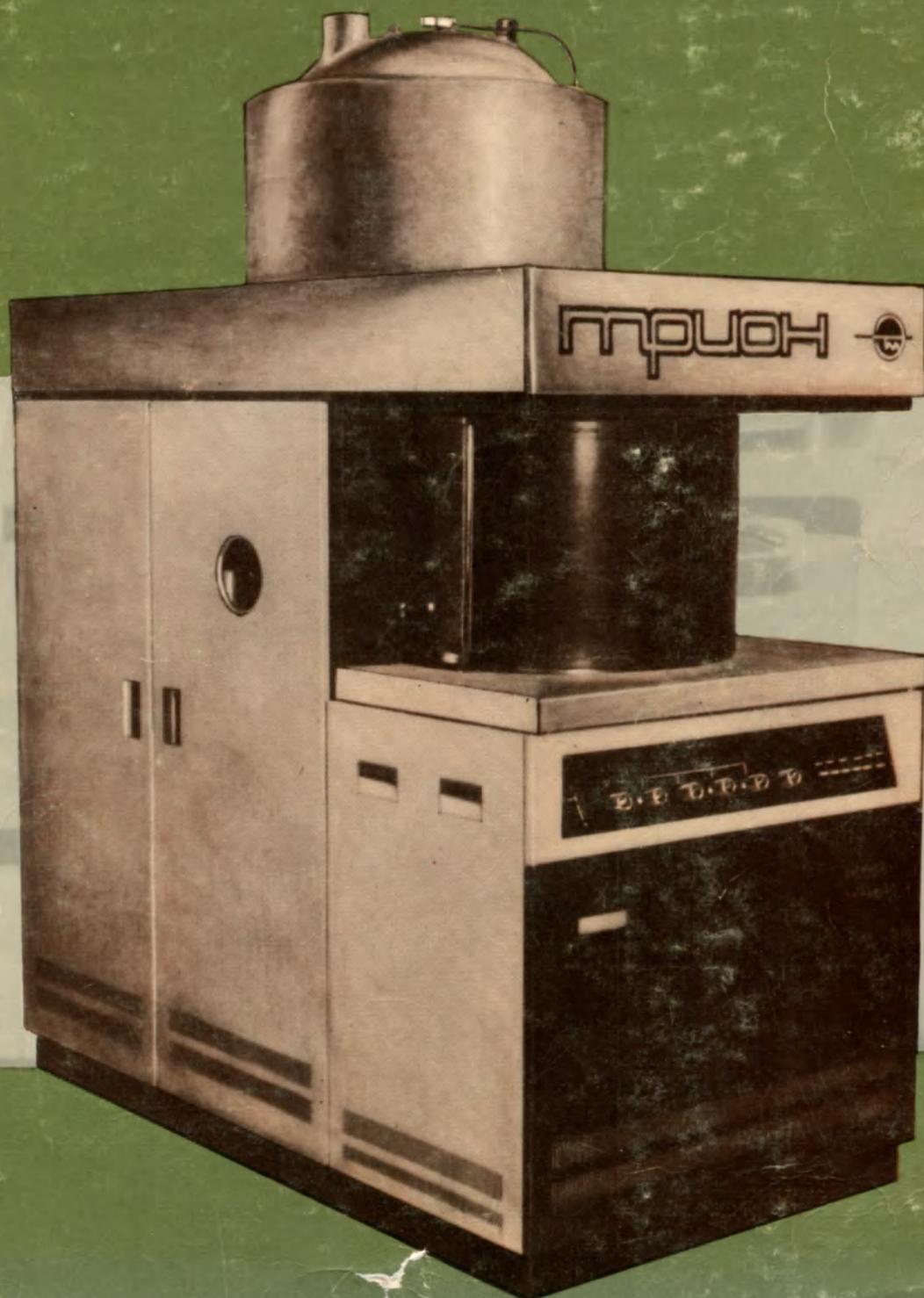




# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

5  
1980



# 1980

## МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. Чернышев

*(главный редактор)*

В. А. Афанасьев

Ф. И. Бусол

А. А. Васенков

И. Н. Воженин

Е. А. Гайлиш

Г. Г. Горбунова

*(ответственный секретарь)*

Г. Я. Гуськов

Н. Д. Девятков

В. И. Иванов

А. Ф. Казаков

А. А. Константинов

Ю. Г. Кувшинников

Э. А. Лукин

А. А. Маклаков

В. И. Машкин

Ю. Б. Митюшин

Ю. П. Поцелуев

В. М. Пролейко *(зам.  
главного редактора)*

Ю. А. Райнов

А. И. Савин

А. А. Сорокин

В. Д. Степанов

Ю. Б. Степанов

В. Н. Сретенский

П. М. Стуколов *(зам.  
главного редактора)*

И. Ф. Фадеев

В. А. Федотов

О. В. Филатов

С. К. Цаллагов

● Трудящиеся, объединенные профсоюзом рабочих радиоэлектронной промышленности, в полной мере используя огромные возможности социалистического соревнования, добиваются успешного завершения последнего года десятой пятилетки, превращения его в год ударной работы, работы по-ленински.

● Использование в рентгенолитографии в качестве источника синхротронного излучения электронного накопительного кольца позволяет получать структуры с размерами 0,05 мкм.

● Метод фотоактивируемого газофазного осаждения пленок может решить основную проблему переноса субмикронных изображений — формирование бездефектной актинорезистивной маски.

● Проекционная фотолитография способна обеспечить формирование высококачественного изображения рисунка с размерами вблизи дифракционного предела разрешения при условии правильного согласования требований к оптической системе и к точностным параметрам технологических операций.

● Метод ионного и ионно-химического травления с использованием высокочастотной магнетронной системы обеспечивает большую точность воспроизведения рисунка при высокой скорости травления.

● Бесфлюсовая композиционная пайка припоями на основе свинца с применением пористой никелевой прокладки, пористых порошковых покрытий из никеля, а также пайка многослойными припоями, позволяющие получать прочные соединения неметаллизированного кремния с различными металлами, найдут широкое применение в технологии изготовления дискретных полупроводниковых приборов.

● Групповая сборка ИС с применением ленточных носителей является перспективным методом автоматизации сборочных процессов, способным обеспечить растущие потребности микроэлектронной аппаратуры в новых конструктивных решениях с помощью сборки модуля (готовой ИС) на ленте.

# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ПРОЛЕТАРИИ ВСЕХ СТРАН, СОЕДИНЯЙТЕСЬ!

1980 5  
ГОД ИЗДАНИЯ ОДИННАДЦАТЫЙ-ВЫПУСК (89)

OldPC.ru

музей компьютеров

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- 3 Степанов в. Ф., Филатов О. В. Развитие АСУ объединением на базе ЕС ЭВМ
- 6 Голованев Л. Д., Горский В. П., Стеблева Г. П., Степанов В. Ф. Построение автоматизированной системы управления основными фондами в объединении

### ТЕХНОЛОГИЯ

- 10 Лаврищев В. П. Перспективы развития и основная проблема переносе изображений
- 14 Горяинов С. А. Степень интеграции как универсальный параметр ИС
- 18 Литвищенко С. А., Митрофанов В. В., Соколов В. И. Пористый окисел в планарной технологии
- 20 Гусев О. В., Чистяков Ю. Д., Яковлев Г. А. Бесфлюсовая композиционная пайка кремния с металлами припоями на основе свинца
- 25 Игнашова О. Е., Нвумова С. Ф., Паничев М. И. Изготовление электродов жидкокристаллических индикаторов методом обратной фотолитографии
- 25 Родионова А. А., Ясное В. С. Оптимизация химических и фотолитографических процессов обработки кремниевых пластин

### ОБОРУДОВАНИЕ

- 27 Никитин А. В., Никитина М. А., Сурис Р. А. Формирование изображения оптической системой в проекционной фотолитографии
- 32 Кадомский И. А., Киселев Б. Г., Онегин Е. Е., Шадурский Г. П. Комплект оборудования для кодирования и отображения графической информации
- 34 Вербицкий В. Ф., Киселев Б. Г., Парадинаев В. В. Графопостроитель ЭМ-7022
- 34 Дьяченко А. А., Кадомский И. А., Колесник Э. М., Файзуллин Р. К. Генератор изображений ЭМ-559
- 36 Гревцев Н. В., Кривоспицкий А. Д., Семин Ю. Ф. Источники "мягкого" рентгеновского излучения в промышленном производстве СБИС
- 41 Александров Ю. М., Гревцев Н. В., Кривоспицкий А. Д., Семин Ю. Ф., Якименко М. Н. Использование синхротронного излучения в рентгеновской литографии
- 46 Зевалишин А. А., Мороз В. А., Шербаклова З. П. Комплекс универсального оборудования для химической обработки пластин "Лада-1 Электроника"
- 48 Данильченко А. М., Панчук О. Г. Установка двустороннего экспонирования печатных плат О9 ФСК-9

- 49 Зарянкин Н. М., Краснов В. Г., Лозунов В. И., Сатаров Г. Х. Агрегат ионного и ионно-химического травления "Трион" с высокочастотной магнетронной системой
- 50 Валеев А. С., Дубовиков В. Б., Евдокимов В. Л., Хрусталева В. А., Щелупинин В. Т. Установка УВП-2М для плазмохимического осаждения диэлектрических слоев
- 51 Горелова Л. А., Руднев В. В., Чернышев А. И. Электронно-лучевой испаритель с механизмом сканирования
- 52 Беляков А. И., Привалов Е. С., Трунин А. А. Установка для нанесения тонких пленок алюминия и его сплавов
- 54 Махрин П. В., Мелехин Ю. Я., Привалов Е. С. Агрегат нанесения тонких пленок многокомпонентных сплавов магнетронным распылением
- 55 Лихтман А. Е., Сайдман Л. А. Распылительные магнетронные источники для действующего вакуумно-напылительного оборудования
- 56 Акимов В. Н., Рыдзевский А. П. Устройство дозирования энергии при контактной микросварке
- 58 Занкович В. А., Мазаник В. М., Твердов О. К., Шевцов В. В. Оборудование для групповой сборки ИС на ленте
- 59 Горожанцев В. И., Кулешов В. Т., Рыдзевский А. П., Шуньков С. И. Ультразвуковой автомат ЭМ-4020 для монтажа интегральных схем
- 61 Гетман Н. А., Куришко В. А., Пляшок А. П. Герметизация плоских корпусов БИС шовной контактной сваркой
- 63 Мазеев А. А., Назаров Г. В., Шанов А. М. Полуавтомат герметизации корпусов микросхем

### ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

- 66 Чухлиб В. И., Янкев Е. Л. Окуляр-микрометр с цифровым отсчетом МОЗ-1-15<sup>х</sup>
- 67 Лаврович В. А., Лебедь Б. М. Электронные трансформаторы тока для бесконтактных измерений в высоковольтных токопроводах

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- 69 Горбунова Г. Г. Организация процесса подготовки формализованных текстов для АИПС в научно-технических редакциях

### РЕКЛАМА

Барил М. А., Иванов В. И., Мягков А. Т. Установка "Эпитрон-С1" (третья сторона обложки)

# IX ПЛЕНУМ ЦК ПРОФСОЮЗА РАБОЧИХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Задачи профсоюзных организаций, вытекающие из решения ноябрьского (1979 г.) Пленума ЦК КПСС, положений и выводов, изложенных в речи на Пленуме Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л.И. Брежнева, и решений IX Пленума ВЦСПС, явились основным вопросом, обсуждавшимся на IX Пленуме профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности.

Докладчик председатель ЦК профсоюза товарищ В.И. Иванов и выступавшие в прениях отмечали, что трудящиеся, объединяемые профсоюзом, вносят достойный вклад в дело дальнейшего подъема экономического могущества нашей страны, повышение материального и культурного уровня жизни советских людей.

За четыре года пятилетки в отраслях заметно увеличился объем производства и возросла производительность труда. Достижению положительных результатов способствовали широко развернувшееся социалистическое соревнование за досрочное выполнение заданий X пятилетки, самоотверженный труд рабочих, ученых, инженерно-технических работников и служащих.

Дальнейшее развитие получили ценные починки и инициативы, умножились ряды передовиков социалистического соревнования. Большое число работников завершили свои личные пятилетние задания. Многие награждены почетными знаками "Победитель социалистического соревнования 1979 г." и "Ударник десятой пятилетки".

Участники Пленума отметили также имеющиеся недостатки в выполнении установленных плановых заданий на 1979 г. в хозяйственной деятельности отдельных руководителей и профсоюзных комитетов, которые не сумели в полной мере использовать возможности социалистического соревнования, не уделяли необходимого внимания вопросам трудовой дисциплины, борьбы с бесхозяйственностью.

Пленум ЦК профсоюза постановил: Президиуму ЦК профсоюза, республиканским, краевому, областным, городским комитетам профсоюза, всем профсоюзным организациям считать главной задачей мобилизацию трудящихся на выполнение заданий последнего года пятилетки.

Комитетам профсоюза совместно с хозяйственными руководителями предложено обсудить итоги работы за 1979 г., четыре года пятилетки и рассмотреть задачи коллективов на 1980 год. Подчеркивается необходимость развернуть массовое социалистическое соревнование за достойную встречу 110-й годовщины со дня рождения В.И. Ленина, успешное завершение десятой пятилетки. Рекомендовано шире внедрять бригадные формы организации и стимулирования труда, всемерно поощрять создание бригад, работающих на основе хозяйственного расчета.

Предложено разработать и осуществить мероприятия, направленные на укрепление трудовой дисциплины, устранение потерь рабочего времени на производстве, рациональное использование трудовых ресурсов в свете постановления ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР, Совета Министров СССР и ВЦСПС "О дальнейшем укреплении трудовой дисциплины и сокращении текучести кадров в народном хозяйстве".

Пленум ЦК профсоюза поставил перед Президиумом ЦК профсоюза задачу внести необходимые уточнения в условия отраслевого Всесоюзного социалистического соревнования с учетом требований, вытекающих из решений ноябрьского (1979 г.) Пленума ЦК КПСС, постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы".

Пленум обязал комитеты профсоюза, техническую инспекцию труда и доверенных врачей ЦК профсоюза усилить контроль за созданием на отраслевых предприятиях здоровых и безопасных условий труда, профилактикой и снижением профессиональной и общей заболеваемости, улучшением медицинского обслуживания трудящихся, обеспечением безусловного выполнения комплексных планов улучшения условий, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий на 1976—1980 гг.

Комитетам профсоюза поручено рассмотреть итоги выполнения планов непромышленного строительства за 1979 год и совместно с хозяйственными руководителями наметить конкретные меры по выполнению планов строительства объектов непромышленного назначения в 1980 году.

Пленум обсудил также вопрос о деятельности Президиума ЦК профсоюза за период между VIII и IX Пленумами.

Пленум ЦК профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности заверил Центральный Комитет КПСС, Политбюро ЦК, лично Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л.И. Брежнева и ВЦСПС в том, что коллективы объединений, предприятий и организаций отраслей не пожалеют сил, знаний, творческой энергии для выполнения решений ноябрьского (1979 г.) Пленума ЦК КПСС и IX Пленума ВЦСПС, ознаменуют 1980 год новыми успехами в труде, превратят его в год ударной работы, работы по-ленински.

# ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В. Ф. Степанов, О. В. Филатов

## РАЗВИТИЕ АСУ ОБЪЕДИНЕНИЕМ НА БАЗЕ ЕС ЭВМ

УДК 658.5.012.011.56:681.3

На производственном объединении отрасли, являющемся крупной фирмой по разработке и выпуску изделий электронной техники, достигнутые стабильные высокие темпы роста производства и производительности труда при выполнении всех технико-экономических показателей обеспечены благодаря совершенствованию структуры, методов и средств управления на основе разработки и внедрения АСУ объединением.

В настоящее время АСУО перешла во второй этап своего развития с использованием ЕС ЭВМ (на первом этапе основу системы составляли ЭВМ 2-го поколения).

Прежде чем перейти к рассмотрению особенностей современного состояния АСУО, необходимо отметить, что данное объединение как объект управления представляет собой крупное территориально-отраслевое широкопрофильное предприятие, имеющее права отраслевого главка. Своей продукцией объединение в основном удовлетворяет народно-хозяйственную потребность и работает преимущественно по прямым связям (90% продукции). Доля массовой и крупносерийной продукции составляет до 70% в общем объеме, сменяемость номенклатуры изделий — до 25% в год.

В объединении действует разветвленная система внутрифирменного хозрасчета, тесно связанная с премиальной системой и детализированная до уровня цеха.

В объединении реализуется полный научно-производственный цикл создания продукции (разработка — производство — распределение). Большое число процессов характеризует вероятностный выход продукции, наличие планируемых техпотерь, процессов регенерации и восстановления.

Отличительная черта организационной структуры — наличие научно-производственных комплексов (НПК), представляющих собой объединение под единым административно-техническим началом разрабатывающих и производственных подразделений, имеющих единые цели и задачи, общий план.

Экономика объединения длительное время развивается с большим ростом объемов производства (ежегодно свыше 13%) и производительности труда (ежегодно свыше 15%).

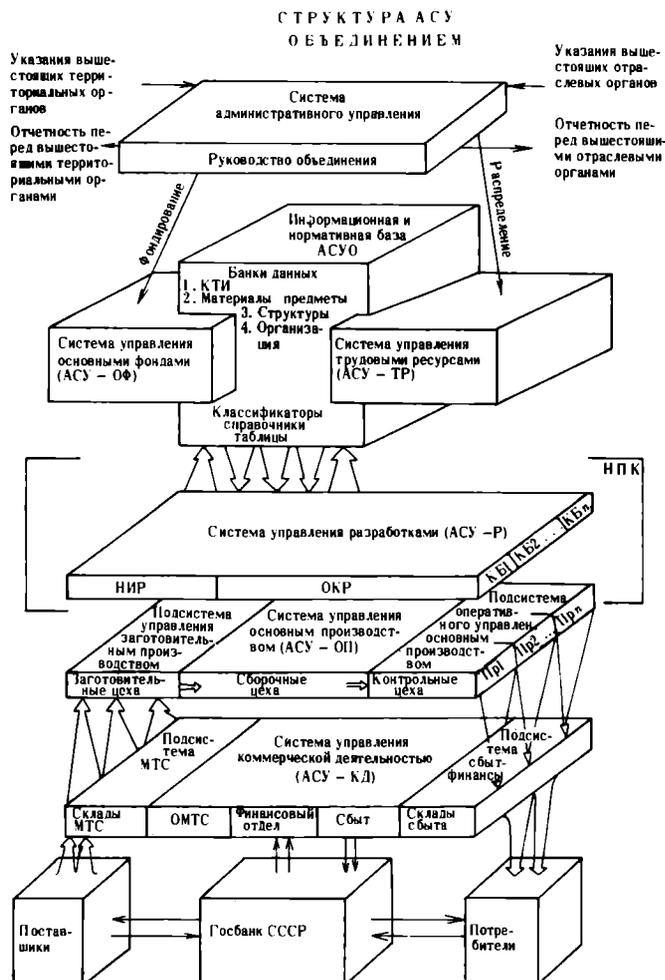
АСУО подразделяется на ряд систем, которые строятся на основе методологического единства экономико-организационных, информационных и

программно-технических аспектов. Определяющую роль при этом играют методы экономического управления, а также учитываются основные особенности объединения по сравнению с однозаводскими предприятиями.

В соответствии с данной концепцией АСУО формируется как единая система с иерархической структурой, обеспечивающая управление всеми сферами научно-производственной и хозяйственной деятельности и всеми ресурсами объединения.

В состав АСУО должны входить системы управления сферами деятельности, т.е. отдельными стадиями полного научно-производственного цикла создания продукции (разработка, производство и распределение) и системы управления ресурсами (основными фондами, трудовыми, материальными, энергетическими ресурсами и финансами).

Исходя из того, что в объединении управление материальными ресурсами, сбытовой деятельностью и финансами централизовано и осуществляется единой коммерческой службой, целесообразно объединить эти функции в рамках АСУ коммерческой деятельностью.



Как особую проблему следует выделить управление качеством продукции, поскольку объектами здесь выступают не только показатели продукции, но и влияющие на эти показатели многочисленные факторы и условия, действующие на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Но вместе с тем разделение задач управления качеством между разными системами АСУО нецелесообразно, так как нарушает целостность системы управления качеством.

Целесообразно включить в АСУО автоматизированную систему медицинского обслуживания, учитывая большую социально-экономическую значимость данного вопроса.

Таким образом, в состав АСУ объединения включаются следующие самостоятельные системы (см. рисунок):

- АСУ разработками (АСУ-Р);
- АСУ основным производством (АСУ-ОП);
- АСУ коммерческой деятельностью (АСУ-КД);
- АСУ основными фондами (АСУ-ОФ);
- АСУ трудовыми ресурсами (АСУ-ТР);
- АСУ качеством продукции (АСУ-КП);
- автоматизированная система медицинского обслуживания (АСМО).

Каждая из систем распространяет свое влияние на все уровни управления (от межцехового и выше). Взаимосвязь систем обеспечивается как за счет обмена информацией, так и на основе использования единой базы нормативно-справочной информации, содержание которой является отображением статической модели объединения, динамическое же отображение состояния ресурсов, материальных и финансовых потоков ведется системой оперативной информации.

Остановимся более подробно на особенностях, отличающих АСУО второго этапа.

Основное назначение АСУ *разработками* – автоматизация процессов сбора, переработки, хранения и распределения нормативной, плано-учетной и отчетной информации по НИОКРО. Методологической основой АСУР являются сетевые модели и методы программно-целевого планирования и управления. Первоочередная задача системы – автоматизированное ведение комплексных сквозных сетевых графиков разработки и освоения ИЭТ, создаваемых по сокращенному циклу.

Базой для этого служит пакет прикладных программ, из которого к настоящему моменту освоены и успешно применяются программы "Сетевое планирование и управление".

Целью создания АСУ основным производством является совершенствование управления прохождением продукции по всей цепочке – от исходных материалов до готовых изделий, на основе унификации системы экономических показателей на базе единого внутрифирменного хозрасчета; реорганизации структуры управления производством за счет ликвидации параллелизма, разгрузки аппарата управления от непроизводительных расчетных работ и унификации документооборота; автоматизации и механизации информационных процессов по сбору первичной информации о выпуске изделий, деталей и узлов, по расчету планов

производства и контролю их выполнения, по расчетам технико-экономических показателей, статучету и экономическому анализу производства; использования единой нормативно-справочной базы и современных средств сбора и распределения информации для обеспечения непосредственного доступа к ЭВМ руководящего персонала (режимы теледоступа, диалога и работы в реальном масштабе времени).

Первоочередная задача АСУ-ОП – охват управлением всей производственной сферы объединения и перевод задач ОУП с ЭВМ второго поколения на ЕС ЭВМ, что обеспечит целостность данной системы.

АСУ *коммерческой деятельностью* охватывает сферы управления финансово-сбытовыми процессами и материально-техническим снабжением. Рассогласованность этих потоков во времени и пространстве создает значительные трудности при решении главной задачи – минимизации объема оборотных средств и времени их обращения при обеспечении условий снабжения производства материальными ресурсами, выполнении общих принципов хозрасчета и условий договоров с контрагентами.

Основная цель АСУ *основными фондами* – повышение эффективности управления основными фондами на основе использования экономико-математических методов (принятие решений по улучшению использования основных фондов, определение производственных мощностей, загрузки оборудования и потребностей в оборудовании, оснастке, инструменте). АСУ-ОФ разрабатывается на основе общей базы интегрированных нормативных, плано-учетных и отчетных данных.

АСУ *трудовыми ресурсами* объединяет вопросы управления кадрами, трудом и заработной платой.

Входящая в нее подсистема управления кадрами имеет своей целью совершенствование существующей системы учета, анализа и работы с кадрами на основе: упорядочения структуры и функций подразделений; совершенствования и формализации документооборота и основных процедур по сбору, обработке и анализу информации о кадрах; создания и ведения на ЭВМ информационной базы личного состава; формирования сводных и отчетных данных о личном составе.

Конечным результатом работы должно явиться создание централизованной единой базы достоверных данных о личном составе объединения, обеспечивающей потребности всех служб и общественных организаций объединения, а также проведение на этой основе многоаспектных расчетов по состоянию и движению личного состава.

Важным инструментом действующей в объединении системы управления качеством продукции является АСУ *качеством*, разработка и внедрение которой проводится с 1977 г. Основу системы составляют методы предупредительного, периодического и приемочного статистического контроля продукции, широкое распространение системы бездефектного труда, статистическое регулирование технологических процессов, планомерный анализ технологических потерь и брака.

Цель системы – установление, обеспечение и поддержание планового уровня качества продукции при планомерном сокращении сроков разработок и затрат на разработку и производство изделий на основе автоматизации задач планирования и оценки технического уровня и качества на стадиях разработки, производства, применения и эксплуатации.

Автоматизированная система *медицинского обслуживания* объединения включает подсистемы профилактического, амбулаторного и диспансерного обслуживания информационно-справочного обеспечения и подсистему отчетности. Первая из них имеет целью обеспечить массовые профилактические обследования трудящихся объединения на предмет ранней диагностики онкологических, кардиологических, урологических и других заболеваний. Подсистемы диспансерного и амбулаторного обслуживания призваны решать задачи соответственно диспансерного наблюдения и обслуживания больных поликлиникой объединения. Две последние подсистемы обеспечивают соответственно формирование отчетов медсанчасти объединения по медицинскому обслуживанию и состоянию здоровья трудящихся и ведение банка медицинских данных по результатам профилактических обследований, амбулаторного обслуживания и диспансерного учета, а также формирование и выдачу справочных данных службам объединения.

Характерной чертой управления в объединении является усиление экономических методов на основе концентрации ресурсов, централизации управления ими и целенаправленного их распределения. Поэтому основополагающими вопросами разработки АСУО следует считать экономические (выбор системы показателей, обеспечение экономических "рычагов" управления и пр.). В этом плане разработка АСУО объединением, как правило, опирается на действующую систему хозрасчета, включающую в себя устойчивую систему нормативов образования фондов, систему показателей подразделений, средства материального воздействия на коллективы подразделений и пр. Вопросы совершенствования экономического механизма управления успешно решаются путем улучшения внутрифирменного хозрасчета. При необходимости разработчики АСУО формулируют и представляют руководству свои предложения по этим вопросам.

Разработка АСУО выполняется собственными силами объединения, главным конструктором является Генеральный директор. Система реализуется на базе вычислительного центра. Ответственность за достоверность исходных данных несут подразделения-источники информации. Действующей системой хозрасчета предусмотрены меры по обеспечению надежности, достоверности и регламента информационных потоков.

Основными особенностями создания, внедрения и эксплуатации АСУО, в значительной мере обеспечивающими ее успешное функционирование, являются следующие:

специализация разработчиков по тематическим направлениям (обеспечивает значительное ускорение и повышение качества разработок на

основе накопления и обобщения опыта и установления устойчивых контактов и связей с соответствующими службами управления);

объединение в рамках лабораторий специалистов по постановке и программированию задач при условии подчинения их начальнику лаборатории (способствует сокращению сроков разработок и внедрения задач);

передача вопросов эксплуатации задач в ведение специализированных служб ВЦ (повышает надежность функционирования системы);

непосредственное участие руководителей и специалистов служб управления в постановке задач АСУ, целенаправленная реорганизация работы служб в процессе разработки и внедрения задач (увеличивает КПД разработок);

внедрение задач на основе указаний Генерального директора (или стандартов предприятия), определяющих формы документов, маршруты и регламенты движения и обработки информации и пр., установление машинного контроля за соблюдением требований данных директивных документов (увеличивает надежность функционирования системы);

четкое разделение ответственности за достоверность, регламент движения и обработки информации между службами управления и вычислительным центром, установление (в рамках действующего хозрасчета) мер материального наказания подразделений-виновников нарушений (обеспечивает повышение достоверности и оперативности информации);

регламентация в директивном порядке (на основе РМ и СТП) этапов разработок, форм и состава проектной эксплуатационной документации по задачам, установление нормоконтроля (способствует повышению качества разработок и документации);

приемка задач от разработчиков (после проведения этапа опытной эксплуатации постоянно действующей комиссией с оформлением актов ввода задач в эксплуатацию (обеспечивает высокое качество и надежность функционирования задач).

**Информационное обеспечение АСУО** осуществляется на основе нормативно-справочной и оперативной информации. Первая содержит взаимосвязанные данные, отражающие состояние объединения во всех сферах деятельности (классификаторы, справочники, таблицы, системы нормативов и пр.).

В АСУО используется принцип фасетной классификации, позволяющий раздельное кодирование самого предмета и его признаков, что дает возможность получать парные сочетания кодов (объекта и любого его признака или свойства), применяемых при решении задач анализа, подготовки и планирования производства. Фасетная классификация упрощает получение всех необходимых группировок, используемых в задачах учета высших уровней (отрасль, Госплан, ЦСУ и др.), т.е. в документах, по которым в АСУО ведется отчетность и реализуются заявки.

По результатам классификации объекту присваивается оригинальный индекс, структура которого обеспечивает требуемые группировки.

Такое построение нормативно-справочной информации позволяет выполнить требования однократного ввода и многократного многоцелевого использования данных; в максимально-возможной степени использовать преимущества ЕС ЭВМ (операционной системы ОС, СУБД "ОКА", ГВВ и других общесистемных средств) для организации и эксплуатации интегрированных баз данных; уменьшить затраты труда на предмашинную обработку.

Нормативная база и система ее ведения — это основа для дальнейшего развития АСУО.

В объединении предусмотрено централизованное создание и ведение НСБ, организация единой системы ТД для всех производств, поэтапное формирование данных об изделиях и технологии (по мере выполнения этапов "ОКР", "Освоение", "Производство"); внесение изменений через источники исходных данных, механизация и автоматизация оформления первичных документов (с получением копий на машинных носителях), однократность ввода исходных данных.

Создание единой системы ТД связано с большими затратами труда на переформирование документации — для среднего изделия (25 сб.ед., 50 деталей) необходимо переработать около 100 тыс. символов; возникают трудности в связи с отсутствием достаточного объема оперативной и дисковой памяти ЕС ЭВМ, а также апробированного на реальных данных математического обеспечения (СУБД, ГВВ).

В настоящее время разработаны система машиноориентированной ТД, методология ее формирования и ведения во внемашиной и машинной сферах, осуществлено опытное заполнение ТД, получение машинных носителей и расчет на ЭВМ.

Что касается системы оперативной информации, то ее развитие намечается в направлении дальнейшей децентрализации на основе оснащения подразделений периферийной техникой, обеспечивающей получение машинных носителей или прямую связь с ЭВМ, увеличения надежности и достоверности информационных потоков на основе дальнейшей унификации документооборота, разработки и внедрения организационных, программно-логических и технических средств и методов контроля информации.

**Программное обеспечение АСУО.** Разработка его ориентирована на максимальное использование универсальных средств, предоставляемых ЕС ЭВМ.

Необходимость создания и ведения единой информационной базы требует использования универсальной гибкой системы управления базами данных, в качестве которой выбрана СУБД "ОКА", а для операционной системы — версия ОС-4, обладающая большими возможностями и предоставляющая широкий набор вспомогательных средств.

Основным языком программирования принят ПЛ-1, для некоторых случаев допускается применение РПГ. Использование языка "Ассемблер" допускается только для разработки отдельных программных модулей, от которых требуется высокая производительность или быстрое действие.

В качестве основного средства ввода для пакетного режима принят ППП ГВ-ОС.

Дальнейшее развитие системного обеспечения предполагается путем внедрения средств телеобработки данных (версия ОС 4.1., СУБД "ОКА" с теледоступом) и др.

**Техническое обеспечение АСУО** включает центральный комплекс технических средств (КТС) и набор средств периферийной техники. Первый представлен двумя ЭВМ (ЕС-1030 и ЕС-1033). В этом случае недостаточные объемы оперативной и дисковой памяти являются препятствием для полного использования потенциальной производительности центральных устройств ЭВМ, проведения комплексной проработки систем и вынуждают применять старый "позадачный" подход. Типовая комплектация ЕС ЭВМ не может обеспечить формирование и ведение как единой нормативно-справочной базы (НСБ) АСУО, так и локальных информационных баз, поэтому первоочередной задачей является доукомплектация имеющихся ЭВМ оперативной памятью емкостью 512 кбайт и дисковой памятью (по три НМД емкостью 29 Мбайт на каждую ЭВМ). Дальнейшее развитие КТС должно обеспечиваться на основе ЭВМ серии "Ряд-2".

Комплекс периферийных средств, обеспечивающих функционирование системы первичной информации, содержит устройства регистрации информации (УРИ), оргавтоматы (ОА), электронные фактурные автоматы (ЭФА) и аппаратуру передачи данных (АПД). Для контроля и редактирования данных перед вводом в ЭВМ применяется ЭВМ "Саратов" с видеотерминалом "Видеотон-340".

Дальнейшее развитие периферийных средств планируется осуществлять на основе регистраторов типа РИ 7501, РИ 7701 и систем подготовки данных на магнитных носителях.

*Статья поступила 26 октября 1979 г.*

Л. Д. Голованов, В. П. Горский,  
Г. П. Стеблова, В. Ф. Степанов

## ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМИ ФОНДАМИ В ОБЪЕДИНЕНИИ

**Особенностями принципа построения АСУ основными фондами являются комплексный охват экономико-организационных и инженерных аспектов управления ОФ, реализация системы средствами ЕС ЭВМ с организацией банка данных и применением теледоступа.**

удк 658.155.012.011.56

Повышение эффективности управления основными фондами (ОФ) и, прежде всего, их активной частью, наряду с другими мерами по развитию материально-технической базы производства, со-

вершенствованию состава и структуры производственных фондов, улучшению практики их использования является сегодня актуальной проблемой.

Первоочередными задачами, на решение которых должна быть ориентирована система управления ОФ, являются повышение фондоотдачи, обеспечение прироста производственных мощностей за счет технического перевооружения производства, обновления и модернизации оборудования, ускорения замены морально устаревшей техники, повышение сменности, существенное сокращение простоев парка оборудования.

Функции управления и использования ОФ выполняют почти все основные подразделения объединения: ОКС, ОГМ, ППО, ТО, ОГЭ, бухгалтерия, технические и линейные службы цехов и др. Однако единая служба, отвечающая за управление основными фондами, отсутствует, и это зачастую приводит к принятию противоречивых и несогласованных управленческих решений, затрудняет координацию управляющих звеньев объединения и, в конечном итоге, эффективное осуществление единой технической политики.

Рост объемов производства и номенклатуры изделий, непрерывное усложнение технологии, развитие процессов специализации и кооперирования ведут к усложнению в объединении внутренних и внешних информационно-логических связей и к значительному увеличению объема информационных потоков в сфере управления ОФ. Поскольку эти процессы не сопровождаются увеличением численности или значительным повышением производительности труда аппарата управления, происходит накопление различного рода вспомогательных дублирующих документов, ведомостей, журналов, книг. Все больше времени у работников различных звеньев управления тратится на рутинную, а не на творческую работу, связанную с анализом использования производственных фондов на всех стадиях их существования. Обилие же самостоятельных информационных систем приводит к несопоставимости данных в документах разных служб, что еще более усугубляет недостатки системы управления. В результате звенья управления становятся не в состоянии охватить и своевременно переработать массу проходящей через них информации. Управляющие воздействия запаздывают, что препятствует рациональному использованию ОФ. Задачи же, связанные с перспективным прогнозированием и оптимизацией структуры ОФ, решить на научной основе существующими способами вообще невозможно.

Следует сказать, что эффективность управления основными фондами в значительной мере снижается вследствие известных недостатков хозяйственного механизма. Так три основные экономические категории (плата за фонды, амортизация и показатели использования), призванные служить рычагами интенсификации использования фондов,

по ряду причин не выполняют своих функций. Недостатки в планировании и материальном обеспечении производства не позволяют своевременно использовать все резервы производственных мощностей, обеспечивающих выполнение непредвиденных плановых заданий, работу при срывах поставок оборудования и т.п., что в значительной степени затрудняет объективный учет использования ОФ.

Автоматизация управления ОФ обеспечит повышение производительности труда персонала управления за счет освобождения его от рутинной работы, сокращения документооборота и т.п. Кроме того, своевременное обеспечение управленческих и инженерно-технических служб достоверной информацией из единого источника (в необходимых разрезах и с требуемой степенью обобщения) будет способствовать принятию более эффективных решений, достижению единства и устранению противоречивости в управлении.

В существующих на сегодняшний день разработках АСУ, как правило, присутствуют задачи, оперирующие с ОФ и решающие ряд частных вопросов (составление графиков ППР, организация ремонтно-эксплуатационной деятельности, различного рода расчеты производственных мощностей, учет работы автотранспорта и т.д.). Кроме того, учет движения основных фондов осуществляется в рамках проектов по бухгалтерскому учету. Рассредоточенность задач управления ОФ объясняется традиционным делением автоматизированных систем управления на функциональные подсистемы и отсутствием на предприятиях единого "заказчика" на комплекс задач, связанных с управлением ОФ.

Такая организация не всегда оказывается правильной, так как не создает предпосылок для системного подхода к решению проблемы управления ресурсами.

При проектировании АСУ объединением (и АСУОФ в частности) можно принять другой известный, но еще мало распространенный метод классификации информационных систем, объединяющий задачи по признаку функционирования в сфере однородной деятельности. В соответствии с ним основные фонды (как и другие виды ресурсов) рассматриваются как самостоятельный объект управления во всех сферах научно-производственной и хозяйственной деятельности объединения на всех стадиях их существования (движения): ввод в действие, эксплуатация, обслуживание и ремонт, замена, ликвидация и реализация. Таким образом может быть обеспечено взаимосвязанное решение экономико-организационных, информационных и инженерно-технических задач.

Реализация такой АСУ предполагается на базе ЕС ЭВМ и сопрягаемых с ней периферийных устройств с использованием интегрированного банка данных. Способ регистрации данных комбинированный: децентрализованный – с совмещением процессов получения документа и машинного но-

сителя, ориентированный на применение в крупных узлах обработки данных устройств теледоступа, и централизованный – с перфорацией документации эпизодического характера из подразделений, широкий охват которых техническими средствами пока нецелесообразен. Схема документооборота существенно упрощена и заложены основы для минимизации связей с другими системами АСУ объединением.

Внедрение АСУ основными фондами намечено проводить в три очереди:

- I. Создание базы данных об объектах ОФ, внедрение комплекса программных, технических средств и новой технологии обработки информации и решение на этой основе таких задач, как учет и движение ОФ; контроль ввода ОФ в эксплуатацию; контроль реализации неиспользуемого оборудования; обработка результатов инвентаризации ОФ; расчеты для составления сводной бухгалтерской отчетности, статистической и оперативной отчетности по ОФ; расчеты амортизации ОФ.
- II. Внедрение комплекса задач по обслуживанию и ремонту оборудования ОФ, расширение справочных возможностей автоматизированной системы с прямым доступом и повышение ее оперативности.
- III. Внедрение задач по расчету загрузки оборудования, производственных мощностей и пропускной способности цехов, потребности в оборудовании и производственных площадях, по определению излишнего оборудования, согласование графиков ППР с производственной программой и др.

Определяя состав задач I очереди, разработчики исходили из необходимости создания и ведения информационной базы данных об ОФ на всех этапах их движения (от поступления до выбытия). При этом к автоматизированной обработке документации должны быть подключены основные службы объединения, связанные с учетом и управлением основными фондами. Эти службы уже на ранних стадиях внедрения АСУ ОФ обеспечиваются обратной связью с системой, т.е. имеют гарантированный доступ к информационной базе ОФ объединения и могут проводить на ЭВМ расчеты с достоверностью и оперативностью не хуже, чем в условиях ручной обработки. Только в этом случае будет обеспечена жизнеспособность информационной системы, достигнута определенная заинтересованность работников самых различных уровней в автоматизации обработки данных и возможность дальнейшего развития АСУ ОФ.

Остановившись на вопросах организации учета и движения ОФ, следует отметить, что в настоящее время в объединении существуют две системы учета: оперативный и бухгалтерский. В бухгалтерии и в ряде других служб параллельно функцио-

нируют самостоятельные информационные системы, которые, обладая большим сходством, различаются в основном требованиями по достоверности и периодичности поступления данных (например, в бухгалтерии – месяц, в ОГМ – день и т.д.). Существование таких систем приводит к большим затратам ручного труда, так как связано с параллельным ведением картотек и их взаимными корректировками. Сверки проводятся один раз в год (при инвентаризации ОФ). Очевидно, что за такой длительный срок накапливаются довольно ощутимые отклонения. При разработке первой очереди АСУ ОФ предполагается создание единой автоматизированной системы учета ОФ, которая должна обеспечить требуемые оперативность, достоверность и периодичность поступления данных, удовлетворить информационные потребности служб и замкнуть все службы на единую информационную базу, исключив тем самым какие бы то ни было расхождения в данных. Однако реализация этого положения станет возможной лишь после внедрения достаточно развитой системы теледоступа и достижения высокой степени оперативности обращения служб к информационной базе.

Для реализаций этих требований разрабатывается банк, представляющий совокупность баз данных на машинных носителях (МЛ и МД) и программные средства управления ими, создаваемые на основе СУБД ОКА. Такой подход должен обеспечить в будущем сравнительно простую связь АСУ ОФ со смежными системами.

СУБД ОКА, работающая в среде ОС ЕС, располагает программными средствами загрузки баз данных и обмена, а также защиты памяти от случайных сбоев и несанкционированного доступа. Обеспечена стыковка системы с прикладными программами на языке PL-1 и системой теледоступа КАМА.

Иерархический принцип организации информационных совокупностей, присущий СУБД ОКА, в сочетании с фасетной классификацией объектов ОФ позволит достигнуть в банке высокой степени интеграции информации и эффективности по основным критериям: времени обмена и объему памяти.

Первоначальное заполнение банка представляет собой трудоемкую работу, так как объемы информации, которые необходимо перенести на машинные носители с картотек бухгалтерии и ОГМ, составляют около 6 Мбайт. Централизованная же регистрация информации в данном случае нецелесообразна, поскольку существующие документы непригодны к перфорации. Поэтому на стадии формирования баз данных загрузка должна производиться по группам ОФ на основе информации, вводимой в систему с устройств теледоступа при непосредственном участии работников служб, с последующим машинным контролем данных и формированием ряда реквизитов программным путем.

Поскольку АСУ ОФ I очереди предусматривает подготовку информации как в узлах (ОГМ, ОКС, бухгалтерия), так и на ВЦ, принцип совмещения операций по формированию ручного и машинного документов при этом не соблюдается. Распространение его на все точки возникновения информации станет возможным лишь при более широком охвате периферийной техникой подразделений объединения. В качестве устройств теледоступа выбрана система отображения типа ЕС 7920, позволяющая осуществлять двухсторонний обмен информацией между ЭВМ и пользователем в диалоговом режиме. Службы выступают как пользователи-поставщики информации. На них ложится ответственность за качество обработки документов и, соответственно, за поступление тех или иных сведений в информационную базу. Технически в системе возможно обеспечить оперативность, близкую к работе в реальном масштабе времени, хотя уже при частоте три сеанса в день практически удовлетворяются требования служб по оперативности представления информации.

При наличии единого информационного банка появляется принципиальная возможность резко сократить объем документооборота. В ряде случаев, таких как внутреннее перемещение, списание, передача объектов ОФ, основную информационную нагрузку может и должна принять на себя ЭВМ. Например, автоматизация обработки результатов инвентаризации ликвидирует трудоемкую работу по составлению инвентаризационных описей и позволит проводить выверку их по выдаваемым с ЭВМ данным об отклонениях в составе ОФ.

Комплекс задач АСУ I очереди предусматривает обеспечение служб объединения данными для составления различного рода отчетов о количественном, качественном составе ОФ и их характеристиках. Сюда входит: периодическая отчетность по заранее установленным формам с известными группировками (ежемесячная и годовая сводная бухгалтерская отчетность по ОФ, статотчетность ОГМ по оборудованию и т.д.) в виде комплектов машинограмм и оперативные отчеты, справки по запросам из служб с выдачей информации на экраны видеотерминалов и копий с печатающего устройства (по предусмотренным формам).

Система классификации обеспечит получение разноаспектных группировок объектов ОФ – выделение данных различных уровней обобщения. Единая информационная база гарантирует согласованность отчетных данных, а также представлений различных служб о состоянии ОФ, качественно изменяет трудоемкие процессы поиска и обработки необходимой информации, сокращает сроки представления отчетов, делает более равномерной загрузку работников аппарата управления в течение календарного периода.

Включение в состав задач I очереди автоматизированного контроля ввода в действие и выбытия

ОФ обусловливается необходимостью выявления резервов, скрытых на этих стадиях существования ОФ за счет сокращения сроков пребывания в объединении объектов основных фондов, не участвующих в процессе эксплуатации.

Контроль ввода ОФ в действие дает возможность планировать и поэтапно уточнять сроки сдачи оборудования в монтаж, составлять сводные документы о сдаче для всех заинтересованных служб, осуществлять контроль и составлять сводные документы сдачи оборудования в эксплуатацию. Внедрение этих задач будет способствовать улучшению координации действий подразделений, участвующих в процессе ввода ОФ в эксплуатацию, ускорению этого процесса, повышению ритмичности выполнения плана капитальных вложений, уточнению различных видов отчетности.

При постановке на автоматизированный контроль процессов вывода объектов ОФ из эксплуатации повышается оперативность выявления излишнего оборудования, контролируются сроки его реализации (списания). Появляется возможность проанализировать причины, вызывающие появление неиспользуемого оборудования.

Существующая в объединении автоматизированная система контроля исполнения организационно-распорядительных документов уже сегодня выполняет часть функций по слежению за процессами ввода-вывода оборудования. Решение этих задач в составе АСУ ОФ детализирует контроль, дает возможность аппарату управления получать данные для обобщенного анализа процессов ввода объектов ОФ в действие и их выбытия. Внедрение же АСУ ОФ третьей очереди позволит решать насущные задачи учета и анализа использования ОФ, отладки информационных связей с другими системами, входящими в АСУ объединением (нормативно-информационное обеспечение, АСУ основным производством, АСУ разработкой, АСУ коммерческой деятельностью, АСУ качеством) и вплотную подойти к разработке задач по перспективному прогнозированию и оптимизации структуры ОФ объединения, выработке предложений по совершенствованию парка оборудования, комплексной увязке планов производства со всеми видами ресурсов.

