.СТОЯНОВ

МОП- ТРАНЗИСТОР С ПЕРЕМЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПРИМЕСИ В КАНАЛЕ

ОБЕСПЕЧИВАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕГО ПОРОГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ И МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Переменная концентрация примеси в канале позволяет менять пороговое напряжение транзистора в широких пределах, что особенно важно при создании интегральных твердых схем на основе МОП-транзисторов с дополняющей симметрией.

Теоретически для МОП-транзистора с постоянной концентрацией примеси в канале пороговое напряжение

$$U_T = \frac{qN_B d}{\epsilon\epsilon_0},$$

где q — заряд электрона;

d — толщина диэлектрика под металлическим затвором;

ϵ — диэлектрическая постоянная затворного изолятора;

ϵ_0 — диэлектрическая постоянная вакуума;

N_B — плотность объемного заряда, обусловленного обедненной областью.

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

На рис. 1 показана зависимость U_B от концентрации примеси в исходном кремнии.

N_{ss} сильно зависит от способа обработки поверхности кремния и способа выращивания диэлектрического слоя, находящегося между металлом и полупроводником.

Увеличение N_{ss} приводит к повышению U_T у МОП-приборов с p -каналом и уменьшению U_T у приборов с n -каналом. Если $\Delta U > U_B$, то у n -канального транзистора канал становится проводящим при нулевом напряжении на затворе (для $N_a \leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$). При изменении концентрации примеси в канале будет меняться пороговое напряжение (для $N_{ss} = \text{const}$).

Принципиальное отличие описываемой технологии от обычной состоит в том, что для получения транзистора в одно и то же окно в окисле (рис. 2) на пластине кремния n -типа проводятся две селективные диффузии: сначала примеси p -типа проводимости, затем n -типа. Над областью кремния p -типа наращивается тонкий слой диэлектрика и на него — металлический затвор. Область n^+ , "плавающая" в области p -типа, является истоком, а вся подложка n -типа — стоком. Ток при открытом транзисторе будет проходить по каналу, образованному на поверхности области p -типа. Область p -типа (назовем ее областью канала), полученная диффузией, обладает переменной концентрацией примеси по глубине. Переменную концентрацию будет иметь примесь и по всей длине канала.

На рис. 3 представлено распределение примеси в областях истока, канала и стока. Концентрация уменьшается от истока к стоку. Задавая глубину p - n перехода истока (x_{j2}) и тем самым максимальную концентрацию в канале, мы можем выбрать напряжение открывания транзистора в широких пределах.

Стоковый электрод можно изготовить с обратной стороны полупроводниковой пластины. Благодаря тому, что область стока занимает незначительную часть поверхности, можно создать транзистор с большой шириной канала на малых площадях.

Перекрытие узким металлическим затвором двух каналов практически снижает общую емкость в два раза. Пробивное напряжение стокового перехода у такого транзистора с концентрацией примеси в канале, а значит и с U_T , не связано, что очень ценно при разработке и изготовлении интегральных твердых схем на основе МОП-структур.

Транзисторы с шириной канала 2400 мкм имели предельную частоту усиления по мощности до 250 МГц. Низкая предельная частота усиления транзистора объясняется значительной емкостью сток-затвор ($C_{ст-з}$), что является существенным недостатком прибора.

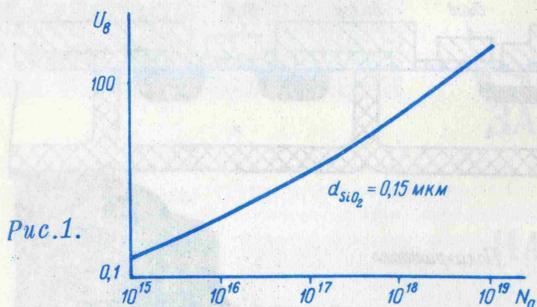


Рис. 1.



Рис. 2.

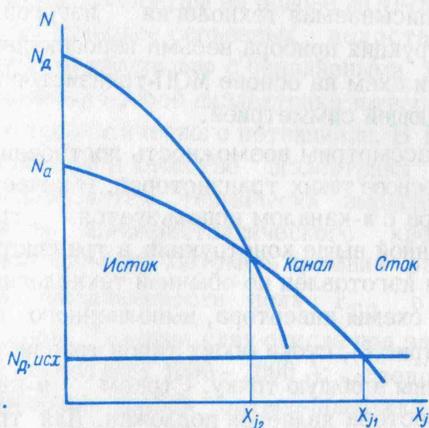


Рис. 3.

Практически пороговое напряжение U_T является функцией не только свойств самого кремния, но и способа его обработки:

$$U_T = - \frac{qN_{ss}d}{\epsilon\epsilon_0} \pm \frac{qN_Bd}{\epsilon\epsilon_0} = -\Delta U \pm U_B,$$

где знак "—" — для исходного полупроводника n -типа и знак "+" — для p -типа; N_{ss} — плотность поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO_2 ; ΔU — эффективное напряжение, обусловленное наличием поверхностного заряда и определяемое по сдвигу экспериментальных вольт-фарадных кривых относительно теоретических; U_B — эффективное напряжение, обусловленное наличием объемного заряда.

$$U_B = \sqrt{\frac{4qN_D\phi_F}{\epsilon\epsilon_0}} d,$$

где N_D — концентрация донорной примеси; ϕ_F — уровень Ферми.

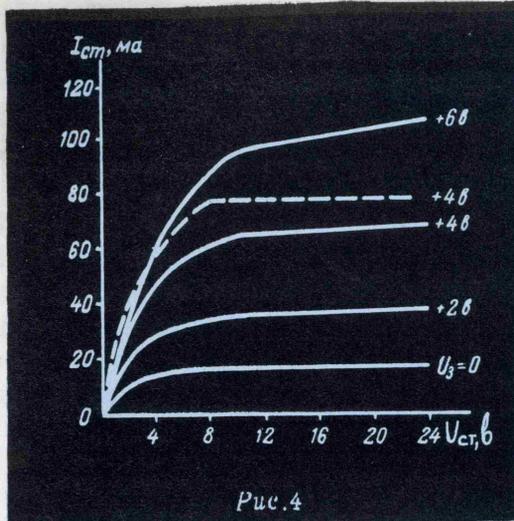


Рис. 4

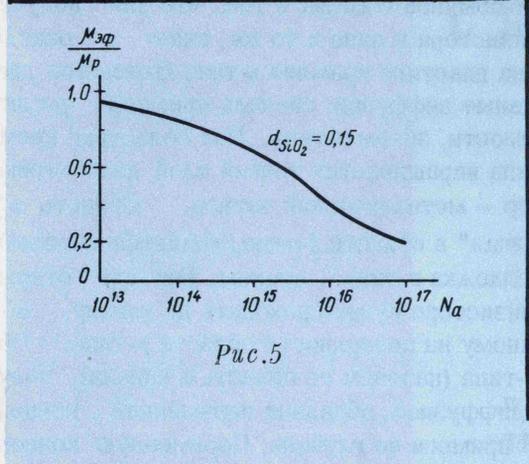


Рис. 5

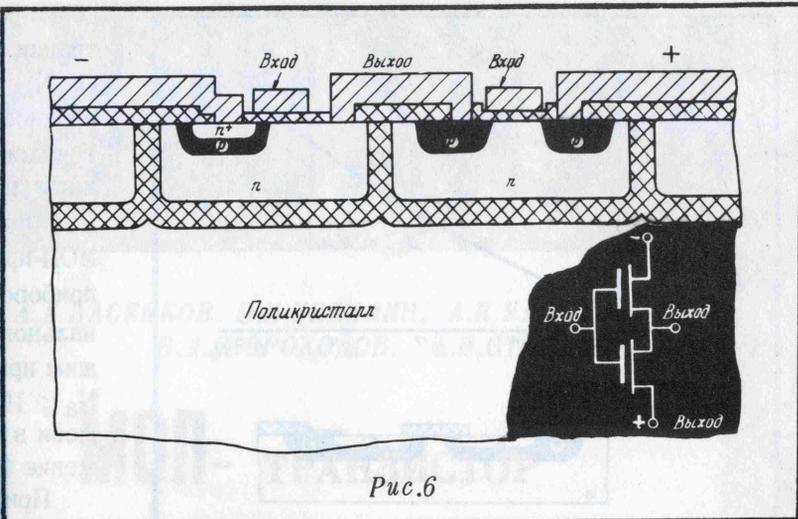


Рис. 6

Пороговые напряжения варьировались в пределах от -5 до $+8$ в. На рис. 4 показаны типичные выходные характеристики транзистора с шириной канала 2400 мкм и длиной $1,5$ мкм. Характеристики транзистора удовлетворительно совпадают с расчетными, определенными по формулам, которые приводятся ниже.

На начальном участке характеристики ($U_{CT} < U_3 - U_T$)

$$I_{CT} = \frac{\mu_{эф} \epsilon \epsilon_0 W}{dL} [(U_3 - U_T) U_{CT} - 1/2 U_{CT}^2];$$

и в пологой области ($U_{CT} \geq U_3 - U_T$)

$$I_{CT} = \frac{\mu_{эф} \epsilon \epsilon_0 W}{2dL} (U_3 - U_T)^2,$$

где L — длина канала транзистора; W — ширина канала; $\mu_{эф}$ — эффективная подвижность носителя в канале, зависящая от концентрации примеси в канале (рис. 5). В первом приближении можно считать, что подвижность определяется максимальной концентрацией примеси в канале. Как показали расчеты, подвижность носителей у транзистора с пороговым напряжением, равным $+3$ в, составляет $70-100$ см²/в · сек.

Описываемая технология позволяет получить очень большие величины g_m . Так, например, на кристалле размером 1×1 мм можно получить транзистор с крутизной до $200-300$ ма/в при U_{CT} не менее 50 в.

Описываемая технология изготовления и конструкция прибора весьма перспективны при создании схем на основе МОП-транзисторов с дополняющей симметрией.

Рассмотрим возможность построения инвертора на основе таких транзисторов. В качестве транзистора с n -каналом используется транзистор описанной выше конструкции, а транзистор с p -каналом изготовлен по обычной технологии. Как видно из схемы инвертора, выполненного в твердом теле (рис. 6), стоки обоих типов транзисторов соединены в общую точку. Стоком n -канального транзистора является подложка. Для транзистора с p -каналом подложка служит истоком. Следовательно, транзисторы необходимо изолировать друг от друга (например, с помощью окисной изоляции).

ВЫВОДЫ

Описанная конструкция и технология изготовления МОП-транзистора с переменной концентрацией примеси в канале дают возможность получить транзисторы с большой крутизной и малым сопротивлением насыщения. Легко регулируемый порог открывания транзистора позволит применять их во многих радиотехнических устройствах. Схемы, построенные на транзисторах такого типа, обладают высоким быстродействием при малых уровнях потребляемой мощности.

Статья поступила 18 ноября 1969 г.

УДК 621.382.323.004

ЗАЩИТА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА МОП-ТРАНЗИСТОРАХ ОТ ВЫСОКОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Диэлектрики под затвором в ИПС МОП можно легко защитить от пробоя "охранными" диодами, выполненными в едином технологическом цикле с микросхемой (с учетом величины напряжения пробоя).

Специалисты, занимающиеся разработкой вычислительной техники, уделяют все большее внимание активным элементам на основе МОП-структур. Одним из наиболее серьезных недостатков МОП-структур по сравнению с биполярными является необратимый пробой диэлектрика затвора при наличии электростатического потенциала. В МОП-структурах обычно в качестве диэлектрика под затвором используется термически выращенный на поверхности монокристаллического кремния слой двуокиси кремния. Двуокись кремния разрушается при напряженности поля $E_{пр}$ около $(5-6) \cdot 10^6$ в/см. Толщина слоя окисла под затвором обычно составляет 1000–2000 Å; следовательно, напряжение пробоя затвор-подложка $U_{п.з}$ составляет 50–120 в.

Условия возможного пробоя возникают при герметизации, разбраковке, транспортировке, складировании и эксплуатации прибора. Причиной пробоя МОП-структур может быть высокий электростатический потенциал, обусловленный как накоплением заряда на технологической оснастке и на работающих с приборами людях, так и "выбросами" напряжения при переходных процессах в электроизмерительных цепях. Поэтому приходится производить заземление операторов и измерителей с помощью колец, браслетов, закорачивать ножки корпуса при транспортировке и хранении и т.д. Это вызывает технические трудности, неудобства в работе с микросхемами, увеличивает стоимость изделий и уменьшает надежность.

Наиболее перспективна защита диэлектрика под затвором от пробоя электрическим полем с помощью специальных, не несущих в интегральных схемах других функций, диодов или МОП-транзисторов в диодном включении. Задача этих диодов – закорачивать электрод затвора на землю при высоком потенциале.

Величина напряжения пробоя охранного диода $U_{п.д}$ должна удовлетворять следующему условию:

$$U_з < U_{п.д} < U_{п.з},$$

где $U_з$ – напряжение на затворе; $U_{п.з}$ – напряжение пробоя диэлектрика под затвором.

Желательно, чтобы форма кривой пробоя соответствовала кривой, показанной на рис. 1. Если кривая пробоя имеет иную форму, то это может привести к нежелательным утечкам, а следовательно, к уменьшению входного сопротивления и увеличению мощности, потребляемой микросхемой. Желательно также, чтобы "охранные" диоды выполнялись в едином технологическом цикле с микросхемой. Наличие или отсутствие охранных диодов не должно изменять параметров микросхем. Все требования, предъявляемые к интегральной микросхеме (высоко- и низкотемпературная стабильность, минимальные "паразитные" емкости и т.д.), в полной мере относятся к охранным диодам.

В поиске наиболее надежной защиты интегральных микросхем на МОП-структурах исследовано несколько типов охранных диодов (рис. 2, а, б и в).

Были выполнены диоды на материале КЭФ-4,5, глубина диффузии составляла 2,5 мкм, поверхностная концентрация примеси в диффузионных областях – около 10^{20} см⁻².

Области p-типа на пластине создаются одновременно как для МОП-структур, так и для охранного диода, и, как уже говорилось выше, напряжение пробоя диода должно быть меньше напряжения пробоя диэлектрика под затвором (50–120 в). С другой стороны, напряжение пробоя стокового перехода должно быть по возможности большим. Следовательно, имея один материал подложки для МОП-структуры и охранного диода и единый процесс диффузии, мы не сможем добиться хороших результатов по обоим параметрам. Напряжение пробоя [1] для указанных выше диффузионных па-

Рис. 1. Идеальная характеристика охранных диодов

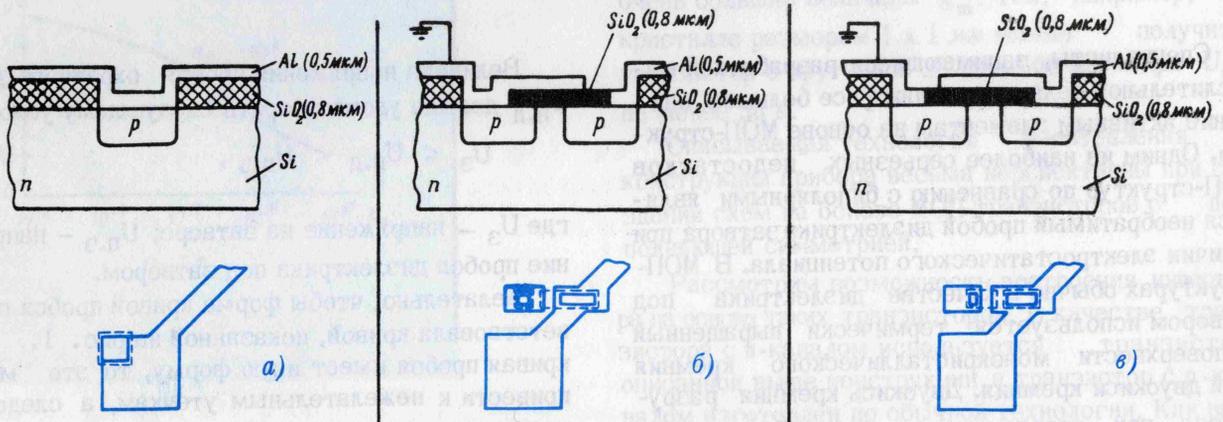
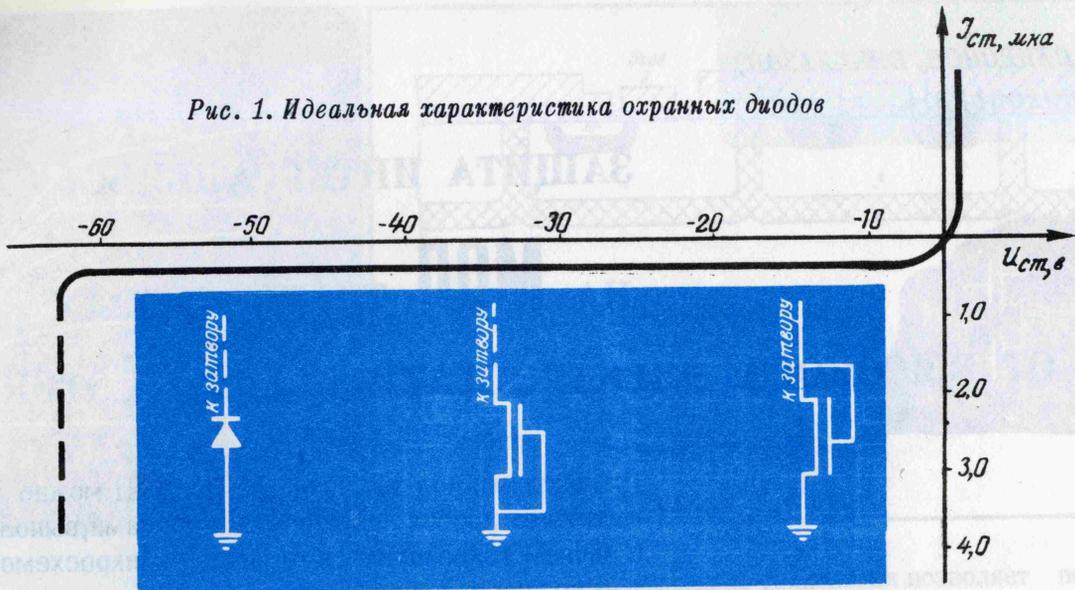


Рис. 2. Конструктивное выполнение охранных диодов:

- а — планарные диоды, работающие на обратной ветви вольт-амперной характеристики;
- б — МОП-транзисторы, работающие в режиме диода, на обратной ветви вольт-амперной характеристики (затворы и истоки соединены электрически накоротко) ;
- в — МОП-транзисторы, работающие в режиме диода, на прямой ветви вольт-амперной характеристики (затворы и стоки соединены электрически накоротко)

раметров диода $U_{п.д} = 90 - 120$ в. Величина напряжения пробоя $p-n$ перехода диода близка к значению пробивного напряжения диэлектрика под затвором или даже превышает его.

Для определения возможности защиты МОП-структур охранными диодами проделаны следующие эксперименты. В одном технологическом процессе изготовили структуры с "охранными" диодами и структуры без "охранных" диодов, а затем провели сравнение пробивных напряжений $U_{п.д}$ и $U_{п.з}$. Сравнительные статистические данные представлены на рис.3. Толщина окисной пленки составляла 1500 \AA . Все замеренные диоды имели напряжение пробоя до -120 в, причем около 75% ди-

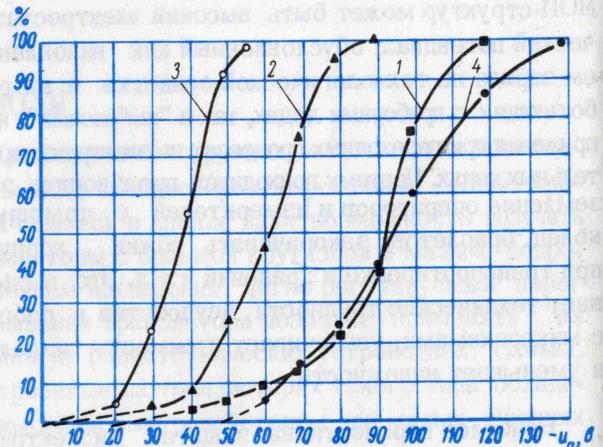


Рис. 3. Процентное распределение по напряжению пробоя:

- 1 — для планарного диода;
- 2 — для МОП-диода (затвор и исток объединены) ;
- 3 — для МОП-диода (затвор и сток объединены);
- 4 — для диэлектрика затвора микросхем

одов имели $U_{п.д}$ от -80 до -120 в, т.е. получилось хорошее совпадение с расчетными данными. Диэлектрик под затвором на образцах без охранных диодов имеет напряжение пробоя до 100 в. Из кривых 1 и 4 на рис. 3 видно, что значительная часть интегральных микросхем по существу не охраняется диодами, так как напряжение пробоя $p-n$ переходов диодов выше или равно напряжению пробоя диэлектрика.

В качестве другого охранного прибора был опробован МОП-транзистор, у которого конструктивно сток соединен с затвором микросхемы, а собственный затвор соединен с истоком (см. рис. 2, б) [2]. При большом потенциале на затворе микросхемы стоковый переход охранного МОП-транзистора начинает расширяться в слабо легированную область и при некотором значении напряжения наступает прокол, подобный проколу базы в биполярных транзисторах. Такой способ охраны микросхем удобен тем, что напряжением прокола можно управлять, изменяя геометрию охранного МОП-диода. Изменяя расстояние между истоком и стоком, в принципе можно получить любую величину напряжения обратимого пробоя. Из графика на рис. 3 (кривая 4) видно, что менее 5% микросхем имеют напряжение пробоя диэлектрика до -60 в. Следовательно, можно использовать охранный диод с напряжением пробоя -60 в. Для выбранной подложки (КЭФ-4,5) определяем длину канала

$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0 U}{q n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8,86 \cdot 10^{-14} \cdot 60}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,5 \cdot 10^{15}}} \approx 7,3 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость кремния; ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; U — напряжение пробоя; q — заряд электрона; n — концентрация в области канала.

С учетом неровности края у фотошаблона и боковой диффузии исходная длина канала на шаблоне должна быть равна 12 мкм. На рис. 3 представлены экспериментальные данные, полученные в результате испытаний нескольких сотен приборов такого типа. Около 85% замеренных приборов имеют $U_{п.д}$ от -40 до -80 в. Такой способ защиты дал хорошие практические результаты*.

Охрану микросхем можно осуществлять также и при помощи МОП-транзисторов с другой конструкцией. Если сток и затвор охранного МОП-транзистора присоединить к электроду затвора микросхемы, то получим также двухполюсный МОП-диод

* В данной работе исследовался охранный МОП-транзистор, работающий только на явлении прокола. При этом не учитывалось влияние поверхностного пробоя, который может иметь место в том случае, когда затвор охранного МОП-транзистора лежит в тонком окисном слое ($0,1-0,2$ мкм).

(см. рис. 2, в). Физика работы такого прибора значительно отличается от работы прибора, у которого затвор соединен с истоком. Внешний потенциал, попадая на затвор микросхемы, одновременно попадает на объединенные затвор и сток охранного МОП-диода. Как в обычном МОП-транзисторе, в нем образуется канал сквозной проводимости исток — сток, и затвор микросхемы оказывается закороченным на землю через исток охранного диода.

Исходя из требований к охранным диодам, необходимо иметь существенно разные напряжения включения (пороговые напряжения) транзисторов микросхемы и охранного диода. Выше указывалось, что напряжение включения зависит от величины встроенного заряда диэлектрика, т.е. пропорционально толщине диэлектрика. Следовательно, чтобы иметь напряжение включения охранного диода по абсолютной величине в $5-10$ раз большее, чем напряжение включения МОП-транзисторов микросхемы, мы должны иметь либо в $5-10$ раз большую толщину слоя окисла под затвором МОП-диода при равных величинах встроенного заряда, либо в $5-10$ раз большую величину встроенного заряда при равных толщинах диэлектрика. При проектировании целесообразно учитывать оба эти требования.

В процессе создания микросхемы на поверхности монокристаллического кремния создается толстый маскирующий слой окисла в атмосфере влажного кислорода. Известно, что при окислении во влажной атмосфере заряд в окисле значительно выше, чем при окислении в сухом кислороде. Этот слой окисла можно использовать в качестве диэлектрика под затвор охранного диода. Следовательно, изготавливая затвор охранного МОП-диода на толстой диэлектрической пленке с большим встроенным зарядом, а затворы микросхемы на тонкой пленке с небольшим встроенным зарядом, можно добиться на охранном диоде порогового напряжения, значительно превышающего рабочее напряжение на затворе микросхемы. При этом не требуются дополнительные технологические операции, а изменяется лишь геометрия фотошаблона.

В данном случае уже нельзя говорить о величине "пробивного" напряжения, так как прибор работает на прямой ветви вольт-амперной характеристики; необходимо говорить о величине порогового напряжения, при котором МОП-диод открывается. Практически очень небольшой ток через диод начинает протекать при малом напряжении на затворе микросхемы; поэтому напряжение, подаваемое на затвор микросхемы, должно быть выбрано с учетом заданных входных токов (мощностей). При исследовании работы такого вида охранного диода за параметр, характеризующий открывание МОП-диода, был выбран ток затвор — подложка, равный $0,05$ мка. Толщина диэлектрика под затвором МОП-диода составляла $0,7-0,8$ мкм. Полученные результаты представлены на рис. 3 (кривая 3). Ди-

оды такого типа начинают пропускать ток 1 мкА при напряжении 50 – 60 в, дальнейшее возрастание тока пропорционально квадрату напряжения на затворе. Большая часть замеренных приборов при напряжении 25 – 30 в имеет ток 0,05 – 0,5 мкА, что вполне удовлетворяет техническим требованиям большинства схем.

Сопоставляя полученные результаты для всех трех видов охранных диодов в интегральных микросхемах, можно сделать следующие выводы.

1. Планарные диоды могут вполне удовлетворительно "охранять" интегральные схемы на МОП-транзисторах, когда пробивные напряжения диэлектрика выше напряжения обратимого пробоя диода, включенного в обратном направлении в цепи затвор – исток, например при изготовлении МОП-структур на материале КЭФ с сопротивлением 1 – 50 ом·см и толщиной диэлектрика затвора не менее 0,2 мкм.

2. При небольших пробивных напряжениях проще и надежнее использовать для защиты МОП-транзисторы, работающие на проколе, и МОП-диоды.

3. Используя приведенные в данной работе зависимости и рекомендации, можно в каждом конкретном случае выбрать приемлемую конструкцию охранных диодов с учетом пробивного напряжения диэлектрика затвора микросхем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sze S.M., Gibbons G. Effect of Junction Curvature on Breakdown Voltage in Semiconductors. "Solid-State Electronics", 1969, N9, p.831.

2. Warner R.M. "IRE Natl. Conv. Record", 1958, v.6, part 3, p.43–48.

Статья поступила 8 декабря 1969 г.

УДК 621.382.82

Одной из первых технологических операций в процессе производства интегральных полупроводниковых схем (ИПС) является комплектование партий пластин для их последующей групповой обработки. Пластины группируются в партии из n штук по толщине эпитаксиальной пленки h , поверхностному сопротивлению R_S и объемному сопротивлению ρ_V . В настоящее время принцип комплектования сводится к тому, что из множества пластин вручную, путем визуального просмотра таблицы результатов измерений h , R_S и ρ_V отбираются группы пластины, параметры которых укладываются в заданные технологические допуски.

В настоящей работе предлагается метод комплектования партий пластин, основанный на применении ЭВМ. В качестве исходных данных в память ЭВМ вводятся перечисленные выше параметры (h , R_S , ρ_V) всех подлежащих группировке пластин, которым присвоены порядковые номера от 1 до N . Помимо этого, в память ЭВМ вводятся предельные значения $\max x_i$ и $\min x_i$, а также размер допуска в партии по каждому исходному параметру. Программа обработки данных составлена таким образом, что ЭВМ сортирует все пластины по заданным наборам параметров и размещает в соответствующие группы, указывая их первоначальные порядковые номера. На печать выдаются результаты сортировки, предельные значения каждого параметра x_i в соответствующей группе и порядковые номера исходной совокупности пластин с разбивкой их на группы требуемого объема (т.е. по n штук). При этом возможно, что в некоторых группах количество пластин будет меньше n . Этот остаток будет "заделом" на последующие операции комплектования партий.

Таким образом, данная методика позволяет осуществлять комплектование пластин в партии с любым заданным по каждому параметру шагом Δx_i . Совокупность $\{\Delta x_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ можно условно назвать точностью комплектования. Повышение этой точности может привести лишь к увеличению общего количества "задельных" пластин.

Б.В.БАТАЛОВ, С.А.ЗВЕРЕВ,
Г.Г.КАЗЕННОВ,
Ф.А.КУРМАЕВ, А.А.РУДЕНКО

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ПАРТИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Комплектование пластин с эпитаксиальными пленками по параметрам ρ_V , h и R_S в партии из n штук на ЭВМ позволяет снизить трудоемкость и повысить процент выхода годных интегральных полупроводниковых схем.

АЛГОРИТМ СОРТИРОВКИ N ЭЛЕМЕНТОВ ПО m ПАРАМЕТРАМ

Требуется рассортировать N элементов по

$$\prod_{i=1}^m \frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{h_i} \text{ малым параллелепипедам}$$

таким образом, чтобы α_μ -й элемент ($\mu = 1, 2, \dots, N$) с переменными $\{x_i^\mu\}$ был отнесен к параллелепипеду, для которого

$$x_i^{k_i} < x_i^\mu \leq x_i^{k_i + h_i}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$; $\mu = 1, 2, \dots, N$; $k_i = 1, 2, \dots,$

$$\frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{h_i}.$$

Иными словами, нужно выделить тот малый параллелепипед, к которому принадлежит по своим параметрам $\{x_i^\mu\}$ α_μ -й элемент, и запомнить принадлежность элемента к этому параллелепипеду, чтобы в конце сортировки определить число и номера элементов, попавших в любой из малых параллелепипедов. По существу требуется построить m-мерную "гистограмму" (в отличие от общепринятого понятия этого термина [1] в дальнейшем слово "гистограмма" будем выделять кавычками), а также запомнить номера элементов, попавших в тот или иной параллелепипед "гистограммы".

Алгоритм построения "гистограммы" основан на следующем. Из большого параллелепипеда выделяется первый малый:

$$\left. \begin{aligned} x_{1 \min} < x_1 &\leq x_{1 \min} + h_1 \\ x_{2 \min} < x_2 &\leq x_{2 \min} + h_2 \\ \dots &\dots \\ x_{m \min} < x_m &\leq x_{m \min} + h_m \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

По списку параметров $\{x_i\}$ проверяется наличие элементов, удовлетворяющих неравенствам (2). Если встречается α_μ , у которого все $\{x_i^\mu\}$ удовлетворяют неравенству (2), то относим этот элемент к первому параллелепипеду, запоминая его первоначальный порядковый номер α_μ . Таким образом проверяются все N предметов. Затем фиксируются первые полуинтервалы по всем координатам x_i ($i = 2, 3, \dots, m$) и последовательно выбираются полуинтервалы по x_1 до $x_1 = x_{1 \max}$, после чего берется второй полуинтервал по x_2 и повторяется перебор полуинтервалов по x_1 до тех пор, пока x_2 не будет рассмотрено во всем своем интервале от $x_{2 \min}$ до $x_{2 \max}$. Следующим шагом изменяется полуинтервал по x_3 и повторяется процедура перебора по x_1 и x_2 . Такой процесс продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все малые параллелепипеды. Для каждого элементарного объема "гистограммы" проверяется (так же, как и для первого малого параллелепипеда) наличие элементов, параметры которых удовлетворяют соответствующим неравенствам.

Для реализации алгоритма комплектования партий пластин составлена программа для ЭВМ типа М-20, состоящая из блоков:

- формирования констант в соответствии с общим числом пластин N;
- формирования m-мерного интервала "гистограммы";
- последовательного выбора пластин, параметры которых лежат в пределах интервала "гистограммы";
- комплектования и печати партий пластин по p штук;
- изменения интервала "гистограммы".

Программа работает до тех пор, пока не будет построена вся "гистограмма".

Характеристики программы: количество пластин $N \leq 3000$; число параметров $m \leq 10$; дополнительное условие $Nm \leq 3000$.

После того как исходная совокупность пластин с заданной точностью рассортирована, представляется целесообразным применение ЭВМ на последующих этапах технологии производства ИПС. Для этой цели авторы рассматривали задачу расчета на ЭВМ времени разделительной диффузии (этап разгонки) для каждой партии в приближенной постановке [2, 3], поскольку даже инженерные оценки для времени разделительной диффузии существенны. Так, для одной из технологий время разделительной диффузии изменяется от 28 ч (для минимальной толщины) до 38 ч (для максимальной толщины).

ВЫВОДЫ

Применение ЭВМ для комплектования партий пластин с эпитаксиальными пленками позволяет дифференцированно вести технологический процесс, что снижает трудоемкость и повышает процент выхода годных ИПС при их серийном производстве.

Разработанный алгоритм сортировки N элементов по m параметрам может быть применен и на других операциях технологического процесса производства ИПС, в частности при разбраковке годных ИПС на группы по электрическим параметрам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крамер Г. Математические методы статистики. Перевод с англ. под ред. акад. А.Н. Колмогорова. М., ИИЛ, 1948.
2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Физматгиз, 1963.
3. Болтакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. Физматгиз, 1961.

Статья поступила 8 декабря 1969 г.

УДК [539.23:621.315.592]:681.3

ОЦЕНКА ОБЪЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДЕФЕКТНОСТИ ОКИСНОЙ ПЛЕНКИ КРЕМНИЯ

В производстве кремниевых полупроводниковых приборов по планарной технологии одним из видов технологического брака, снижающим выход годной продукции, является нарушение "сплошности" окисных пленок (дефекты типа точечных отверстий) [1]. Образование дефектов в пленках SiO_2 можно объяснить несовершенством диффузионно-окислительных процессов, фотолитографии и другими причинами. Для определения дефектности пленки SiO_2 необходим физический метод контроля данных дефектов. Поскольку указанные дефекты SiO_2 представляют совокупность дискретных случайных величин, то объективность оценки дефектности окисла тем или иным физическим способом должна быть обоснована методами математической статистики.

В настоящее время в производстве кремниевых полупроводниковых приборов находит применение электрохимический метод определения дефектов в пленках SiO_2 [2]. В основе данного метода лежит использование реакции электролиза водного раствора хлористого калия, капля которого при соответствующей полярности напряжения между электродом в капле и кремниевой подложкой засасывается в сквозное отверстие окисла. Этот метод позволяет определить не только плотность дефектов d , т.е. число дефектов окисной пленки, приходящихся на единицу площади поверхности, но и ориентировочный размер дефектов ϕ . Для использования величин d и ϕ при прогнозировании качества полупроводниковых приборов в ходе их производства [3] нужна уверенность в том, что метод, на основе которого данные величины определялись, является прежде всего неразрушающим и воспроизводимым. Кроме того, необходимо иметь представление о равномерности распределения контролируемых дефектов SiO_2 по пластине. Перечисленные задачи были решены на основе экспериментальных исследований с применением методов математической статистики [4].

В результате электролиза водного раствора KCl образуются ионы K^+ и OH^- [5]. Ионы K^+ са-

мостоятельно, а ионы OH^- в соединении с K^+ могут оказать разрушающее действие на структуру Si-SiO_2 . Воздействие ионов K^+ может привести к увеличению поверхностного заряда в окисле Q_{s_2} по сравнению с первоначальным Q_{s_1} [6]. Реакция KOH с кремнием приведет к нарушению структуры поверхности кремния [5]. Для того чтобы избежать этого, после проведения исследований электрохимическим методом пластины необходимо промывать в деионизованной воде.

Используя метод вольт-фарадных характеристик для нахождения поверхностного заряда Q_s [7] и непосредственное наблюдение поверхности кремния под микроскопом, можно показать, что применяемые концентрации раствора KCl (1,5 и 10%) с последующей отмыжкой пластин в деионизованной воде не оказывают разрушающего влияния на первоначальное состояние структуры Si-SiO_2 .

Для трех термически окисленных пластин кремния (КЭФ 4,5) были определены поверхностные заряды Q_{s_1} и Q_{s_2} соответственно до проведения электролиза раствора KCl и после. Вычисленные средние значения \bar{Q}_{s_1} и \bar{Q}_{s_2} , средние квадратические отклонения S_{Q_s} , модули экспериментальной разности $|Q_{s_1} - Q_{s_2}|_э$ теоретически значимой разности $|Q_{s_1} - Q_{s_2}|_т$ приведены в таблице.

Номер пластины	Число замеров	\bar{Q}_{s_1}	\bar{Q}_{s_2}	S_{Q_s}	$ Q_{s_1} - Q_{s_2} _э$	$ Q_{s_1} - Q_{s_2} _т$
1	19	1,20	1,24	0,08	0,04	0,08
2	8	1,26	1,22	0,04	0,04	0,08
3	19	1,39	1,32	0,11	0,07	0,12

Примечание. Все результаты расчета поверхностного заряда приведены в единицах заряда $\text{CGSE}/\text{см}^2$ и имеют дополнительный множитель 10^{12} .

Теоретически значимая разность $|Q_{s_1} - Q_{s_2}|_T$, приведенная в таблице, вычислялась на основе t -критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,95$ и числе степеней свободы соответственно для каждой пластины [4]

$$f_1 = 18; \quad f_2 = 8; \quad f_3 = 18.$$

Статистически незначимая разница средних значений поверхностных зарядов показывает, что после промывки пластин в деионизованной воде влияния ионов K^+ не ощущается.

Оценка воспроизводимости электрохимического метода проводилась следующим образом. На каждую из исследуемых пластин равномерно наносились капли раствора KCl . Подсчитывалась средняя плотность дефектов по пластине. Опыт по замерам дефектов повторяли несколько раз. Если колебания средней плотности дефектов от опыта к опыту обусловлены только случайными факторами, то метод считается воспроизводимым, в противном случае – невоспроизводимым.

Введем обозначения:

N_{ijk} – число дефектов в k -й капле i -й пластины при j -м опыте;

S_{ijk} – площадь k -й капли i -й пластины при j -м опыте;

m_{ij} – число капель в i -й пластине при j -м опыте;

m_i – число опытов на i -й пластине;

m – число пластин;

N_{ij} – общее число дефектов в i -й пластине при j -м опыте;

S_{ij} – общая площадь капель в i -й пластине при j -м опыте.

Средняя плотность дефектов на i -й пластине по всем замерам

$$d_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} N_{ij}}{\sum_{j=1}^{m_i} S_{ij}} \quad (1)$$

Так как в каждой капле число дефектов распределено по закону Пуассона, то общее число дефектов в j -м опыте на i -й пластине имеет распределение Пуассона с некоторым параметром λ_{ij} . Поскольку на всю пластину капли KCl наносились равномерно, то при воспроизводимости опытов

$$\lambda_{ij} = d_i \cdot S_{ij} \quad (2)$$

Для закона Пуассона параметр λ_{ij} является одновременно и математическим ожиданием и дисперсией случайной величины N_{ij} . Поэтому сумма

$$y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i} \frac{(N_{ij} - \lambda_{ij})^2}{\lambda_{ij}} \quad (3)$$

имеет χ^2 – распределение числом степеней свободы

$$f = \sum_{i=1}^m (m_i - 1). \quad (4)$$

Если значение $y > \chi^2_{1-P_{\text{дов}}}(f)$, то гипотеза о воспроизводимости отвергается, т.е. опыт невоспроизводим. $\chi^2_{1-P_{\text{дов}}}(f)$ определяется по табл.6 в работе [4], значение $P_{\text{дов}}$ рекомендуется взять равным 0,95.

После подстановки опытных данных в формулы (1) – (4) получены следующие результаты:

$$y = 21,45, \quad f = 22 \quad \text{и} \quad \chi^2_{0,95}(22) = 33,9.$$

Таким образом, можно считать, что опыты воспроизводимы и электрохимический метод новых дефектов в пленку SiO_2 не вносит.

Оценка равномерности распределения плотности дефектов по пластине проводилась следующим образом. В i -й пластине при j -м опыте вычислялась средняя плотность дефектов

$$d_{ij} = \frac{N_{ij}}{S_{ij}} \quad (5)$$

При равномерном распределении плотности дефектов их число в каждой капле должно быть распределено по закону Пуассона с параметром

$$\lambda_{ijk} = d_{ij} \cdot S_{ijk} \quad (6)$$

Вычислялись y и f :

$$\left. \begin{aligned} y &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{m_{ij}} \frac{(\lambda_{ijk} - N_{ijk})^2}{\lambda_{ijk}}, \\ f &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i} (m_{ij} - 1). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

При $f \leq 100$ значение $\chi^2_{1-P_{\text{дов}}}(f)$ определялось по табл. 6 в работе [4]. При $f > 100$ применялась формула

$$\chi^2_{1-P_{\text{дов}}} = 0,5 [\sqrt{2f-1} + \psi(P_{\text{дов}})]^2, \quad (8)$$

где $\psi(P_{\text{дов}})$ определялась по табл.2 в работе [4], $P_{\text{дов}}$ бралась равной 0,99. После подстановки опытных данных в формулы (6) – (8)

$$y = 763, \quad f = 220 \quad \text{и} \quad \chi^2_{0,99}(f) = 271, \quad \text{т.е.} \quad y > \chi^2_{0,99}(f).$$

Таким образом, плотность дефектов по пластине распределена неравномерно.

1. Электрохимический метод определения дефектности окисной пленки кремния с последующей отмывкой пластин в деионизованной воде является неразрушающим и воспроизводимым.

2. Воспроизводимость замеров дефектности SiO₂ электрохимическим методом позволяет применять его в процессе производства для оценки воздействия соответствующих технологических операций на образование дефектов в SiO₂.

3. Показано, что дефекты SiO₂ на пластине распределены неравномерно. Это необходимо учитывать при контроле качества окисных пленок в ходе технологического процесса.

4. Предложена методика проверки воспроизводимости опытов и равномерности распределения плотности дефектов SiO₂ на основе χ^2 — критерия Пирсона, которая может быть распространена на другие физические способы определения дефектов диэлектрических пленок и полупроводниковых материалов (дислокации, дефекты упаковки и т.д.).

