



ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ISSN 0207-6357

6

1983



1983

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.А.Чернышев
(главный редактор)

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

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

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

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

• Одной из важнейших задач работников отрасли в современных условиях является выполнение постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР по вопросу соблюдения договорных обязательств по поставкам продукции и повышения в этом деле ответственности министерств, ведомств и предприятий.

• Изготовление ОЗУ на сверхтонких структурах обеспечивает ему время выборки информации около 10 нс, время перезаписи менее 7 нс при малой потребляемой мощности. Наличие входа выборки кристалла, выходного эмиттерного повторителя с открытым эмиттером и ряд других конструктивно-технологических особенностей позволяют строить запоминающие устройства ЭВМ с любым наращиванием емкости по словам и разрядам.

• Волстроны, объединяющие воедино отрезок волоконно-оптического кабеля, излучатель, фотоприемник и микросхемы электронного обрамления, обладают более высокой надежностью и лучшими энергетическими характеристиками по сравнению с обычными конструкциями волоконно-оптических линий. Выигрыш в энергетике светопередачи в волстромах достигает 6—8 дБ, благодаря чему токи возбуждения могут быть снижены до уровня 0,01 А.

• Тепловизионная система «Радуга» имеет широкие функциональные и метрологические возможности: она реализует получение термограмм из 18500 элементов разложения с температурой разрешения 0,2°C, а также, благодаря наличию в ее составе цифрового запоминающего устройства, осуществляет фиксацию до четырех фаз теплового процесса или запись нескольких эталонных термограмм, что удобно для решения задач неразрушающего контроля.

• Предлагается метод макромоделирования, позволяющий получать аналитические соотношения временных параметров цифровых элементов в зависимости от их структуры и параметров транзисторов, что дает возможность повысить точность логического моделирования.

• Прецизионный бесконтактный контроль параметров планарно-эпитаксиальных структур: концентрации свободных носителей в пленках, показателя преломления и толщины диэлектрических слоев на полупроводниковых подложках и поверхностной неоднородности образцов — достигается при использовании поляризационно-оптической установки.

• Применение в качестве покрытий углеродных пленок, обладающих высокой твердостью, соизмеримой с твердостью алмаза, хорошей адгезией к подложке, стойкостью по отношению к абразивному износу и низким коэффициентом трения при взаимодействии со сталью и другими материалами, повышает износостойкость режущего и мерительного инструмента, деталей штампов и пресс-форм, деталей машин.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1983 **6**
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. · ВЫПУСК (123)

СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Стуколов П.М.* Задачи обеспечения выполнения договорных обязательств

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 6 *Дятченко В.Н., Неклюдов В.А., Нестеров А.Э., Родионов Ю.П., Сквира А.В.* Быстродействующее ОЗУ К500РУ145 емкостью 64 бит
- 7 *Кружанов Ю.В., Сафронов В.Э.* Статическое биполярное ПЗУ К596РЕ1 емкостью 64 К
- 10 *Климашаускас К.Ю., Монставичюс Т.А., Марцинкявичюс А.-И.К.* Быстродействующий АЦП К1107ПВ1
- 11 *Вартинь В.Р., Додока Ю.В., Лукаев В.А.* Интегральный таймер КР1006ВИ1
- 12 *Носов Ю.Р., Дмитриев В.П., Файзулаев Б.Н.* Волстроны — новый класс изделий электронной техники
- 13 *Дьяконов М.Н., Коныхин В.Е., Костельова Л.А., Столов Л.А., Ханин С.Д.* Высоконадежные танталовые конденсаторы
- 15 *Бачурин В.В., Бельков А.К., Полехов В.В., Садковская Е.А.* Мощный генераторный МДП-транзистор КП913

ЭЛЕКТРОНИКА — МЕДИЦИНЕ

- 16 *Горкавенко А.Ф., Доценко В.С., Падалко Г.А., Тарасов В.В.* Тепловизионная система "Радуга"
- 18 *Белецкий Ю.В., Осипов В.А., Россиянский Л.С.* Электронное устройство для количественной оценки электромеханической активности сердца

- 19 *Баринев Г.М., Благодарный Л.А., Герберг А.Н., Мухо С.Б., Одарюк Т.С., Рыков В.И., Сазков Е.Д., Федоров В.Д.* Магнитное запирающее устройство для создания управляемой колостомы

ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

- 21 *Максимов С.К., Пискунов Д.И., Питиримова Е.А.* Особенности технологии ионного внедрения примесей в соединения $A^{III}B^V$
- 22 *Кармазинский А.Н., Смирнов Д.А.* Характеристики фрагментов КМДП БИС при оптимальном схемотехническом проектировании
- 24 *Васенков А.А., Засед В.С., Федотов Я.А.* Ограничения степени интеграции, обусловленные ростом числа межсоединений
- 27 *Глебов Г.Д.* Расчетная оценка скорости связывания разреженных газов
- 28 *Лукьянчикова Н.Б.* Физические основы электрофлукуационной диагностики надежности и срока службы полупроводниковых приборов

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

- 36 *Кулаков М.А., Морозов А.И.* Акустический микроскоп с высоким разрешением
- 37 *Габучян В.М., Лобзин С.Е., Кирсанов Н.С., Шульженко М.П.* Поляризационно-оптическая установка

для измерения параметров планарно-эпитаксиальных структур

40 Кононов А.Д., Кузнецов Г.Б., Мартяшев Ю.А., Семенов О.Ф. Комплект оборудования для контроля люминофоров

42 Васильев В.В., Журавлев Г.И., Зиновьев К.В., Кокорин П.С., Приходько Т.Л., Саламатин Б.А. Газосорбционная радиоизотопная дефектоскопия осаждаемых из раствора пленок двуокиси кремния

45 Воробьев Н.В., Рыжков Г.И. Прибор для измерения коэффициента контрастности реперных знаков

47 Гусев В.В., Домгополов В.М., Иванов В.И. Индикаторы спектрального контроля плазмохимических процессов

ОБМЕН ОПЫТОМ

49 Боженков В.В., Вышинский Н.В., Кундас С.П., Тяловский М.Д. Высокопроизводительный процесс получения лент из тугоплавких металлов и сплавов

50 Бенца Э.Ф., Великих В.С., Гончаренко В.П., Дмитриев Г.К., Маслов А.И. Углеродные алмазоподобные покрытия

51 Шепелев В.И. Новый метод контроля дефектов диэлектрического слоя

52 Гусинская В.А., Лихолетов Ю.В., Мосевич А.Н., Ромашкова К.А., Чурганова С.С. Применение полиамидоимидных лаков в качестве защитных покрытий компонентов электронной техники

55 Бабина В.В., Белякова З.Т., Бушков В.Н., Варенцов В.К., Ульданов А.С. Электролитическое извлечение золота из промывных цитратно-фосфатных растворов

56 Андронов Б.Н., Мареха В.И., Петрова В.З., Чиликина Т.Д. Металлические подложки со стекловидным покрытием

57 Голото И.Д., Нелюбин А.Ф., Петрова В.З., Чиликина Т.Д. Электроизоляционное теплопроводящее основание для мощных полупроводниковых приборов

57 Дмитриева Е.А., Мусалев Н.С., Орлова Т.А., Попов В.В. Предфильтры мембранного типа в комбинированных двухслойных фильтрах

СООБЩЕНИЯ

16 Айвазов А.А., Алфеев В.Н., Шаманаев Ю.И., Штерн Ю.И. Термоэлектрический криостат для оптоэлектронных преобразователей на основе ПЗС

20 Нагиев В.А., Носачев В.И., Третьяков М.П., Щаенко Е.В. Схема возбуждения пьезокерамических излучателей

48 Ахматиев В.Б., Детинко М.В., Медведев Ю.В., Петров А.С., Сафронов А.И. Прибор для бесконтактного измерения удельного сопротивления эпитаксиальных пленок

48 Барсуков А.А., Савченко Ю.В. Установка для визуального контроля БИС

59 Ермолаева А.И., Кошелев Н.И., Петрова В.З. Стекловидный диэлектрик для изоляции элементов ИС

59 Гулидов Д.Н., Пекарев А.И., Чистяков Ю.Д., Ушаков А.С. Кристаллографическая шлифовка и полировка монокристаллов

РЕКЛАМА

9 Микрокалькулятор "Электроника МК-53"

26 Микрокалькулятор "Электроника МК-51"

54 Микрокалькулятор "Электроника БЗ-39"

58 Электронные цифровые часы "Электроника 5-208"

58 Электронные цифровые часы "Электроника-доктор"

3 с.