Накопленный за период внедрения АСУ ОФ опыт децентрализованной обработки данных и работы в режиме прямого доступа к интегрированной информационной базе подготовит службы объединения к принятию системы распределенной обработки данных.

*Статья поступила 26 октября 1979 г.*

В. П. Лаврищев

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА ПЕРЕНОСА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Молекулярно-активированные газофазные процессы обеспечивают управление реакциями создания пленки актинорезиста на подложке, что необходимо для получения микросхем с субмикронными размерами элементов.

УДК 621.383.8

Воспроизведение элементов микросхем с размерами 0,1–1 мкм при степени интеграции  $10^7$  и более элементов на кристалл и размерах активных областей 0,01–0,1 мкм требует создания новых методов переноса изображений. С этой целью разрабатываются такие технологические процессы, как экспонирование полимерных защитных пленок электронными, ионными или рентгеновскими лучами, ионно-лучевое, ионно-химическое и плазменно-химическое травление.

Применяемое для них название "сухие процессы фотолитографии" в действительности соответствует лишь операции собственно травления. Для создания же защитной полимерной пленки, необходимой для этих обработок, применяют обычные "мокрые" процессы.

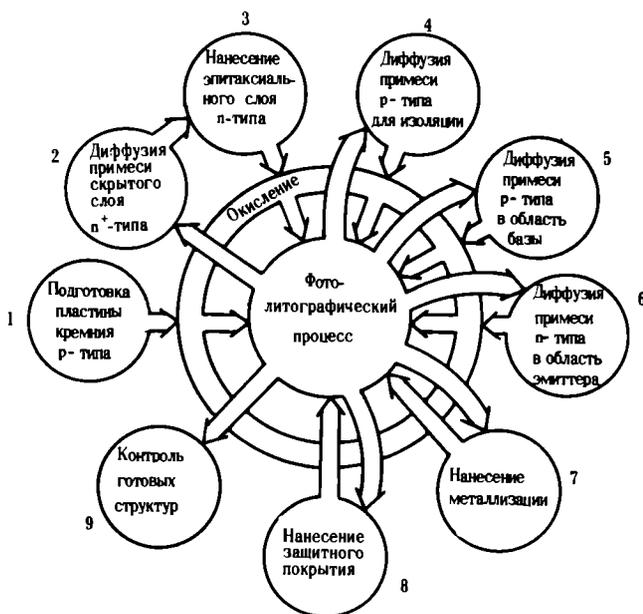


Рис. 1. Схема типового технологического процесса изготовления интегральных схем

На фотолитографию, как видно из схемы типового технологического процесса изготовления микросхем (рис. 1), приходится до 50% всей трудоемкости изготовления ИС. Фотолитографический процесс можно представить схематично в виде последовательности технологических операций (рис. 2), среди которых только первая и две последние могут быть "сухими" и проводиться в системе субстрат–газ. Операции нанесения и проявления фоторезистов, электронорезистов и рентгенорезистов (актинорезистов) связаны с применением жидкостей–растворов самих актинорезистов и жидкостей–растворов проявителей, воздействующих на подложку или пленку актинорезиста, и протекают в системе субстрат–жидкость.

Во всех применяющихся процессах переноса изображений при производстве ИС используется система актинорезист–подложка, которая должна характеризоваться следующими свойствами: высокими чувствительностью к селективному воздействию актиничных лучей, разрешающей способностью и технологической устойчивостью к последующим обработкам; отсутствием дефектов, искажающих результаты процесса переноса изображения, а также отрицательного влияния на последующие технологические операции и свойства микросхем [1].

Создание системы актинорезист–подложка и бездефектной маски на ее основе для производственного получения субмикронных размеров эле-



Рис. 2. Схема фотолитографического процесса

ментов является основной проблемой переноса изображения в технологии изделий микроэлектроники.

Получение пленок, необходимых для процессов переноса изображений, возможно двумя путями: удалением избытка веществ, применяемых для создания пленки, или постепенным наращиванием толщины пленки.

Первый путь заключается в нанесении большого количества исходного раствора актинорезиста на подложку, удалении избытка раствора (например, центрифугированием) и удалении избытка растворителя термообработкой. Свойства раствора актинорезиста должны обеспечить достаточное смачивание поверхности подложки для получения необходимой адгезии и образования равномерного ненапряженного слоя. Известные методы получения пленок актинорезистов [1] не позволяют создать одновременно тонкую и бездефектную пленку из-за применения растворителей. Это связано с тем, что удаление растворителя из пленки при ее формировании может происходить как чисто диффузионно, так и с образованием пузырьков пара растворителя, если парциальное давление паров растворителя превысит критическую величину. Эти пузырьки являются причиной действительных или потенциальных дефектов. В пленках, полученных таким способом, количество дефектов экспоненциально зависит от толщины пленки, достигая значений  $10^3$  дефектов/см<sup>2</sup> при толщине пленки в доли микрона [2].

Подавить эффект образования пузырьков и снизить количество дефектов можно термообработкой под давлением [3], превышающим критическое парциальное давление растворителя. При этом значительно улучшается адгезия и структура пленки, что дает возможность не применять вторую термообработку.

Однако полностью избавиться от дефектов такая обработка не позволяет, так как наряду с явными дефектами при диффузии растворителя через пленку образуются потенциальные дефекты, особенно при высоких скоростях диффузии.

Причина этого заключается в том, что удаление растворителя при формировании пленки актинорезиста представляет собой термодинамически неравновесный процесс в открытой системе. При невысоких вязкостях исходного раствора происходит самоорганизация периодической структуры пленки, приводящая к локальным изменениям ее свойств. В наиболее явном виде образуется так называемая "апельсиновая корка" с грубыми межостровковыми дефектами. Вероятно, нечто подобное происходит в неявном виде при образовании областей потенциальных дефектов, которые обнаруживаются лишь при последующих обработках.

Второй путь, к которому относятся все описываемые ниже способы, заключается в постепенном нанесении вещества пленки до достижения требуемой толщины. Примером может служить метод пульверизации. Его использование снижает количество дефектов при соблюдении определенных условий (давление, скорость и температура

нанесения раствора фоторезиста, обеспечивающего хорошую адгезию). Но, как уже указывалось, применение растворителя нарушает тонкую структуру пленки и приводит к ее потенциальной дефектности, которая, однако, должна быть меньше благодаря перекрытию областей дефектов разными порциями раствора.

Тонкая пленка, получаемая "мокрым" способом, хотя и обладает высоким разрешением, но неизбежно содержит потенциальные дефекты, и поэтому имеет недостаточную стойкость к последующим технологическим процессам, необходимым для получения субмикронных размеров элементов. При обычном химическом травлении у такой тонкой пленки кислотостойкость мала из-за быстрого проникновения жидкости через поры, при плазмохимическом травлении – дефектность пленки воспроизводится на подложке, при ионном или ионно-лучевом травлении толщина пленки недостаточна для обеспечения селективности процесса из-за ее быстрого распыления. Это справедливо как для любого непосредственного экспонирования пластин, так и для субмикронных рентгеношаблонов, полученных любым способом.

Известно, что устойчивость защитных покрытий ко многим высокоразрешающим технологическим процессам резко возрастает с увеличением толщины этих покрытий, но при этом снижается разрешающая способность пленки.

Получение субмикронных размеров с помощью рентгеновского и особенно синхротронного излучения (СИ) допускает применение относительно толстых и соответственно малодефектных пленок РММА, на которых можно получить щель с глубиной больше ее ширины [4]. Применение СИ в наибольшей мере позволяет уменьшить зависимость разрешающей способности от толщины пленки [5].

Однако получение субмикронного рентгеношаблона электронно-лучевым или электронно-проекционным способами неизбежно ограничивается дефектностью тонкой пленки актинорезиста. Это обусловлено тем, что, как известно, область рассеяния электронов приблизительно равна толщине пленки актинорезиста, и поэтому разрешение процессов электронолитографии ограничено размером элементов, приблизительно равным толщине пленки, достаточно малодефектной, чтобы не влиять отрицательно на последующие обработки.

Применение двойных слоев актинорезистов с разной чувствительностью [6] несколько повышает разрешение электронолитографии, но не позволяет достичь высокой плотности размещения элементов, соответствующей этому разрешению.

Таким образом, с помощью "мокрого" метода формирования пленки невозможно получить высоко разрешающую и одновременно технологически бездефектную и устойчивую пленку актинорезиста.

Отсюда ясно, что поиск новых устойчивых технологических методов переноса изображений субмикронных элементов микросхем должен быть направлен на создание "сухого" технологического процесса, протекающего в полностью контролируемой среде. Очевидно также, что для обеспе-

чения высокого разрешения этот процесс должен обладать высокой селективностью, а для получения малой дефектности актинорезиста следовать принципу постепенного наращивания пленки с исключением стадии диффузии растворителя.

С этой точки зрения может представлять интерес термическое напыление относительно низкомолекулярных веществ, например алкилсилоксанов [7], способных к сублимации и образованию прозрачной субмикронной пленки. Полученную пленку можно обработать электронными или рентгеновскими лучами. В облученных местах происходит поли- или олигомеризация молекул алкилсилоксанов. Олигомеры теряют способность к сублимации. Последующий нагрев подложки вызывает сублимацию необлученных участков и образование вследствие этого защитного рельефа.

Однако процесс термического напыления по механизму "пар — твердое тело" не обеспечивает отсутствия дефектов в напыленной пленке. Кроме того, из-за малой чувствительности мономера олигомеризация алкилсилоксана в облученных местах приводит к появлению в термически проявленной пленке большого количества дефектов.

Более перспективным направлением является использование молекулярно-активированных газозащитных процессов (МАГ-процесс), обеспечивающих управление реакциями создания пленки актинорезиста, что обусловлено зависимостью топочимических реакций (на поверхности подложки) от поверхностной энергии твердого тела и реакционной способности возбужденных молекул. При этих процессах относительно свободно двигающиеся частицы реагируют с потенциально более богатыми энергией участками подложки, в результате чего происходит своеобразное "самозалечивание" дефектов в тонких (несколько молекулярных слоев) пленках образующегося покрытия.

Получение пленок актинорезистов возможно при использовании газозащитных процессов, инициируемых электронным лучом и плазмой газового разряда [8]. Однако неспецифический характер таких воздействий с образованием различных по структуре и уровням энергии частиц молекул приводит к созданию пленок актинорезистов с недостаточно регулируемыми свойствами и структурой. Поэтому технологическая чувствительность актинорезистивной пленки к рентгеновскому и электронному облучению, определяемая первичной структурой образующегося полимера и процессом проявления, оказывается значительно ниже, чем у пленок, изготовленных обычным способом. Кроме того, дефектность таких пленок в тонких слоях относительно велика, так как распад молекул происходит с образованием активных частиц, обладающих малой подвижностью в адсорбированном состоянии.

Наиболее вероятной представляется возможность использования в технологических процессах изготовления изделий микроэлектроники некоторых топочимических реакций, протекающих с участием фотоактивированных атомов и молекул, адсорбированных на поверхности подложки. Фо-

тохимические реакции деструкции, сшивания, перегруппировки и другие являются основой процессов фотолитографии [1]. Известны попытки расширить область применения подобных реакций на другие операции процесса создания защитной маски, а также травления.

Ввиду высокой селективности подобных методов использование их для субмикронной технологии перспективно.

Необходимо отметить, что фотохимический способ нанесения пленок возможен для рентгено- и электронорезистов, а для получения пленки фоторезистов применение этого метода весьма проблематично, поскольку рентгено- и электронорезисты чувствительны к рентгеновским и электронным лучам, но мало чувствительны к свету, а фоторезисты обладают высокой чувствительностью к тем областям длин волн света, которые применяются для получения пленок. Это приводит к тому, что экспонирование пленки фоторезиста происходит еще в процессе ее получения.

Для практического использования метода фотоактивационного осаждения пленок карбоцепных полимеров, применяемых в электро- и рентгенолитографии, необходима оценка характерных скоростей роста пленок и требуемых уровней освещенности подложки. Такую оценку следует проводить отдельно для позитивных и негативных резистов с учетом механизма полимеризации.

Особенностью радикальных цепных реакций является то, что скорость обрыва растущей цепи на три-четыре порядка больше скорости ее роста. При увеличении освещенности подложки, а следовательно, и скорости роста пленки резко снижается средняя молекулярная масса  $M$  образующегося полимера. Типичная величина  $M$  для позитивных резистов  $10^5$ , негативных  $10^3-10^4$ . Это означает, что существует оптимальная величина освещенности, зависящая как от типа резиста, так и от конкретных значений константы полимеризации. Предположив, что монослой молекул мономера на поверхности полностью заполнен, и приняв, что при физической адсорбции константы полимеризации близки к соответствующим константам полимеризации в массе, можно оценить характерные скорости роста и требуемые значения освещенности. Результаты расчета этих величин, проведенного Г.М. Гусаковым, даны в таблице.

Механизм реакции	Тип резиста	Скорость роста, нм/мин	Освещенность, Вт/см <sup>2</sup>
Полимеризационный (радикально-цепной)	Позитивный	0,1-0,5	$10^{-4} - 10^{-3}$
	Негативный	10	$10^{-3} - 10^{-1}$
Поликонденсационный (радикально-рекомбинационный)	Позитивный и негативный	$10^2 - 10^3$	1 - 10

Несмотря на то, что не учитывается специфическое влияние поверхности и существенно двумерный характер задачи, указанные величины близки к опубликованным экспериментальным данным.

Из таблицы следует, что получение позитивных резистов радикальной цепной полимеризацией — относительно медленный процесс. Тем не менее, хорошая воспроизводимость и возможность групповой обработки пластин, наряду с указанными преимуществами, позволяют использовать этот метод.

С помощью фотохимических реакций возможно прямое формирование полимерной маски [9]. На подложке, помещенной в среду газа (пара), способного полимеризоваться, создается "рельеф" освещенности. Активируемые ультрафиолетовым (УФ) светом молекулы полимеризуются в освещенных областях поверхности, образуя маску требуемой конфигурации. Экспериментально получены негативные маски с размерами элементов 10 мкм. По сравнению с обычным процессом фотолитографии в данном способе исключены операции предварительного синтеза полимера, создания композиции, двух термообработок и проявления. Важнейшее преимущество способа заключается в том, что маски не имеют дефектов уже при толщинах в несколько сотых долей микрона.

Однако данный способ не позволяет реализовать разрешение лучше 5–10 мкм. Причиной является то, что при радикальном цепном механизме полимеризации существует явление поверхностной диффузии возбужденных частиц. Длина диффузионного пути составляет от 3 до 5 мкм. Это, с одной стороны, обеспечивает "залечивание" дефектов в пленке, а с другой — ограничивает разрешающую способность процесса.

Для поликонденсации радикалов по рекомбинационному механизму, который обеспечивает высокое разрешение, необходима освещенность, составляющая несколько ватт на квадратный сантиметр. Создание высокоразрешающих оптических систем, обеспечивающих такую освещенность в узком спектральном диапазоне, связано с серьезными трудностями. Меньшие освещенности возвращают к радикальному цепному механизму полимеризации. Поэтому более реально получение на подложке сначала сплошной пленки актинорезиста и затем создание в ней рисунка субмикронных размеров.

Несмотря на исключительно высокую селективность фотореакций, проведение их в недостаточно контролируемых условиях не обеспечивает получения пленок с требуемыми свойствами. Исследования растворимости и спектральных характеристик фотополимеров показывают, что в этом случае они существенно отличаются по свойствам от полимеров, полученных обычным способом, и не обладают требуемой чувствительностью. Очевидно, что только с помощью тщательного контроля условий получения пленок можно достичь у фотополимеров такой же чувствительности, как и у обычного РММА.

Фотоосаждение из газовой фазы позволяет применять соединения, в том числе и элементоорганические, образующие пленки, которые обладают повышенной тепловой стабильностью и химической

стойкостью, что особенно важно при плазмохимической и ионно-лучевой обработке ИС.

Фотохимические реакции не ограничиваются лишь реакциями фотополимеризации. Выбирая соответствующие газовые среды и длины волн излучения, можно инициировать на поверхности и другие реакции. Возможно построение технологического цикла нанесения пленки, проявления скрытого изображения, травления подложки через маску и удаления маски, основанного полностью на гетерогенных реакциях фотовозбужденных молекул в газовой среде.

Известно, что применяемые в производстве операции создания защитной маски основаны на "физическом" или "химическом" растворении локальных областей пленки. Аналогом подобных процессов является образование летучих (газообразных) продуктов. Типичными процессами, протекающими в пленке полимера под действием УФ излучения, являются деструкция и структурирование полимера. Преобладание одной из реакций зависит от характера и реакционной способности образующихся при поглощении света радикалов и структуры микромолекул. Если газовая среда содержит молекулы, активно взаимодействующие с образующимися радикалами за время, меньшее времени реакции радикала с полимером, то любой полимер подвергается деструкции при облучении. Сильнейшим "перехватчиком" радикалов является озон. Известно, что под действием УФ излучения и озона полимерная пленка эффективно удаляется с поверхности подложки, не оставляя на ней углерода. Такое "фотосжигание" полимера по существу является аналогом плазмохимического удаления резистов, однако для решения проблемы "сухого" проявления резистивной маски необходим более избирательный способ возбуждения молекул.

Разработка метода "сухого" проявления обеспечивает необходимую чистоту проведения процесса и исключает также стадию набухания, неизбежную при обычном проявлении.

С этой точки зрения способ фотоактивируемого проявления должен полностью соответствовать по своей разрешающей способности методам создания скрытого изображения субмикронных элементов.

Таким образом, применение фотоактивируемых поверхностных реакций полимеризации может решить основную проблему перспективной технологии переноса субмикронных изображений — проблеме "сухого" формирования системы актинорезист — подложка и на ее основе — бездефектной актинорезистивной маски.

Как было показано ранее, для получения предельно малых размеров толщина резиста должна быть также мала. Использование тонких резистов, в свою очередь, повышает требования к последующей обработке ИС — травлению. Ионно-лучевое (ИЛТ) и плазмохимическое травление (ПХТ) и их модификации находят широкое применение в технологии изготовления изделий микроэлектро-

ники, обеспечивая разрешение, близкое к разрешению, определяемому защитной маской.

Недостаток этих методов с точки зрения рассматриваемых проблем заключается в малой стойкости резистов при травлении (особенно ИЛП).

Установлено, что процессы ПХТ обусловлены радикалами, генерируемыми в системе. Поскольку, как уже указывалось, радикалы взаимодействуют с боковыми группами полимерной цепи и концентрация радикалов в плазме велика, низкая стойкость резистов определяется относительно высокими температурами проведения процесса и наличием ионной компоненты плазмы. В системах с низкими рабочими температурами, содержащими только радикалы, следует ожидать высокой стойкости масок. В этом заключается преимущество фотоактивационного способа травления перед ПХТ.

Известно, что фотохимическое травление может использоваться и для других элементов, в том числе металлов, применяемых в ИС. Скорость травления при этом может достигать величины 0,1–10 мкм/мин при очень большой величине освещенности подложки, на 2–4 порядка превышающей освещенность в процессах нанесения, удаления и проявления полимерных защитных масок. Это связано с низким квантовым выходом образования металлоорганических продуктов и малым сечением поглощения УФ квантов. Очевидно, что важное значение имеет и монохроматичность используемого излучения.

Детальное исследование описанных выше процессов необходимо для создания высокоэффективных и совместимых методов переноса изображений в технологии сверхбольших ИС.

Таким образом, физико-химический подход к созданию растворов актинорезистов, понимание механизма удаления растворителя при формировании актинорезистивной пленки и закономерностей взаимодействия этой пленки с подложкой позволяют управлять свойствами системы актинорезист – подложка и значительно снижать дефектность защитного полимерного покрытия. Однако только газофазные способы дают возможность построить процесс переноса прецизионных изображений субмикронных (0,01–0,1 мкм) размеров на единой технологической базе и в полностью контролируемых и управляемых условиях. В результате именно это позволит создать однородный, воспроизводимый, стабильный, экономически высокоэффективный процесс производства СВИС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в фотолитографию. Под ред. Лавришева В.П. – М.: Энергия, 1977. – 400 с.
2. Yamamoto S., Kobayashi K., Toyama J. Application of electron beam resist PMMA to semiconductor. – *Fujitsu Sci. and Technology Journ.*, 1978, vol. 14, N 2, p. 143–157.
3. Лавришев В.П., Перемышев В.А. Изучение механизма удаления растворителя из пленки фоторезиста. – *Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника*, 1975, вып. 5, с. 58–65.
4. Лаймен Д. Развитие современных методов литографии. – *Электроника. Пер. журн. США "Electronics"*, 1979, № 8, с. 26–44.
5. Лавришев В.П. Перспективы применения синхротронного излучения в микроэлектронике. – *Электронная промышленность*, 1979, вып. 7, стр. 3–6.

6. Использование электронно-лучевой обработки для уменьшения размера элементов. – *Электроника. Пер. журн. США "Electronics"*, 1979, № 7, с. 15–16.

7. Басихин Ю.В., Белый В.И., Иванченко В.А., Поляков Г.Ф. Программа комплексного исследования физико-химических и технологических свойств электронночувствительных веществ на основе силоксанов с целью определения оптимальных условий их использования в производстве изделий микроэлектроники. – *Электронная литография и ее применение в микроэлектронике. Сер. 3. Микроэлектроника*, 1976, вып. 1, с. 44–47.

8. Ткачук Б.В., Колотыркин В.М. Получение тонких полимерных пленок из газовой фазы. – М.: Химия, 1977. – 213 с.

9. White P. Preparation and some physical properties of very thin polymer layers. – *Electrochem. Technol.*, 1966, N 4, p. 468–472.

Статья поступила 3 февраля 1980 г.

С.А. Гаряинов

## СТЕПЕНЬ ИНТЕГРАЦИИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТР ИС\*

Параметр "степень интеграции", выраженный через критерий качества, позволяет производить комплексную оценку уровня технологии изготовления ИС и степени совершенства конструктивных и схемотехнических решений, принятых при их разработке.

УДК 621.3.049.77.001.2

С развитием микроэлектроники появилась необходимость в универсальных параметрах, позволяющих сравнивать ИС по степени совершенства схемотехнических, конструктивных и технологических решений, заложенных при их разработке, а также оценивать предельные возможности как ИС, изготавливаемых на основе различных полупроводниковых материалов, так и технологии их изготовления. Первой попыткой решения этой задачи было определение параметра  $P_r$  [1, 2, 3] и критерия Джонсона  $E_{кр} v_s$  [4, 5, 6].

В общем случае параметр  $P_r$  ( $P$  – мощность, затрачиваемая элементом ИС на выполнение заданной функции,  $r$  – время ее выполнения) имеет ясный физический смысл. Величина  $P_r$  численно равна работе, затрачиваемой элементом ИС на выполнение заданной функции. Применительно к логическим ИС  $P_r$  – работа переключения логического элемента, измеряемая в пДж. Этот параметр в какой-то мере позволяет оценить, насколько удачны схемотехнические решения, принятые при разработке ИС ( $P_r$  зависит от правильного выбора элементов, на базе которых проектируется ИС), а также уровень технологии ее изготовления.

\* Данная работа написана в ответ на приглашение редакции судить статью Ю.Н. Губкина "О пределах интеграции в микроэлектронике", опубликованную в вып. 10 научно-технического сборника "Электронная промышленность" за 1978 г.

Связь параметра  $P_r$  с уровнем технологии легко установить, преобразовав его к виду

$$P_r = U^2 C, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение питания, подаваемое на элемент ИС,  $C$  – емкость элемента [2].

Емкость элемента  $C$  складывается из емкости активных элементов (например, емкости коллектора  $C_K$ ), емкости изоляции  $C_{и}$  [6] (обусловленной, например, наличием карманов [7] полупроводникового материала, изолированных от остальной части ИС обратносмещенными  $p-n$  переходами или тонкой пленкой  $\text{SiO}_2$ ) и емкости разводки  $C_p$  элемента ИС относительно проводящей подложки [6]. Эти емкости зависят в основном от геометрических размеров элементов схемы (площади коллектора, кармана и разводки), так что их величины являются функциями минимального размера окна  $a$  в резистивной маске [7].

Таким образом, параметр  $P_r$  при заданном напряжении питания  $U$  (для ИС, спроектированных на основе одинаковых элементов) определяет уровень технологии [1]. Следовательно, для ИС, изготовленных по одной базовой технологии, увеличение быстродействия (уменьшение  $\tau$ ) возможно лишь за счет увеличения потребляемой каждым элементом мощности  $P$ , т.е.

$$P_r = \text{const.} \quad (2)$$

Критерий Джонсона  $E_{кр} v_s$  [4, 5] ( $E_{кр}$  – критическая напряженность электрического поля,  $v_s$  – максимальная скорость носителей) отражает тот факт, что для данного полупроводникового материала существует предельная величина энергии, которую можно передать носителям заряда, участвующим в преобразовании энергии переменного тока, имеющего частоту усиливаемого сигнала [7]. Для данного полупроводникового материала  $E_{кр} \cdot v_s = \text{const.}$

Для кремния, например, у которого  $E_{кр} = 2 \times 10^5$  В/см,  $v_s = 10^7$  см/с, критерий Джонсона  $E_{кр} \cdot v_s = 2 \cdot 10^{12}$  В/с.

Поскольку ряд важных параметров транзистора может быть выражен через критерий Джонсона, представляется возможным определить предельные для данного полупроводникового материала параметры транзистора, а через них и некоторые важные параметры ИС, например  $P_r$ , и выбрать компромисс между ними:

$$U_{K_{\max}} f'_T = E_{кр} v_s / 2\pi = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ В/с} \quad (3)$$

$$\frac{I_{K_{\max}}}{C} = E_{кр} v_s,$$

$$\frac{P_{\max}}{U_{K_{\max}} C} = E_{кр} v_s,$$

$U_{K_{\max}} = E_{кр} W$  – предельное напряжение на коллекторе, при котором начинается пробой,  $f'_T = 1/2\pi t_{пр}$  – граничная частота теоретической модели транзистора,  $t_{пр} = W/v$  – время пролета носителями заряда области базы шириной  $W$ .\*

Выразив граничную частоту транзистора  $f'_T$  [8] через критерий Джонсона, а емкость коллектора  $C_K$  как функцию от минимального размера окна  $a$  в фоторезистивной маске, получим выражение для определения предельных возможностей планарной технологии по увеличению быстродействия дискретных транзисторов в зависимости от  $a$  [7]:

$$f'_T \leq \left[ \frac{6\pi\phi_T}{E_{кр} v_s} + \frac{2\pi U_{K_{\max}}}{E_{кр} v_s} + 2\pi(R_K + r'_6) C \right]^{-1},$$

где  $R_K$  и  $r'_6$  – сопротивление коллектора и базы соответственно; или, приняв  $U_{K_{\max}} = 10$  В и имея в виду, что для кремния  $E_{кр} v_s = 2 \cdot 10^{12}$  В/с, получим

$$f'_T \leq [3,16 \cdot 10^{-12} + 2\pi(R_K + r'_6) C]^{-1}, \quad (4)$$

где  $C$  равно  $C_K$  (емкость коллектора дискретного транзистора) или равно  $C_K + C_{и}$  (емкость интегрального транзистора),  $C_{и}$  – емкость изоляции.

Поскольку  $C_K = C_{уд.к} \cdot S_K$  и  $C_{и} = C_{уд.и} S_{и}$  ( $C_{уд.к}$  и  $C_{уд.и}$  – удельная емкость коллекторного и изолирующего  $p-n$  переходов;  $S_K$  и  $S_{и}$  – их площади), то выбрав за единицу измерения линейных размеров транзистора минимальный размер окна в фоторезистивной маске  $a$ , получим

$$S_K = (ka)^2 + 4h_K ka, \quad (5)$$

$$S_{и} = (ma)^2 + 4h_{и} ma, \quad (6)$$

где  $h_K$  и  $h_{и}$  – глубины залегания коллекторного и изолирующего  $p-n$  переходов. Для транзистора с одним контактом к эмиттеру и одним к базе  $k = 7$ ,  $m = 12$  [7].

График зависимости  $f'_T(a)$  для кремниевого интегрального транзистора при  $U_{K_{\max}} = 10$  В, рас-

\* Рассматривается предельный случай, когда  $W = W_{p-n}$  – ширина обедненного слоя коллекторного перехода.

считанный по (4) с учетом (5) и (6), представлен на рис. 1 [7], из которого видно, что при предельном для фотолитографии значении  $a = 2$  мкм величина  $f_T$  для дискретного транзистора не превышает 5 ГГц, а для интегрального – 1,5 ГГц, в то время как предельное значение  $f_T = f'_T$  для кремниевых транзисторов (при  $C = 0$ ) равно 32 ГГц, т.е. отличается более чем на порядок. Отсюда следует, что кремний даже после того, как будут исчерпаны возможности фотолитографии, останется перспективным полупроводниковым материалом для ИС с точки зрения повышения их быстродействия.

Кроме того, наряду с разработкой и освоением электронной и рентгеновской литографии будет происходить замена в ИС изоляции элементов обратносмещенными  $p-n$ -переходами на полную диэлектрическую изоляцию [6], при которой  $C_{и} = 0$ , а  $f_T$  интегрального транзистора увеличивается в 4–5 раз (см. рис. 1).

Связь параметра  $Pr$  с критерием Джонсона [9] получим, полагая, что  $U \approx U_{к\max}$ , и подставив в

(1) выражение для  $U_{к\max}$ , полученное из (3):

$$(Pr)_{\text{пред}} = (E_{кр} v_s / 2\pi f'_T)^2 C. \quad (7)$$

Для  $U_{к\max} = 10$  В получим

$$(Pr)_{\text{пред}} = 10 C. \quad (8)$$

Предположив, что в выражении (8)  $C = C_{удк} S_{к} + C_{уд.и} S_{и}$  и используя формулы (5) и (6), получим зависимость предельных значений параметра

$Pr$  от минимального размера  $a$  окна в фоторезистивной маске. На рис. 1 представлены зависимости  $(Pr)_{\text{пред}} = \phi(a)$ , построенные для ИС с изоляцией элементов обратносмещенными  $p-n$  переходами и с полной диэлектрической изоляцией элементов ( $C_{и} = 0$ ). При расчете обеих зависимостей предполагалось  $C_{уд.к} \approx C_{уд.и} = 0,25 \cdot 10^{-3}$  пФ/мкм<sup>2</sup>.

Однако оба рассмотренных параметра ( $Pr$  и  $E_{кр} v_s$ ) оказались недостаточными для сравнения различных ИС, поскольку они не учитывают весьма важную особенность развития ИС – стремление не только к снижению мощности  $P$  и времени  $\tau$ , требуемых для выполнения каждым элементом заданной функции, но и к одновременному увеличению числа элементов  $N$  или плотности компоновки  $n = N/S$ .

Видимо, в силу указанной недостаточности параметров  $Pr$  и  $E_{кр} v_s$  вошел в употребление параметр "степень интеграции", хотя четкого и общепринятого его определения до сих пор нет. В большинстве случаев этот параметр отождествляется с числом элементов  $N$  в ИС, плотностью компоновки  $n$  или плотностью упаковки [10] ( $\beta = N/V$ , где  $V$  – объем кристалла ИС). Иногда в качестве этого параметра предлагается десятичный логарифм от  $N$  [11].

Несостоятельность попыток представить степень интеграции в виде параметра, определяющего лишь число элементов в ИС или плотность компоновки элементов, видна на следующем примере. В таблице приведены основные параметры трех типов сравниваемых микросхем ( $n$ -канальные МОП СБИС, КМОП СБИС на основе структур КНС и СБИС типа И<sup>2</sup>Л). Данные для таблицы, кроме по-

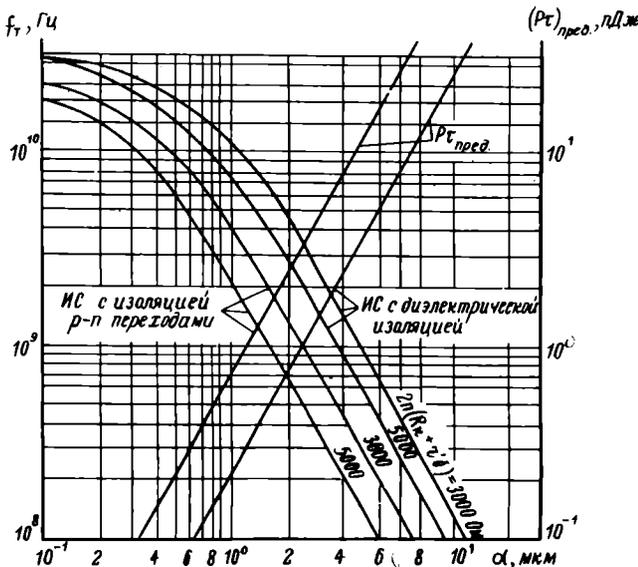


Рис. 1. Зависимость граничной частоты  $f_T$  интегральных транзисторов и параметра  $Pr$  от минимального размера  $a$  окна в фоторезистивной маске для ИС с изоляцией компонентов обратносмещенными  $p-n$  переходами с полной диэлектрической изоляцией

Параметры микросхем, изготовленных по разной технологии

Параметр	1978 г.			1980 г.		
	$n$ -канальные МОП-схемы	КМОП-схемы на сапфире	И <sup>2</sup> Л-схемы с диодами Шоттки	$n$ -канальные МОП-схемы	КМОП-схемы на сапфире	И <sup>2</sup> Л-схемы с диодами Шоттки
Плотность компоновки, вентиль/мм <sup>2</sup>	140	110	120	200	200	175
Задержка, нс/вентиль	1	2	0,5	0,5	1	0,2
Мощность, мВт/вентиль	1	0,1	1,5	0,4	0,05	0,6
Произведение быстродействия на мощность, пДж	1	0,2	0,75	0,2	0,05	0,12
Число фотошаблонов	6	7	6	6	8	6
Критические размеры, мкм	4	5	5	2	3,5	2
Площадь статического запоминающего элемента, мкм <sup>2</sup>	2400	3300	2500	1100	1000	1500
$(Pr)_{\text{пред}}$ , пДж/мм <sup>2</sup>	140	22	90	40	10	21
$C_{иn} = 1 - e^{-\frac{m}{Q}}$ , при $m = 10$ пДж/мм <sup>2</sup>	0,068	0,37	0,11	0,22	0,63	0,38

следних двух строк, взяты из работы [12]. Как видно из этих данных, по плотности компоновки ("степени интеграции", если следовать определению этого параметра, предложенному в [10]) лучшими из сравниваемых микросхем следует считать  $n$ -канальные СБИС. Но если проанализировать в совокупности остальные приведенные параметры, то предпочтение следует отдать двум другим типам СБИС, хотя по плотности компоновки они уступают  $n$ -канальным СБИС (110 и 120, вместо 140 вентиль/мм<sup>2</sup> соответственно).

Следует отметить, что когда говорят о степени интеграции, обычно имеют в виду, что это универсальный параметр, по которому сравниваются различные ИС, причем всегда подразумевается, что чем этот параметр больше, тем лучше.

Сравним две ИС, одинаковые по числу элементов  $N$  и размерам кристалла. При этом для соединения элементов первой ИС потребовалась двухслойная разводка, а для второй – однослойная. Для технолога, изготавливающего эти ИС, очевидно, что они не равноценны.

Учитывая, что отдельные отрасли науки и техники развиваются по экспоненциальному закону, можно предложить следующее выражение для численного определения степени интеграции микросхем

$$C_{ин} = 1 - e^{-\frac{m}{Q}}, \quad (9)$$

где  $m$  – нормировочный коэффициент,

$$Q = Prn = \frac{PrN}{S} \quad (10)$$

– критерий качества ИС, который в отличие от параметра  $Pr$ , учитывает основные тенденции микроинтеграции – уменьшение работ  $Pr$ , затрачиваемой каждым элементом ИС на выполнение заданной функции, при одновременном предельном увеличении числа элементов  $N$ , интегрируемых в кристалле ИС площадью  $S$  [7, 9].

Физический смысл критерия качества  $Q$  – удельная работа, затрачиваемая элементом ИС на выполнение заданной функции, т.е. работа элемента ИС, приходящаяся на единицу площади кристалла. Для логических микросхем  $Q$  – удельная работа переключения логического элемента.

Подобно параметру  $Pr$ , критерий качества  $Q$  для ИС, изготовленных по одинаковой технологии – величина примерно постоянная, т.е. имеет место соотношение, аналогичное (2):

$$Q = Prn = \text{const.}$$

Как было показано, параметр  $Pr$ , входящий в выражение для  $Q$ , определяет уровень технологии и схемотехнических решений, принятых при разработке ИС. Плотность компоновки  $n$  определяется минимальным размером  $a$  элемента и характеризует совершенство конструкции ИС (чем больше  $n$ , тем большее значение приобретает проблема

ослабления или устранения паразитных связей между элементами ИС). Поэтому критерий качества  $Q$  и выраженный через него параметр "степень интеграции" ( $C_{ин}$ ) позволяют производить

комплексную оценку уровня технологии изготовления ИС и степени совершенства конструктивных и схемотехнических решений, принятых при их разработке. Но  $C_{ин}$  более удобен как универсальный параметр для сравнения различных ИС. Например, в последних двух строчках таблицы приведены вычисленные по (9) и (10) значения  $Q$  и  $C_{ин}$ . Из их анализа следует, что  $n$ -канальные МОП СБИС, хотя и имеют плотность компоновки  $n$ , большую по сравнению с другими СБИС, но существенно уступают им по степени интеграции  $C_{ин}$ . КМОП СБИС на основе структур КНС с непроводящей подложкой и полной диэлектрической изоляцией элементов превосходили в 4–6 раз по критерию качества  $Q$  и примерно в 3–5 раз по степени интеграции  $C_{ин}$  конкурирующие СБИС при сравнительно больших критических размерах элементов ( $a = 5$  мкм по сравнению с 4 мкм у других СБИС).

В 1980 г. КМОП СБИС на основе КНС будут превосходить конкурирующие СБИС в 2–4 раза по  $Q$  и примерно в 2,5 раза по  $C_{ин}$  (при  $a = 3,5$  мкм по сравнению с 2 мкм у конкурирующих СБИС). На рис. 2 приведены для сравнения значения степени интеграции СБИС, рассчитанные при  $m = 10$  п/Дж/мм<sup>2</sup>

Из анализа приведенных данных следует, что технология изготовления ИС на основе непроводящих подложек с полной диэлектрической изоляцией элементов позволяет создавать ИС с наиболее высокой степенью интеграции и является перспективной для изготовления СБИС. Этот вывод подтверждается литературными данными [13] о перспективных элементах для СБИС – полевых

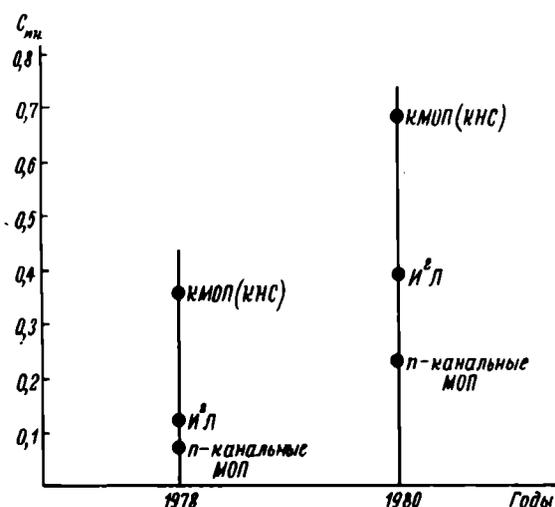


Рис. 2. Сравнение трех типов СБИС, выпускаемых в 1978 и 1980 гг., по степени интеграции  $C_{ин}$ , рассчитанной с учетом параметров, приведенных в таблице

транзисторах на непроводящей подложке из полупроводящего арсенида галлия, на которой выращена проводящая пленка GaAs. Канал в таких транзисторах формируется между обедненной областью затвора Шоттки (ширина электрода затвора 1 мкм) и непроводящей подложкой.

Для этих транзисторов, работающих в режиме обогащения, параметр  $P_r = 40$  фДж.

На основании зависимостей, приведенных на рис. 1, критерий качества  $Q$  для СВИС на основе таких элементов будет не более 8 пДж/мм<sup>2</sup>, а степень интеграции  $C_{ин} = 0,71$ , т.е. достаточно близка к 1 (теоретическому пределу для данного параметра).

Подставив в (10) и (9) значение  $P_r$ , выраженное через критерий Джонсона (7), получим формулы для определения предельных значений критерия качества  $Q$  и степени интеграции  $C_{ин}$  биполярных ИС:

$$Q_{\text{пред}} = (E_{кр} v_s / 2\pi f')^2 C_n;$$

$$C_{ин.пред} = 1 - e^{-\frac{\pi}{Q_{\text{пред}}}}$$

Полученные выражения позволяют определить предельные для данной технологии и применяемого полупроводникового материала значения критерия качества и степени интеграции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Янушонис С.С. Основные пути улучшения добротности логических интегральных схем. — Микроэлектроника, 1972, т. 1, вып. 5, с. 110–116. [Изд-во "Сов.радио"].
2. Валиев К.А., Контарев В.Я. Полупроводниковая интегральная микроэлектроника и некоторые тенденции ее развития. — Микроэлектроника, 1972, т. 1, вып. 1, с. 23–29. [Изд-во "Наука"].
3. Фолберт О.Г. Предельное значение произведения быстродействия на мощность логических транзисторных схем. — ТИРИ, 1966, т. 54, № 8, с. 1125–1128.
4. Джонсон Е.О. Физический смысл произведения коэффициента усиления по мощности на ширину полосы пропускания активного элемента. — ТИИЭР, 1966, № 10, с. 269–270.
5. Johnson E.O. Physical limitations on frequency and power parameter transistor. — RCA Review, 1965, June, p. 163–166.
6. Гаряинов С.А. Диэлектрическая изоляция элементов интегральных схем. — М.: Электроника: Сов.радио, 1975, 120 с.
7. Гаряинов С.А. Повышение быстродействия интегральных схем. — Электронная промышленность, 1975, вып. 10, с. 42–48.
8. Кремниевые планарные транзисторы / В.Г. Колесников, В.И. Никишин, В.Ф. Сьноров, Б.К. Петров, Г.В. Сонов, В.С. Горохов. — М.: Сов.радио, 1973, 335 с.
9. Гаряинов С.А. Диэлектрическая изоляция компонентов ИС и возможности планарной технологии. — Доклады АН Азерб.ССР, 1976, т. XXXII, № 2, с. 8–11.
10. Губкин Ю.Н. О пределах интеграции в микроэлектронике. — Электронная промышленность, 1978, вып. 10, с. 69–72.
11. Ефимов И.Е., Горбунов Ю.И., Козырь И.Я. Микроэлектроника. — М.: Высшая школа, 1977, с. 112.
12. Кейпис, Мокхофф. Достижения и тенденции электронной техники. — Электроника. Пер. журн. США Electronics, 1978, № 22, с. 33–39.
13. Высокоскоростные СВИС на полевых транзисторах из арсенида галлия. Электроника. Пер. журн. США Electronics, 1978, № 24, с. 7–8.

Статья поступила 20 декабря 1979 г.

С. А. Литвиненко, В. В. Митрофанов,  
В. И. Соколов

## ПОРИСТЫЙ ОКИСЕЛ В ПЛАНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Пористость окисла, формирующегося в процессе изготовления кремниевого планарного прибора, оказывает влияние на электрические параметры и эксплуатационную надежность приборов.

удк 621.382.002.2

Основой планарной технологии является система кремний—окисел с формируемыми на ее поверхности тонкими слоями силикатных стекол, стабилизирующих электрофизические свойства окисла и границы раздела кремний—окисел и выполняющих функции источников легирующей примеси, а также защитных покрытий при диффузии. Качество диэлектрического покрытия влияет на электрические свойства  $p-n$  переходов и их изоляцию от металлизации.

Проведено исследование изменения пористости окисла в технологическом цикле формирования ИС. Измерение пористости производилось методом электрографии. Автограф пластины формировался на смоченной в водном растворе гидрохинона мягкой фотобумаге "Унибром" в течение 15 с при напряжении на ячейке 30 В. Пятна почернения подсчитывались в темном поле микроскопа при увеличении до 80 $\times$ , что существенно повышало чувствительность и разрешающую способность метода. Распределение пор по толщине определялось с помощью послойного травления окисла до толщины  $\sim 50$  нм.

В результате исследования было установлено, что операции фотолитографии и легирования бором и фосфором приводят к резкому увеличению сквозной пористости окисла, которая при последующем окислении уменьшается до минимальных значений (рис. 1). При этом изменяется распреде-

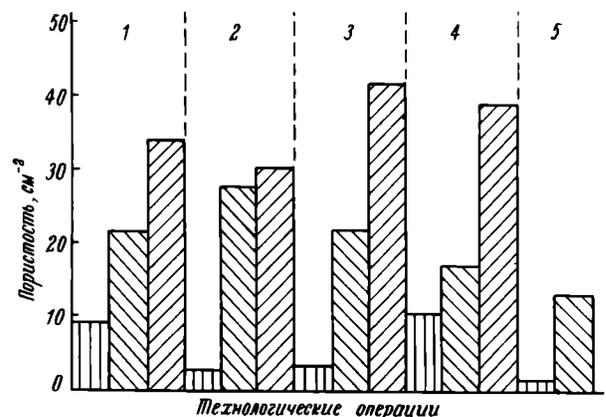


Рис. 1. — Изменение сквозной пористости окисла в технологическом цикле изготовления ИС: формирование областей изолирующих (1), "глубокого" коллектора (2), базы (3), эмиттера (4), формирование окон под контакты металлизации (5)

ление пор ( $N_{\text{п}}$ ) по толщине окисла  $X_{\text{ок}}$ , что может быть описано выражением [1]

$$N_{\text{п}} = N_0 \exp(-\lambda X_{\text{ок}}), \quad (1)$$

где  $N_0$  и  $\lambda$  – плотность и средний размер пор на границе раздела кремний–окисел.