Статья поступила 15 декабря 1969 г.

1. Lawson T. R. , A Predication of the Photoresist Influence on Integrated Circuit Yield, "SCP and Solid State Technology", 1966, v.9, N 7, p.22-25.

2. Фогель В. А. Электрохимический метод определения пористости диэлектрических пленок. "Электронная техника", сер.2, 1969, вып. 4.

3. Валиев К. А., Банковский Ю. В., Раков А. В. Повышение вероятности выхода годных кремниевых интегральных микросхем, "Электронная промышленность", 1970, вып. 1, стр. 52.

4. Ван дер Варден Б. Л. Математическая статистика, М., ИИЛ. 1960.

5. Неницеску К. Общая химия, М., "Мир", 1968.

6. Kooi E. The Surface Charge in Oxidized Silicon "Philips Res. Rept's", 1966, v.21, p.477-495.

7. Whelan M. W. "Philips Res. Rept's", 1965, v.20, p.620-639.

УДК 539.232:620.19

К. А. ВАЛИЕВ, Ю. В. БАНКОВСКИЙ, А. В. РАКОВ

Повышение вероятности выхода годных КРЕМНИЕВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Экспериментальные исследования дефектности окисла в ходе технологического процесса изготовления кремниевых интегральных микросхем

Основой кремниевых интегральных микросхем (КИС) является структура Si-SiO₂. Ее совершенство оказывает преобладающее влияние на качество изготавливаемых приборов. В свою очередь, совершенство структуры Si-SiO₂ в значительной мере зависит от наличия в окисной пленке крупных дефектов [1]: пор, границ кристаллов, микроканалов, микротрещин. Суммарная плотность дефектов в окисле

$$d = \sum_i d_i, \quad (1)$$

где d_i — плотность дефектов, вносимых в окисел в результате воздействия i -го технологического механизма (дефектность фотошаблонов или фоторезиста, физико-химические явления, связанные с процессами окисления, диффузии и др.).

Представляет научный и практический интерес проведение исследований дефектности окисла по операционно для всего технологического процесса. Так как указанные дефекты в SiO₂ являются совокупностью дискретных случайных величин, то для

оценки результатов исследований необходимо применение методов математической статистики.

"Опасность" дефектов в окисле для КИС проявляется при определенной технологической операции. Если данную "опасную" операцию нумеровать соответствующим значением индекса j , то для КИС, рассмотренной в работе [2], j , равная 1, — первая фотолитография с последующей диффузией фосфора для создания скрытого слоя; j , равная 2, — вторая фотолитография с последующей диффузией бора для создания изолирующих переходов; j , равная 3, — четвертая фотолитография с последующей диффузией фосфора для создания эмиттера; j , равная 4, — пятая фотолитография с последующим напылением алюминия для создания контактов.

Таким образом, учитывая формулу (1) для каждой j -й операции типового технологического процесса [1,3–5] и топологии [2] КИС, необходимо определить плотность дефектов $d_i^{(j)}$, вносимых в окисел конкретным i -ым технологическим механизмом при j -й операции; соответствующие размеры дефектов $\Phi_i^{(j)}$; вероятность "опасности" $P_i^{(j)}$ диффузии легирующей примеси (бор, фосфор) или проникновения напыленного алюминия через дефект размером $\Phi_i^{(j)}$; участки КИС, попадание дефектов в которые при соответствующих j -ых операциях приводит к выходу из строя схемы.

Критичные площади $S_m^{(j)}$ данных участков (где m — номер критичного участка) определялись в соответствии с КИС, рассмотренными в работе [2]. Ниже приведены результаты проведенных исследований дефектности окисла в ходе технологического процесса изготовления КИС.

Определение дефектов, возникающих непосредственно после окислительно-диффузионных процессов

Проведение термического окисления кремния и диффузионных процессов может являться причиной образования дефектов окисной пленки. Так, при высокотемпературных методах выращивания пленки двуокиси кремния получается система из двух граничащих фаз: аморфной SiO_2 и монокристаллического кремния. При остывании образцов в области границы раздела фаз возникают большие механические напряжения, обусловленные существенной разницей коэффициентов теплового расширения этих материалов [6, 7]. Учитывая свойства реальной поверхности кремния (дефекты, внесенные механической и химической обработками), можно ожидать появления на границе раздела фаз градиентов напряжений, в результате которых возможно образование микротрещин в окисле. При проведении последующих диффузионных процессов возникают трехслойные системы (например, фос-

форное стекло — аморфный слой SiO_2 — кремний). Распределение полей напряжений в этом случае становится еще более сложным, что также может способствовать появлению дефектов в окисле.

Для экспериментального определения дефектности окисла можно использовать различные методы: электрографический [8], электрохимический [9] и хлорное травление [1]. Авторы применили электрохимический метод, являющийся неразрушаемым и воспроизводимым [10]. При этом методе на окисленную поверхность кремния наносятся капли водного раствора хлористого калия (KCl). Затем между каплей и кремниевой подложкой подается внешнее напряжение: "минус" — на кремниевую подложку, "плюс" — на электрод в капле (так называемая "прямая" полярность). При такой полярности происходит засасывание электролита в микротоверстия в окисле, приводящее к замыканию цепи электролит — кремниевая подложка. Наблюдая под микроскопом локальное выделение пузырьков газа, образующихся при электролизе, и измеряя величину тока, можно оценить число дефектов на единицу площади поверхности (плотность — $d_i^{(j)}$), а также и их ориентировочный размер $\Phi_i^{(j)}$. Для определения размеров дефектов использовалась методика, приведенная в работе [9]:

1. При дефектах в окисле размером 0,01 — 0,1 $\mu\text{м}$ ток при "прямой" полярности напряжения не зависит от концентрации раствора KCl, а при обратной полярности равен нулю.

2. При дефектах размером более 0,1 $\mu\text{м}$, но менее 1 $\mu\text{м}$ наблюдается сильная зависимость тока при прямой полярности от концентрации раствора KCl; при обратной полярности ток равен нулю.

3. При дефектах более 1 $\mu\text{м}$ при прямой и обратной полярности напряжений величины токов практически одинаковы, т.е. вентильный эффект отсутствует.

На основе описанного метода проведены исследования дефектов SiO_2 , вносимых i -ми технологическими механизмами, связанными непосредственно с физико-химическими явлениями процессов окисления при соответствующих j -ых операциях. Результаты экспериментального определения плотностей дефектов $d_i^{(j)}$ и их размеров $\Phi_i^{(j)}$, характерных для рассматриваемого случая, приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что первый, второй и третий термические окислы имеют плотности дефектов на два — три порядка меньше, чем окислы, полученные после соответствующих диффузионных процессов. Средний размер дефектов приблизительно для всех окислов одинаков — 0,5 $\mu\text{м}$. В связи с тем, что методика, приведенная в работе [9], позволяет оценить три интервала размеров дефектов, в таблице для соответствующих технологических факторов (оки-

слительно-диффузионные процессы, фоторезист даны три значения индекса i . Кроме того, в таблице приведены значения плотностей дефектов относительно плотности дефектов, вносимых в окисел при первом термическом окислении механизмом $i = 2$ при $j = 1$, т.е. $d_i^{(j)} = d_i^{(j)} / d_2^{(1)}$.

Измерения плотности дефектов термического окисла по пластине показали, что ее распределение не является равномерным (рис. 1). По краю пластины плотность дефектов приблизительно в три раза больше, чем в центре. Неравномерность распределения дефектов была также подтверждена статистическими методами [10].

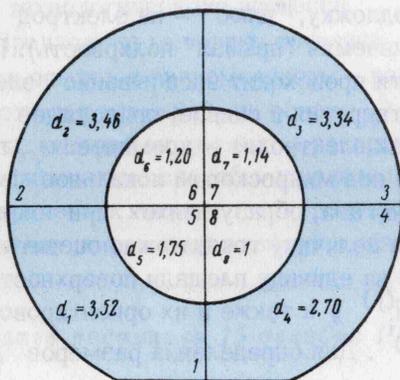


Рис. 1. Экспериментальные данные распределения относительной плотности дефектов по пластине (значения плотностей дефектов даны относительно плотности дефектов в восьмой области пластины)

Определение плотности $d_i^{(j)}$ и размеров $\Phi_i^{(j)}$, вносимых дефектами фоторезиста

Качество применяемых в полупроводниковом производстве фоторезистов [5] определяется не только их химическим составом, но и наличием в них микродефектов (пыли, пузырьков воздуха и т.д.). При негативном фоторезисте данные дефекты экранируют от облучения. В данных участках фоторезист не полимеризуется, что приводит при операциях травления к появлению точечных отверстий в окисле. При позитивном фоторезисте микродефекты экранируют его микроучастки от облучения, что является причиной образования дефектов окисла. В этом случае вероятность образования дефекта в данном месте окисла при проведении операций травления будет в большой степени зависеть от соотношения толщин слоя фоторезиста и попавшего в него дефекта. В наших исследованиях применялся типовой позитивный фоторезист [5]. Плотность дефектов $d_i^{(j)}$, вносимых непосредственно фоторезистом, определялась как разность плотности дефектов окисла, на котором проводился типовой процесс фотолитографии [5] (без фотошаблона) с исследуемым фоторезистом, и плотности

дефектов окисла до воздействия фотолитографического процесса. При этом дефекты окисла и их размеры определялись электрохимическим способом [9]. Значимость разницы плотностей дефектов проверялась статистическими методами [10]. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, плотность дефектов, вносимых в окисел фоторезистом, в три раза больше плотности дефектов первого окисла. Средний размер дефектов 0,5 мкм.

Определение плотности $d_i^{(j)}$ и размеров $\Phi_i^{(j)}$, вносимых в окисел дефектностью фотошаблонов

При использовании позитивного фоторезиста основными дефектами фотошаблонов являются нарушения металлизированного слоя, приводящие к засветке фоторезиста и последующему образованию дефектов в окисле при травлении.

Исследования дефектности окисла, обусловленной фотошаблонами, проводились с использованием специального комплекта из двух фотошаблонов, изготовленных по типовой технологии [5]. Один фотошаблон использовался для фиксации всех имеющихся на нем дефектов (нарушений металлизированного слоя). Данные дефекты (отверстия различного диаметра, вырывы, царапины) определялись микроскопом на просвет. С помощью этого же фотошаблона проводились операции фотолитографии с использованием типового позитивного фоторезиста [5]. Другой фотошаблон предназначался для гравировки требуемого рисунка алюминия, напыленного на окисел. "Опасность" того или иного дефекта в окисле, внесенного фотошаблоном, определялась по короткому замыканию между напыленным алюминием и кремниевой подложкой. Проводя операции совмещения фотошаблона-1 с окисленной пластиной, можно проследить динамику роста дефектов фотошаблона в зависимости от числа совмещений. Данные результаты приведены на рис. 2 и 3. Средние плотности дефектов фотошаблона возрастают с увеличением числа совмещений. Поэтому в расчетах, приведенных ниже, использовались средние плотности дефектов окисла, вносимых фотошаблоном после 100 совмещений. Дефекты, размеры которых определялись с помощью микроскопа МББ-1А с приставкой МОВ-1-15, можно разделить на группы:

- с диаметром менее 2 мкм (средняя величина $\Phi_i^{(j)} = 1$ мкм);
- с диаметром более 2 мкм (средний размер данных дефектов, исходя из экспериментального распределения, составлял 15 мкм);
- типа "царапина" (средний размер 4 мкм);
- типа "вырыв" (средний размер 30 мкм).

Размеры дефектов типа "царапина" или "вырыв" характеризовались диаметром эффективного

Операция	Характеристики критичного участка КИС	Технологические факторы i-го механизма, вызывающего появление дефекта в окисле	Характеристики дефектов окисла			
			Номер i	$d(j)_0$	$\Phi(j)_0$, мкм	$p(j)_0$
j = 1	Общий периметр изолирующих переходов $I_1^j = I_1^j \cdot 20,3 \text{ мкм}$ [2]. В результате диффузии фосфора через дефекты в окисле в область критичного участка может уменьшиться напряжение пробоя перехода и увеличиться ток утечки	Физико-химические явления, связанные с процессом первого термического окисления	1	1	0,01 - 0,1	0
			2	1	0,5	0
			3	1	> 1	1
			4	3,1	0,01 - 0,1	0
			5	1	0,5	0
			6	1	> 1	1
			7	0,3	1	0
			8	0,9	15	1
			9	0,4	4	1
			10	0,4	30	1
j = 2	Площади баз, сопротивлений и окон коллектора $S_j^m = S_2^m = 0,16 \text{ мкм}^2$ [2]. В результате диффузии бора через дефекты в окисле в области критичного участка могут появиться паразитные токи утечки	Физико-химические явления, связанные с процессом второго термического окисления (маскирующий окисел при диффузии бора для получения изолирующих переходов) Дефектность фоторезиста при фотолитографии окон под "разделительную" диффузию Дефектность фотошаблона для окон разделительной диффузии	1	0,4	0,01 - 0,1	0
			2	1	0,5	0
			3	1	> 1	1
			4	3,1	0,01 - 0,1	0
			5	1	0,5	0
			6	1	> 1	1
			7	0,3	1	0
			8	0,9	15	1
			9	0,4	4	1
			10	0,4	30	1
j = 3	Периметры изолирующих переходов $I_1^j = 20,3 \text{ мкм}$. Попадание фосфора при "эмиттерной" диффузии через дефекты окисла в область критичного участка может уменьшить пробивное напряжение перехода	Физико-химические явления, связанные с процессами третьего термического окисления, последующего наращивания боросиликатного стекла при "загонке" бора, травления стекла и повторного наращивания окисла при "разгонке" бора (изготовление базы) Дефектность фоторезиста при фотолитографии базовых окон Эмиттерных окон	1	2,5	0,01 - 0,1	0
			2	1	0,5	0
			3	1	> 1	1
			7	3,1	0,01 - 0,1	0
			8	1	0,5	0
			9	1	> 1	1
			10	3,1	0,01 - 0,1	0
			11	1	0,5	0
			12	1	> 1	1

Операция	Характеристики критичного участка КИС	Технологические факторы i-го механизма, вызывающего появление дефекта в окисле	Характеристики дефектов окисла			
			Номер i	$d_{i0}(j)$	$\Phi_i(j)$, мкм	$p_i(j)$
j = 3	<p>Периметры изолирующих переходов $l_1 = 20,3 \text{ мкм}$. Попадание фосфора при "эмиттерный" диффузии через дефекты окисла в область критичного участка может уменьшить пробивное напряжение перехода</p> <p>Периметры баз и сопротивлений $l(j) = l(3) = 15,2 \text{ мкм}$ [2]. Диффузия фосфора через дефекты окисла может привести к уменьшению пробивных напряжений р-п перехода</p>	<p>Дефектность фотошаблона для базовых окон</p> <p>для эмиттерных окон</p> <p>Физико-химические явления, связанные с процессами окисления при "разгонке" бора для базы</p> <p>Дефектность фоторезиста при фотолитографии эмиттерных окон</p> <p>Дефектность фотошаблонов для эмиттерных окон</p>	16	0,3	1	0
			17	0,9	15	1
			18	0,4	4	1
			19	0,4	30	1
			20	0,3	1	0
			21	0,9	15	1
			22	0,4	4	1
			23	0,4	30	1
			4	-	0,01 - 0,1	0
			5	500	0,5	0
6	-	> 1	-			
j = 4	<p>Периметры изолирующих переходов $l_1 = 20,3 \text{ мкм}$. Площадь алюминиевых токопроводящих дорожек $S(j) = S_5 = 0,27 \text{ мм}^2$ [2]. Для данных критичных участков опасность дефектов заключается в попадании в них алюминия при его напылении, и в связи с этим возможно короткое замыкание соответствующих областей КИС</p>	<p>Физико-химические явления, связанные с процессами третьего термического окисления, наращивания боро-силикатного стекла при "загонке" бора, травления стекла, повторного наращивания окисла при "разгонке" бора (изготовление базы), наращивания фосфорно-силикатного стекла и окисла при "загонке", "разгонке" фосфора и активации золота (изготовление эмиттера)</p> <p>Дефектность фоторезиста при фотолитографии окон для баз и сопротивлений</p> <p>для эмиттеров</p> <p>для контактов</p>	13	3,1	0,01 - 0,1	0
			14	-	0,5	0
			15	-	> 1	-
			24	0,3	1	0
			25	0,9	15	1
			26	0,4	4	1
			27	0,4	30	1
			1	-	0,01 - 0,1	-
			2	2,5	0,5	0,05
			3	-	> 1	> 0,1
			10	3,1	0,01 - 0,1	0,05
			11	-	0,5	> 0,1
			12	-	> 1	> 0,1
			13	3,1	0,01 - 0,1	0,05
			14	-	0,5	> 0,1
			15	-	> 1	> 0,1
			16	3,1	0,01 - 0,1	0,05
			17	-	0,5	> 0,1
18	-	> 1	> 0,1			

	Дефектность фотошаблона для окон баз и сопротивлений	28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39	0,3 0,9 0,4 0,4 0,3 0,9 0,4 0,3 0,3 0,9 0,4 0,3	1 15 4 30 1 15 4 30 1 15 4 30	0,1 1 1 1 0,1 1 1 1 1 0,1 1 1 1
	Дефектность фотошаблона для окон эмиттеров	4 5 6	500 —	0,01 - 0,1 0,5 > 1	— 0,05 ≥ 0,1
	Дефектность фотошаблона для окон контактов	19 20 21	3,1 —	0,01 - 0,1 0,5 > 1	— 0,05 ≥ 0,1
	Дефектность фоторезиста при фотолитографии эмиттерных окон	22 23 24	3,1 —	0,01 - 0,1 0,5 > 1	— 0,05 ≥ 0,1
	Дефектность фотошаблона для эмиттерных окон	40 41 42 43	0,3 0,9 0,4 0,4	1 15 4 30	0,1 1 1 1
	Дефектность фотошаблона для контактных окон	44 45 46 47	0,3 0,9 0,4 0,4	1 15 4 30	0,1 1 1 1
	Дефектность фотошаблона для окон баз и сопротивлений	7 8 9	500 —	0,01 - 0,1 0,5 > 1	— 0,05 ≥ 0,1
	Дефектность фотошаблона для окон эмиттеров	25 26 27	3,1 —	0,01 - 0,1 0,5 > 1	— 0,05 ≥ 0,1
	Дефектность фотошаблона для контактных окон	48 49 50 51	0,3 0,9 0,4 0,4	1 15 4 30	0,1 1 1 1

Периметры баз и сопротивлений $l_{(4)} = 15,2 \text{ м.м.}$
 $\frac{1}{3}$
 Проникновение алюминия через дефекты окисла может привести к замыканию смежных областей

Периметры эмиттера $l_{(4)} = 16,3 \text{ м.м.}$
 Попадание алюминия при его напылении через дефект окисла может привести к замыканию смежных областей КИС

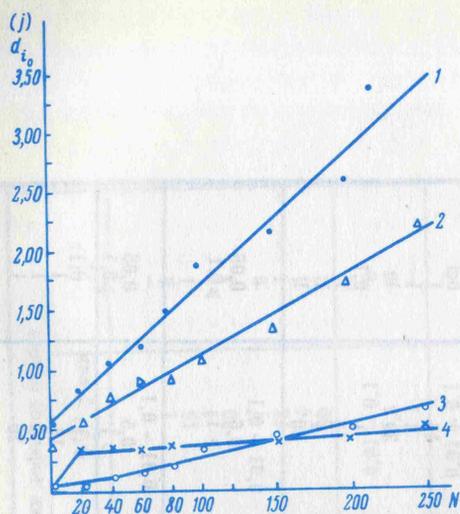


Рис. 2. Зависимость средней относительной ($d_{i0}^{(j)} = d_i^{(j)} / d_2^{(1)}$) плотности дефектов (различного типа) фотошаблона от числа совмещений:
 1 — общая относительная плотность дефектов; 2 — относительная плотность дефектов типа "отверстие"; 3 — относительная плотность дефектов типа "вырыв"; 4 — относительная плотность дефектов типа "царапина"

круга, площадь которого равнялась средней площади указанных дефектов.

Усредненные экспериментальные значения размеров дефектов вместе с соответствующими значениями плотностей (для фотошаблонов после

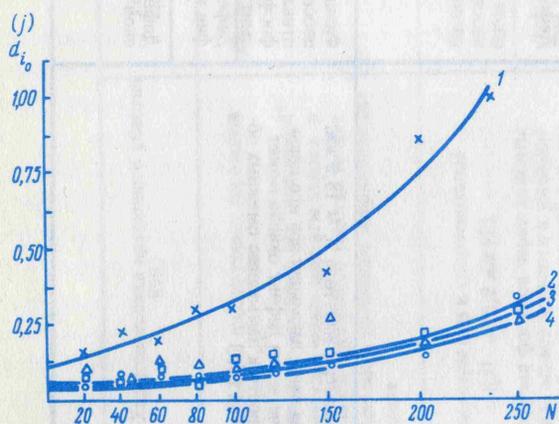


Рис. 3. Зависимость средней относительной ($d_{i0}^{(j)} = d_i^{(j)} / d_2^{(1)}$) плотности дефектов типа "отверстие" фотошаблона от числа совмещений:
 1 — размер дефектов менее 2 мкм; 2, 3, 4 — размер дефектов более 2 мкм (диаметр дефектов соответственно возрастает для кривых 2, 3, 4)

100 совмещений) приведены в табл.1. Для технологического фактора "дефектность фотошаблона" индекс i принимает четыре значения в соответствии с вышеопределенными четырьмя группами размеров. Наибольшую плотность дефектов, вносимых в окисел фотошаблоном, имеют дефекты размером более 2 мкм (средний размер около 15 мкм).

Для операций $j = 3, 4$ вклад в образование дефектов вносят фотошаблоны не только данных операций, но и предшествующих: базовый фотошаблон при $j = 3$, базовый и эмиттерный фотошаблоны при $j = 4$.

Определение вероятности "опасности" $p_i^{(j)}$ проникновения алюминия и диффузии бора или фосфора через дефекты размером $\Phi_i^{(j)}$

В данном случае для $p_i^{(j)}$ индексы j и i принимают рассмотренные значения i -ых технологических механизмов при j -ых операциях (см. табл.1). При $j = 4$ опасно проникновение в дефекты окисла алюминия. Вероятность проникновения алюминия $p_i^{(j)}$ (где $j = 4$) определялась экспериментально. В зависимости от размера дефекта вероятность "опасности" $p_i^{(4)}$ определялась следующим образом:

1. На ячейках фотошаблона—1 фиксировались дефекты, попадающие непосредственно в область ячейки фотошаблона—2 (при совмещении данных фотошаблонов).
2. На выгравированные в окисле с помощью фотошаблонов—1 ячейки напылялся алюминий через маску, полученную с помощью фотошаблона—2.
3. Подсчитывалось число ячеек, дающих короткое замыкание между алюминием и кремниевой подложкой.
4. Определялась вероятность проникновения алюминия $p_i^{(4)}$ в зависимости от типа и размера дефекта.

При наличии в ячейке нескольких дефектов для расчета $p_i^{(4)}$ учитывался наибольший по размеру дефект. Эксперименты показали, что проникновение алюминия в дефекты типа "царапина" и "вырыв" являются достоверным событием, т.е. $p_i^{(4)} = 1$. Вероятность проникновения алюминия в круглые отверстия в окисле в зависимости от их диаметра приведена в табл. 2. Для $p_i^{(4)}$ даны интервальные оценки, полученные с помощью статистических методов [11] при доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,95$. При расчетах, приведенных ниже, использовалась верхняя оценка $p_i^{(4)}$ для дефектов размером более 1 мкм и нижняя — для дефектов размером менее 1 мкм. Эти же вероятности приведены и в табл. 1.

Таблица 2

Диаметр дефекта, мкм	Вероятность проникновения алюминия $p_i^{(4)}$		
	экспериментальная	нижняя граница	верхняя граница
< 3	0,099	0,051	0,147
3-6	0,459	0,346	0,572
6-9	0,692	0,567	0,817
9-12	0,780	0,665	0,895

При операциях $j = 1, 2, 3$ "опасность" представляет образование р-п перехода в результате диффузии через микроотверстие в окисле фосфора или бора. Непосредственное определение вероятности "опасности" диффузии бора или фосфора $p_i^{(j)}$ ($j = 1, 2, 3$) из-за технических трудностей в настоящее время невозможно. Поэтому оценка данной вероятности проводилась на основе результатов работ [12, 13]. Расчеты показали, что в случае размеров дефектов окисла порядка 0,5 мкм $p_i^{(j)} = 0$, при размере дефекта порядка 2 мкм (и более) $p_i^{(j)} = 1$. Оценка вероятности "опасности" диффузии в зависимости от размера дефектов окисла приведена в табл. 1.

Расчет выхода годных КИС Р(d) на основе полученных данных

На основе данных, полученных в результате всего комплекса исследований, представляется возможным оценить вероятность выхода функционирующих приборов. Приближенный расчет вероятности выхода годных КИС ранее уже проводился в работе Лоусона [2]. В отличие от этой работы нами были учтены опущенные там факторы технологического процесса, свойственные реальным условиям производства КИС: возникновение дефектов в ходе всего технологического процесса, размер дефектов, вероятность "опасности" диффузии примеси или проникновения алюминия через данные дефекты. С учетом данных факторов после соответствующих математических преобразований была получена следующая формула вероятности выхода годных КИС:

$$P(d) = \prod_j P^{(j)} = \prod_{j,i} P_i^{(j)} \quad (1)$$

$$= \exp \left[- \sum_{i,j,m} (d_i^{(j)} S_m^{(j)} p_i^{(j)}) \right], \quad (2)$$

где $d_i^{(j)}$ – средняя плотность дефектов, вносимых в окисел i -ым технологическим механизмом при j -й операции;

$p_i^{(j)}$ – вероятность "опасности" диффузии примеси или проникновения напыленного алюминия;

$P_i^{(j)}$ – вероятность выхода годных КИС, ограниченного образованием дефектов, вносимых в окисел i -ым механизмом при j -й операции;

$P^{(j)}$ – вероятность выхода годных КИС, ограниченного воздействием всех i -ых механизмов, присущих j -й операции;

$P(d)$ – вероятность выхода годных КИС после всех j -ых операций;

$S_m^{(j)}$ – площадь участка схемы, критичного к попаданию дефекта.

Если критичной частью схемы являются периметры переходов: изолирующих, базовых, сопротивлений или эмиттеров, то

$$S_m^{(j)} = l_m^{(j)} \Phi_i^{(j)}, \quad (3)$$

где $l_m^{(j)}$ – периметр соответствующей m -й критичной части схемы при j -й "опасной" операции;

$\Phi_i^{(j)}$ – размер (диаметр) дефектов, вносимых в окисел i -ым технологическим механизмом при j -й операции.

Подставив в формулу (2) соответствующие данные, получим значение вероятности выхода годных КИС $P(d)$. Ниже приведены результаты расчетов вероятности выхода годных КИС $P(d)$ по формуле (2) и по формулам из работы [2]:

	Расчет по формуле (2)	Расчет по формулам из работы [2]*
Операция $j = 1 \dots$	0,832	0,964
Операция $j = 2 \dots$	0,946	0,904
Операция $j = 3 \dots$	0,732	0,951
Операция $j = 4 \dots$	0,368	0,748
$P(d) = \prod_i P^{(j)} \dots$	0,229	0,620

* В этой работе d составляет 5 дефектов на схему

Введенный нами учет факторов технологического процесса позволяет наиболее реально прогнозировать выход годных схем. При этом следует отметить, что все расчеты по формуле (2) и по соответствующим формулам работы [2] дают верхнюю границу значений $P^{(j)}$ и $P(d)$. Использование формулы из работы [2] завышает $P(d)$ приблизительно в три раза.

ВЫВОДЫ

1. Дан анализ физических методов исследования дефектов окисных пленок на различных стадиях технологического процесса изготовления КИС.

2. Определены размеры и плотности дефектов в окисных пленках на различных этапах технологического процесса.

3. Выведена формула для оценки вероятности выхода функционирующих КИС, и на основе полученных данных проведен расчет по этой формуле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы технологии кремниевых интегральных схем. Окисление, диффузия, эпитаксия. Под ред. Р.Бургера и Р.Донована. Пер. с англ. под ред. В.Н.Моруковича, Ф.П.Пресса. М., "Мир", 1969.
2. Lawson T.R. A Predication of the Photoresist Influence on Integrated Circuit Yield. "SCP and Solid State Technology". 1966, v.9, N7, p.22-25.
3. Интегральные схемы. Принципы конструирования и производства. Пер. с англ. под ред. А.А.Колосова. М., "Сов. радио", 1968.
4. Введение в микроэлектронику. Пер. с англ. под ред. И.С.Степаненко. М., "Сов. радио", 1968.
5. Пресс Ф.П. Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов. М., "Энергия", 1968.
6. Haruta K., Spencer W.J. "J. Appl. Phys.", 1966, N 37, p. 2232.
7. Blech J.A., Meieran E.S. "J. Appl. Phys.", 1967, N 38, p. 2913.
8. McCloskey. "J. of the Electrochem. Soc.", 1967, v. 114, N 6.
9. Фогель В.А. Электрохимический метод определения пористости диэлектрических пленок, "Электронная техника", сер. 2, 1969, вып. 4.
10. Банковский Ю.В., Котко А.П., Рябинина В.А., Удовицкий В.П. Оценка объективности контроля электрохимическим методом дефектности окисной пленки кремния. "Электронная промышленность", 1970, вып. 1, стр. 50.
11. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений, "Наука", М., 1968.
12. Kennedy D.R., Murley P. "IBM J. Res. and-Dev.", 1966, v.10, N 1.
13. Dhaka V.A. "IBM J. Res. and Dev.", 1968, v. 12, N 6, p. 476-482.

Статья поступила 15 декабря 1969 г.

УДК 621.382.82.993

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

со Знаком Качества

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ К1-ЛБ-041-44;
К-1-ЛН-041-45; К-1-НД-041-44

ДИОДНЫЙ ТИРИСТОР КН-102 ДИОД Д-9

ТРАНЗИСТОРЫ ГТ-320; МП-25; МП-25А,Б;
МП-26А,Б; МП36; МП-39Б; МП40; МП-40А;
МП-41; МП-41А; МП-42; МП-42А,Б; КТ-805;
П-607; П-608; П-609

РАДИОЛАМПЫ 6Ф1П; 6П15П; 6П14П; 6И1П;
6П36С; 6Д20П; 1Ш21П; 6Ж1П; 6П1П; 6Н2П;
6Н1П; 6Х2П; 6Ж32П; 6Ж5П; 6Н23П; 6Ж38П

РЕЗИСТОРЫ МЛТ-0,5; МЛТ-1,0; МЛТ-2,0;
ВС-0,125; МЛТ-0,25; МЛТ-0,125

РЕЗИСТОРЫ НЕЛИНЕЙНЫЕ ММТ-9; СТЗ-23

КОНДЕНСАТОРЫ МБМ; КТ-1; КТ-2; КД-1;
КД-2; КПК-М; К-40-14; К10-П-4; К10-7;
К10-10; К74-5; К-50-13

ВАРИСТОР СН-1 АНТЕННА АТК-12-3

ОБОЛОЧКИ ДЛЯ КИНЕСКОПОВ 59ЛК2Б;
47ЛК2Б

КИНЕСКОПЫ 47ЛК2Б; 59ЛК2Б

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ ТРУБКА
8ЛО-4И

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА ИАЗ-250

ПЕРЕДАЮЩАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТРУБКА
ЛИ-213

КАРБОНИЛЬНЫЕ СЕРДЕЧНИКИ ТИПА СБ

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТВК-110 ЛМ; ТВ-ЗЕШ

ДРОССЕЛИ ДР-2ЛМ; Д-1-К

МОНООКИСЬ ГЕРМАНИЯ

ТРЕХБРОМИСТЫЙ БОР

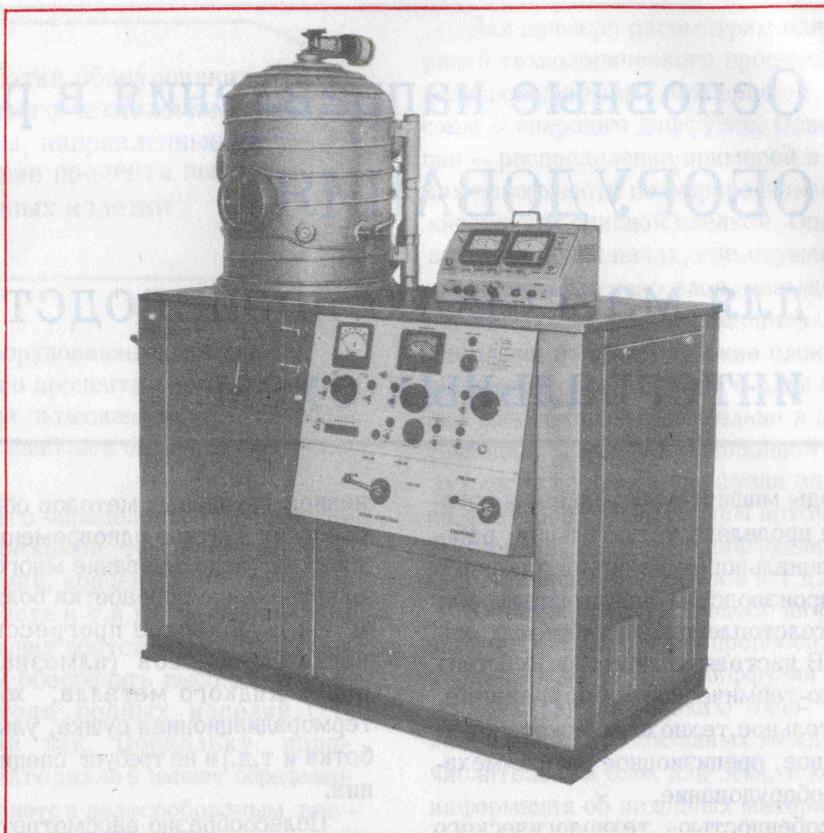
УСТАНОВКИ УВН-2М2; УВН-71Р-2;
СКИН-1; УЗСКН; КИТ-1; "КОНТАКТ-1А"
и "КОНТАКТ-3А"

СТЕНДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНЗИСТОРОВ
ЖК 277-2006; ЖК 277-5004

УДАРНЫЙ СТЕНД СУ-1

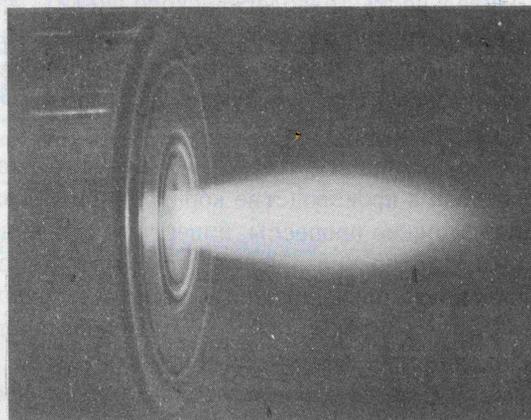
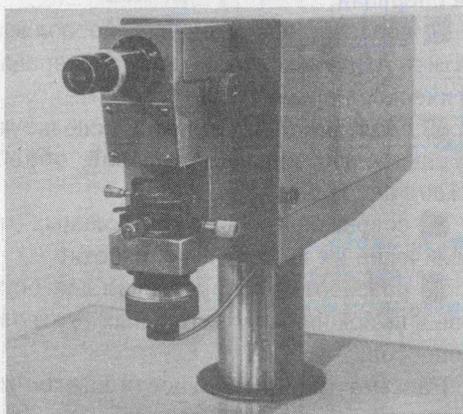
ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ РЕЗКИ КОЛЬЦЕОБ-
РАЗНОЙ ПИЛОЙ Д405-Т

ВЫСОКОВАКУУМНЫЙ НАСОС НОРД-100



ОБОРУДОВАНИЕ

ПРОГРЕСС В ЭЛЕКТРОНИКЕ В БОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ЗАВИСИТ ОТ РАЗРАБОТКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СОЗДАНИЯ НА ИХ БАЗЕ НОВЫХ ВИДОВ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО, АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.



Основные направления в развитии ОБОРУДОВАНИЯ для массового производства интегральных схем

В последние годы машиностроительными организациями отрасли проделана значительная работа по созданию специального технологического оборудования для производства полупроводниковых, тонкопленочных и толстопленочных гибридных интегральных схем. В настоящее время разработано специальное физико-термическое оборудование, вакуумное напылительное, теххимическое, контрольно-измерительное, прецизионное оптико-механическое и другое оборудование.

Характерной особенностью технологического оборудования, предназначенного для производства изделий микроэлектроники, является чрезвычайно высокая точность выполнения геометрических размеров деталей (до 0,2–0,5 мкм), высокая точность регулирования температуры ($\pm 0,3-0,5^\circ\text{C}$ при температурах 1200–1300°), измерения масс, расходов газов, поддержания скоростей газовых потоков, поддержания концентраций в растворах и т.п.

Можно определить следующий комплекс технологических процессов производства изделий микроэлектроники:

- получение исходных полуфабрикатов или заготовок (пластин кремния, подложек, плат, отрезков ленты с выводами и т.д.);
- собственное производство микросхем;
- производство корпусов изделий микроэлектроники;
- сборка изделия в корпус и его герметизация;
- контроль и испытания готовых изделий.

Длительность технологического цикла, материальные и трудовые затраты, а следовательно, и себестоимость изделий определяются технико-экономическими показателями этих основных этапов производства.

Поскольку при изготовлении полуфабрикатов и заготовок в производстве корпусов применяются технологические процессы, известные и принятые в общем приборостроении, то пути и методы сокращения цикла производства и снижения трудоемкости такие же, как и в общем приборостроении. Резкое снижение стоимости полуфабрикатов, заготовок, корпусов определяется не только снижением стоимости исходных материалов, но и приме-

нением групповых методов обработки (резка нескольких слитков одновременно на большое число пластин; использование многоместных штампов, одновременная обработка большого числа пластин и т.д.), наиболее прогрессивных технологических процессов (алмазная обработка, штамповка жидкого металла, холодная штамповка, терморadiационная сушка, ультразвуковая обработка и т.д.) и не требует специального рассмотрения.

Целесообразно рассмотреть способы снижения длительности технологического цикла, трудоемкости собственного производства микросхем, сборки изделия в корпус и его герметизации, контроля и испытания готовых изделий, обусловленные применением специального технологического оборудования.

В связи с этим важно определить направления и пути развития специального машиностроения для массового производства изделий микроэлектроники в ближайшие годы, так как для создания такого оборудования необходимо проведение большого комплекса научно-исследовательских работ, обеспечивающих научно-теоретическую базу по разработке такого оборудования.

Пути повышения производительности оборудования могут быть следующие:

■ разработка оборудования, обеспечивающего технологические процессы, направленные на повышение процента выхода годных изделий на каждой операции;

■ создание оборудования, позволяющего сократить длительность циклов на операциях технологического процесса;

■ создание оборудования, использующего оптимальное применение групповой обработки на каждой операции;

■ сокращение числа контрольных операций и увеличение их производительности;

■ разработка оборудования для осуществления новых высокопроизводительных технологических процессов.

Рассмотрим в отдельности каждое из этих направлений.

**Разработка оборудования,
обеспечивающего технологические
процессы, направленные на
повышение процента выхода
годных изделий**

Существующее оборудование, к сожалению, не обеспечивает высокого процента выхода годных изделий, поскольку не позволяет вести технологические процессы в наиболее оптимальных режимах.

Казалось бы, строго определенное соотношение технологических режимов (температуры, концентрации растворителей, концентрации диффузанта, вязкости фоторезиста и т.д.) и установленные для данного оборудования допустимые величины их отклонений должны обеспечить высокий и стабильный процент выхода годных изделий. Однако это не всегда так. Поскольку параметры исходных материалов имеют определенные разбросы, оказывается целесообразным вести технологический процесс гибко, изменяя его режимы по мере надобности. Таким образом, действительная оптимизация производства может быть полностью достигнута только при использовании в нем управляемых технологических операций и процессов. Последняя, в свою очередь, определяет необходимость использования для управления технологическим оборудованием счетно-решающих устройств и вычислительных машин.

Для примера рассмотрим одну из базовых операций технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем — операцию диффузии. Основная цель операции — распределение примесей в локальных участках поверхности полупроводниковой пластины, маскированной окисной пленкой. Операция ведется в диффузионных печах, где осуществляются окисление поверхностного слоя, насыщение поверхностного слоя примесями (загонка) и проведение диффузии в более глубокие слои пластины за счет обеднения поверхностного слоя (разгонка). Операция ведется последовательно в двухзонной печи (загонка) и затем в однозонной (разгонка). Результаты процесса диффузии зависят от множества факторов: температуры источника, температуры материала, в который диффундирует примесь, времени проведения процесса и т.д.

Оптимизировать процесс диффузии можно созданием управляемого процесса. Вероятно, что управляемый агрегат диффузии будет состоять из двух (или нескольких) одно- и двухзонных печей (рис. 1), связанных между собой через вычислительный блок или ЭВМ, в которую вводится информация об исходных материалах, данные о газовых потоках, об отклонениях температур в различных зонах, результаты измерений на пластине после "загонки" и "разгонки", обрабатываемые ЭВМ с целью выработки управляющих воздействий, выдаваемых на исполнительные органы (регуляторы давления, вентили, нагревательные элементы и т.д.). Основным из управляемых параметров в такой схеме может явиться время ведения процесса диффузии.