обл. Микрокалькулятор "Электроника МК-62"

ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОГОВОРНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ

П.М.СТУКОЛОВ

При современных масштабах общественного производства, широкой его специализации и кооперировании важнейшим условием дальнейшего развития и четкого функционирования народного хозяйства в целом является повышение уровня государственной дисциплины во всех звеньях производства и управления, т.е. обеспечение устойчивых хозяйственных связей, строгое выполнение предприятиями и организациями заданий по поставкам продукции в объемах, номенклатуре и ассортименте, предусмотренных договорными обязательствами.

ЦК КПСС и Совет Министров СССР, придавая большое значение этим вопросам, 11 апреля 1983 г. приняли постановление о соблюдении договорных обязательств по поставкам продукции и повышении в этом деле ответственности министерств, ведомств и предприятий. В постановлении отмечается, что многие объединения и предприятия успешно справляются с выполнением обязательств перед потребителями по заключенным договорам и заказам. Это в значительной мере обеспечивается высоким уровнем организации производства и труда, строгим соблюдением государственной и технологической дисциплины, высокой ответственностью руководящих кадров. Вместе с тем в деле выполнения договоров еще имеются существенные недостатки. Значительное число объединений и предприятий народного хозяйства не полностью выполняет договорные обязательства перед потребителями. Это нарушает сбалансированность планов развития экономики, не позволяет в полной мере использовать созданный производственный потенциал, приводит к простоям, сдерживает рост производительности труда и эффективности производства, ослабляет трудовую дисциплину.

ЦК КПСС и Совет Министров СССР указанным постановлением определили, что основными в оценке хозяйственной деятельности министерств и объединений являются не объемы производства сами по себе, а результаты удовлетворения потребностей заказчиков, т.е. выполнение договорных обязательств. Это соответствует сути развития социалистического общества. Как отметил Ю.В.Андропов на ноябрьском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС, главный критерий, по которому министерства и ведомства должны оценивать свою работу, это степень удовлетворения отраслью постоянно растущих общественных потребностей.

Электронная промышленность является базовой отраслью, от поставок которой зависит выполнение планов производства нескольких тысяч предприятий.

Переход в 1979 г. к оценке результатов хозяйственной деятельности по выполнению

плана поставок продукции в соответствии с заключенными договорами значительно повысил ответственность поставщиков и потребителей, способствовал ритмичности производства, совершенствованию оперативно-календарного планирования, соблюдению договорных обязательств. Так, к 1982 г. сумма недопоставок изделий в отрасли снизилась по сравнению с 1979 г. более чем в два раза, а процент выполнения объема реализации с учетом поставок возрос на 1,2%.

Однако ряд предприятий отрасли не выполняет плана поставок. Такое положение нельзя признать удовлетворительным, так как за каждым невыполненным договором стоят срывы выпуска продукции не только в других отраслях — потребителях наших изделий, но и на предприятиях электронной промышленности.

При общем вполне благоприятном положении дел с выполнением всех плановых показателей в первом полугодии текущего года итоги по выполнению договорных обязательств нельзя признать удовлетворительными, они не превышают уровня, достигнутого в прошлом году. Штрафные санкции за невыполнение поставок по договорам ухудшают финансовую деятельность объединений и предприятий отрасли.

Каковы основные причины невыполнения договорных обязательств?

Анализ деятельности предприятий, не выполняющих планы поставок, а также материалов генерального заказчика и арбитражных дел показал, что основными причинами недопоставок и нарушения сроков поставок продукции являются:

- предварительная слабая проработка договоров с потребителями;
- несвоевременная подготовка производства, включая недоработку конструкторско-технологической документации;
- отсутствие должного учета выполнения договоров и недостаточный контроль посредством АСУ за ходом выполнения планов поставок;
- недостатки в планировании изделий внутриминистерской кооперации (ВМК);
- перебои в материально-техническом снабжении и низкое качество материалов;
- несоответствие уровня механо-заготовительного и инструментального производств мощности основного производства в отдельных объединениях и на предприятиях.