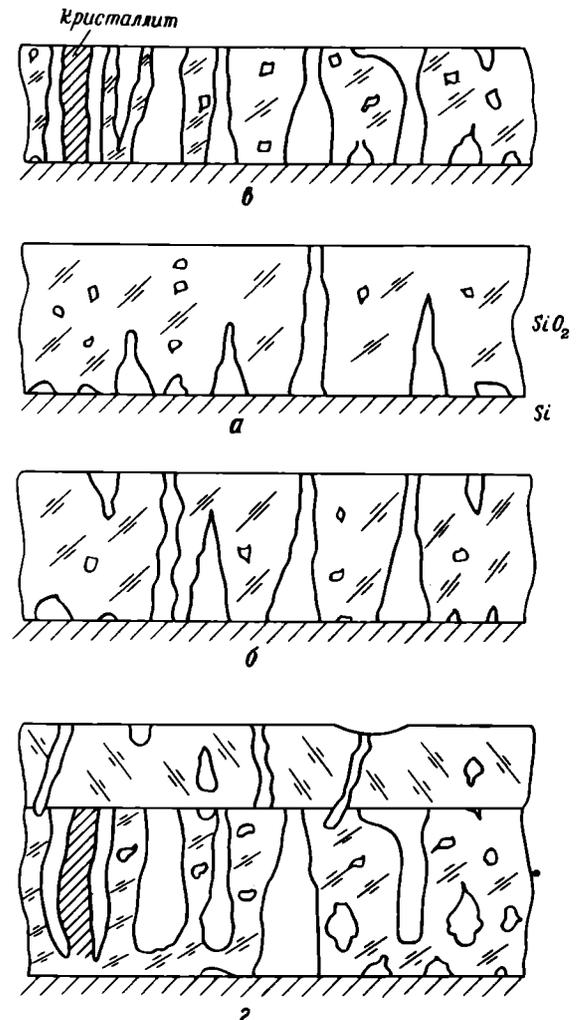
В таблице представлены значения  $N_0$ ,  $\lambda$  и коэффициенты корреляции  $r$  экспериментальных данных с рассчитанными по формуле (1). Из приведенных в таблице данных следует, что, как правило, увеличение сквозной пористости  $N_{\text{п}}$  сопровождается уменьшением  $N_0$  и  $\lambda$  с учетом зависимости (1). Схема, представленная на рис. 2, показывает, что поры в окисле образуются уже в процессе окисления. На структурных дефектах поверхности подложки и в областях локальных химических загрязнений изменена кинетика роста окисла, что, как известно, приводит к возникновению сквозных пор. Кроме того, при охлаждении пластин после окисления увеличивается уровень механических напряжений в окисле, обусловленных разностью коэффициентов температурного расширения окисла и кремния, в результате чего появляются сквозные поры. Частичная релаксация межфазных механических напряжений осуществляется вследствие генерации избыточных вакансий в окисле вблизи границы раздела [2]. В результате перераспределения вакансий происходят процессы коагуляции и коалесценции мелких вакансионных полостей, при которых уменьшается количество мелких пор, укрупняются большие и образуется основное количество наполняющих окисел глухих пор.

В процессе фотолитографического вскрытия окон в окисле происходит его локальное травление по дефектам в пленке фоторезиста, при этом глухие поры становятся сквозными. В результате диффузии бора и фосфора на поверхности окисла

образуются пленки соответствующих силикатных стекол, что приводит к утончению окисла и увеличению сквозной пористости после снятия стекла. При последующем окислении сквозные поры превращаются в замкнутые или глухие.

Исследования показали, что сквозная пористость окисла после термического окисления не зависит от предварительных обработок пластины (диффузии и фотолитографии), что позволяет считать пористость результатом действия межфазных механических напряжений в системе кремний–окисел.

Пористость окисла оказывает определенное влияние на параметры ИС, поскольку через поры возможна диффузия примеси в кремний. Опыт показывает (см. рис. 1), что снятие стекла резко увеличивает сквозную пористость. Это означает, что стекло находилось в контакте с кремнием и при легировании произошло образование мелких локальных *p-n* переходов, которые могут влиять



Изменение распределения пор в окисле в результате проведения основных технологических операций

№ операции	Технологическая операция	$X_{\text{ок}}$ , мкм	$N_{\text{п}}$ , см <sup>-2</sup>	$N_0$ , см <sup>-2</sup>	$\lambda$ , мкм <sup>-1</sup>	$r$
1	Окисление	0,36	9,7	13400	18,7	0,99
2	Фотолитография	0,36	21,7	8300	16,0	0,97
3	Диффузия бора	0,22	33,8	500	8,1	0,94
4	Окисление	0,39	2,5	2200	17,9	0,98
5	Фотолитография	0,39	27,8	1100	9,8	0,97
6	Диффузия фосфора	0,27	30,0	4900	18,5	0,99
7	Окисление	0,36	3,5	2400	18,8	0,97
8	Фотолитография	0,36	21,3	1800	14,3	0,96
9	Диффузия бора	0,31	40,2	8700	17,5	0,98
10	Окисление	0,52	10,5	1500	10,4	0,96
11	Фотолитография	0,52	20,7	1300	8,4	0,94
12	Газовый пиролиз	0,75	1,1	3700	11,6	0,94
13	Диффузия фосфора	0,52	38,8	3900	11,4	0,89
14	Вакуумный пиролиз	0,82	0,5	3300	11,1	0,98

Рис. 2. – Схема развития дефектной структуры окисла в технологическом цикле изготовления ИС: после первого окисления (а), фотохимического травления (б), первой стадии диффузии и снятия стекла (в), окисления (второй стадии диффузии) и нанесения пиролитического окисла (г)

на величину пробивных напряжений и создавать токи утечки  $p-n$  переходов ИС. Наиболее сильно сказывается это влияние при формировании мелких  $p-n$  переходов под богатым порами клином травления окисной маски.

Кроме того, наличие пор ухудшает защитные свойства окисла вследствие уменьшения его электрической и механической прочности, что становится наиболее заметным на заключительных операциях изготовления ИС (формирование контактной системы, скрайбирование, термокомпрессионное присоединение выводов).

При формировании контактной системы на пористость окисла оказывает влияние, по-видимому, низкотемпературная обработка (вжигание алюминия).

Были получены автографы окисленной пластины со снятыми алюминиевыми контактами, контур которых проявился в окисле в виде пор после травливания окисла до минимальной толщины. Таким образом, периметр алюминиевой металлизации ИС является потенциально ненадежным местом вследствие локализации вдоль него глухих пор в окисле.

Контакт алюминиевого слоя с кремнием вне специальных контактных окон приводит к увеличению токов утечки, которые появляются в результате попадания алюминия в сквозные поры при его напылении или вжигании, проникновения алюминия в дефектный окисел при вжигании, проводимости по порам или электрического пробоя по внутреннему дефекту в окисле (например, за счет импульса статического электричества).

Вероятность этих процессов увеличивается при скрайбировании, ломке пластин и термокомпрессионном присоединении выводов, так как при внешнем механическом воздействии в окисле (и кремнии) могут возникать новые трещины и развиваться уже имеющиеся.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что сформированная в технологическом цикле дефектная структура окисла не является статичной, а развивается во времени.

Поскольку процессы, влияющие на образование пористой дефектной структуры окисла, определяют эксплуатационную надежность приборов, результаты проведенного исследования подтверждают актуальность вопроса управления пористостью диэлектрических покрытий на кремнии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колобов Н.А., Зворыкин Д.Б. Исследование дефектов структуры термически выращенных пленок двуокиси кремния. — Электронная техника. Сер. 2, Полупроводниковые приборы, 1973, вып. 1 (73), с. 86–92.

2. Gibber J., Deak P., Martin D. The mechanical stress deriving from molecular fitting on the Si–SiO<sub>2</sub> interface and its effect upon the development and distribution of vacancies. — Phys.St.Sol., 1977, vol. 79, N 2, p.89–92.

О.В. Гусев, Ю.Д. Чистяков, Г.А. Яковлев

## БЕСФЛЮСОВАЯ КОМПОЗИЦИОННАЯ ПАЙКА КРЕМНИЯ С МЕТАЛЛАМИ ПРИПОЯМИ НА ОСНОВЕ СВИНЦА

Низкотемпературная композиционная пайка припоями на основе свинца в среде водорода дает возможность получать прочные соединения неметаллизируемого кремния с различными металлами.

УДК 621.791.3.048

При изготовлении полупроводниковых приборов (транзисторов, диодов, тиристоров, тензометров) необходимо получать неразъемные соединения кремниевых кристаллов с металлическими деталями, обладающие высокой надежностью. Такие соединения создаются низкотемпературной пайкой легкоплавкими припоями. Одной из перспективных разновидностей этого процесса является бесфлюсовая композиционная пайка в среде водорода, заключающаяся в введении между кремниевым кристаллом (рис. 1) и металлической деталью пористой

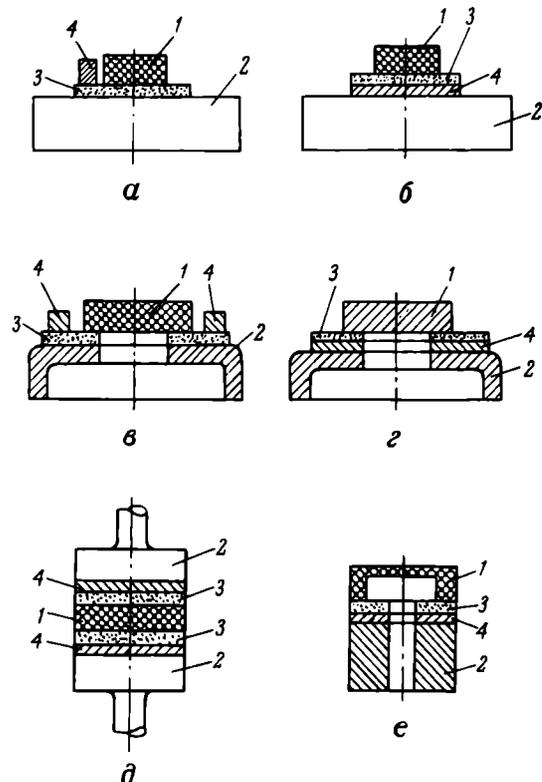


Рис. 1. Схемы сборки различных соединений кремний–металл перед бесфлюсовой композиционной пайкой в среде водорода: 1 – кремниевый кристалл; 2 – металлическая деталь; 3 – пористая металлическая прокладка; 4 – припой

металлической прокладки (губки), преимущественно никелевой, которая в процессе пайки полностью пропитывается свинцовым припоем. Пористую металлическую прокладку обычно изготавливают путем прокатки металлического (например, карбонильного никелевого) порошка с последующим спеканием.

По сравнению с пайкой припоями на основе олова или индия бесфлюсовая композиционная пайка свинцовыми припоями имеет ряд преимуществ: возможность проведения процесса пайки неметаллизированного кремния с различными металлами (Ag, Cu, Ni и др.) при относительно невысоких температурах (605–725 K) [1–4]; обеспечение достаточно высокой прочности свинцовых припоев, армированных металлической губкой, и паянных ими соединений кремний–металл, металл–металл [5–7]; возможность регулирования уровня термомеханических напряжений в паяном соединении [7–9]; обеспечение более высокой стабильности механических свойств, лучшая физическая и химическая совместимость припоев на основе свинца с различными конструкционными материалами [10] и др.

Установлено, что при пропитке пористой никелевой прокладки свинцовыми сплавами, содержащими олово, происходит изменение состава этих сплавов вплоть до полного их расслоения и закупорки капиллярных каналов прокладки интерметаллидами ( $Ni_3Sn_2$ ,  $Ni_3Sn_4$ ,  $NiSn$ ) в результате адсорбции олова развитой поверхностью прокладки и взаимодействия его с никелем [2, 7]. С уменьшением диаметра капилляров ( $< 0,1$ – $0,5$  мкм) пропитка пористой прокладки припоем ухудшается из-за более быстрой их закупорки интерметаллидами, а также из-за окисления поверхности прокладки, спеченной из высокодисперсных, а следовательно, и более активных никелевых порошков. С увеличением диаметра капилляров (до 15–20 мкм и более) капиллярное давление, являющееся одной из основных движущих сил процесса пропитки, и скорость легирования свинцового расплава материалом прокладки, определяемая удельной поверхностью последней, уменьшаются, но вместе с тем ухудшается очистка припоя от окисных пленок и прочих загрязнений. Поэтому с учетом обнаруженных явлений и установленных закономерностей процесса пропитки [2] выбран оптимальный диаметр капиллярных каналов, равный 1–12 мкм [7, 10].

В связи с изложенным в случае использования в качестве припоя чистого свинца или его сплавов с серебром рекомендуется применять схему пайки, показанную на рис. 1, а, в, при которой припой полностью очищается от окисных пленок благодаря фильтрации его при впитывании в пористую прокладку. Для сплавов Pb–Sn и Pb–Sn–Ag следует применять схему пайки, представленную на рис. 1, б, г, д, е, которая практически полностью устраняет вредное влияние явлений изменения состава и закупорки. Однако следует отметить, что при та-

кой схеме пайки необходима тщательная очистка припойной прокладки от окисных пленок, присутствие которых на границе раздела между пористой прокладкой и металлической деталью может значительно ухудшать смачивание последней [2].

Технологические процессы изготовления различных неразъемных соединений путем бесфлюсовой композиционной пайки, а также новые процессы бесфлюсовой низкотемпературной пайки могут быть разработаны лишь с учетом физических причин значительного понижения температуры смачивания кремния и других материалов свинцовыми припоями при композиционной пайке через пористые металлические прокладки.

Известно, что добавка в свинец никеля [11] улучшает смачивание кремния при достаточно высоких температурах с образованием на его поверхности переходного слоя из силицидов никеля. При понижении температуры смачивание происходит хуже из-за окисной пленки на поверхности сплава [7].

Результаты работ [2–4, 7, 9, 10] по бесфлюсовой композиционной пайке показывают, что значительное понижение температуры смачивания кремния и других материалов (до 605–750 K) обусловлено прежде всего очисткой свинцового припоя от окисных пленок с помощью пористой прокладки (из никеля или меди), легированием припоя материалом последней и образованием на поверхности паяемого материала переходного слоя (диффузионной зоны) из продуктов химического взаимодействия этого материала с пористой прокладкой. Кроме того, в работах [4, 7] показано, что смачивание кремния, молибдена, вольфрама, бериллия и других материалов улучшается с повышением растворимости паяемого материала в материале пористой прокладки и с приложением давления на соединяемые материалы, что способствует удалению окисной пленки с поверхности паяемого материала. Введение же в свинец олова ухудшает смачивание кремния, молибдена и вольфрама при пайке через пористую никелевую прокладку.

Использование для пайки предварительно приготовленных композиционных припоев (КП) свинец–никель, представляющих собой матрицу из свинца, содержащую порошок никеля [1], может ухудшать смачивание паяемого материала, например кремния, из-за наличия окисной пленки на поверхности КП свинец–никель, образующейся при хранении последнего.

Были проведены исследования с целью выяснения физических причин понижения температуры смачивания и установления общих закономерностей формирования паяного шва соединений при композиционной пайке. С помощью просвечивающего (JEM-1000) и растрового (JSM-U3) электронных микроскопов, рентгенофазового и микрорентгеноспектрального анализов изучалась структура и состав соединений кремния марки КЭФ 7,5 с бес-

кислородной медью МБ, полученных при пайке свинцом марки СО через пористую прокладку, спеченную из карбонильного никелевого порошка. С помощью растрового микроскопа были сделаны фотографии поперечного сечения шва, полученного в результате пайки кремния с медью припоем КИ РЬ—Ni при 725 К в течение 1 ч (рис. 2, а—д). На микрофотографиях видно, что со стороны поверхности кремния образуется плотный переходный слой (см. рис. 2, а), состоящий из никеля и кремния с преимущественным содержанием никеля (см. рис. 2, б, в). Средняя толщина этого слоя составляет 14 мкм. Согласно диаграмме состояния [12], в системе никель—кремний возможно образование шести силицидов никеля различного состава. Расшифровка данных локального рентгеноспектрального и рентгенофазового анализов позволила установить, что переходный слой со стороны кремния представляет собой силицид  $Ni_3Si_2$ . Не исключено, что в этом слое присутствуют также очень тонкие прослойки и других фаз, не различимых из-за недостаточной разрешающей способности приборов. В средней части паяного шва (см. рис. 2, а, в, г, д) образуются довольно крупные отдельные кристаллиты, представляющие собой твердый раствор меди в никеле. Формирование таких кристаллитов обусловлено обоюдным растворением высокопористого никеля и паяемой меди в расплаве свинца и выделением продуктов их реакции в жидкой фазе. При пониженных температурах высокопористый никелевый каркас в паяном шве сохраняется. Со стороны

меди в паяном шве наблюдается переходный слой в виде твердого раствора никеля в меди примерно постоянного состава по толщине (рис. 2, а, в, г).

Фазовый состав и структура тонкого переходного слоя на кремнии изучались методом просвечивающей электронной микроскопии в сочетании с исследованиями на рентгеновском микроанализаторе. Результаты исследований показали, что на поверхности (111) монокристаллического кремния образуется хемозпитаксиальный переходный слой из силицида  $Ni_3Si_2$  (рис. 3, а, б, в), причем кинетика роста переходного слоя на границе кремний — жидкий раствор никеля в свинце лимитируется диффузионными процессами в твердой фазе. Энергия активации роста фазы  $Ni_3Si_2$  оказалась равной 118,6 кДж/моль.

Обобщение результатов проведенных исследований позволило сделать вывод, что при композиционной пайке полупроводников и металлов с применением пористых металлических прокладок имеют место следующие основные стадии процесса: 1) пропитка металлической губки припоем; 2) растворение металлической губки в жидком припое и перенос растворенных атомов к поверхности паяемого материала; 3) адсорбция растворенных атомов из жидкой фазы поверхностью паяемого материала; 4) формирование диффузионных зон (переходных слоев) на поверхности паяемого материала путем диффузии в твердой фазе с образованием твердого раствора или за счет реактивной диффузии с образованием химических соединений.

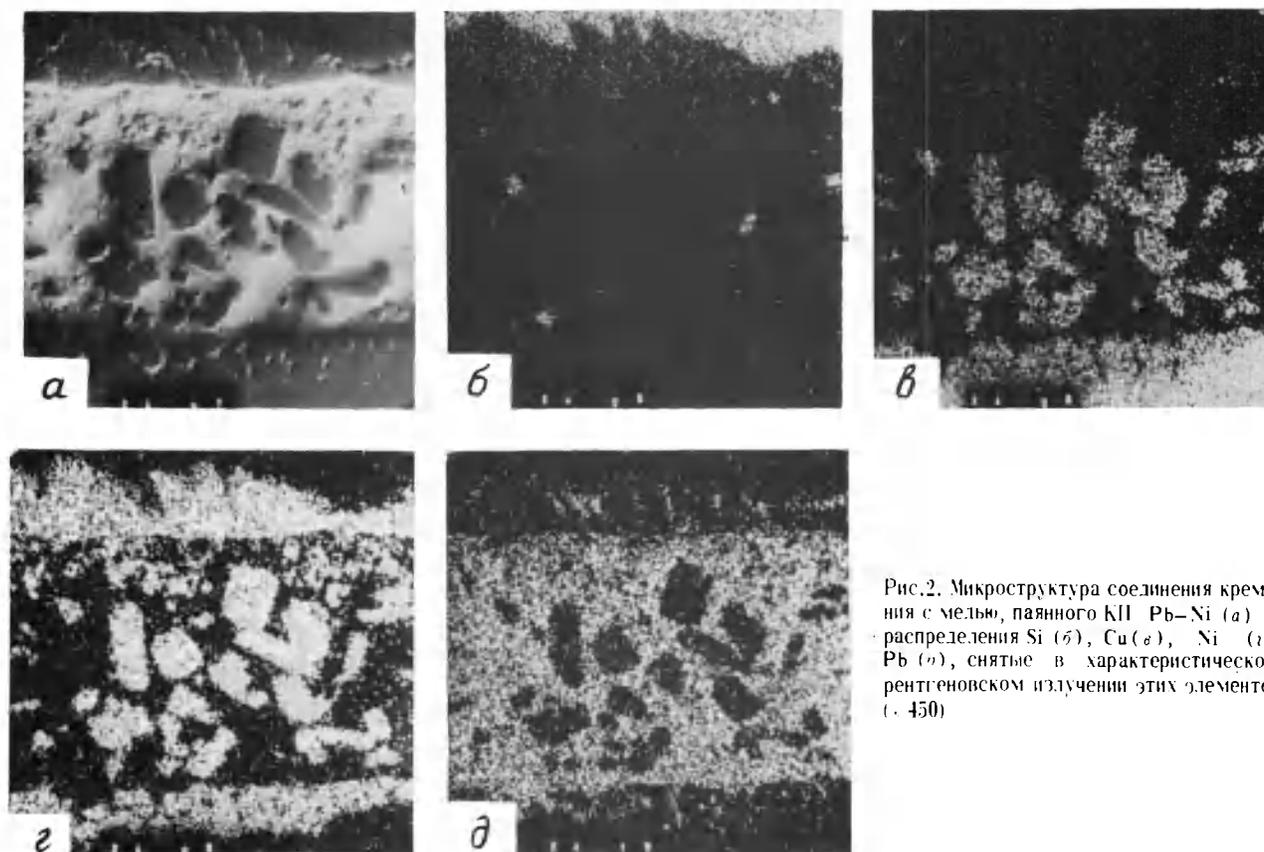


Рис. 2. Микроструктура соединения кремния с медью, паянного КИ РЬ—Ni (а) и распределения Si (б), Cu (с), Ni (д), РЬ (е), снятые в характеристическом рентгеновском излучении этих элементов ( $\times 450$ )

Установленные закономерности формирования паяного соединения кремния с медью раскрывают механизм процесса бесфлюсовой композиционной пайки, в частности механизм смачивания и контактного взаимодействия в системе кремний – пористая никелевая прокладка, пропитанная свинцовым расплавом. Известно, что чистый свинец не смачивает кремний в водороде даже при температурах выше 1200–1300 К [13]. Однако значительное понижение температуры смачивания кремния свинцом в условиях композиционной пайки можно объяснить с учетом установленных закономерностей следующим образом. Во-первых, контактирующая с кремнием пористая никелевая прокладка

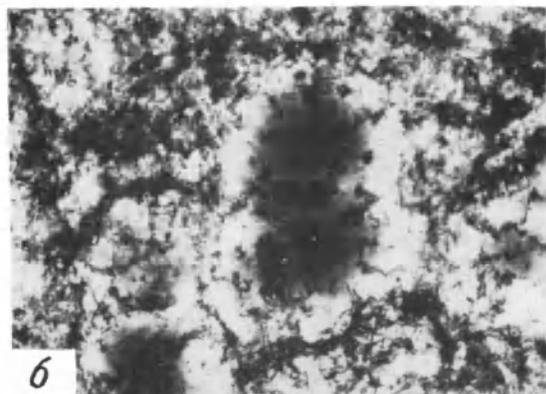
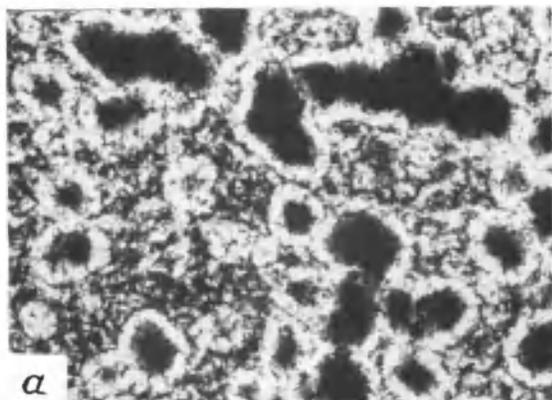


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки с увеличением  $\times 6000$  (а);  $\times 20000$  (б) и электронограмма (в) переходного слоя, образовавшегося на кремнии при пайке КП свинец–никель (температура 630 К, время выдержки 5 мин).

обеспечивает соприкосновение чистой поверхности свинцового расплава с поверхностью кремния. Во-вторых, в результате селективной адсорбции никеля на поверхности кремния из расплава свинец–никель уменьшается поверхностное натяжение на границе раздела между жидкой и твердой фазами и, как следствие этого, улучшается адгезия и смачивание. Следовательно, никель является поверхностно-активным элементом на межфазной границе свинцовый расплав – кремний. Кроме того, формирование при невысоких температурах пайки на поверхности кремния тонкого (не более 1 мкм) переходного слоя из низшего силицида никеля ( $\text{Ni}_3\text{Si}$ ), относящегося к металлическим структурам [12], обеспечивает необратимое (химическое) смачивание [14] кремния жидким раствором никеля в свинце и достаточно высокую прочность на срез соединения кремния с медью ( $\tau_{\text{ср}} \approx 3 \cdot 10^7$  Па) [3, 6].

При повышенных температурах пайки с ростом толщины слоя силицида  $\text{Ni}_3\text{Si}$  на кремнии до (5–10) мкм и более  $\tau_{\text{ср}}$  соединений уменьшается [3] из-за по-

явления значительных термомеханических напряжений, обусловленных различием температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) Si и  $\text{Ni}_3\text{Si}_2$  и приводящих в ряде случаев к разрушению силицидного слоя и отделению его от кремниевой основы.

При пайке кремния с медью КП Рь–Sn–Ni, содержащим более 30 вес.% олова, значительно снижается  $\tau_{\text{ср}}$  по сравнению с аналогичными соедине-

ниями, паянными КП Рь–Ni [4]. Разрушение места спая происходит в результате отрыва припоя от поверхности кремния, на которой не обнаруживается переходного слоя из силицидов никеля. Это обусловлено образованием интерметаллидов ( $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$  и др.) на развитой поверхности никелевой губки, препятствующих переносу атомов никеля к поверхности кремния, а следовательно, взаимодействию никеля с кремнием и формированию переходного слоя. Такой слой на кремнии не образуется, если пористая прокладка изготовлена из материала, химически не взаимодействующего с кремнием или не растворяющегося в жидком припое при температуре пайки, а также если жидкий, инактивный по отношению к кремнию припой, не обеспечивает переноса атомов материала пористой прокладки к поверхности кремния. Необходимым условием прочного спая металла с кремнием при низкотемпературной пайке металлическими припоями является образование на поверхности кремния тонкого (менее 3 мкм) переходного слоя из силицидов никеля или других материалов, которое происходит путем реактивной диффузии. Поэтому весь процесс композиционной пайки неметаллизированного кремния с металлами лимитируется диффузионными процессами в твердой фазе.

Следовательно, для успешного протекания процесса бесфлюсовой композиционной низкотемпературной пайки кремния с металлами инактивным по отношению к кремнию металлическим припоем необходимо выполнение следующих требований: хорошее смачивание и полная пропитка пористой прокладки припоем, который очищается при этом от окисных пленок; использование в качестве материала пористой прокладки силицидообразующего металла, который при температуре пайки растворяется в легкоплавком припое; обеспечение припоем переноса атомов материала пористой прокладки к поверхности кремния; формирование на поверхности кремния переходного слоя из силицидов или твердого раствора кремния в металле толщиной не более 3 мкм.

Несмотря на ряд преимуществ бесфлюсовой композиционной пайки свинцовыми припоями через пористые металлические прокладки, она имеет и некоторые недостатки. Так, при пайке по схемам, указанным на рис. 1, б, в, д, е, наличие окисных пленок на припойной прокладке 4 ухудшает смачивание металлической детали 2, что увеличивает тепловое и электрическое сопротивление контакта кремниевого кристалла с металлической деталью и не позволяет получать вакуумно-плотные соединения. Этот недостаток можно устранить путем применения многослойных припоев (например, свинцовой фольги, покрытой с двух сторон слоем легкоплавкого металла или сплава) [15, 16].

Известно, что сопротивление срезу и термоциклическая стойкость соединений кремния с медью, паянных КП свинец-никель, увеличиваются с ростом пористости никелевой прокладки [6, 9], поскольку при этом уменьшается модуль упругости КП [8] и, следовательно, концентрация напряжений в паяном соединении [6]. Поэтому для создания торцевых соединений кремний-металл высокого качества необходимо применять композиционные припои с низким модулем упругости ( $E \approx 2,5 \cdot 10^{10}$  Па), имеющие оптимальные значения пористости никелевой губки 65–80% [6]. В то же время получение тонких (менее 100 мкм) никелевых прокладок пористостью выше 60% путем прокатки никелевого порошка с последующим спеканием является трудной технической задачей. Поэтому для получения торцевых соединений кремний-металл с небольшой толщиной паяного шва (не более 60 мкм) и низким модулем упругости материала этого шва необходима разработка новых способов пайки. В работе [17] предложен способ пайки, при котором на поверхности паяемого металла создается порошковое никелевое покрытие путем нанесения пульверизатором слоя никелевой пасты, состоящей из порошка карбонильного никеля и связующего вещества, с последующим отжигом в водороде, после чего проводится пайка в среде водорода припоями на основе свинца. Полученные порошковые никелевые покрытия имели толщину и пористость соответственно 50–60 мкм и 75–85%, что позволило получить

торцевые соединения с толщиной паяного пластичного шва не более 60 мкм. При применении более высокодисперсных никелевых порошков возможно дальнейшее уменьшение толщины порошкового покрытия, а следовательно, и паяного шва.

Другим решением этой задачи является использование многослойных припоев, например, трехслойных (Ag–Pb–Ag), для монтажа полупроводникового кристалла на основание корпуса прибора путем пайки [18]. Установлено, что трехслойные припои Ni–Pb–Ni и In–Pb–In обеспечивают хорошее смачивание кремния и германия при пайке в среде водорода в диапазоне температур 650–690 К [7, 9, 15].

Разработан трехслойный припой, представляющий собой фольгу толщиной 30 мкм, изготовленную прокаткой из сплава свинец-никель и покрытую очень тонким слоем серебра. Исследования показали, что при водородной пайке этим припоем на поверхности кремния образуется переходный слой из силицидов никеля. Разработанный припой обеспечивает получение соединений кремний-металл с толщиной паяного шва 20–30 мкм; его целесообразно использовать для пайки кремния с металлами, имеющими ТКЛР, близкий к ТКЛР кремния.

На основании изложенного можно утверждать, что бесфлюсовая композиционная пайка припоями на основе свинца с применением пористой никелевой прокладки, пористых порошковых покрытий из никеля, а также пайка многослойными припоями найдут широкое применение в технологии изготовления дискретных полупроводниковых приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 424681 (СССР). Композитный материал для пайки полупроводников/И.И. Иоффе, Л.В. Мешерякова, Л.Л. Силин, В.В. Типикин, Г.Б. Федосова, А.Х. Черкасский. Оpubл. в Б.И., 1974, № 15, с. 43.
2. Яковлев Г.А. Исследование взаимодействия сплавов на основе свинца с пористым никелем в процессе композиционной пайки. – Электронная техника, Сер. 6. Материалы, 1977, вып. 11, с. 10–18.
3. Яковлев Г.А. Влияние режимов пайки на структуру и фазовый состав соединений кремния с медью, паянных композиционным припоем свинец-никель. – Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ, 1978, вып. 4, с. 101–107.
4. Яковлев Г.А. Пайка полупроводников и металлов легкоплавкими припоями с применением пористого металла. – Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ, 1978, вып. 5, с. 64–72.
5. Яковлев Г.А. Структура и прочность соединений, паянных композиционными припоями под давлением. – Электронная техника, Сер. 6. Материалы, 1978, вып. 5, с. 32–39.
6. Яковлев Г.А. Исследование физико-механических свойств припоев свинец-никелевая губка и паянных ими соединений. – Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ, 1978, вып. 8, с. 84–89.
7. Обзор по электронной технике: Пайка материалов припоями на основе свинца/Г.А. Яковлев – М., 1978. – Вып. 9 (556). Сер. Технология, организация производства и оборудование. 73 с.
8. Внутреннее трение и эффективный модуль упругости пористых и наполненных свинцом композиций на основе никеля/Золотухин И.В., Трусов Л.И., Калинин Ю.Е., Яковлев Г.А. – Физика металлов и металловедение, 1978, т. 46, вып. 6, с. 1317–1321.
9. Яковлев Г.А., Яковлев В.Г. Применение композиционных припоев системы Pb–Ni для сборки мощных полупроводниковых приборов. – Электронная техника, Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1979, вып. 1, с. 80–88.

10. Обзор по электронной технике: Физико-химические пути повышения надежности соединений, паяных легкоплавкими припоями / Ю.Д. Чистяков, Г.А. Яковлев. М., 1979, – Вып. 2 (625). – Сер. Технология, организация производства и оборудование. 41 с.

11. Пат. 1265520 (Франция).

12. Г е л ь д П.В., С и д о р е н к о Ф.Л. Силициды переходных металлов четвертого периода. – М.: Metallurgia, 1971, 584 с.

13. Б а к о в е ц В.В. Смачивание кремния свинцом, оловом и германием в атмосфере водорода и хлористого водорода. – Неорганические материалы, 1977, т. 13, № 4, с. 734–735.

14. Н а й д и ч Ю.В. Контактные явления в металлических расплавах. Киев: Наукова думка, 1972, 152 с.

15. Я к о в л е в Г.А. Изготовление вакуумно-плотных соединений германий–ковар, кремний–ковар пайкой припоями на основе свинца. – Электронная техника, Сер. Электроника СВЧ, 1979, вып. 10, с. 62–66.

16. Способ изготовления паяных соединений диэлектрик–металл при заданной толщине пластичного шва и температурах пайки менее 200°C / Яковлев Г.А., Метелкин И.И., Трубочева Г.А., Челюк Л.И. – Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ, 1979, вып. 7, с. 104–111.

17. Я к о в л е в Г.А., Ч е л ю к Л.И., Л о б о в а Э.В. Влияние никелевого порошкового покрытия на смачивание металлов припоями системы свинец–олово при пайке в среде водорода. – Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ, 1979, вып. 11, с. 67–71.

18. Пат. 3492545 (США).

*Статья поступила 23 января 1980 г.*

**О.Е. Игнашева, С.Ф. Наумова, М.И. Пыничев**

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

**Электроды ЖКИ, полученные методом обратной фотолитографии, обеспечивают однородность и хороший контраст изображения.**

УДК 621.383.9:532.783

Улучшение характеристик электродов жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) требует усовершенствования технологии выполнения их рисунка на стекле.

Метод прямой фотолитографии для получения рисунка электродов на стекле имеет недостатки, поскольку технологическая операция травления слоя металлизации вызывает большое количество дефектов поверхности электродов (вырывов, царапин, обрывов), приводящих к неоднородности, плохой контрастности и "ряби" изображения индикаторов.

В целях устранения этих недостатков были исследованы электроды жидкокристаллических индикаторов, полученные методом обратной фотолитографии, который заключается в следующем.

На предварительно очищенную стеклянную подложку наносится слой фоторезиста (ФП-383 или ФП-РН-7) и высушивается, после чего на установке контактной печати через фотошаблон производится экспонирование. На проявленную стеклянную пластинку со сформированной на ней фоторезистивной маской методом реактивного напыления наносится токопроводящая пленка из окиси индия и олова.

Затем фоторезист с напыленной на него пленкой удаляется растворителем, и пленка металлизации остается там, где она нанесена непосредственно на стекло (адгезия напыленной пленки к стеклу значительно выше ее адгезии к фоторезистивному слою).

Пластины с рисунком электродов отжигаются при 300°C в вакууме  $6,65 \cdot 10^{-3}$  Па в течение 60 мин до окончательного формирования структуры токопроводящей пленки на стекле. Операции травления и задубливания из технологического процесса исключаются.

После скрайбирования и контроля под микроскопом готовые электроды проходят все последующие операции технологического процесса изготовления ЖКИ (химическую обработку электродов, ориентацию, сборку, заполнение, герметизацию, наклейку поляроидной пленки).

Проверка полученных индикаторов на функционирование показала, что их токи потребления составляют 0,5–0,6 мА при однородном изображении и хорошей контрастности.

Изготовление электродов ЖКИ методом обратной фотолитографии исключает высвечивание токопроводящих дорожек при испытании индикаторов на влагуустойчивость, повышает качество выпускаемых электродов и открывает перспективы для автоматизации технологического процесса.

*Статья поступила 20 ноября 1979 г.*

**А.А. Родионова, В.С. Яснов**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ И ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

**Использование для химических и фотолитографических процессов растворов с преобладанием механизма десорбции примесей над механизмом адсорбции обеспечивает эффективное удаление их с поверхности полупроводника.**

УДК 621.382.002.2:776

При обработке пластин кремния в кислотных растворах происходит адсорбция примесей поверхностью полупроводника. Растворы на осно-

ве перекиси водорода и гидроокиси аммония [1], применяемые для удаления фоторезиста и химической обработки [2], не обеспечивают достаточно эффективно удаления примесей металлов Au, Cd, Cu, Fe и Zn, концентрация которых на поверхности полупроводника в результате обработки меняется незначительно (от  $10^{13}$ – $10^{14}$  до  $10^{12}$ – $10^{13}$  см<sup>-2</sup>). Кроме того, недостаточно эффективно удаляются с поверхности фоторезистивные вещества, остатки которых видны в темном поле оптического микроскопа в виде светящихся точек.

С целью поиска пути повышения качества обработки пластин проводился анализ процессов удаления позитивного фоторезиста на основе нафтохинондиазида и фенолформальдегидных смол (ФН-РН-7) с окисленных кремниевых пластин, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты удаления фоторезиста с поверхности окисленных кремниевых пластин

Метод удаления фоторезиста	Реактив	Краевой угол смачивания водой, град	Число светящихся точек в темном поле микроскопа	Характер поверхности
Химический	Диметилформамид	42 ± 2	78	Гидрофобная
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =1:3 [3]	2 ± 2	60	Гидрофильная
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :NH <sub>4</sub> OH:C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> :ПАВ [4]	2 ± 2	Отсутствуют	"
Плазмохимический	Азот	45	330	Гидрофобная

Как видно из таблицы, химическая обработка в растворе на основе перекиси водорода и гидроокиси аммония с добавлением этиленгликоля и поверхностно-активного вещества (ПАВ) обеспечивает наиболее эффективное удаление фоторезиста, создавая предпосылки для улучшения качества последующей химической обработки.

С целью повышения эффективности удаления металлических примесей после снятия фоторезиста пластины обрабатывались в буферном растворе, содержащем хлор-ионы, переводящие металлические примеси в легко растворимые и комплексобразующие соединения (табл. 2).

Таблица 2

Результаты десорбции металлических примесей с поверхности кремниевых пластин

Обработка поверхности	Концентрация примесей, см <sup>-2</sup>							
	до десорбции				после десорбции			
	Na <sup>+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Sr <sup>2+</sup>
Раствор на основе H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> :NH <sub>4</sub> OH:ПАВ (4)	1,9 · 10 <sup>11</sup>	2,8 · 10 <sup>11</sup>	1,3 · 10 <sup>11</sup>	1,1 · 10 <sup>11</sup>	9,5 · 10 <sup>10</sup>	1,5 · 10 <sup>10</sup>	2,2 · 10 <sup>10</sup>	8,3 · 10 <sup>10</sup>
Раствор на основе H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> :NH <sub>4</sub> OH:ПАВ (4), буферный раствор (5)	1,7 · 10 <sup>11</sup>	2,2 · 10 <sup>11</sup>	4 · 10 <sup>11</sup>	1,1 · 10 <sup>11</sup>	6,2 · 10 <sup>10</sup>	< 10 <sup>10</sup>	< 10 <sup>10</sup>	1,3 · 10 <sup>11</sup>
Раствор на основе H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> :NH <sub>4</sub> OH:ПАВ (4), буферный раствор (5), плазмохимическая обработка в окислительной плазме (6)	8,4 · 10 <sup>11</sup>	3 · 10 <sup>11</sup>	2,1 · 10 <sup>11</sup>	1,1 · 10 <sup>11</sup>	9,5 · 10 <sup>10</sup>	3,2 · 10 <sup>10</sup>	< 10 <sup>10</sup>	< 10 <sup>10</sup>
Плазмохимическая обработка в окислительной плазме (6)	7,9 · 10 <sup>11</sup>	2,9 · 10 <sup>11</sup>	2,7 · 10 <sup>11</sup>	1,1 · 10 <sup>11</sup>	1,7 · 10 <sup>11</sup>	3,8 · 10 <sup>10</sup>	3,3 · 10 <sup>10</sup>	4,7 · 10 <sup>11</sup>

Комплексный анализ фотолитографических и химических процессов показал возможность эффективного удаления адсорбированных на поверхности полупроводника органических и неорганиче-

ских примесей (до концентрации  $< 10^{10}$  см<sup>-2</sup>) с помощью растворов одинаковой с ними химической природы, в которых механизм десорбции примесей преобладает над механизмом адсорбции их поверхностью полупроводника.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Удаление фоторезиста в перекисно-аммиачной смеси/И.Г.Ерусалимчик, А.С.Никонов, И.П.Старшинов, О.В.Сопов, Т.М.Гончарова. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1977, вып. 7, с. 104–107.
2. Остаточные загрязнения кремниевых пластин после химических обработок/З.И.Ажажа, П.Е.Кандыба, В.И.Красовский, Г.А.Пережогин, Л.А.Юсипова. — Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1976, вып. 3, с. 73–77.
3. Ma Tso-Ping, Mac William H. — L. Effects of RF annealing on the excess charge centers in MIS dielectrics. — IEEE Journ. Sol. St. circuits, 1978, vol. 13, N 4, p. 445–454.
4. А.с. 455312 (СССР). Раствор для удаления защитного рельефа, сформированного из позитивного фоторезиста на основе нафтохинондиазидов и фенолформальдегидных смол/А.А.Родионова, А.Ф.Евстигнеева. Опубл. в Б.И., 1974, № 48, с. 85.
5. Родионова А.А. Повышение эффективности очистки кремниевых пластин. — Электронная промышленность, 1978, вып. 9, с. 69–71.
6. Berlin R.L. Automatic plasma machines for stripping photoresist. — Sol. St. Technol., 1970, vol. 13, N 6.

Статья поступила 20 ноября 1979 г.



### БИПОЛЯРНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

В.И.Никишин, В.Ф.Сьноров

Под ред. В.Ф.Сьнорова — Воронеж:

Воронежский Государственный университет,

1980. — 11 авт. л., ил.

Монография систематизирует сведения в области технологии биполярных кремниевых ИС с диэлектрической изоляцией элементов. Дана подробная сравнительная характеристика высокоэффективных с точки зрения повышения степени интеграции ИС методов изоляции элементов.

Описаны стандартные технологические процессы производства ИС на основе кремния с учетом специфики технологии ИС с диэлектрической изоляцией и дана характеристика современных способов уменьшения глубины нарушенного слоя при обработке поверхности кремния. Большое внимание уделено механизмам образования микропор в окисле и связанным с этим дефектом отказам ИС, а также способам уменьшения величины и нестабильности заряда в окисле. Рассмотрена возможность получения изолирующего окисла с помощью комбинации анодного и термического окисления кремния. Описаны методы локального окисления, обеспечения изоляционной поверхности, получения защитных пленок нитрида кремния (в том числе низкотемпературных). Указана возможность использования в качестве защитных покрытий полуизолирующих пленок.

Рассмотрены вопросы сборки, измерения параметров, испытаний, а также способы повышения надежности ИС. Книга предназначена для широкого круга специалистов по полупроводниковой радиоэлектронике и студентов вузов соответствующих специальностей.

А. В. Никитин, М. А. Никитина, Р. А. Сурис

## ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В ПРОЕКЦИОННОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

**Возможности проекционной фотолинтографии могут быть расширены до дифракционного предела благодаря правильному согласованию требований к оптической системе и точностным параметрам технологических операций.**

УДК 621.383.8:776

Среди методов создания топологических рисунков интегральных схем оптическая проекционная печать является в настоящее время и, по-видимому, останется в будущем наиболее распространенным методом изготовления фотошаблонов и в несколько меньшей степени будет использоваться для переноса изображения непосредственно на полупроводниковые пластины.

Оптические системы применяемых для этих целей установок должны обеспечивать передачу без существенных искажений изображения рисунка с характерными размерами, лежащими в микронной и субмикронной области. Рассмотрим требования к параметрам таких оптических систем и к процессу проекционной фотолинтографии, исходя из поставленной задачи формирования высококачественного изображения элементов, размеры которых находятся вблизи дифракционного предела разрешения.

Известно, что на качество изображения в проекционной фотолинтографии влияют характеристики фотошаблона-оригинала (размеры, форма и взаимное расположение топологических элементов), параметры оптической системы (апертура объектива, характер и уровень aberrаций, выбранный коэффициент редукции), свойства осветителя (в частности, мера когерентности освещающего пучка) и условия проведения процесса (общая и локальная дефокусировка, величина экспозиции, условия проявления). В данной статье анализируется влияние таких факторов, как размер элемента  $b$ , числовая апертура объектива  $A_0$ , коэффициент редукции  $\beta$  и расфокусировка  $z$ , на структуру сформированного изображения. Поскольку такой элемент, как изолированная темная или светлая полоска, является основой многих типов топологий, ограничимся здесь рассмотрением этого простейшего случая. Примем также, что используемая оптическая система (объектив) свободна от aberrаций.

В рамках таких допущений уже неоднократно

предпринимались попытки исследовать влияние упомянутых выше факторов на структуру оптического изображения. При таком рассмотрении важным фактором оказывается состояние когерентности излучения, освещающего фотошаблон, которое в публикациях на эту тему оценивается неоднозначно. Например, в работах [1–6] это излучение считается некогерентным, в [7–11] – когерентным с невысокой степенью когерентности, в [12] – полностью когерентным. Можно показать, что при использовании в проекционной фотолинтографии осветителя по Кёлеру состояние когерентности определяется угловым размером  $\alpha$  изображения источника, видимым из входного зрачка конденсора. Соответствующее этому значение параметра когерентности  $m$  [13] составляет:

$$m = \frac{\alpha/2}{A_0} = \frac{0,01}{0,03} \approx 0,3,$$

где  $A_0$  – числовая апертура объектива со стороны предмета (фотошаблона). Такое малое значение параметра  $m$  показывает, что практически мы имеем дело с высококогерентным светом. Это подтверждается малым различием распределения освещенности в изображении края полуплоскости (рис. 1), сформированном оптической системой при когерентном и частично когерентном свете [7].