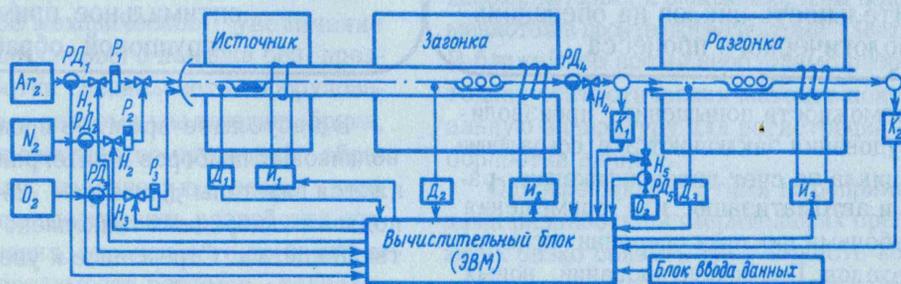


Рис. 1. Блок-схема системы управления процессом диффузии.
 РД₁ — РД₃ — регуляторы давления; Н₁ — Н₃ — игольчатые вентили;
 Д₁ — Д₃ — датчики температуры; И₁ — И₃ — исполнительные механизмы; К₁, К₂ — измерители параметров пластины

Аналогично можно себе представить агрегаты, осуществляющие управляемые процессы напыления тонких пленок, агрегаты фотолитографии и т.п. В дальнейшем развитии такие агрегаты, сливаясь в единые автоматизированные комплексы, могут превратиться в единую управляемую электронно-вычислительной машиной автоматизированную линию. В такой системе агрегатов в управляющую ЭВМ поступают данные о режимах процесса на каждой из операций, о материалах, применяемых на каждой операции, о контроле изделий после выполнения каждой из операций. Эти данные обрабатываются, и каждому из агрегатов выдаются сигналы управления.

Для осуществления разработки таких агрегатов и комплексов, управляемых электронно-вычислительной машиной, необходимо разработать математические модели технологических процессов и алгоритмы управления ими, системы датчиков параметров, преобразователей и т.д.

Значительный резерв повышения производительности оборудования лежит в разработке и внедрении на основных операциях (выращивание эпитаксиальных пленок, диффузия, напыление, фотолитография, вжигание паст, теххимические процессы и т.д.) оборудования непрерывного действия. При таком оборудовании следует ожидать увеличения выхода годных благодаря равновесности процессов, достижению большей воспроизводимости и стабильности режимов операций технологического процесса (например, при непрерывном движении пластин через реакционную камеру установки эпитаксиального наращивания пленок неравномерность температур в пределах камеры, очевидно, не будет иметь существенного значения, так как все пластины одинаково пройдут через все зоны температурного поля камеры).

Некоторого увеличения производительности при этом следует ожидать и за счет сокращения вспомогательного времени на каждой из операций.

Создание оборудования, позволяющего сократить длительность циклов на операциях технологического процесса

Большие возможности повышения производительности оборудования заключаются в сокращении операционного цикла за счет интенсификации рабочих режимов и автоматизации или совмещения с основными рабочими циклами операции вспомогательных переходов. При проектировании новых образцов оборудования, осуществляющих отработанные процессы, необходимо стремиться к максимально возможной интенсификации рабочих режимов, что позволит сократить длительность основных рабочих циклов. Например, в таких операциях сборки, как присоединение кристалла, разварка, обычно предварительно подогреваются корпус (рамка, лента) и кристалл, на что затра-

чивается значительное время. Сокращение цикла прогрева можно осуществить как совмещением рабочего цикла присоединения кристалла с предварительным подогревом корпуса (рамки) на предыдущей позиции, так и интенсификацией процесса прогрева в рабочей позиции повышением температуры нагревательного элемента в начальный период.

В напылительном оборудовании применение высокопроизводительных откачных постов может сократить время откачки до рабочего вакуума с 30 до 5–10 мин.

Значительное сокращение операционного цикла позволяет осуществить агрегатирование оборудования. Так, в установке эпитаксиального наращивания пластин УНЭС–2М применение двух реакционных камер позволило совместить рабочий цикл с циклом загрузки, что дало значительный выигрыш в длительности операционного цикла. Создание многотрубных диффузионных печей позволило резко сократить производственные площади диффузионных участков и стоимость одного "канала" диффузионной печи. Большие резервы сокращения операционного цикла лежат и в создании многоканальных агрегатов или в создании агрегатов, осуществляющих одновременно две или более операций (например, подсушка и вжигание паст толстопленочных интегральных схем последовательно в одной конвейерной печи).

Повышению производительности оборудования будет способствовать также создание такого оборудования, в котором совмещаются два и более операционных цикла. Примером могут служить двух- и трехпозиционные установки присоединения кристалла к рамке при сборке интегральных схем на отрезках ленты, принцип действия которых представлен на рис.2. Применение таких установок позволит повысить производительность в 2–3 раза.

Создание оборудования, использующего оптимальное применение групповой обработки

В настоящее время в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем применяются пластины диаметром 25–30 мм; размеры подложек гибридных тонкопленочных схем приняты 48 x 60 мм. Стремление к увеличению диаметра полупроводниковой пластины до 60–80 мм и более (при размерах кристалла 0,7 x 0,7 мм и меньше) и размеров подложек до 100 x 100 мм при уменьшении размеров тонкопленочных схем приводит к значительным трудностям в разработке оборудования для осуществления технологических процессов при таких размерах изделий. Так, уменьшение размеров кристалла с 1 x 1 до 0,7 x 0,7 мм и соответственное изменение размеров элементов схем тре-

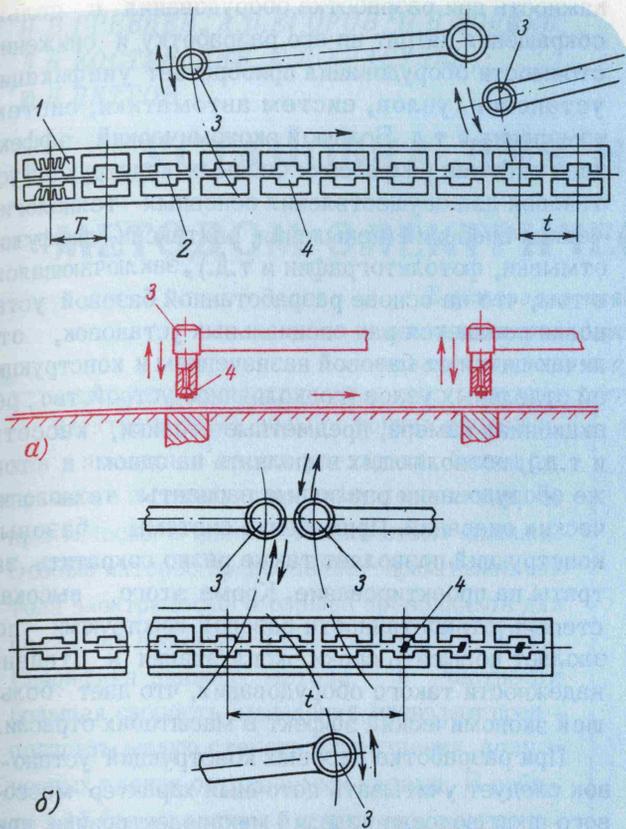


Рис. 2. Установка присоединения кристалла к рамке: а — двухпозиционная; б — трехпозиционная; 1 — отрезок ленты; 2 — площадь присоединения кристалла; 3 — сварочная головка; 4 — кристалл. Т — шаг ленты; т — шаг подачи

бует увеличения точности геометрического воспроизводства элементов схем в 1,5–2 раза по сравнению с существующей, а увеличение диаметра пластины требует увеличения размеров рабочих объемов технологического оборудования, усложнения оптики на установках фотолитографии и т.п., что в значительной мере затрудняет решение задач точного поддержания температур, постоянства газодинамических процессов и т.д. Из сказанного следует, что простое механическое увеличение степени группирования первого порядка без предварительной разработки специального оборудования может привести к резкому увеличению брака, что сведет на нет преимущество групповой обработки. Следовательно, увеличению степени группирования должна предшествовать разработка специального оборудования, отвечающего требованиям точности и воспроизводимости режимов технологических процессов, обеспечивающих стабильный выход годных изделий.

Расширение групповых методов обработки может идти и в направлении создания оборудования, обеспечивающего повышение степени группирования второго порядка, т.е. одновременную обработку определенного количества полупроводниковых пластин и подложек в одном производственном

цикле. При этом снижение трудоемкости изготовления каждой схемы на данной операции прямо пропорционально количеству пластин, обрабатываемых одновременно в одном рабочем цикле.

Таким образом, для того чтобы резко расширить применение групповых методов обработки, необходимо разработать:

- оборудование, обеспечивающее повышение точности и воспроизводимости режимов, а следовательно, увеличение степени группирования за счет увеличения количества одновременно обрабатываемых изделий на пластине;

- оборудование, обеспечивающее одновременную групповую обработку пластин и подложек.

В настоящее время имеются все предпосылки для повышения в 2–3 раза производительности разрабатываемого оборудования за счет увеличения степени группирования второго порядка.

Сокращение числа контрольных операций и увеличение их производительности

Трудоемкость контрольных операций составляет до 30–40% трудоемкости изготовления изделий, так как в большинстве процессов применяется 100%-ный пооперационный контроль; весьма велика трудоемкость контрольно-испытательных операций готовых изделий.

Сейчас уже назрела необходимость перейти от контроля параметров изделий к контролю режимов технологического процесса и тем самым резко сократить количество операций контроля параметров изделия. Для этого при проектировании оборудования необходимо предусматривать системы регистрирующих приборов (температурных режимов, расходов газов, давлений и т.д.).

Большую роль в деле сокращения количества измерений могут сыграть статистические методы контроля качества изделий и технологических процессов, которые, к сожалению, пока недостаточно применяются в производстве изделий микроэлектроники. В ближайшее время необходимо разработать методику статистических методов контроля и специальную аппаратуру для регистрации измерений и обработки данных.

Одновременно с этими мероприятиями необходима разработка измерительных средств, позволяющих резко снизить трудоемкость контроля, т.е. приступить к созданию многопостовых высокопроизводительных автоматических систем контроля с применением быстродействующих ЭВМ. Некоторые из таких автоматизированных комплексов измерения статических параметров изделий уже в этом году будут выпускаться серийно.

Для измерения динамических параметров изделий высокопроизводительная аппаратура еще только разрабатывается.

Разработка оборудования для осуществления новых высокопроизводительных технологических процессов

Большие требования к машиностроительной отрасли предъявляются и по разработке высокопроизводительного технологического оборудования для промышленного осуществления новых технологических процессов, внедрение которых позволит резко сократить трудоемкость изделий, повысить их качество и значительно улучшить выходные параметры.

К такому оборудованию относится оборудование для осуществления электроннолучевой обработки. Предприятиям отрасли необходимы установки для резки и сверления электронным лучом, высокопроизводительные установки электроннолучевой сварки и, наконец, электроннолучевые высокопроизводительные установки для засветки фоторезиста с диаметром луча до 0,1 мкм, управляемого с точностью до 0,5 мкм от фотокопировального или программного устройства.

Создание оборудования, позволяющего проводить поверхностное легирование методом загонки ионов легирующего вещества (методом имплантации), весьма перспективно, в связи с чем необходимо создание ионнолучевого оборудования с высокой энергией ионов (с ускоряющим напряжением 400–500 кВ) для масочной имплантации, острофокусированным управляемым лучом (до 1–2 мкм) и высокой энергией ионов для безмасочной имплантации.

Для интенсификации процесса нагрева целесообразно применить световой нагрев обрабатываемых изделий, что позволит сократить время нагрева, повысить избирательность нагрева (локальные участки, отдельные поверхности и т.д.) и температуру нагрева (до 1500–2000°C), осуществить управление скоростью охлаждения изделий и тем самым резко сократить операционные циклы.

Необходимо также более широко использовать для интенсификации технологических операций ультразвук (микросварка, отмывка изделий и т.д.), терморadiационный нагрев (сушка, дубление и т.д.) и ряд других процессов, что вызывает необходимость создания целого ряда типовых узлов установок (генераторов, нагревателей и т.д.).

В настоящее время весьма ограниченное применение (только для подгонки сопротивлений толстопленочных схем) находит лазер. Необходимо проведение широкого поиска технологического применения лазера для производства изделий микроэлектроники.

Применение последних достижений науки и техники в специальном оборудовании для производства изделий микроэлектроники требует больших затрат на его разработку, а резкое увеличение потребности оборудования для оснащения производства-больших капиталовложений. Поэтому особую

важность при разработке оборудования с целью сокращения затрат на его разработку и снижение стоимости оборудования приобретает унификация установок, узлов, систем автоматики, систем измерения и т.д. Большой экономический эффект дает система разработки базовых конструкций установок для осуществления основных технологических операций (напыления, эпитаксии, диффузии, отмывки, фотолитографии и т.д.), заключающаяся в том, что на основе разработанной базовой установки создается ряд специальных установок, отличающихся от базовой назначением и конструкцией отдельных узлов (подколпачное устройство, реакционная камера, предметные столики, кассеты и т.д.), позволяющих выполнять на одном и том же оборудовании различные варианты технологических операций. Применение системы базовых конструкций позволяет также резко сократить затраты на проектирование. Кроме этого, высокая степень отработанности базовой конструкции позволяет повысить сроки эксплуатации и степень надежности такого оборудования, что дает большой экономический эффект в масштабах отрасли.

При разработке базовых конструкций установок следует учитывать поточный характер массового производства изделий микроэлектроники, при котором установки будут использоваться в комплексах оборудования, обеспечивающих весь технологический цикл производства. Унификация основных монтажно-установочных размеров оборудования, входящих в комплекс, позволит значительно сократить затраты на производство монтажных работ и сроки ввода комплексов в эксплуатацию. Создание единой отраслевой нормали по этим требованиям крайне необходимо в ближайшее время.

Чрезвычайно важными в разработке оборудования являются типизация и унификация таких узлов, как датчики температур, блоки питания, регуляторы температур, арматура теххимического и вакуумного оборудования, датчики давлений и др. Особенно важно провести типизацию и унификацию различных датчиков параметров технологического процесса, преобразователей и исполнительных механизмов, так как без этого невозможно создание оборудования, обеспечивающего реализацию управляемых технологических процессов в целом и создание единых автоматизированных комплексов оборудования с управляющими ЭВМ.

Статья поступила 13 января 1970 г.

УДК 621.382.82.002.5

Н.В.ГРЕВЦЕВ, А.В.ЕГОРОВ, В.В.КОНШИН,
Л.Н.КОСТИНСКИЙ, Ю.Л.КРАСУЛИН,
Ю.Л.ПЕТРОВ

УСТАНОВКА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ФОЛЬГИ

В установке применены устройства для напыления токопроводящих толстых пленок методом направленного взрыва фольги.

Электрическому взрыву тонких проводников в последнее время уделяется большое внимание в связи с широкими перспективами практического использования этого явления. Особый интерес представляет применение метода электрического взрыва проводников для получения различного рода пленок [1, 2, 3]. Специфика данного метода, в частности большая скорость напыления, позволяет предполагать малую степень загрязнения полученных пленок остаточными газами. В работе [4] были получены сверхпроводящие пленки при электрическом взрыве проволоки на воздухе. При этом температура испаряемой проволоки достигала $1 \cdot 10^4$ °К, а пленка формировалась в течение $1 \cdot 10^{-5}$ сек. По результатам работ [5, 6] доказана возможность распыления ряда металлов и сплавов, например серебра, серебра-палладия, алюминия, на воздухе и получения доброкачественных пленок толщиной 1–10 мкм за один взрыв длительностью около $6 \cdot 10^{-5}$ сек.

Для получения плоского фронта разлета продуктов взрыва при напылении металлических пленок на плоские изделия микроэлектроники (подложки из керамики, ситалла, кремния) авторы, в отличие от работ [1–4], применяли метод электрического взрыва фольги (ЭВФ) [5]. При этом были получены пленки из серебра и сплава СрПд–20 толщиной до 10 мкм на подложках из керамики 22ХС. Пленки обладали хорошей плотностью, проводимостью и адгезией. Металлические проводники толстопленочных гибридных микросхем напыляли через маску. При этом наблюдалась хорошая четкость края (геометрия проводников), что позволило улучшить качество последующих резистивных слоев. Тиражеспособность масок, через которые производилось напыление, составляла 30–50 взрывов. Маски, изготовленные из титана

и нержавеющей стали Х18Н9Т, после их запыления легко регенерировались в специальных растворах.

На предприятии разработан полуавтомат МЭВ-1, предназначенный для опытной отработки в лабораторных условиях технологии напыления методом ЭВФ токопроводящих толстых пленок, контактных площадок и т.п. При разработке полуавтомата большое внимание уделялось вопросу направленного полета частиц фольги. Поскольку при ЭВФ образуются как ионизованная плазма, так и диспергированные капли, необходимо применять устройства управления полетом тех и других. В полуавтомате МЭВ-1 ионизованная плазма направляется магнитными полями, которые возникают вокруг токоподводящих электродов при прохождении через них тока разряда. Устройство, работающее на данном принципе направленного напыления, обеспечивает нанесение пленок толщиной 5–10 мкм за один взрыв. Для технологических процессов, требующих нанесения пленок большей толщины (50–80 мкм) за один взрыв, разработано направляющее устройство, использующее газокинетические силы, возникающие при ЭВФ [6]. В этом случае продуктами взрыва фольги являются диспергированные жидкие капли. В комплект полуавтомата МЭВ-1 входят оба типа устройств направленного взрыва. Эти устройства обеспечивают напыление пленки на площади размером 11×11 мм.

Полуавтомат выполнен на одном сварном каркасе, закрываемом сверху плитой, на которой расположены все рабочие механизмы и пульт управления (рис. 1). В нижней части каркаса, под плитой, размещены высоковольтные электрические блоки и блоки управления установкой. Предусмотрена ручная и автоматическая установка фольги в высо-

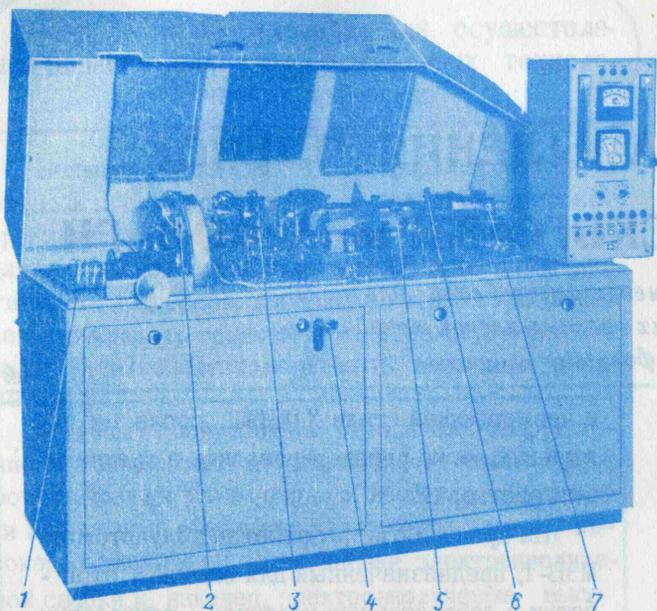


Рис. 1. Общий вид полуавтомата МЭВ-1:
 1 — плата; 2 — ротор с нагревателями; 3 — высоковольтные контакты ротора; 4 — рычаг ручного открывания контактов; 5 — вакуумный присос; 6 — лентопротяжный механизм; 7 — кассета

ковольтные контакты ротора. Рычаг ручного открывания контактов выведен на лицевую сторону установки.

Автоматическая подача отрезков фольги заданного размера из кассеты к высоковольтным контактам осуществляется при помощи лентопротяжного механизма. Шесть подложек, на которые производится напыление, вручную устанавливаются на ротор с шестью нагревателями, расположенными равномерно по окружности. Температура нагрева (до 400°C) контролируется термопарой, установленной в зоне нагрева подложек. Предусмотрена локальная защита подложек и зоны взрыва инертным газом. Расход газа дозируется ротаметрами,

расположенными на панели управления. Вся верхняя плита с размещенными на ней рабочими узлами закрывается откидывающимся кожухом, который защищает оператора от шумового эффекта и световой вспышки при ЭВФ. В полуавтоматическом режиме на установке, не поднимая кожуха, можно произвести неограниченное число взрывов, а в режиме ручного управления — три. Все съемные крышки и защитный кожух имеют блокирующие устройства, отключающие высокое напряжение при случайном открывании любой из дверей установки или поднятии кожуха.

Электрическая схема установки (рис. 2) работает следующим образом. При включении блока высокого напряжения начинается зарядка батареи конденсаторов C через зарядный резистор R_3 . Емкость батареи, составленной из 21 конденсатора К-75И-7, равна 60 мкф. Диапазон рабочих напряжений 3000–5000 в. Необходимое напряжение зарядки устанавливается в блоке задания высокого напряжения и подается в блок сравнения. По достижении заданного уровня напряжения зарядки из блока сравнения подается импульс, поджигающий разрядник, через который происходит разряд батареи конденсаторов на фольгу, и последняя взрывается.

Во время опытной эксплуатации полуавтомата МЭВ-1 за один взрыв были получены пленки из серебра и сплава СрПд-20 толщиной до 10 мкм с применением устройства направленного взрыва, работающего на электромагнитном принципе, и алюминиевые пленки толщиной до 80 мкм с устройством, использующим газокINETИЧЕСКИЙ эффект. Пример напыления токоведущих серебро-палладиевых дорожек на керамику 22ХС показан на рис. 3.

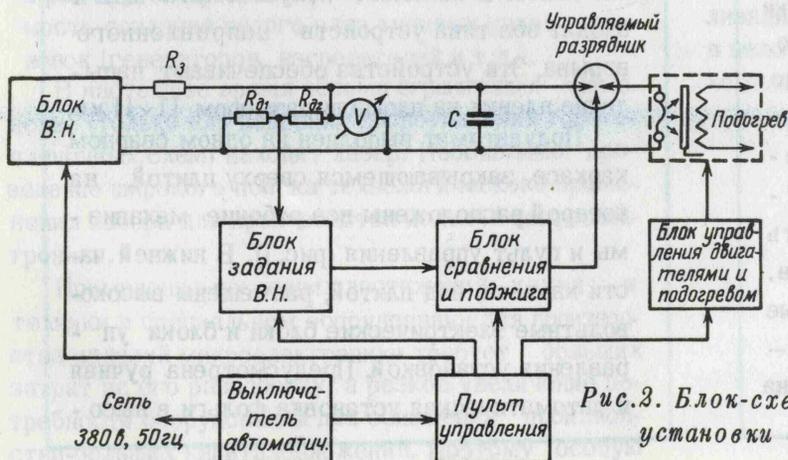


Рис. 2. Блок-схема установки

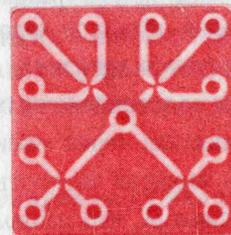


Рис. 3. Керамическая подложка с токоведущими дорожками, напыленными методом ЭВФ на полуавтомате МЭВ-1

ЛИТЕРАТУРА

1. Mattox D.M., Mullendo -
gre A.W., Rebürgchik F.N. "J. Vacu -
um Sci. and Technol.", 1967, v.4, N 3,
p.123-127.

2. Воронов В.Ф. и др. "Электронная
техника", сер. "Приемно-усилительные лам -
пы", 1967, № 2, стр.56-61.

3. Воронов В.Ф. "Электронная тех -
ника", сер. "Приемно-усилительные лампы",
1967, № 2, стр.137-139.

4. Garbany M. "J. of Appl. Phys.",
1963, v.34, N 12, p.3642-3643.

5. Красулин Ю.Л., Петров Ю.П.,
Гревцев Н.В. "Электронная техника",
сер. "Микроэлектроника", 1968, вып. 4(12),
стр.86-90.

6. Косточко Ю.П., Мерзля -
ков В.Д. "Изв.вузов", сер. "Физика", 1967,
вып.6, стр.145-146.

Статья поступила 24 декабря 1969 г.

УДК 539.23:669

И.Г.БЛИНОВ, А.С.ВАЛЕЕВ, Ю.Я.МЕЛЕХИН,
В.А.МИХНЕВИЧ, Л.М.ПАНКРАТОВ, В.И.СЛАДКОВ

*Выбранные режимы распыления обеспе -
чивают разброс поверхностного сопротивле -
ния партий пленок, изготовленной за один ва -
куумный цикл, менее 4%. Среднее значение
отклонения поверхностного сопротивления
партий пленок, изготовленных в различные
вакуумные циклы, менее 7%.*

Катодное распыление тонких пленок тантала



Отечественная установка УВН-62П-1 для из -
готовления пленок тантала методом катодного
распыления включает в себя внутрикамерное уст -
ройство и систему откачки (рис. 1). Внутрикамер -
ное устройство состоит из загрузочного и прием -
ного бункеров, вмещающих до 200 ситалловых пла -
стин размером 60 x 48 мм без подложкодержателей
или 400 пластин размером 30 x 24 мм с подложко -
держателями, танталового катода, экранирован -
ного и охлаждаемого водой, механизма переме -
щения подложек, анода и нагревателя для пред -
варительного обезгаживания подложек.

Вакуумная система содержит бустерный на -
сос БН-3, разрядную ловушку, сотовую азотную
ловушку, водяную жалюзную ловушку и форвакуум -
ный насос ВН-7Г и позволяет получить в рабочей
камере разрежение около $4 \cdot 10^{-7}$ торр. Анализ остаточ -
ной атмосферы с помощью квадрупольного масс-спек -
трометра КМ-1 показал (рис.2, а), что она со -
стоит в основном из паров воды, CO , O_2 , N_2 , Ag
и следов углеводорода с массами 57 и 78, ко -
торые обнаруживаются только при максималь -
ной чувствительности прибора (рис. 2, б).

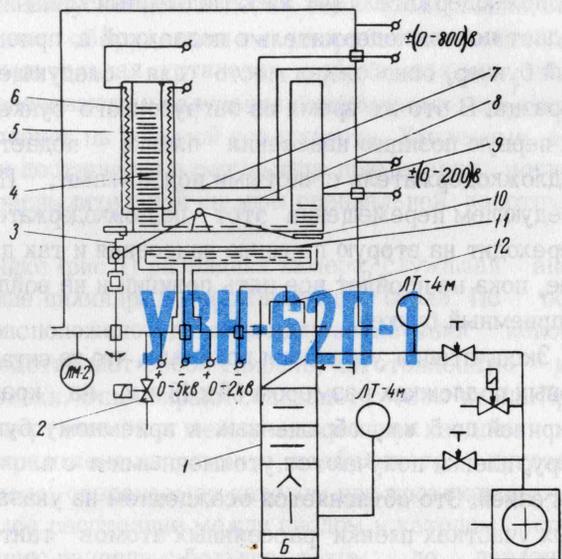


Рис. 1. Схема внутрикамерного устройства и ва -
куумной системы установки УВН-62П-1:

1 - вакуумная система; 2 - диафрагменный нагре -
ватель; 3 - механизм перемещения подложек;
4 - подложкодержатель; 5 - загрузочный бункер;
6 - нагреватель подложек; 7 - электрод ионной
очистки; 8 - анод; 9 - приемный бункер;
10 - подъемный механизм; 11 - катод; 12 - раз -
рядная ловушка

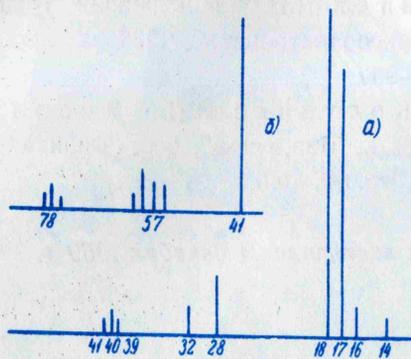


Рис. 2. Спектры масс остаточных газов в рабочей камере установки (а) и углеводородных соединений при максимальной чувствительности прибора КМ-1(б) (масса 41 - Ar)

Механизм перемещения, загрузочный и приемный бункеры изолированы от корпуса, что позволяет подавать на них отрицательное относительно анода смещение от 0 до 200 в. Над зоной распыления одновременно находятся пять подложкодержателей. Механизм перемещения через заданный промежуток времени переводит готовые подложки в сторону приемного бункера на ширину одного подложкодержателя (48 мм). Подъемный механизм подает подложкодержатель с подложкой в приемный бункер, освобождая место для следующего образца. В это же время из загрузочного бункера на первую позицию нанесения пленки подается подложкодержатель с чистыми подложками. При следующем перемещении этот подложкодержатель переходит на вторую позицию нанесения и так далее, пока не пройдет все пять позиций и не войдет в приемный бункер.

Эксплуатация установки показала, что на ситалловых подложках размером 60 x 48 мм на краях шириной до 5 мм, обращенных к приемному бункеру, пленки получаются утолщенными и с плохой адгезией. Это объясняется осаждением на указанных участках пленки рассеянных атомов тантала (когда подложки находятся в бункере), чего можно избежать, если использовать подложки размером 30x24 мм, которые укладываются по две на один подложкодержатель. В процессе измерений установлено, что в этом случае неравномерность поверхностного сопротивления пленок тантала на подложках не превышает 4%. Применение подложкодержателей, в силу их большей жесткости, значительно повысило надежность работы транспортного устройства.

Варьируя режимы распыления, можно получить пленки тантала с удельным сопротивлением от 30 до 220 мком·см, соответствующие пленкам, изготовленным из α -, β - и ($\alpha + \beta$)-фаз тантала. При этом необходимо иметь в виду, что в зависимости от режимов распыления существенно меняется температура транспортного устройства. Чтобы обеспечить надежность работы этого устройства, его температура не должна превышать 200° С.

Для создания пленочных сопротивлений и конденсаторов на базе тантала, как правило, используются пленки со структурной модификацией β -Та, имеющие удельное сопротивление порядка 180 - 220 мком·см и мелкокристаллическую структуру. Для воспроизводимого нанесения пленок со структурой β -Та был выбран следующий режим работы установки: напряжение разряда 4,2 кв, ток разряда 80 ма ($j = 0,2$ ма/см²), напряжение смещения -150 в, предварительная откачка $2 \cdot 10^{-6}$ торр и рабочее давление $1,5 \cdot 10^{-2}$ торр.

На установке исследовалась воспроизводимость поверхностного сопротивления образцов пленок, изготовленных последовательно в одном вакуумном цикле. Если включение механизма перемещения произведено сразу же после первоначального установления рабочих режимов распыления, то разброс по поверхностному сопротивлению пленок данной партии может достигать 8%. Ток разряда в начале распыления изменяется из-за инерционности системы стабилизации давления, причем колебание его продолжается в течение 1 - 1,5 ч. После стабилизации давления в камере разброс по поверхностному сопротивлению не превышает величины 4%. Недостаток этого способа изготовления устраняется путем установления первоначального тока разряда на 20% выше рабочего. В течение 30 мин ток снижается до требуемого значения и остается стабильным. В этом случае разброс по поверхностному сопротивлению пленок данной партии не превышает 4% в течение всего цикла изготовления.

Следует отметить, что пленки с 8%-ным разбросом данного параметра имеют удельное сопротивление около 200 мком·см, совершенную структуру и отличаются только толщиной слоя, которая колеблется в пределах 8%.

Разброс поверхностного сопротивления пленок, изготовленных при 30-мин стабилизации разрядного тока, для 15 партий подложек не превышал 7%.

Статья поступила 23 сентября 1969 г.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ установка

По производительности разработанная установка превосходит существующие в 5–7 раз. Результаты напыления резистивных пленок показали, что установка может успешно применяться при изготовлении гибридных интегральных микросхем.



УВН-72Р-1

для ионного распыления материалов

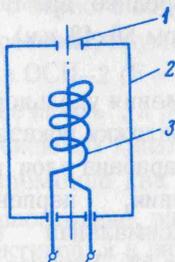


Рис. 1. Ионный источник:

- 1 – выходное отверстие;
- 2 – разрядная камера;
- 3 – катод источника

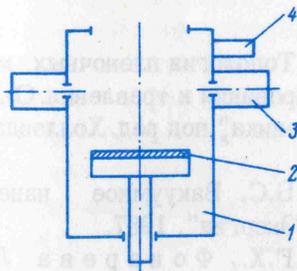


Рис. 2. Распылительная камера:

- 1 – корпус распылительной камеры;
- 2 – распыляемый материал;
- 3 – ионные источники;
- 4 – нагнетатель

Несомненные достоинства и широкие технологические возможности метода ионного распыления [1, 2] позволяют с успехом использовать его для массового выпуска изделий. С целью оснащения заводов, серийно выпускающих изделия микроэлектроники, высокопроизводительным оборудованием разработана специализированная распылительная установка, работающая при низком давлении и обеспечивающая получение равномерных по толщине слоев тонких пленок на большой поверхности. Указанные достоинства установки достигнуты в результате применения ионного источника [3] и распылительной камеры специальной конструкции.

В ионном источнике (рис.1) разрядная камера, служащая анодом, выполнена в виде цилиндра из нержавеющей стали. По оси разрядной камеры расположено отверстие для извлечения ионов. Катод источника представляет собой спираль, изготовленную из вольфрамовой проволоки. Ось спирали совпадает с осью анода. При подаче в источник инертного газа между накалившимся катодом и анодом, к которым приложено напряжение, возбуждается дуговой разряд. Магнитное поле, создаваемое катодом при протекании через него тока, и малое расстояние между анодом и катодом способствуют поддержанию разряда с большим током до давления $1 \cdot 10^{-4}$ торр. Использование такого источника для создания ионов инертного газа позволяет проводить распыление при давлениях на порядок ниже, чем у существующего оборудования. Безусловно, это способствует увеличению скорости образования пленок.

Распылительная камера, схематично изображенная на рис.2, представляет собой цилиндрический корпус. В основании корпуса располагается ввод электрода, на котором крепится распыляемый материал. На внешней стороне корпуса находятся ионные источники. Рабочий газ (аргон) подается в камеру через игольчатый нагнетатель, позволяющий плавно менять давление в камере.

Наличие в установке двух источников позволило получить не только высокую скорость распыления, но и достаточную равномерность плотности ионного тока по поверхности мишени.

КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ

Разработанная установка отличается простотой изготовления, удобством в эксплуатации, надежностью и высокой производительностью. Она состоит из двух частей: вакуумного напылителя и пульта оператора. Вакуумный напылитель содержит колпак с подколпачным устройством, систему откачки и напуска газов, управление системой откачки и напуска газов, распылительную камеру и систему охлаждения. В пульте оператора размещены блоки электропитания узлов установки, система управления процессом напыления и контрольно-измерительные приборы. Такая конструкция позволяет оператору удобно разместиться при обслуживании установки и обеспечивает достаточно легкий доступ ко всем узлам.

Колпак вакуумного напылителя представляет собой цилиндрическую камеру диаметром 700 мм, закрытую сверху неразъемной крышкой. Он охлаждается проточной водой, проходящей через напаянные медные трубки. На колпаке крепится распылительная камера, отсекаемая от объема колпака вакуумным затвором, ионный источник для очистки подложек и смотровое окно. Колпак уплотняется на плите резиновым кольцом. Для обеспечения доступа к подколпачному устройству колпак вручную можно поднимать, поворачивая его вокруг горизонтальной оси на 45°.

Под колпаком на плите находится подколпачное устройство, состоящее из карусели, на которой неподвижно закреплены оси вращения барабанов. Карусель последовательно проходит четыре позиции: нагрева, очистки подложек, напыления и охлаждения. В первой позиции производятся нагрев барабана с подложками с помощью резистивного нагревателя и контроль температуры барабана. В позиции очистки подложек на барабан подается отрицательное напряжение относительно дугового разряда, создаваемого в ионном источнике. В результате этого происходит извлечение ионов и очистка подложек при бомбардировке их ионами. В позиции напыления и очистки подложек барабаны приводятся во вращение со скоростью 60 об/мин, чем достигается повышенная равномерность толщины напыляемых слоев и последовательное облучение потоком ионов очищаемых подложек. В позиции охлаждения барабан ложится нижним торцом на охлаждаемый проточной водой медный холодильник. Перемещение барабанов с позиции на позицию осуществляется путем подъема карусели, поворота ее на 90° и опускания в новое положение.

Вакуумная система включает в себя насос типа ВНМ-7Г и насос Н2Т-3. Распылительная камера соединена с колпаком и отсекается от него затвором сечением 120×120 мм. Через регулируемый натекаТЕЛЬ в камеру подается рабочий газ до давления, необходимого для разряда. Камера снабжена вакуумно-плотным электрическим вводом, позволяющим подавать на мишень напряжение до 10 кв при токе до 0,5 а. Для удобства обслуживания камера имеет дверь, на которой крепится ввод мишени. При открывании двери создается свободный доступ к мишени и ионным источникам.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО НАПЫЛЕНИЮ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК

На установке УВН-72Р-1 были проведены работы по распылению ряда широко распространенных технологических материалов в различных условиях. При этом ставилась цель определения оптимального режима распыления, обеспечивающего высокую производительность оборудования. Установлено, что резистивный слой наносится на 24 подложки размером 60×48 мм или 384 подложки размером 11×11 мм, размещенные на одном из четырех барабанов установки, примерно за 5 мин. Следовательно, среднее время напыления одной подложки (размером 60×48 мм) составляет примерно 13 сек.

Измерение распределения удельного сопротивления по поверхности подложки показало, что в направлении вращения барабана слои практически равномерны. В направлении, перпендикулярном вращению барабана, максимальная неравномерность слоя не превышает 5%. Установлено, что с изменением рабочего давления при распылении от 10^{-2} до $8 \cdot 10^{-4}$ торр скорость создания слоя увеличивается в 3-4 раза. Предварительные результаты показывают, что при восьмичасовой рабочей смене на установке можно напылять резистивные слои на 200-300 подложках размером 60×48 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г э ф ф и Д. Топология пленочных микросхем, методы маскирования и травления. Сб. "Пленочная микроэлектроника", под ред. Холлэнда. М., "Мир", 1968.
2. Д а н и л и н Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. М., "Энергия", 1967.
3. С а т а р о в Г.Х., Ф о н а р е в а Л.П., Г о р я е в а Г.О., Д е ш е в о й А.С. Ионный источник для лучевой установки. "Электронная техника", сер. VI, "Микроэлектроника", 1968, вып. 3.

Статья поступила 30 октября 1969 г.

УДК 621.316.8.002:621.793

Двупольный МИКРОСКОП для совмещения и экспонирования

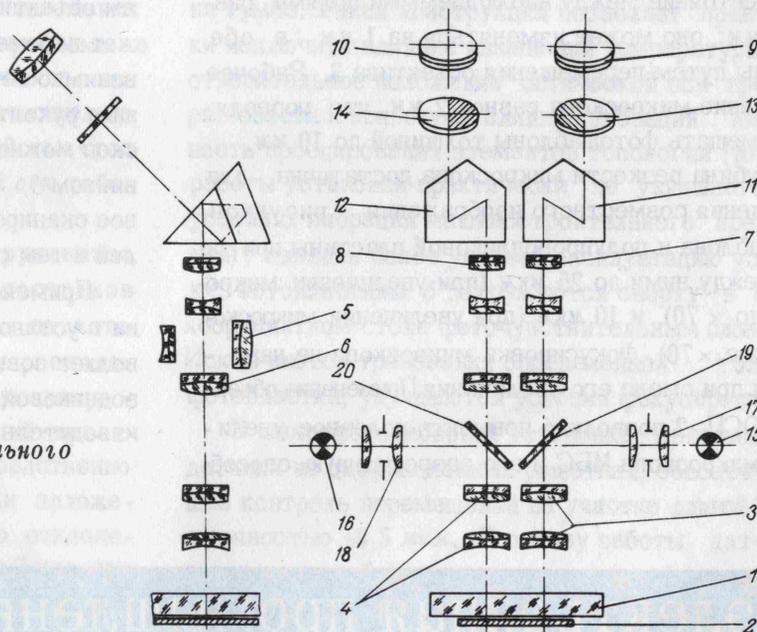
Разработанный на базе стереоскопического микроскопа МБС двупольный микроскоп для совмещения и экспонирования при фотолитографических процессах позволяет совмещать рисунки фотошаблона и полупроводниковой пластины с точностью $\pm 0,5$ мкм и производительностью до 50 совмещений в час.

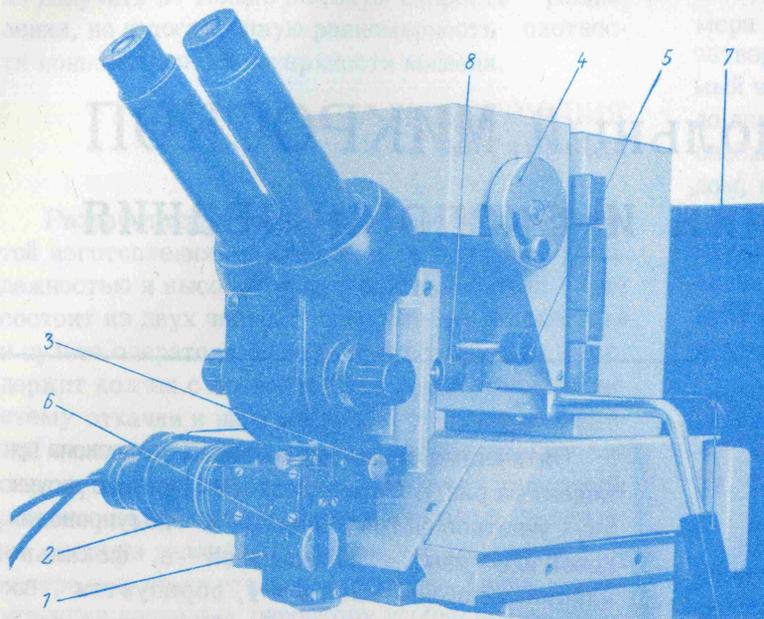
Двупольный микроскоп создан на базе серийного стереоскопического микроскопа МБС-1. Основная переделка оптической схемы и конструкции стереоскопического микроскопа заключалась в замене его первого объектива, общего для двух ветвей микроскопа, двумя ахроматическими объективами ОСП-2 ($F=30,1$ мм; $A=0,17$) с тубусом "бесконечность", в результате чего образуются два независимых канала, позволяющих наблюдать одновременно два поля объектов, разнесенных на расстояние, равное расстоянию между осями объективов, и в разработке для этих двух каналов осветителей, обеспечивающих работу микроскопа в отраженном свете.