Очевидно, что исчерпывающая информация о структуре и качестве оптического изображения содержится в распределении освещенности по полю изображения. Такое распределение можно рассчитать на основе теории дифракции Кирхгофа [14] почти так же, как это сделано для контактной фотолинтографии [15]. Общим для проекционной и контактной фотолинтографии является дифракция излучения на топологических элементах фотошаблона. Однако в контактной фотолинтографии дифрагировавшие лучи затем непосредственно воспринимаются близко расположенным светочувствительным слоем, в то время как в проекционной печати часть волнового фронта, образовавшегося при дифракции на элементах фотошаблона, и заключенная в пределах апертуры

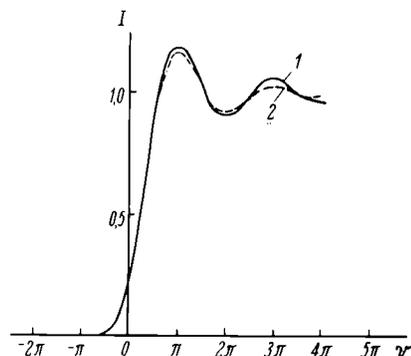


Рис. 1. Распределения освещенности в изображении края полуплоскости: 1 – при когерентном освещении ( $m = 0$ ); 2 – при частично когерентном освещении ( $m = 0,25$ )

объектива, претерпевает линзовое преобразование Фурье. В результате интерференции в пространстве за линзой создается изображение предмета, которое фиксируется светочувствительным слоем. При этом роль зазора в контактной фотолитографии здесь играет расстояние вдоль оптической оси от плоскости наилучшей фокусировки до светочувствительного слоя. Отличие этой величины от нуля, как и в контактной печати, обусловлено неплоскостностью фотошаблона и приемной пластины (местная расфокусировка), а также погрешностями операции фокусирования (общая расфокусировка). Существенным отличием проекционной печати от контактной является то, что в формировании изображения при проекционном способе участвует не весь волновой фронт, а только та его часть, которая проходит через апертурное отверстие объектива. Остальные участки волнового фронта экранируются диафрагмой и потому вклада в изображение не дают. Математически это означает, что выполняемое объективом преобразование Фурье осуществляется лишь в конечных пределах, определяемых апертурой объектива. Не участвующие в изображении члены ряда Фурье образуют сумму, которой недостает в изображении и отсутствие которой снижает разрешение изображения и вызывает его специфические искажения. Указанное ограничение волнового фронта апертурой можно рассматривать как явление дифракции на апертурном отверстии объектива. При неограниченном увеличении апертурного отверстия дифракционные искажения этого рода уменьшаются, а разрешение может стать как угодно высоким при условии, что объектив свободен от аберраций.

Исходя из скалярной теории дифракции, выражение для амплитуды световой волны в плоскости изображения (для полоски) можно записать в виде

$$E(v) = \int_{-1}^1 \frac{d\phi}{2\pi} e^{i\frac{u}{2}\phi^2 - i\phi v} \cdot 2 \frac{\sin B/2\phi}{\phi} e^{i\phi B/2}, \quad (1)$$

где  $v$  — нормальная к оптической оси безразмерная координата в плоскости изображения;  $u$  — безразмерная координата вдоль оптической оси;  $B$  — безразмерная ширина полоски;  $\phi$  — переменная интегрирования. Использование безразмерных

координат  $v$ ,  $u$  вместо обычных  $x$ ,  $z$ , безразмерной ширины полоски  $B$  вместо размерной  $b$  сильно упрощает расчеты и позволяет сократить число изменяющихся параметров. В выражении (1) не фигурирует, например, в явном виде числовая апертура  $A_0$  и коэффициент редукции  $\beta$ . Переход к обычным координатам и привязка к значениям  $A_0$  и  $\beta$  очевидны из соотношений:

$$v = \frac{kN}{1+\beta} x; \quad u = \frac{kN^2}{(1+\beta)^2} z; \quad A_0 = \frac{N}{\sqrt{(1+\beta)^2 + N^2}}; \\ k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad (2)$$

где  $N$  — относительное отверстие,  $\lambda$  — длина волны излучения. Освещенность в точке с безразмерной координатой  $v$  находим, как обычно:  $I_{\text{СВ}}(v) = [E(v)]^2$  для светлой полоски и по принципу Бабиने  $I_{\text{Т}}(v) = [1 - E(v)]^2$  — для темной.

По приведенным формулам на ЭВМ рассчитаны распределения освещенности в изображении темных и светлых полосок различной безразмерной ширины  $B = (0,6 \div 10) \pi$  и с различной расфокусировкой  $u = (0 \div 8) \pi$ . Полученные расчетные распределения позволяют проследить влияние параметров объектива и условий печати на структуру и качество оптического изображения.

Главными характеристиками таких распределений, в значительной мере определяющими весь процесс фотопечати, являются интенсивность освещенности под краем элемента в изображении  $I_{\text{кр}}$  и наклон кривой  $I(v)$  в области края (краевой градиент) [16].  $I_{\text{кр}}$  однозначно определяет уровень экспонирования, оптимальный для данного фоторезиста и фиксированных условий его проявления при данной общей освещенности рабочего поля. Величина краевого градиента определяет устойчивость процесса фотолитографии к погрешностям операций экспонирования и проявления.

На рис. 2 приведены распределения освещенности в изображении темных и светлых полосок различной ширины, сформированных одним и тем же объективом с фиксированным масштабом переноса  $\beta$  и при идеальной фокусировке. Для интерпретации этих распределений можно использовать выражение для расстояния между двумя точками  $Y$ , находящимися на пределе разрешения объекти-

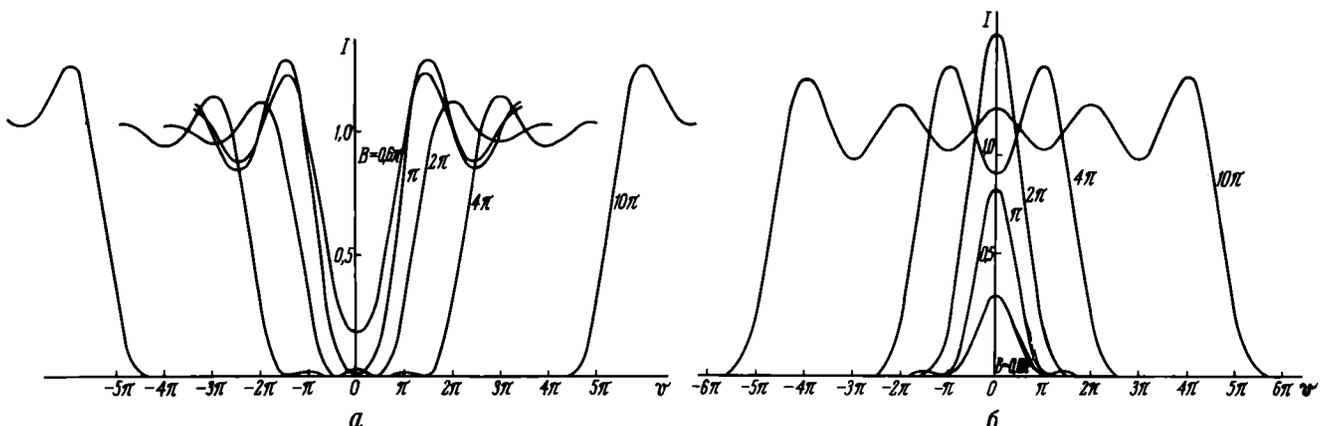


Рис. 2. Распределения освещенности, создаваемые объективом в изображении темных (а) и светлых (б) полосок различной ширины

ва с апертурой  $A_0$  [14] в соответствии с критерием Релея при когерентном освещении:

$$Y = 0,77 \frac{\lambda}{A_0} \quad (3)$$

Длина  $x$ , безразмерного отрезка  $v = \pi$  в соответствии с соотношениями (2) равна  $x_1 = \lambda/2A_0$ . Комбинируя это выражение с (3), находим:  $Y = 1,54x$ .

Таким образом, все измерения в плоскости изображения при использовании безразмерных координат производятся в единицах  $x$ , величина которых с точностью до множителя равна минимальному расстоянию, разрешаемому оптической системой; а отрезку безразмерной длины  $\pi$  соответствует величина  $0,65 Y$ . Поэтому элементом, размеры которого отвечают пределу разрешения, является полоска шириной  $B = 1,5 \pi$ . Анализ распределений освещенности для полосок большей и меньшей ширины [14] показывает, что этот предел разрешения достаточно условен. Так, при воспроизведении одиночной полоски с  $B = 0,8 \pi$ , т.е. шириной почти в два раза меньшей "каноническо-

го" предела разрешения, распределение освещенности вполне пригодно для фотолитографии (рис.3). Напомним, что распределению с  $B = 0,8 \pi$  соответствует полоска шириной  $0,61 \text{ мкм}$  при масштабе переноса  $10:1$  ( $\beta = 0,1$ ), числовой апертуре объектива  $A_0 = 0,3$  и длине волны  $\lambda = 0,436 \text{ мкм}$ . При фотолитографическом воспроизведении таких элементов лишь дозировка экспозиции должна быть в 1,5 раза точнее, чем в случае более крупных элементов, вследствие уменьшения краевого градиента.

При анализе влияния расфокусировки на формируемое изображение учитывается, что расфокусировка величиной  $u = \pi$  соответствует глубине резкости  $T = \lambda/2A_0^2$ . Как следует из рис. 4, расфокусировка в пределах глубины резкости объектива для темной полоски с  $B = 1,5 \pi$  не исключает возможности воспроизведения ее с сохранением номинального размера. Дальнейшая расфокусировка делает эту задачу невыполнимой из-за возрастания дифракционного максимума в середине изображения.

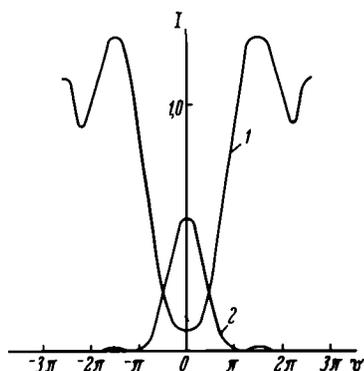


Рис. 3. Распределения освещенности в изображении темной (1) и светлой (2) полосок с  $B = 0,8 \pi$

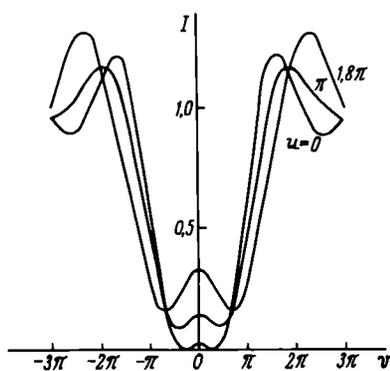


Рис. 4. Влияние расфокусировки  $u$  на характер распределения освещенности в изображении темной полоски с  $B = 1,5 \pi$

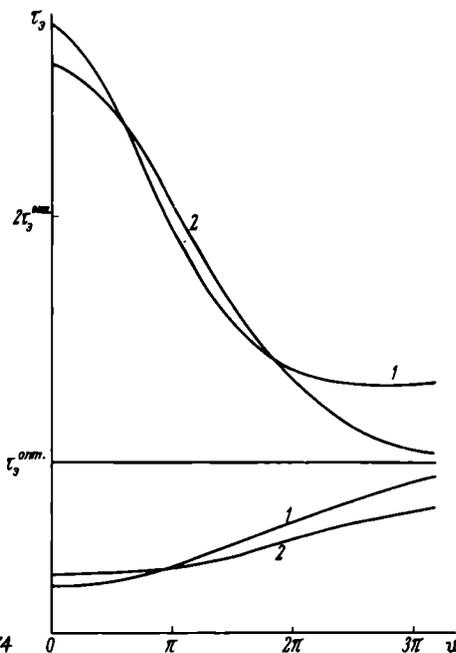


Рис. 5. Поля допустимых времен экспонирования  $\tau_3$  в зависимости от расфокусировки при фотопечати светлых (1) и темных (2) полосок с  $B = 4 \pi$ , обеспечивающих точность размеров  $\pm 10\%$

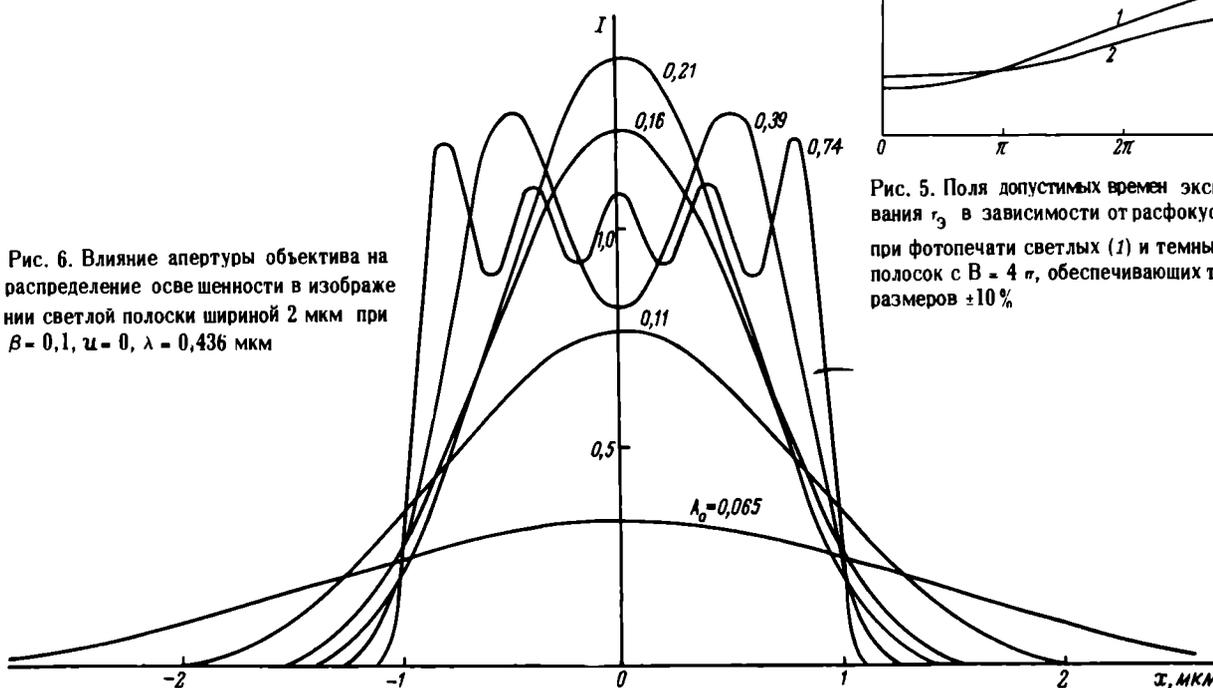


Рис. 6. Влияние апертуры объектива на распределение освещенности в изображении светлой полоски шириной  $2 \text{ мкм}$  при  $\beta = 0,1$ ,  $u = 0$ ,  $\lambda = 0,436 \text{ мкм}$

Для полосок безразмерной ширины  $B \gg 4\pi$  при довольно большой расфокусировке на 3 глубины резкости ( $u = 3\pi$ ) сохраняется возможность воспроизведения с приемлемой точностью. При этом по мере увеличения расфокусировки происходит снижение краевого градиента, следствием чего является уменьшение диапазона допустимых экспозиций для воспроизведения топологических элементов с заданной точностью размеров (рис. 5).

Эти примеры показывают, что расчетная глубина резкости есть величина достаточно условная, правильно характеризующая лишь влияние апертуры на деградацию изображения при расфокусировке и служащая естественной единицей длины вдоль оптической оси системы.

Рассмотрим влияние числовой апертуры объектива на качество воспроизведения топологических элементов. Из рис. 6 видно, что воспроизведение полоски шириной  $b = 2$  мкм в масштабе 10:1 возможно даже при использовании объективов с числовыми апертурами  $A_0 = 0,10 - 0,12$ . Преимуществом высокоапертурных объективов является увеличивающийся с ростом  $A_0$  краевой градиент и связанная с ним устойчивость фотолитографического процесса к погрешностям экспонирования и проявления (рис. 7).

Полученные зависимости хорошо согласуются с результатами ранее проведенных экспериментальных исследований [17]. Устойчивость процесса фотопечати к ошибкам экспонирования можно оценить различными способами. На рис. 7, например, даны отклонения размеров от номинала, обусловленные ошибкой экспозиции  $\Delta H = \pm 50\%$ , в зависимости от апертуры. При такой погрешности экспонирования воспроизведение полосок шириной  $b = 2$  мкм с допустимыми отклонениями размера  $\pm 0,2$  мкм ( $\pm 10\%$ ) возможно, если использовать объективы с  $A_0 \geq 0,25$ . При меньших погрешностях экспонирования допустимо применение менее светосильных объективов для получения тех же допусков на размеры. Подобные оценки можно легко выполнить и для других условий фо-

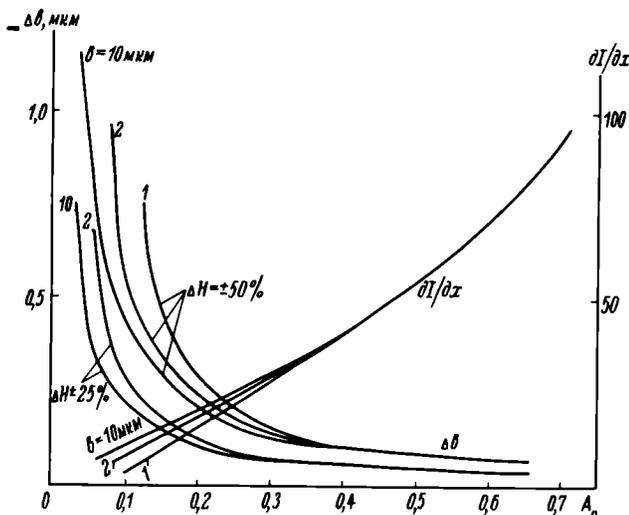


Рис. 7. Зависимость величины краевого градиента  $dI/dx$  и отклонений размеров  $\Delta\delta$  от апертуры объектива при наличии погрешностей экспонирования

топечати ( $B$ ,  $A_0$  и  $\beta$ ). Полоски шириной 2 мкм можно воспроизвести с точностью не лучше  $\pm 0,53$  мкм, если в условиях точной фокусировки пользоваться объективом с апертурой 0,1 при погрешностях экспонирования и проявления  $\pm 50\%$ . Если такая точность фотолитографии недостаточна и отклонения размеров необходимо уменьшить, например, до  $\pm 0,3$  мкм, то достичь этого можно двумя способами: либо следует при том же уровне погрешностей технологического процесса ( $\pm 50\%$ ) использовать другой объектив с повышенной апертурой (0,17, как определяется из рис. 7), либо при том же объективе следует более жестко стабилизировать технологический процесс, доведя суммарную погрешность экспонирования и проявления до  $\pm 25\%$ . Следует, однако, отметить, что увеличение числовой апертуры объектива в 1,7 раза повлечет за собой примерно трехкратное уменьшение глубины резкости, что в свою очередь может привести к возникновению дополнительных отклонений размера от номинала, если фокусировка неточна. Анализ показывает, что в приведенном примере дефокусировка величиной около 7 мкм (обусловленная кривизной пластины, на которой формируется изображение, и погрешностями операции фокусирования) уменьшит вдвое ожидаемый эффект от применения более светосильного объектива, а дефокусировка на уровне  $\pm 12$  мкм сведет преимущества высокоапертурного объектива к нулю. Если такая же полоска шириной 2 мкм воспроизводится объективом с  $A_0 = 0,23$  при том же уровне технологических погрешностей  $\pm 50\%$ , то ожидаемый разброс размеров будет  $\pm 0,22$  мкм. Снижение технологических погрешностей до уровня  $\pm 25\%$  позволит уменьшить разброс размеров до  $\pm 0,1$  мкм. Этого же результата можно достичь, увеличивая апертуру объектива до значения  $A_0 = 0,43$  и не меняя уровня технологических погрешностей. Но если фокусировка изображения несовершенна и расфокусировка достигает  $\pm 2$  мкм, то в результате этого деградация изображения полностью компенсирует ожидаемое улучшение его. Очевидно, что, если дефокусировка (ее абсолютное значение, а не точность поддержания субъективно выбранного фокуса) достигает  $\pm 2$  мкм, применение объективов с  $A_0 > 0,4$  нецелесообразно, поскольку может привести лишь к ухудшению изображения.

Изображения полоски одной и той же ширины могут быть получены с использованием объективов одинаковой светосилы, но работающих при различных кратностях переноса. Рассчитанные распределения могут быть использованы и для анализа влияния  $\beta$  на структуру изображения при неизменных остальных условиях печати. Из соотношений (2) видно, что изменения  $\beta$  вполне эквивалентны соответствующим изменениям относительного отверстия  $N$ . Зависимость величины такого действующего относительного отверстия  $N' = \frac{N}{1+\beta}$

$\beta$  приведена на рис. 8. Видно, что печать с reduцией  $\beta < 1$  обеспечивает определенные преимущества, которые отчетливо проявляются при не слишком малых  $\beta$  ( $10 > \beta > 0,1$ ). Дальнейшее уменьшение  $\beta$  мало эффективно.

Действующее относительное отверстие и соответствующая ему апертура не могут увеличиться вдвое по сравнению с  $\beta = 1$  ни при каких разумно малых значениях  $\beta$ .

Из соотношений (2) видны также преимущества использования глубокого ультрафиолетового излучения. Так, при уменьшении длины волны (увеличении  $k$ ) вдвое и неизменных  $A_0$ ,  $\beta$ ,  $u$  можно ожидать двукратного выигрыша в разрешении. Если предел разрешения объектива с  $A_0 = 0,3$  при  $\lambda = 0,436$  мкм составляет 1,1 мкм, то переход к  $\lambda = 0,200$  мкм понизит этот предел до 0,51 мкм. В идеальных условиях можно воспроизвести полоски шириной 0,25–0,3 мкм.

Достоинства глубокого ультрафиолетового излучения можно использовать и иначе. Если разрешение на уровне 1 мкм достаточно, тогда при  $\lambda = 0,200$  мкм можно пользоваться объективом с апертурой 0,14 (вместо 0,3 при  $\lambda = 0,436$  мкм). Этим двум случаям соответствуют следующие значения глубины резкости  $T$ :

$$T_{436} = \pm 2,4 \text{ мкм}, T_{200} = \pm 5,1 \text{ мкм}.$$

Таким образом, переход к более коротковолновому излучению обеспечивает либо выигрыш в разрешении, пропорциональный отношению длин волн, либо при сохранении разрешения позволяет увеличить глубину резкости, что важно при фотопечати на недостаточно плоские пластины.

На основе проведенного анализа можно сделать ряд выводов. Очевидно, что возможности проекционной фотолитографии в отношении дальнейшей миниатюризации элементов схем еще не исчерпаны. Прогресс в этом направлении зависит от правильного согласования требований к объективу и точностным параметрам операций фотолитографии.

Для воспроизведения элементов, размеры которых находятся вблизи дифракционного предела разрешения объектива, требуется точная дозировка экспозиции. Решить эту задачу можно путем освоения высокоточных и надежных в работе дозаторов энергии. Но помимо этого, для получения хорошей воспроизводимости размеров элементов требуются осветители с исключительно высокой равномерностью освещенности (0,95–0,98).

К разбросу размеров элементов ведет также и неоднородность толщины или свойств фоторезистивной пленки. Поэтому большое значение при-

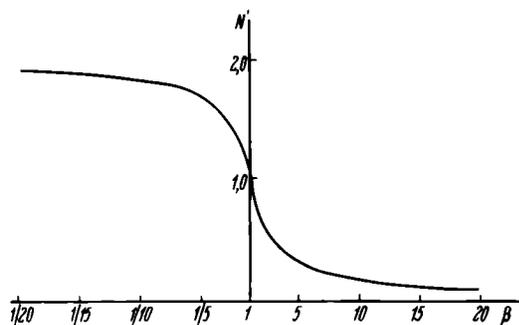


Рис. 8. Зависимость действующего относительного отверстия  $N'$  от коэффициента редукции  $\beta$

обретают жесткие стабилизация и контроль операций нанесения, сушки и проявления фоторезиста. По-видимому, необходимого уровня стабилизации режимов можно достичь в автоматизированных технологических установках или линиях, где могут быть исключены субъективные ошибки оператора.

Для воспроизведения малых элементов требуется разработка систем автоматического фокусирования, которые должны обеспечивать автоматический поиск объективно наилучшей фокусировки и последующее удержание найденной фокусировки с точностью не хуже  $\pm 0,3-0,5$  глубины резкости используемого объектива. По этим же причинам там, где это не вызвано особой необходимостью, не следует пользоваться высокоапертурными объективами, имеющими малые глубины резкости. Объективы с  $A_0 = 0,2 \div 0,3$  вполне пригодны для воспроизведения элементов с размерами около 1 мкм, если выполняются соответствующие требования к точностным параметрам технологических операций. Если же уровень технологических погрешностей остается высоким, то улучшение характеристик объектива (в частности, абберационных) их не компенсирует.

Сделанные выводы и числовые оценки справедливы в меру выполнимости допущений, положенных в основу модели. В частности, реальные объективы можно считать безабберационными лишь условно. Кроме того, для установок с пониженной когерентностью излучения следовало бы учесть отклонения от модели вполне когерентного освещения, использованной в этой работе. Тем не менее, выявленные закономерности во многих случаях должны выполняться с достаточной точностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson H. Restoration of high frequencies in photo-mask line patterns by photographic non-linearity. — Sol. St. Technol., 1967, vol. 10, N 7, p. 50–53.
2. Altman J.H. Photooptical aspects of mask technology. — Sol. St. Technol., 1969, vol. 12, N 7, p. 34–42.
3. Гуревич В.Г., Кайбанов С.Г., Шадурский С.П. Особенности распределения освещенности в плоскости оптического изображения при формировании микроизображений на фотошаблоне. — Электронная техника. Сер. 6. Микроэлектроника, 1971, вып. 5(31), с. 13–18.
4. Предко К.Г., Нисковских Б.Ф., Пятецкий Р.Е., Глазков И.М. Анализ воспроизведения изображения рисунка ИС в проекционной фотолитографии. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1974, вып. 4 (62), с. 62–69.
5. Федотов Я.А., Поль Г. Фотолитография и оптика. — М.: Берлин: Сов. радио: Техника, 1974, с. 392.
6. Введение в фотолитографию: Под. ред. В.П. Лавришева. — М.: Энергия, 1977, 400 с.
7. Varkat R. Partially coherent imagery in the presence of aberrations. — Optica Acta, 1970, vol. 17, N 5, p. 337–347.
8. Bose R., Nitsche M. Einfluss der partiellen Kohärenz auf die Optische Abbildung mit Defokussierung. — Fein-gerätetechnik, 1977, juni, 26 jg, Heft 6, S. 257–262.
9. Cuthbert J.D. Optical projection printing. — Sol. St. Technol., 1977, vol. 20, N 8, p. 59–69.
10. Watrasiewicz B.M. Image formation in microscopy at high numerical aperture. — Optica Acta, 1965, vol. 12, N 2, p. 167–176.
11. Watrasiewicz B.M. Theoretical calculations of images of straight edges in partially coherent illumination. — Optica Acta, 1965, vol. 12, N 4, p. 391–400.

12. Беспутина Н.Н., Виноградов Г.Б., Грамматин А.П. Исследование процесса формообразования микрорисунков при проекционной фотолитографии. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1974, вып. 3(82), с. 94–101.

13. Hopkins N.H. Application of coherence theory in microscopy and interferometry. — Journ. of Optical Society of America, 1957; vol. 47, N 6, p. 508–526.

14. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. — 719 с.

15. Березин Г.Н., Никитин А.В., Сурис Р.А. Оп-

тические принципы формирования изображения в контактной фотолитографии. Микроэлектроника: Сб. статей: Под ред. А.А. Васенкова. Вып. 8. М.: Сов. радио, 1975, с. 3–27.

16. Beynon J.D.F., Hall P.B., Smith J.G. Controlled diffraction as the basis of an out-of-contact masking system. — Sol. St. Technol., 1972, vol. 15, N 11, p. 29–34.

17. Войтович М.А., Гаджиева Н.А., Новиков В.М. Влияние условий съемки на качество изображения. — Электронная промышленность, 1975, вып. 6(42), с. 37–39.

Статья поступила 17 декабря 1979 г.

И. А. Кадомский, Б. Г. Киселев, Е. Е. Онегин, Г. П. Шадурский

## КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Комплект периферийного оборудования для кодирования и вычерчивания графической информации удовлетворяет требованиям современных интерактивных систем машинного проектирования различного уровня.

УДК 621.383.932

В системах машинного проектирования изделий электронной техники все чаще используются устройства кодирования и отображения графической информации. Широкое распространение получили полуавтоматические устройства кодирования, в которых автоматизирован наиболее трудоемкий процесс отсчета и фиксирования координат (разрешающая способность метода 0,025 мм на поле до 1,5 м<sup>2</sup>).

Необходимость прочерчивания фрагментов в процессе формирования топологий, имеющих большие массивы информации, и требование сокращения сроков разработок предполагают полную автоматизацию процесса отображения с точностью обработки координат  $\pm 0,2$  мм на поле размером от 0,5 до 2 м<sup>2</sup>.

Кодировщики ЭМ-719 (рис. 1) и ЭМ-719А (рис. 2) предназначены для кодирования графической информации с эскизов топологических чертежей, а ЭМ-729 (рис. 3) — для управления положением маркера графического дисплея. Измерительная часть кодировщиков выполнена по единому конструкторскому и технологическому принципу с использованием известного фазоимпульсного метода определения координат визира [1]. В основе индуктивного способа съема координат лежит регулярная ортогональная сетка проводников, над которой перемещается индуктивная катушка, закрепленная на визире. По каждой оси имеются две параллельные системы

проводников, сдвинутых на четверть шага сетки. Фаза суммарного наведенного сигнала на них зависит от положения центра возбуждения индуктивной катушки в пределах шага сетки, равно-го 2,54 см.

Система проводников координатографа ЭМ-729 выполнена в виде двусторонней печатной платы; ЭМ-719 и ЭМ-719А — из предварительно напряженных проводников, залитых эпоксидным компаундом.

Планшет кодировщиков ЭМ-719 и ЭМ-719А можно перемещать в вертикальной плоскости с помощью электродвигателя, а также вручную повернуть



Рис. 1. Кодировщик ЭМ-719

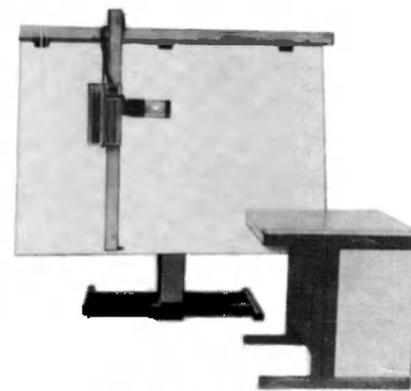


Рис. 2. Кодировщик ЭМ-719А

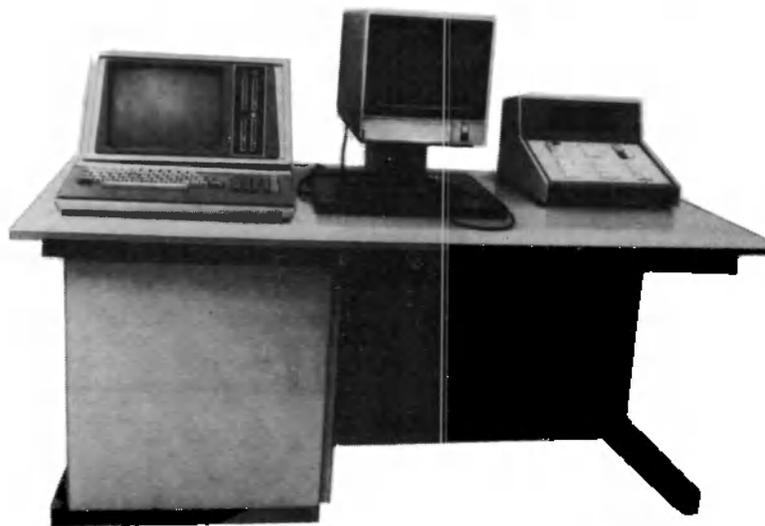


Рис. 3. Кодировщик ЭМ-729

относительно горизонтальной оси на угол в пределах от 0 до 90° и зафиксировать.

Кодировщики ЭМ-729 и ЭМ-719 входят в состав технологического оборудования системы машинного проектирования 15УТ-4-017 [2], а ЭМ-719А – в системы, оснащенные мини-ЭВМ типа "Электроника 100И".

ЭМ-719А отличается от ранее созданного кодировщика ЭМ-709 [3] более высокой производительностью и удобством в работе, а от ЭМ-719 возможностью кодирования в монологовом и диалоговом режимах, для реализации которых предусмотрены панели функциональной и буквенно-цифровой клавиатуры, расположенные на вертикальной направляющей в зоне левой руки оператора.

В периферийный комплект устройств отображения информации входят рулонный графопостроитель ЭМ-721 и планшетные графопостроители ЭМ-7022 [4], ЭМ-732, техническая характеристика которых приведена ниже.

Техническая характеристика кодировщиков графической информации

	ЭМ-719	ЭМ-719А	ЭМ-729
Рабочее поле, мм	1050x1450	1050x1450	300x300
Дискретность съема координат, мм	0,0248	0,0248	0,0248
Аппаратная точность кодирования, мм	± 0,125	± 0,125	не регламентирована
ЭВМ рабочего места	"Электроника 100-25"	"Электроника 100И"	"Электроника 100-25"

Техническая характеристика графопостроителей

	ЭМ-721	ЭМ-7022	ЭМ-732
Рабочее поле	700xрулон	1200x1600	1200x1600
Максимальная скорость перемещения, мм/с	не менее 70	250	1000
Дискретность обработки координат, мм	0,05	0,05	0,025
Погрешность обработки координат, мм	± 0,2	± 0,2	± 0,2
Число инструментов	1	1	4

Графопостроители ЭМ-721 (рис. 4) и ЭМ-7022 [4] предназначены для работы в системе 15УТ-4-017. Связь системы с графопостроителем осуществляется через две интерфейсные ячейки. Одна ячейка выполняет функцию про-

стейшего интерполятора (отработку ортогональных и наклонных линий под углом 45°) и одновременно обеспечивает подключение к каналу ЭВМ "Электроника 100-25". Приводы устройств выполнены на шаговых двигателях ШД-5Д1М с электронной форсировкой [5], в кинематических звеньях применены тросы повышенной гибкости. В рулонном графопостроителе трос используется для передачи команд на электромагнит инструмента. Применение простого интерполятора вызвано тем, что система 15УТ-4-017 выполняет аппроксимации при вычерчивании кривых второго порядка. Это позволило значительно упростить программную часть графопостроителей, создать оборудование, габариты которого определяются в основном полями черчения.

Графопостроители ЭМ-721 и ЭМ-7022, кодировщики ЭМ-719 и ЭМ-719А относятся ко второму поколению периферийного оборудования.

С целью повышения скорости вычерчивания топологии в системах машинного проектирования создан графопостроитель третьего поколения ЭМ-732 (рис. 5), укомплектованный крупноформатным линейным шаговым двигателем (ЛШД) и датчиками ускорения. Применение ЛШД с совмещенными координатами [6] предопределило ком-



Рис. 4. Графопостроитель ЭМ-721

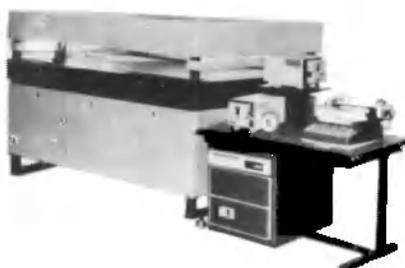


Рис. 5. Графопостроитель ЭМ-732

поновку ЭМ-732. В графопостроителе используются микро-ЭВМ "Электроника-60" [7] и накопитель на магнитной ленте IZOT-5003. Связь с системой 15УТ-4-017 осуществляется посредством магнитной ленты.

Высокие скорости вычерчивания достигаются не только благодаря новой конструкции привода, но и управлению от микро-ЭВМ, которая рассчитывает пути разгона, торможения и равномерного движения по граничным значениям ускорения и скорости перемещения пишущего инструмента. С выхода микро-ЭВМ команды, отрезки ускоренного и равномерного перемещений и значения ускорений передаются на линейный интерполятор, построенный на цифровых интеграторах. Круговая интерполяция осуществляется путем линейной аппроксимации с помощью микро-ЭВМ. В графопостроителях перемещения происходят на максимально возможных скоростях, скорости дотягивания отсутствуют, что обеспечивает увеличение средней скорости перемещений на малых отрезках [8, 9].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чеголин П.М. и др. Автоматизация преобразования сложных форм графической информации. Минск.: Наука и техника, 1973.
2. Применение мини-ЭВМ "Электроника 100-25" в автоматизированной системе схемотологического проектирования/Межов В.Е., Ратмиров Н.А., Талов И.Л., Толстых Б.Л. – Электронная промышленность, 1978, вып. 10, с. 37–41.
3. Глазков И.М. Оборудование для производства фотошаблонов и выполнения операций фотолитографии. М.: Сов.радио, 1975.
4. Вербицкий В.Ф., Киселев Б.Г., Парадинец В.В. Графопостроитель ЭМ-7022. – Наст. вып., с. 34.
5. А.с. 566242 (СССР)/Киселев Б.Г., Сушенко Г.В., Горбашкий Л.И. Оpubл. в бюл. "Открытия, изобретения. Промышленные образцы, товарные знаки", 1977, № 27.
6. Двухкоординатные линейные шаговые двигатели на магнитовоздушной подвеске Белявский Е.И., Зенькович В.А., Ляшук Ю.Ф. и др. – Электронная промышленность, 1978, вып. 6, с. 41.
7. Борисенко В.Д., Плотников В.В., Талов И.Л. Микро-ЭВМ "Электроника-60". – Электронная промышленность, 1978, вып. 10, с. 20.
8. Графические регистрирующие устройства серии АП/Басов Е.П., Зеленин С.Е., Абрамов В.Н., Соколов С.А. – Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1978, вып. 2, с. 3.
9. Особенности схем управления графических регистрирующих устройств серии АП/Басов Е.П., Абрамов В.Н., Смирнов А.А., Соколов С.А. – Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1978, вып. 2, с. 14.

Статья поступила 20 ноября 1979г.

В. Ф. Вербицкий, Б. Г. Киселев, В. В. Парадинец

## ГРАФОПОСТРОИТЕЛЬ ЭМ-7022

УДК 681.3.07:621.383.93



## Техническая характеристика

Размер рабочего поля, мм	1200x1600
Статическая погрешность вычерчивания (погрешность установки координат), мм	$\pm 0,15$
Максимальная динамическая погрешность (отклонение от расчетной траектории), мм	$\pm 0,2$
Повторяемость вычерчивания информации, мм	$\pm 0,1$
Разрешающая способность (минимальный шаг перемещения), мм	0,1
Максимальная скорость черчения по каждой оси, мм/с	250
Число пишущих инструментов	1
Габариты, мм	2030x1760x1800 (900)
Масса, кг	500

Графопостроитель планшетного типа ЭМ-7002 представляет собой развитие графопостроителей ЭМ-712, ЭМ-722 [1] и предназначен для работы в составе систем машинного проектирования.

Работа устройства основана на перемещении каретки с пишущим инструментом по двум координатам с помощью шаговых приводов. Несущей частью является корпус, на котором установлен вакуумный планшет, обеспечивающий надежное крепление носителя информации (бумаги, пленки и т.п.) к рабочей поверхности. Внутри корпуса с левой стороны расположена платформа с электрооборудованием.

Каждый из трех блоков управления шаговыми двигателями (ШД) служит для подключения одного двигателя. Перемещение по координате X осуществляется с помощью одного ШД, по координате Y — двух. В блоке управления ШД находятся источники питания и ключевые усилители для подключения фазовых обмоток двигателя.

Усилия от двух шаговых двигателей через безлюфтовые редукторы посредством тросовых систем передаются каретками Y, на которых закреплена направляющая — штанга. При этом кинематическая погрешность, вызываемая разностью угла поворота шаговых двигателей, устраняется растяжением (сжатием) тросов [2].

Каретка X с пишущим устройством приводится в движение тросом, наматывающимся на ведущий барабан. Для уменьшения статической погрешности для тросовых при-

водов координат X и Y используются разрезные барабаны с регулировкой наружных диаметров.

Функции программного управления графопостроителем в системе машинного проектирования 15УТ-4-017 выполняет ЭВМ "Электроника 100-25" через находящееся в ней устройство управления. Графопостроитель ЭМ-7022 по структуре программного управления аналогичен ЭМ-721 [3], но в нем применена более совершенная схема управления режимами разгона и торможения, что способствует повышению средней скорости черчения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бутков Ю.Г., Пермилов Е.М., Рубин Ю.А. Графопостроители ЭМ-711 и ЭМ-712. — Электронная промышленность, 1975, № 5, с. 75-77.
2. Басов Е.И. К вопросу выбора оптимальных динамических характеристик графопостроителей ЭВМ. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. Электронная вычислительная техника, 1973, вып. 4, с. 10-20.
3. Межев В.Е., Ратмиров П.А., Талон П.Л., Толстых Б.Л. Применение мини-ЭВМ "Электроника 100-25" в автоматизированной системе схематологического проектирования. — Электронная промышленность, 1978, № 10, с. 37-41.

Статья поступила 20 ноября 1979 г.

А. А. Дьяченко, И. А. Кадомский,  
Э. М. Колесник, Р. К. ФайзуллинГЕНЕРАТОР  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭМ-559

УДК 621.3.049.771.14.0022:621.383.8.004



## Техническая характеристика

Наибольший размер модуля промежуточного фотооригинала, мм	150x150
Погрешность позиционирования координатного стола, мкм	$\pm 0,5$
Производительность, экспозиций/ч	$6 \cdot 10^4$
Погрешность размеров наборного элемента, мкм при размерах элементов до 50 мкм	+1,0
50-100 мкм	+1,4
100-3000 мкм	+1,8
Параметры качества контура наборного элемента, мкм:	
неровность края	$\leq 1$
отклонение края наборного элемента от образуемого им контура элемента модуля	$\leq 2$
Невоспроизводимость установки наборного элемента в нулевом положении после поворота, мкм	$\leq 1$
Напряжение питания, В	380/220
Потребляемая мощность, кВт	2,5
Расход обеспыленного сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	15
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	20

Генератор изображений ЭМ-559 предназначен для изготовления эмульсионных промежуточных фотооригиналов (ЭПФО) методом фотонабора топологического рисунка ИС одиночными прямоугольными элементами.

В отличие от генераторов изображений ЭМ-519 и ЭМ-549 [1], в которых экспонирование фоточувствительного слоя осуществляется с остановкой координатного стола, а следовательно, с большими затратами времени в рабочем цикле, ЭМ-559 экспонирует "на ходу" (при сканировании координатного стола в направлении  $X$ ). Такое конструктивное решение позволяет существенно поднять производительность генератора изображений благодаря исключению участков разгона и торможения при экспонировании импульсным источником света, но вместе с тем предъявляет специфические требования к составным частям генератора и их конструкции. В состав генератора изображений (ГИ) входят оптико-механическое устройство, устройства управления, питания и автоматики.

Оптико-механическое устройство (ОМУ) состоит из координатного стола, фотонаборного механизма и тумбы с пневмооборудованием. Координатный стол скомпонован по типу крестового стола на аэростатических направляющих. Перемещение кареток стола с установленной фотопластиной осуществляется линейными двигателями с развернутым ротором и контролируется датчиками линейных перемещений на дифракционных решетках. Каретка, перемещающаяся по координате  $X$ , является сканирующей и максимально облегчена. Динамические характеристики координатного стола приведены на рис. 1; движение стола возможно со скоростями до 35 мм/с.

Фотонаборный механизм моделирует элементы топологии размером от 4 до 3000 мкм с возможностью их наклона к направлению перемещения кареток координатного стола под углом  $0-90^\circ$ . Ди-

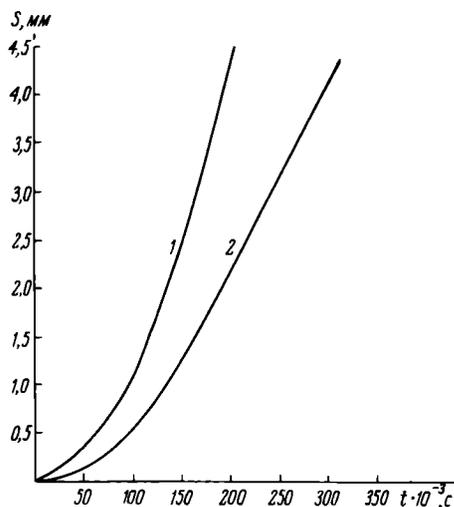


Рис. 1. Динамические характеристики координатного стола при перемещении по координатам  $X$  (1) и  $Y$  (2)

скретность изменения угла —  $0,1^\circ$ , размеров элементов топологии — 1 мкм. Фотонаборный механизм крепится к основанию координатного стола. Он содержит поворотный механизм и узел диафрагмы в виде цилиндра, внутри которого в целях пылезащиты поддерживается избыточное давление. Конструктивно диафрагма состоит из плиты и двух пар шторок, перемещающихся во взаимно перпендикулярных направлениях каретками на аэростатических направляющих. Перемещение каждой шторки осуществляется индивидуально линейным двигателем, а контроль величины перемещения производится фотоэлектрическим датчиком по типу растрового. Схема обработки сигналов датчика позволяет вырабатывать счетные импульсы через 0,5 мкм. Это дает возможность изменять размеры элемента топологии с дискретностью 1 мкм в плоскости изображений.

Выбор размера элемента топологии осуществляется одновременно двумя противоположными шторками, что позволяет благодаря уменьшению пути перемещения шторки сократить время обработки диафрагмы. Время полного раскрытия окна составляет 0,1 с.

Проекционно-оптическая система (рис. 2) состоит из высокоразрешающего проекционного объектива, ахроматизированного в области  $\lambda = 546$  нм, конденсатора и импульсного источника света. Система построена таким образом, что проекционный объектив с масштабом  $\beta = 1/10^{\times}$  создает изображение окна диафрагмы в рабочей плоскости фотопластины, которая устанавливается в кассету на каретке координатного стола.

В комплект ГИ входят сменные кассеты, которые позволяют работать на фотопластинах ВРП размерами 76×76; 102×102; 127×127; 153×153 мм.

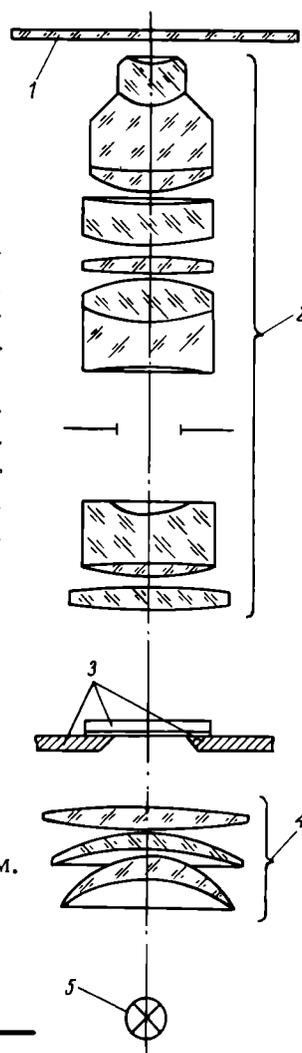


Рис. 2. Проекционно-оптическая система генератора изображений: 1 — фотопластина; 2 — объектив; 3 — шторки диафрагмы; 4 — конденсор; 5 — импульсный источник света

Устройство управления состоит из блока управления (БУ) и ЭВМ "Электроника 60" [2]. Использование ЭВМ в составе ГИ позволило программно и аппаратно совместить его с системой машинного проектирования топологических рисунков ИС 15УТ-4-017 [3], расширить его технические возможности, повысить производительность, надежность, а также уровень автоматизации.

На ЭВМ возложены функции ввода информации, ее преобразования и хранения, обмена с управляющим устройством, диагностики состояния устройств, управления скоростями координатной системы, внесения коррекций, вывода на печать оперативной информации о работе генератора.

Блок управления совместно с ЭВМ обеспечивает управление устройствами, которое осуществляется через шесть адресно-доступных для ЭВМ регистров, расположенных в интерфейсных платах. Обмен информацией между регистрами и ЭВМ осуществляется посредством программных операций с использованием средств прерывания или программных операций с опросом флага.

Все регистры и счетчики БУ, находящиеся под управлением ЭВМ, объединены единым информационным каналом данных управления (КДУ), представляющим собой 16 реверсивных шин, по которым данные могут быть переданы от ЭВМ устройству или от устройства в ЭВМ.

Управление ГИ производится с клавиатуры ЭПМ "Консул 260". Управляющая программа ГИ предусматривает диалог с оператором, т.е. ЭПМ печатает сообщение о выполнении заданных оператором процессов, директивы для продолжения диалога, задание технологических припусков в пределах  $\pm 9$  мкм.

Для проверки работоспособности устройств и удобства наладки БУ в его составе имеется модуль контроля, который обеспечивает звуковую сигнализацию по команде от ЭВМ; звуковую и световую индикацию при нарушении работы датчиков линейных перемещений; автономную проверку, а также цифровую и световую индикацию состояния счетчиков.

Генератор предназначен для работы при температуре  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$  относительной влажности воздуха 40–60%, чистоте воздуха по содержанию пыли не более 0,5 мкм в 1 л по прибору АЗ-5.

Конструктивно предусмотрена установка ОМУ в зону повышенной пылезашитенности и термостабилизации. Для обеспечения работы ГИ необходима пневмосеть (ГОСТ 11882-73) с давлением 0,4–0,6 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комплект оборудования для изготовления фотошаблонов / В.И.Мальто, И.А.Кадомский, Я.А.Райман, Э.И.Тряков. — Обмен опытом в радиопромышленности, 1977, № 7, с.36–37.

2. Онегин Е.Е. Микро и мини-ЭВМ в оптико-механическом оборудовании. — Электронная промышленность, 1979, вып.6, с.15–16.

3. Применение мини-ЭВМ "Электроника 100-25" в автоматизированной системе схематологического проектирования / В.Е.Мезов, Н.А.Ратмиров, И.Л.Талов, Б.Л.Толстых. — Электронная промышленность, 1978, вып.10, с.37–41.

Статья поступила 10 января 1980 г.

Н.В.Гревцев, А.Д.Кривоспицкий,  
Ю.Ф.Семенов

## ИСТОЧНИКИ "МЯГКОГО" РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СБИС

**Из всех источников "мягкого" рентгеновского излучения для рентгенолитографии наиболее предпочтительны рентгеновские трубки с вращающимися анодами из алюминия и кремния.**

УДК 621.3.049.771.14.029.75

Успехи, достигнутые в микроэлектронике, в значительной степени объясняются широким использованием фотолитографических процессов. Однако переход к производству БИС и СБИС с элементами микронных и субмикронных размеров потребует применения новых методов их получения, таких, как электронная литография и рентгенолитография. Установки электронно-лучевой литографии могут быть использованы не только для производства шаблонов, но и для непосредственного формирования рисунка на пластине, а рентгеновские установки — для переноса изображения с шаблона на пластину [1, 2]. Однако ряд сложных проблем, связанных с промышленным использованием новых методов получения структур с субмикронными размерами элементов, еще не решен. Особенно это относится к рентгенолитографии. Поэтому рассмотрение пути развития и возможностей этого метода представляет определенный интерес.

В зависимости от производительности, размеров элементов ИС и типа систем совмещения рентгенолитография может развиваться по двум направлениям:

— использование излучения с  $\lambda = 0,4 + 1,3$  нм рентгеновских установок с вращающимся анодом, относительно простых систем совмещения, достаточно чувствительных ( $\sim 5$  Дж/см<sup>2</sup>) негативных резистов, обеспечивающих разрешение 0,5 мкм и требующих продолжительности экспонирования не более 1 минуты, для изготовления ИС с размерами элементов 0,5–1,0 мкм;

— использование синхротронного излучения с  $\lambda = 1,0 \div 2,5$  нм. более сложных, чем в первом на-

правлении, систем совмещения, менее чувствительных, но обладающих высокой разрешающей способностью позитивных резистов типа полиметилметакрилата (РММА), обеспечивающих изготовление многослойных структур с размерами элементов 0,05–0,5 мкм.

В данной статье рассмотрено первое направление и, в частности, перспектива создания мощных источников "мягкого" рентгеновского излучения, которые могут применяться в промышленном производстве интегральных схем, обеспечивая производительность, достигнутую обычными методами фотолитографии.

В настоящее время в качестве источника рентгеновского излучения используются установки с анодами из меди, алюминия, молибдена, кремния, родия, палладия, серебра. В процессе рентгенолитографии (рис. 1) пучок электронов, эмиттируемый электронной пушкой, фокусируется на металлическую мишень, в результате чего генерируется рентгеновское излучение, которое проходит сквозь окно вакуумной камеры, рентгеновский шаблон, на котором из материала, хорошо поглощающего рентгеновское излучение, сформирована топология схемы, и попадает на чувствительный к "мягкому" рентгеновскому излучению слой (резист), нанесенный на рабочую поверхность подложки. Окно вакуумной камеры изготавливается из относительно прозрачного для рентгеновского излучения материала (лучше всего бериллия) и отделяет камеру с высоким вакуумом для электронной пушки от камеры для экспонирования, которая заполняется гелием или откачивается до давления не хуже 1,33 Па. При экспонировании в рентгенолитографии учитываются следующие параметры:  $d$  – диаметр фокусного пятна электронного пучка,  $R$  – расстояние от фокуса до шаблона,  $S$  – величина зазора между шаблоном и рабочей пластиной, которые обычно выбираются таким образом, чтобы сократить время экспонирования и получить минимальные по сравнению с шириной линии воспроизводимого рисунка, размытость изображения  $\delta = \frac{Sd}{R}$

и искажение геометрии рисунка  $\Delta = \frac{SL}{2R}$  ( $L$  – диаметр рабочей пластины). Это вполне достижимо при  $d \approx 1$  мм,  $R = 50$  см,  $S \approx 10$  мкм (данное значение  $S$  принято для того, чтобы не допустить контактирования маскирующего слоя шаблона и выступов на рабочей пластине).

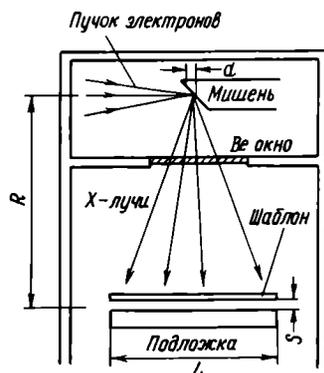


Рис. 1. Схема процесса рентгенолитографии

При рассмотрении параметров рентгеновской установки экспонирования необходимо учитывать, что рентгеновское излучение последовательно поглощается материалом окна вакуумной камеры, шаблоном и затем резистом. Доза энергии  $D$ , поглощенной единицей объема резиста за время  $T$ , равна

$$D = T \frac{(I_M - I_P)}{X_P} = T \frac{[I_M - I_M \exp(-\mu_P X_P)]}{X_P} = T \frac{I_0}{X_P} [1 - \exp(-\mu_P X_P)] [\exp(-\mu_V X_V - \mu_M X_M)], (1)$$

где  $I_M = I_0 \exp[-(\mu_V X_V + \mu_M X_M)]$  – плотность потока рентгеновского излучения, прошедшего через окно вакуумной камеры и маску (шаблон);  $I_P$  – плотность потока рентгеновского излучения, прошедшего через резист;  $\mu_P$ ,  $\mu_V$  и  $\mu_M$  – линейные коэффициенты поглощения рентгеновского излучения материалами резиста, окна вакуумной камеры и маски;  $X_P$ ,  $X_V$ ,  $X_M$  – толщины резиста, окна вакуумной камеры и маски;  $I_0$  – исходная плотность потока рентгеновского излучения в Вт/см<sup>2</sup>. Так как на практике важно знать минимальное время экспонирования резиста определенной чувствительности на заданной длине волны, то из выражения (1) определяем  $T$ :

$$T = \frac{D X_P}{I_0 [1 - \exp(-\mu_P X_P)]} \exp[\mu_V X_V + \mu_M X_M].$$

Известно [3], что время экспонирования резиста минимально при ускоряющем напряжении электронного пучка, бомбардирующего мишень, ~20 кВ. В табл. 1 приводятся значения удельной яркости излучения некоторых материалов анодов (мишеней) и удельной плотности потока рентгеновского излучения на расстоянии 50 см от фокуса.

Для того, чтобы время экспонирования было минимальным, целесообразно в качестве материала

Таблица 1  
Удельная яркость излучения и удельная плотность потока рентгеновского излучения различных материалов мишени

Материал мишени (линия излучения)	Удельная яркость, мВт/ср.Вт	Ускоряющее напряжение, кВ	Удельная плотность потока $\times 10^{-4}$ Вт/см <sup>2</sup> /кВт
Cu <sub>L</sub>	0,019	8	7,5
Al <sub>K</sub>	0,055	20	22
Si <sub>K</sub>	0,060	20	24
Mo <sub>L</sub>	0,053	20	21,5
Rh <sub>L</sub>	0,065	20	26
Pd <sub>L</sub>	0,068	20	27,5

Таблица 2

Величина комплексной характеристики экспонирования (кВт·с) при различных длинах волн рентгеновского излучения для кремниевых и майларовых шаблонов

Материал окна	Толщина окна, мкм	Толщина шаблона, мкм	$Cu_L$ $\lambda = 1,33$ нм		$Al_K$ $\lambda = 0,834$ нм		$Si_K$ $\lambda = 0,713$ нм		$Mo_L$ $\lambda = 0,541$ нм		$Rh_L$ $\lambda = 0,46$ нм		$Pd_L$ $\lambda = 0,437$ нм		
			Si	майлар	Si	майлар	Si	майлар	Si	майлар	Si	майлар	Si	майлар	
			Бериллий	10	2	1200	1375	390	399	423	430	865	849	1120	1111
3	2000	2441			460	452	462	469	908	882	1153	1136	1218	1194	
4	3200	3771			518	523	492	508	937	920	1190	1169	1247	1220	
5	4000	6917			575	598	531	561	989	950	1223	1196	1278	1247	
15	2	2000			2371	437	459	462	469	908	898	1149	1136	1210	1202
3	3200	4150		483	572	500	512	957	932	1182	1162	1244	1230		
4	4400	6640		575	603	531	564	983	969	1219	1205	1278	1259		
5	8000	12205		644	697	577	612	1039	1002	1256	1227	1311	1278		
30	2	9900		11857	667	703	600	616	1010	996	1237	1223	1285	1273	
3	16000	20750		759	809	652	673	1069	1038	1273	1253	1305	1294		
4	20000	33200		874	927	698	739	1102	1077	1316	1292	1329	1329		
5	32000	61481		966	1059	769	802	1159	1159	1353	1322	1363	1356		
Майлар	3	2		2000	—	437	—	455	—	898	—	1146	—	1198	—
		3		3200	—	499	—	492	—	944	—	1180	—	1231	—
		4		4400	—	561	—	526	—	977	—	1216	—	1265	—
		5	8000	—	685	—	577	—	1030	—	1253	—	1299	—	
		6	2	9900	—	658	—	588	—	998	—	1237	—	1280	—
	3	16000	—	742	—	644	—	1056	—	1273	—	1314	—		
	4	20000	—	834	—	697	—	1088	—	1315	—	1354	—		
	5	31000	—	943	—	750	—	1143	—	1353	—	1380	—		

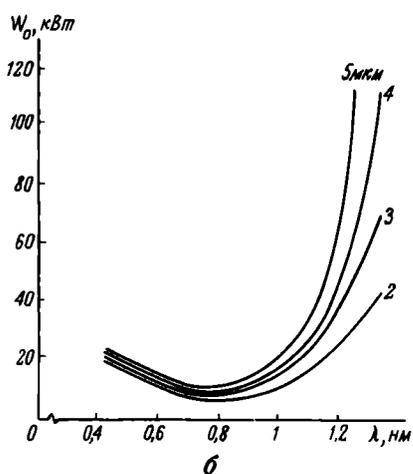
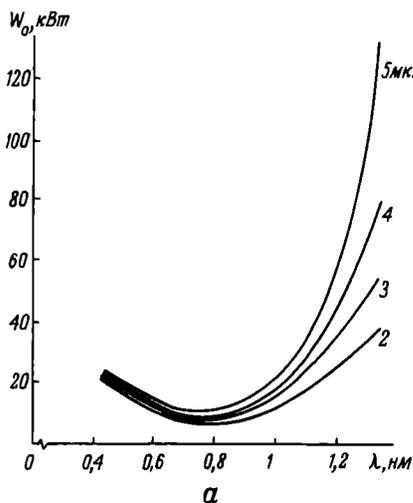


Рис. 2. Зависимость мощности рентгеновской трубки установки экспонирования от длины волны излучения при толщине бериллиевого окна 15 мкм, шаблона из кремния (а) и майлара (б) толщиной 2, 3, 4 и 5 мкм для времени экспонирования 1 мин

ла для окна вакуумной камеры использовать бериллиевую фольгу или полимерные пленки (майлар), так как они имеют малый коэффициент поглощения рентгеновского излучения при отсутствии краев поглощения в области 0,4–1,3 нм, а для мембран шаблонов – кремний или полимерные материалы (полиимид). Результаты исследования зависимости комплексной характеристики экспонирования (кВт·с) от длины волны излучения  $Cu_L$ ,  $Al_K$ ,  $Si_K$ ,  $Mo_L$ ,  $Rh_L$ ,  $Pd_L$  для различных материалов и толщин окна вакуумной камеры и шаблона при использовании слоя высокочувствительного рентгеновского негативного резиста ( $5 \text{ Дж/см}^2$ ) толщиной  $X_p = 0,5 \text{ мкм}$  приведены в табл. 2.

На рис. 2, а, б ярко выражен минимум мощности рентгеновской трубки установки экспонирования ( $\sim 10 \text{ кВт}$ ) на длинах волн  $Si_K$ - и  $Al_K$ -излучения при толщине бериллиевого окна 15 мкм и шаблона от 2 до 5 мкм для времени экспонирования  $t_{\text{экс}} \leq 1 \text{ мин}$  (при таком  $t_{\text{экс}}$  установка может использоваться в промышленном производстве ИС).

Увеличение или уменьшение длин волн по сравнению с указанными требует увеличения мощности, необходимой для экспонирования при заданном времени  $\leq 1 \text{ мин}$ , или увеличения времени при невозможности увеличить мощность. Это объясняется тем, что для длинноволнового излучения ( $Cu_L$ ) материал шаблона и окна имеет большой коэффициент поглощения, а следовательно, будет мал поток рентгеновских квантов, прошедший через эти материалы и падающий на резист. Для коротковолнового излучения  $Mo_L$ ,  $Rh_L$ ,  $Pd_L$  коэффициент поглощения материалов окна и шаблона

мал, резиста – еще меньше. При этом большой поток излучения, прошедший через материал окна и шаблона, будет мало поглощаться резистом.

Из рис. 2 и табл. 2 следует, что оптимальными для обеспечения минимального времени экспонирования являются источники с алюминиевыми и кремниевыми анодами.

Для того, чтобы определить, какой источник рентгеновского излучения предпочтительней в рентгенолитографии, рассмотрим контрастность рентгеновских шаблонов к этим излучениям.

Как известно, контрастность шаблона  $\Gamma_M$  может быть получена как отношение величины потока рентгеновского излучения, прошедшего через мембрану, к величине потока, прошедшего сквозь поглощающий материал рисунка толщиной  $h$ :

$$\Gamma_M = \exp(\mu_M h_M).$$

Эта величина определяется не материалом и толщиной мембраны, а только поглощающим материалом рисунка, коэффициент поглощения которого зависит от  $\lambda$ . Обычно в качестве поглотителя используется золото.

Степень контрастности при использовании золотого маскирующего рисунка толщиной от 0,1 до 0,5 мкм для излучений с  $\lambda = 0,377 \div 1,23$  нм показана на рис. 3.

Как видно из рисунка, при малой толщине  $h$  золотого маскирующего покрытия контрастность слабо зависит от длины волны. При увеличении толщины покрытия минимум контрастности наблюдается при  $Nb_L$ -излучении ( $\lambda = 0,572$  нм). Объясняется это тем, что при длине волны, близкой к этой величине, коэффициент поглощения Au имеет провал, а при  $\lambda \leq 0,549$  нм следует его резкое увеличение, что приводит к значительному повышению контрастности при  $\lambda \approx 0,541$  нм ( $Mo_L$ -излучение). Контрастность золотого покрытия на  $Si_K$  излучении так же невелика, как и на  $Nb_L$ -излучении.

Следовательно, применение  $Si_K$  и  $Nb_L$ -излучения при использовании маскирующего покрытия из Au в рентгенолитографии менее предпочтительно, чем других излучений. Поэтому для  $Si_K$ -излучения необходимо подбирать такой маскирующий материал, который обеспечил бы необходимую контрастность при переносе изображения интегральных схем.

В связи с перспективностью использования установок рентгеновского экспонирования в рентгенолитографии большой интерес представляют их мощностные ограничения. Существуют два вида рентгеновских установок: с неподвижным и с вращающимся анодами. Мощность рентгеновской трубки ограничена количеством теплоты, выделяемой на аноде под воздействием электронного пучка. Для неподвижного анода, охлаждаемого водой, предельно допустимая рассеиваемая мощность составляет [4]

$$W_{\max} = 4,25 (T_m - T_0) K b, \quad (2)$$

где  $T_m$  – температура плавления материала анода;  $T_0$  – температура воды после охлаждения анода;  $K$  – теплопроводность материала ( $Вт/м^2C$ );  $b$  – радиус фокусного пятна в м.

Из выражения (2) видно, что предельно допустимая мощность рентгеновской трубки зависит от свойств материала анода. С увеличением температуры плавления и теплопроводности мощность рентгеновской трубки может быть выше. При увеличении размера фокусного пятна мощность излучения трубки также увеличивается, однако это отрицательно сказывается на разрешении.

Таблица 3  
Зависимость предельной рассеиваемой мощности рентгеновских трубок от свойств материала неподвижных анодов

Материал анода	$T_m, ^\circ C$	$K, 10^2 \text{ Вт/м}^2 C$	$W_{\max}, \text{ Вт}$
Cu	1083	4,00	810
Al	660	2,07	240
Si	1410	1,67	460
Mo	2610	1,62	650
Rh	1966	1,25	490
Rd	1552	0,762	234
Nb	2497	0,53	270

Из табл. 3, в которой приведены расчетные значения предельных мощностей рентгеновских трубок с анодами из различных материалов при диаметре фокусного пятна в 1 мм, видно, что максимальная мощность рентгеновской трубки с неподвижным анодом не превышает 1 кВт, что недостаточно для времени экспонирования  $\leq 1$  мин (см. рис. 2 а, б). Кроме того, как правило, коэффициент теплопроводности материалов (за исключением Al и Nb) при увеличении температуры падает, следовательно, значение предельной рассеиваемой мощности будет еще меньше. Поэтому целесообразнее для рентгенолитографии конструировать установки с вращающимся анодом, для которого предельная рассеиваемая мощность составляет [5, 6]

$$W_{\max} = 4,04 (T_m - T_0) b_2 \sqrt{b_1 K \rho C v}, \quad (3)$$

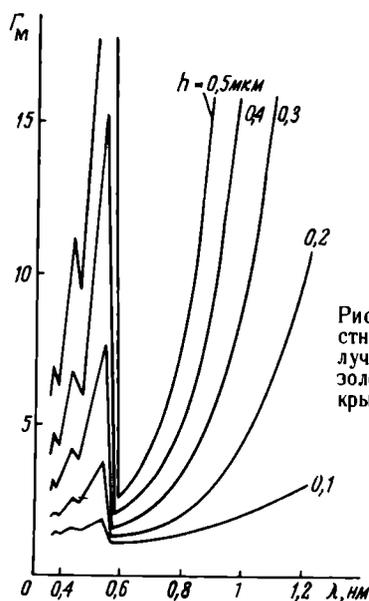


Рис. 3. Зависимость контрастности от длины волны излучения при использовании золотого маскирующего покрытия

где  $b_2 = 0,5$  см;  $b_1 = 0,05$  см;  $\rho$  — плотность материала анода в  $\text{кг/м}^3$ ;  $C$  — удельная теплоемкость материала анода в  $\text{Дж/кг}^\circ\text{C}$ ;  $v$  — линейная скорость перемещения поверхности анода относительно фокуса в  $\text{м/с}$ .

По формуле (3) были рассчитаны  $W_{\text{max}}$  для рентгеновских трубок с вращающимися анодами из различных материалов. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние свойств материала вращающихся анодов на предельные рассеиваемые мощности рентгеновских трубок

Материал анода	Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	$C, \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$	$K, \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$	$\Delta T = (T_m - T_0)^\circ\text{C}$	$W_{\text{max}} / \sqrt{v}, \times 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{м}^{-1/2}$
Cu	8,9	375	400	950	172
Al	2,7	902	207	550	603
Si	2,42	796	167	1300	105
Mo	9,01	279	162	2500	228
Rh	12,44	248	125	1850	164,1
Rd	12,16	240	762	1450	97,7
Nb	8,4	267	53	2400	118,2

Линейная скорость  $v$  перемещения поверхности анода относительно электронного пучка меняется путем изменения радиуса или частоты вращения анода. Однако увеличение частоты вращения ограничено способностью материала анода отдавать тепло, полученное при бомбардировке его локального участка пучком электронов за время одного оборота. В настоящее время достижима скорость  $v = 20$  м/с. Из рис. 4 видно, что при одном и том же значении  $v$  наибольшую рассеиваемую мощность можно получить в рентгеновских трубках с анодами из Mo и Rh (благодаря большим значениям  $\Delta T$  и  $\rho$ ) и из Cu (благодаря большим значениям  $K$  и  $\rho$ ). Мощность, получаемая при использовании Al анода, минимальна, но достаточна для переноса изображения за время меньше минуты при достаточной контрастности рентгеновских шаблонов к  $\text{Al}_K$ -излучению. Из рис. 2, 3 и 4 видно, что рентгеновские трубки с вращающимися анодами из Mo, Rh, Nb и Pd при  $v = 20$  м/с, а также с анодами из Si и Al являются удовлетворительными, поскольку создают мощность значительно большую, чем требуется при времени экспонирования  $\leq 1$  мин. Однако длина свободного пробега электронов, инжектируемых рентгеновским излучением из Nb-, Mo-, Rh- и Pd- анодов, в резисте велика для получения рисунка ИС с размерами

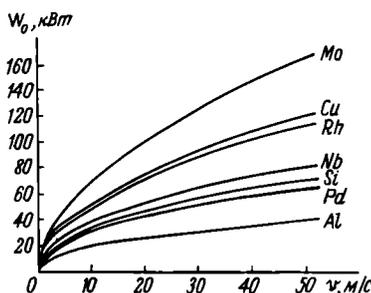


Рис. 4. Зависимость величины рассеиваемой на вращающемся аноде мощности от линейной скорости точек поверхности анода

0,5–1,0 мкм. Как показано в работе [7], максимальная длина свободного пробега электрона (табл. 5) с энергией  $E$  в веществе с плотностью  $\rho$ , порядковым номером  $Z_3$  и атомным весом  $A_3$  определяется по формуле

$$l_3 = 6 \times 10^{-6} \frac{A_3}{Z_3} \frac{E^{1,4}}{\rho} [\text{см}].$$

Таблица 5

Расчетные значения максимальной длины свободного пробега электрона в веществе с плотностью  $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , при  $\frac{A_3}{Z_3} = 2$

Материал анода	Cu	Al	Si	Nb	Mo	Rh	Pd
$\lambda, \text{ нм}$	1,334	0,834	0,713	0,572	0,541	0,46	0,437
$l_3, \text{ нм}$	90	114	210	296	318	395	430

По результатам экспериментальных исследований эффективное значение длины свободного пробега электронов приблизительно в два раза меньше, чем расчетное; так для  $\text{Al}_K$ -излучения  $l_{3, \text{эфф}} = 60$  нм [8], то аналогично для Mo-, Rh- и Nb-мишеней значение  $l_{3, \text{эфф}}$  все же велико (более 0,1 мкм).

На основании рассмотренных данных можно сделать заключение о применимости различных установок экспонирования в рентгенолитографии.

Установки с анодами из меди ( $L$ -излучение) из-за низкой проникающей способности излучения через материал окна и шаблона имеют ограниченное применение и могут использоваться только при малых толщинах ( $\leq 10$  мкм) бериллиевых окон вакуумных камер и мембран рентгеновских шаблонов толщиной менее 1 мкм. Применение установок с Nb-, Mo-, Rh-, Pd- анодами ( $L$ -излучение) также ограничено из-за большой длины свободного пробега электронов, отрицательно влияющей на разрешение; их можно использовать только для изготовления структур с размерами элементов более 1 мкм.

Поэтому наиболее предпочтительны установки с анодами из алюминия и кремния ( $K$ -излучение), имеющие минимальное время экспонирования менее 1 мин, предел разрешения менее 1 мкм при достаточной толщине окон вакуумных камер и мембран шаблонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. M c D e r m o t t J. E-beam and x-ray technology—a must for the high density ICs of the 1980. — Electron Des., 1978, 2 vol. 26, N 13, p. 40–44.
2. L y m e n J. X-ray lithography gains ground. — Electronics, 1978, vol. 51, N 15, p. 84–86.
3. S i l l i v a n P. A., H. M e C o y J. Determination of wavelength and Excitation voltage for x-ray lithography. — IEEE Transaction Electron Devices, 1976, vol. ED-23, N 4, p. 412–418.
4. M ü l l e r A. On the input limit of an x-ray tube with circular focus, 1927, Proc. Roy. Soc. A, vol. 117, p. 30–36.
5. M ü l l e r A. Further estimatas of the input limits of x-ray generators, 1931, Proc. Roy. Soc. A, vol. 132, p. 646–654.
6. M ü l l e r A. Asspinning target x-ray generator and its input limit, 1929, Proc. Roy. Soc. A, vol. 125, p. 507–512.

7. Брошштейн Н. М., Фрайман В. С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука, 1969, с. 88.

8. Влияние фото- и ожо-электронов подложки на процесс экспонирования в рентгенолитографии/ В.С.Корсаков, А.И. Криво-сплицкий, В.А.Кудряшов, В.П.Лавришев, С.Н. Мазуренко. -Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1978, вып. 5, с. 19-25.

Статья поступила 30 января 1980 г.

Ю. М. Александров, Н. В. Гревцев,  
А. Д. Кривоспицкий, Ю. Ф. Семин, М. Н. Якименко

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИТОГРАФИИ

Использование в рентгенолитографии электронного накопительного кольца с энергией электронов 0,8 ГэВ и током пучка 1 А в качестве оптимизированного источника синхротронного излучения позволяет получать структуры с размерами элементов 0,05 мкм при времени экспонирования, приемлемом для промышленного производства СБИС.

УДК 621.3.049.77.002.2:776

Рентгеновская литография является одним из перспективных методов получения СБИС с субмикронными размерами элементов. Известно, что применение рентгеновских трубок с вращающимися анодами для рентгеновской литографии при использовании достаточно чувствительных (5 Дж/см<sup>2</sup>) негативных резистов с разрешением 0,5 мкм и времени экспонирования ≤ 1 мин дает возможность изготавливать микросхемы с размерами элементов 0,5–1,0 мкм [1, 2]. Изготовление схем с размерами элементов 0,05–0,5 мкм требует применения менее чувствительных (500 Дж/см<sup>2</sup>), но обладающих высокой разрешающей способностью позитивных резистов типа полиметилметакрилата (РММА), для которых, необходимо длительное экспонирование (несколько часов), что неприемлемо для промышленного производства. Решить эту проблему можно путем применения нового типа источников рентгеновского излучения — синхротронов или электронных накопительных колец, генерирующих синхротронное излучение [3, 4]. При этом стандартная схема процесса рентгеновской литографии [2] (облучение нанесенного на образец резиста через шаблон с рисунком схемы из непрозрачного для излучения материала) сохраняется, но вместо обычных рентгеновских лучей ис-

пользуется излучение релятивистских электронов, циркулирующих по замкнутой орбите в ускорителе-синхротроне или электронном накопительном кольце. Это излучение характеризуется прежде всего высокой интенсивностью и малой расходимостью пучка, что обеспечивает высокое качество создаваемых изображений. Большая интенсивность излучения позволяет работать на длинах волн 2,0–5,0 нм. При этом повышается контрастность кремниевых шаблонов, что очень важно при создании схем с субмикронными размерами, и в то же время становится возможным использование в рентгеновской литографии РММА, разрешающая способность которого на этих длинах волн излучения лучше 0,01 мкм.

Рассмотрим свойства синхротронного излучения (СИ).

Из всех его характеристик наиболее важной для рентгеновской литографии является спектральное распределение, которое описывается формулой [3]

$$I(\lambda) = \frac{3^{5/2}}{16\pi^2} \cdot \left(\frac{e^2 c}{R^3}\right) \gamma^7 y^3 \int_y^\infty K_{5/3}(\eta) d\eta, \quad (1)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $c$  — скорость света,  $K_{5/3}(\eta)$  — функция Макдональда,  $\gamma = E/m_0 c^2$  — релятивистский фактор излучающего электрона с энергией  $E$ ,  $R$  — радиус кривизны траектории электрона в точке излучения и  $y = \lambda_c/\lambda$ , где  $\lambda_c$  — критическая длина волны, определяющая диапазон длин волн, в котором излучение наиболее интенсивно:

$$\lambda_c = \frac{4\pi}{3} R \cdot \gamma^{-3}.$$

Спектральное распределение СИ имеет максимум при  $\lambda_{\max} = 0,42 \lambda_c$ , а его ширина на высоте, равной половине максимальной, составляет  $0,84 \lambda_c$ . Для длинноволновой части спектра интенсивность излучения падает медленно:  $I(\lambda) \sim y^{1/3}$ , при  $\lambda \gg \lambda_c$  для коротковолновой части — интенсивность падает быстро по закону  $I(\lambda) \sim \sqrt{y} e^{-y}$ , при  $\lambda \ll \lambda_c$ .

На рис. 1 показаны рассчитанные по формуле (1)

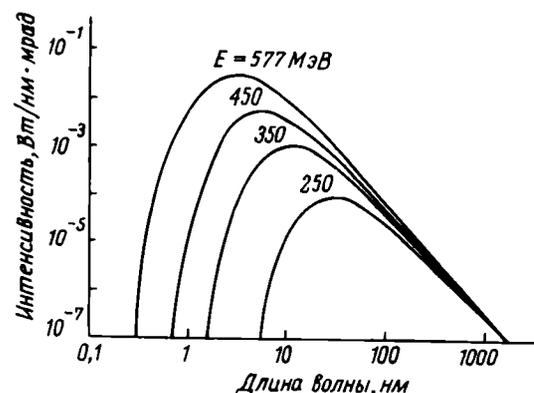


Рис. 1. Спектры СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  ускоренных электронов на орбите в различных режимах работы

спектры излучения синхротрона С-60 в различных режимах работы при нахождении на его орбите  $N_e = 10^{11}$  ускоряемых электронов. При  $E = 577$  МэВ критическая длина волны  $\lambda_c = 581$  нм, при  $E = 450$  МэВ  $\lambda_c = 12,25$  нм и в случае  $E = 350$  МэВ  $\lambda_c = 26,04$  нм. Из рис. 1 видно, что наиболее подходящим для целей рентгеновской литографии является режим с  $E = 577$  МэВ, так как в этом случае максимальная интенсивность СИ приходится на область длин волн, пригодных для рентгеновского экспонирования. В табл. 1 представлены некоторые параметры существующих в настоящее время синхротронов и накопительных колец, имеющих максимальную энергию электронов  $E_{max}$  в диапазоне 0,5–10 ГэВ [3, 4].

Установки, дающие слишком длинноволновое и слишком коротковолновое для рентгенолитографии излучение, в таблицу не включены.

Преимуществами источников СИ в рентгеновской литографии перед обычными источниками рентгеновского излучения являются высокая ин-

тенсивность излучения в диапазоне длин волн, используемых в рентгенолитографии, возможность выделения любой длины волны, хорошая естественная коллимация и точно рассчитываемые характеристики. В табл. 2 представлено сравнение яркости СИ накопительного кольца ВЭПП-2М, параметры которого близки к оптимальным для рентгеновской литографии, и острофокусной рентгеновской трубки с вращающимся медным анодом мощностью 30 кВт [4]. Под яркостью источника в данном участке спектра ( $B_\lambda$ ) понимается число фотонов, излучаемых в единицу времени с единицы площади источника в единицу телесного угла.

Таблица 2  
Сравнение параметров рентгеновской трубки с вращающимся анодом и накопительного кольца

Источник	$\lambda$ , нм	Размер источника, мм	Расходимость излучения, ср	Яркость источника $B_\lambda$ , фотон / с · см <sup>2</sup> · ср
Накопительное кольцо ВЭПП-2М	1–100	0,5 × 0,05	$10^{-3}$	$(10^{22} \div 10^{24}) \cdot \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)$
Рентгеновская трубка (P = 30 кВт)	0,1–54	0,5 × 0,5	$2\pi$	$4 \cdot 10^{20} \cdot \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)_{C_{чк\alpha}}$

Таблица 1  
Параметры синхротронов (С) и накопительных колец (НК), используемых в качестве источников СИ [3, 4]

Установка	Тип установки	E, ГэВ	I, А	R, м	$\lambda_c$ , нм
1. АСО, (Орсэ, Франция)	НК	0,56	0,1	1,11	3,5
2. ВЭПП-2М (Новосибирск, СССР)	НК	0,67	0,1	1,22	2,3
3. С-60 (Москва, СССР)	С	0,68	0,01	2	3,5
4. FRASCATI (Фраскати, Италия)	С	1,1	0,015	3,6	1,5
5. Пахра (Москва, СССР)	С	1,3	0,1 (проектная величина)	4	1,0
6. ADONE (Фраскати, Италия)	НК	1,5	0,06	5	0,835
7. Сириус, (Томск, СССР)	С	1,5	0,02	4,23	0,7
8. NINA-II (Дерсбери, Англия)	НК	2,0	1,0	5,55	0,4
9. ВЭПП-3 (Новосибирск, СССР)	НК	2,2	0,12	6,15	0,3
10. BONN-II (Бонн, ФРГ)	С	2,5	0,03	7,65	0,27
11. DORIS (Гамбург, ФРГ)	НК	3,5	0,5	12,12	0,1
12. SPEAR (Стенфорд, США)	НК	4	0,09	12,7	0,14
13. NINA-I (Дарсбери, Англия)	С	5,0	0,05	20,8	0,094
14. АРУС (Ереван, СССР)	С	6,0	0,02	24,65	0,074
15. ВЭПП-4 (Новосибирск, СССР)	НК	7	0,1	33	0,054
16. DESY (Гамбург, ФРГ)	С	7,5	0,03	31,7	0,042

Из таблицы видно, что яркость СИ на 3–4 порядка выше, чем у рентгеновской трубки. При этом, если рентгеновская трубка обеспечивает указанную яркость на длине волны характеристического излучения в очень узком диапазоне, то СИ имеет данные значения яркости на всех длинах волн, пригодных для рентгеновской литографии.

Так как шаблон является фильтром для излучения, то на поверхность резиста попадает только часть СИ, падающего на шаблон, поэтому начальный спектр СИ будет преобразован мембраной шаблона. Рассмотрим влияние на спектр излучения СИ наиболее часто применяемых в рентгенолитографии подложек шаблонов из кремния и майлара. В качестве примера возьмем спектр СИ синхротрона С-60 в режиме работы с  $E = 577$  МэВ. Спектр излучения, прошедшего через шаблон, можно рассчитать на основании зависимости и коэффициентов поглощения рентгеновского излучения различными материалами, используемыми в рентгенолитографии, от длины волны [5].

Спектр синхротронного излучения установки С-60, падающего на резист после прохождения кремниевой мембраны шаблона толщиной в 1 мкм, показан на рис. 2. Вся длинноволновая часть спектра поглощается шаблоном, и экспонирование резиста производится прошедшей через шаблон частью СИ в диапазоне  $0,8 \leq \lambda \leq 2,5$  нм. При увеличении толщины мембраны шаблона поглощение увеличивается главным образом за счет более длинноволнового участка спектра СИ. При толщине мембраны шаблона 2 мкм в экспонировании резиста в

большей степени принимает участие излучение в диапазоне  $0,8 < \lambda \leq 2$  нм.

Если подложка шаблона изготовлена из майлара, то спектр прошедшего через него СИ имеет другой вид (рис. 3), что объясняется наличием у майлара краев поглощения при  $\lambda_1 = 2,33$  нм и  $\lambda_2 = 4,38$  нм [5]. Как видно из рис. 3, в экспонировании резиста принимает участие значительная доля излучения с  $\lambda > 4$  нм. Так как излучение такой длины волны очень хорошо поглощается РММА, то оно будет экспонировать верхний слой резиста толщиной около 0,3 мкм, что может вызвать "завал" вертикальных стенок в резисте при проявлении рисунка. Избежать этого можно путем увеличения дозы экспонирования и уменьшения времени проявления рентгенорезиста.

Приведенные результаты исследования влияния материала подложек шаблонов на спектр СИ были рассчитаны для экспонирования в вакууме. Однако в рентгенолитографии, так же как и в других методах литографии, экспонирование лучше проводить не в вакууме, а в атмосфере газа, имеющего минимальное поглощение СИ и одновременно охлаждающего шаблон и рабочую пластину. Обычно газонаполнителем является гелий, который эффективен для конвекционного охлаждения вследствие его высокой удельной теплоемкости и имеет малый коэффициент поглощения для "мягкого" рентгеновского излучения. Чтобы отделить наполненную гелием часть установки рентгеновского экспонирования от камеры ускорителя с высоким вакуумом, необходимо вакуумное окно, материал которого должен иметь достаточную прозрачность в диапазоне длин волн "мягкого" рентгеновского излучения и необходимую прочность, чтобы выдержать перепад давления. Наиболее часто для этой цели используется бериллий, который не имеет краев поглощения в диапазоне длин волн "мягкого" рентгеновского излучения и относительно хорошо его пропускает. Бериллиевое окно является дополнительным фильтром на пути СИ. На рис. 4 показано, как окно из бериллия толщиной 5 и 15 мкм меняет спектр СИ.

При экспонировании образцов в атмосфере гелия СИ проходит через два фильтра – окно вакуумной камеры и подложку шаблона. На рис. 5 и 6 показаны спектры СИ, прошедшего бериллиевые окна и шаблоны из кремния или майлара различных толщин. Скачок интенсивности СИ (см. рис. 5) вызван наличием у кремния края поглощения на длине волны  $\lambda = 0,674$  нм [5]. Исследования показали, что длинноволновая часть "мягкого" рентгеновского излучения, которая проходит через майлар (см. рис. 3), поглощается в бериллии и экспонирование резиста проводится в основном излучением в диапазоне  $0,5 < \lambda \leq 1,5$  нм (см. рис. 6).

Интегрирование кривых на рис. 1–6 дает общую мощность, излучаемую в радиальный угол, равный одному миллирадиану. В табл. 3 приведена

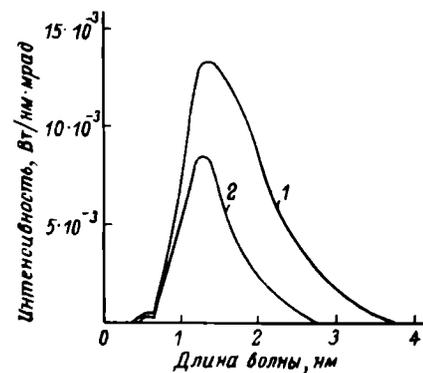


Рис. 2. Спектр СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  эл. и  $E = 577$  МэВ после прохождения кремниевой мембраны шаблона толщиной 1 мкм (1) и 2 мкм (2)

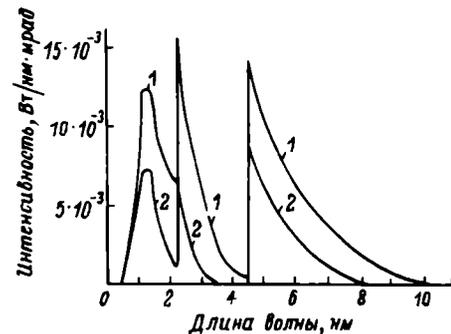


Рис. 3. Спектр СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  эл. и  $E = 577$  МэВ после прохождения майларовой мембраны шаблона толщиной 1 мкм (1) и 2 мкм (2)

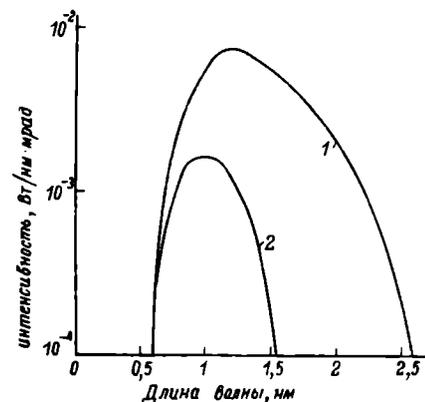


Рис. 4. Спектр СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  эл. и  $E = 577$  МэВ после прохождения окна из бериллия толщиной 15 мкм (1) и 30 мкм (2)

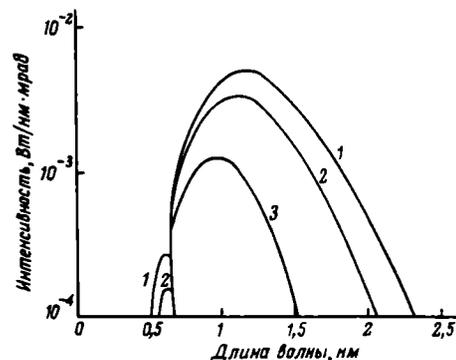


Рис. 5. Спектр СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  эл. и  $E = 577$  МэВ: 1 – после прохождения фильтров из бериллия толщиной 15 мкм и кремния толщиной 1 мкм; 2 – бериллия (15 мкм); 3 – бериллия (30 мкм) и кремния (2 мкм)

мощность СИ синхротрона С-60, падающего на  $1 \text{ см}^2$  резистивного слоя, который расположен на расстоянии  $S = 680 \text{ см}$  от источника излучения, перпендикулярно пучку СИ (т.е. скорость экспонирования резиста) при использовании различных фильтров, и время, необходимое для облучения резиста РММА до дозы  $500 \text{ мДж/см}^2$  при среднем количестве электронов, участвующих в цикле ускорения,  $N_e = 4 \cdot 10^{10}$  эл.

Несмотря на то, что синхротрон С-60 по своим параметрам и режиму работы не является оптимальным для целей рентгеновской литографии, его использование позволяет при экспонировании в вакууме достичь указанной дозы при времени облучения резиста РММА меньше одной минуты (см. табл. 3). Более пригодным для целей рентгенолитографии источником СИ является электронное накопительное кольцо. По сравнению с синхротроном оно имеет ряд преимуществ [4]: больший средний ток; меньшие поперечные размеры и угловой разброс пучка электронов благодаря радиа-

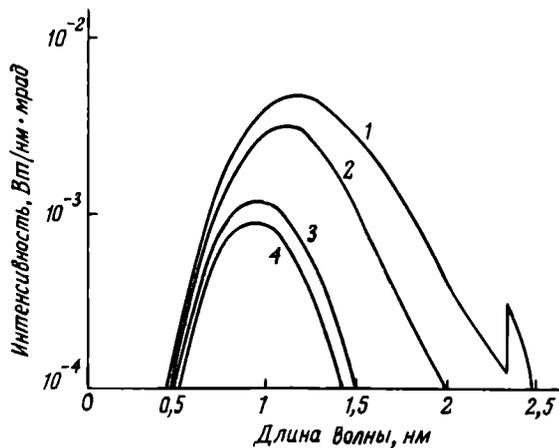


Рис. 6. Спектр СИ синхротрона С-60 при  $N_e = 10^{11}$  эл. и  $E = 577 \text{ МэВ}$ : 1 – после прохождения фильтров из бериллия (15 мкм) и майлара (1 мкм); 2 – бериллия (15 мкм) и майлара (2 мкм); 3 – бериллия (30 мкм) и майлара (1 мкм); 4 – бериллия (30 мкм) и майлара (2 мкм)

Таблица 3  
Скорость экспонирования резиста РММА и время, необходимое для его облучения до дозы  $500 \text{ мДж/см}^2$  ( $E = 577 \text{ МэВ}$ ;  $S = 680 \text{ см}$ )

Материал фильтра	Толщина материала фильтра, мкм	Скорость экспонирования при $N_e = 10^{11}$ эл, $\text{мДж/см}^2 \cdot \text{с}$	Время облучения при $N_e = 4 \cdot 10^{10}$ эл, с
Без фильтра	—	270,62	4,6
Si	1	25,24	50
Si	2	11,17	112
Майлар	1	66,96	19
Майлар	2	27,65	45
Be + Si	5; 1	5,29	236
Be + Si	5; 2	3,48	359
Be + майлар	5; 1	4,97	252
Be + майлар	5; 2	3,22	388
Be + Si	15; 1	1,07	1168
Be + Si	15; 2	0,78	1602
Be + майлар	15; 1	1,03	1213
Be + майлар	15; 2	0,73	1312

ционному затуханию; большую стабильность орбиты, постоянство энергии и интенсивность пучка, существенно упрощающие процесс экспонирования; большое время жизни пучка электронов (1–100 часов), что удобно для экспонирования, и низкий уровень радиационного фона вокруг установки, позволяющий работать на малом расстоянии от накопителя с коротким каналом СИ.