Оптическая схема двупольного микроскопа приведена на рис. 1. Совместное изображение рисунков двух участков фотошаблона 1 и полупроводниковой пластины 2, находящихся в фокальной плоскости объективов 3 и 4, образуется последними на бесконечности. За объективами, по ходу света, расположен барабан с двумя парами галилевых телескопических систем 5 и 6, служащих для дискретного изменения увеличения микроскопа. Каждая пара телескопических систем работает в двух положениях и дает поэтому по два дискретных увеличения.

За телескопическими системами расположены ахроматические линзы 7 и 8, образующие изображения объектов, то есть рисунков фотошаблона и полупроводниковой пластины, в фокальных плоскостях окуляров 9 и 10, а также призматическая оборачивающая система, состоящая из двух призм Шмидта 11 и 12 и служащая для изменения расстояния между осями окуляров без поворота изображений объектов.

Рис. 1. Оптическая схема двупольного микроскопа





Увеличение микроскопа

× 30 × 70 × 130 × 230

Поле зрения каждого канала, мм

4,3 2,15 1,0 0,6

Рис.2. Двупольный микроскоп

В фокальной плоскости окуляров расположены диафрагмы 13 и 14, закрывающие половины полей зрения каждого канала микроскопа, что при наблюдении в оба окуляра, установленные в соответствии с базой глаз оператора, создает эффект двупольного изображения с резкой границей раздела между наблюдаемыми полями.

Объекты освещаются двумя лампочками накаливания 15 и 16 типа СЦ-61 (8 в, 20 вт) с помощью конденсоров 17 и 18, полупрозрачных пластин 19 и 20 и объективов 3 и 4. В осветителе применены желто-зеленые светофильтры для повышения контрастности изображения микрорельефа полупроводниковой пластины.

Расстояние между наблюдаемыми полями равно 20 мм; оно может изменяться на 1 мм в обе стороны путем перемещения объектива 3. Рабочее расстояние микроскопа равно 22 мм, что позволяет совмещать фотошаблоны толщиной до 10 мм.

Глубина резкости микроскопа достаточна для наблюдения совместного изображения рисунков фотошаблона и полупроводниковой пластины при зазоре между ними до 25 мкм (при увеличении микроскопа до × 70) и 10 мкм (при увеличении микроскопа свыше × 70). Фокусировка микроскопа не нарушается при смене его увеличения. Применение объективов ОСП-2 позволило повысить полезное увеличение микроскопа МБС и его разрешающую способность.

Внешний вид микроскопа показан на рис.2. Микроскоп состоит из объективной насадки 1, в которой установлены два объектива и осветители 2. Последние расположены с одной стороны объективной насадки, благодаря чему имеется свободный доступ к ручкам фокусировки и перемещения микроскопа. Расстояние между наблюдаемыми полями изменяется перемещением одного из объективов с помощью винта 3.

Подвес микроскопа снабжен механизмом грубой и тонкой фокусировки, который управляется рукоятками 4 и 5. Кроме того, для одного из объективов предусмотрена возможность дополнительной тонкой фокусировки, осуществляемой перемещением объектива при помощи винта 6. Микроскоп может перемещаться по всему рабочему полю в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью рукоятки 7. Одновременно с этим весь микроскоп можно поворачивать вокруг вертикальной оси винтом 8, что обеспечивает дополнительное угловое сканирование изображений наблюдаемых полей и тем самым повышает скорость совмещения.

Применение описанного двупольного микроскопа в установке совмещения и экспонирования позволяет совмещать рисунки фотошаблона и полупроводниковой пластины с точностью ±0,5 мкм и производительностью до 50 совмещений в час.

Статья поступила 7 апреля 1969 г.

УНИКАЛЬНАЯ

микрофотонаборная установка

ЭМ-508

предназначена для автоматизации процесса изготовления фотошаблонов, малочувствительна к изменениям температуры и вибрациям

В методе, основанном на фотонаборе, нужная топология набирается из стандартных элементов, обычно прямоугольной формы, последовательно проецируемых и экспонируемых на фотопластину, которая точным координатным столом приводится каждый раз в нужное положение относительно проектора. Возможны несколько способов реализации этого метода. Например, в одном из них (фирма Optomechanisms и другие) стол с фотопластиной непрерывно перемещается под объективом, и, когда он оказывается в нужном положении, фиксируется соответствующими датчиками, включается импульсная лампа и экспонируется соответствующий элемент. В установке ЭМ-508 экспонирование проводится с остановкой. По вводимой информации координатный стол устанавливается в нужное положение, и после этого включается затвор осветителя. Такой метод позволяет выбирать сравнительно большие выдержки, что необходимо при экспонировании фоторезиста. Естественно, при этом требуется жесткая фиксация стола в выбранном положении для сведения к минимуму вибраций. Эти проблемы в установке решены. Она обеспечивает точность выведения и удержания стола в заданной относительно оптической оси проектора координате $\pm 1,0$ мкм. Среднее время отработки одного шага около 2 сек, рабочее поле 40×40 мм.

В установке ЭМ-508 принято конструктивное решение (рис. 1), свободное от многих недостатков обычных конструкций. В ней основание 2, по которому перемещается координатный стол 4, располагается на несущей тумбе 1 на амортизирующих резиновых прокладках 3. Высокоразрешающий проекционный объектив 6 закрепляется непосредственно на основании таким образом, что датчики положения стола довольно точно указывают его отклонения от оптической оси проектора. Гнездо 7 для промежуточного оригинала, промежуточная оптика 8 и наборное устройство также жестко связаны с основанием. Осветитель, состоящий из мощной ртутной

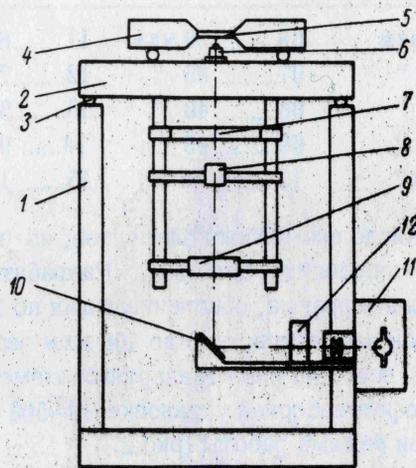


Рис. 1. Конструкция проекционного устройства, слабо чувствительного к вибрации и изменениям температуры

лампы 11 с конденсором, затвора 12 и зеркала 10, не связан механически с проектором, а закреплен на тумбе. Такая конструкция позволяет практически исключить влияние изменений температуры на относительное положение оптической оси проектора; свести к минимуму влияние вибраций на точность проецирования элементов топологии (точность работы установки практически не ухудшается в условиях вибраций машиностроительного предприятия); сделать более удобной эксплуатацию установки. Фотопластины 5 загружаются сверху в окно в координатном столе фоточувствительным слоем вниз. Исключаются требования определенной толщины фотопластин, улучшаются условия фокусировки.

В микрофотонаборной установке применяются датчики на дифракционных решетках, обеспечивающие контроль перемещений на участке длиной 90 мм с точностью $\pm 0,5$ мкм. В основу работы датчиков положен способ формирования интерференционной муаровой картины на системе прозрачная — отражательная решетки, разработанный советскими учеными Ф.М.Герасимовым и Г.Н.Рассудовой.

В установке ЭМ-508 нужная топология создается последовательным экспонированием прямоугольных элементов на соответствующих участках фотопластины. По команде, вводимой в установку, координатный стол вместе с фотопластиной устанавливается в такое положение, что центр экспонируемого элемента совпадает с оптической осью проектора. По этой же команде специальным механизмом — наборной диафрагмой, имеющей две пары взаимно перпендикулярных шторок, расстояние между которыми устанавливается автоматически, выбирается нужный размер проецируемого элемента. Всего в установке ЭМ-508 предусмотрено по пятнадцать стандартных расстояний между шторками, которые в реальном шаблоне определяют следующие размеры сторон элементов:

01.....5 мкм	06.....30 мкм	11.....60 мкм
02.....10 "	07.....35 "	12.....70 "
03.....15 "	08.....40 "	13.....80 "
04.....20 "	09.....45 "	14.....90 "
05.....25 "	10.....50 "	15.....100 "

Общее число возможных элементов, из которых набирается топология, равно 225. Разрабатывается наборная диафрагма, обеспечивающая по 200 размеров сторон элементов, от 5 до 100 мкм через каждые 5 мкм; всего 40 000 стандартных элементов.

В микрофотонаборной установке ЭМ-508 предусмотрены три режима работы (рис.2).

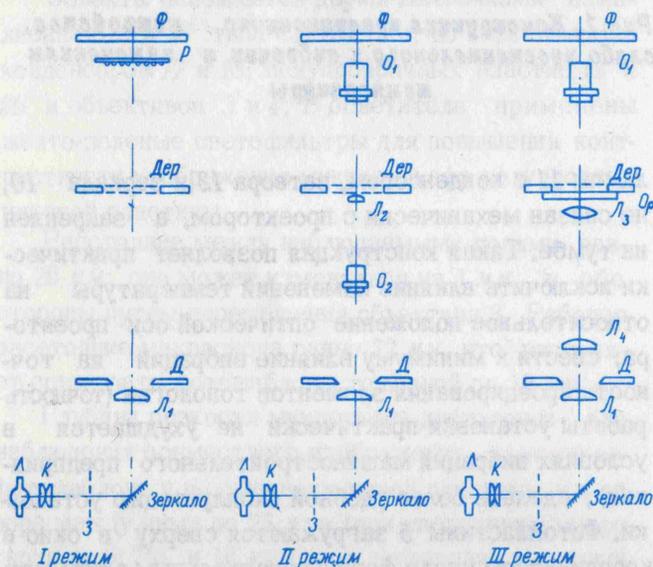


Рис.2. Оптические схемы микрофотонаборной установки ЭМ-508:

I режим — фотонабор с растворным объективом, II — фотонабор с высокоразрешающим объективом; III режим — мультиплицирование (режим фотошаблона); Ф — фотопластина; Р — линзовый растр; О₁ и О₂ — объективы; Дер — держатель оригинала; Ор — оригинал; Д — наборная диафрагма; Л₁, Л₂, Л₃ и Л₄ — линзы; З — затвор; К — конденсатор; Л — лампа

В первом режиме производится "сверхоперативное" экспонирование мультиплицированных шаблонов среднего качества. Для этого используется линзовый растр, создающий одновременно большое число изображений наборной диафрагмы с уменьшением в 250 раз. Так как максимальные размеры проецируемых элементов составляют $100\sqrt{2}$ мкм, рабочее поле линз растра весьма мало, что позволяет получать удовлетворительное разрешение от линзового растра. В этом режиме могут изготавливаться фотошаблоны с минимальными размерами элементов до 10 мкм. Использование ртутной лампы в качестве источника света и кварцевой оптики позволяет свети время экспозиции каждого элемента при работе даже на фоторезист до нескольких секунд. В результате среднее время изготовления одного фотошаблона около 30 мин.

Для изготовления высококачественных фотошаблонов используются второй и третий режимы. Во втором экспонируется увеличенный в 10 раз оригинал. Чтобы обеспечить общее уменьшение размеров диафрагмы в 250 раз и исключить необходимость смены проекционного объектива О₁ при переходе от второго режима к третьему, введен дополнительный объектив О₂, создающий уменьшенное в 2,5 раза промежуточное изображение наборной диафрагмы в плоскости держателя, которое затем проецируется высокоразрешающим объективом О₁ на фотослой пластины с уменьшением в 10 раз. Таким образом, общее уменьшение составляет 25 раз.

Изготовленный таким образом оригинал помещается на держатель. Специальной револьверной головкой оптическая схема установки переключается на третий режим и производится мультиплицирование. Переход со второго режима на третий не требует дополнительной фокусировки.

Для повышения эффективности использования микрофотонаборных установок разработана установка контроля программы ЭМ-708. По командам с перфолент на установке контроля программы вычерчиваются контуры увеличенных в 100 или 200 раз стандартных элементов на листе ватмана, помещенном на координатном столе, совершающем соответствующие перемещения по командам с перфоленты.

С помощью установки ЭМ-508 возможно изготовление сложных фотошаблонов межсоединений, необходимых для производства БИС. Хорошая разрешающая способность объектива О₁ (более 800 лин/мм), высокая точность работы координатного стола (до 1,0 мкм) обеспечивают высокое качество фотошаблонов, экспонируемых на микрофотонаборной установке ЭМ-508.

Статья поступила 20 августа 1969 г.

УДК 621.385.6.032.269.1

ИОННАЯ ПУШКА для СВЧ приборов

Для использования в приборах с модуляцией ионного потока по скорости применен источник параллельного пучка ионов. Пушка обеспечивает получение пучка протонов интенсивностью 5 ма.



Для исследования возможности использования пучка протонов в СВЧ приборах с модуляцией пучка по скорости разработана ионная пушка, в основу конструкции которой положена схема дуоплазмотрона. Одними из основных требований, предъявляемых к конструкции пушки при работе в лабораторных условиях, являются простота изготовления и удобство при эксплуатации, поэтому конструкция пушки сделана разборной.

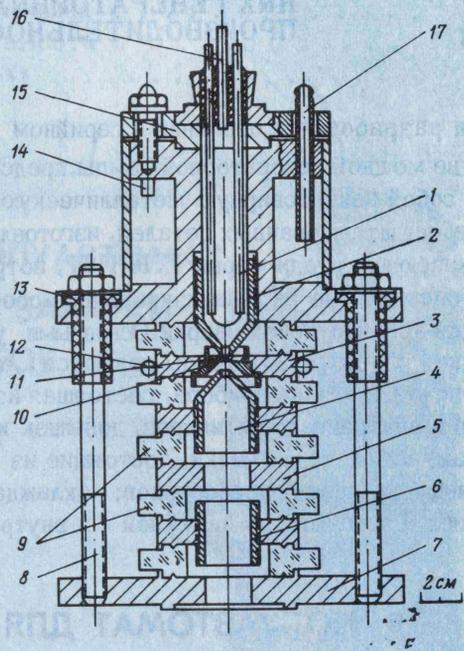
Пушка состоит из катода, промежуточного электрода, анода и электродов ионной оптики. Все электроды пушки разделены тефлоновыми кольцами. Кольца устанавливаются по центрирующим выступам в электродах, и при стягивании всей конструкции с помощью шпилек обеспечивается хорошая соосность электродов и необходимое вакуумное уплотнение.

Внутренние поверхности тефлоновых колец защищены от непосредственного воздействия на них плазмы специальными экранами. Фокусировка ионного пучка обеспечивается одиночной линзой, образованной тремя электродами, в том числе и экстрактором.

Соединение всех электродов пушки со своими основаниями резьбовое, что позволяет регулировать рабочие зазоры между электродами в широких пределах. Пушка обладает достаточно хорошими электрическими характеристиками и обеспечивает получение пучка протонов интенсивностью 5 ма.

Пушка может работать и в электронном режиме, при этом плотность извлекаемого электронного тока при вытягивающем напряжении 1,5 кВ составляет 15 а/см².

Статья поступила 19 июня 1969 г.



Конструкция ионной пушки в разрезе:
1 — катод; 2 — промежуточный электрод; 3 — корпус анода; 4 — экстрактор; 5 — промежуточный фокусирующий электрод; 6 — фокусирующий электрод; 7 — фланец; 8 — шпилька; 9 — тефлоновые кольца; 10 — анодная гайка; 11 — вольфрамовая вставка; 12 — медная трубка водяного охлаждения; 13 — текстолитовая втулка; 14, 17 — трубки водяного охлаждения промежуточного электрода; 15 — крышка; 16 — трубка для напуска газа

ОБОРУДОВАНИЕ

для аргонодуговой сварки крупногабаритных электровакуумных приборов

**ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ АР -
ГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ПОЗВОЛЯЮТ УЛУЧШИТЬ
КАЧЕСТВО СВАРКИ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ МОЩ-
НЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП И ПОВЫСИТЬ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА.**

При разработке и освоении в серийном производстве мощной генераторной лампы, представляющей собой цельносварную металлическую конструкцию из штампованных деталей, изготовляемых из нержавеющей стали марки 1Х18Н10Т, потребовалось специальное автоматизированное оборудование для аргонодуговой сварки. Основными узлами мощной генераторной лампы являются: охлаждаемая водой оболочка прибора, состоящая из наружного и внутреннего цилиндров, доннышек и фланца; охлаждаемые водой сетки, состоящие из трубок, колец и крышек водосборников; охлаждаемый водой анод, состоящий из наружной и внутренней

оболочек; днище прибора, представляющее собой фланец из нержавеющей стали, в который ввариваются манжеты металлокерамических изоляторов электродов лампы и штенгельная трубка. При создании оборудования были учтены такие требования, как специализация оборудования для сварки одного или нескольких узлов с целью повышения производительности, применение систем автоматического регулирования и стабилизации параметров режима сварки, унификация механических узлов и электрических блоков, возможность эксплуатации оборудования сварщиком средней квалификации.

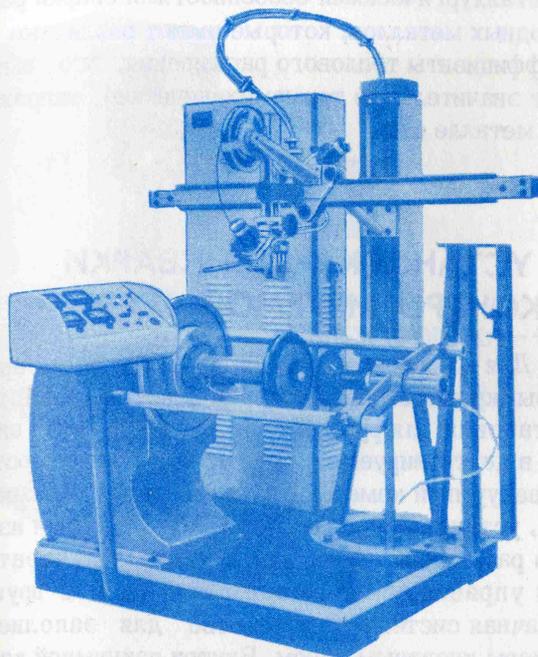
● ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ СВАРКИ ПРОДОЛЬНЫХ ШВОВ

Для сварки продольных швов цилиндров оболочки и анода разработан полуавтомат, который состоит из прижимного пневматического устройства клавишного типа, сварочной головки (с вертикальным и горизонтальным перемещением) и механизма подачи присадочной проволоки, расположенных на станине. Рабочий ход сварочной головки осуществляется при помощи устройства перемещения и направляющей рейки с зубчатым зацеплением, устраняющим пробуксовку. При давлении воздуха 5 кг/см^2 усилие прижима клавиши на кромку свариваемой детали составляет 80 кг/пог.см свариваемого стыка. Расстояние между противоположными клавишами 20 мм , ширина клавиши 40 мм .

Техническая характеристика полуавтомата для сварки продольных швов

Максимальная длина свариваемых швов, мм	600
Диаметр свариваемых цилиндров, мм	80–450
Скорость сварки, м/ч	10–50
Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч	до 200
Толщина свариваемых деталей, мм	0,5–5
Габариты, мм:	
длина	1200
ширина	650
высота	1500
Вес, кг	160

● ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ СВАРКИ КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ



"ЭЛЕКТРОНИКА-2"

Для выполнения сварки кольцевых швов оболочки прибора и других узлов разработан специальный сварочный полуавтомат "Электроника-2".

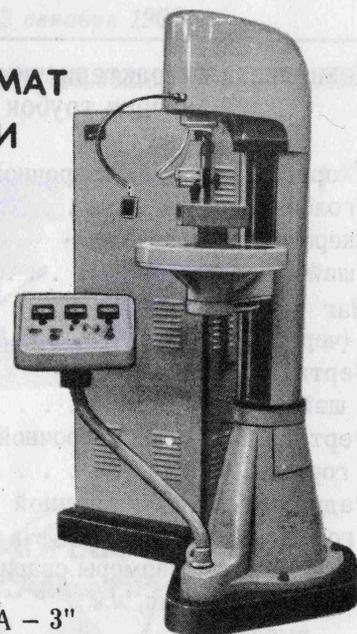
Полуавтомат состоит из шкафа для аппаратуры, манипулятора, сварочной головки с направляющей рейкой и стойки, смонтированных на общей раме. Стойка имеет механизм вертикального перемещения (три цилиндрические направляющие и ходовой винт с электромеханическим приводом). Грубая установка головки в рабочее положение производится с помощью вертикального перемещения ползуна стойки и горизонтального хода сварочной головки. Манипулятор полуавтомата предназначен для установки свариваемого изделия в рабочее положение и для вращения изделия в процессе сварки. Манипулятор включает в себя вспомогательные узлы: распорное кольцо с электромеханическим приводом и направляющие, на которых устанавливается соосный с планшайбой и вращающийся упор-центр с электромеханическим приводом. Благодаря тому, что полуавтомат снабжен системой автоматического регулирования длины дуги центровки свариваемого изделия относительно электрода не требуется. Корректировка положения электрода в плоскости свариваемого стыка осуществляется сварщиком при помощи маховика, установленного на сварочной головке.

Компоновочная схема установки и наличие электрических приводов у всех механизмов позволяют сварщику выполнять большую часть основных и вспомогательных операций сидя, осуществляя управление механизмами установки и поворачивающегося пульта.

Техническая характеристика полуавтомата для сварки кольцевых швов

Максимальная длина свариваемых деталей, мм	1050
Диаметр свариваемых деталей, мм	50-800
Скорость вращения планшайбы, об/мин	до 3,5
Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч	до 200
Скорость подачи сварочной головки, м/ч	до 50
Габариты, мм:	
длина	1350
ширина	1100
высота	1800
Вес, кг	360

● ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ ЗАВАРКИ ТРУБОК



"ЭЛЕКТРОНИКА - 3"

Для заварки трубок в кольца водосборников сеток разработан специализированный сварочный полуавтомат "Электроника-3", позволяющий выполнять в течение одного автоматического цикла заварку всех 36 трубок в кольце. Полуавтомат состоит из механизма для подъема и опускания планшайбы, шкафа для аппаратуры, пульта управления процессом сварки и стойки, смонтированных на общей раме. Планшайба снабжена делительным устройством, позволяющим с достаточно высокой точностью установить свариваемую трубку под электрод сварочной горелки. Сварка производится при



СЕТКА ПРИБОРА

вращении сварочной головки над свариваемым стыком. Радиус окружности вращения электрода на сварочной головке устанавливается с помощью микрометрического винта и линейки с нониусом. Для сварки трубок с кольцами разных диаметров сварочную головку можно перемещать в радиальном направлении. С целью уменьшения сварочных деформаций в электрической схеме и конструкции полуавтомата предусмотрена возможность сварки трубок с кольцом со ступенчато-регулируемым шагом подачи. При отработке технологии сварки был принят оптимальный шаг подачи.

Техническая характеристика полуавтомата для заварки трубок

Скорость вращения сварочной головки, <i>об/мин</i>	5–60
Скорость вращения планшайбы, <i>об/мин</i>	1–10
Шаг подачи изделия (через 10°), <i>град</i>	10–110
Вертикальный ход планшайбы, <i>мм</i>	400
Вертикальный ход сварочной горелки, <i>мм</i>	30
Радиальный ход сварочной горелки, <i>мм</i>	200
Максимальные размеры свариваемого изделия, <i>мм</i> :	
высота	600
диаметр	500
Диаметр свариваемой трубки, <i>мм</i>	5–25
Габариты, <i>мм</i> :	
длина	1300
ширина	800
высота	2200
Вес, <i>кг</i>	240

На базе полуавтомата для заварки трубок созданы полуавтомат для сварки конусной дугой сеток (дугой, вращаемой магнитным полем) и полуавтомат для сварки с днищем прибора металлокерамических изоляторов электродов. Сварочная головка последнего полуавтомата снабжена механизмом

подачи присадочной проволоки. Необходимость подачи присадочного металла в сварной шов вызвана металлургическими особенностями сварки разнородных металлов, которые имеют различные коэффициенты теплового расширения, что вызывает значительные термомеханические напряжения в металле шва.

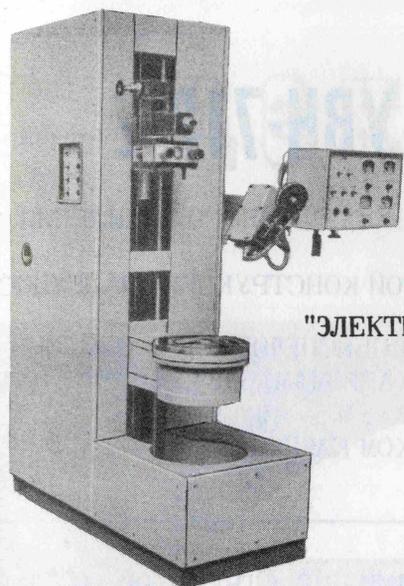
● УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЕ

Для соединения деталей внутриламповой арматуры (кронштейнов, штуцеров и др.) разработана установка для ручной и механизированной сварки в контролируемой среде. Установка состоит из вакуумной камеры и двух шкафов с аппаратурой, установленных на общей раме. В одном из шкафов размещена пуско-регулирующая аппаратура для управления процессом сварки, а в другом — откачная система и устройство для заполнения камеры инертным газом. Внутри вакуумной камеры расположены планшайба с механизмами для ее вращения и подъема, устройства для установки горелки механизированной сварки с тремя степенями свободы и горелки ручной сварки. Верхняя крышка камеры изготовлена из оргстекла. На наружной стенке камеры имеются люки, в которых закреплены резиновые перчатки для проведения работ (сборки изделия и ручной сварки) в заполненной инертным газом камере одновременно двумя операторами (сварщиком и сборщиком). Управление механизмами возможно как с наружного пульта управления, так и с помощью дублирующих выключателей, установленных внутри камеры.

Техническая характеристика установки для сварки в контролируемой среде

Объем рабочей камеры, <i>м³</i>	0,6
Предельное разрежение в камере, <i>торр</i>	10 ⁻³
Время откачки, <i>мин</i>	15–20
Максимальный диаметр свариваемого изделия, <i>мм</i>	400
Максимальная высота свариваемого изделия, <i>мм</i>	800
Скорость вращения планшайбы, <i>об/мин</i>	0,2–2,0
Габариты, <i>мм</i> :	
длина	2200
ширина	1800
высота	1900
Вес установки, <i>кг</i>	600

● УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ



"ЭЛЕКТРОНИКА - 4"

Для сварки электроприборов, имеющих значительную длину (до 2000 мм), и вскрытия сварных швов с целью удаления дефектных секций разработана установка "Электроника-4", состоящая из сварочного полуавтомата и головки для фрезерования. Все элементы конструкции полуавтомата соединены общим каркасом, на котором расположены следующие основные узлы: планшайба, пульт-каретка со сварочной головкой, механизмы подачи присадочной проволоки и вертикальной подачи планшайбы, фрезерной и сварочной головок. Планшайба, фрезерная головка и пульт-каретка снабжены независимыми приводами.

Техническая характеристика установки для сварки и фрезерования

Максимальный диаметр свариваемых узлов, мм	350
Максимальный подъем сварочной головки, мм	1650
Скорость вращения планшайбы, об/мин	1-10
Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч	250
Вертикальный ход планшайбы, мм	570
Вертикальный ход фрезерной головки, мм	500-1400
Вертикальный ход сварочной головки, мм	1160
Габариты, мм:	
глубина	1330
ширина	950
высота	2010
Вес установки, кг	560

Электрические схемы всех сварочных полуавтоматов собирают из унифицированных функциональных блоков, обеспечивающих автоматическое исполнение следующих операций: предварительную установку параметров режима сварки; возбуждение сварочной дуги пробоем дугового промежутка высокочастотной искры осциллятора; поддержание установленного напряжения сварочной дуги (длины дуги) с точностью $\pm 0,02$ в, стабилизацию скорости сварки, подачи присадочной проволоки с точностью $\pm 3\%$ и установленного значения сварочного тока; плавное гашение дуги при окончании процесса сварки с регулируемой скоростью спада тока; подачу защитного газа перед возбуждением дуги и после ее гашения с регулируемой длительностью продувки газа до и после выполнения цикла сварки.

Годовой экономический эффект, полученный в результате внедрения нового оборудования для аргонодуговой сварки, полностью оправдал затраты на опытно-конструкторские работы по созданию оборудования, а капитальные затраты на оборудование окупаются в течение 1,5-2 месяцев эксплуатации.

Статья поступила 23 декабря 1969 г.

УДК 621.385.183.032.002.5:621.791.55.03



"Контакт-1А"

ТЕРМОКОМПРЕССИОННЫМ
УСТАНОВКАМ ПРИСВОЕН
ЗНАК КАЧЕСТВА



"Контакт-3А"

Установка УВН-71Р-2



■ ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОГО НАПЫЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ.

■ ОТЛИЧАЕТСЯ ПРОСТОТОЙ КОНСТРУКЦИИ, НАДЕЖНОСТЬЮ В РАБОТЕ.

УДОБНАЯ КОМПОНОВКА ОБЕСПЕЧИВАЕТ СВОБОДНЫЙ ДОСТУП КО ВСЕМ УЗЛАМ И МЕХАНИЗМАМ. ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ВАКУУМ $5 \cdot 10^{-7}$ мм рт.ст.

■ ВЫПУСКАЕТСЯ СО ЗНАКОМ КАЧЕСТВА.

лазерная

технологическая

установка

«КВАНТ-9»

ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ЛЮБЫХ МАТЕРИАЛАХ, ОСОБЕННО ЭФФЕКТИВНА ПРИ СВЕРЛЕНИИ ЧЕРНОВЫХ ОТВЕРСТИЙ В АЛМАЗНЫХ ВОЛОКАХ.

■ Производительность установки при сверлении алмазов лучом лазера в 20 раз выше, чем при электрофизических методах, и в 200 раз превышает производительность механического сверления.

■ Позволяет получать отверстия всех размеров и форм.

■ Может работать при автоматическом управлении.

■ Оптическая система установки дает возможность наблюдать обрабатываемую заготовку при 60-кратном увеличении в двух проекциях (сверху и сбоку), изображения которых совмещены в одном поле зрения.

■ Модульная конструкция установки позволяет оптимально располагать узлы установки в соответствии с производственными условиями.

Диаметр отверстия до 0,8 мм.

Глубина отверстия до 3 мм.

«ФИАЛКА»

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ

ПЛАЗМЕННАЯ УСТАНОВКА

Безэлектродный генератор низкотемпературной плазмы предназначен для проведения различных плазмохимических процессов: синтеза чистых материалов, выращивания монокристаллов, нанесения чистых диэлектрических покрытий и пленок и др. Источником энергии являются два магнетрона, генерирующие мощность 5 кВт на частоте 2375 МГц.

МЕХАНОЛОГИЯ



ЭЛИОНИКА, КАТОДНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ИСПАРЕНИЕ В ВАКУУМЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ РС-СТРУКТУРЫ

БАЛОЧНЫЕ ВЫВОДЫ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Элионика, катодное распыление и испарение в вакууме совершенствуют технологические процессы изготовления дискретных полупроводниковых приборов и открывают новые возможности для изготовления интегральных твердых и гибридных схем.

Перспективные технологические направления в

ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ приборостроении

Наиболее перспективными технологическими направлениями в полупроводниковой электронике являются распыление материалов в вакууме и применение электронных и ионных пучков (элионика). На наш взгляд, в сочетании оба эти метода способны привести к кардинальному преобразованию полупроводникового производства.

Нанесение различных материалов в вакууме производится методами термического испарения и катодного распыления. К разновидностям последнего относятся трехэлектродное распыление с термокатодом (или ионно-плазменное) и высокочастотное распыление.

Термическое испарение вследствие сравнительной простоты и высокой производительности нашло повсеместное применение. Одним из недостатков термического испарения, однако, является присутствие молекул остаточных газов. Например, при испарении алюминия плотность молекулярного потока обычно составляет $\sim 10^{20} \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. В то же время при давлении в камере испарения $\sim 10^{-5} \text{ торр}$ плотность потока молекул остаточных газов на подложку в условиях динамического равновесия составляет $10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, и только при давлении 10^{-6} торр этот поток уменьшается до приемлемого значения $10^{17} \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. Таким образом, для получения конденсата с совершенной структурой и малым количеством дефектов на границе пленка-подложка необходим либо глубокий вакуум, либо очень большие скорости испарения.

С развитием планарной технологии началось широкое применение термического испарения для создания невыпрямляющих контактов. Преимуществами этого способа являются малая глубина проникновения контакта, высокая чистота, возможность получения контактов с малым переходным сопротивлением, возможность локально-

го осаждения через маски, групповая технология и т.д.

Наибольшее распространение для планарных кремниевых приборов получил невыпрямляющий контакт из алюминия, применяемый на кремнии *p*- и *r*- типов проводимости вследствие простоты его изготовления и технологичности. Испарение производится в вакууме не ниже $5 \cdot 10^{-6} \text{ торр}$ с вольфрамовых спиралей. Толщина пленки составляет 1 мкм. Температура подложек не должна превышать 577°C , так как микроразогрев в местах конденсации паров может обуславливать сплавление. Сопротивление алюминиевого контакта почти линейно зависит от удельного сопротивления кремния. При изменении ρ_p от 0,5 до 0,002 *ом·см* сопротивление контакта R_k соответственно изменяется от $1,1 \times 10^{-3}$ до $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ ом·см}^2$. Сопротивление контакта на *n*-Si на два порядка выше.

Известно, что тугоплавкие металлы, имеющие сильное сродство к кислороду, обладают высокой адгезией к кремнию, двуокиси кремния и стеклообразным слоям, поэтому большое распространение получают контакты к кремнию с подслоем титана. На поверхности кремния при обычных условиях присутствует пленка двуокиси кремния толщиной 20–50 Å, препятствующая получению контакта с низким сопротивлением. Титан, наносимый на двуокись кремния при нагреве до $400\text{--}500^\circ\text{C}$, восстанавливает кремний: $\text{Ti} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{TiO}_2 + \text{Si}$. Образовавшаяся при этом двуокись титана обладает сравнительно хорошей проводимостью и сопротивление контакта R_k составляет $2,5 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-5} \text{ ом·см}^2$ при $\rho_p = 0,02 + 0,005 \text{ ом·см}$ и $1 \cdot 10^{-4}$ – $2,6 \cdot 10^{-5} \text{ ом·см}^2$ при $\rho_n = 0,005 + 0,01 \text{ ом·см}$. Для защиты титанового слоя от окисления напы-

ляется золото, серебро, протактиний или никель. Наряду с титаном могут применяться также молибден, ниобий, тантал, ванадий и хром.

Высокотемпературный малопроникающий контакт к кремнию получают напылением слоев хрома (~1000 Å) и золота (~3000 Å). Структуру подвергают термообработке при 900°C, в результате которой происходит вжигание хрома в кремний. Так как хром хорошо сублимируется, то испарение хрома и золота можно вести из одной молибденовой или танталовой лодочки. Вначале испаряется хром, затем с повышением температуры начинает испаряться золото. Сопротивление контакта $1 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ ом} \cdot \text{см}^2$ при $\rho_n = 0,005 + 1,0 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

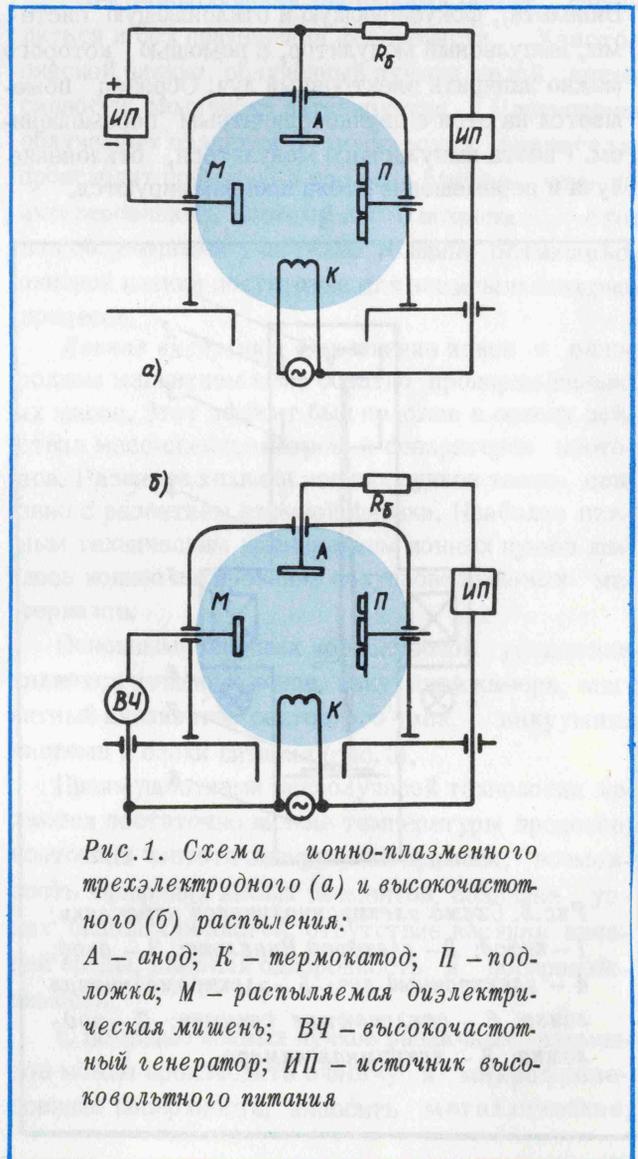
Катодное распыление. Достоинством этого метода является отсутствие необходимости нагрева подложки. К недостаткам следует отнести наличие остаточного газа (молекулы которого, будучи химически активированы тлеющим разрядом, адсорбируются на поверхности подложки, взаимодействуют с атомами металла и загрязняют конденсат), а также возможность образования соединений на катоде и в пролетном пространстве, что существенно уменьшает скорость роста конденсата.

Реактивное катодное распыление применяется для создания покрытий из оксидов, нитридов, сульфидов, гидридов, например двуокиси кремния, полтораокси индия, нитрида кремния, пятиокси тантала, азотистого тантала и др.

С помощью реактивного распыления производится создание пленок двуокиси кремния на кремнии, германии, арсениде галлия. В качестве катода применяется пластина чистого кремния. Остаточный газ — смесь аргона с кислородом. Добавление аргона способствует увеличению скорости распыления и препятствует образованию пленки двуокиси на катоде. Ионы кислорода на поверхности подложки взаимодействуют с конденсирующимися атомами кремния, в результате чего образуется пленка SiO_2 , позволяющая проводить планарный процесс на германии и арсениде галлия. Для аналогичных целей используют пленки нитрида кремния. Для их получения реактивным распылением в камеру напускают тщательно осушенный и очищенный от кислорода азот (иногда с добавкой аргона). На подложке вследствие большой химической активности ионизированного азота возникает соединение Si_3N_4 — нитрид кремния, отличающийся высокой химической стойкостью.

Ионно-плазменное распыление (плазма газового разряда низкого давления) применяется для получения тонких пленок высокой чистоты. Рабочий вакуум при распылении составляет $5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4} \text{ торр}$, поэтому длина свободного пробега ионов на два порядка выше, чем при обычном катодном распылении, и энергия ча-

стиц распыляемого вещества, попадающих на подложку, значительно больше. При термическом испарении она составляет доли электронвольта, при катодном — единицы, а при ионно-плазменном — десятки. В низком вакууме самостоятельный разряд не зажигается, и для инъекции электронов служит подогреваемый катод, ток эмиссии которого достигает 10 – 20 а. Разряд — дуговой. Между анодом и катодом приложено напряжение 200 – 300 в. Распыляемый материал в виде пластины ("мишени") размещается между анодом и катодом. На нее подается отрицательное относительно анода смещение 1 – 3 кВ. Напротив мишени размещена заземленная подложка (рис. 1, а). Для напыления сплавов или многослойных металлических покрытий вводятся две или более "мишени". Для двустороннего напыления две параллельно соединенные мишени размещаются по обе стороны от пластины полупроводника. Вследствие большой энергии атомов распыляемого материала полученные покрытия обладают высокой адгезией (на один – два порядка выше, чем при термическом распылении).



С помощью ионно-плазменного метода можно производить распыление диэлектриков. При использовании схемы (рис.1,а), когда мишень — диэлектрик, положительный заряд упавших на нее ионов не может нейтрализоваться, что препятствует дальнейшей бомбардировке, и распыления не происходит. Для распыления используется схема, в которой между землей и мишенью прикладывают высокочастотное напряжение (рис.1,б). При отрицательном знаке на мишени происходит распыление, при положительном — на мишень из плазмы разряда приходят электроны, нейтрализующие положительный заряд. Так как подвижность электронов больше подвижности ионов, то в целом мишень оказывается под отрицательным потенциалом.

Электронная обработка. Электронные лучи сравнительно недавно начали применяться в технологии производства изделий электронной техники, но уже в течение многих лет известно их применение для других целей.

Электроннолучевые установки (см.рис.2) содержат катод, анод, управляющий электрод (электрод Винельта), фокусирующую и отклоняющую системы, импульсный модулятор, с помощью которого можно закрывать электронный луч. Образец помещается на стол с двухкоординатным перемещением. Работа импульсного модулятора, отклонение луча и перемещение стола программируются.

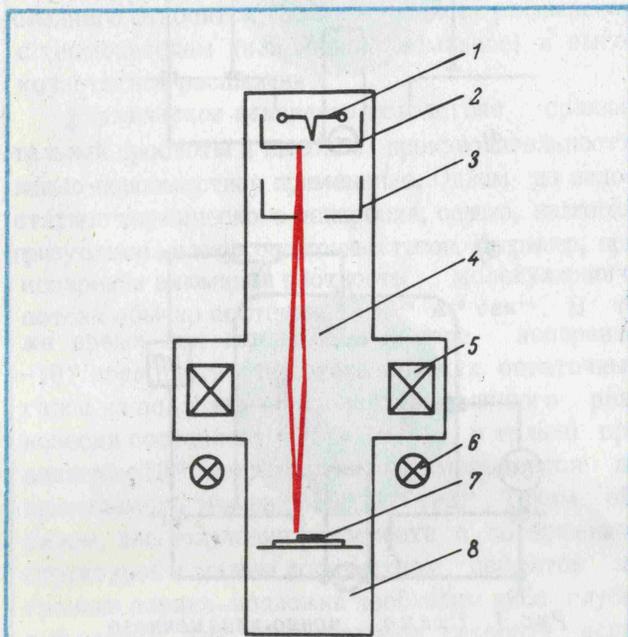


Рис.2. Схема электроннолучевой установки: 1 — катод; 2 — электрод Винельта; 3 — анод; 4 — электронный луч; 5 — электромагнитная линза; 6 — отклоняющие катушки; 7 — подложка; 8 — вакуумная камера

Эмиттированные с катода электроны под воздействием ускоряющего анодного напряжения от 10 до 200 кВ устремляются через диафрагмы электрода Винельта и анода в колонну, где стоят электромагнитные линзы (1–3 шт.), фокусирующие луч на плоскости образца. Электроны, ускоренные напряжением $U \leq 100$ кВ, проникают в материал с плотностью d на глубину

$$h = 2,1 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{U^2}{d}. \quad (1)$$

Для кремния при напряжении 10 кВ $h = 0,9$ мкм; при напряжении 30 кВ $h = 8,1$ мкм и при напряжении 100 кВ $h = 90$ мкм.