Однако существующие накопители, разработанные для решения проблем физики высоких энергий, несмотря на свои высокие качества, заведомо не являются оптимальными генераторами "мягкого" рентгеновского излучения.

Специально разработанные для рентгенолитографии накопительные кольца могут быть намного проще существующих установок.

Свойства электронного накопительного кольца определяются тремя параметрами: напряженностью поля отклоняющих магнитов  $H$ , энергией электронов  $E$  и током пучка электронов  $I$ . Величина  $H$ , в значительной степени определяющая конструктивные особенности накопителя и его питающих устройств, с учетом экономической выгоды накопителя, простоты и надежности его систем может быть выбрана равной  $12 \text{ кЭ}$  [6]. Величина  $E$  является определяющей для спектра СИ. Чтобы получить разрешение  $0,05 \text{ мкм}$ , диапазон эффективного пробега вторичных электронов, возбуждаемых в резисте экспонирующим излучением, не должен превышать указанной величины. Следовательно, излучение с длиной волны  $\lambda < 0,8 \text{ нм}$  должно незначительно участвовать в экспозиции, чтобы не ухудшать разрешения. Для накопительных колец с  $H = 12 \text{ кЭ}$  и  $E = (0,5 \div 1) \text{ ГэВ}$  были рассчитаны спектры поглощения СИ в РММА при различных фильтрах. В табл. 4 приведены характеристики гипотетических электронных накопительных колец и показана доля излучения с  $\lambda > 0,8 \text{ нм}$ , поглощаемого РММА при экспонировании СИ через кремниевый шаблон толщиной  $1 \text{ мкм}$  в вакууме и через бериллиевые окна толщиной  $5 \text{ мкм}$  и  $15 \text{ мкм}$  и тот же кремниевый шаблон в гелии. Анализ приведенных данных позволяет выбрать в качестве оптимального для рентгеновской литографии значение  $E = 0,8 \text{ ГэВ}$  с учетом того факта, что при одинаковых значениях тока пучка электронов интенсивность СИ в 4 раза выше при  $E = 0,8 \text{ ГэВ}$ , чем при

Таблица 4  
Характеристики гипотетических электронных накопительных колец

$E, \text{ ГэВ}$	$R, \text{ м}$	$\lambda_c, \text{ нм}$	Доля излучения с $\lambda > 0,8 \text{ нм}$ , поглощенного в $1 \text{ мкм}$ РММА, %		
			Фильтр, Si (1 мкм)	Фильтры Be (5 мкм) + Si (1 мкм)	Фильтры Be (15 мкм) + Si (1 мкм)
0,5	1,39	6,2	97,5	89,6	75
0,6	1,67	4,3	96,5	88,6	71
0,7	1,95	3,16	95,5	86,8	71,5
0,8	2,23	2,42	93,5	84,4	68
0,9	2,51	1,91	88,3	76,8	58
1,0	2,78	1,56	87,7	72,2	54

$E = 0,5$  ГэВ [4]. Ток в накопителе  $I$  определяет интенсивность СИ, не влияя при этом на форму спектра.

Рассмотрим оптимизированное для рентгеновской литографии накопительное кольцо с параметрами  $E = 0,8$  ГэВ,  $H = 12$  кЭ и током  $I = 0,1$  А (рис. 7, кривая 1), которое можно применить для получения элементов СБИС с размерами  $0,05-0,5$  мкм при времени экспонирования менее минуты, с использованием РММА.

С целью создания элементов с такими размерами необходимо соответствующим выбором параметров экспонирования обеспечить требуемое разрешение. С применением резиста РММА, имеющего собственное разрешение  $\sim 5,0$  нм, было получено разрешение лучше  $0,01$  мкм [7].

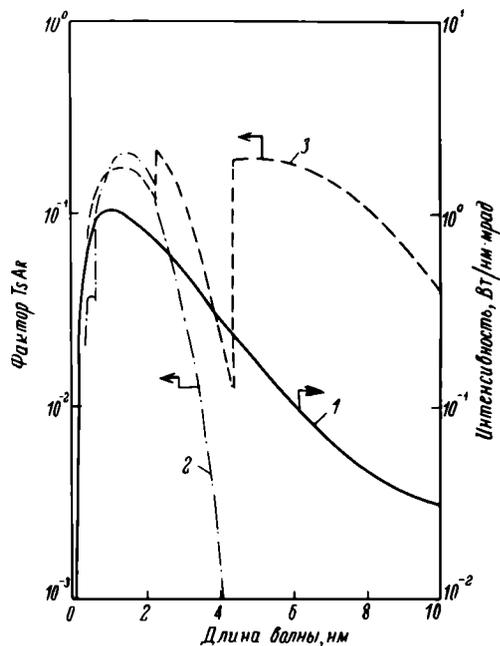


Рис. 7. Спектр СИ накопительного кольца при  $E = 0,8$  ГэВ,  $H = 12$  кЭ и  $I = 0,1$  А (1); зависимость фактора  $T_S \cdot A_R$  для РММА толщиной  $1$  мкм и  $1 -$  мкм кремниевой подложки шаблона (2), для РММА толщиной  $1$  мкм и  $1 -$  мкм майларовой подложки (3) от длины волны

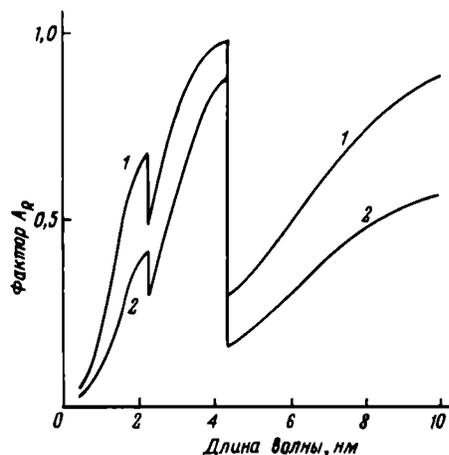


Рис. 8. Зависимость фактора  $A_R$  для РММА толщиной  $1$  мкм (1) и  $0,5$  мкм (2) от длины волны

Как показали расчеты, спектральные требования рентгенолитографических процессов к экспонирующему излучению хорошо удовлетворяются при использовании оптимизированного источника СИ. Качество и эффективность литографии при использовании излучения с длиной волны  $\lambda$  определяется тремя параметрами: прозрачностью маскирующего слоя шаблона  $T_A$ , прозрачностью подложки шаблона  $T_S$  и поглощением рентгенорезиста  $A_R$  (рис. 7, кривые 2 и 3; рис. 8).

В оптимальной рентгенолитографической системе длина волны и материалы выбираются так, чтобы  $T_S \cdot A_R$  и контрастность  $1/T_A$  были максимальными. На рис. 7 наглядно видно хорошее соответствие спектральных требований рентгенолитографии и спектра оптимизированного накопительного кольца. Поскольку для оптимизированного источника СИ  $\lambda_{\text{раб}} \approx 2$  нм, то можно легко изготовить высококонтрастные рентгеношаблоны ( $T_A \ll 1$ ) с тонким слоем поглощающего материала, например золота.

Покажем возможность достижения времени экспонирования РММА менее одной минуты при использовании кремниевой подложки толщиной  $1$  мкм в вакууме. Предположим, что установка для экспонирования расположена на расстоянии  $10$  м от источника СИ,  $E = 0,8$  ГэВ,  $I = 0,1$  А, а расходимость пучка СИ в области "мягкого" рентгеновского излучения составляет  $1$  мрад [4]. При этих условиях в диапазоне  $0,8 \leq \lambda \leq 10$  нм единичной площадью резиста поглотится  $28$  мВт/см<sup>2</sup> мощности излучения. Таким образом, время экспонирования РММА до дозы  $500$  мДж/см<sup>2</sup> составит всего  $18$  с. Однако для более сложных условий экспонирования (в гелии, при наличии вакуумных окон, фильтров и т.д.) желательно иметь запас мощности, который можно обеспечить при токе пучка электронов  $1$  А.

Проведенные исследования возможностей электронного накопительного кольца как оптимизированного источника СИ показали, что такой источник может использоваться в рентгеновской литографии для создания микросхем с размерами элементов  $0,5-0,05$  мкм при времени экспонирования менее минуты. В качестве специализированного для рентгенолитографии источника СИ можно принять электронное накопительное кольцо с энергией частиц  $0,8$  ГэВ, магнитным полем  $12$  кЭ и током пучка электронов  $1$  А.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рентгенолитография и ее применение / Ю.С. Боков, А.Л. Кривоспицкий, В.П. Лавришев, С.П. Мазуренко. — Электронная промышленность, 1977, вып. 6, с. 93-99.
2. Источники "мягкого" рентгеновского излучения в промышленном производстве СБИС / И.В. Гревцев, А.Л. Кривоспицкий, Ю.Ф. Семин. — См. наст. вып., с. 36-41.
3. Якименко М.П. Мощные источники ультрафиолетового и рентгеновского излучения. — УФИИ, 1974, т. 114, вып. 1, с. 55-66.
4. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы. — УФИИ, 1977, т. 122, вып. 3, с. 369-418.

5. Henke B.L., Elgin R.L. X-ray absorption tables for the 2 to 200A region. — Adv. X-ray Anal. 1970, vol. 13, p. 639–665.

6. Application of synchrotron radiation to X-ray lithography E. Spiller, D.E. Eastman, R. Feder, W.D. Grabman, W.Gudat, J. Topalian. — Journ. of Appl. Phys., 1970, vol. 47, N 12, p. 5450–5459.

7. Gudat W. Soft X-ray microscopy and lithography with synchrotron radiation. — DESY Report, NSR-11/21, 1977, p.1–18.

Статья поступила 30 января 1980 г.

А. А. Завалишин, В. А. Мороз, З. П. Щербакова

## КОМПЛЕКС УНИВЕРСАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛАСТИН "ЛАДА-1 ЭЛЕКТРОНИКА"

УДК 621.382.049.77:621.794.4

Для проведения полного цикла химической обработки пластин в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем создан комплекс универсального оборудования "Лада-1 Электроника".

Технологический цикл обработки пластин на оборудовании комплекса включает следующие операции: отмычку пластин перед операциями окисления, диффузии и напыления; травление слоев окиси кремния и нитрида кремния, фосфоросиликатного и боросиликатного стекла (ФСС и БСС); травление металлов; удаление фоторезиста с окисных и металлических поверхностей.

Как видно из схемы, представленной на рисунке, комплекс состоит из пяти технологических линий. Установки в линиях имеют общую систему подвода энергоносителей и канализации.

Все линии характеризуются следующими особенностями: возможностью изготовления полупроводниковых изделий по различным вариантам планарной технологии; универсальностью оборудования, что позволяет применять различные реагенты на однотипных установках; возможностью проведения всех технологических операций в обеспыленной (до двух частиц размером 0,5 мкм в литре) среде; наличием системы получения суперчистой воды с рециркуляцией; возможностью автоматического поддержания температуры реагента; механизацией перемещения обрабатываемых пластин; простотой обслуживания и высокой надежностью в работе.

Обработка пластин производится в кассетах емкостью по 25 шт. Используются кассеты двух видов: из фторопласта КФ-60, КФ-75 (для установок химической обработки) и из алюминиевого сплава КМ-60, КМ-75 (для автомата гидромеханической отмычки).

Транспортирование пластин с одной операции на другую и их хранение производятся в межоперационной таре — плотно закрывающемся пенале,

содержащем две транспортные кассеты. Кассеты имеют одинаковый шаг, емкость, присоединительные размеры, обеспечивающие их стыковку друг с другом и групповую перегрузку пластин.

Реагенты подаются из блока транспортирования непосредственно в ванны химической обработки. Слив отработанного реагента производится механически с помощью эжектора. Реагент нагревается химостойким погружным нагревателем, исключая загрязнение среды.

В состав комплекса, определенный на основании анализа технологических процессов обработки кремниевых пластин, входит рассмотренное ниже оборудование.

Установки химической обработки и установка отмычки и сушки пластин, технические характеристики которых приведены в таблице, имеют следующие особенности:

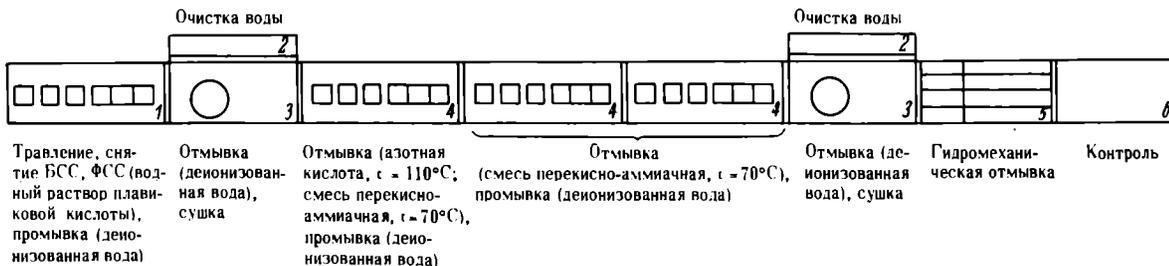
— в установке 08ЧХН-100-001 перенос кассет с позиции на позицию автоматизирован;

— установка 08ЧХО-100-003 позволяет производить отмычку одновременно в растворителе и его парах;

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
УСТАНОВОК ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СУШКИ ПЛАСТИН

	Установки химической обработки				Установка отмычки и сушки 08ЧВС-0/1500-004
	08ЧХН-100-001	08ЧХН-100-002	08ЧХН-100-005	08ЧХО-100-003	
Число одновременно обрабатываемых пластин	50	50	150	50 — в реагенте, 25 — в воде	100 пластин $\phi$ 60, 75 мм, 50 пластин $\phi$ 100 мм
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	60; 75	60; 75	60; 75	60; 75	60; 75; 100
Материал ванн	Фторопласт	Фторопласт	Фторопласт	Нержавеющая сталь	—
Число ванн	3	1	3	1 (двухсекционная)	1 (барaban на 4 кассеты)
Время обработки пластин, с:	в реагентах	120–3600	120–3600	120–3600	60–900
	в деионизованной воде	120–3600	120–3600	120–3600	120–3600
Время сушки, с	—	—	—	—	50–240
Диапазон регулирования температуры нагрева реагента, °С	50–120	50–120	50–120	50–120	—
Точность поддержания температуры, °С	± 5	± 5	± 5	± 10	—
Пределы плавного регулирования числа оборотов вращения карусели, об/мин	—	—	—	—	200–1400
Потребляемая мощность, кВт	3,0	1,5	3,0	2,2	1,7
Напряжение питания, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Расход деионизованной воды марки А (ГОСТ 11029003–73) давлением 0,2 МПа, м <sup>3</sup> /ч	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2
Давление воды (ГОСТ 2874–73), МПа	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	—
Давление сжатого воздуха (ГОСТ 11882–73), МПа	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	—
Расход азота (сорт 1; ГОСТ 9293–74) давлением 0,2–0,25 МПа, м <sup>3</sup> /ч	—	—	—	—	0,5
Производительность вытяжной вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	1500	1000	1500	1000	1000
Габариты, мм	1922 × 945 × 2480	1312 × 945 × 2480	1922 × 945 × 2480	1310 × 945 × 2480	1310 × 945 × 2480

ЛИНИЯ ОТМЫВКИ 084Л 75-007 (габариты 13310 × 1400 × 2480 мм)



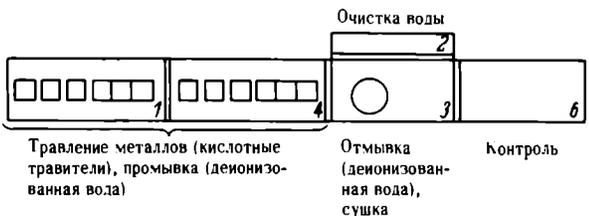
Травление, снятие БСС, ФСС (водный раствор плавиковой кислоты), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Отмывка (азотная кислота,  $t = 110^{\circ}\text{C}$ ; смесь перекисно-аммиачная,  $t = 70^{\circ}\text{C}$ ), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (смесь перекисно-аммиачная,  $t = 70^{\circ}\text{C}$ ), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Гидромеханическая отмывка  
 Контроль

ЛИНИЯ ТРАВЛЕНИЯ ОКИСЛА 08X0П 75-001 (габариты 6425 × 1400 × 2480 мм)



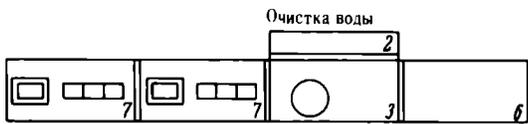
Травление окисла (смесь плавиковой кислоты и водного раствора фтористого аммония), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Контроль

ЛИНИЯ ТРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ 08X0П 75-001 (габариты 6425 × 1400 × 2480 мм)



Травление металлов (кислотные травители), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Контроль

ЛИНИЯ ОБРАБОТКИ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ 084Л 75-006 (габариты 6425 × 1400 × 2480 мм)



Удаление фоторезиста с алюминия (смесь моноэтаноламина и диметилформамида,  $t = 100-120^{\circ}\text{C}$ ), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Контроль

ЛИНИЯ УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА 08X0Л 75-002 (габариты 7685 × 1400 × 2480 мм)



Удаление фоторезиста с окисла (смесь серно-перекисная), промывка (деионизованная вода)  
 Отмывка (деионизованная вода), сушка  
 Гидромеханическая отмывка  
 Контроль

Схема комплекса "Лада-1 Электроника"

Состав оборудования: 1 – установка химической обработки 084ХН-100-001; 2 – система очистки воды ПЧВФ05-1; 3 – установка отмывки и сушки 08ЧВС-0/1500-004; 4 – установка химической обработки 084ХН-100-005; 5 – автомат гидромеханической отмывки 04ЧШ-75/4-001; 6 – установка контроля 09ВК-500-002; 7 – установка обработки в органических растворителях 084ХО-100-003; 8 – установка химической обработки 084ХН-100-002

– установка отмывки и сушки 08ЧВС-0/1500-004 имеет автоматический режим работы и обеспечивает отмывку пластин в деионизованной воде перед их сушкой.

– установки 084ХН-100-001, 084ХН-100-002 и 084ХН-100-005 по дополнительному заказу могут комплектоваться сменными ваннами для обработки пластин диаметром 100 мм. На этих установках осуществляется каскадная промывка в деионизованной воде, они просты в обслуживании и характеризуются высокой надежностью.

Автомат гидромеханической отмывки 04ЧШ-75/4-001 с кассетной загрузкой и выгрузкой пластин имеет блочную конструкцию. Он поставляется с одним (04ЧШ75/1-001), двумя, тремя и четырьмя (4ЧШ75/4-001) треками, функционирующими независимо друг от друга. Конструкция блоков управления треками позволяет контролировать каждый технологический параметр. Кассета с пластинами устанавливается на платформу механизма загрузки. Затем пластина из кассеты при помощи транспортера подается на вакуумную присоску центрифуги. Процесс очистки осуществляется вращающейся цилиндрической щеткой с одновременной подачей деионизованной воды или другого реагента. Технологические операции выполняются по программе, заданной на пульте управления, и сопровождаются световой сигнализацией. После окончания цикла очередная пластина подается транспортером на рабочую позицию, а обработанная пластина сталкивается с рабочей позиции в приемную кассету, расположенную на платформе механизма загрузки.

Техническая характеристика

Производительность, пластин/ч	400
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	60;75
Диапазоны скоростей вращения центрифуги (регулируемые), об/мин:	
первый	0-500
второй	0-10000
Время технологических операций (отмывка, первая и вторая промывка, сушка), регулируемое с дискретностью 1 с, с	0-99
Емкость кассеты	25 пластин
Шаг кассеты, мм	4,75
Потребляемая мощность, кВт	0,6
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)
Расход очищенного сжатого воздуха давлением 0,2-0,3 МПа, м <sup>3</sup> /ч	8
Расход азота давлением 0,2-0,25 МПа, м <sup>3</sup> /ч	5
Точка росы азота, °С	- 60
Давление остаточных газов в вакуумной системе, Па	$0,27 \cdot 10^{-3}$
Производительность вытяжной вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	50
Расход деионизованной воды марки "А" (ОСТ 11029003-73) давлением, 0,05-0,3 МПа, м <sup>3</sup> /ч	0,05
Габариты, мм	1206 × 807 × 1028
Масса, кг	180

Установка контроля 09ВК-500-002 предназначена для контроля поверхности полупроводниковых пластин. В состав установки входит микроскоп ММУ-3. Габариты установки 1312 × 945 × 2480 мм, масса 71 кг.

Блок транспортирования и подачи реагентов 11ТПЖ-100-001 выполнен в двух вариантах. В первом, основном, в качестве тары для реагентов (невзрывоопасных кислот, их смесей и щелочей) используются фторопластовые баллоны емкостью по 10 литров, во втором — стеклянные бутылки емкостью 20 литров, а также полиэтиленовая тара — 10 и 5 литров. Регулируемая подача реагента потребителю производится по трубопроводам с помощью насоса, работающего от сжатого воздуха. Во время подачи реагент очищается фильтрующим устройством от взвешенных частиц размером более 20 мкм.

#### Техническая характеристика

Производительность насоса, л/ч	100
Общее количество реагента, помещаемого в блок, л	30
Габариты, мм	955×720×1010
Масса, кг	64

Система очистки воды 11ЧВФ05-1 включает в себя:

- фильтр очистки воды от взвешенных микро-частиц (110В-400);
- блок фильтров для финишной очистки от остаточных ионных примесей и растворенных органических веществ (114 ВФ 0,5-2);
- блок подачи воды (11 ТПЖ 0,5-1);
- блок возврата использованной воды на повторную очистку с контролем по удельному сопротивлению (11 КОВ-0,5/3-1).

#### Техническая характеристика

Производительность системы, м <sup>3</sup> /ч	0,5
Удельное сопротивление очищенной воды, МОм·см	18
Допустимый размер взвешенных микро-частиц, мкм	≤ 0,5
Допустимое количество органических веществ, мг О <sub>2</sub> /л	1
Потребляемая мощность, кВт	1,2

Установка ультразвуковой отмывки 08ЧУВ-0008-002 предназначена для удаления загрязнений с пластин в ультразвуковой ванне, обработки в кислоте во фторопластовой ванне и отмывки в проточной деионизованной воде в каскадной ванне. Продолжительность технологического процесса устанавливается на панели управления, окончание процесса сопровождается световой сигнализацией.

#### Техническая характеристика

Число одновременно обрабатываемых пластин	50
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	60; 75
Диапазон регулирования температуры нагрева реагента, °С	50-120
Точность поддержания температуры, °С	± 5
Время обработки в ванне, мин	
ультразвуковой	1-15
фторопластовой	2-60
каскадной	2-60
Потребляемая мощность, кВт	2
напряжение питания, В	380/220
Расход сжатого воздуха (ГОСТ 11882-73) давлением 0,4-0,6 МПа, м <sup>3</sup> /ч	5
Расход деионизованной воды марки "А" (ОСТ 11029003-73) давлением 0,21 МПа, м <sup>3</sup> /ч	0,4
Расход воды (ГОСТ 2874-73) давлением 0,4-0,6 МПа, м <sup>3</sup> /ч	0,25
Габариты, мм	1915×935×2480

Комплекс универсального оборудования выпускается серийно и может поставляться полностью, отдельными линиями или отдельными единицами оборудования.

Статья поступила 1 июня 1978 г.

А. М. Данильченко, О. Г. Панчук

УДК 621.3.049.75.002:776

### УСТАНОВКА ДВУСТОРОННЕГО ЭКСПОНИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ 09 ФСК-9



#### Техническая характеристика

Время экспонирования, с	1-199
Площадь экспонирования, мм	400×500
Размер обрабатываемой заготовки, мм	350×450
Толщина пакета, мм	до 12
Мощность источника излучения в рабочем режиме, кВт	2,5
Охлаждение источников излучения	водяное
Напряжение питания, В	380/220
Потребляемая мощность, кВт	≤ 15
Габариты, мм	
установки	1460×900×1805
двух блоков питания	1000×600×1200
Масса, кг	875

Предназначена для переноса изображений рисунков повышенной точности и сложности методом фотолитографии на плоские заготовки из любого материала.

Установка представляет собой стол с двумя копировальными рамами, расположенный в средней части стойки, в которой размещены также вакуумная система, блоки питания и автоматики, два осветителя. Блок управления находится в передней части стола, а панель для визуального контроля за ходом работ — в верхней части стойки.

Установка позволяет воспроизводить рисунок фотошаблона с точностью ± 7 мкм на заготовках с пленочным фоторезистом и ± 2 мкм на заготовках с жидким фоторезистом.

Воспроизведение подобранной экспозиции обеспечивается с точностью ± 2% при уменьшении времени экспонирования в 2-5 раз по сравнению с установкой КП-63-41.

Совмещение зарядки одной рамы с экспонированием другой позволяет уменьшить время смены позиций до 2-5 с.

Отсутствие электромеханического затвора, низкая температура в зоне экспонирования и автоматическая дозировка светового потока обеспечивают улучшение качества рисунка и повышение выхода годных изделий на 5-15%.

Статья поступила 16 января 1980 г.



Одновременно подложкодержатели с обработанными пластинами перегружаются с барабана рабочей камеры на барабан шлюзовой камеры. После закрытия затвора *8* в рабочую камеру напускается рабочий газ, на барабан подается ВЧ мощность до 4 кВт (частота 5,28 МГц), и начинается процесс травления. Управление всем циклом работы, кроме загрузки подложкодержателей в шлюзовую камеру, осуществляется автоматически. Специальная магнитная система *9* обеспечивает равномерность травления не хуже  $\pm 5\%$  по всей поверхности барабана.

К достоинствам агрегата относятся:

- вертикальное расположение подложек, благодаря чему уменьшается их загрязнение пылью и нелетучими продуктами травления;
- наличие шлюза, который исключает необходимость форвакуумной откачки рабочей камеры и, следовательно, предотвращает вихревое движение воздуха, приводящее к загрязнению пластин;
- низкое автоматическое смещение на рабочем барабане (около 100 В), снижающее вероятность повреждения кристаллической структуры пластин при ионной бомбардировке;
- наличие системы автоматического согласования генератора с рабочей камерой и системы стабилизации ВЧ мощности, передаваемой в разряд, которые обеспечивают хорошую воспроизводимость результатов травления;
- низкое давление, исключающее обратное осаждение на пластины продуктов распыления.

Агрегат имеет высокую производительность (150 пластин диаметром 100 мм в час при травлении пленки  $\text{SiO}_2$  толщиной 0,5 мкм), обусловленную наличием шлюзовой камеры и высокой скоростью травления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Губки и Ю.Н. О пределах интеграции в микроэлектронике. — *Электронная промышленность*, 1978, вып. 10, с. 69–72.
2. Bondur J.A. Dry process technology (reactive ion etching). — *J. Vac. Sci. and Technol.*, 1976, vol. 13, N 5, p. 1023–1029.
3. Glöersen P. G. Ion-beam etching. — *J. Vac. Sci. and Technol.*, 1975, vol. 12, N 1, p. 28–35.
4. Наумов В.Г., Пасечник Л.Л., Ягола В.В. Влияние магнитного поля на высокочастотный разряд. — *Физика плазмы*, 1979, т. 5, вып. 1, с. 179–183.

Статья поступила 12 октября 1979 г.

А. С. Валеев, В. Б. Дубовиков, В. Л. Евдокимов, В. А. Хрусталева, В. Т. Щелупинин

## УСТАНОВКА УВП–2М ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ

УДК 621.3.049.77.002.2:539.232

В производстве микросхем широко применяется метод плазмохимического осаждения диэлектрических пленок, главным образом двуокиси кремния. Улучшение параметров наносимых слоев двуокиси кремния достигается совершенствованием конструкции установок и подбором режимов осаждения.

Так, уменьшение величины эффе́ктивного заряда, являющегося важным параметром, характеризующим осаждаемые слои, может быть получено снижением энергии и плотности потока электронов, бомбардирующих подложку. Это частично достигается уменьшением потенциала смещения подложкодержателя по отношению к плазме. Снижение энергии и интенсивности электронной бомбардировки при условии, что температура подложек достаточно высока, позволяет также уменьшить образование органической полимеризованной фазы. Чтобы исключить захват молекул воды, органических и гидроксильных групп и других загрязнений осаждаемым слоем, температура

подложек в процессе нанесения должна быть не менее 523 К.

Увеличение скорости роста слоя можно получить повышением рабочих давлений и интенсификацией массообмена в реакторе, что достигается увеличением производительности вакуумной системы. Улучшение равномерности распределения толщины и свойств слоя по группе обрабатываемых подложек обеспечивается улучшением равномерности температуры и газораспределения по пирамиде.

Снижение дефектности слоев и повышение равномерности покрытия рельефа подложек достигается применением в качестве исходных реагентов элементоорганических соединений вместо гидридов. Воспроизводимость наносимых слоев может быть улучшена путем совершенствования контроля параметров процесса. С учетом соблюдения этих условий в разработанной установке УВП-2М приняты следующие технические решения:

- вакуумная система снабжена вы-



Рис. 1. Установка УВП-2М

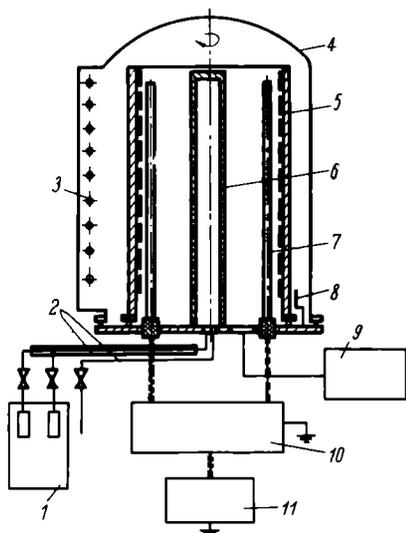


Рис.2. Схема установки УВП-2М: 1 - термостат с испарителями реагентов; 2 - магистрали подачи реагентов; 3 - инфракрасный нагреватель; 4 - вакуумная камера; 5 - подложкодержатель с подложками; 6 - газораспределитель; 7 - штыревая система электродов; 8 - датчик температуры подложек; 9 - вакуумная система; 10 - согласующее устройство; 11 - ВЧ-генератор

сокопроизводительным ( $\sim 0,7 \text{ м}^3/\text{с}$ ) бустерным насосом НВБМ-0,3;

- мощный (4 кВт) ВЧ генератор обеспечивает стабилизированную частоту 13,56 МГц;

- согласование ВЧ генератора с нагрузкой осуществляется автоматическим устройством;

- использована симметричная, с штыревыми электродами, система возбуждения плазмы;

- подложкодержатель выполнен в виде вращающейся составной пирамиды

с креплением подложек на внутренней поверхности; пирамида электрически изолирована от системы ВЧ возбуждения и имеет потенциал автоматического смещения или специально создаваемый потенциал от блока смещения;

- инфракрасный нагреватель подложек позволяет регулировать равномерность нагрева пирамиды по высоте с точностью до  $\pm 10\%$  путем передвижения ИК ламп, время нагрева пластин до 773 К составляет около 20 мин;

- применены датчики контроля мощности разряда и напряжения на электродах, а также датчики расхода газообразных реагентов;

- газовая система предусматривает возможность работы с жидкостными и газообразными реагентами и имеет термостатирование двух испарителей жидкостных реагентов с обогреваемыми магистралями. Внешний вид установки показан на рис. 1, схема - на рис. 2.

В процессе освоения в производстве установки УВП-2М проводились ее технологические испытания, в которых исследовались основные параметры слоев двуоксида кремния, применяемых для межуровневой изоляции и пассивации микросхем. В качестве реагентов использовались дополнительно очищенный дистилляцией ТМОС (ТУ-09-14-1795-75) и кислород (ГОСТ 5583-68) с точкой росы не хуже 208 К, а в качестве подложек - кремниевые пластины ЭКДБ-10 диаметром 60 мм. Слои диэлектрика наносились при парциальных давлениях ТМОС и кислорода

соответственно 0,33 и 2,66 Па в реакционной камере при температуре подложек 533К, мощности разряда 1 кВт при "плавающем" потенциале пирамиды.

Результаты испытаний показали достаточно высокие параметры осаждаемых диэлектрических слоев: малую дефектность (число сквозных пор на единицу поверхности), хорошую равномерность покрытия рельефа подложки (толщина слоя определялась визуально по таблице цветов интерференции), низкий эффективный заряд. Повышенная надежность работы установки, увеличение ее производительности при сохранении уровня расхода реагентов и энергетических затрат подтвердили целесообразность использования реактора с замкнутым подложкодержателем и внутренним расположением подложек.

Возможности установки могут быть расширены благодаря использованию регулируемого электрического потенциала (смещения на подложкодержателе) при осаждении слоев на подложки.

Технико-экономические показатели установки УВП-2М отвечают современным требованиям промышленного производства ИС с высокой степенью интеграции.

Основными направлениями дальнейшего совершенствования конструкции установки могут быть введение эффективных средств контроля и стабилизации расхода жидких реагентов, повышение общего уровня автоматизации установки и программирования рабочего цикла, автоматизация и механизация операций загрузки и выгрузки.

Статья поступила 12 октября 1979 г.

Л. А. Горелова, В. В. Руднев, А. И. Чернышев

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ИСПАРИТЕЛЬ С МЕХАНИЗМОМ СКАНИРОВАНИЯ

УДК 621.793.14.621.9.048.7

В целях увеличения производительности установок с цилиндрическими камерами, предназначенными для нанесения пленок, и улучшения качества напыления на базе испарителя мощностью 7,5 кВт\* разработан и внедрен в производство электронно-лучевой испаритель (ЭЛИ) сканирующего типа с медным водоохлаждаемым тиглем.

\* Электронно-лучевой испаритель мощностью 7,5 кВт / Л.А. Горелова, А.И. Качанов, В.В. Руднев, Г.В. Сабина, А.И. Чернышев. - Электронная промышленность, 1978, вып. 6, с. 27-28.

Испаритель смонтирован на отдельном фланце, что позволяет быстро переоборудовать установку, и крепится к подвижному штоку, который может совершать возвратно-поступательное движение с заданной выдержкой по времени у краев подложкодержателя, благодаря чему создается необходимая равномерность толщины напыляемой пленки. Медный водоохлаждаемый тигель испарителя выполнен в виде куба с емкостью загрузки напыляемого материала 14 см<sup>3</sup>. На тигле закреплен электронный прожектор мощностью 7,5 кВт с ускоряющим напряжением 6-10 кВ.

Принципиальная схема внутрикамерного устройства установки УВН-73П-1 со сканирующим ЭЛИ представлена на рисунке. Испарение вещества происходит с торца тигля. Остальная часть вещества находится при температуре воды, охлаждающей тигель.

Подложка до момента напыления защищена от попадания на нее атомов испаряемого материала

заслонкой и открывается только после тщательного обезгаживания материала и стабилизации режима испарения.

Пленки алюминия напылялись при давлении  $2,66 \cdot 10^{-3}$  Па и ниже. Расстояние тигель — подложка составляло 210 мм. Скорость напыления определялась по конечной толщине пленки и времени напыления. Толщина пленки измерялась микроинтерферометром МИИ-4. Оптимальный режим напыления выбирали исходя из того, что при одной и той же мощности скорость напыления увеличивается с увеличением удельной мощности, которая в свою очередь растет с увеличением ускоряющего напряжения. Это определило выбор значения ускоряющего напряжения, близкого к предельному (9,2–9,6 кВ).

Зависимость скорости напыления от тока эмиссии в пределах 350–750 мА имеет почти линейный характер в диапазоне 450–650 мА при постоянном значении ускоряющего напряжения 9,2 кВ. Ток эмиссии 550–600 мА обеспечивает достаточно высокую интегральную скорость напыления (0,1–0,12 мкм/мин) по площади вращающегося барабана-подложкодержателя. При такой скорости и толщине пленки алюминия 1,6 мкм время напыления составляет 18 мин. Режим сканирования ЭЛИ подбирается с расчетом получения максимальной равномерности пленок по толщине на подложкодержателе. Напыление в течение трех циклов возвратно-поступательного движения ЭЛИ со скоростью 12 см/мин с выдержками его на крайних позициях по 40 с обеспечивает неравномерность пленок по толщине не хуже  $\pm 7\%$ , что позволяет применять групповое травление и увеличить производительность на операции фотолитографии (неравномерность толщины пленок, полученных на установке УВН-73П-1, составляет более  $\pm 16\%$ ).

Исследовалось также запыление ступеньки при напылении пленок алюминия на подложки сложного профиля. Для определения коэффициента запыления были изготовлены кремниевые штабики прямоугольной формы со стороной 5 мм, которые располагались вдоль оси барабана в крайних точках и в центре. После напыления измерялась толщина пленки на боковых и верхних гранях штабиков, и рассчитывался коэффициент запыления боковых граней по отношению к верхним.

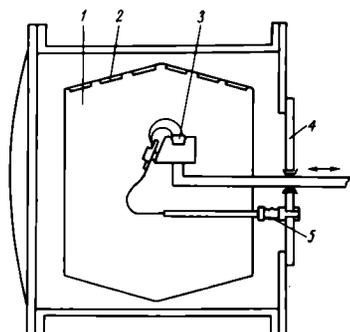


Схема внутрикамерного устройства установки УВН-73П-1 с ЭЛИ со сканированием: 1 — барабан-подложкодержатель; 2 — подложка; 3 — ЭЛИ мощностью 7,5 кВт; 4 — съемный фланец; 5 — изолятор

Если на установке УВН-73П-1 неподвижное положение дибаридтитанового тигля не дает удовлетворительного запыления боковых граней, что вызывает обрывы металлизации на структурах, то использование сканирующего ЭЛИ позволяет увеличить запыление боковых граней на 15–20% и предотвратить обрывы металлизации. Коэффициент запыления на реальных подложках значительно выше полученных данных вследствие миграции атомов в процессе напыления.

Сканирующий ЭЛИ можно использовать в напылительных установках непрерывного действия. При этом движение ЭЛИ в направлении, перпендикулярном движению подложек, обеспечивает высокую равномерность напыляемой пленки по всей поверхности плоского подложкодержателя при малом расстоянии тигель-подложка.

Статья поступила 17 декабря 1979 г.

А. И. Беляков, Е. С. Привалов, А. А. Трунин

## УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

УДК 621.793.1:621.9.048.7

В производстве интегральных схем в качестве основного материала для металлизации используется алюминий. Однако растворимость кремния в алюминии вызывает нарушение граничного слоя Al—Si. Для устранения этого явления на подложку наносится алюминий, легированный кремнием (Al + 2% Si) [1–2]. Вакуумное оборудование, предназначенное для проведения таких процессов, должно обеспечить получение пленок заданного состава с соответствующими электрофизическими свойствами и равномерной толщиной слоев, наносимых на подложки со сложным рельефом (неравномерность 2–3%).

Этим требованиям отвечает разработанная установка 01НЭ-7-004 для вакуумного нанесения пленок алюминия и его сплавов методом электронно-лучевого испарения из водоохлаждаемых тиглей (рис. 1).

Вакуумная система с автоматическим циклом управления, выполненная на базе диффузионного насоса Н-10К со средней скоростью действия (по воздуху) 10000 л/с, обеспечивает получение в рабочей камере остаточного давления не хуже  $6,6 \cdot 10^{-5}$  Па за 1 час. Предварительная откачка осуществляется двумя механическими насосами ВИМ-18Г. Все клапаны шибберного типа и высоковакуумный затвор имеют пневматический привод и электромагнитное управление.

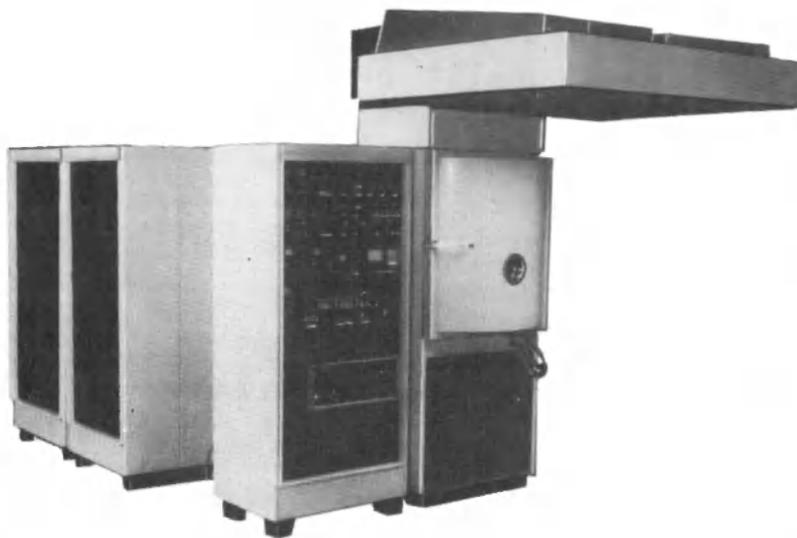


Рис. 1. Установка ОIHZ-7-004

**Техническая характеристика**

Диаметр обрабатываемых подложек, мм . . . . .	60; 76; 102
Производительность, подложек/цикл при диаметре подложек 60 мм . . . . .	17
102 мм . . . . .	42
Скорость осаждения, мкм/с . . . . .	$(3,5-4,0) \cdot 10^{-3}$
Предельное остаточное давление, Па . . . . .	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Время достижения остаточного давления $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па, мин . . . . .	20
Число испарителей . . . . .	2
Мощность одного испарителя, кВт . . . . .	12
Мощность нагревателя, кВт . . . . .	7
Максимальная температура нагрева подложки, °С . . . . .	400
Скорость вращения карусели, об/мин . . . . .	20
Скорость вращения подложкодержателей, об/мин . . . . .	60
Разброс толщины пленки по пластинам, % . . . . .	1,5-2
Коэффициент запыления ступенек . . . . .	0,5-0,6
Размеры камеры, мм:	
высота . . . . .	520
ширина . . . . .	730
Потребляемая мощность, кВт . . . . .	30
Масса, кг . . . . .	2200

Для защиты рабочего объема от обратного потока паров масла предусмотрен ряд мер. В механических и диффузионных насосах используются масла ВМ-1 и ФМ-1 с низкой упругостью пара [3], на формагистрале встроена заливная азотная ловушка с рабочим объемом 3 л, а между диффузионным насосом и высоковакуумным затвором — вымораживающая ловушка шевронного типа объемом 6 л с автоматической подачей жидкого азота.

Предварительная откачка рабочей камеры проводится в два этапа: до достижения остаточного давления  $66,5-13,3$  Па — механическими насосами (при этом струя откачиваемого воздуха препятствует проникновению паров масла из формагистрала в рабочую камеру), в диапазоне давлений  $13,3-1,3 \cdot 10^{-2}$  Па — диффузионным насосом через обводную магистраль. Затем откачивание производится при открытом высоковакуумном затворе и закрытом клапане



Рис. 2. Рабочая камера: 1 — датчик прибора УУП-1, 2 — привод карусели; 3 — направляющая; 4 — подложкодержатель; 5 — датчик температуры; 6 — нагреватель; 7 — заслонки электронных испарителей; 8 — электроштыри испарителей с водоохлаждаемыми тиглями; 9 — камера

обводной магистрали. Контроль остаточных давлений до  $6,6$  Па осуществляется вакуумным реле в диапазоне  $1,3-6,6 \cdot 10^{-5}$  Па датчиком МИ-32 и вакуумметром ВМБ-8.

Рабочая камера (рис. 2) выполнена в виде вертикально-го полуцилиндра из стали 12Х18Н10Т и снабжена дверью со смотровым окном. Измерение толщины напыляемых слоев производится с помощью кварцевого датчика прибора УУП-1. В качестве излучателя применены восемь кварцевых ламп КТ-220-1000-3. Датчиком для управления и стабилизации мощности лучевого потока служит элемент типа ТСП-753, установленный в корпусе нагревателя. Расположение испарителей под углом друг к другу уменьшает взаимное влияние ионных токов, что улучшает контроль параметров пленок. Система управления с отклонением луча на  $270^\circ$  обеспечивает работу как одновременно двух электронно-лучевых испарителей с суммарной мощностью 18 кВт, так и раздельно каждого из них мощностью 12 кВт при максимальном значении тока эмиссии 1,5 А. Стабилизация скорости испарения может осуществляться за счет стабилизации тока эмиссии или ионного тока. Для увеличения площади испарения и разгонки шлаков перед напылением предусмотрено сканирование луча с задаваемой частотой и амплитудой вдоль тигля испарителя.

В процессе напыления стенки тигля и примыкающий к ним материал остаются холодными благодаря интенсивному водяному охлаждению, что позволяет получить пленку с чистой исходного материала или чище (за счет зонной плавки).

В автоматическом режиме работы установки последовательность срабатывания исполнительных механизмов вакуумной системы определяется циклограммой, заложенной в блок управления вакуумной системой, остальных исполнительных устройств — циклограммой, заложенной в блок бесконтактного логического управляющего устройства. Режим работы выбирается с окончанием напыления по времени или по толщине пленки, с одним или двумя испарителями, со сканированием луча по оси тигля или без сканирования.

Система управления установкой обеспечивает вывод на выходной разъем сигналов (0–10 В), соответствующих изменению напряжения, тока эмиссии и ионного тока каждого испарителя, температуры датчика нагревателя, остаточного давления в рабочей камере, значения показания прибора УУП-1.