Диаметр фокального стигматического пятна составляет обычно 1–100 мкм в технологических установках и 100–500 Å в исследовательских.

Технологические методы, основанные на использовании энергии электронных пучков, делятся на две категории: тепловые и нетепловые. Тепловые процессы состоят из плавления, испарения или диффузии. Они применяются для микрофрезерования и резания тонких пленок, полупроводниковых и металлических пластин, для микросварки электродных выводов и деталей корпусов, для получения тонких монокристаллических пленок германия и кремния; для создания р-п переходов, омических контактов и межэлектродных соединений. Нетепловые процессы позволяют интенсифицировать физикохимические процессы, совершающиеся на поверхности полупроводниковой или диэлектрической подложки: десорбцию, полимеризацию, конденсацию, деструкцию и др.

При микрофрезеровании и сварке для ограничения возрастания температуры в материале вблизи рабочей зоны применяется импульсная бомбардировка со скважностью более 10 и частотой следования импульсов 0,1–10000 Гц. Для удобства манипулирования со сложными и большими обрабатываемыми объектами сконструированы установки с выводом электронного луча в атмосферу через специальную диафрагму с коэффициентом пропускания электронов до 90%.

Для получения полупроводниковых монокристаллических пленок перспективным является способ микронной поверхностной рекристаллизации. На подложку из вольфрама или молибдена напыляется поликристаллический слой германия толщиной 5–10 мкм. Микронная рекристаллизация осуществляется сканирующим электронным пучком с частотой развертки несколько сотен герц и ходом луча — несколько миллиметров. Ширина зоны расплава 100 мкм и скорость смещения зоны расплава 1 мм/сек. Для обеспечения монокристаллического роста подложка нагревается до 600°C.

В начале 60-х годов проявился интерес к электроннолучевой технологии для создания $p-n$ переходов способами микролегирования и микросплавления. Наибольшее распространение получил первый способ. Пластика кремния n -типа проводимости химически полируется и подвергается термическому окислению. На окисную пленку в вакууме напыляется акцепторный элемент — алюминий или бор в составе B_2O_3 . В электроннолучевой установке под воздействием электронной бомбардировки алюминий над окисной пленкой и кремний под нею плавятся, а сама пленка разрушается, чему способствует изменение объема кремния в зоне расплава ($T_{пл Si} = 1420^\circ C$, $T_{пл Al} = 660^\circ C$, $T_{пл SiO_2} = 1710^\circ C$). Вследствие наличия конвекционных потоков и диффузии примеси в расплаве происходит равномерное распределение атомов алюминия по расплаву. Излишки алюминия испаряются. Диаметр зоны расплава больше диаметра отверстия в окисной пленке вследствие значительного различия в температуре плавления кремния и SiO_2 . Зона расплава имеет форму полусферы или шарового сегмента. После прекращения электронной бомбардировки расплав кристаллизуется. На границе расплава с твердым кремнием n -типа образуется $p-n$ переход, периферийная граница которого выходит на поверхность пластины под слоем двуокиси. Так как время воздействия электронного луча не превышает нескольких секунд, то заметной диффузии примесей в твердой фазе не происходит и образовавшийся $p-n$ переход имеет ступенчатое распределение примеси. Увеличивая время обработки, можно получить диффузионный переход. В зависимости от применяемого оборудования могут быть получены $p-n$ переходы диаметром 5–300 мкм.

При малых ускоряющих напряжениях рассеяние электронов происходит в поверхностном слое расплавляемого легирующего металла, в котором создается соответствующая доля полупроводникового материала. После охлаждения образуется микросплавная структура.

Принципиальным отличием электроннолучевого метода от других методов создания переходов является наличие очень высоких градиентов температуры, что приводит к возникновению больших механических напряжений в области переходов. Кроме того, после кристаллизации расплава в центральной части зоны нагрева образуется конусообразный выступ, форма которого зависит от условий приложения пучка электронов, а размеры — от длительности воздействия.

При облучении органических веществ нетермическими электронными пучками молекулярные

связи разрываются, что приводит к изменению химического состава и физических свойств облученного вещества. Между отщепленными атомами и атомными группами возникают новые углеродные связи, что способствует изменению растворимости, прочности и термостойкости облученных веществ. Большое внимание уделяется в настоящее время экспонированию фоторезистов с помощью сканирующих электронных пучков. Применение электронного пучка диаметром 100 Å позволяет повысить точность проработки элементов микроизображений и уменьшить их размеры. При экспонировании негативных фоторезистов ультрафиолетовым излучением энергия фотонов расходуется только на полимеризацию молекул фоторезиста. При электроннолучевом экспонировании электроны обладают столь большой энергией, что разрывают все химические связи, полностью перестраивая молекулы. Энергия электронов составляет 10–20 кэВ, ток в луче $10^{-9} - 10^{-7}$ а. Полное задубливание пленки фоторезиста площадью 125x500 мкм сканирующим пучком диаметром 1 мкм осуществляется за 50 мксек при экспозиции 10^{-5} к/см².

Электроннолучевая литография может проводиться и без применения фоторезиста. Участок окисной пленки, облученный пучком малой интенсивности, химически активируется. Растворение облученных областей в химических травителях происходит примерно в три раза быстрее, чем неактивированных, поэтому после вскрытия окон под облученными участками толщина оставшейся окисной пленки достаточна для защиты в планарном процессе.

Ионное внедрение. Отклонение ионов в однородном магнитном поле обратно пропорционально их массе. Этот эффект был положен в основу действия масс-спектрометров и сепараторов изотопов. Развитие техники ионных пучков тесно связано с развитием атомной физики. Наиболее важным техническим применением ионных пучков явилось ионное легирование полупроводниковых материалов.

Основными блоками ионнолучевой установки являются источник ионов, вакуумная камера, магнитный анализатор секторного типа, вакуумная система и блоки питания (рис. 3).

Преимуществами ионнолучевой технологии являются достаточно низкие температуры процесса, изотопная чистота легирующей примеси, возможность внедрения любых элементов, создание узких базовых областей, отсутствие влияния внешней среды, высокая однородность и воспроизводимость.

С помощью ионных пучков различных элементов можно производить очистку и микрофрезерование поверхности, наносить металлические,

диэлектрические и полупроводниковые пленки, осуществлять локальное или сплошное легирование полупроводников. В настоящее время разработаны промышленные устройства для внедрения ионов бора и фосфора с энергией в пределах 50–500 кэв. Введение фосфора осуществляется при 150–250 кэв, бора – при 50–150 кэв.

Поверхностная концентрация $C_x = C_0$ при $x = 0$ будет меньше максимальной

$$C_0 = C_m \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{R_p}{\Delta R_p} \right)^2 \right] \pm C_B. \quad (6)$$

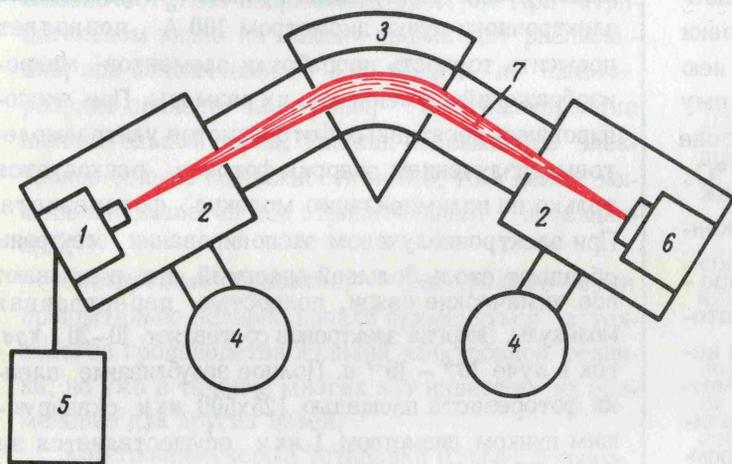


Рис.3. Схема ионнолучевого ускорителя:

1 - источник ионов; 2 - вакуумная камера; 3 - электромагнитный сепаратор; 4 - вакуумные насосы; 5 - блок высоковольтного питания; 6 - приемник ионов; 7 - поток ионов

Так как в общем случае рассеяние ионов носит случайный характер, то распределение их пробегов и, следовательно, распределение концентрации внедренных ионов описывается функцией Гаусса (рис. 4):

$$C_x = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - R_p}{\Delta R_p} \right)^2 \right] \pm C_B, \quad (2)$$

где Q - поверхностная плотность внедренных ионов; ΔR_p - дисперсия нормального пробега; C_B - фоновая концентрация примеси; R_p - средний нормальный пробег.

Максимальная концентрация внедренных ионов в глубине легированного слоя $C_x = C_m$ при $x = R_p$

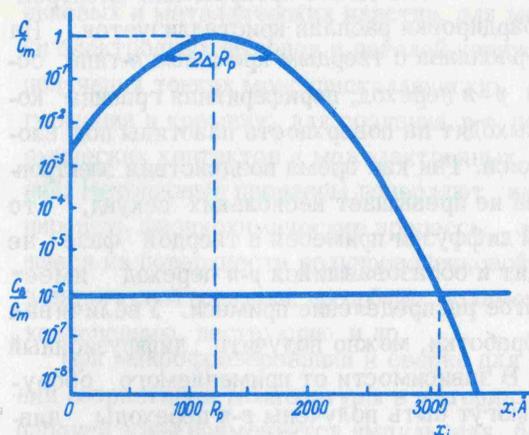
$$C_m = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p}. \quad (3)$$

Глубина залегания p - n перехода $x = x_j$ при $C_x = C_B$

$$x_j = R_p \pm \Delta R_p L, \quad (4)$$

где $L = \sqrt{2 \ln \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p C_B}}. \quad (5)$

Рис.4. График распределения концентрации атомов фосфора в ионнолучевом p - n переходе ($E_0 = 100$ кэв)



Если $C_0 < C_B$, то однократное легирование позволяет сразу получить транзисторную структуру с толщиной базы $W_0 = 2\Delta R_p L$.

Градиент концентрации примеси в p - n переходе

$$a_j = \frac{C_B}{\Delta R_p} L \quad (7)$$

является важным параметром для многих приборов.

Ионное легирование позволяет создавать планарные p - n переходы, граница которых располагается под слоем защитного покрытия. Если выполняется соотношение $A_1 \leq A_2$ (A_1, A_2 - атомная масса), то при столкновении угол отклонения иона θ может принимать значения $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ и неко-

торая часть ионов будет двигаться вдоль поверхности. При легировании кремния, покрытого слоем двуокиси или нитрида кремния со вскрытыми в них окнами, граница $p-n$ перехода вследствие бокового рассеяния ионов бора будет лежать под краем защитного покрытия на расстоянии $0,1-1,0$ мкм.

Методом ионного внедрения получены солнечные элементы с к.п.д. 12%, кремниевые счетчики частиц, полевые транзисторы, транзисторы с ба-

зой толщиной $500-8000 \text{ \AA}$, резисторы для интегральных схем с поверхностным сопротивлением от 10 ком до 1 Мом , а также различные диодные структуры с электрическими характеристиками не хуже планарных приборов.

Статья поступила 1 декабря 1969 г.

УДК 621.382.002.2

Г.Г.СМОЛКО, И.В.ЗАУМЫСЛОВ, В.Н.ЖЕЛТОВ

ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Элионика открывает широкие перспективы дальнейшего развития

микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры



Проводимые работы по исследованиям возможностей применения электронной и ионной технологии при изготовлении полупроводниковых интегральных схем ставят своей целью определение целесообразности и необходимости применения элионных методов для решения экстремальных задач планарной технологии: получения элементов твердых схем с размерами $1-3$ мкм и менее; создания низкотемпературных методов получения $p-n$ переходов; сокращения времени изготовления и улучшения качества нерегулярных межсоединений больших интегральных схем (БИС); создания бесконтактных методов контроля. Работы в этой области ведутся по четырем направлениям [1]:

а) создание оборудования и разработка электронолитографических методов с помощью обработки сфокусированным лучом органических (типа фоторезистов) и кремнийорганических (типа трифенилсиланола) соединений;

б) создание оборудования и разработка технологии разложения элементоорганических соединений из газовой фазы остросфокусированным лучом;

в) разработка технологии получения $p-n$ переходов с помощью ионного легирования;

г) создание оборудования и разработка методов бесконтактного контроля полупроводниковых схем с помощью электронного растрового микроскопа.

Применение электронно-ионной технологии для изготовления гибридных интегральных схем [2,3] позволило изготовить безмасочные многослойные

пассивные микросхемы с коротким циклом производства (3-5 дней); получить резистивные микросхемы с поверхностной плотностью $100-200$ элементов/см² и точностью изготовления компонентов по номиналам $\pm 10\%$; определить основные технические требования к производственному электроннолучевому серийному оборудованию для массового производства с непрерывной загрузкой изделий [4,5]; исключить брак при напылении резистивного слоя, который в настоящее время при обычной технологии достигает 50% при поле допуска $\pm 10\%$; автоматизировать контроль номиналов в процессе изготовления. Ниже приводятся сравнительные характеристики масочного и элионного технологических процессов для RC-схем:

	Масочный	Элионный
Количество оборудования, ед.	345	36
Занимаемая площадь, м ²	2451	628
Число занятых рабочих	794	108
	(с учетом 15 наладчиков)	(с учетом 50 наладчиков)

Если рассматривать операции, из которых складывается технологический процесс изготовления интегральных схем, то при применении электронно-ионной технологии распределение единиц оборудо-

дования по операциям можно представить следующим образом:

	Количество оборудования, ед.	Занимаемая площадь, м ²
Изготовление платы и контроль габаритов	22	200
Армирование	2	32
Очистка подложек	1	20
Напыление резистивного и контактного слоя	1	50
Нанесение маскирующего покрытия	1	20
Фрезеровка электронным лучом маскирующего покрытия	1	60
Травление меди, промывка и удаление маскирующего покрытия	1	30
Фрезеровка резистивного слоя с подгонкой номиналов	1	60
Лужение контактных площадок	1	24
Пайка транзисторов с шариковыми выводами	1	40
Герметизация схем	2	24
Контроль закрытой схемы по ТУ	1	24
Упаковка	1	20
Итого	36	628

Характерной особенностью технологии тонкопленочных гибридных схем является возможность получения стабильных и прецизионных компонентов, имеющих достаточно широкий ряд номиналов. На основе тонкопленочных гибридных схем можно создавать различные линейные импульсно-потенциальные (рис. 1, 2) и другие системы, микроминиатюризация которых методами полупроводниковой технологии неэкономична либо невозможна. Элионика дает возможность широко внедрить перспективный метод построения и технологии интегральных схем с распределенными параметрами, который позволяет уменьшить необходимое количество компонентов в микросхеме в 5–10 раз, что в свою очередь приводит к увеличению надежности, улучшению частотных характеристик, уменьшению трудоемкости изготовления радиоэлектронной аппаратуры. Разработка нового класса микросхем открывает перед разработчиками аппаратуры дополнительные возможности, которые не могут быть

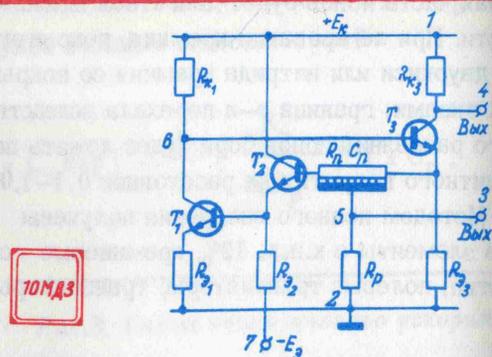


Рис.1. Схема усилителя промежуточной частоты на 465 кГц, изготовленная на основе распределенных RC-структур с помощью элионной техники

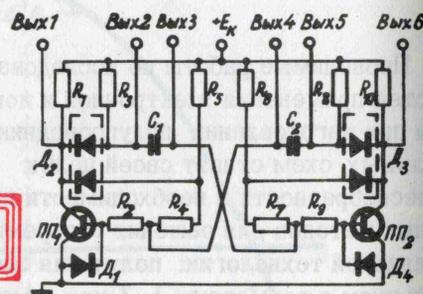
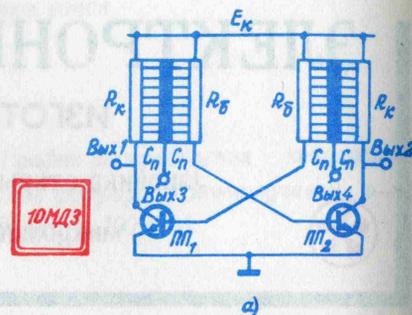


Рис.2. Схема мультивибратора: а—изготовленная на основе распределенных RC-структур с помощью элионной техники; б—изготовленная на основе сосредоточенных RC-параметров с помощью масочной технологии

в настоящее время реализованы с помощью разрабатываемых технологических методов.

Эффективность использования тонкопленочных гибридных схем в указанных выше областях применения значительно возрастет, если использовать новый принцип построения интегральных схем на основе распределенных RC-структур, получаемых при совмещении функций емкости и сопротивления в одном компоненте.

Распределенные RC-структуры, состоящие в общем случае из чередующихся слоев с контактами, позволяют существенно сократить размеры и число компонентов интегральной схемы, повысить

схемную надежность, а часто и получить новые характеристики, не достигаемые при использовании цепочек с ограниченным числом обычных сосредоточенных компонентов-емкостей и резисторов.

Работа по исследованию характеристик и методов расчета распределенных RC-структур и возможностей их использования в различных типах радиоэлектронных микросхем позволила проанализировать перспективную методику расчета (с помощью ЭВМ), а также на основе исследований распределенных RC-структур рассмотреть характерные особенности конструирования значительного числа микросхем, в которых целесообразно использовать распределенные RC-структуры. В частности, были выполнены обширные исследования частотно-избирательных и полосовых усилителей с заграждающим фильтром на RC-структуре в цепи обратной связи, а также генераторов синусоидальных колебаний с фазирующими цепочками различных типов на распределенных RC-структурах.

Следует особо отметить целесообразность, а зачастую прямую необходимость построения различных микроминиатюрных линейных частотно-избирательных систем на распределенных RC-структурах. Это связано с тем, что до настоящего времени не удалось создать микроиндуктивности с большой добротностью и высокой стабильностью или ее аналога в интегральном исполнении, и вопрос решался с помощью обычных навесных компонентов в виде катушек индуктивностей, трансформаторов, контуров и т.д. Частоты, на которых возможна реализация микроиндуктивностей, оцениваются в 10 МГц и выше.

Таким образом, очень важная в технике связи, автоматике, телеметрии полоса частот ниже единиц мегагерц не может быть реализована в интегральном исполнении в случае использования "традиционных" методов конструирования радиоэлектронных систем. Поэтому быстрое освоение проектирования систем с помощью частотно-избирательных компонентов (как пассивных, так и активных) на основе распределенных RC-структур открывает огромные возможности дальнейшей комплексной микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры.

При создании любых прецизионных и стабильных схем особое место занимает проблема настройки. Эта проблема облегчается тем, что при изготовлении пассивных компонентов микросхемы на основе электронно-ионной технологии они могут быть изготовлены с точностью не менее 1%, что позволит реализовать микросхемы со стабильностью характеристик того же порядка. Это в конечном счете позволит в ряде случаев исключить вообще операцию настройки микросхемы, упростив тем самым технологический процесс и снизив стоимость пассивной платы микросхемы.

Предварительные исследования применения распределенных RC-структур позволяют сделать вы-

вод, что число пассивных компонентов в микросхеме сокращается по меньшей мере в два-три раза за счет их интеграции. Соответственно уменьшается количество соединений, упрощается процесс разработки топологии микросхемы и экономится площадь подложки. Кроме того, в значительной мере облегчается проблема паразитных связей между компонентами в микросхеме.

Значительным шагом на пути дальнейшей интеграции микросхем, увеличения плотности упаковки компонентов, получения новых функциональных и частотных характеристик может быть освоение многослойной технологии гибридных интегральных схем. В случае создания низкочастотных (десятки герц и ниже) избирательных усилителей и генераторов в интегральном исполнении весьма целесообразно использовать многослойные распределенные RC-структуры, которые позволят в несколько раз уменьшить площадь, занимаемую фильтром (так, например, при освоении 20-слойной технологии занимаемая компонентами площадь уменьшается почти в 7 раз).

Таким образом, изложенные выше соображения свидетельствуют о настоятельной необходимости направить основные усилия на решение актуальной и очень важной задачи микроминиатюризации линейной и прецизионной радиоэлектронной аппаратуры на основе тонкопленочной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заумислов Ю.В., Докучкина Л.В., Марычева Р.В. Изготовление пленочных емкостных элементов на основе электроннолучевой технологии. "Электронная техника", сер. VI, 1968, вып. 2(10), стр.65-68.

2. Электронно- и ионнолучевая технология. Труды I-й международной конференции по теории и технологии обработки электронными и ионными лучками. Под ред. Ольшанского Н.А. Изд-во "Металлургия", 1968.

3. Введение в технологию электроннолучевых процессов. Пер. с англ. под ред. Ольшанского Н.А. Изд-во "Металлургия", 1965.

4. Данилин Б.С., Заумислов Ю.В., Штейнман Г.А. Применение электронных и ионных лучей в микроэлектронике. Сб. "Микроэлектроника" под ред. Лукина Ф.В. Изд-во "Советское радио", 1968, вып.2, стр.34-50.

5. Заумислов Ю.В., Марычева Р.В. Использование управляемого электронного луча для изготовления пассивных элементов микросхем. "Электронная техника", сер. VI, вып.2(10), 1968, стр.25-28.

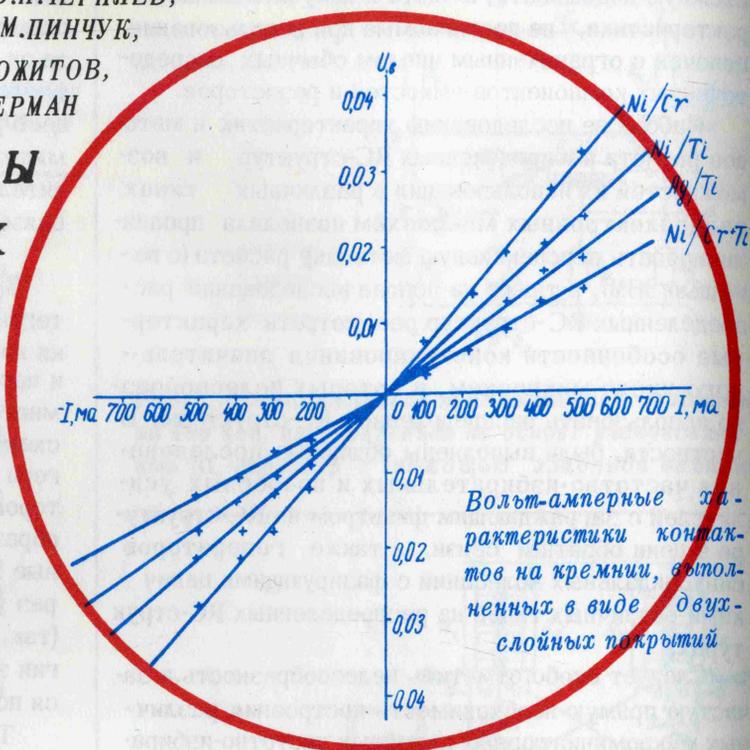
Статья поступила 20 декабря 1969 г.

В.Н.ЧЕРНЯЕВ,
Я.М.ПИНЧУК,

Л.В.КОЖИТОВ,
Ю.И.ГЕРМАН

ОМИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ ДЛЯ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Созданы двухслойные омические контакты для силовых полупроводниковых приборов (диодов, тиристоров) с пробивным напряжением 2500 в.



Одной из основных проблем создания силовых полупроводниковых приборов с эпитаксиальными p-n переходами является получение надежных омических контактов. Высокую адгезию проводящей пленки к подложке можно обеспечить методом двухслойного покрытия вакуумно-термическим испарением. [1, 2]. Первый слой обеспечивает высокую прочность сцепления с полупроводниковой структурой, а второй – возможность сплавления с последующими элементами контакта.

В данной работе исследовались омические контакты, выполненные в виде двухслойных покрытий из следующих металлов и сплавов: Ni/Cr, Ni/Ti, Ag/Ti, Ni/(Cr + Ti), Ag + 3% Sb/Cr, AlSi/Si. В числителе указан верхний слой металла, а в знаменателе металл или сплав подслоя, обеспечивающий хорошую адгезию к полированной поверхности кремниевой структуры. Толщина подслоя в наших экспериментах составляла 0,5–1 мкм, толщина верхнего слоя 1,5–2 мкм. Напыление обоих слоев проводилось за один цикл в вакуумной камере при давлении $(1-5) \cdot 10^{-6}$ торр. Перед нанесением контактов эпитаксиальные структуры подвергались травлению в плавиковой кислоте, промывке в деионизованной воде, обезжириванию в кипящем толуоле и промывке в спирте-ректификате. Темпе-

ратура подложки подбиралась по принципу конденсации пар – жидкость – кристалл, обеспечивающему наибольшую прочность сцепления слоев [3]:

$$T_{\text{п}} \cong \frac{1}{3} T_{\text{пл}}$$

где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления металла (сплава), °С.

Температурный режим испарения обеспечивал давление паров для выбранных металлов и сплавов в камере напыления не менее $1 \cdot 10^{-2}$ торр.

Температурный режим испарения металлов при остаточном давлении в камере $(1-5) \cdot 10^3$ торр, °С:

Cr	1300	Ag	1050
Ni	1500	(Cr+Ti)	1500
Ti	1550	V	1850

Для оценки прочности сцепления полученного двухслойного контакта с эпитаксиальной структурой к участку контактного слоя припаивали гибкий пруток, к которому прикладывалась контролируемая статическая нагрузка. Испытания покрытий на устойчивость к коррозии проводили в однокомпонентных кислотных и щелочных растворах при фиксированных температуре и концентрации. Для измерения удельного электрического сопротивления перехода металл – полупроводник использовался двухзондовый компенсационный метод*, с помощью которого устанавливалась зависимость между падением напряжения и изменением фиксированного расстояния между зондами при одинаковой токовой

* Методика измерения разработана А.Б. Алмазовым и Е.В. Куликовой.

нагрузке. По ряду замеров строили кривые $\Delta U(R) = f(x)$, где x — расстояние между зондами в миллиметрах, которые экстраполировали на нулевое расстояние, определяя тем самым искомое сопротивление контакта. Суммированием указанной зависимости для ряда значений тока определяли вольт-амперную характеристику контакта. Вольт-амперные характеристики контактов, выполненных в виде двухслойных покрытий, представлены на рисунке.

Прочность сцепления контактных покрытий (Ni/Cr, Ni/Ti, Ni/Ti + Cr) с полированной поверхностью кремния, нанесенных на подложки при температуре конденсации металлов 400–500°C, составляет ~200 кг/см². Полученные характеристики прочности контакта металл — кремний соизмеримы с пределом прочности элементарного кремния.

Средняя величина прямого падения напряжения в силовом полупроводниковом приборе (диоде, тиристоре) на площади 5–8 см² составляет 0,5 – 0,8 в. Падение напряжения на полученных нами контактах такой же площади при плотности тока 100 а/см² составит менее 10% общей величины прямого падения напряжения в приборе.

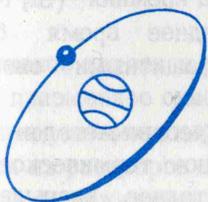
Уд. электросопротивление приконтактной области, ом·см	Переходное удельное электросопротивление контактов на кремнии <i>n</i> -типа, ом·см ² × 10 ⁴						
	Ag/Ti	Ni/Cr	Ni/Ti	Ni/Cr+Ti	Ag+3%Sb	Cr	AlSi Si
0,01	1,13	1,7	1,29	0,85	2,67	0,25	
0,05	2,44	3,61	2,76	1,92	4,42	0,29	

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрленд, Дреш "Труды института радиоинженеров по электронике и радиоэлектронике", М., "Мир", 1964, № 12, стр. 1775.
2. Conty R.I. "Metals Engng. Quart.", 1966, в. 6, N 1, р. 29–36.
3. Палатник Л.С., Папилов И.И. Ориентированная кристаллизация. М., изд-во "Металлургия", 1964, стр. 52–54.

Статья поступила 27 декабря 1969 г.

УДК 621.382.13



Г.Ф.ВАСИЛЬЕВ, С.Г.РАДКОВСКИЙ

СПОСОБЫ МОНТАЖА ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Обзор по данным зарубежной печати

Первоначальные способы сборки гибридных схем состояли из закрепления на пленочной пассивной микросхеме полупроводниковых кристаллов, несущих в себе полупроводниковые схемы или активные структуры, с помощью мягкого припоя, синтетических смол или клеящих веществ специального назначения и присоединения мягких выводов (проволочек-перемычек) от полупроводниковых кристаллов к контактам пленочной пассивной платы и на штыри корпуса: пайкой мягким припоем, термокомпрессионным соединением, сваркой расщепленным электродом, ультразвуковой сваркой. Принципиальные недостатки технологии соединения компонентов в гибридной микросхеме с помощью проволочек-перемычек вызвали необходимость исследования процессов исполнения таких соединений путем жесткого монтажа, который основывается на использовании полупроводниковых кристаллов с жесткими выводами.

Полупроводниковые кристаллы с жесткими выводами выгодно отличаются от кристаллов с мягкими выводами следующим:

1. Уменьшается длина взаимных соединений в гибридной микросхеме, а следовательно, уменьшается паразитная емкость между выводами и элементами полупроводниковых структур, что важно для переключающих и высокочастотных схем.

2. Все контакты, а их может быть несколько десятков в одной микросхеме, при большом количестве микросхем на одной пластине, выполняются одновременно за одну сравнительно простую операцию.

3. Кристаллы при их монтаже подвергаются значительно меньшему термическому и механическому перенапряжению, создающему дислокации и ухудшающему характеристики *p-n* переходов.

4. Монтаж кристаллов на пассивную плату или в корпус допускает высокую автоматизацию.

Задача разработки технологии жесткого монтажа может быть условно разбита на две относительные независимые части:

1. Разработка технологии изготовления жестких выводов, состоящая из операций получения контактного переходного слоя кремний-металл,

металлизованных дорожек, герметизации или защиты активных структур, создания жесткого вывода и разделения пластин.

2. Разработка технологии присоединения полупроводниковых кристаллов с жесткими выводами к пассивной плате или к корпусу.

Изготовление жестких выводов



Создание контактного переходного слоя кремний-металл. В процессе развития технологии создания жестких выводов (рис.1, а-е) разработаны различные композиции металлов для формирования контактного узла [1]. Низкоомные контакты повышенной стабильности образуются силицидами тугоплавких металлов, таких, как например, платина, молибден, вольфрам, тантал и никель (см. таблицу).

Фирмой Bell Labs разработана технология формирования контактного узла, состоящего из последовательно нанесенных слоев силицида платины, титана, платины. Силицид платины обеспечивает хороший омический контакт с кремнием, слой титана служит для герметизации контактного узла, последующий слой платины обеспечивает наращивание золотого жесткого вывода и экранирует от проникновения золота в кремний.

Метод присоединения шариковых выводов к полупроводниковому кристаллу, разработанный в фирме Hughes; получил название "электроформовки". Система межсоединений создается здесь посредством хромо-золотой металлизации, а шарики изготавливают из чистого серебра и покрывают эвтектикой серебро-олово.

Фирма Raytheon изготавливает бескорпусные ИС с золотыми балочными выводами. Контактный узел создается из композиции силицид платины-платина-молибден - золото - молибден [2]. Паучковое крепление алюминиевых выводов на алюминиевые контактные площадки ИС осуществляется фирмой Motorola [3]. Здесь контактный узел изготавливается, по-видимому, из алюминия.

Контактный узел из алюминия, вероятно, используют также фирмы Fairchild и Amelco, которые в качестве жестких выводов формируют на ИС столбики из алюминия [4].

Для получения металлизированных дорожек обычно используются алюминий, никель, молибден, вольфрам.

Для герметизации или защиты активных структур в качестве защитных покрытий используют кварц (SiO_2), нитрид кремния (Si_3N_4), легкоплавкие стекла. В последнее время было замечено, что повышенными защитными свойствами обладает Si_3N_4 [5].

Существует большое количество методов получения диэлектрических пленок: термическое напыление, высокочастотное катодное распыление,

Таблица

Материал	Уд.сопротивление при 20°С, мком·см	Точка плавления, °С	Адгезия к подложке	Возможность травления при использовании фоторезиста	Коэффициент линейного расширения при 20°С, $\times 10^{-7}$ град	Теплопроводность при 20°К, кал/см·сек·град
Серебро	1,59	961	Плохая	Травится	187	1
Медь	1,67	1083	"	"	164	0,94
Золото	2,35	1063	Очень плохая	"	—	0,74
Алюминий	2,65	659	Очень хорошая	"	231	0,53
Магний	4,45	650	Хорошая	"	—	0,41
Родий	4,51	1960	Плохая	Не травится	—	0,20
Иридий	5,3	2443	"	"	—	—
Вольфрам	5,6	3380	Хорошая	Плохо травится	44,3	0,39
Молибден	5,7	2610	"	"	51,0	0,38
Цинк	5,8	419	Плохая	"	—	0,29
Кадмий	7,6	321	"	"	—	0,21
Никель	7,8	1455	Хорошая	"	125	0,20
Кобальт	9,8	1490	"	"	—	0,17
Железо	10	1535	"	"	—	0,17
Платина	10	1770	Очень хорошая	Травится	89	0,17
Палладий	11	1555	Плохая	Травится	106	0,14
Олово	11,5	232	"	"	—	0,16
Хром	13,0	1303	Очень хорошая	Плохо травится	—	—
Тантал	15,5	2996	Хорошая	Не травится	66	0,13
Свинец	22	327	Плохая	Травится	—	0,08
Ванадий	25	1900	Хорошая	"	—	—
Цирконий	40	1852	"	Не травится	63	0,038
Титан	42	1668	Очень хорошая	Плохо травится	90	0,045
Рений	21	3172	Хорошая	Не травится	53	—
Ниобий	13,8	2410	"	"	70	—
Кварц	—	1700	"	Травится	45	0,0030
Al ₂ O ₃	—	2034	"	Не травится	55	0,069
Кремний	—	1420	—	Травится	42	0,84
Германий	—	937	—	"	61	0,63

реактивное катодное распыление, электролитическое и плазменное окисление, химические транспортные реакции, гидролиз, пиролиз, высаживание стекол из растворов с последующей термообработкой, высаживание высокодиспергированных ча-

стиц стекла размером примерно 0,2 мкм из суспензии центрифугированием с последующей термообработкой. Обилие различных способов получения диэлектрических пленок указывает на отсутствие эффективных методов создания

качественных защитных покрытий для бескорпусных полупроводниковых кристаллов. Наиболее перспективными в настоящее время можно считать методы низкотемпературного пиролиза и катодного распыления (реактивного и высокочастотного), отличающиеся тем, что в процессе формирования покрытия полупроводниковая структура не подвергается воздействию повышенной температуры.

Технология создания жестких выводов может быть представлена в нескольких вариантах:

а) на полупроводниковую пластину методом термического напыления наносится толстый слой материала вывода (обычно алюминия) до 10 — 15 мкм. Столбиковые жесткие выводы получают травлением после фотолитографии;

б) в окна над контактными площадками, вытравленными после фотолитографии, помещаются облуженные шарики малого диаметра (100—120 мкм), которые после спекания образуют жесткий вывод;

в) гальваническое выращивание столбиковых или балочных выводов. Этот метод может быть разбит на ряд технологических операций: нанесение токопроводящего покрытия для осуществления группового выращивания выводов, нанесение защитной маски, гальваническое выращивание выводов, снятие защитной маски и токоподводящего покрытия, облуживание выводов (при необходимости).

Токоподводящее покрытие должно быть изготовлено из материала, который легко поддается очистке (декопированию) для последующего выращивания жесткого вывода, обладает достаточной адгезией к подложке и материалу, образующему омический контакт с кремнием, легко удаляется после изготовления жестких выводов. Обычно для этих целей используют платину, тантал, молибден, никель, медь, серебро.

Конфигурация и размеры при гальваническом выращивании металлических контактов обеспечиваются созданием электроизолирующей полимерной защитной маски определенного рисунка с помощью фотолитографии.

Гальваническое выращивание жестких выводов осуществляется на подслой, выполняющий роль токоподводящего покрытия. Полученные жесткие выводы должны удовлетворять следующим условиям: минимальная разновысотность (~5 мкм), высокая плотность, высокая адгезия с токоподводящим покрытием. В качестве материала выводов обычно используются золото, никель, медь, сплав свинец—сурьма, сплав индий—галлий, индий, серебро. Основным материалом для изготовления балочных выводов служит золото. Облуживание выводов производится мягким припоем или гальваническим наращиванием материала полуды с последующим оплавлением.

Разделение пластин на части. Существует ряд способов разделения пластин на части: скрайбирование, резка пластин кремния алмазными полотна-

ми, абразивная резка проволочками и разделение пластины с помощью химического травления. Не все эти методы могут быть использованы для разделения пластины на кристаллы с жесткими выводами. Кристаллы, предназначенные для автоматического монтажа на пассивную плату или в корпус, требуют строгого выполнения заданной геометрической формы и заданных размеров. Требуемая точность составляет обычно 20—50 мкм. Эти требования могут быть выполнены только при разделении пластины абразивной резкой проволочками или полотнами.

Кристаллы с балочными выводами могут быть отделены от пластины только химическим травлением, так как балки должны выступать за края кристалла и будут повреждены при резке другим способом. Операция разделения в этом случае представляет собой сложный процесс. Лицевую сторону пластины покрывают легкорастворимым связывающим веществом (воском или лаком ХСЛ) и укрепляют на плоском сапфировом диске. Пластины сошлифовывают до толщины 50—60 мкм, после чего с помощью фотолитографии и глубокого травления разделяют на части. Для совмещения при маскировании используют инфракрасное освещение (рис. 1, 2 и 3).

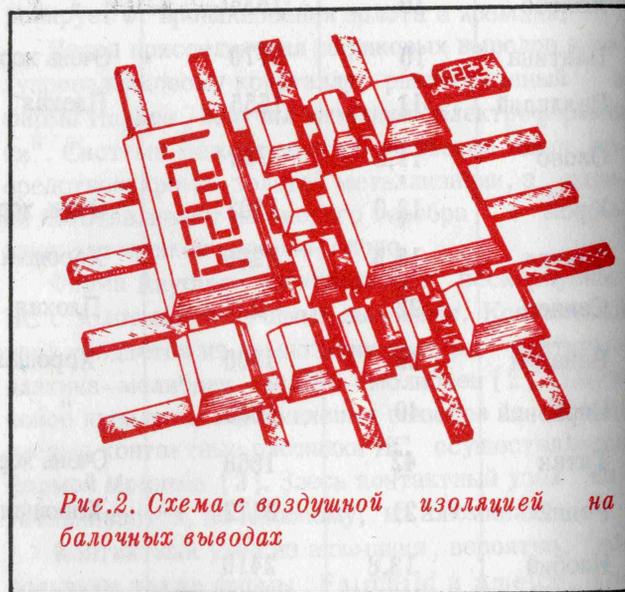


Рис. 2. Схема с воздушной изоляцией на балочных выводах

Глубокое травление специалисты фирмы Rautheon [2] проводят с помощью травителя, который в одном направлении травит пластину в 20—30 раз быстрее, чем в каком-либо другом. Использование анизотропного травления связано с переходом от обычной ориентации кремниевых пластин в направлении $\langle 111 \rangle$ к ориентации $\langle 100 \rangle$.

В сообщении [6] описывается новый метод разделения пластины на части без операции травления. Новшество заключается в том, что до формирования балочных выводов производится скрайбирование пластины. Затем вся пластина покрывается слоем фоторезиста, экспонируется через фотошаблон и проявляется. Далее на пластину

в вакууме напыляется слой алюминия толщиной 0,8 мкм и никеля — 0,1 мкм, после чего наносится второй слой фоторезиста и производится вскрытие областей для формирования балочных выводов. Балки наращиваются электролитическим осаждением золота. После снятия избыточного материала пластинка закрепляется с помощью адгезионного состава на гибком материале и изгибается для получения излома по линиям скрайбирования. Этот метод разработан японской фирмой Kyodo и, по-видимому, найдет широкое применение, так как из-за отсутствия операции травления ограничения на выбор материалов балочных выводов существенно ослабляются.

Недостатком технологии жесткого монтажа перевернутого кристалла (лицевой стороной вниз) к пассивной плате является то, что не решена проблема пересечений металлизированных доро-

жек. Этот недостаток вызвал необходимость разработки многослойных пассивных плат, снабженных металлизированными дорожками, перемычками и выступами. С появлением таких плат открылись возможности решения задач пересечений и жесткого монтажа этих плат в корпус. В настоящее время ведутся работы по созданию технологии микроминиатюрных многослойных печатных плат и многослойных керамических плат с встроенными выступами или балочными выводами, позволяющими производить монтаж бескорпусных полупроводниковых кристаллов непосредственно без переходных элементов. Трудности разработки процесса изготовления микроминиатюрных многослойных плат состоят в соблюдении размеров и геометрических форм элементов, соответствующих контактным площадкам полупроводникового кристалла.