#### ЛИТЕРАТУРА

I. Chate P.B., Blaiz J.C., Fuller C.R. Metalization in microelectronics. – Thin Sol. Films, 1977, vol.56, p.69–84.

2. Hoffmann V. Prodical troubleshooting of vacuum: de-position processes and equipment for aluminium metalization. – Sol. St. Technol. Dec., 1978; vol.21, p. 47–56.

3. Анализ путей развития оборудования для нанесения тонких пленок в вакууме / С.А. Ашинов, И.Г. Блинов, Е.А. Деулин, Ю.Я. Мелехин, Ю.А. Хруничев. – Обзоры по электронной технике. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1978, вып.13, с. 23–24.

Статья поступила 12 октября 1979 г.

П. В. Махрин, Ю. Я. Мелехин, Е. С. Привалов

## АГРЕГАТ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ



#### Техническая характеристика

Диаметр обрабатываемых пластин, мм	. . . . . 60; 76; 102
Производительность для пластин диаметром 76 мм, шт./ч	. . . . . 150
Скорость травления SiO <sub>2</sub> , мкм/мин	. . . . . (1,5–5,0) · 10 <sup>-3</sup>
Максимальная скорость осаждения пленки Al, мкм/с	. . . . . 1,8 · 10 <sup>-3</sup>
Разброс толщины пленки для пластин диаметром 60 мм, %	. . . . . ± 2
Коэффициент запыления ступенек	. . . . . 0,5–0,6
Время откачки шлюзовой камеры до остаточного давления 1,3 Па, с	. . . . . 20
Предельное остаточное давление, Па	. . . . . 6,7 · 10 <sup>-3</sup>
Время достижения предельного остаточного давления, ч	. . . . . 1,5
Число наносимых слоев	. . . . . 2
Мощность нагревателя подложек, кВт	. . . . . 3,5
Максимальная температура нагрева подложек, °С	. . . . . 400
Мощность ВЧ генератора, кВт	. . . . . 1
Мощность магнетрона, кВт	. . . . . 5
Потребляемая мощность, кВт	. . . . . 25
Масса, кг	. . . . . 2000

УДК 621.793.7.06

В интегральных схемах используются пленки на основе многокомпонентных сплавов алюминия и других материалов (Pt, Cu, Au, Ti).

Для получения таких пленок создан высокопроизводительный агрегат полунепрерывного действия 01НИ-7-006, имеющий две системы магнетронного распыления, нагреватель подложек и шлюзовое устройство, оснащенное системой плазмохимического травления.

Для проведения процесса плазмохимического травления после откачки шлюза до 6,7 Па в шлюзовую камеру агрегата подается смесь газов фреона-14 и кислорода до давления (6,7–1,3) · 10 Па и создается ВЧ разряд. В результате воздействия активных радикалов

на поверхность подложки происходит ее травление, для улучшения равномерности которого включается привод вращения планетарного механизма.

Нагрев подложек до температуры 400°С обеспечивается ИК лампами суммарной мощностью 3,5 кВт. Система управления позволяет устанавливать два рабочих режима: интенсивный нагрев в течение заданного времени и поддержание температурного уровня на меньшей мощности до момента поворота карусели. По показаниям датчика температуры (термометра сопротивления) можно воспроизводить нагрев подложек в случае замены кварцевых ламп или при изменении их характеристик.

Откачная система выполнена на базе диффузионного паромасляного высоковакуумного насоса Н-5К. Подача высокого напряжения (500 В) на катод происходит с одновременным напуском аргона. При достижении в рабочем объеме давления зажигания возникает разряд и устанавливается заданный уровень тока разряда за счет регулирования давления электромагнитным вибрационным натекателем.

Магнетронные распылительные устройства имеют механизм вакуумной блокировки зоны разряда, изолирующий магнетрон и подложкодержатель от общей рабочей камеры и тем самым исключая влияние остаточной атмосферы

общей камеры на свойства пленки.

Последовательное расположение магнетронных распылителей позволяет изготавливать двухслойные пленочные структуры или наносить один и тот же материал с двух позиций, сокращая время нанесения в два раза. Благодаря использованию планетарного механизма закрепления подложек достигнуты высокие коэффициенты запыления ступенек и равномерность толщины пленки.

Автоматическое управление всеми исполнительными механизмами агрегата по заданной программе осуществляется от бесконтактного логического управляющего устройства.

Уставками соответствующих систем стабилизации задаются параметры процесса: ВЧ мощность и время травления; скорость газовых потоков, подаваемых в шлюзовую камеру; ток нагрева подложек первого и второго уровня;

ток и время распыления мишени магнетрона на первой и второй позициях.

Для управления вакуумной откачкой служит блок управления с мнемосхемой на лицевой панели. Запуск и остановка откачной системы осуществляются вручную.

*Статья поступила 12 октября 1979г.*

А. Е. Лихтман, Л. А. Сейдман

## РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ МАГНЕТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВАКУУМНО-НАПЫЛИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.793.7.06

Применение распылительных магнетронных источников [1—4] позволяет существенно повысить эффективность вакуумно-напылительного оборудования благодаря простоте конструкции, высокой надежности, возможности долговременного распыления без догрузки распыляемого материала, отсутствию вредной бомбардировки подложек заряженными частицами, большим скоростям распыления и высокой адгезии осажденных пленок к холодным подложкам.

Оснащение действующего напылительного оборудования магнетронными источниками возможно в нескольких вариантах. Наиболее удобна для подобной модернизации установка УРМ 3.279.026, поскольку она содержит планетарную систему движения подложек и блок питания. Установка оснащается двумя магнетронными источниками распыления и одним ионным типа "Радикал", встроенными в смотровые окна. Блок питания обеспечивает постоянное напряжение 200—1000 В и ток до 5 А. При токе 4 А алюминий или молибден осаждаются одновременно на все подложки со скоростью 0,55 нм/с.

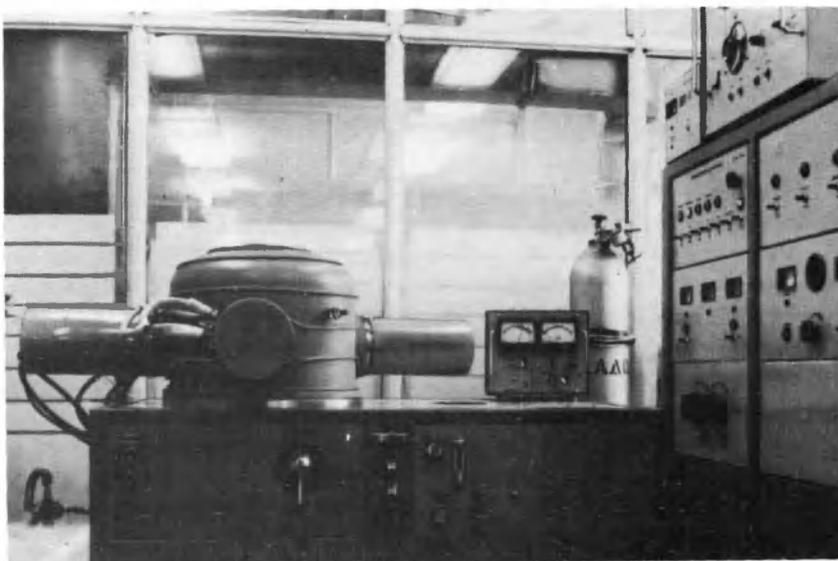
Установка дает возможность проводить ионную очистку поверх-

ности подложек и осаждение на нее многослойных покрытий (алюминий—молибден—алюминий) или пленок сплавов алюминия с кремнием и медью. Замена кассет на диски диаметром 210 мм позволяет одновременно загружать 30 пластин диаметром 75 мм. Производительность установки при осаждении пленок алюминия толщиной 1 мкм—180 пластин диаметром 75 мм в смену, при осаждении молибдена толщиной 0,1 мкм—270 пластин.

При модернизации установки резистивного испарения

УРМ.3.279.017 (УВН-71П-3) магнетронный источник также встраивается в смотровые окна, карусель заменяется планетарной системой перемещения подложек, которая приводится в движение приводом карусели и состоит из пяти дисков диаметром 240 мм, катящихся по основанию. На дисках можно одновременно закреплять 30 подложек диаметром 75 мм. По параметрам установка подобна модернизированной установке УРМ 3.279.026.

Рассмотренные устройства обеспечивают получение металлических



Установка УРМ 3.279.026, оснащенная магнетронными источниками распыления

пленок с высокой адгезией и низким удельным сопротивлением путем осаждения на холодную подложку.

Для осаждения пленки на нагретую подложку разработан вариант внутрикамерного устройства установки УРМ 3.279.017 с нагревателем подложек и планетарной системой, представляющей собой три вогнутых диска диаметром 320 мм. Ламповый нагреватель помещен внизу камеры на уровне магнетронного источника. Однако по скорости осаждения материала этот вариант установки уступает предыдущим.

Возможен также простейший вариант модернизации установки УРМ 3.279.017 без использования планетарных систем, в котором карусель, нагреватель и термические испарители оставлены без изменения. Магнетронный источник установлен на свободном месте в вакуумной камере под каруселью. Осаждение пленок проводится снизу вверх на вращающуюся карусель. Равномерность толщины пленки достигается подбором формы диафрагмы между источником и каруселью, как в случае термических испарителей. При неподвижной подложке достигаются максимальные скорости осаждения (для молибдена 1 мкм/мин). Использование секторного нагревателя подложек, снабженного несколькими

тепловыми экранами, позволяет нагревать подложку до температуры 1000 °С, что дает возможность получить плотные с хорошей адгезией к керамической подложке пленки молибдена толщиной 5–8 мкм, используемые для сварки герметичных корпусов полупроводниковых приборов.

Для питания магнетронного источника требуется напряжение 500–700 В и ток 4–6 А, что обеспечивается разработанной бестрансформаторной схемой блока питания магнетрона, использующей известную схему с удвоением выпрямленного напряжения. Такой источник питания прост в изготовлении и занимает мало места по сравнению с трансформаторными источниками. Для работы схемы на токе 4 А применены две емкости по 2000 мкФ, набранные из конденсаторов К50-3Ф по 1000 мкФ. Регулировка величины напряжения осуществляется автотрансформатором ЛАТР-2. Недостатком источника питания является довольно высокий уровень пульсации выпрямленного напряжения, не оказывающий, однако, заметного влияния на качество металлических пленок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Aronson A., Weinig S. In-line production magnetron sputtering. — Vacuum, 1977, vol. 27, N 3, p. 151–153.

2. Hoffman V. High rate magnetron sputtering for metallizing semiconductor devices. — Sol. St. Technol., 1976, vol. 19, N 12, p. 57–61, 66.

3. Schiller S., Heisig V., Gedicke K. On the use of ring gap discharges for high-rate vacuum coating. — J. Vac. Science Technol., 1977, vol. 14, N 3, p. 815–818.

4. Kirov K., Ivanov N.A., Atanasova E.D., Minchev G.M. DC magnetron system for cathode sputtering. — Vacuum, 1976, vol. 26, N 6, p. 237–271.

Статья поступила 9 августа 1979 г.

## ЭП РЕКЛАМА

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ.  
ВЗАИМНАЯ ДИФфуЗИЯ  
И РЕАКЦИИ

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

Монография, написанная группой американских авторов, посвящена явлениям переноса вещества и различным реакциям, протекающим на границе раздела твердых фаз. Рассмотрен широкий круг вопросов: теоретические и технические проблемы диффузии на межфазных границах; реакции в контактирующих тонких пленках; получение и исследование металлических пленок на полупроводниковых подложках; явления на границах зерен поликристаллических структур. Особое внимание уделено изучению фундаментальных свойств барьеров Шоттки.

Книга предназначена для научных работников (физиков, химиков) и инженеров, занимающихся физикой полупроводников, микроэлектроникой, созданием полупроводниковых приборов, катализом, коррозией.

В. Н. Акимов, А. П. Рыдзевский

## УСТРОЙСТВО ДОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКЕ

УДК 621.3.048.77.002.72:621.791.76—181.48

Контактная сварка расщепленным электродом [1, 2], применяемая при монтаже гибридных микросхем, обеспечивает высокое качество и надежность микросоединений.

Однако при ее использовании часто не удается достичь необходимой воспроизводимости прочности сварных соединений, поскольку ток в сварочной цепи, а следовательно и мощность, не посто-

яны в процессе сварки из-за изменения контактного сопротивления электрод–проволока вследствие окисления торца электрода, загрязнения электрода и проволоки, неравномерности сечения проволоки и т.д.

Известно, что необходимым условием образования сварного соединения является затрата определенной величины энергии для активации соединяемых поверхностей и образования прочных связей. Эта энергия при контактной микросварке выделяется в виде теплоты на сопротивлении свариваемых элементов в результате прожжения через них импульса тока. При сварке расщепленным электродом более 90% всей тепловой энергии выделяется непосредственно на контактном сопротивлении электрод–проволока и на сопротивлении участка проволоки, привариваемого к контакт-

ной площадке интегральной микросхемы. Очевидно, что введение в зону сварки дозированной тепловой энергии, величина которой пропорциональна интегральной температуре, приведет к стабилизации температурного режима и повысит воспроизводимость прочности сварных соединений.

Для получения заданного количества тепла при контактной микросварке расщепленным электродом разработано устройство дозирования энергии (рис.1), которое работает следующим образом. Сварочный инструмент опускается на свариваемые элементы, сжимает их, после чего между электродами пропускается импульс тока, вызывающий разогрев зоны сварки и пластическую текучесть присоединяемого проводника. В процессе образования соединения сварочное напряжение и сигнал, пропорциональный сварочному току, предварительно усиливаются, детектируются и логарифмируются, после чего поступают на входы сумматора. На выходе сумматора формируется сигнал, пропорциональный логарифму тепловой мощности, который антилогарифмируется и для получения сигнала, пропорционального количеству тепла, интегрируется. Затем с выхода интегратора сигнал регистрируется на запоминающем осциллографе С1-30 и поступает на вход компаратора, который в момент равенства сигналов на обоих

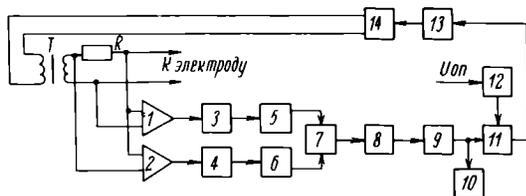


Рис.1. Схема устройства дозирования: 1, 2 – усилители; 3, 4 – амплитудные детекторы; 5, 6 – логарифматоры; 7 – сумматор; 8 – антилогарифматор; 9 – интегратор; 10 – запоминающий осциллограф С1-30; 11 – компаратор; 12 – делитель напряжения с опорным напряжением на входе  $U_{оп}$ ; 13 – реле времени; 14 – блок контактной сварки

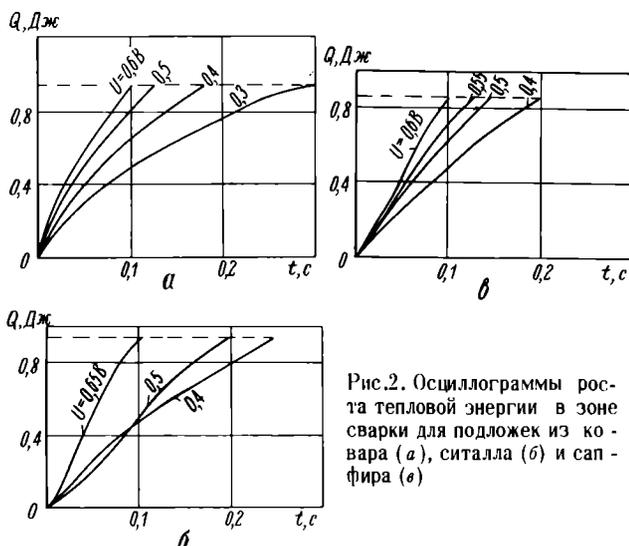


Рис.2. Осциллограммы роста тепловой энергии в зоне сварки для подложек из кобальта (а), ситалла (б) и сапфира (в)

входах подает импульс на реле времени, отключающее блок контактной сварки. Уровень срабатывания компаратора подбирается при наладке установки по достижению максимальной прочности сварного соединения. Отключение процесса сварки задается с помощью делителя напряжения с опорным напряжением  $U_{оп}$  на входе.

На осциллограммах (рис.2) показан характер роста тепловой энергии, выделяющейся в зоне сварки во время присоединения золотой проволоки диаметром 30 мкм к золотым контактным площадкам на пластинах из кобальта, ситалла и сапфира, при различных значениях сварочного напряжения  $U$ .

Проверка качества соединений показала, что использование устройства дозирования энергии при контактной микросварке обеспечивает высокую надежность и воспроизводимость прочности на отрыв при различных режимах. Разброс прочности при изменении сварочного напряжения в пределах 0,3–0,6 В не превысил 1,2% для ситалловых подложек и 2% для кобальтовых. Применение устройства дозирования для монтажа гибридных интегральных микросхем позволяет снизить процент брака и повысить эксплуатационные характеристики установок контактной сварки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Г.В., Гревцев И.В. Сварка и пайка в микроэлектронике. – М.: Советское радио, 1969.–192 с.
2. Оборудование для монтажа гибких перемычек гибридных интегральных схем / С.И.Бухман, А.Д.Киселев, Ю.А.Рубин, Э.Г.Сиваков. – Электронная техника. Сер.7. Технология, организация производства и оборудование, 1973, вып.5, с.69–72.

Статья поступила 12 ноября 1979

## ЭП РЕКЛАМА

### ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

С. Моррисон

Пер. с англ. М.: Мир, 1980, 30 л., 7000 экз.

Монография посвящена физике и химии явлений, развивающихся на поверхности твердого тела при соприкосновении с газовой или жидкой фазами. Основное внимание уделяется вопросам хемосорбции и гетерогенного катализа и связанным с ними электронным процессам. Рассмотрены явления в области пространственного заряда в приповерхностном слое полупроводника, фотоадсорбционный эффект в полупроводниках, роль поверхностных состояний в гетерогенном катализе.

Книга предназначена для физиков, занимающихся поверхностными явлениями, химиков, работающих в области адсорбции и катализа, аспирантов физических, химических и химико-технологических факультетов.

В.А.Зенькович, В.М.Мазаник,  
О.К.Твердов, В.В.Шевцов

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГРУППОВОЙ СБОРКИ ИС НА ЛЕНТЕ

УДК 621.3.049.77.002.72

Групповая сборка ИС с использованием ленточных носителей является перспективным методом автоматизации сборочных процессов, способным обеспечить растущие потребности микроэлектронной аппаратуры в новых конструктивных решениях с помощью сборки модуля (готовой ИС) на ленте при повышении эффективности и уровня автоматизации.

В последнее время этот метод интенсивно развивается, и уже разработано несколько его вариантов, отличающихся типом сборочной ленты и металлургической системой контактного выступа.

Разработка оборудования для групповой сборки на ленте является составной частью комплекса работ, включающего технологию получения контактных выступов и производство сборочной ленты. Технические требования к этому оборудованию должны предполагать развитие таких преимуществ метода, как высокая производительность, сохранение ориен-

тации кристаллов перед операциями сборки, упрощение оборудования и межоперационной транспортировки за счет снижения числа циклов до уровня 1 цикл—1 прибор и применения ленточной технологии.

Комплект оборудования для групповой сборки ИС с использованием однослойной ленты на основе меди состоит из установок присоединения внутренних и внешних выводов. Конструкция установки присоединения внутренних выводов ЭМ-4012 (рис. 1) позволяет применять сборочные ленты всех видов. При этом в условиях массовой сборки, когда операция промежуточного контроля нерентабельна [3], наиболее экономична однослойная лента благодаря простоте ее получения и низкой стоимости.

Установка ЭМ-4012 содержит упрощенную схему лентопротяжного механизма с зубчатыми барабанами, выполняющими функции перематки ленты и съема присоединенного кристалла путем синхронного противовращения; развитую систему управления термическим циклом присоединения выводов и съема кристаллов, включающую систему обдува нагретым и холодным газом с регулировкой временных параметров; двухкоординатный вибратор для сообщения полупроводниковой пластине сложного колебательного движения в плоскости пайки. Совмещение выводов осуществляется с помощью вертикальной телевизионной системы по визирной сетке, состоящей из независимо регулируемых вертикальных и горизонтальных линий.

Установка присоединения внешних выводов ЭМ-4022 (рис. 2) осуществляет одновременную вырубку (отделение) и присоединение выводов группы модулей (до 5 штук). После отделения группы модулей в зону присоединения подается отрезок внешних выводов и осуществляется одновременная контактная пайка. Совмещение соединяемых объектов происходит автоматически по бази-



Рис. 1. Установка присоединения внутренних выводов ЭМ-4012

### Технические данные установки ЭМ-4012

Производительность, схем/ч	1000
Поле перемещения стола, мм	100x100
Температура постоянного нагрева инструмента, °С	50—600
Температура импульсного нагрева инструмента, °С	50—600
Температура нагрева стола, °С	50—200
Усилие присоединения, Н	4—25
Длительность импульса нагрева, с	0,01—9,99

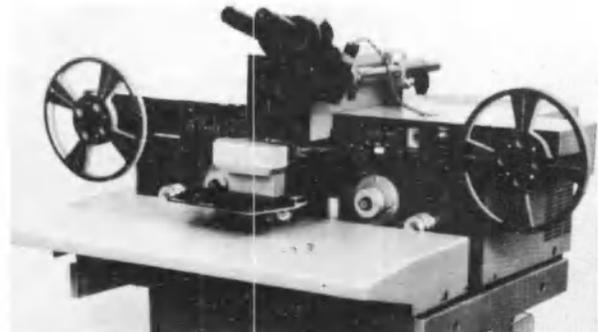


Рис. 2. Установка присоединения внешних выводов ЭМ-4022

### Технические данные установки ЭМ-4022

Производительность, схем/ч	2500
Точность совмещения, мм	±0,06
Число каналов вырубki и пайки	5
Максимальная мощность канала пайки, кВт	0,5
Длительность пайки, с	0,01—1
Усилие присоединения, Н	5—50

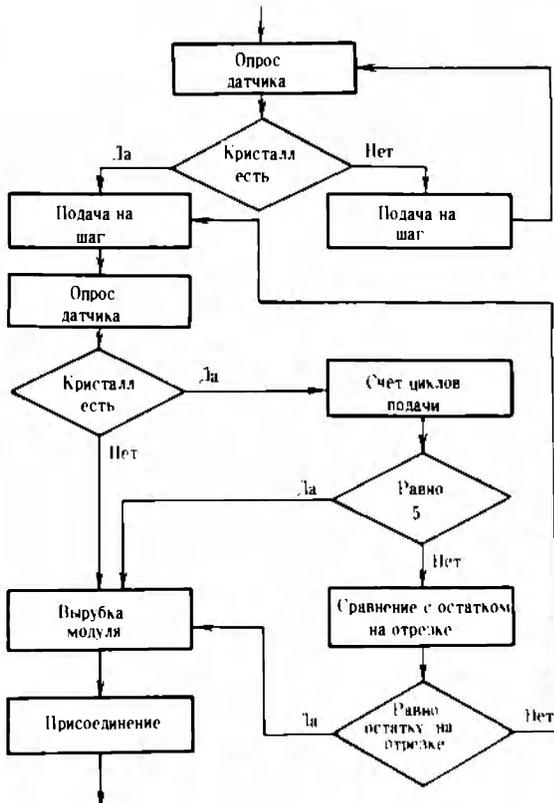


Рис. 3. Алгоритм блокировок установки присоединения внешних выводов

рующим элементам сборочной ленты и отрезка внешних выводов. Одновременное отделение и присоединение группы модулей позволяет существенно повысить производительность установок этого клас-

са. Поскольку реальная сборочная лента с присоединенными кристаллами не является сплошной, возникает необходимость сложных блокировок на границах участков ленты со сплошным присоединением кристаллов. Для осуществления таких блокировок разработан простой алгоритм (рис. 3), по которому подача ленты происходит до поступления в зону вырубki группы модулей со сплошным присоединением кристаллов, число которых не превышает числа свободных мест на отрезке внешних выводов и числа каналов вырубki и присоединения.

Таким образом, по сигналам датчиков беспрепятственно пропускаются пустые участки ленты, а на границах участков со сплошным присоединением кристаллов и при недостаточном числе свободных мест на отрезке внешних выводов вырубka осуществляется первыми по ходу ленты пуансонами блока вырубki.

За цикл в среднем одновременно присоединяются четыре модуля, рассчитанных для реальной сборочной ленты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор: Монтаж гибридных ИС с помощью ленточных носителей / И.Б. Емельянова, — 1978. — Вып. 21 (863), Радиоэлектроника за рубежом.
2. Mroz E. Tape carriers as a packaging concept of the 80's. — Sol. St. Technol., 1979, vol. 22, N 3, p. 28–30.
3. Девит Д., Джордж Д. Автоматизированная сборка на ленточные носители — способ удешевления производства ИС. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1978, т. 51, № 14, с. 52–57.

Статья поступила 23 января 1980 г.

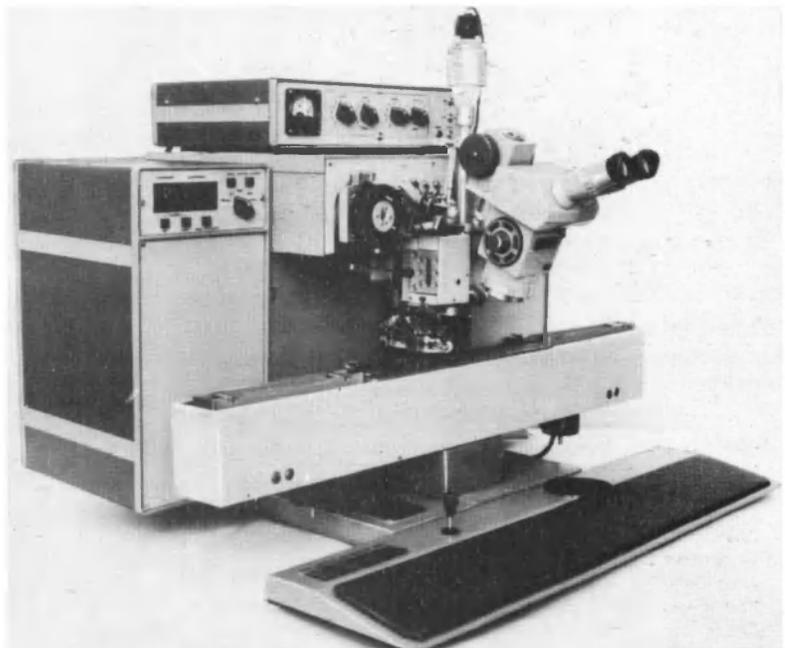
В. И. Горожанцев, В. Т. Кулешов, А. П. Рыздзевский, С. И. Шуньков

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АВТОМАТ ЭМ-4020 ДЛЯ МОНТАЖА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Автомат обеспечивает высокую производительность — две проволочные перемычки в секунду при сборке ИС в дискретных корпусах любых типов и на ленте. Управление автоматом осуществляется на базе микропроцессора К-580.

УДК 621.3.049.77.002.72:681.88.004

Успехи, достигнутые за последние годы в создании технологии и оборудования для сборки ИС, позволили значительно снизить трудоемкость операций выполнения межсоединений проволочными проводниками. Вслед за автоматическими термокомпрессионными установками типа ЭМ-490 [1] для присоединения золотой проволоки методом "шарик-нахлест", использующими элеваторно-грейферную систему



подачи лент и подвижную в координатах  $X$ - $Y$ - $Z$  сварочную головку, появились полуавтоматы АУС-05 [2] для сварки алюминиевой проволоки клином методом "нахлест-нахлест" с автоматическим позиционером рабочего стола по координатам  $X$ - $Y$ - $\varphi$  и подвижным по оси  $Z$  сварочным инструментом. Однако такой вариант установки не позволяет производить монтаж на отрезках лент и требует увеличения размеров контактных площадок кристаллов до  $150 \times 150$  мкм и площадок траверс до  $450 \times 450$  мкм для проволоки диаметром 35 мкм.

Массовое производство ИС предъявляет к методам сборки и оборудованию высокие требования в отношении производительности, универсальности и надежности, поскольку в технологическом цикле изготовления ИС монтажно-сборочные операции должны обеспечивать сохранение на требуемом уровне свойств приборов, полученных на предыдущих операциях.

Автоматы должны обеспечивать сборку стандартизованных ИС без увеличения размеров контактных площадок кристаллов и траверс корпусов с высокой точностью и плотностью монтажа, сборку ИС в "безбазовых" корпусах, а также управление процессом микросварки и контролем качества соединений с учетом свойств свариваемых материалов. Необходимо, чтобы оснащение автоматов микро-ЭВМ, оптическими системами (типа "машинное зрение") и точными механическими устройствами не влекло за собой увеличения их габаритов, стоимости, не усложняло их обслуживания и не препятствовало максимальному использованию типового технологического процесса монтажа ИС.

Эти задачи были решены благодаря созданию сварочной головки, подвижной по координатам  $X$ - $Y$ - $Z$  и с вращением по углу  $\varphi$ , ось поворота которой совпадает с осью симметрии рабочего торца инструмента, и применению неподвижно закрепленного загрузочно-разгрузочного устройства (ЗРУ).

В состав автомата ЭМ-4020, снабженного этим устройством, входит двухкоординатный стол с приводом от шаговых двигателей. На столе размещено устройство поворота сварочной головки и световая указка, на корпусе неподвижно установлены ЗРУ и микроскоп. Ультразвуковой генератор, блок питания, первый блок управления (стабилизатор напряжений, привод ШД, исполнительные и командные устройства) и второй блок управления (микро-ЭВМ,

устройство сопряжения, исполнительные и командные устройства) размещены компактно и занимают небольшой объем. Построение автомата обеспечивает малую инерционность подвижных частей (в перемещении по координатам  $X$ - $Y$  участвует масса в 2 кг, на угол  $\varphi$  поворачивается масса в 0,2 кг, по координате  $Z$  перемещается масса в 0,1 кг), что способствует его быстродействию.

Отрезок ленты с приборами или отдельные корпуса, помещенные в кассету, подаются на рабочую позицию автоматически. После совмещения по любым двум (заранее выбранным) точкам на кристалле автоматически производится монтаж всех перемычек. Время совмещения составляет 0,5–3 с и зависит от точности посадки кристалла в корпус ИС и навыка оператора. После совмещения световой указки с первой контактной площадкой ИС (точкой) происходит автоматический отскок инструмента к точке второго совмещения.

Организация и управление циклом работы автомата осуществляется от микро-ЭВМ на базе микропроцессора К-580. Предусмотрены различные режимы работы автомата для задания координат перемещения инструмента, монтажа любой перемычки при исправлении брака и режим корректировки координат любой заданной программным переключателем контактной площадки.

Аварийное питание запоминающего устройства позволяет хранить в нем координаты кристалла и рамки при отключенном питании.

Для получения качественных соединений в автомате предусмотрено регулирование усилия нагрузки, траектории перемещения сварочного инструмента при формировании петли, уровней первой и второй сварок и мощности ультразвукового импульса. Качество соединений контролируется в процессе сварки по достижению оптимального уровня амплитуды колебаний инструмента, при этом время сварки определяется автоматически. К материалу и размерам присоединяемых элементов предъявляются следующие требования: проволочные выводы должны выполняться из алюминия ТУ Яе0.021.139, контактные площадки кристалла — из алюминия толщиной не менее 0,9 мкм; контактные площадки корпуса (отрезка ленты) — из золота 999,9 ГОСТ 7222-75 толщиной не менее 3 мкм или алюминия толщиной не менее 1,5 мкм (допускаются никелированные контактные рамки, прошедшие операцию электрополировки). Контактные площадки кристалла должны иметь размер

не менее  $120 \times 120$  мкм для проволоки диаметром 35 мкм, контактные площадки корпуса — не менее  $200 \times 200$  мкм.

По координатам  $X$ ,  $Y$  допускается погрешность положения кристалла в корпусе относительно номинального  $\pm 0,5$  мкм, по углу  $\varphi \pm 7^\circ$ . Разновысотность от опорной плоскости корпуса до плоскости контактных площадок не должна превышать 0,1 мм.

Для разварки "безбазовых" корпусов предусмотрен второй цикл работы, отличающийся от первого только тем, что совмещение производится по четырем точкам (двум на корпусе и двум на кристалле).

Автомат может быть оснащен ЗРУ для унифицированных отрезков, дискретных корпусов, плат ЧЗН и др.

#### Техническая характеристика

Время монтажа одной перемычки (при средней длине перемычки $\leq 1,5$ мм), с	0,5
Рабочее поле перемещения координатного стола, мм	$25 \times 25$
Усилие сжатия присоединяемых элементов, Н	0,2–1,2
Дискретность задания координат, мм	0,005
Диаметр проволочных выводов, мм	0,025–0,06
Число выводов, привариваемых за один цикл	64
Рабочая частота ультразвуковой сварочной системы, кГц	$66 \pm 3$
Пределы регулирования длительности сварочного импульса, с	0,02–0,2
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)
Потребляемая мощность, кВт	0,5
Габариты	$850 \times 810 \times 630$
Масса, кг	110

Поскольку скорость и погрешность угла поворота сварочной головки не влияют на точность выхода инструмента на рабочую позицию, точность присоединения и производительность автоматов с подвижной сварочной головкой в 2,5 раза выше, чем полуавтоматов с поворотным столом. Кроме того, возможна обработка монтажа интегральных схем в корпусах на отрезках лент (для массового производства). Применение неподвижно установленного ЗРУ полностью отвечает требованиям построения автоматических линий и цехов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая установка термомикропресссионной микросварки ЭМ-490 / Л.Г. Битко, Д.Ю. Журавский, В.А. Зенькович, В.Н. Лифлянд, В.П. Малышевский, Е.Е. Онегин. — Электронная промышленность, 1978, вып. 6, с. 33–34.
2. Кузьмин Л.Н., Славинский Э.М. Автоматизация монтажа ИС алюминиевой проволокой. — Электронная промышленность, 1979, вып. 5, с. 60–62.

Статья поступила 30 января 1980 г.

Н. А. Гетман, В. А. Куришко, А. П. Ляшок

## ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ПЛОСКИХ КОРПУСОВ БИС ШОВНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКОЙ

Устройство компенсации эффективных значений тока сварочных импульсов, введенное в источник сварочного тока с фазовым регулированием угла включения и выключения, позволяет значительно снизить температуру максимального нагрева корпусов микросхем при герметизации.

Удк 621.3.049.77-263-76:621.791.76

Важнейшей проблемой герметизации металло-стеклянных и металлокерамических корпусов больших интегральных микросхем (БИС) с планарным расположением выводов является снижение механических и термических воздействий на спай стекло-металл или керамика-металл, которые служат основной причиной появления брака изделий по герметичности.

Снижение механических воздействий обеспечивается с помощью применения в качестве основного метода герметизации односторонней шовной, или роликовой контактной сварки, представляющей собой сварку-пайку с использованием в качестве припоя золото-никелевого покрытия, при которой усилия сжатия уменьшаются более чем в 10 раз по сравнению с контактной рельефной сваркой [1-3].

Снижение термических воздействий обеспечивается правильным выбором технологических параметров процесса (длительности импульса сварочного тока, паузы и скорости сварки), а также охлаждением зоны сварки.

Однако при использовании роликовой сварки возникает противоречие между стремлением получить максимальную производительность и необходимостью обеспечить минимальную температуру нагрева корпуса изделия.

Это объясняется тем, что глубина фронта распространения максимальных температур при сварке зависит от длительности нагрева металла сварочным импульсом [4]:

$$h \equiv \sqrt{a\tau_{и}}$$

( $a$  — температуропроводность свариваемого металла;  $\tau_{и}$  — длительность импульса сварочного тока).

Скорость сварки при любом импульсном процессе с перекрытием сварных точек обусловлена длительностью всего сварочного цикла:

$$V_{св} = \frac{d_{т}}{\tau_{и} + \tau_{п}} (1 - k_{пер})$$

( $d_{т}$  — длина сварной точки;  $k_{пер}$  — коэффициент перекрытия сварных точек;  $\tau_{п}$  — длительность паузы). Обычно длина сварной точки, определяемая главным образом диаметром сварочных роликов, и коэффициент перекрытия сварных точек выбираются постоянными. Для сварки металлов малых толщин короткими импульсами опытным путем установлено оптимальное соотношение между длительностями сварочного импульса и паузы при естественном охлаждении зоны сварки [5]:

$$(10 \div 20) \tau_{и} > \tau_{п} \geq (5 \div 10) \tau_{и}$$

При коэффициенте жесткости импульсного режима  $\tau_{п} / \tau_{и} = (5 \div 10)$  практически не происходит нарастания температуры по длине шва. Однако это обуславливает сравнительно низкую скорость сварки.

Повышение производительности сварки путем уменьшения сварочного цикла сокращением длительности паузы или сварки растянутыми импульсами приводит к монотонному нарастанию температуры корпуса примерно на  $9,6^{\circ}\text{C}$  за каждый сварочный цикл [6].

Исследования показали, что на нагрев изделия при герметизации большое влияние также оказывает форма импульсов сварочного тока. Объясняется это тем, что наибольшая температура достигается в момент максимальной плотности сварочного тока в контакте [4]. Поэтому даже при одинаковой длительности сварочных импульсов разогрев изделия бывает различным в зависимости от того, на начало или на конец импульса приходится момент с максимальной плотностью тока.

Оценка влияния формы импульсов сварочного тока на температуру изделий при герметизации позолоченных крышек и оснований металло-стеклянных корпусов была проведена [7] на плоском 14-выводном корпусе 401.14-5. Соединение осуществлялось односторонней контактной сваркой коническими роликами с режимами, подобранными для получения швов одинаковой ширины с равным шагом точек при использовании источников, обеспечивающих следующие формы импульсов сварочного тока: с крутым фронтом и пологим спадом, с пологим фронтом и крутым спадом, с прямоугольным импульсом и заполнением его переменным током повышенной частоты (рис. 1, а, б, в).

Результаты измерения температуры хромель-копелевыми термопарами с регистрацией на электронном осциллографе приведены в таблице [7] (обозначение формы сварочного импульса соответствует рис. 1).

Существенная разница температур объясняется изменением эффективного значения сварочного тока, необходимого для получения одинаковых по размеру сварных точек при различной форме импульса. Поэтому для получения минимального значения температуры вблизи сварного шва необ-

ходимо применять сварочные импульсы с более низкочастотным спектром (рис. 1, б) [7].

В данной работе усредненные значения температуры нагрева корпуса 401.14–5 при сварке на полуавтомате ПГРС-1М с формой сварочных импульсов, представленной на рис. 1, а, сравнивались с результатами, полученными с помощью источника, обеспечивающего сварочные импульсы промышленной частоты с фазовым регулированием угла включения и выключения (рис. 1, в), источника повышенной частоты (д) и источника сварочного тока конденсаторного типа (е).

Максимальные температуры, измеренные хромель-копелевыми термопарами (°С)

Обозначение формы импульса	Место измерения температуры корпуса	
	Центр дна основания	Центр крышки
а	110–115	250
б	50–60	140
в	120–130	280

За основу для сравнения принималась удовлетворительная прочность швов, критерием которой считался разрыв не по месту соединения, а по зо-

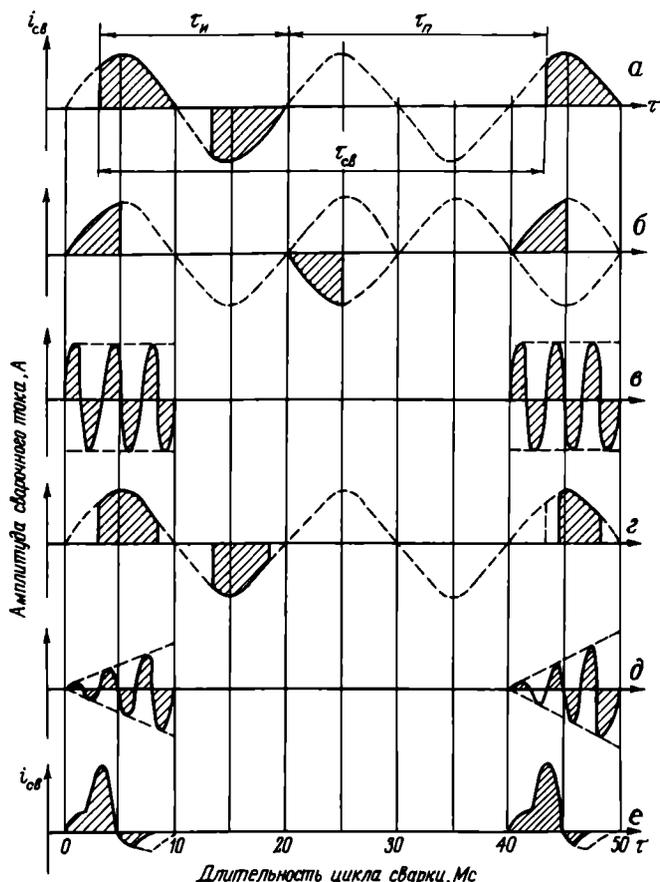


Рис. 1. Формы импульсов сварочного тока контактных машин для герметизации промышленной частоты с фазовым регулированием угла включения (а) и выключения (б); повышенной частоты, прямоугольной формы (в); промышленной частоты с фазовым регулированием угла включения, выключения и компенсацией тока импульсов (г); повышенной частоты треугольной формы (д), конденсаторного типа с последовательным разрядом двух емкостей и отсечкой обратной полуволны (е)

не термического влияния материала крышки вблизи шва.

Сравнивались максимальные температуры ободка корпуса (место последнего стеклоспая внешнего вывода корпуса на глубине 0,7 мм под швом). Измерения термопарами медь-константан диаметром 0,1 мм с регистрацией милливольтметром М1109 класса 0,2 показали следующие средние значения температуры при различной форме импульса (см. рис. 1), °С: а – 175; в – 140; д – 275; е – 145; б (по данным работы [7]) – 160.

Для сопоставимости результатов некоторые технологические параметры сварочных режимов поддерживались постоянными: скорость сварки – 8,75 мм/с; время сварочного цикла – 40 мс; усилие сжатия – 8Н.

Удовлетворительная прочность швов достигалась путем подбора продолжительности сварочного импульса от 4,4 мс (рис. 1, в) до 7 мс (д), а также амплитудным значением сварочного тока 735 А (в), при сварке конденсаторным источником (е) с применением последовательного разряда двух емкостей оптимальная длительность подогретого импульса составляла 1,6 мс, сварочного – 4,3 мс, амплитудное значение тока подогрева – 255 А, сварочного импульса – 790 А.

Эксперименты показали, что основной причиной увеличения температуры корпуса в процессе герметизации током промышленной частоты является наличие пологого спада сварочного импульса в полуавтоматах ПГРС-1М. Эта часть импульса не сваривает, а только разогревает соединение. Применение в этом оборудовании импульсов с крутым спадом обеспечивает снижение температуры корпусов на 10%.

При сварке конденсаторным источником энергии основной причиной разогрева корпусов является обратная полуволна сварочного тока.

Герметизация импульсами сварочного тока повышенной частоты (рис. 1, в и д) с точки зрения минимизации температур при односторонней сварке параллельных швов значительно уступает соединениям компактными импульсами (б, г и е).

С целью повышения производительности при достаточном снижении температуры на полуавтомате 03СС900-1 применили последовательную сварку импульсами (рис. 1, б) каждого шва двумя сварочными головками, из которых одна ставит сварочные точки с некоторым промежутком между ними, вторая перекрывает эти промежутки. Оборудование усложнено за счет удвоенного числа сварочных головок и необходимости поддержания заданной точности при перекрытиях сварочных точек в различных рабочих позициях полуавтомата.

На основании описанных температурных исследований был опробован способ повышения скорости сварки, использующий избыточное тепло, накапливаемое корпусом при сварке предыдущих точек. В источник сварочного тока промышленной частоты с фазовым регулированием угла включения и выключения (рис. 1, в) была введена компен-



Рис. 2. Полуавтомат ОЗКС 700-1 конвейерного типа для герметизации плоских корпусов БИС

сация эффективных значений тока сварочных импульсов, т.е. применено устройство постепенного увеличения угла включения каждого последующего сварочного импульса по длине шва. Это устройство постепенно сокращает эффективное значение сварочного тока для каждой последующей сварной точки шва на заранее установленную величину, соответствующую подогреву. В результате суммарного действия передней и задней отсечки пологих ветвей сварочного импульса с устройством компенсации получено снижение температуры максимального нагрева корпуса при герметизации не менее чем на 15% по сравнению со сваркой на полуавтоматах ПГРС-1М (рис. 1, а).

С использованием этого источника сварочного тока и технологического процесса сварки был разработан полуавтомат ОЗКС 700-1 конвейерного типа, имеющий всего две пары сварочных головок (рис. 2) для герметизации плоских корпусов БИС 401.14-5, 402.16-3, 405.24-1 и т.п. с размером выводной рамки по диагонали до 45 мм. Кинематическая производительность полуавтомата 700 корпусов/ч со скоростью сварки от 5,5 до 8 мм/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Закиров Р.Г., Острцов Ю.Н., Михайлов В.Н. Герметизация плоских корпусов ИС роликовой сваркой. — Электронная промышленность, 1974, вып. 5, с. 80-82.

2. Герметизация сваркой и пайкой корпусов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем/ Ляшок А.П., Грачев А.А., Закиров Р.Г., Зуев И.В. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование. 1977, вып. 8. — 60 с.

3. Soldering VS welding for large-package hermetic seals. — Circuits Manufacturing, 1972, vol. 12, N 11, p. 22-27.

4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Mashgiz, 1951. — 296 с.

5. Моравский В.Э., Семергеев С.И., Борона Л.С. Вопросы повышения качества и эффективности сварочного производства в радиоэлектронике и точном приборостроении. — Киев: Общ-во "Знание" УССР, 1977. — 32 с.

6. Гнедовец А.Г., Закиров Р.Г. Расчет температуры корпуса интегральной схемы при герметизации роликовой сваркой. — Сварочное производство, 1977, № 4, с. 29-31.

7. Мазеев А.А., Назаров Г.В. Оценка влияния формы импульса на условия нагрева при шовной контактной микросварке. — В кн.: Микросварка и пайка металлов малых толщин в приборостроении. Киев: Общ-во "Знание" УССР, 1978, с. 21-24.

Статья поступила 9 января 1980 г.