Присоединение полупроводниковых кристаллов с жесткими выводами к пассивной плате и к корпусу

Как и для соединения элементов микросхемы с помощью проволочек, в случае жесткого монтажа могут быть использованы несколько методов: пайка мягким припоем, термокомпрессия, сварка ультразвуком.

В качестве мягких припоев обычно применяются олово, свинец, сплав олово—свинец, сплав золото—олово, кадмий. Наиболее широко, однако, для этих целей используется олово, в работе с которым имеется большой опыт и которое дает наиболее воспроизводимые результаты. В случае монтажа кристалла с облуженными выводами наблюдается явление "самосовмещения", обусловленное наличием поверхностного натяжения в капле припоя, смачивающей контакты кристаллика и монтажной платы.

Метод пайки мягким припоем получил развитие благодаря использованию горячего газа. Струя горячего газа диаметром 0,25—2,5 мм с температурой около 400°C осуществляет нагрев кристаллика и монтажной платы. При использовании инертного газа не требуется применения флюса. Установлено, что в этом случае полезен небольшой предварительный нагрев подложки до температуры 80°C. Время обдува горячим газом и температура газа выбираются так, чтобы избежать чрезмерного размягчения припоя, повышенного давления и слишком длительного прогрева при низкой температуре подогрева [7].

Контактный узел, созданный при помощи термокомпрессии, обладает рядом недостатков, в число которых входит малая стабильность контакта. В кремнии непосредственно под контактом создается большое количество дислокаций, и эта область оказывается сильно напряженной.

Ультразвуковая сварка характерна тем, что не требует сильного дополнительного нагрева при соединении металлов, при этом может быть использовано широкое разнообразие пар. Особую важность представляет возможность соединения с помощью этого метода пары алюминий—алюминий. В материалах конференции [8] показано, что для ультразвуковой сварки предпочтительнее выступы 75—100 мкм, чем 150—200 мкм; кристаллы с выступами из сплава серебро—олово могут быть надежно соединены с тонкопленочными контактами из сплава хром—золото; нагрев после сварки увеличивает силу сцепления.

Существенным недостатком монтажа монолитных ИС с шариковыми или столбиковыми выводами, когда число их превышает три, является отсутствие 100%-ной гарантии качественного соединения с ответной частью. Такой недостаток отсутствует при монтаже полупроводниковых кристаллов с балочными выводами независимо от количества их в монолитной ИС. Кроме того, важным преимуществом последних является возможность контроля качества соединения после производства монтажа. Эти свойства, по-видимому, являются решающими, поэтому практическое использование жестких выводов того или иного типа, как это будет показано ниже, определяется количеством контактов в активном элементе или монолитной ИС.

Сборка микросхем с жесткими выводами в корпус может быть осуществлена путем использования соответствующих металлических каркасов. Цельнометаллические каркасы представляют собой определенное количество выводов, соединенных

жестко рамкой. Выводы каркаса расположены в соответствии с жесткими выводами на кристалле или на плате собранной микросхемы. После монтажа микросхемы на такой каркас производится герметизация пластмассами и последующая формовка выводов. Такой метод требует допуска на расположение выводов у каркаса в соответствии с допусками на расположение выводов на микросхеме. Малые допуски в этом случае делают стоимость подобных корпусов чрезмерно высокой. Увеличение расстояний между выводами микросхемы ведет к увеличению ее размеров, что также невыгодно сказывается на стоимости микросхем.

Некоторые примеры практического использования метода монтажа

29 октября 1964 г. группа специалистов фирмы Bell Labs на конференции по электронным приборам в Вашингтоне сообщила о возможности создания балочных выводов в полупроводниковых приборах. В этой лаборатории были созданы первые транзисторы и диоды с балочными выводами [9]. Здесь же разработаны интегральные схемы на четырех транзисторах и четырех сопротивлениях [10]. Несущими элементами конструкции являются золотые консольные выводы, которые привариваются или термокомпрессируются к подложке или к выводам корпуса.

Фирмой G. V. Planer (Англия) используется метод жесткого монтажа приборов с шариковыми выводами и тонкопленочных пассивных микросхем. В работе [11] указывается, что ультразвуковая сварка дает наилучшие результаты в случае алюминиевых контактов, газовая микропайка — в случае луженых контактов.

Об изготовлении интегральных микросхем при использовании технологии балочных выводов и танталовой технологии сообщается в работе [12]. Здесь использован контактный узел силицид платины — титан — платина — золото.

Фирмой Raytheon разработан высокочастотный усилитель с балочными выводами. Благодаря уменьшению паразитных параметров путем использования воздушной изоляции предельная рабочая частота схемы равна примерно 1 Гц. Балочные золотые выводы изготовлены с помощью гальванического выращивания.

Контактный узел кремний — балочный вывод выполнен с использованием промежуточного слоя хрома.

В работе [13] описывается изготовление трех типов логических схем DCTL:

1. На три и четыре входа, с семью высокочастотными транзисторами и девятью диффузионными сопротивлениями.
2. На три и на два выхода, с транзисторами и тонкопленочными танталовыми сопротивлениями.
3. На четыре входа, с монолитной ячейкой со связью между компонентами $\sim 0,05$ нф.

Выводы

Изложенный материал дает возможность сделать следующие выводы.

1. Жесткий групповой монтаж позволяет автоматизировать процесс сборки микросхем. Ожидается, что такой способ монтажа позволит значительно увеличить надежность микросхем.
2. Практическое освоение ГИС происходит по пути использования многослойных печатных и керамических плат с нанесенными межсоединениями и некоторыми пассивными элементами, на которых производят жесткий монтаж блоков.
3. Повышение интеграции в ГИС происходит за счет увеличения интеграции в блоках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Curran L. "Electronics", 1968, N 24.
2. Electronics, 1968, N 5.
3. Electronics, 1968, N 6.
4. Field R. K. "Electronics Engineer", 1968, v.27, N 8, p.100.
5. Electronics, 1968, N 11.
6. Electronics, 1968, N 23.
7. Phillips L. S. "Microelectronics and Reliability", 1966, N 5, p.197.
8. Proc. Electr. Comp. Conf., 1967, May.
9. Microwave J., 1966, v.9, N 7, p.133.
10. Aviation Week and Space Technol., 1964, v.81, N 19, p.98.
11. Evison P. J. "Microelectronics and Reliability", 1966, N 5, p.209.
12. Bell Labs Rec., 1966, v.44, N 9, p.233.
13. BSTJ, 1966, v.45, N 2, p.233.
14. Rasmans E. "Electronics Computer", 1968, Jan.—Feb.
15. Electronics Engineer, 1967, v.26, N 1, p.74.

Статья поступила 12 декабря 1969 г.

УДК 621.382.82.002.72

Ширина концентрационного перехода в области границы подложка — эпитаксиальный слой может быть уменьшена до 2–3 мкм при наращивании в условиях постоянной низкой температуры (~1170°C) или в условиях уменьшения температуры в процессе роста.

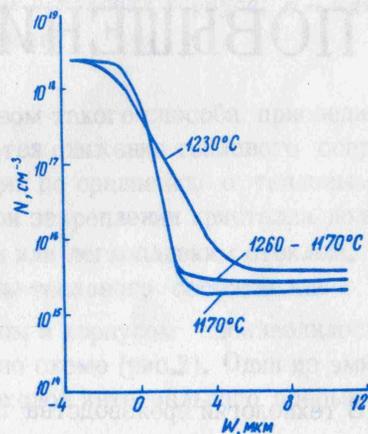
СВОЙСТВА АВТОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ

Автоэпитаксиальные слои выращивались методом восстановления четыреххлористого кремния водородом [1–3]. Эксперименты проводились в установке с вертикально и горизонтально расположенными реакционными камерами. Подложки изготавливались из кремния, легированного сурьмой ($\rho = 0,01 \text{ ом} \cdot \text{см}$). Непосредственно перед наращиванием подложки подвергались отжигу и полирующему травлению в газообразном хлористом водороде. Применение предварительного отжига кремниевых пластин с последующим травлением в газообразном хлористом водороде позволило получить эпитаксиальные слои с плотностью дефектов упаковки меньше чем 10 см^{-2} . Чистота используемого четыреххлористого кремния обеспечивала получение автоэпитаксиальных слоев с удельным сопротивлением ~ $40 \text{ ом} \cdot \text{см}$. Для легирования автоэпитаксиальных слоев до величины удельного сопротивления $0,1\text{--}1,0 \text{ ом} \cdot \text{см}$ применялся треххлористый фосфор.

В вертикальной реакционной камере выращивание проводилось одновременно на четырех подложках, размещаемых на четырехгранном графитовом нагревателе, покрытом плотным слоем карбида кремния. В горизонтальной реакционной камере восемь подложек размещались в одной плоскости на графитовом нагревателе под углом 10° к направлению газового потока. Автоэпитаксиальные слои подвергались металлографическим исследованиям. Распределение примеси в объеме слоя изучалось способом измерения пробивного напряжения контакта металл — полупроводник (трехзондовый метод) на "косом" шлифе, приготовленном под углом 4° .

Выращивание автоэпитаксиальных слоев кремния проводилось в следующих режимах: концентрация четыреххлористого кремния в водороде — 1%; линейная скорость потока — 5 см/сек . Выращивание осуществлялось как при постоянной температуре, так и при изменении температуры в процессе роста (в начальной стадии роста

температура поддерживалась 1250°C , а затем уменьшалась до 1170°C). При высокой температуре происходила быстрая застройка поверхности в плоскости, параллельной подложке, при понижении температуры ослаблялся процесс диффузии (см. рисунок). Ширина концентрацион-



Распределение примеси в объеме автоэпитаксиального слоя, выращенного при различных температурах

ного перехода в образцах, выращенных в условиях "стабилизации" и при постоянной низкой температуре, сопоставима, но меньше, чем при постоянной высокой температуре роста. Условия выращивания эпитаксиальных слоев в вертикальной реакционной камере обеспечивали получение одинаковой ширины концентрационного перехода (2–3 мкм) на четырех пластинах. В горизонтальной реакционной камере характер распределения примеси изменялся от первой пластины к последней (по потоку), при этом ширина концентрационного перехода увеличивалась от 2–3 мкм на трех первых пластинах до 4–5 мкм — на последней пластине.

Получение автоэпитаксиальных слоев кремния, совершенных по структуре и обладающих

зеркально гладкой поверхностью, осуществляется, как правило, в условиях постоянных температур выше 1200°C . Получение таких слоев при температурах ниже 1200°C возможно, однако это связано с необходимостью жесткой стабилизации параметров процесса. Изменение температуры в процессе роста позволило получить автоэпитаксиальные слои с хорошей воспроизводимостью результатов и зеркально гладкой поверхностью (плотность фигур роста и дефектов упаковки $\leq 10 \text{ см}^{-2}$) и уменьшить ширину концентрационного перехода подложка — автоэпитаксиальный слой до 2–3 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bylander E. "Bull. Amer. Phys. Soc.", ser. 11, 1962, v. 7, N 2, p. 115.
2. Theuvsger H. C. "J. Electrochem. Soc.", 1961, v. 180, N 7, p. 648.
3. Li C. H. "Phys. Status Solidi", 1966, v. 15, N 1, p. 3.

Статья поступила 21 января 1969 г.

УДК 539.23:546.28

Е. П. ДРОБЫШЕВ, С. С. ДОЛЬНИКОВ, А. Г. КУДРЯШОВ

При использовании эвтектики золото—кремний для присоединения кристаллов к основаниям

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОНТАЖА кремниевых микросхем

значительно снижается тепловое сопротивление. Микросхемы, изготовленные этим методом, надежно работают при пониженных и повышенных температурах и выдерживают ударные нагрузки с ускорением 1000 g и выше.

В технологии производства полупроводниковых микросхем применяются в основном два способа монтажа кристалла на основание корпуса: приклейка полимеризующимися компаундами или легкоплавким стеклом и припайка низкотемпературными сплавами, в том числе с помощью эвтектических сплавов Au—Ge и Au—Si, изготовленных в виде преформ, либо полученных различными методами на самих кристаллах (вакуумное напыление, электрохимическое осаждение).

Процесс электрохимического осаждения Au не требует сложного оборудования и характеризуется очень малыми расходами и потерями золота. Золочение проводится из железистосинеродистой ванны следующего состава: железистосинеродистый калий $[\text{K}_4\text{Fe}_2(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ — 200 г/л ; золотохлористоводородная кислота $[\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ — 50 г/л ; углекислый натрий Na_2CO_3 — 50 г/л ; вода дистиллированная — 1 л .

Для интенсификации процесса золочения электролит подогревается до 70°C . Процесс золочения ведется при рабочей плотности тока $j_{\text{раб}} = 1,0 \pm 0,3 \text{ а/дм}^2$ в течение 2–3 мин. За

это время на поверхность пластины осаждается слой золота толщиной 1–2 мкм, что вполне достаточно для получения эвтектического сплава. Золочению подвергались пластины как низкоомного кремния n -типа ($\rho = 0,01 \text{ ом} \cdot \text{см}$), так и высокоомного кремния p -типа ($\rho = 10 \text{ ом} \cdot \text{см}$). Экспериментально установлено, что в последнем случае в начальный момент золочения (5–20 сек) плотность тока должна превышать рабочую плотность в 2–3 раза. Для улучшения адгезии золотой пленки к поверхности кремния обратная сторона пластины перед золочением шлифуется алмазным порошком M28 до матовой поверхности. Во время подготовительных операций и при золочении рабочая сторона пластины защищается пленкой химически стойкого лака ХСЛ. После нанесения золота пластины около 10 мин выдерживаются в среде аргона при температуре 400°C , при этом образуется слой эвтектического сплава Au—Si.

Предположив, что кремний растворяется одновременно по всему фронту впавления, параллельно поверхности пластины, и слой золота в процессе впавления не меняет своей формы,

можно в первом приближении оценить глубину впавления золота [1]:

$$h_1 = h_2 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{C_T}{1 - C_T},$$

где d_1 и d_2 – удельный вес золота и кремния соответственно; C_T – концентрация кремния на линии ликвидуса в заэвтектической области; h_2 – начальная толщина пленки золота.

Величина C_T при температуре 400°C равна примерно 0,1 [2], глубина впавления при наших условиях составит около 0,9 мкм. Иногда в процессе впавления в отдельных местах пластины образуются выступающие капли припоя, которые затрудняют процесс скрайбирования. Поэтому при впавлении золота кремниевые пластины помещаются на подставку из полированного кварца золоченой стороной вниз, чтобы вес пластин препятствовал собиранию припоя в отдельные капли.

После разделения пластины на отдельные кристаллы последние напаиваются на золоченое основание металлоглазненного корпуса в атмосфере сухого аргона или азота для предотвращения окисления алюминиевой разводки корпуса при температуре около 420°C . Кристалл подается на основание корпуса с помощью вакуумной присоски, имеющей форму полой иглы. С целью равномерного смачивания и растекания припоя на металлической площадке кристаллу сообщаются колебательные движения малой амплитуды в горизонтальной плоскости с помощью вибратора.

Присоединение золотых проводников к контактным площадкам кристалла и корпуса производится в одном цикле сварки импульсным косвенным нагревом (рис.1). Описанным способом осуществляется монтаж на основание корпуса интегральных прерывателей ИП-1 и логических микросхем серии П52.

Прочность соединения кристалла с корпусом зависит от качества и толщины золотого покрытия площадки корпуса. Покрытие должно быть плотным, однородным, толщиной не менее 3 мкм. Как показывает эксперимент, при соблюдении этих условий припаянные кристаллы выдерживают усилия на отрыв и на срез до величин, вызывающих разрушение самого кремниевого кристалла. Микросхемы надежно работают при пониженных и повышенных температурах, в условиях резкого перепада температур от -60 до $+125^\circ\text{C}$ и выдерживают ударные нагрузки с ускорением 1000 g и выше.

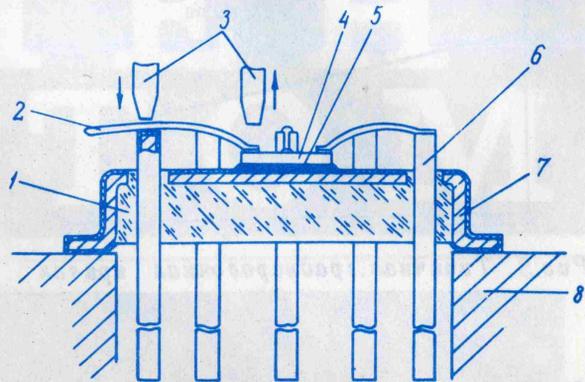


Рис.1. Монтаж кристалла микросхемы на основании корпуса:

1 – стеклоизолятор; 2 – золотая проволока; 3 – сварочные электроды; 4 – кристалл интегральной схемы; 5 – слой эвтектического сплава; 6 – золоченая траверса корпуса; 7 – золоченое основание корпуса; 8 – нагревательный столик

Преимуществом такого способа присоединения кристалла является снижение теплового сопротивления конструкции по сравнению с тепловым сопротивлением при закреплении кристалла полимерным компаундом или легкоплавким стеклом. Определение величины теплового сопротивления $r_{тк}$ между кристаллом и корпусом производилось на изделиях ИП-1 по схеме (рис.2). Один из эмиттерно-базовых переходов интегрального прерывателя,

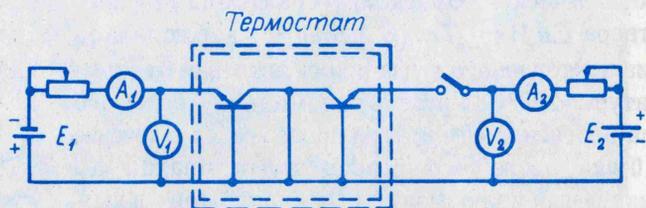


Рис.2. Методика определения теплового сопротивления $r_{тк}$ кристалл – корпус интегрального прерывателя ИП-1

смешанный в прямом направлении, является термочувствительным элементом, а другой, смешанный в обратном направлении, – нагревателем. Из-за высокой теплопроводности кремния и малых размеров между транзисторными структурами можно считать температуру обоих p-n переходов одинаковой и равной температуре кристалла. Первый p-n переход предварительно градуируется по температуре (рис.3). При снятии зависимости $T_{кр} = f(P)$

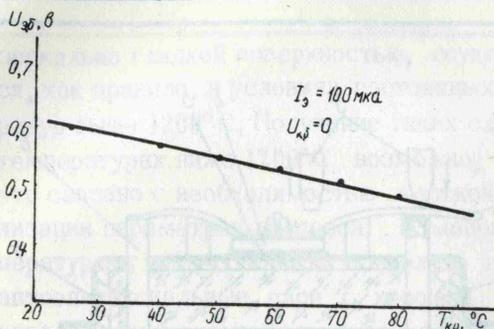


Рис. 3. Типичная градуировочная кривая

для кристаллов, смонтированных различными способами, приборы помещались в масляную ванну. Как показал эксперимент, тепловое сопротивление кристалл — корпус $r_{ТК}$ для цилиндрического ме-

таллостеклянного корпуса в случае приклейки кристалла изолирующим компаундом составляет примерно $0,14 \text{ град/мвт}$, а в случае пайки эвтектическим сплавом — около $0,09 \text{ град/мвт}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеликман Г.А., Мазель Е.З., Пресс Ф.П., Фронк С.В. Полупроводниковые кремниевые диоды и триоды, технология производства, М., "Энергия", 1964.
2. Handbook of Metals, Soc. for Metals. 1948.

Статья поступила 30 ноября 1969 г.

УДК 621.382.8—213.002.72:546.28

В.П.САПЕРОВ, П.С.КИРЕЕВ

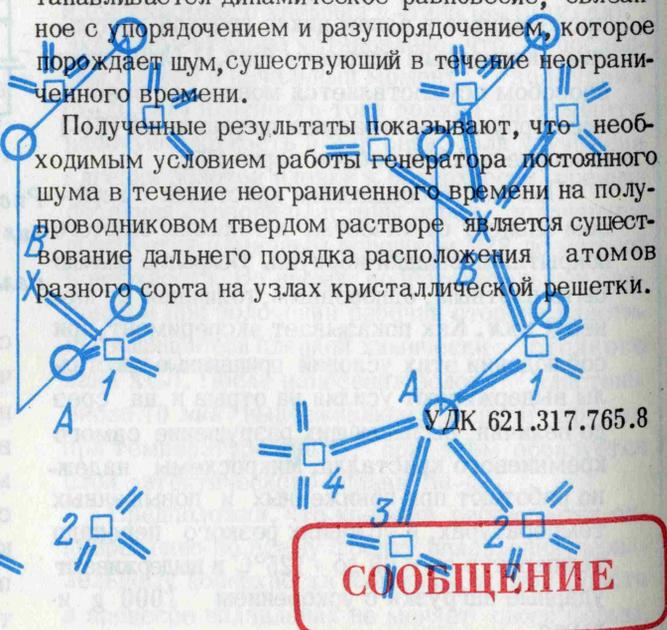
ТВЕРДЫЙ РАСТВОР $Cd_x Hg_{1-x} Te$ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ШУМА

Один из принципов работы полупроводникового генератора шума основан на использовании шума лавинного пробоя. Экспериментальное исследование шумов в полупроводниковом твердом растворе $Cd_x Hg_{1-x} Te$ показало, что твердые растворы могут быть использованы для разработки генератора шума, принцип работы которого основан на явлении упорядочения расположения атомов в узлах кристаллической решетки. В образцах из твердого раствора $Cd_x Hg_{1-x} Te$ ($x \approx 0,25 + 0,30$) наблюдалась аномалия теплового шума при охлаждении от температуры $\sim 200^\circ C$. Уровень аномально большого шума достигал $\sim 40 \text{ мкв}$; шум продолжался в течение 5–10 мин, после чего уровень шума спадал до 30 мкв . Один из возможных механизмов шума рассматривается ниже.

В полупроводниковом квазибинарном твердом растворе с решеткой типа цинковой обманки с ближним порядком расположения атомов разного сорта в узлах кристаллической решетки каждой температуре соответствует определенное равновесное значение параметров, характеризующих ближний порядок. Основным моментом в процессе обмена атомов разного сорта на узлах кристаллической решетки является возникновение ненасыщенных валентных связей и их термическая ионизация, обуславливающая возникновение неравновесных носителей заряда, которые создают шум. Шум должен существовать ограниченное время, что наблюдалось в твердом растворе $Cd_x Hg_{1-x} Te$.

В полупроводниковом твердом растворе с дальним порядком расположения атомов разного сорта в узлах кристаллической решетки можно считать, что упорядочение происходит между атомами двух сортов: А и В. Атомы сорта С всегда занимают узлы внутри элементарных ячеек кристаллической решетки и в упорядочении не участвуют. Вблизи температуры упорядочения процесс перемещения атомов на узлах кристаллической решетки идет как в прямом, так и в обратном направлении, устанавливается динамическое равновесие, связанное с упорядочением и разупорядочением, которое порождает шум, существующий в течение неограниченного времени.

Полученные результаты показывают, что необходимым условием работы генератора постоянного шума в течение неограниченного времени на полупроводниковом твердом растворе является существование дальнего порядка расположения атомов разного сорта на узлах кристаллической решетки.



УДК 621.317.765.8

СООБЩЕНИЕ

ОБМЕН ОПЫТОМ

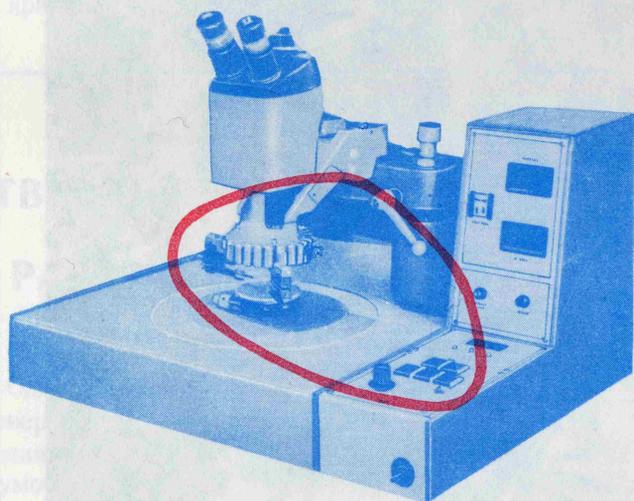


Заварка цветных кинескопов

ОБМЕН ОПЫТОМ

Точный электропривод в электронном машиностроении

Наличие унифицированных систем электроприводов позволит уменьшить материальные затраты, сократить сроки разработки, повысить надежность и производительность оборудования.



Анализ различных технологических процессов производства [1-6] интегральных микросхем с учетом перспективы развития позволил выявить основные технологические процессы, предъявляющие повышенные требования к системе автоматического управления (САУ) электроприводов (см. таблицу), а также на основе изучения кинематики существующих и проектируемых механизмов определить характеристики объектов управления и сформулировать задачи, решаемые САУ в технологическом оборудовании:

- стабилизация мгновенной скорости;
- стабилизация средней скорости;
- слежение;
- оптимальная обработка заданной координаты с высокой точностью.

На основе обзора существующих отечественных и зарубежных установок и требований технологии сформулированы требования к САУ электроприводов, определены основные возмущения, действующие на систему в процессе работы, и установлена необходимость разработки унифицированных дис-

кретных систем электроприводов, обеспечивающих потребности производства ИС с указанными режимами работы и позволяющих согласовать их с управляющими ЦВМ. Наличие таких систем электроприводов позволит уменьшить материальные затраты, сократить сроки разработки и повысить надежность оборудования.



ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов И.Г., Иванов В.И., Мелехин Ю.Я., Сандеров В.Л. Специальное технологическое оборудование для микроэлектроники, МИЭТ, 1968.
2. Новый прецизионный фотоштанп типа 1480 фирмы Dawid W.Mamr Co. (США) "Solid State Technology", 1968, N 2.
3. Пипко А.И., Комиссарчик В.М., Плисковский В.А., Пузырский Ю.С., Покладов В.П., Руденский Е.В. Комплекс сварочного оборудования механизированной линии сборки электронных приборов. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1967, № 3.
4. Центрифуга для нанесения фоторезиста, фирма Hedway Research Inc. (США), "The Electronic Engineering", 1967, v. 26, N 4.
5. Установка совмещения и экспонирования, модель 2025. "Solid State Technology", 1968, N 5.
6. Режущий инструмент для резки слитков на пластины и пластин на элементы. "Solid State Technology", 1968, N 3.

Статья поступила 2 июля 1969 г.

УДК 621.315.3.002.5

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Наименование технологического процесса или операций	Требования к системе электропривода										Возмущения			Характеристика объекта $W(p) = \frac{A(p)}{M(p)}$
	Точность воспроизведения, %	Точность под-держания ско-рости, %	Точность от-работки пу-ти, мм	Точность под-держания мо-мента, %	Допустимое перегревание, %	Максимальная скорость, об/мин	Диапазон регу-лирования ско-рости	Максимальное ускорение, рад/сек ²	Мощность двигателя, квт	Колебания сети, %	Изменная нагрузка, %	Изменения температуры, °C		
Выращивание монокристаллов	0,5	0,1	-	-	1	3000 об/мин	100	-	20-150	от +5 до -10	30-100	5-35	$\frac{1}{\Sigma I (\frac{III}{K \Sigma I} p^2 + 1)}$	
Резка монокристаллов на пластины	-	-	-	1	10	3000 об/мин	5	-	10	от +5 до -10	±10	10-35	$\frac{1}{\Sigma I p^2 + 1}$	
Шлифовка и полировка пластин	±5	±0,5	-	-	20	3000 об/мин	20	-	500-1500	от +5 до -10	50-100	10-35	То же	
Нанесение фото-резиста	1	1	-	-	10	10000 об/мин	10	-	30-100	от +5 до -10	±5	25-30	"	
Вжигание паст	0,5	0,1	-	-	10	3000 об/мин	20	-	100-500	от +5 до -10	30-100	10-35	$\frac{1}{\Sigma I (\frac{III}{K \Sigma I} p^2 + 1)}$	
Диффузионные процессы	0,5	0,1	-	-	10	3000 об/мин	100	-	20-100	от +5 до -10	±20	25-30	То же	
Электроннолу-чевая техно-логия	1	1	±5	-	5	8-12 мм/сек	10	-	20-50	от +5 до -10	±5	25-35	$\frac{1}{\Sigma I p^2 + 1}$	
Изготовление фотошаблонов	1	1	±1	-	5	30 об/мин	10	-	10-30	от +5 до -10	±10	20-35	То же	
Зондовые изме-рения	-	20	±5	-	20	20 мм/сек	10	-	10-15	от +5 до -10	±5	20-30	"	
Сборка ИС	-	-	±5	-	-	50 мм/сек	10	-	50	от +5 до -10	±10	20-30	"	
Подгонка резис-торов	-	-	±10	-	10	20 мм/сек	10	-	10-15	от +5 до -10	±5	20-30	"	
Совмещение и экспонирова-ние фоторезис-та	-	-	±1	-	10	4 мм/сек	10	-	10-15	от +5 до +100	50-100	20-30	"	

* $W'(p) = \frac{A(p)}{\Lambda}$ — передаточная функция объекта; $A(p)$ — преобразование по Лапласу от угла поворота двигателя; $M(p)$ — преобразование по Лапласу от момента двигателя; I — момент инерции; K — коэффициент упругости.

Рентгено-телевизионный контроль качества катодных узлов электровакуумных приборов

Применение рентгено-телевизионного метода контроля открывает широкие перспективы при разработке и производстве катодных узлов.

Изменение взаимного расположения отдельных деталей в катодных узлах ЭВП (деформация витков подогревателя, несоосность отдельных элементов, уход межэлектродных расстояний и т.п.) может привести не только к ухудшению характеристик приборов, но и к выходу их из строя.

Существующая технология сборки катодных ножек, особенно крупногабаритных приборов с металлокерамическими узлами, не обеспечивает проверку правильности установки элементов узла перед креплением армированного подогревателя по отношению к керну катода. Необходимая точность должна обеспечиваться либо жесткими допусками на детали, либо с помощью надлежащих оправок. Однако и последнее не всегда гарантирует нужное расстояние "катод – подогреватель". Кроме того, из-за деформации подогревателя расстояние может измениться. Все это приводит к заметной неравномерности температуры по поверхности катода, а в ряде случаев – к коротким замыканиям. Наиболее критичными к изменению взаиморасположения деталей являются катодные узлы с неалундированными подогревателями. Для ряда типов изделий брак по коротким замыканиям (в особенности на стадии опытного производства) достигает 10–15%.

С целью отбраковки дефектных катодных узлов до постановки их в приборы было принято целесообразным изыскать и внедрить объективный метод неразрушающего контроля. Наиболее перспективным методом представляется рентгено-телевизионная дефектоскопия с регистрацией изображения контролируемого объекта на экране видеоконтрольного устройства. Указанный метод обеспечивает хорошую разрешающую способность и контрастную чувствительность, дает большое увеличение объекта, является экспрессным, экономически выгодным и позволяет автоматизировать контроль.

Возможность визуального наблюдения процесса деформации во времени позволяет рекомендовать рентгено-телевизионную дефектоскопию для ускоренной отработки конструкций ламп и технологических процессов их производства, в частности для определения динамической формоустойчивости подогревателей. Таким образом, использование рентгено-телевизионного метода сократит время разработки катодного узла, а также повысит надежность последнего.

В последнее время в связи с задачами неразрушающего контроля изделий электронной техники на базе стандартной аппаратуры разработан ряд рентгено-телевизионных микроскопов [1–3]. Особый

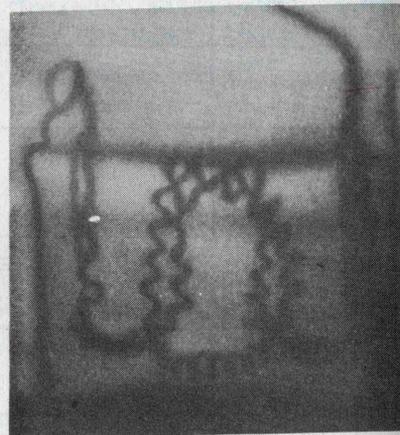


Рис. 1. Катодный узел прибора, вышедшего из строя в результате короткого замыкания подогревателя на керн катода

интерес представляет двухкамерный рентгено-телевизионный микроскоп, который может работать либо в режиме стандартного разложения, либо в режиме повышенного накопления зарядов [1,4]. Последний режим позволяет проводить просвечивание конструкций генераторных ламп средней и большой мощности, массивные узлы которых сильно поглощают рентгеновское излучение. В качестве источника излучения в установках [1–3] используется рентгеновский аппарат РУП-150-10-1. Рентгено-оптическим преобразователем является рентгено-видеокон; изменение масштаба изображения – ступенчатое. Из-за значительного увеличения изображения ($\times 40$) [2] и высокой разрешающей способности рентгено-телевизионные микроскопы особенно перспективны для ис-

следования качества малогабаритных изделий микроэлектроники.

Благодаря малой инерционности, возможности контроля крупногабаритных деталей сложной формы и другим достоинствам, рентгено-телевизионный метод целесообразно использовать с применением в качестве рентгено-оптического преобразователя монокристаллического экрана на основе иодистого цезия, активированного таллием, и регистрацией изображения с помощью замкнутой телевизионной системы; указанный метод был ранее исследован и применен для дефектоскопии крупногабаритных заготовок керамических изделий [5].

Источником излучения служил рентгеновский аппарат типа РУП-200-20-5; в качестве телевизионной системы была использована промышленная установка типа ПТУ-101 (передающая трубка — суперорбитон ЛИ-17) с модернизированной передающей камерой, включающей в себя насадку с рентгено-оптическим преобразователем (кристалл CsJ (Tl) диаметром 80 мм и толщиной 3 мм). Конструкция передающей камеры позволяла плавно изменять асштаб изображения в 2–12 раз). Разрешающая способность установки (определенная по рентгеновским мирам) составляет не менее восьми пар линий на 1 мм; контрастная чувствительность по канавчатому эталону (ГОСТ 7512-55) из латуни не хуже 3%.

Для контроля катодных узлов различного диаметра и высоты применялся шестипозиционный полуавтомат; проверку формоустойчивости подогревателей осуществляли в собранных диодах. Конструкция полуавтомата позволяет вращать обследуемые катодные узлы, т.е. контролировать их с торца и с боков, а также осуществлять смену дета-

лей под пучком излучения. Обследуемые узлы закреплялись в гнездах с помощью цанг.

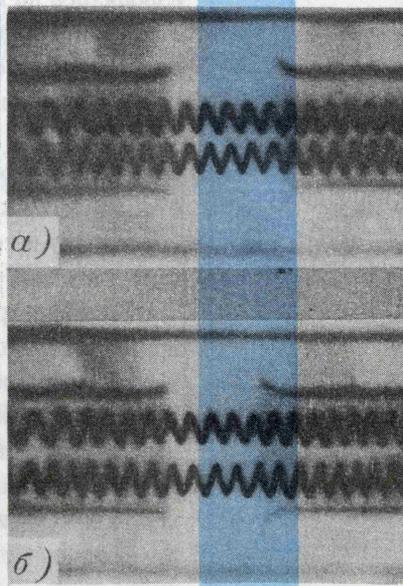
На рис. 1, 2 показаны примеры использования рентгено-телевизионного метода при производстве катодов. Все фотографии получены с экрана видеоконтрольного устройства фотоаппаратом "Зенит-3М" с объективом "Гелиос-44".

На рис. 1 представлен узел прибора, вышедшего из строя по причине короткого замыкания подогревателя на керн катода.

В результате применения рентгено-телевизионного метода контроля брак по коротким замыканиям был полностью исключен. Указанная контрольная операция введена в технологию производства.

Рис. 2 показывает возможность использования рентгено-телевизионного метода для исследования формоустойчивости подогревателя, в данном случае — алундированного. Опыты проводили с экспериментальным стеклянным диодом. В ре-

Рис. 2. Катодный узел прибора: а — без подачи напряжения накала; б — с подачей напряжения накала



зультате номинального нагрева подогреватель сильно деформируется.

Приведенные примеры иллюстрируют перспективность рентгено-телевизионного метода контроля применительно к задачам, возникающим при разработке и в производстве катодных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучин А.И., Лелиовский А.Ф., Радченко Л.А. Двухкамерный рентгено-телевизионный микроскоп. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1968, № 8, стр. 96–101.
2. Смирнова Н.Д., Пасюта А.А., Бородянский Н.Ш. Исследование изделий электронной техники методами рентгено-телевидения. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1969, № 3, стр. 66–69.
3. Кучин А.И., Радченко Л.А. Рентгено-телевизионное высокочастотное стробирование для исследования электронных приборов. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1969, № 6, стр. 76–83.
4. Кучин А.И. Режим повышенного накопления зарядов рентгено-телевизионного микроскопа. "Обмен опытом в электронной промышленности", 1969, № 1, стр. 72–77.
5. Морозов А.М., Поваров Н.С., Тимофеев Б.А. Возможность применения рентгено-телевизионного метода с использованием сцинтилляционных экранов для дефектоскопии керамических деталей. "Электронная техника", 1969, сер. 14, № 6, стр. 120–124.

Статья поступила 24 декабря 1969 г.

НОМОГРАММЫ РЕЖИМОВ ТЕРМОКОМПРЕССИИ И СВАРКИ КОСВЕННЫМ ИМПУЛЬСНЫМ НАГРЕВОМ

На основе анализа взаимосвязи основных параметров режимов микросварки: температуры, давления, времени-предложен принцип построения номограмм для подбора режимов. Исследована зависимость оптимальной деформации золотой и алюминиевой проволочек от температуры и давления.

Выбор режима термокомпрессии или сварки косвенным импульсным нагревом (СКИН) обычно производится по табличным данным, которые уточняются экспериментально. Предложенные расчетные методы определения режима сварки в твердой фазе [1, 2] не нашли достаточного применения из-за относительной сложности.

Опыт подбора режимов микросварки свидетельствует о том, что существуют некоторые области оптимальных режимов [3], которые позволяют широко применять отдельные параметры, не ухудшая прочности и надежности соединения. При этом необходимо соблюдать определенные соотношения между основными параметрами режима микросварки: температурой T , давлением P , временем t . Анализ результатов исследований прочности соединений, выполненных термокомпрессией или СКИН [4], показал, что такие соотношения носят закономерный характер.

Зависимость между деформацией и основными параметрами режима можно представить следующим образом:

$$F = f(\epsilon, W); \quad \epsilon = f(T, P, t).$$

Это справедливо для условий, когда остальные факторы технологии W , влияющие на прочность соединений, оптимальны.

Относительная деформация микросварного соединения определяется по формуле

$$\epsilon = (1 - 0,8 \frac{d}{B}) 100\%,$$

где d – диаметр проволоки;

B – ширина соединения.

Нагрузка на инструмент определяется исходя из распределения напряжений на стадии завершения деформации:

$$P = A \frac{1 + \mu}{1 - \epsilon} \sigma_T dD,$$

где A – эмпирический коэффициент, учитывающий изменение напряжений в процессе деформации проволоки;

σ_T – предел текучести материала проволоки при температуре деформации;

d – диаметр проволоки;

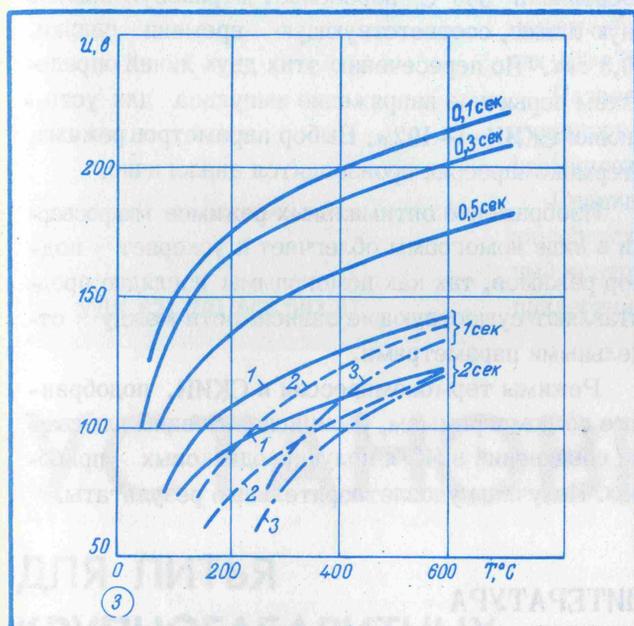
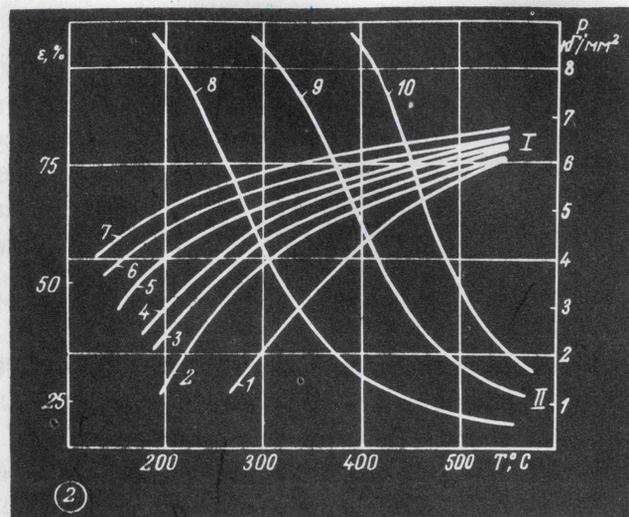
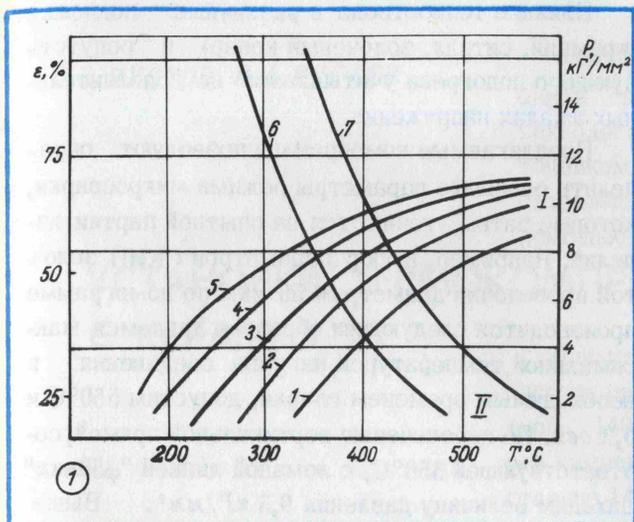
D – диаметр инструмента, равный обычно 2–3 d ;

μ – приведенный коэффициент трения, учитывающий трение между инструментом, проволокой и подложкой.

В небольшом температурном диапазоне (300–400°C и 400–700°C) можно считать, что величина σ_T пропорциональна величине T , тогда нагрузка также будет линейно зависеть от температуры.

Исследовалась деформация золотой проволоки диаметром 50 мкм и алюминиевой проволоки диаметром 100 мкм при различных температурах. Проволочки деформировались инструментами из твердого сплава, диаметр которых был равен соответственно 0,150 и 0,300 мм. Деформация производилась на подогреваемой подложке из стекла в течение 10 сек (рис. 1, 2). Оптимальная деформация ϵ , обеспечивающая удовлетворительную прочность соединения, составляет для золотой проволоки 50–60%, для алюминиевой – 60–70%. На основе описанных зависимостей можно получить соотношение между давлением на деформируемую проволоку и температурой микросварки, которое с достаточной точностью выражается прямой.

Температура в контакте при термокомпрессии приблизительно равна постоянной температуре нагревающего элемента, которую легко определить. При СКИН температура в контакте определяется импульсным разогревом инструмента и теплоотводом. Максимальная температура торца инструмента во время импульса определялась по методике, описанной в работе [5]. Исследовались серийно выпускаемые инструменты для установок

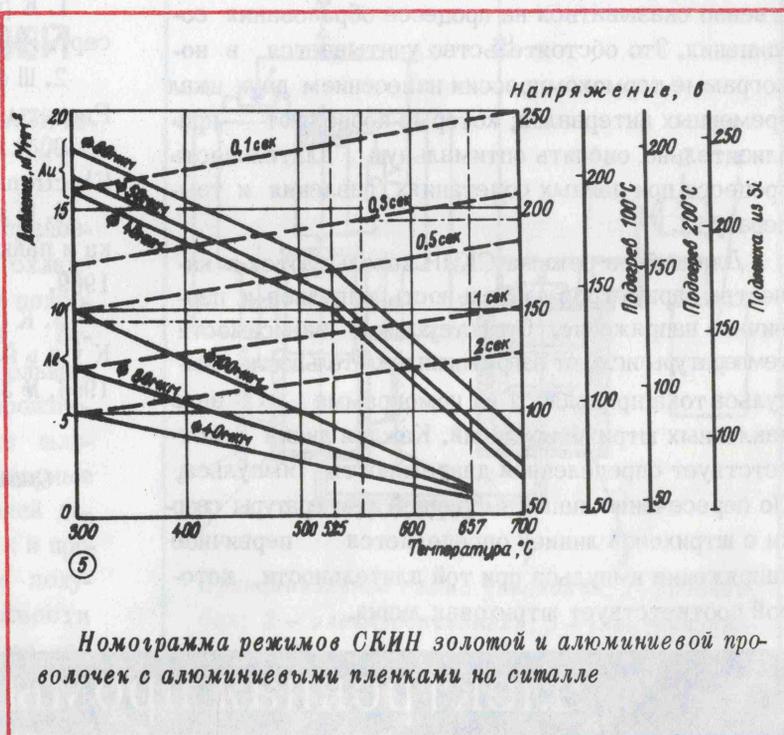


Номограмма режимов термокомпресии золотой и алюминиевой проволочек с алюминиевыми пленками на ситалле

① Температурная зависимость деформации золотой проволочки ϕ 50 мкм при различном давлении, кг/мм² (I) и давления на проволочку при различной деформации, % (II): 1 – 1,2; 2 – 3,9; 3 – 7,4; 4 – 11; 5 – 15; 6 – 50; 7 – 60

② Температурная зависимость деформации алюминиевой проволочки ϕ 100 мкм при различном давлении, кг/мм² (I) и давления на проволочку при различной деформации, % (II): 1 – 0,8; 2 – 1,5; 3 – 3,0; 4 – 4,5; 5 – 6; 7 – 9; 8 – 60; 9 – 70; 10 – 75

③ Температура на торце инструмента для СКИН в зависимости от первичного напряжения и длительности импульса тока: 1 – без подогрева; 2 – с подогревом до 100°C; 3 – с подогревом до 200°C



Номограмма режимов СКИН золотой и алюминиевой проволочек с алюминиевыми пленками на ситалле

МС-21РЗ и СКИН-1 (рис. 3). На разогрев места сварки влияют условия теплоотвода и сопутствующий подогрев. Кривые 2, 3 иллюстрируют влияние сопутствующего подогрева соответственно до 100 и 200°C.

Используя исследованные зависимости, можно построить номограммы режимов термокомпрессии и СКИН по принципу оптимальной деформации в координатах температура, давление, время (рис. 4, 5).

Давление, которое используется в расчетах, является действительным для момента конца деформации. В процессе формоизменения проволочки оно принимает другие значения, больше конечной величины. Необходимо учитывать, что с увеличением диаметра проволочки увеличивается рекомендуемое давление при микросварке. На номограмме это выражено семейством прямых, расположенных с интервалами, которые пропорциональны диаметру проволочек.

Сварка косвенным импульсным нагревом производится при таких температурах в контакте, при которых возможно образование эвтектики (например, эвтектика золото-алюминий 525°C). В случае превышения температуры образования эвтектики следует снизить давление на проволочку. Поэтому на линиях, определяющих режимы для золотой проволочки, имеется излом. По пересечению указанных прямых с координатами температуры и давления номограммы находятся рекомендуемые параметры режимов термокомпрессии или СКИН.

Известно, что время микросварки мало влияет на деформацию проволочки, однако может существенно сказываться на процессе образования соединения. Это обстоятельство учитывается в номограмме термокомпрессии нанесением двух шкал временных интервалов, которые позволяют приблизительно оценить оптимальную длительность процесса при данных сочетаниях давления и температуры.

Для выбора режима СКИН используются в качестве параметров длительность импульса и первичное напряжение. Существующие зависимости температуры иглы от напряжения и длительности импульса тока приводятся на номограмме в виде наклонных штриховых линий. Каждая линия соответствует определенной длительности импульса. По пересечению линии выбранной температуры сварки с штриховой линией определяется первичное напряжение импульса при той длительности, которой соответствует штриховая линия.

Влияние теплоотвода в различные подложки (кремний, ситалл, золоченый ковар) и сопутствующего подогрева учитывается на дополнительных шкалах напряжения.

Предлагаемые номограммы позволяют определить основные параметры режима микросварки, которые затем уточняются на опытной партии изделий. Например, выбор параметров СКИН золотой проволочки диаметром 50 мкм по номограмме производится следующим образом. Задаемся максимальной температурой нагрева соединения и необходимым временем сварки, допустим 550°C и 0,3 сек. По пересечению вертикальной прямой, соответствующей 550°C, с ломаной линией "φ50мкм" находим величину давления 9,5 кг/мм². Выше вертикаль "550°C" пересекает штриховую наклонную линию, соответствующую времени сварки 0,3 сек. По пересечению этих двух линий определяем первичное напряжение импульса для установки СКИН-1-192 в. Выбор параметров режима термокомпрессии производится аналогично.

Изображение оптимальных режимов микросварки в виде номограмм облегчает и ускоряет подбор режимов, так как номограммы наглядно представляют существующие зависимости между отдельными параметрами.

Режимы термокомпрессии и СКИН, подобранные по номограммам, были использованы для сварки соединений в ИС и полупроводниковых приборах. Получены удовлетворительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красулин Ю.Л. Автореферат докт. диссерт. ИМЕТ им. Байкова, М., 1968.
2. Шоршоров М.Х., Каракозов Э. С. Расчеты режимов сварки давлением. ЛДНП, 1969.
3. Phillips L.S. "Brit. Commun and Electronics", 1963. v.10, N6, p.456-458.
4. Назаров Г.В., Гревцев Н.В. Сварка и пайка в микроэлектронике. М., "Сов. радио", 1969.
5. Красулин Ю.Л., Никитин В.Г., Кузьмин В.И. "Автоматическая сварка", 1966, № 3, стр. 64.

Статья поступила 17 ноября 1969 г.

УДК 621.791-181.48

Б.Н. ШУСТОВ, В.А. ШУГАЕВ

Изготовлен опытный образец установки термокомпрессионной сварки металла с керамикой. Установка имеет две технологические камеры с общим пультом управления и источником питания. Подъем — опускание камер и передача сжимающих усилий на свариваемые детали производятся с помощью одного гидравлического привода.

УСТАНОВКА ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛА С КЕРАМИКОЙ

Диаметр рабочей зоны первой технологической камеры, рассчитанной на проведение процессов сварки при температуре 1400°C, 50 мм, высота 120 мм, размеры второй камеры, рассчитанной на температуру 1200°C, соответственно 140 и 250 мм.

Гидравлическая система установки позволяет плавно изменять общее усилие сжатия свариваемых деталей в пределах 100–7000 кг.

Газовая система установки рассчитана на проведение процессов сварки в среде водорода, азота и увлажненного формирующего газа с точкой росы 5–15°C.

Свариваемые узлы могут быть сжаты и при открытой (поднятой) технологической камере; это допускает предварительный контроль правильности установки деталей, плотности их прилегания и целостности.

УДК 621.791:666.593.81

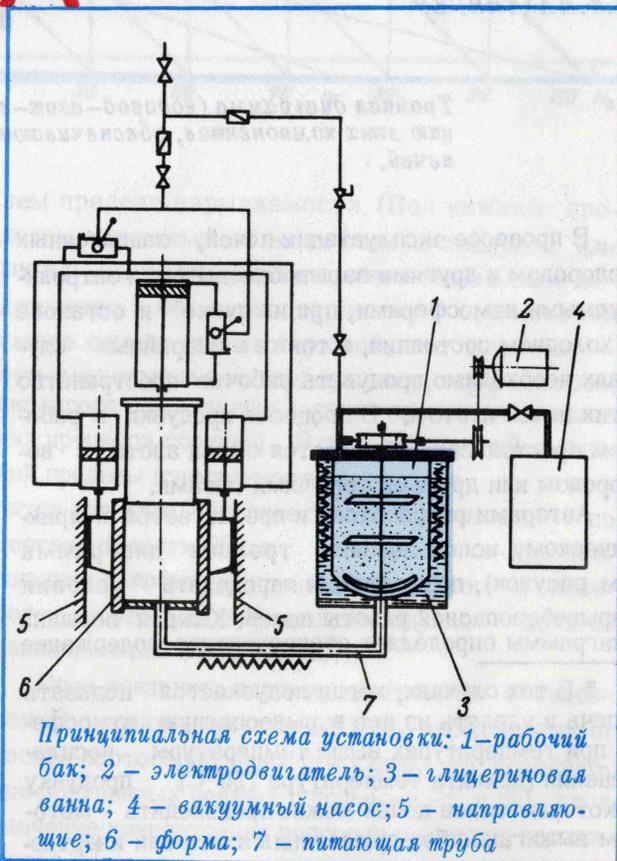
УСТАНОВКА

Б.Н. ШУСТОВ, Л.В. ТУМАНОВ

ДЛЯ ЛИТЬЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Установка для литья под давлением позволяет получать керамические детали диаметром до 350 мм и высотой до 500 мм.

При литье с помощью разработанной установки (см. рисунок) используют стационарные охлаждаемые формы. В установке осуществляют подготовку и вакуумирование литейного шликера, отливку детали и извлечение ее из формы. Большая емкость шликерного бака (позволяющая производить значительное количество деталей из шликера одного состава), охлаждаемые стационарные формы, пневматическая распрессовка деталей дают возможность повысить качество отливок и процент выхода годных с 25 (на существующих полуавтоматах) до 33–35%. Благодаря возможности смены литейных форм можно получать любые цилиндрические детали в пределах указанных выше габаритов.



ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Объем шликерного бака, л	60
Внутренний диаметр питающей трубы, мм	35
Температура в шликерном баке, °С	60–90
Точность регулировки тем- пературы, °С	± 2
Остаточное давление в шли- керном баке при вакууми- ровании, торр	≤ 10
Давление в шликерном баке при отливке деталей, кг/см ²	1–6
Точность регулировки давле- ния, кг/см ²	± 0,2

Установка состоит из следующих узлов: устройства для подготовки и вакуумирования шликера, устройства для отливки деталей и пульта управления.

Для выполнения первых двух операций предусмотрен рабочий бак из нержавеющей стали, снаб-

женный лопастной мешалкой, которая приводится во вращение от электродвигателя мощностью 1 *квт* через клиноременную и червячную передачи. Рабочий бак помещен в глицериновую ванну, обогреваемую с помощью нагревателей типа ТЭН общей мощностью 4,8 *квт*. В систему вакуумирования и подачи сжатого воздуха входят вакуумный насос ВН461М, трубопроводы и краны, обеспечивающие отключение рабочего бака от насоса при подаче в бак сжатого воздуха в процессе отливки деталей.

Устройство для отливки состоит из каркаса с двумя направляющими, по которым движется форма двух пневмоцилиндров перемещения матрицы и одного пневмоцилиндра перемещения пуансона.

Рабочий бак соединен с формой посредством питающей трубы, имеющей индивидуальный обогрев. Температура в рабочем баке и питающей трубе поддерживается автоматически с помощью двух термосигнализаторов ТС–100. Продолжительность заполнения формы и выдержки шликера под давлением устанавливается с помощью реле времени. Приборы и элементы управления вынесены на щиток пульта.

УДК 621.746.06:666.3

А.П. ПЕТРУК,
Э.Я. МАХТИНГЕР

ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Тройная диаграмма (водород–азот–воздух) позволяет определить концентрацию этих компонентов, обеспечивающую безопасность работы при продувке печей.

В процессе эксплуатации печей, заполненных водородом и другими взрывоопасными контролируемые атмосферами, при их пуске и останове в холодном состоянии, а также в аварийных случаях необходимо продувать рабочее пространство этих печей азотом.* В процессе продувки в рабочем пространстве образуются смеси азота с водородом или другими горючими газами.

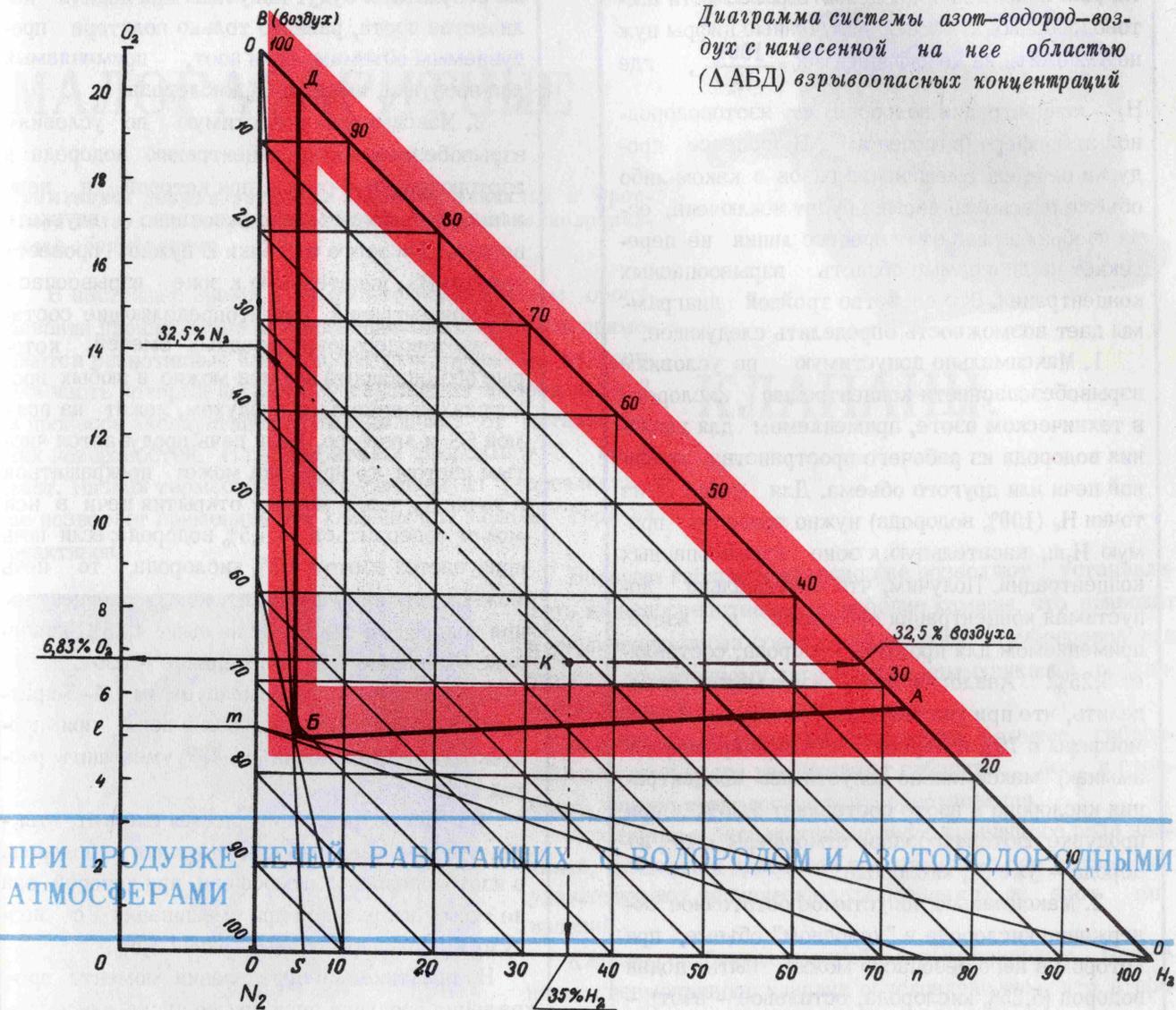
Авторами разработана и предлагается к практическому использованию тройная диаграмма (см. рисунок), позволяющая определять условия взрывобезопасной работы печей. Каждая вершина диаграммы определяет стопроцентное содержание

* В тех случаях, когда допускается подавать в печь и удалять из нее взрывоопасную атмосферу при температурах выше температуры воспламенения (принята температура 750°С) продувку некоторых типов печей можно производить методом выжигания без применения азота или инертного газа.

того газа, символом которого она обозначена. Любой точке на плоскости диаграммы соответствует трехкомпонентная газовая смесь определенного состава (порядок определения концентрации компонентов показан для точки К). Точки, взятые на сторонах треугольника, определяют концентрации газов, обозначения которых даны на прилежащих вершинах. Поскольку смесь воздуха с азотом может быть представлена как смесь кислорода с азотом, параллельно стороне треугольника N_2 – В (воздух) проведена дополнительная ось концентрации кислорода в азотокислородной смеси. Процесс замещения в каком-либо объеме водорода азотом изображается прямой $\overline{H_2N_2}$, обратный процесс замещения азота водородом – прямой $\overline{N_2H_2}$.

Если объем, заполненный водородом, продувать азотом, содержащим $t\%$ кислорода (технический азот), то этот процесс изобразится прямой $\overline{H_2m}$. При этом точки на прямой $\overline{H_2m}$ определяют после-

Диаграмма системы азот-водород-воздух с нанесенной на нее областью (ΔABD) взрывоопасных концентраций



ПРИ ПРОДУВКЕ ПЕЧЕЙ РАБОТАЮЩИХ ВОДОРОДОМ И АЗОТОВОДОРОДНЫМИ АТМОСФЕРАМИ

довательное изменение состава газа в продуваемом объеме. Продувка таким же техническим азотом объема, заполненного азотоводородной атмосферой с содержанием n % водорода, изобразится прямой $\overline{m\bar{n}}$. Аналогично процесс замещения технического азота водородом и азотоводородной атмосферой изображается соответственно прямыми $\overline{m\bar{H}_2}$ и $\overline{m\bar{n}}$.

На диаграмму нанесены пределы взрываемости смесей водорода азота и кислорода, полученные путем обработки экспериментальных данных, приведенных в работе [4]. Область взрывоопасных смесей ограничена треугольником ABD .

На диаграмме можно выделить несколько характерных точек и линий. Точки A и D на прямой H_2B определяют соответственно нижний и верхний пределы взрываемости водорода с воздухом. Прямая BD определяет составы взрывоопасных смесей, находящихся на нижнем пределе взрываемости, а прямая AB — соответственно на верх-

нем пределе взрываемости. (Под нижним пределом взрываемости смеси газа с воздухом или кислородом подразумевается его минимальное содержание в объемных процентах, при котором смесь еще остается горючей, под верхним — его максимальное содержание, при котором кислорода в смеси еще достаточно для поддержания процесса горения). В точке B верхний и нижний пределы взрываемости сливаются и становятся равными. Газовые смеси, отвечающие по составу области BSN_2m , не взрываются при смешивании в любых пропорциях с воздухом и водородом, поэтому все процессы продувки должны заканчиваться в этой области.

Если соединить вершину диаграммы с индексом B с точками на стороне N_2H_2 , определяющими состав азотоводородных атмосфер, то пересечение полученных прямых с прямыми AB и BD даст значение концентрации водорода в смесях, находящихся на верхнем и нижнем пределах взрываемости.

ти. Для нахождения пределов взрываемости азотоводородных атмосфер полученные цифры нужно умножить на коэффициент $K = \frac{100\%}{H_2}$, где H_2 — концентрация водорода в азотоводородной атмосфере (в процентах)*. В процессе продувки печи или смешивания газов в каком-либо объеме опасность взрыва будет исключена, если изображающая этот процесс линия не пересекает на диаграмме область взрывоопасных концентраций. Это свойство тройной диаграммы дает возможность определить следующее.

1. Максимально допустимую по условиям взрывобезопасности концентрацию кислорода в техническом азоте, применяемом для удаления водорода из рабочего пространства холодной печи или другого объема. Для этого из точки H_2 (100% водорода) нужно провести прямую H_2m , касательную к зоне взрывоопасных концентраций. Получим, что максимально допустимая концентрация кислорода в азоте применяемом для продувки водорода, составляет 5,25%. Аналогичным образом можно определить, что при удалении азотоводородной атмосферы с 75% водорода (диссоциированный аммиак) максимально допустимая концентрация кислорода в азоте составляет 5,35%, при продувке азотоводородной атмосферы с 10% водорода — уже 9% кислорода.

2. Максимально допустимое остаточное содержание кислорода в "холодном" объеме, при котором в него безопасно может быть подан водород (5,25% кислорода, остальное — азот) — на рисунке это определяет точка m .

В случае применения диссоциированного аммиака или азотоводородной атмосферы с 10% водорода продувку азотом можно прекратить и подать атмосферу в тот момент, когда в печи будет соответственно 5,35 и 9% кислорода.

С уменьшением разницы между максимально допустимой концентрацией кислорода в печи и концентрацией его в азоте, применяемом для продувки, при прочих равных условиях увеличивается количество последнего, требуемое для продувки. Например, для снижения концентрации кислорода в продуваемом объеме с 21 до 5,1% нужно подать количество азота, в 5,2 раза превышающее величину продуваемого объема, если в азоте содержится 5% кислорода; те

* Здесь и далее концентрации газов указаны в объемных процентах.

же результаты будут получены при подаче количества азота, равного только полутора продуваемым объемам, если азот, применяемый для продувки, имеет 0,5% кислорода.

3. Максимально допустимую по условиям взрывобезопасности концентрацию водорода в азотоводородной смеси, при которой в печь или другой объем можно безопасно впускать воздух. Для этого из точки B нужно провести прямую BS , касательную к зоне взрывоопасных концентраций. Точки, определяющие составы азотоводородокислородных смесей, которые без опасности взрыва можно в любых пропорциях смешивать с воздухом, лежат на прямой BS и левее ее. Если печь продувается чистым азотом, то продувка может прекращаться в точке S , т.е. в момент открытия печи в ней может содержаться до 5,5% водорода; если печь продувается азотом с 5% кислорода, то печь можно открывать в момент, когда концентрация водорода в ней будет не выше 4,25%, кислорода — не выше 4,75%, остальное — азот.

По сравнению с рекомендуемым 4–5-кратным замещением объема газа в печи при продувке это позволяет на 30–40% уменьшить расход газа.

Из рассмотрения диаграммы следует также, что максимальная концентрация водорода в азотоводородной атмосфере, при которой она не может взорваться при смешивании с воздухом в холодном объеме, равна 5,5%.

На практике при определении момента прекращения продувки печи при ее пуске или останове, а также при установлении пригодности технического азота для продувки необходимо учитывать погрешность приборов, применяемых для газового анализа, и вводить в приведенные выше цифры соответствующие коррективы. Кроме того, в печах с большим газовым объемом при продувке может наблюдаться неравномерность состава газа по объему, а при неправильной организации продувки могут создаваться непродуваемые объемы ("газовые мешки"). Эти обстоятельства необходимо учитывать, выбирая место для отбора из печи пробы газа на анализ или для проверки ее "на хлопок".

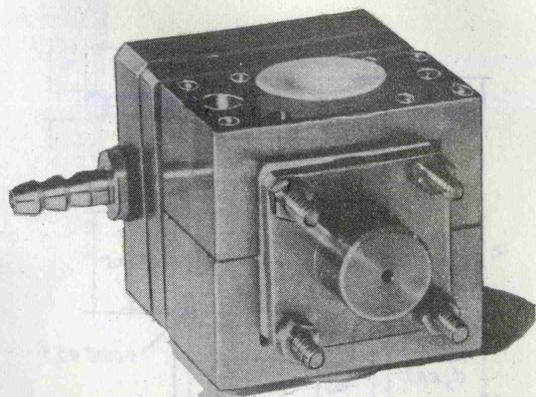
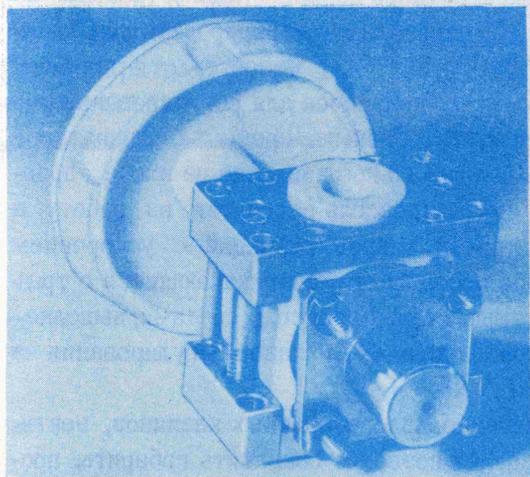
Статья поступила 28 апреля 1969 г.

УДК 621.365.2

МАЛОГАБАРИТНЫЕ

Применение унифицированных клапанов, вентилях и дросселей позволяет сократить габариты химико-технологического оборудования.

В настоящее время в химико-технологическом оборудовании производства полупроводниковых приборов применяются разнотипные клапаны, вентили, дроссели, внутренняя часть которых покрыта суспензией из фторопласта-3, в процессе эксплуатации отслаивающейся от металлических поверхностей. В растворителях фторопласт-3 набухает. Низкая термостойкость суспензии из фторопласта-3 не позволяет применить эти клапаны при подаче горячих реактивов.



КЛАПАНЫ,

Большие габариты клапанов не позволяют устанавливать их непосредственно на рабочие камеры, что приводит к увеличению числа соединений и длины трубопроводов, а также к повышенному загрязнению коммуникаций реакционных камер.

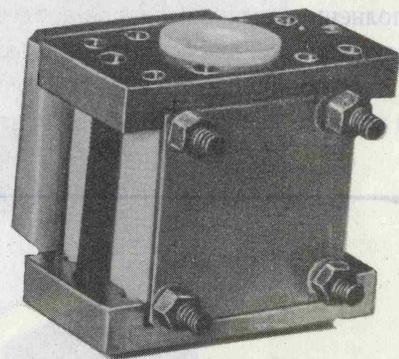
Кроме того, отсутствие унификации, большие габариты и вес этих узлов увеличивают габариты, вес и стоимость химико-технологического оборудования.

Испытания и эксплуатация унифицированного ряда вентилях, клапанов и дросселей показали, что они полностью удовлетворяют техническим требованиям на этот тип изделий.

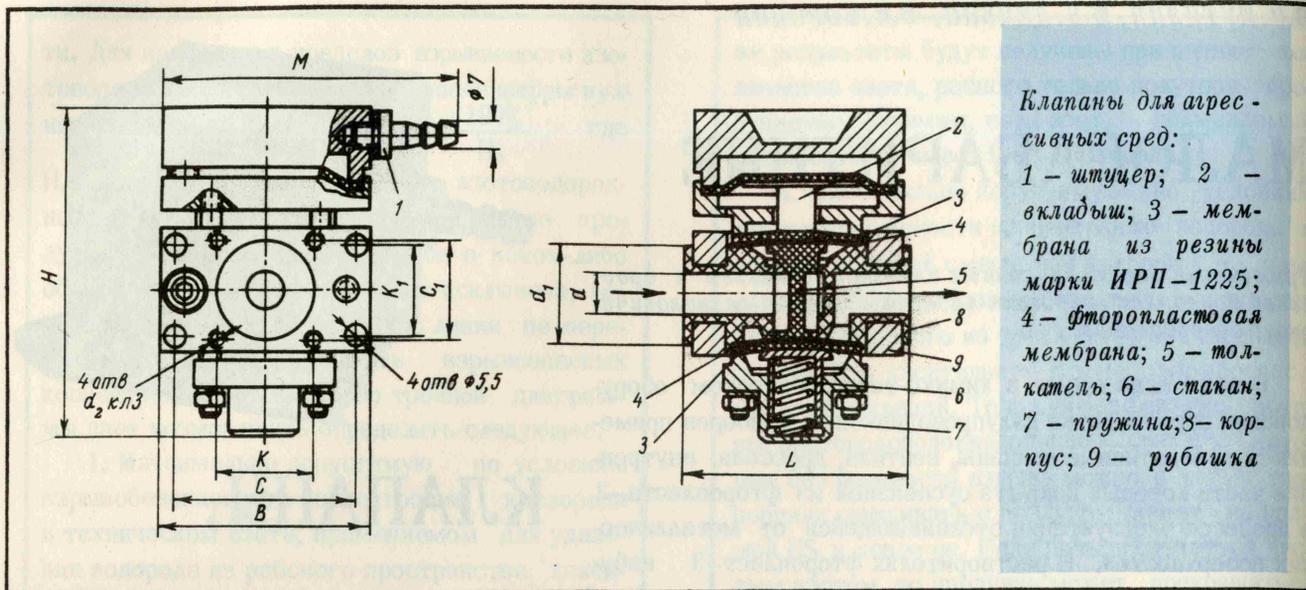
Клапаны снабжены малогабаритным приводом. Применение пневмопривода клапана обусловлено тем, что в про-

ВЕНТИЛИ И ДРОССЕЛИ

в процессе эксплуатации электромагнитные клапаны нельзя располагать вблизи реакционных камер, так как электромагнитный привод приходит в негодность по истечении небольшого срока службы. В качестве элемента, перекрывающего седло клапана, используется мембрана из фторопластовой пленки толщиной 0,2 мм и мембрана из фторокаучуковой резины марки ИРП-1225. Мембраны расположены таким образом, что жидкость соприкасается только с фторопластовой мембраной. Большая эластичность этих двух мембран обеспечивает хорошую герметичность клапана. При подаче сжатого воздуха вкладыш через мембраны перемещает толкатель крестообразного сечения, который в свою очередь перемещает две другие (нижние) мембраны и стакан, сжимает пружину и



ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СРЕД



Клапаны для агрессивных сред:
 1 — штуцер; 2 — вкладыш; 3 — мембрана из резины марки ИРП-1225; 4 — фторопластовая мембрана; 5 — толкатель; 6 — стакан; 7 — пружина; 8 — корпус; 9 — рубашка

открывает клапан. Корпус клапана, выполненный из фторопласта-4 и заключенный в металлическую рубашку для защиты от деформаций, образует с мембранами 4 (верхней и нижней) емкость, обеспечивающую работу с агрессивными жидкостями и газами в диапазоне температур 5–140°C.

Исполнение клапанов — нормально-закрытое. Рабочее положение клапана может быть любым. Питание привода осуществляется от сети сжатого воздуха давлением 2–6 кг/см². Габариты клапанов: 80×54×52 мм (при условных диаметрах 6 и 10 мм) и 115×72×76 мм (при условном диаметре 16 мм). Вес от 0,65 до 2,1 кг. Максимальное давление среды в перекрываемой магистрали 3 кг/см².

Клапаны выдерживают не менее 100000 циклов срабатывания и рассчитаны на работу в условиях тряски, ударов, вибраций с ускорением до 6 g. Клапаны в таком же исполнении, но с увеличенными габаритами пневмопривода могут быть выполнены на максимальное давление жидкости в перекрываемой магистрали до 10 кг/см².

Конструкция вентиля отличается от конструкции клапана наличием ручного винтового привода

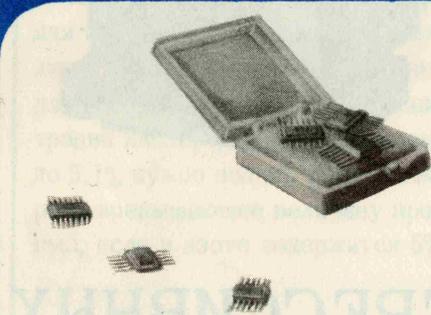
вместо пневматического. Все детали вентиля, за исключением деталей привода, заимствованы из клапанов, что позволило унифицировать 80% деталей и узлов.

Дроссель предназначен для регулирования расхода жидких агрессивных сред с температурой 5–140°C. Максимальное давление на входе дросселя 4 кг/см². Дроссель рассчитан на работу в условиях тряски, ударов, вибраций с ускорением до 6 g. Все поверхности, соприкасающиеся с транспортируемыми через дроссель средами, выполнены из фторопласта-4. Диапазон регулирования не менее 6 кг/см².

Применение малогабаритных клапанов, вентиля, дросселей позволит сократить габариты проектируемого оборудования, расположить клапаны непосредственно на камерах химической обработки, сократить коммуникации подвода реактивов и газов, уменьшить вес и увеличить надежность установок.

Статья поступила 23 октября 1969 г.

УДК 621.646.25



ИНТЕГРАЛЬНЫМ СХЕМАМ

КІ-ЛБ-041-44

КІ-ЛИ-041-45

КІ-НД-041-44

ПРИСВОЕН ЗНАК КАЧЕСТВА



ЭЛЕКТРОНИКА

В БЫТУ

Фотовспышка

Прибор позволяет производить моментальные как черно-белые, так и цветные снимки в любых условиях местного освещения фотоаппаратами любой конструкции.



"СВЕТ"

Длительность световой вспышки $1/3000$ сек.
Угол рассеяния светового пучка — около 80° .
Наименьший допустимый интервал между вспышками — 10 сек.

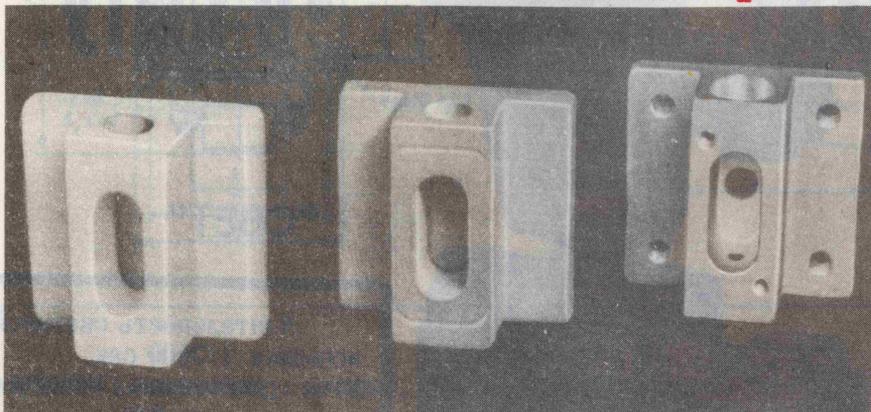


Магнитофон

"ЭЛЕКТРОН"

Портативный транзисторный магнитофон "Электрон" с акустической приставкой позволяет осуществлять высококачественную запись и воспроизведение музыки и речи. Диапазон звучания магнитофона охватывает тона всех музыкальных инструментов.

Изготовление деталей приборов



МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Разработан технологический процесс изготовления внешних резонаторов приборов методом литья по выплавляемым моделям; подтверждена эффективность метода по сравнению с ранее применявшимся.

Метод литья по выплавляемым моделям (см. рисунок) позволил объединить несколько деталей, обычно соединяемых сваркой или пайкой, в одну, значительно сокращая трудоемкость механических операций. На некоторых типах деталей трудоемкость станочных работ уменьшилась на 80–90%, расход металла сократился в 1,5–2 раза, себестоимость – в 2–3 раза. Потребность в приспособлениях и режущем инструменте, а также занятость квалифицированных рабочих резко ограничилось.

Для получения выплавляемой модели резонатора проектировалась одноместная литейная форма с учетом коэффициента усадки модельного состава и металла, коэффициента расширения оболочки, возможности последующей доводки формы, а также оптимального месторасположения литника и его геометрических размеров. Чистота поверхности отливок обеспечивалась готовой формой, чистота рабочих поверхностей которой не превышала $\nabla 8$.

Выплавляемые модели отливали из пастообразного состава ПС50–50, обладающего невысокой температурой плавления, низкой зольностью и хорошо смачивающегося суспензией для корковой оболочки. Состав пригоден для многократного использования.

Необходимое пастообразное состояние достигалось добавлением в расплав парафина и стеарина тонкой стружки того же состава при непрерывном перемешивании. В результате насыщения состава воздухом при перемешивании плотность снижалась с 0,95 до 0,8 г/см³. Форму заполняли запрессовкой состава на ручном прессе. Содержащийся в пастообразном составе воздух сжимался, а после снятия давления расширялся, что способствовало более точному воспроизведению полости формы.

Материалом для корковой огнеупорной оболочки служил пылевидный кварц (ГОСТ 9077–59) марки КП–2. Для наращивания оболочки использовали кварцевый песок марки 1К025 (ГОСТ 2138–56). С целью получения высокой чистоты поверхности отливки пылевидный кварц и кварцевый песок перед нанесением на модель прокаливали при температуре 850–900°C, при этом органические примеси выгорали. Дополнительно пылевидный кварц просеивали последовательно через сита № 025 и 0063, а песок – через сита № 025 и 010. Для присыпки использовали остаток кварцевого песка на сите № 010.

Связующим при получении корковой оболочки был выбран гидролизированный раствор этилсиликата с содержанием SiO₂ – 31,5% и HCl – 0,005%.

Для получения менее вязкого золя и повышения прочности оболочки был принят следующий по-

рядок смешивания исходных компонентов при гидролизе: в сосуд наливали спирт, воду и соляную кислоту и перемешивали 1–2 мин. В водно-спиртовой раствор добавляли по частям (по 1/4 от общего количества) этилсиликат, интенсивно перемешивали 5 мин, а затем после выдержки в течение 30 мин операцию повторяли, не допуская повышения температуры раствора более 40°C. Гидролизированный раствор перед употреблением выдерживали сутки.

Модели перед покрытием собирали по 8 шт. в блоки, имеющие один общий питатель. Собранные блоки обливали суспензией пылевидного кварца (60 вес.%) в гидролизованном этилсиликате (40 вес.%), а затем обсыпали кварцевым песком до полного насыщения.

Высокопрочная оболочка получается тогда, когда испарение растворителя опережает коагуляцию (золь → студень → гель). Для этого первый этап сушки осуществлялся в вытяжном шкафу при интенсивном отводе воздуха. Второй этап: сушка на воздухе (30 мин), в парах аммиака (30 мин) и на воздухе (30 мин) — ускорял процесс коагуляции и способствовал завершению гидролиза продуктов. Наличие в оболочке продуктов неполного гидролиза вызывает ее набухание при нанесении последующих слоев суспензии и снижает прочность.

Покрытые блоки формовали опочным способом с использованием сухого наполнителя — кварцевого песка, который можно применять для этой операции многократно. Модели выплавляли в термостатах, предварительно нагретых до 200°C с целью предупреждения разрыва огнеупорного покрытия при расширении модельного состава. Затем формы прокаливали в электрической печи сопротивления при температуре 800–850°C в течение двух часов. Если прокаливание вести при пониженных температурах, то наблюдается незаполнение тонких сечений отливок, появление раковин и потеря четких границ изделия (притупление кромок). Более высокий нагрев форм также ухудшал качество отливок: точность геометрических размеров снижалась вследствие расширения наполнителя оболочки, в котором происходили полиморфные превращения [1].

Горячие формы заполняли прогретым до 1620–1640°C металлом (свободной заливкой) металл (Ст. 20) предварительно раскисляли силикальцием и алюминием. После вынимания отливок из форм и отрезания литниковой системы остатки керамической формы с поверхностей деталей удаляли кипячением в 25%-ном растворе каустической соды или обработкой в пескоструйном аппарате.

Литье по выплавляемым моделям позволило получить детали 5 кл. точности, поэтому для последующей механической обработки (3 кл.) в литую заготовку были заложены припуски. Фрезерованием получали контактные поверхности фланцев, а сверлением — посадочные места под подшипники и отверстия для настроечных винтов. Несмотря на необходимость окончательной механической обработки, общая трудоемкость фрезерных работ по сравнению с первоначальной технологией изготовления снизилась в 1,6, слесарных — в 5,5, шлифовальных — в 5 раз. Отпала необходимость в сборочных операциях и пайке фланца с корпусом. Поскольку литая конструкция не содержит паяных швов, узел менее подвержен коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.Н. Брак и дефекты в литье по выплавляемым моделям. М., Машгиз, 1959.
2. Шуб И.Е., Сорокин П.В. Точное литье по выплавляемым моделям. Л., "Машиностроение", 1968.
3. Сенина Р.М., Юркова М.И. Высокоточное литье деталей измерительного инструмента. М., Машгиз, 1951.