А. А. Мазеев, Г. В. Назаров, А. М. Шанов

## ПОЛУАВТОМАТ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КОРПУСОВ МИКРОСХЕМ

**Полуавтомат 10СС-900-007 для герметизации металлокерамических и металлоглазанных корпусов ИС односторонней шовной контактной сваркой обеспечивает меньшее термомеханическое воздействие на корпус, чем полуавтомат ПГРС-1М, более высокую производительность и выход годных по герметичности на уровне 98%.**

77-263-76.002.5

Герметизация металлоглазанных и металлокерамических корпусов односторонней шовной контактной сваркой коническими роликами, основанная на контактном плавлении металлов крышки и рамки корпуса с образованием паяно-сварного шва, широко используется при сборке ИС и БИС, обеспечивая их высокую надежность благодаря ряду преимуществ перед другими методами герметизации [1-3].

Выполненные в последнее время теоретические разработки и экспериментальные исследования [3, 4] позволили сформулировать следующие принципы построения технологического процесса и оборудования, обеспечивающего минимальное термомеханическое воздействие на конструкцию корпуса при одновременном повышении производительности и воспроизводимости качества сварных соединений:

— импульс сварочного тока должен иметь форму, близкую к треугольной при плавном нарастании тока и резкой его отсечке в конце импульса; длительность импульса не должна превышать  $(5 \div 7) \times 10^{-3}$  с для крышки толщиной 0,1-0,2 мм;

— для обеспечения частичного саморегулиро-

вания процесса сопротивление сварочного контура должно быть значительно меньше начального сопротивления нагрузки;

- в механизме сжатия грузового типа необходимо применение упругого элемента (консольное закрепление ролика на стержне малого диаметра);

- с целью стабилизации энергии каждого сварочного импульса следует обеспечить компенсацию колебаний напряжения сети;

- начало сварки должно происходить с некоторой задержкой относительно момента появления физического контакта между сварочными роликами и корпусом, определяемой временем накатки роликов на корпус;

- предварительное совмещение и прихватку крышки к основанию корпуса следует выполнять в едином технологическом цикле;

- зона сварки должна быть защищена ламинарным потоком инертного газа.

Изложенные принципы реализованы в полуавтомате герметизации микросхем односторонней шовной контактной сваркой 10СС-900-007 (рис.1), предназначенном для герметизации металлокерамических корпусов с квадратной и прямоугольной формой крышки толщиной в зоне образования сварного шва до 0,25 мм и размерами сторон от 5 до 40 мм. Возможна герметизация корпусов с планарным и радиальным расположением выводов.

Полуавтомат состоит из механизмов совмещения крышки с основанием корпуса, перемещения спутников с кассетами по замкнутому контуру и переукладки корпусов ИС; четырех пар сварочных головок, расположенных последовательно по ходу движения кассет-спутников с корпусами; источников питания для сварки; устройств управления сварочным процессом и всей работой полуавтомата.

Применение четырех пар роликов на самостоятельных сварочных головках позволяет проводить

процесс герметизации на повышенной скорости (до 20 мм/с) благодаря выполнению сварки через точку. При этом каждая вторая пара сварочных роликов предназначена для простановки сварных точек в промежутках между точками, проставленными первой парой. Каждые две пары роликов подключены к самостоятельному источнику питания.

При работе на полуавтомате оператор укладывает из транспортной кассеты на рабочий столик механизма совмещения основание корпуса и крышку и нажимает на педаль. Все остальные операции выполняются автоматически. Крышка с помощью пружин совмещается с основанием корпуса, а затем двумя электродами, которые опускаются на ее противоположные кромки, сваривается с рамкой основания корпуса в двух точках. Механизм переноса с помощью вакуумного захвата перемещает корпус с крышкой на позицию загрузки, куда одновременно подается спутник, несущий транспортную кассету. После загрузки в кассету происходит подача спутника с кассетой на ходовой винт.

Для выполнения процесса герметизации ходовой винт перемещает спутник с постоянной скоростью последовательно под четырьмя парами сварочных головок. В процессе движения после прохождения первых двух пар роликов кассета поворачивается на 90° для сварки поперечных сторон крышки с корпусом.

После окончания сварки спутник сходит с винта и подается на позицию разгрузки, где с помощью исполнительного механизма производится разжим кассеты и перенос вакуумным захватом загерметизированного корпуса в установленную транспортную кассету. Затем спутник по направлению перемещается на непрерывно движущийся транспортер, подающий спутники на позицию загрузки.

Настройка сварочных роликов на заданный типоразмер корпуса осуществляется с помощью ме-



Рис.1. Полуавтомат герметизации 10СС-900-007

ханизма перемещения, обеспечивающего установку сварочных роликов в горизонтальной плоскости с точностью 0,01 мм и в вертикальной — с точностью 0,05 мм. Усилие на роликах создается грузовым механизмом сжатия в пределах от 0,5 до 10 Н с дискретностью 0,5 Н. В установке используются ролики из меди или хромистой меди диаметром от 5 до 12 мм и углом конусности 30–25° в зависимости от типа герметизируемого корпуса.

Предусмотрена дискретная регулировка скорости сварки от 2,5 до 20 мм/с. Полуавтомат снабжен сменными кассетами для герметизации корпусов типа 402.16, 201.8, 210А.22, 421.48-3. В принципе возможна герметизация корпусов, вписывающихся в круг диаметром 70 мм. Переналадка на герметизацию корпуса нового типоразмера производится путем смены кассет в спутниках, регулирования механизма совмещения крышки с основанием корпуса, а также изменения режима сварки. Максимальная производительность может достигать 900 корпусов в час.

Сварка на полуавтомате производится импульсами, представляющими собой первую четверть синусоиды (рис.2) длительностью от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $7,1 \cdot 10^{-3}$  с с дискретностью регулирования  $0,3 \cdot 10^{-3}$  с. Длительность цикла выбирается в зависимости от скорости сварки и необходимого количества сварных точек на 1 мм сварного шва в пределах  $(20 \div 160) \cdot 10^{-3}$  с с дискретностью  $20 \cdot 10^{-3}$  с. Импульсы сварки включаются при появлении физического контакта между сварочными роликами и крышкой корпуса с некоторой задержкой, задаваемой системой управления в соответствии с технологическим режимом с целью исключения перегрева в углах корпуса. Время сварки каждой стороны корпуса задается реле времени с

дискретностью 0,01 с, что снижает требования к геометрическому расположению рамки относительно основания корпуса и к фиксации корпуса в спутнике.

В источнике питания полуавтомата предусмотрена система компенсации колебаний напряжения сети путем стабилизации энергии каждого сварочного импульса при достаточно широком регулировании амплитудного значения сварочного тока за счет изменения коэффициента трансформации сварочных трансформаторов (250–1000 А при нагрузке в  $2 \cdot 10^{-3}$  Ом).

Полуавтомат 10СС-900-007 внедрен в производство микросхем для герметизации нескольких типов корпусов. Для металлокерамического корпуса типа 210А.22 с никелированной крышкой толщиной 0,1 мм установлены следующие оптимальные параметры режима герметизации:

Амплитудное значение сварочного тока, А	350
Длительность импульса сварочного тока, с	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Длительность цикла (импульс + пауза), с	$20 \cdot 10^{-3}$
Скорость сварки, мм/с	12,5
Усилие на сварочных роликах, Н	3,5
Диаметр роликов, мм	8
Конусность роликов	25°
Производительность, корпусов/ч	500

Сварной шов при герметизации на полуавтомате формируется в результате оплавления покрытий крышки и рамки корпуса без каких-либо видимых начальных выплесков под роликами и при деформации кромки крышки примерно на 0,4–0,5 толщины. При герметизации на полуавтомате 10СС-900-007 нагрев корпуса в зоне расположения кристалла ИС не превышает 40–50°C, а центр крышки нагревается не более чем до 90–100°C, в то время как для ПГРС-1М эти значения соответственно равны ~100°C и ~200°C. Выход годных по герметичности при проверке гелиевым методом составляет 98%.

Разработанный полуавтомат герметизации позволяет существенно повысить производительность, снизить требования к герметизируемым корпусам и обеспечить высокий выход годных по герметичности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бауэр. Герметизация корпусов ИС. — Зарубежная электронная техника, 1971, № 4, с.58–66.
2. Оборудование для герметизации интегральных схем/Л.В. Лобиков, Г.В. Назаров, Г.И. Березников, О.Ф. Змиева. — Электронная техника. Сер.7. Технология, организация производства и оборудование, 1973, вып.5, с.11–14.
3. Назаров Г.В., Новокрещенов В.Г., Лысенко А.С. Особенности герметизации корпусов ИС односторонней шовной контактной сваркой. — В кн.: Микросварка и пайка элементов полупроводниковых приборов и интегральных схем, Киев, Обш-во "Знание" УССР, 1977, с.18–21.
4. Мазеев А.А., Назаров Г.В. Оценка влияния формы импульса на условия нагрева при шовной контактной микросварке. — В кн.: Микросварка и пайка металлов малых толщин в приборостроении. Киев, Обш-во "Знание" УССР, 1978, с.21–24.

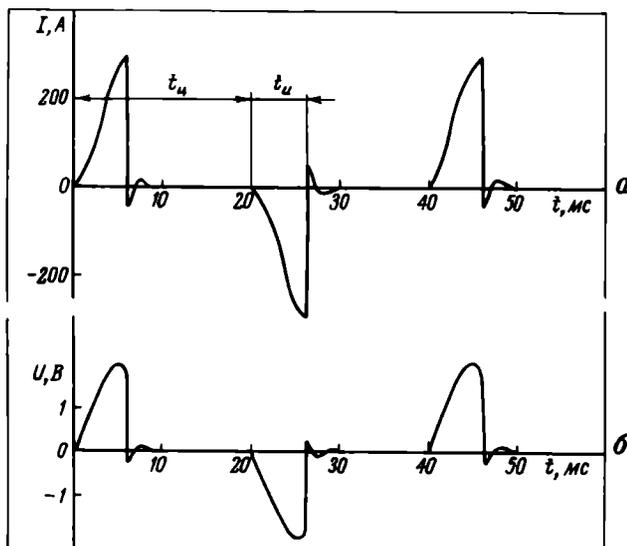


Рис.2. Импульсы тока (а) и напряжения (б) на сварочных роликах

# ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

В. И. Чухлиб, Е. Л. Янкелев

## ОКУЛЯР-МИКРОМЕТР С ЦИФРОВЫМ ОТСЧЕТОМ МОЗ-1-15

УДК 681.7.067.3



### Техническая характеристика

Максимальная величина перемещения сетки окуляра, мм .....	8
Увеличение окуляра .....	15 <sup>x</sup>
Дискретность отсчета перемещений сетки окуляра, мкм .....	1
Основная погрешность измерения перемещения сетки, мкм .....	≤ 2
Максимальное количество усредненных замеров .....	10
Максимальная погрешность вычисления результата, мкм .....	0,1
Увеличение объективов, при котором гарантируется работоспособность окуляр-микрометра .....	10–100 <sup>x</sup>
Габариты, мм	
измерительной головки .....	115×45×58
электронного блока .....	270×270×185

Окуляр-микрометры в сочетании с микроскопами различных типов широко используются в микроэлектронике при размерном контроле топологии фотошаблонов и полупроводниковых пластин. Однако существующие типы винтовых окуляр-микрометров имеют значительную погрешность измерения и требуют больших затрат рабочего времени на считывание и вычисление результатов измерений. При работе с ними оператор более 50% времени тратит на снятие показаний с отсчетного барабана и вычисление истинного размера объекта. При большом объеме измерений перенос взгляда с окуляра на барабан и обратно приводит к утомляемости оператора, уменьшению производительности и точности измерений.

Перечисленных недостатков не имеет разработанный электронный окуляр-микрометр МОЗ-1-15<sup>x</sup>, который состоит из измерительной головки (собственно окуляр-микрометра) и электронного блока.

Измерительная головка совместима по посадочным размерам со стандартным окуляр-микрометром МОВ-1-15<sup>x</sup>, а по габаритам незначительно превышает его, что обеспечива-

ет взаимозаменяемость окуляр-микрометров и возможность применения МОЗ-1-15<sup>x</sup> во всех этечественных микроскопах.

Измерительная головка содержит окуляр и подвижную стеклянную пластину, перемещение которой контролируется фотоэлектрическим датчиком, использующим принцип счета муаровых полос, образованных системой двух растров — индикаторного (неподвижного) и подвижного. Подвижный растр изготовлен фотолитографическим методом на стеклянной пластине, имеющей также сетку (биссектор) окуляра для наведения на измеряемый объект. Растры облучаются светодиодом через коллимирующую линзу. Распределение облученности в муаровой картине регистрируется четырехэлементным фотодиодом. Индикаторный растр содержит четыре группы штрихов, расположенные против соответствующих площадок фотодиода и сдвинутые друг относительно друга на 1/4 периода раstra, что позволяет получить с выходов фотодиода четыре периодических сигнала, сдвинутых друг относительно друга по фазе на 90°.

Растры представляют собой чередующиеся светлые и темные линии шириной 8 мкм, которые при зазоре между растрами 20–50 мкм позволяют получить почти синусоидальные выходные сигналы фотодиода.

В электронном блоке из сигналов фотоэлектрического датчика формируются счетные импульсы с дискретностью 1 мкм, которые поступают в реверсивный счетчик. Количество импульсов, зафиксированное счетчиком, соответствует величине перемещения сетки окуляра, выраженной в микрометрах. Для получения истинного размера объекта измерения зафиксированное счетчиком количество импульсов умножается на масштабный множитель — число, установленное программными переключателями, которое соответствует цене импульсов датчика перемещения сетки, приведенной в плоскость предметов с учетом увеличения объектива микроскопа. Масштабный множитель устанавливается перед началом измерений по результатам калибровки окуляр-микрометра.

Результат измерения, приведенный в плоскость предметов и выраженный в микрометрах, считывается оператором с индикаторного табло электронного блока.

При необходимости измерения могут производиться с усреднением. Для получения усредненного результата оператор несколько раз повторяет цикл измерения контролируемого объекта. Результат очередного измерения суммируется с предыдущими, и сумма хранится в ЗУ. По результатам измерений вычисляется и индицируется среднее арифметическое значение. Количество проведенных замеров индицируется на отдельном табло.

Производственные испытания опытных образцов показали, что использование окуляр-микрометра МОЗ-1-15<sup>x</sup> для контроля критических размеров элементов топологии фотошаблонов (при погрешности измерений не более ±0,15 мкм) увеличивает производительность операции в 1,5–2,5 раза и значительно снижает утомляемость оператора.

Статья поступила 20 ноября 1979 г.

В. А. Лаврович, Б. М. Лебедь

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТОКОПРОВОДАХ

Для защиты линий электропередачи могут применяться приборы с магнитным управлением частотой в качестве электронных трансформаторов тока.

удк 621.314.21/.23

Необходимость бесконтактного измерения тока возникает в различных областях техники, где прямые измерения затруднены: при измерениях плазменных токов, сварочных импульсов, токов генераторов для питания сверхпроводящих систем, токов в высоковольтных токопроводах, в агрессивных средах, в условиях радиации и т.д.

В настоящее время известны способы бесконтактного измерения тока с помощью индукционных гальваномангнитных и электрометрических преобразователей, а также с помощью магнитооптических явлений [1, 2].

Устройства для бесконтактного измерения тока особенно необходимы для использования в высоковольтных линиях передачи, где они могут заменить группогабаритные и материалоемкие трансформаторы. В этой области перечисленные способы бесконтактного измерения не могут быть применены, поскольку действительно бесконтактным из них является только один — магнитооптический, в котором расстояние от датчика, помещенного в магнитное поле тока, до фотоприемника может составлять десятки метров; но этот способ слишком сложен и зависит от метеоусловий. Остальные способы требуют проводникового соединения датчика, введенного в поле измеряемого тока, с измерительными приборами.

Устройства для бесконтактных измерений и защиты в высоковольтной электроэнергетике могут быть выполнены на основе активных и пассивных приборов, использующих ферромагнитный резонанс.

Одним из таких устройств является гиромагнитный резонатор, представляющий собой линейный датчик тока, преобразующий величину тока в частоту.

В настоящее время в технике СВЧ широко применяются приборы с магнитным управлением частотой на базе гиромагнитных резонаторов (полосно-пропускающие и полосно-заграждающие фильтры [3–5], автогенераторы, генераторы гармоник [6, 7]).

Автогенератор СВЧ с магнитным управлением частотой может быть использован в качестве датчика тока (рис.1). Если его поместить в магнитное поле измеряемого тока, то частота генерации будет аддитивно изменяться пропорционально величине магнитного поля тока. С помощью антенны эти колебания могут быть переданы на расстояние десятков метров. Информация о величине и фазе измеряемого тока поступает на полосно-пропускающий фильтр с магнитным управлением частотой, синхронно перестраиваемый с помощью системы АПЧ с частотой автогенератора. Поскольку гиромагнитные резонаторы автогенератора и полосно-пропускающего фильтра выбираются одинаковыми, ток управления фильтра пропорционален измеряемому току. При изготовлении замкнутой магнитной системы полосно-пропускающего фильтра из материалов с высоким значением индукции величина коэффициента трансформации достигает значений  $K \leq 10^6$ . Таким образом, устройство может служить в качестве электронного трансформатора тока.

Способ измерения тока в режиме "на отражение" (рис.2) в отличие от предыдущего не требует источника питания. В этом случае датчиком тока служит полосно-пропускающий (полосно-заграждающий) фильтр, располагаемый вблизи токопровода и снабженный антенной. Изменение величины тока приводит к модуляции резонансной частоты фильтра и фиксируется измерительным прибором по изменению частоты свипируемого автогенератора,

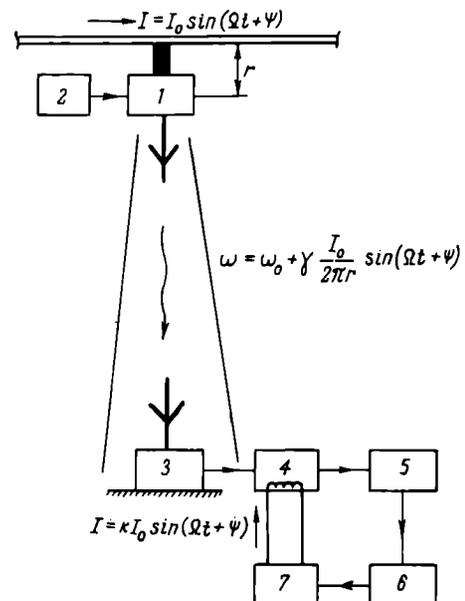


Рис.1.Блок-схема измерения тока в линейном высоковольтном токопроводе с помощью автогенератора СВЧ с магнитным управлением частотой: 1 – автогенератор; 2 – источник питания; 3 – приемное устройство; 4 – сопряженный ферритовый фильтр с магнитной перестройкой частоты; 5 – детектор СВЧ колебаний; 6 – устройство автоматической подстройки частоты; 7 – блок управления сопряженным фильтром

находящегося на земле и имеющего мощность больше, чем в первом случае.

В аварийном режиме работы номинальное значение тока в линии электропередачи может быть превышено в 50–200 раз. При этом защита линии осуществляется чаще всего с помощью электромагнитных реле. Но такой способ защиты не обеспечивает достаточной точности выставления уровней. Для улучшения защиты линии может быть использован полупроводниковый генератор гармоник с последовательно включенным полосно-пропускающим фильтром, который способен выделить нужную гармонику.

Расположив генератор гармоник вместе с задающим генератором вблизи токопровода, можно получить датчик дискретных значений тока, так как гармоники следуют на равных расстояниях друг от друга. Это позволит очень точно выставлять уровни защиты, поскольку каждому такому уровню соответствует определенное число гармоник. Амплитудный детектор переводит гармоники в импульсы, число которых фиксируется быстродействующим счетчиком, включающим соответствующие уровни защиты.

Рассмотренные примеры приборов с магнитным управлением частотой имеют следующие технические характеристики:

Диапазон измеряемых величин тока, А	..... $10^{-4}$ – $10^4$
Точность измерения, %	..... 0,3–0,4
Постоянная времени гиромангнитных резонаторов, с	..... $10^{-4}$
Ширина полосы пропускания фильтров, %	..... 0,2–0,25
Линейность, %	..... $\pm 0,1$

Изложенные принципы построения электронных трансформаторов тока носят в достаточной степени универсальный характер и свидетельствуют о возможности обеспечения средствами контроля и

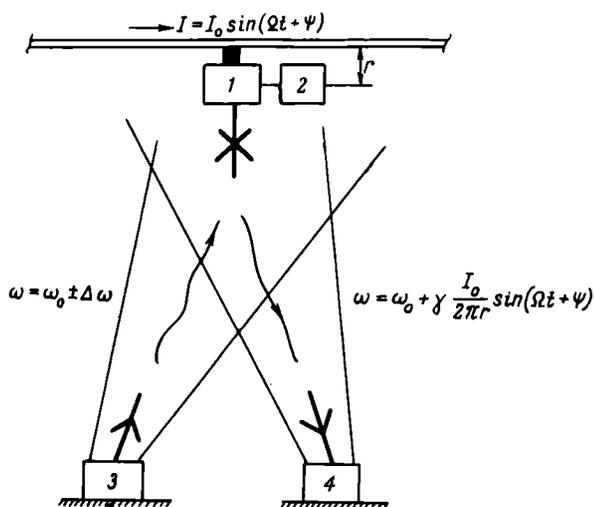


Рис.2. Блок-схема измерений тока в токопроводе в режиме "на отражение": 1 – полосно-заграждающий или полосно-пропускающий фильтр СВЧ с магнитной перестройкой частоты; 2 – согласованная нагрузка; 3 – СВЧ генератор, свалируемый в полосу частот  $2\Delta\omega$ ; 4 – приемное измерительное устройство

управления высоковольтных ЛЭП, а также электромашин на этапе производства и потребления электроэнергии. При этом сочетание электронных средств контроля токов с системами обработки информации на основе микропроцессоров может послужить основой для построения АСУ электрическими энергосистемами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич Л.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. – М.: Наука, 1973–591 с.
2. Разин Г.И., Шелкин А.П. Бесконтактное измерение электрических токов. – М.: Атомиздат, 1974, 159 с.
3. Лебедь Б.М., Николаева К.С. Ферритовый резонатор в витке с током. – Электронная техника. Сер.7. Ферритовая техника, 1969, вып.5 (22), с.17–27.
4. Лебедь Б.М., Николаева К.С. Ферритовый резонатор в скрещенных витках. – Электронная техника. Сер.7. Ферритовая техника, 1969, вып.5 (22), с.28–43.
5. Лебедь Б.М., Николаева К.С. Режекторные фильтры на сосредоточенных реактивных элементах. – Электронная техника. Сер.7. Ферритовая техника, 1971, вып.1 (28), с.109–127.
6. Гусев А.В., Лаврович В.А. Расчет электрически перестраиваемого твердотельного генератора с ферритовым резонатором и скрещенными витками связи. – Известия ЛЭТИ им. В.И.Ульянова-Ленина, 1975, вып.161, с.45–48.
7. Смирнов Ю.К., Лаврович В.А., Челишев Н.Н. Широкодиапазонный перестраиваемый генератор гармоник. – Ферритовые СВЧ приборы и материалы. X Всесоюзная науч.-техн. конференция по СВЧ ферритовой технике, 1978, т.2, с.20.

Статья поступила 16 июля 1979 г.

## ЭП РЕКЛАМА

### МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

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

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

В сборник включены статьи отечественных авторов по следующим вопросам: общие проблемы и физические основы полупроводниковой микроэлектроники, микропроцессоры, основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем, методы контроля и измерительная аппаратура, проектирование микроэлектронной аппаратуры и технология ее изготовления, оптоэлектроника, новые направления микроэлектроники. Большая часть статей посвящена исследованию свойств полупроводниковых приборов, изучению особенностей работы СВЧ приборов в различных устройствах и рассмотрению современных представлений и тенденций развития ПЭС.

Сборник предназначен для специалистов, занимающихся разработкой, изготовлением и применением полупроводниковых приборов и ИС.

Г. Г. Горбунова

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ТЕКСТОВ ДЛЯ АИПС В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕДАКЦИЯХ

УДК 621.3.049.77--263--76.002.5

Интенсивность потоков научно-технической информации, особенно в новых, быстроразвивающихся областях науки и техники, неуклонно растет, поэтому с целью повышения эффективности использования этих потоков в практической деятельности начинают широко внедряться автоматизированные системы обработки информации. Такие системы, построенные на базе современных ЭВМ, резко повышают производительность труда при выполнении таких масштабных видов работ, как, например, ретроспективный поиск информации и текущее оповещение [1], в принципе решают проблемы эффективного управления информационным потоком в направлении от машинных баз данных к пользователям, т.е. оперативного обеспечения пользователей релевантной информацией, имеющейся в хранимом фонде. Исследования и разработки в этой области концентрируются в основном на вопросах совершенствования информационно-поисковых языков (ИПЯ) и технической реализации АИПС, а также автоматизированного распределения информации [2].

В то же время в деле управления информационным потоком при формировании машинных баз данных имеется ряд проблем, главная из которых определяется необходимостью участия человека в анализе предметного содержания документов и аналитико-синтетической их обработке. Все возрастающий объем непрерывно поступающей новой информации требует все большего количества людей, участвующих в выполнении "интеллектуального сжатия" этой информации.

Ограниченность людских ресурсов и жесточеские требования к качеству аналитико-синтетической обработки документов диктует необходимость повышения эффективности работы служб НТИ и совершенствования организационных форм. Через редакции отраслевых и подотраслевых научно-технических сборников проходит значительная часть проблемно-ориентированных информационных потоков, причем не просто "проходит", а подвергается интеллектуальной обработке, к которой отно-

сится не только редактирование, но и реферирование или составление аннотаций, работы над рубрикаторм и библиографическими списками, составление аналитических обзоров и обзорных справок и др. Причем результаты этих работ по содержанию являются исходными документами для соответствующих АИПС, однако при их выполнении в подавляющем большинстве случаев это обстоятельство пока не учитывается. Представляется возможным и во многих случаях целесообразным возложить, например, на работников редакций при составлении рефератов или аннотаций не только выполнение предварительного этапа аналитико-синтетической обработки документов (этапа предметизации), но и формирование с помощью лексических и грамматических средств ИПЯ действующей АИПС поискового образа документа (ПОД). Более того, если АИПС обеспечивает автоматическое кодирование ПОД [3], то ввод результатов обработки документов можно реализовать с помощью терминала, установленного непосредственно в редакции. Ниже рассматриваются возможности решения такой задачи.

При создании и внедрении АИПС решаются две основные задачи:

- создание совокупности информационного языка, правил переработки, поиска информации и обеспечивающих технических средств [4];
- первичная формализация документа на естественном языке с обязательным сжатием информации (например, получение реферата) и ориентацией на последующий ввод формализованного документа в машинную базу данных.

Очевидно, что при обработке документов для последующего описания сжатой информации на ИПЯ должны учитываться особенности конкретной системы, указанной выше совокупности средств информационного, лингвистического и аппаратно-программного обеспечения. Первичную формализацию рассматривают как первый этап процесса индексирования, т.е. образования ПОД с помощью ИПЯ. Участвующему в этом процессе, в частности работнику редакции, нужно хорошо представлять ИПЯ, основное "интеллектуальное" средство системы, которое определяется как "систематизированная совокупность символических выражений, предназначенных для обозначения информации (документов, фактов) и для последующего экономного и ускоренного поиска и распределения этой информации в ответ на запрос" [5]. В первую очередь необходимо знать основную содержательную часть ИПЯ — информационно-поисковый тезаурус, его дескрипторы, а также базовую классификацию информационного потока (рубрикатор). Это важно не только для выполнения оперативной

работы, когда работник, например, на основе текстов рефератов составляет перечень информативных слов или словосочетаний, а ЭВМ с помощью машинного тезауруса заменяет их на машинные индексы, но и для участия работников редакций, в процессе обновления и дополнения рубрикаторов и тезауруса в соответствии с изменениями в информативном потоке.

Немаловажную роль играет знание основных методов и приемов, используемых при обработке документов, например многоаспектного метода реферирования и возможностей его оптимизации, при выявлении аспектов содержания документов с помощью формальных текстовых признаков (маркеров) [6]. В то же время формальное описание должно видоизменяться и дополняться с учетом знания текущей информационной потребности пользователей АИПС введением оценочных коэффициентов полезности статей и отдельных их частей для научно-технического направления. Иначе стремление к максимальному сжатию информации, например при реферировании, особенно индикативном (аннотации), будет приводить к ситуации, когда наиболее важная информация будет вытеснена маловажной.

Последнее положение может усугубляться в условиях динамичного изменения во времени основных факторов полезности в научно-технической периодике. Это легко проиллюстрировать на примерах из области наиболее динамично развиваемого направления электроники — микропроцессорной техники. Так, на начальных этапах ее развития и в период становления наиболее актуальными были вопросы архитектурно-структурной организации, и любая статья, связанная с микропроцессорами и микро-ЭВМ, требовала обязательного "маркерования" той части документа, где эти вопросы отражались. В настоящее время появилось множество архитектурно-структурных решений микро-ЭВМ, поэтому со всей остротой встали задачи стандартизации; более актуальными, и в общем достаточно проблемными, оказались вопросы системного использования микропроцессорной техники, обеспечения микро-ЭВМ необходимым "обрамлением" в виде БИС и ряд других. Эти изменения в весах важности отдельных аспектов научно-технической проблемы не могли не отразиться в ее рубрикаторе и принятой классификации. Фактически этот вопрос связан с классифицированием целей потребителей и, естественно, важен для работы редакции. Здесь следует заметить, что редакции, постоянно работающие с "первичной информационной средой" [7], имеют широкие возможности для оперативного отслеживания и анализа указанных изменений. Предположим, редактору в процессе редактирования необходимо подготовить реферат (аннотацию) для ввода в конкретную систему, аналогичную системе АПИС, рассмотренной в работе [3]. АПИС ориентирована на использование ИПЯ дескрипторного типа без грамматики,

обладает способностью морфологического анализа ключевых слов ПОД и их автоматического кодирования. В этой системе ПОД составляются путем подчеркивания ключевых слов в названии и тексте реферата (аннотации). Далее ключевые слова без изменений переносятся на соответствующее поле рабочего листа. Заполненный рабочий лист передается на перфорацию для ввода информации в ЭВМ с носителя (перфокарты). Редактор должен владеть дескрипторным словарем и структурой действующего в системе тезауруса и знать процедуру автоматического кодирования поисковых образов документов, включая образование форм конкретной словарной единицы с помощью основы тезауруса и ссылок на морфологические таблицы [3]. Обладая этими знаниями, работник редакции, имеющий данные о текущей информационной потребности (ИП) по содержанию текста может варьировать выбор ключевых слов и, в случае необходимости, вводить новые дескрипторы. Таким образом, выполнение этой работы на высоком уровне требует знания основ АИПС и ясного представления об организации цепочек "Документ—реферат—ПОД" и "ИП—запрос—поисковое предписание" [8], что связано с определенной подготовкой (повышение квалификации), а также созданием руководящих методических материалов по этому вопросу.

Развитие работ по интеграции реферирования в редакциях и пополнению информационного фонда в АИПС связано с организацией терминальных постов непосредственно в редакциях, где, вслед за выделением ПОД в реферате, работнику, например младшему редактору, поручается выполнение следующего шага, который применительно к технологии системы АИПС может выглядеть следующим образом.

С помощью клавиатуры на экране дисплея терминального поста набирается рабочий лист, включающий поле шифра, аннотацию или реферат и ключевые слова. После визуальной проверки и корректировки текста иницируется подпрограмма ввода и далее начинает функционировать АПИС. Выше отмечалось, что особенности функционирования конкретных АИПС, действующих ИПЯ и структуры тезаурусов будут влиять на работу по аналитико-синтетической обработке текстов и их подготовке к вводу в информационные базы, однако эти обстоятельства, на наш взгляд, не являются принципиальными и всегда могут быть учтены в методических указаниях. Так, например, при подготовке рефератов для ввода в действующую АСНТИ "Электроника" следует учитывать особенности заполнения рабочих листов документов и других процедур предмашинной обработки [9, 10].

Примером работы редакции в направлении аналитико-синтетической обработки текстов для АИПС может служить подготовка формализованных документов для пополнения автоматизирован-

ного справочника изделий [11]. Полезность создания в рамках действующих АСНТИ такого вида оперативного информационного обеспечения особенно в области электронной техники с ее огромной, неуклонно растущей номенклатурой, очевидна. В то же время в поступающих в редакции, в частности в редакцию научно-технического сборника "Электронная промышленность", статьях, сообщениях, рекламных материалах практически оформился непрерывный информационный поток о характеристиках новых изделий, приборов, технологического оборудования. Таким образом, при наличии определенных требований на содержание и форму справочного текста работникам редакций не составляет труда выделять эту информацию из редактируемого материала, а при наличии технического обеспечения вводить ее в АИПС.

Для опробования этого вида работы сформирован экспериментальный массив документов по микропроцессорной технике для специализированной АИПС со смешанной иерархической классификацией, в которой каждому индексу, объединяющему дескрипторы разных категорий, строго соответствует один хранимый документ [12]. Для организации автоматизированного справочника изделий в тезаурусе указанной АИПС предусматриваются подфасеты для наименования класса изделий и иерархическая древовидная организация дескрипторных словников для всей номенклатуры и ассортимента изделий. На основе анализа многообразия микропроцессорной техники с учетом особенностей организации тезауруса в части справочной информации по изделиям предложена древовидная классификация [11] и формы входных документов, которые нетрудно заполнить в условиях редакции. Сформированный массив введен в АИПС и практически вошел в эксплуатационный информационный фонд системы.

Зная основные особенности указанной системы (или ее аналогов), а также информационные потребности пользователей (различные уровни руководителей), можно на основе информационных потоков, проходящих через редакцию, существенно расширить фонд хранимых документов, таблиц, обзорных справок, каталогов. В этом случае реализуется процедура "ИП ↔ документ" по схеме индексирования "документ → дескрипторы: дескрипторы — документ".

Наконец, редакции могут внести ощутимый вклад в библиометрические исследования при анализе тенденций развития научно-технических направлений [13] и создании информационных систем, базирующихся на языках библиографических ссылок. Развитие этого вида работ может основываться на анализе накапливаемых сводных библиографических списков, работе над рубрикаторами журналов и сборников, периодически проводимом библиометрическом анализе отдельных направлений электронной техники.

Выполненный анализ позволил определить пути повышения эффективности работы редакции научно-технического сборника "Электронная промышленность". В качестве первоочередной задачи предстоит внедрить в практику работы редакции подготовку обработанных документов с наиболее актуальной в соответствующих направлениях информацией для непосредственного ее ввода в действующие отраслевые АИПС. Подготовленные в результате проводимых работ руководящие методические материалы могут быть полезны при обработке не только публикуемой научно-технической информации, но и отчетов по проводимым НИОКР, например при составлении рефератов этих отчетов, вводимых в АСНТИ "Электроника". Таким образом редакция сможет усилить свой вклад в информационное обеспечение разработчиков изделий электронной техники и руководителей научно-технической деятельностью в отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ланкастер Ф. Информационно-поисковые системы. — М.: Мир, 1972. — 308 с.
2. Мирошников В.И., Лившиц Э.С., Мурзина Т.К. Автоматизированная система семантического распределения информации. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 8, с. 11—20.
3. Володин К.И., Анно Е.И., Андреева Л.В. Автоматическое кодирование поисковых образов документов. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 5, с. 23—28.
4. Жданова Г.С. Русско-англо-французский терминологический словарь по информационной теории и практике. — М.: БИНИИ, 1968.
5. Якушин Б.В. Алгоритмическое индексирование в информационных системах: Проблематика и методы. — М.: Наука, 1978. — 144 с.
6. Гегдина Н.И. Выявление аспектов содержания документов с помощью формальных текстовых признаков. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 4, с. 7—12.
7. Гиляревский Р.С., Шрейдер Ю.А. Семиотика научно-информационных процессов. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 1, с. 1—7.
8. Тафипольская М.Я. О проблеме выражения в запросе информационной потребности абонента АИПС. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 8, с. 21—25.
9. Митюшин Ю.Б., Фокин В.М., Махотенко Ю.А. АСНТИ "Электроника": исследование, разработка, внедрение. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1978, № 4, с. 5—13.
10. Новикова Л.С., Фадеев П.К. Об оценке качества работы отраслевой АСНТИ "Электроника". — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1978, № 7, с. 12—17.
11. Горбунова Г.Г. Формирование информационной базы по микропроцессорной технике. — Электронная промышленность, 1979, вып. 11—12, с. 92—93.
12. Вальков В.М., Колесов В.Н. Рождественский М.Г. Результаты разработки автоматизированной информационно-справочной системы группового пользования. — Управляющие системы и машины, 1977, № 4, с. 128—134.
13. Артамонов Г.Г., Чистяков В.М., Тесляк Е.Е. Библиометрические исследования при анализе тенденций в развитии научно-технических направлений. — Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1979, № 1, с. 8—13.

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Оформление рукописи, направляемой в научно-технический сборник "Электронная промышленность"

В целях увеличения информационной емкости научно-технического сборника "Электронная промышленность", степени насыщенности информацией отдельных его рубрик, объем которых строго нормирован, а также повышения коэффициента использования бумаги редакция просит авторов работ, направляемых для опубликования, выполнять следующие требования.

1. В статье излагать только суть вопроса.

2. Объем статьи (включая аннотацию, рисунки, таблицы, выводы, список литературы и подписи к рисункам) не должен превышать:

— 24 страниц машинописного текста — для обзорной статьи о состоянии и перспективах развития электронной техники;

— 16 стр. — для статьи теоретического характера;

— 12 стр. — для статьи прикладного характера;

— 8 стр. — для информации об издании, установке, устройстве, включая фото внешнего вида, техническую характеристику, данные об эффективности использования и областях применения;

— 2 стр. — для рекламного материала или оперативного сообщения.

3. Рукопись представляется в редакцию в двух экземплярах, отпечатанная на пишущей машинке через два интервала. Размер левого поля листа должен быть не менее 30 мм.

4. Рисунки прилагаются к статье в двух экземплярах. Фотоснимки принимаются отпечатанными только на глянцевой бумаге, четкие и проработанные, без изломов, царапин и чернильных пометок. Штриховые рисунки должны быть выполнены с соблюдением чертежных ГОСТов, хорошо просматриваться через наложенную кальку. Следует обращать внимание на правильность и четкость написания на них буквенных обозначений и размерностей. Рисунки последовательно нумеруются по тексту. Их место в тексте помечается на полях рукописи. На обороте каждого рисунка мягким карандашом указывается его номер, авторы и название статьи. В качестве иллюстраций могут присылаться цветные слайды на широкой (в исключительных случаях допустимо на узкой) пленке.

3 Число формул и математических выводов должно быть минимальным. В формулах прописные буквы подчеркиваются двумя чертами снизу, строчные — сверху. Буквы греческого алфавита обводятся красным карандашом. Обозначения степеней и индексов отмечаются "подключкой" (знак  $\cup$  — для надстрочных обозначений и  $\cap$  — для подстрочных).

4. Перечень литературы, прилагаемый к статье, составляется в последовательности, соответствующей

упоминанию источников в тексте, или в алфавитном порядке по фамилиям авторов (при отсутствии ссылок). Отчетные и диссертационные материалы, а также ведомственные издания в перечень литературы не включаются. В библиографическом описании указываются следующие сведения для различных видов литературы:

для книги — фамилии и инициалы всех авторов, название, том, часть, место издания, издательство (издающая организация), год издания, число страниц; в описании переведенной книги указывать язык оригинала;

для статьи из периодического издания — фамилии и инициалы всех авторов, заглавие статьи, название издания, номер и наименование его серии, год, том, номер выпуска, страницы;

для статьи из книги — фамилии и инициалы всех авторов, заглавие статьи, название книги, место ее издания, издательство (издающая организация), год издания, страницы; если книга переведенная, указать язык оригинала;

для стандарта — индекс и заглавие;

для авторского свидетельства — номер, заглавие, фамилии и инициалы всех авторов изобретения, а также год номер и страницы "Бюллетеня изобретений", в котором описание опубликовано;

для иностранного патента — номер патента и страна;

для каталога промышленного оборудования — название каталога, предприятие-изготовитель, место и год издания;

для фирменного каталога — название фирмы и город, где она находится (на языке оригинала), переведенное на русский язык название каталога или, если нет названия, кратко сформулированное его содержание, год издания;

для неопубликованного перевода — его заглавие и на языке оригинала — фамилии авторов и источник с выходными данными (год, том, страницы); указать также фонд и номер, под которым он хранится.

5. Оба экземпляра статьи должны быть подписаны всеми авторами с указанием даты написания статьи.

6. К статье необходимо приложить карточки всех авторов, содержащие их домашние адреса с указанием почтовых индексов, номера домашних и служебных телефонов и сведения о наличии детей.

Редакция берет на себя право возвращать авторам для переоформления рукописи, не отвечающие перечисленным требованиям.

# ЭПИТРОН-С1

УДК 621.383.933

Установка предназначена для наращивания эпитаксиальных структур арсенида-фосфида галлия, применяемых для изготовления светоизлучаемых диодов и отличается следующими принципиальными особенностями: наличием в едином реакционном объеме нескольких температурных зон; прецизионным программированием расхода газовых реагентов в процессе роста эпитаксиального слоя; высокой точностью дозирования реагентов; автоматизацией процесса наращивания эпитаксиальных слоев.

Установка включает в себя три основных блока — газораспределения, автоматического управления и реактор. В состав установки входит также высокочастотный генератор мощностью 60 кВт и частотой 440 кГц.

Вертикальный реактор с горячей стенкой [ 1, 2 ] позволяет производить наращивание эпитаксиальных структур одновременно на 32 подложках диаметром до 40 мм при двухъярусной загрузке.

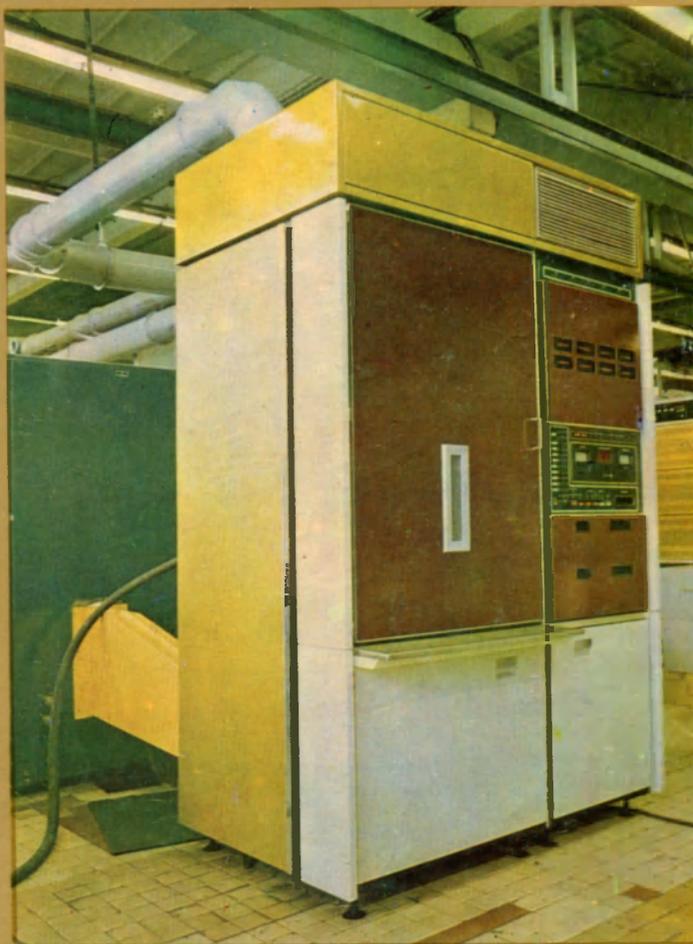
Система газоснабжения реактора имеет семь самостоятельных каналов, обеспечивающих подготовку и дозирование азота, водорода, арсина, фосфина, аммиака, диэтилтеллура и хлористого водорода и содержит принципиально новые по конструкции и параметрам электронные регуляторы расхода газов РРГ-1, обеспечивающие точность  $\pm 3\%$ , клапаны с дистанционным пневмоуправлением, работающие в любых газовых средах, регуляторы и датчики давления газов, фильтры. Эти унифицированные функциональные элементы являются специализированными изделиями и широко применяются в физико-термическом оборудовании.

Система, состоящая из электронного регулятора расхода газа и электронного программатора 15ИПП, обеспечивает плавное изменение расхода фосфина (известно, что незначительные скачки в расходе фосфина в начальной стадии роста  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  приводят к снижению качества эпитаксиального слоя [3]).

Установка "Эпитрон-С1" обладает достаточной надежностью и обеспечивает устойчивую воспроизводимость электрофизических параметров осаждаемых структур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Реакторы осаждения слоев из газовой фазы и тенденции их развития / В.И.Иванов, А.Ю.Малинин, Н.И.Николайкин, В.В. Савин, Э.Б. Сигалов. — Электронная промышленность, 1977, вып.5, с.32–35.



2. Луничев А.В., Аигина Н.Р., Соколов Е.Б., Вигдорович Е.Н. Промышленное производство эпитаксиальных структур арсенида-фосфида галлия. — Зарубежная электронная техника, 1976, вып. 6, с. 3–30.

3. Малинин А.Ю., Лебедев В.В. Газовая эпитаксия полупроводниковых соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  на современном этапе. — Электронная техника. Сер.6. Материалы, 1977, вып. 6, с. 53–58.

Статья поступила 12 октября 1979 г.

Ответственные за выпуск Т.Р. Крылова, В.М. Дмитриев  
Художник В.А. Чернецов Технический редактор Г.М. Корнеева  
Фото на 4-ой стр. обложки Б.В. Борисевича  
Корректоры Н.С. Русецкая, О.А. Гришкова



Подписано в печать 19/ У-1980г.

Т-08485 Формат 60x90/8 Объем 9 п. л.  
Уч.-изд. л. 8,5 Индекс 3833 32 статьи, 4 реф.  
Заказ 514 Тираж 3900 Цена 2 руб.90коп.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ "Электроника"

Москва, 117415, проспект Вернадского, 39

Индекс 3833

*т. Арба А.С.*