Статья поступила 16 октября 1969 г.

УДК 621.396.69.002.2:621.746

Метод одновременного выдавливания резонаторной системы и щели связи в анодных блоках

Одновременное выдавливание резонаторной системы и щели связи (рис. 1) достигается изготовлением специального прямоугольного выступа на пуансоне (рис. 2), который при выдавливании резонаторной системы формирует профиль щели связи в выходном резонаторе. При последующей механической обработке (расточке боковой базовой поверхности блока) полученный паз вскрывается и

М.Б. ШУР,
В.И. ЛАРИН

Новая технология получения щели связи в анодных блоках обеспечивает повышение точности изготовления и чистоты поверхностей деталей.

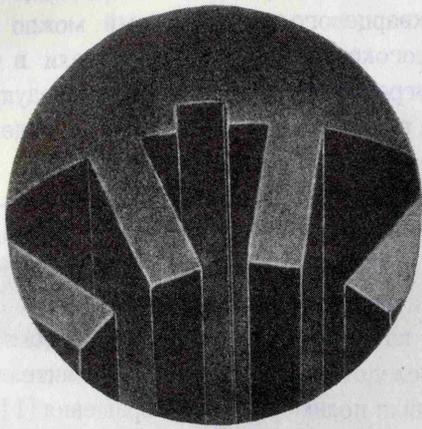


Рис. 1. Профиль резонаторной системы и щели связи, полученный методом одновременного выдавливания

щель связи готова. Преимущества нового способа изготовления щели связи по сравнению с фрезерованием следующие.

1. *Высокая точность расположения щели связи относительно выходного резонатора системы*, которая зависит в этом случае только от одного фактора — точности расположения выступа на ламели пуансона. Выступ же на ламели пуансона изготавливается с эксцентриситетом не более 0,01 мм, с таким же эксцентриситетом получают и готовые щели связи в анодных блоках.

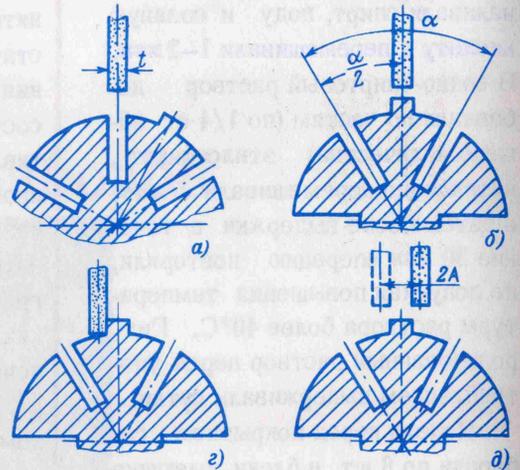
2. *Идентичность размеров и формы профиля щелей*. При выдавливании одним и тем же пуансоном разброс по ширине щелей не превышает 0,01–0,015 мм. Профиль щели соответствует профилю выступа на ламели пуансона.

3. *Более высокий класс чистоты поверхности*. Чистота поверхности щели определяется чистотой поверхности выступа на пуансоне и соответствует 8–9 кл. по ГОСТ 2789–59.

4. *Идентичное расположение щели связи относительно резонаторов системы*, так как щель делается всегда со стороны одного и того же резонатора.

5. *Снижение трудоемкости изготовления анодного блока за счет ликвидации операций фрезерования и слесарной обработки щелей* — формообразование щели происходит одновременно с выдавливанием резонаторной системы.

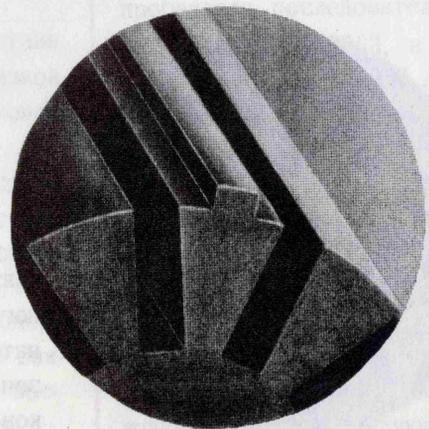
Разработанный способ получения щели связи не требует внесения принципиальных изменений или новых операций в существующую технологию изготовления анодных блоков. Это упрощает внедрение нового технологического процесса в производство.



Технология изготовления пуансонов для одновременного выдавливания резонаторной системы и щели связи состоит из следующих операций: токарной обработки заготовки, фрезерования выступа, термической обработки, прорезки пазов, шлифовки выступа прямоугольной формы и шлифовки пуансона по наружному диаметру (обкатки).

Наиболее ответственной из новых операций изготовления пуансона является операция шлифовки выступа. Она проводится на том же шлифциркульном станке, на котором прорезаются пазы, что обеспечивает более высокую точность расположения выступа относительно ламели пуансона (рис. 3). После окончания нарезки пазов пуансон поворачивается на угол, равный половине угла между ламелями, с помощью того же делительного устройства, которое используется при нарезке пазов в пуансоне. Затем с помощью стола

Рис. 2. Рабочая часть пуансона для одновременного выдавливания резонаторной системы и щели связи



шлифенарезного станка пуансон смещается относительно абразивного круга на величину

$$A = \frac{1}{2} (t + C),$$

где t — толщина абразивного круга;

C — ширина выступа на пуансоне.

Шлифовка боковой стороны выступа происходит при вертикальной подаче круга вниз. После окончания шлифовки одной стороны выступа круг поднимают вверх и смещают пуансон в противоположную сторону на величину $2A$. Затем шлифуется вторая сторона выступа.

Известную трудность представляет операция шлифовки наружного диаметра пуансона. Она производится на обычном плоскошлифовальном станке методом обкатки: пуансон вместе со столом станка совершает возвратно-поступательное движение и с помощью специального приспособления медленно поворачивается вокруг своей оси. Для облегчения процесса обкатки на участке диаметра, прилегающем к выступу, оставляют небольшую площадку, полученную при шлифовке выступа. Величина площадки не превышает $0,5 \text{ мм}$.

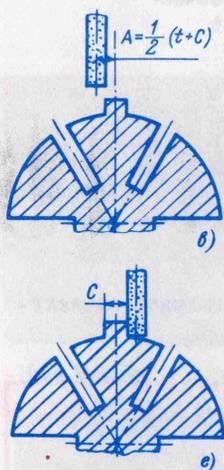


Рис. 3. Последовательность изготовления выступа на ламели пуансона:

а — окончание прорезки пазов; б — поворот пуансона на угол $\frac{\alpha}{2}$; в — смещение пуансона относительно камня на величину A ; г — шлифовка одной стороны выступа; д — смещение пуансона на величину $2A$ в противоположную сторону; е — шлифовка второй стороны выступа

Статья поступила 16 октября 1969 г.

УДК 621.315.592.002.2

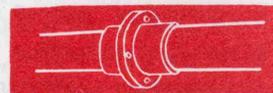
Л.И. ЛАГЕРЕВ,
Е.М. БАЗАРНЫЙ,
В.Н. ИСАКОВ,
В.И. МАРЬИН

НОВЫЕ



СОЕДИНЕНИЯ

ВОЛНОВОДНЫЕ



Новые волноводные соединения просты и надежны, обеспечивают точность стыковки каналов волноводных секций, значительно упрощают и ускоряют процесс сборки волноводных линий в различных условиях.

Существующие типы волноводных соединений в основном предназначены для соединения волноводов прямоугольного сечения. Протяженность этих линий, прокладываемых в большинстве случаев в закрытых помещениях с благоприятными для работы климатическими условиями, исчисляется десятками метров. За последнее время получили распространение два типа соединений круглых волноводов, выполненных методом холодной запрессовки: неразъемное и разъемное.

Неразъемное соединение (рис. 1) представляет собой втулку, в отверстие которой запрессованы волноводные секции круглого сечения. Волновод-

ная стальная секция промышленного изготовления имеет на концах шейки, обработанные по пресовым посадкам, и канал, покрытый слоем меди и лака [1].

Неразъемное соединение обеспечивает достаточно высокую точность стыковки соединяемых волноводных секций как по совмещению их осей в радиальном направлении, так и по углу их скрещивания в месте стыка. Величина радиального смещения осей для волноводных секций диаметром 60 мм и длиной $2,5 \text{ м}$ не превышает $0,05 \text{ мм}$, а угол скрещивания осей $2,3 \text{ угл. мин.}$ [2, 3].

Механическая прочность этого вида соединения на разрыв колеблется в пределах 3,2–6 Т. Увеличение прочности соединения достигается применением при запрессовке эпоксидного клея холодного отверждения, которым покрываются шейки секции перед запрессовкой во втулку. При испытании стыков на герметичность (при избыточном давлении 4 атм) падение давления в течение семи суток составило всего 0,06 атм. Механическая прочность соединений проверялась также и при статических нагрузках, возникавших от свободного провисания концов волноводной плети длиной 4 м, и при подъеме концов плети на высоту двух метров. При этом никаких изменений в стыках не наблюдалось [4]. Конструкция неразъемного соединения позволяет производить сборку волноводных линий практически любой длины, а сам процесс запрессовки может вестись непрерывно с применением автоматизации.

Разъемное соединение (рис.2) предназначено для соединения волноводных плетей в линию, а также для установки различных волноводных элементов и соответствующего оборудования. Этот вид соединения отличается от существующих фланцевых соединений способом центрирования стыкуемых волноводных секций, осуществляемым с помощью центрирующих кольцевых выступов и выемок, размещенных на торцевых поверхностях фланцев, которые при стягивании фланцев болтами входят друг в друга и точно центрируют каналы секций. Соединения этого типа обеспечивают достаточно точную стыковку волноводных секций. Так, например, радиальный сдвиг осей волноводных секций в месте стыка не превышает 0,05 мм для секций длиной 2,5 м с диаметром канала 60 мм, а угол скрещивания – 3 угл.мин.



Рис.1. Неразъемное сочленение волноводов

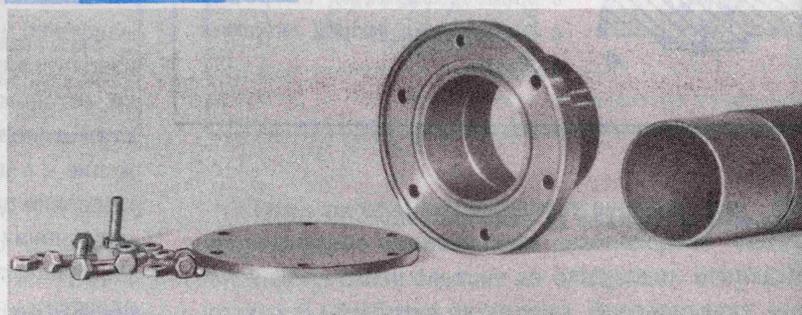
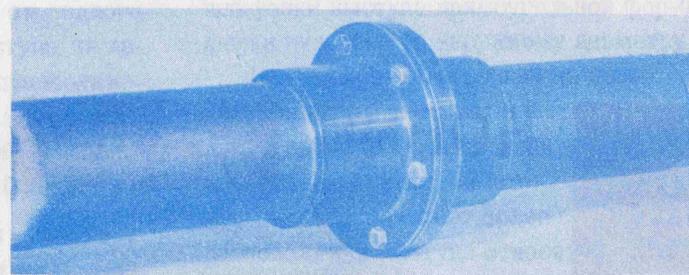


Рис.2. Разъемное сочленение волноводов:
а – детали; б – общий вид



а

б

Фланцы разъемного соединения напрессовываются на шейки волноводных секций, предварительно покрытые эпоксидным клеем холодного отверждения. Применение клея увеличивает прочностные качества соединения и создает его полную герметизацию.

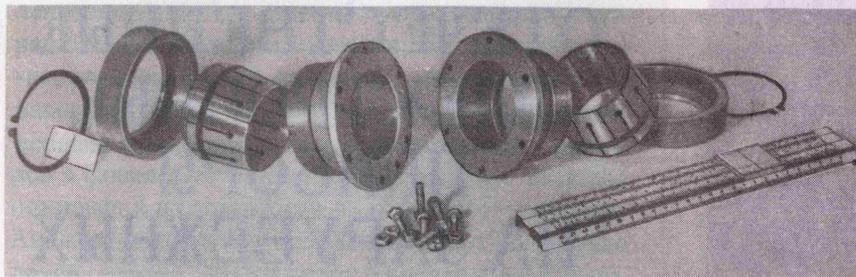
Волноводная линия, собранная на описанных соединениях и уложенная в землю в реальных полевых условиях, была вскрыта после трехлетнего периода и показала полную исправность всех соединений. Хорошо себя показали эти соединения и на волноводной линии, проложенной на поверхности земли и подвергавшейся испытанию в течение трех лет при различных климатических воздействиях [5].

Быстрodeйствующее волноводное соединение (рис.3) предназначено в основном для быстрой сборки и установки волноводных секций или волноводных плетей и снятия их с измерительных установок для проверки электрических и геометрических параметров.

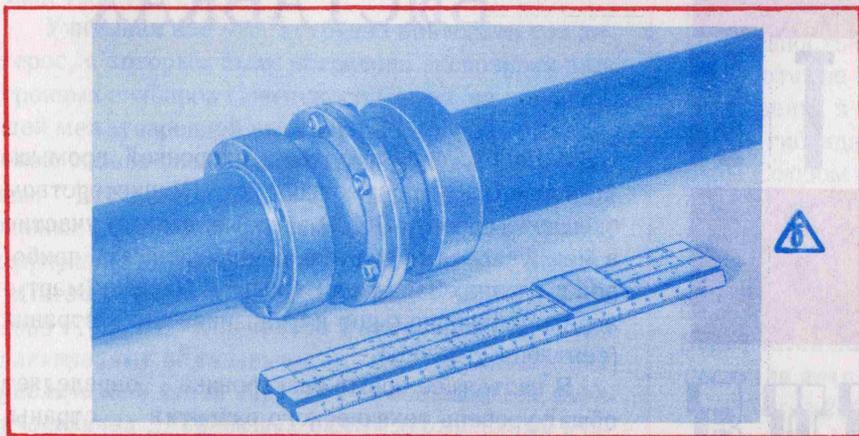
Быстрodeйствующее волноводное соединение состоит из двух фланцев, соединенных болтами и контрольными штифтами. Внутри фланцев помещаются разрезные пружинные втулки, которые перемещаются вдоль оси по внутренним конусным поверхностям фланцев в обе стороны с помощью накладных гаек.

Пружинные втулки имеют чередующиеся разрезы с двух сторон, чем обеспечивается равномерный плотный охват по всей длине шейки волновода.

Рис. 3. Быстродействующее разъёмное сочленение волноводов:
а — детали; б — общий вид



а



б

Благодаря шлифовке внутренних отверстий обеих втулок в собранном соединении получается полная соосность обеих пружинных втулок и тем самым обеспечивается точная стыковка каналов соединяемых волноводных секций по наружным поверхностям волноводных шеек.

В зависимости от условий могут быть выбраны различные варианты сборки волноводных секций в плети. Собранный быстродействующий соединитель может быть одет на одну шейку волноводной секции и укреплено на ней зажатием пружинной втулки накидной гайкой, после чего другая секция шейки вставляется в другую пружинную втулку и также зажимается гайкой. Может быть и такой вариант сборки секций в плеть: в быстродействующем соединении фланцы разъединяются, затем каждый фланец в отдельности одевается на шейки волноводных секций и закрепляется описанным способом, после чего фланцы с секциями соединяются центрирующими штифтами и стягиваются болтами.

Быстродействующее соединение, разъединенное на две части, позволяет соединять волноводные секции с различными конструкциями соединений в различных сочетаниях, например секции с шейками и секции, имеющие фланцы старых и новых конструкций. В этом случае к фланцу быстродействующего соединения прикрепляется волноводная секция, заканчивающаяся фланцем, и скрепляется, как обычно, болтами. Центрирование канала осуществляется штифтами. Секция же с шейками вставляется в другую часть соединения с пружинной втулкой и закрепляется в ней зажатием накидной гайки. Эта универсальность описанного соединения дает ему большие преимущества перед другими типами быстродействующих волноводных соединений. Новые типы волноводных соединений: разъёмное, неразъёмное и быстродействующее — выгодно отличаются

от существующих типов соединений. Они более рациональны, просты и надежны, полностью обеспечивают требуемую точность стыковки каналов волноводных секций, значительно упрощают и ускоряют процесс сборки волноводных линий в различных условиях, в том числе и полевых. Описанные типы волноводных соединений могут быть применены для сборки волноводных секций, изготовленных практически из любых материалов и со старыми конструкциями соединений, в различных сочетаниях, допускают применение механизации и автоматизации при их изготовлении, а также при сборочных работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лагерев Л.И. Механическая обработка волноводов. "Обмен опытом в радиопромышленности", 1967, вып. 7, стр. 18.
2. Лагерев Л.И., Исаков В.Н. Прибор для измерения геометрических параметров волноводов. "Обмен опытом в радиопромышленности", 1967, вып. 10, стр. 48.
3. Базарный Е.М., Исаков В.Н., Лагерев Л.И. Контроль геометрических параметров сочленения волноводов больших длин. "Обмен опытом в радиопромышленности", 1968, вып. 12, стр. 86.
4. Лагерев Л.И. Сборка волноводных линий. "Обмен опытом в радиопромышленности", 1967, вып. 7, стр. 20.
5. Базарный Е.М., Лагерев Л.И., Марьин В.И. О некоторых особенностях прокладки волноводных линий связи на волне H_{01} в полевых условиях. Депонированная статья в НИИЭИР, 1969.

Статья поступила 17 ноября 1969 г.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ВЫСТАВКАХ

Н О В О С Т И



С О О Б Щ Е Н И Я



Х Р О Н И К А

В 1969 г. Министерство электронной промышленности СССР совместно с Министерством внешней торговли СССР впервые приняло участие в международных выставках электронных приборов в странах Западной Европы: в Париже (март — апрель), Лондоне (май) и Скандинавских странах (сентябрь—октябрь).

В настоящее время электроника определяет общий уровень технического развития страны. Электроника сфокусировала в себе не только передовые достижения физики и математики, но и все новейшее в области машиностроения, химии, металлургии, радиотехники и ряда других отраслей.

Один из важнейших разделов электроники — полупроводниковые приборы, среди которых интегральным схемам принадлежит особенно большое будущее.

Исторически сложилось так, что полупроводниковая промышленность в нашей стране развивалась без использования опыта, накопленного другими странами. Эмбарго, наложенное западными странами на полупроводниковые приборы, материалы, технологию и различное технологическое оборудование для их производства, было рассчитано на то, что наша страна в обстановке научно-технической изоляции не сможет добиться успехов в области полупроводникового приборостроения. Поэтому понятны ответные меры. Не случайно в течение многих лет на Западе не было ни одной специальной выставки наших электронных изделий, и специалисты ряда стран могли лишь строить различные предположения об уровне, достигнутом полупроводниковой промышленностью СССР.

"Едва ли можно назвать страну, об уровне полупроводниковой промышленности которой известно так мало, — писала "Elektronik Zeitung" от 21 марта 1969 г. — Выдающиеся успехи Советского Союза в исследовании космического пространства с использованием автоматики приводят к мысли о том, что в области полупроводниковой техники также имеются определенные достижения".

В декабрьском номере газеты "Electronics News" за 1968 г. была опубликована статья консультанта Национального бюро стандартов США доктора Маршадена "Состояние полупроводниковой промышленности СССР", в которой высказывалось мнение о значительном отставании электронной промышленности СССР от уровня, достигнутого в передовых странах. Допуская мысль о существовании современных полупроводниковых приборов в Советском Союзе, автор статьи выразил сомнение в налаженности их серийного выпуска. Аналогичные взгляды высказывались и в ряде других статей, появившихся в период 1968 г. и начала 1969 г.

Учитывая все это, нетрудно объяснить тот интерес, с которым была встречена экспозиция электронных приборов Советского Союза на крупнейшей международной выставке в Европе — Парижском салоне электронных компонентов. По словам "Elektronik Zeitung", экспонаты, представленные Советским Союзом, оказались настоящим сюрпризом для посетителей. Английский журнал "Microelectronics" в апрельском номере за 1969 г. писал: "Как всегда Международный салон электронных компонентов ... имел шумный успех, увеличилось число зарубежных посетителей, фирм-участников ... среди них самый неожиданный участник — В/О Машприборинторг СССР. На его стенде демонстрировалось такое большое количество интегральных схем, включая монолитные и гибридные, что их трудно не только оценить, но и пересчитать".

Французская пресса с большим интересом отнеслась к советскому стенду. В день открытия выставки в специальном номере газеты "Electronique Actualités" от 28 марта 1969 г., посвященном Салону, на первой странице появилась статья под широковысказательным заголовком "Советский Союз впервые на выставке. СССР хочет показать Западу высокий технический уровень, которого он достиг". В течение всего периода работы выставки советский стенд привлекал к себе множество посетителей: инженеров, бизнесменов, коммерсантов, журналистов. Здесь побывало около 40 тыс. человек.

На выставках в Париже и Лондоне демонстрировались наиболее важные изделия, применяемые в народном хозяйстве. Самыми большими были разделы, посвященные полупроводниковым приборам, интегральным схемам и материалам, необходимым для их производства. Кроме того, было представлено большое количество различных типов сопротивлений, конденсаторов, кварцевых резонаторов, изделий из ферритов, микропроводов, приемно-усилительных и генераторных ламп, электронных трубок, малогабаритных кинескопов, фотоэлектронных умножителей, магнитопроводов, разъемов, отклоняющих систем для телевизоров, различного рода ламповых панелей и других электрон-

ных приборов. "Electronique Actualités" писала: "Он (СССР) скромно представляет классические компоненты и сырье, используемое для изготовления компонентов ... Главная цель на сегодня — установить деловые контакты, представить неоспоримые доказательства того, что в области электронных компонентов Советский Союз способен изготовить продукцию, которая по качеству могла бы сравниться с продукцией Запада".

Советские стенды оказались своего рода "откровением" для западных фирм. Статья, опубликованная в американском журнале "Electronics" от 28 апреля 1969 г., признавала, что западноевропейские промышленники, ведущие борьбу с промышленностью США за рынки в области электроники, отныне будут иметь еще одного серьезного конкурента в лице СССР. Интегральные монолитные и гибридные схемы, представленные Советским Союзом в Париже, по мнению западных экспертов, ничуть не уступают международным образцам.

"Мы думали, что они (СССР) далеко позади, — сказал Роджер Комбе, директор по сбыту фирмы SGS Fairchild (Франция), — ... практически они достигли того же уровня, что и США",

"Более 200 приборов, — писал американский журнал "Aviation Week and Space Technology" — были представлены на выставке в Париже. Некоторые из них по американским стандартам отвечают послевоенному слову техники".

Многих посетителей и журналистов заинтересовал раздел материалов для микроэлектроники и полупроводниковых приборов — самый представительный из всех подобных разделов на выставке. "В этой области СССР занимает прочное положение. Здесь можно увидеть все разновидности монокристаллов", — писала "Electronique Actualités". Специалисты подолгу простаивали у стендов с эпитаксиальными структурами, монокристаллами фосфида кадмия, сульфида цинка и т.д.

В целом мнение западной прессы свелось к тому, что СССР обладает мощной полупроводниковой промышленностью, способной серийно выпускать самые разнообразные приборы, как простые, так и сложные.

С удивлением посетители рассматривали фотографии цехов заводов полупроводниковых приборов: оказывается, оборудование советского производства может конкурировать с лучшими образцами западных фирм. Как свидетельствует "Electronic News" от 28 декабря 1968 г., внимание американских специалистов к развитию микроэлектроники в нашей стране объясняется прежде всего интересом к состоянию разработок компонентов, являющихся технологической базой, от развития которой зависят успехи СССР в области создания мощной военной аппаратуры.

Выставки показали, что в Западной Европе области использования электронных компонентов значительно расширились, спрос на них непрерывно увеличивается. Причиной этому служит прежде всего рост производства новых промышленных изделий с использованием электроники, главным образом, бытовых изделий. Большинство фирм ориентируются на индустриализацию производства с использованием достижений физических наук, современной технологии, которая открывает двери в будущее.

Понимая, что решающая роль принадлежит специализированным предприятиям, предприниматели вкладывают в производство интегральных схем значительные суммы, не заботясь о немедленной отдаче. Создается впечатление, что остались в тени значительные усилия фирм в областях, не связанных с микроэлектроникой.

Участие в международных выставках позволяет сравнить отечественную продукцию с зарубеж-

ной, обсудить ряд технических и коммерческих проблем и, учитывая опыт других стран, найти правильные пути для их решения. По параметрам отечественные электронные изделия оказались на достаточно высоком уровне. Однако необходимо решить целый ряд организационных вопросов, без которых невозможен выход на зарубежный рынок (например, вопрос быстроты поставок). Кроме того, сдерживающим фактором является то, что габариты и присоединительные размеры многих приборов отличаются от принятых на Западе стандартов, а также практически отсутствуют рекламные материалы, каталоги, справочные листы, материалы по применению, соответствующие международным требованиям.

Решение этих вопросов создаст еще лучшие условия для успешного конкурирования отечественных электронных компонентов с изделиями различных стран, в том числе США, Англии, Франции, Японии и ФРГ.

А.А.ВАСЕНКОВ

СКАНДИНАВИЯ ЗНАКОМИТСЯ С ПРОДУКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

В сентябре — октябре 1969 г. в Норвегии, Швеции и Финляндии проходила специализированная выставка изделий электронной техники, целью которой было познакомить торговые и промышленные круги Скандинавских стран с продукцией советской электронной промышленности. На выставке были широко представлены интегральные схемы, транзисторы и диоды, резисторы постоянные и переменные, различные типы конденсаторов (керамические, электролитические, пленочные, бумажные и др.), кинескопы и электроннолучевые трубки, фотоэлектронные умножители, приемно-усилительные и генераторные лампы, ферритовые изделия, приборы СВЧ, газоразрядные приборы, а также особочистые материалы для производства полупроводниковых приборов и интегральных схем. Экспозиция удачно дополнялась несколькими типами портативных радиоприемников, иллюстрирующих применение представленных на стендах компонентов.

В Швеции выставка проходила с 1 по 7 октября в рамках традиционной международной Стокгольмской ярмарки Tekniska Mässan. В ярмарке принимали участие различные фирмы из 18 стран, в том числе Англии, Франции, ФРГ, Японии, Испании, Скандинавских стран, ГДР, Румынии, ЧССР, Югославии.

Советская экспозиция была наиболее представительной среди экспозиций фирм, демонстрирующих электронные компоненты, и вызвала значительный интерес у шведских инженеров и коммерсантов. Представители таких крупных фирм, как L.M.Ericsson, Svenska Simense и другие, внимательно изучали представленные изделия, особенно резисторы МЛТ и ВС, электролитические конденсаторы, ферриты и радиолампы, имеющие наибольшие перспективы с точки зрения возможности применения их в шведской промышленности. 7 октября советский раздел выставки посетил министр экономики и промышленности Швеции г-н Ланге, который с интересом ознакомился с представленными на стендах изделиями.

С 20 по 25 октября экспозиция была выставлена в демонстрационном зале В/О Машприборинторг" в Финляндии (г.Хельсинки). Проведенная накануне открытия пресс-конференция обеспечила выставке хорошую рекламу и большое количество посетителей, в основном коммерсантов и инженеров, а также студентов технических вузов, представителей армии и флота.

Президент ассоциации финской радио- и телевизионной промышленности г-н Кайяво во время переговоров любезно сообщил подробные данные о про-

изготовлении бытовой радио- и телеаппаратуры в Финляндии, привел цифры, характеризующие потребление компонентов промышленностью, рассказал об особенностях финского рынка и поделился соображениями о возможностях развития советско-финской торговли компонентами. Кроме фирм, входящих в ассоциацию финской радио- и телепромышленности, крупными потребителями компонентов являются фирма ОУ Nokiaab, производящая связанное оборудование и оборудование для радиорелейных линий, фирма Stömberg, специализирующаяся на производстве различного промышленного электронного оборудования, Министерство почт и телеграфа и др.

Как и в Швеции, наибольшую перспективу в коммерческом плане имели резисторы МЛТ и ВС, электролитические конденсаторы, ферриты и радиолампы.

Среди посетителей было много студентов технических вузов, приходивших в демонстрационный зал целыми группами вместе со своими преподавателями. Знакомство будущих инженеров-радиотехников с изделиями советской техники безусловно будет спо-

собствовать и дальнейшему успешному развитию советско-финской торговли компонентами.

Советским специалистам была предоставлена возможность посетить фирму Salora — одну из крупнейших фирм, входящих в ассоциацию финской промышленности, занятую производством черно-белых и цветных телевизоров и радиоприемников.

Передвижная выставка изделий электронной техники в странах Скандинавии прошла с несомненным успехом. Инженеры и коммерсанты всех трех стран, до сих пор практически не знакомые с советскими компонентами, внимательно изучали представленную экспозицию, задавали много вопросов технического и коммерческого характера. Одним из результатов выставки явилось установление хороших деловых контактов между советскими и скандинавскими коммерсантами и инженерами. Имеются все основания полагать, что торговля электронными компонентами между Советским Союзом и Скандинавскими странами будет успешно развиваться на взаимовыгодной основе.

*И.С.БАЛАШ, С.А.НИЧИПОРОВИЧ,
В.Я.ЯКОВЛЕВ, Г.Г.СМОЛКО*

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ СССР НА МЕЖДУНАРОДНОЙ ЯРМАРКЕ "НУКЛЕКС-69"

В октябре 1969 г. в Швейцарии (г.Базель) состоялась 2-я международная ярмарка ядерной техники "Нуклекс-69". В ярмарке приняли участие фирмы и предприятия 22 стран.

Учитывая огромную роль электронной промышленности в развитии ядерной техники, организаторы ярмарки пригласили участвовать в ней Министерство электронной промышленности СССР, которое представило газовые лазеры ЛГ-36, ЛГ-56, ЛГ-126, ОКГ-17, установку для получения низкотемпературной плазмы "Фиалка", клистроны, бетатронную камеру, диссекторы, фотоэлектронные умножители, универсальный кристаллизатор КЛ-2, предназначенный для выращивания электрооптических кристаллов, газоразрядные счетчики, кремниевые детекторы, особо чистые материалы и соединения.

За шесть дней ярмарку посетили 18000 специалистов. Ряд изделий электронной техники, выставленных в советском павильоне, вызвал интерес у представителей иностранных фирм. Например, представители итальянской фирмы CISE и французской фирмы Trans Electronique интересовались возможностью закупки кристаллизатора КЛ-2; представители фирм Instrumentariumoy (Финляндия) и ЕРТ (Англия) — возможностью закупки установки "Фиалка". Хотя на ярмарке не демонстрировались резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы, некоторые иностранные фирмы выразили готовность их закупить или увеличить закупку.

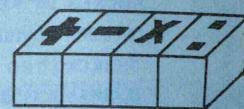
Из изделий электронной техники, представленных иностранными фирмами, наибольшего внимания заслуживают: микроплазменная установка с ручной горелкой (тип LPS 15/50 И) и блоком питания LPS 216Р (температура плазмы $1,5 \cdot 10^4$ °С, плазмообразующий газ—аргон, минимальный диаметр плазмы 0,5 мм), которая позволяет производить сварку различных изделий из тугоплавких металлов толщиной 1–4 мм (ширина сварного шва около 1 мм); анализаторы запыленности типов 225 и 245 (минимальный диаметр измеряемой частицы 0,3 мкм, количество частиц в 1 м³ воздуха до 10000, выход прибора можно подключить к цифровым измерительным устройствам, в прибор встроен самопишущий прибор для регистрации состояния чистоты воздуха); фотоэлектронные умножители швейцарской фирмы Phillips, отличающиеся оригинальностью конструкторского решения (например, ФЭУ типа XR1210 с умножительной системой на дисковых впаях, что позволяет работать при повышенных напряжениях питания до 5 кВ с фронтом нарастания импульса $\tau \leq 1$ нсек; малогабаритный ФЭУ типа XR1220 с непосредственным впаем диодов).

Анализ представленных иностранными фирмами электронных изделий позволяет сделать вывод, что экспонаты, выставленные в разделе "Электроника" советского павильона, выполнены на уровне лучших мировых образцов.

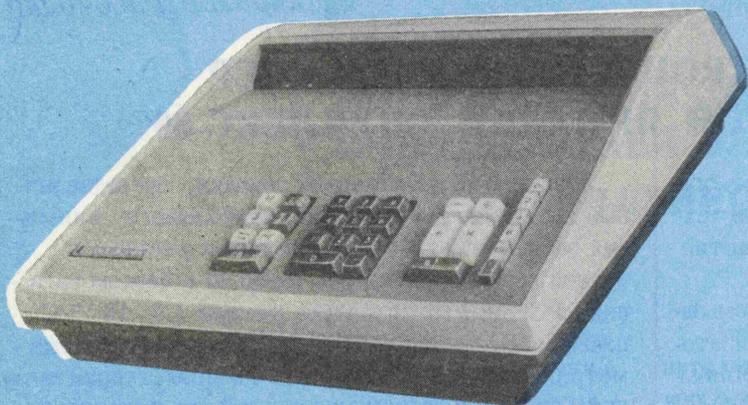
*В.К.ВОРОНИН, Е.Ф.ИВАНОВ
А.В.КАРАБАЕВ*

ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛАВИШНЫЕ

"ЭЛЕКТРОНИКА – ДД"
410 x 485 x 225 мм
Количество разрядов – 14



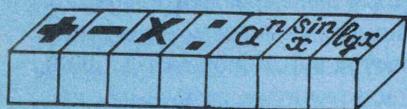
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ



Назначение: инженерные,

бухгалтерские и

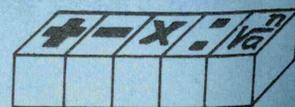
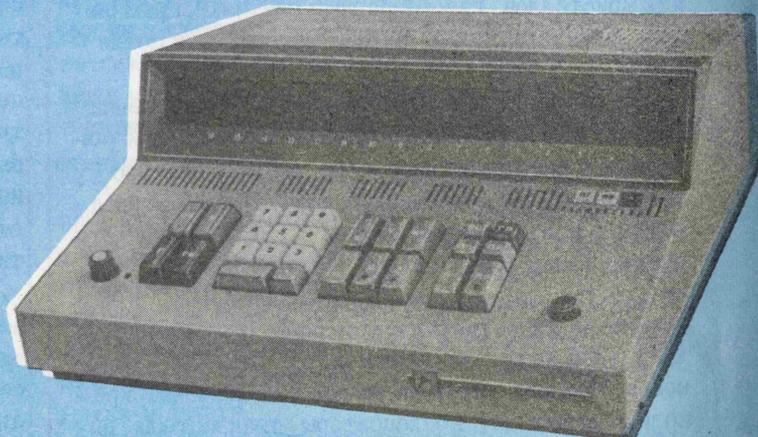
экономические расчеты



"ЭЛЕКТРОНИКА – 100"
370 x 380 x 160 мм
Количество разрядов – 14

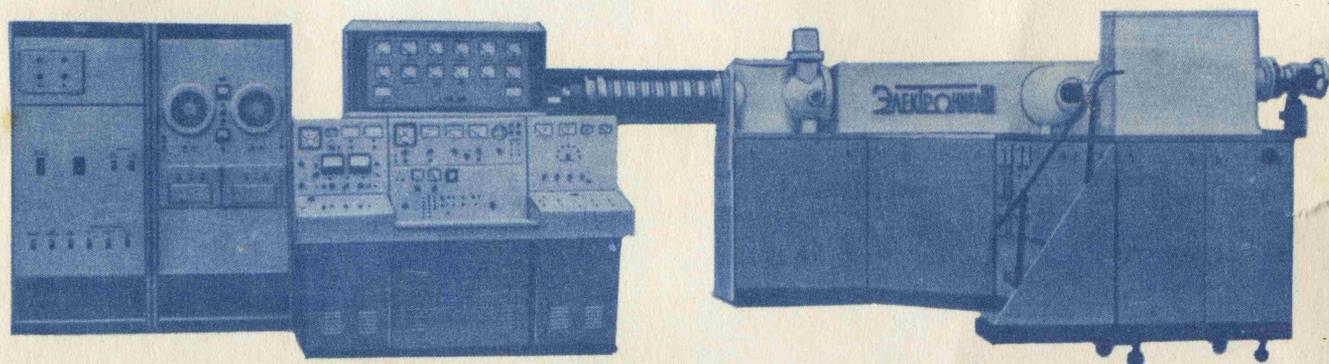
МАШИНЫ

"ЭЛЕКТРОНИКА – БИС"
340 x 360 x 120 мм
Количество разрядов – 16

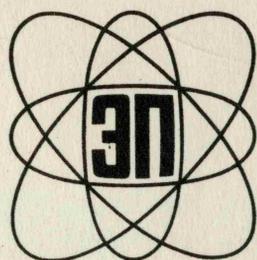


«ВЕЗУВИЙ»

Ионнолучевая установка широкофокусного типа



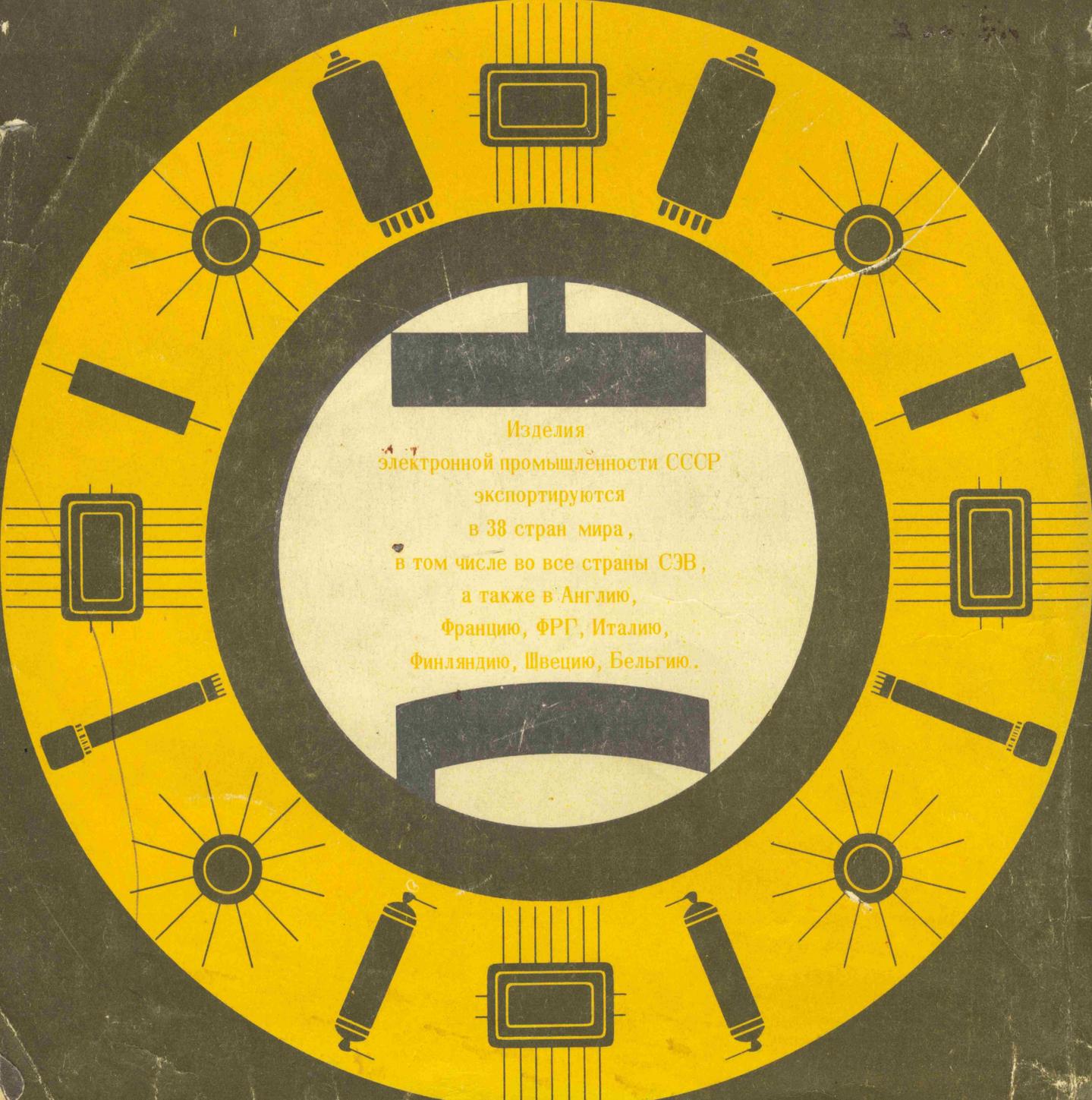
ПРИМЕНЯЕТСЯ для имплантации ионов высокой энергии (200 кэв) при изготовлении интегральных микросхем и полупроводниковых приборов. **ОБЕСПЕЧИВАЕТ** точность легирования по глубине 0,02 мкм.



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор В.Н.ЧЕРНЯЕВ

Члены редколлегии: В.А.Афанасьев, В.Н.Алфеев, М.Н.Аронэ, Н.Г.Басов, В.И.Барановский, К.А.Валиев, А.А.Васенков, В.Е.Вершин, Е.А.Гайлиш, Г.Д.Глебов, Н.Д.Девятков, А.И.Казьмин (зам.главного редактора), Я.А.Кацман, В.М.Кузнецов, Л.В.Кожитов, К.Г.Лейкин (зам.главного редактора), К.И.Мартюшов, М.И.Меньшиков, В.И.Никишин, Л.А.Петров, В.М.Пролейко, В.В.Савин, Р.А.Сворень, П.Б.Стукалов, Г.Г.Татаровская, Я.А.Федотов, Н.М.Шулейкин, Д.Г.Юдицкий



Изделия
электронной промышленности СССР
экспортируются
в 38 стран мира,
в том числе во все страны СЭВ,
а также в Англию,
Францию, ФРГ, Италию,
Финляндию, Швецию, Бельгию.