Кроме того, ряд объединений и предприятий недополняет отдельные договоры по поставкам мелких партий изделий, так как при заключении договоров не учитываются и не используются возможности

договаривающихся сторон об укрупнении поставляемых партий и установлении приемлемых сроков поставок.

Выявление причин недопоставок продукции позволяет сделать выводы, в каком направлении надо работать, чтобы обеспечить 100%-ное выполнение договорных обязательств.

Основное внимание необходимо направить на решение вопросов совершенствования планирования, что требует лучшего изучения потребностей народного хозяйства, знания перспективы. Только при этих условиях можно своевременно подготовить мощности и организовать производство, обеспечивающее выполнение договорных обязательств.

В настоящее время определение потребности в изделиях отрасли на планируемый год завершается сбытовыми организациями к моменту отправления проекта плана в Госплан СССР и результаты этой работы практически не используются при формировании плана. Вызывает массу нареканий и качество заявок от потребителей. Поэтому работа по определению потребности на следующий год должна завершаться не позднее марта текущего года, вестись систематически и в тесной увязке с перспективной потребностью. В настоящее время эта связь практически отсутствует.

Повышение уровня разработки плана требует перехода на двухстадийное планирование, т.е. составление в марте аванпроекта для плана по материально-техническому снабжению по развернутой номенклатуре и окончательную доработку проекта плана в объеме и к сроку, которые установлены Советом Министров СССР. Это требует перестройки работы плановых служб отрасли и входящих в нее объединений и предприятий с целью более обоснованного формирования ими производственной программы и обеспечения лучшей сбалансированности плана производства с планом материально-технического снабжения.

Одной из главных мер, способствующих 100%-ному выполнению договорных обязательств, является включение в договоры годовых, а не квартальных спецификаций, что позволит учитывать различную партийность изделий, лучше планировать загрузку мощностей предприятий и резко сократить число заключенных договоров, которое в настоящее время достигает 400 тыс.

Выполнение договорных обязательств во многом зависит от упорядочения номенклатуры выпускаемых изделий. Разработанные параметрические ряды оказывают слабое влияние на сокращение номенклатуры выпускаемой продукции, так как они не охватывают в полной мере заявляемые типоминималы. Необходимо провести большую работу по составлению параметрических рядов таким образом, чтобы номенклатура изделий классифицировалась и по функциональным признакам, и по типовым технологическим процессам, и по типовому специоборудованию.

С повышением уровня планирования тесно связан вопрос соблюдения плановой дисциплины. Нельзя признать правильным та-

кое положение, при котором план производства в ряде случаев изменяется главками без изменения плана поставок, договоров и фондовых извещений и оказывается ниже плана поставок, установленного в соответствии с договорными обязательствами.

Можно привести также немало примеров, когда из-за недоработок конструкций переносятся сроки освоения, а порой и вообще снимается с производства нужная народному хозяйству продукция. Так, сроки выпуска электропроигрывателя «Электроника-Б1—04» переносили в течение двух лет и наконец сняли его с производства; выпуск кассетного магнитофона «Электроника-305» был сорван из-за неподготовленности производства. Вследствие конструктивных недоработок не выпущены в намеченные сроки стерео-тюнер для музыкального центра, стереоусилитель, эквалайзер для микрокомплекса «Электроника Т1—003», что отразилось на общем объеме выпуска товаров культурно-бытового назначения.

В вопросах своевременной подготовки мощностей большое значение имеет умелое использование главными управлениями данных им прав по созданию резерва, особенно в связи с быстрой обновляемостью продукции и большой номенклатурой выпускаемых изделий. Эти резервы не должны создаваться всюду, а только на тех предприятиях, где необходимо резко увеличить объемы производства исходя из потребности. Иначе это ведет, с одной стороны, к выпуску продукции, не имеющей сбыта, увеличению сверхнормативных запасов готовых изделий, а с другой — к корректировкам планов, так как они не соответствуют фондам, что приводит к двойному нарушению государственной, плановой и финансовой дисциплины.

Выполнение договорных обязательств в значительной мере зависит от производства изделий внутриминистерской кооперации. Мы предъявляем претензии к потребителям за неправильно заявленную потребность на изделия электронной техники, и в то же время в отрасли имеют место случаи завышения заявок. Надо наладить работу по определению потребности в продукции ВМК. Несмотря на наличие объективных причин, связанных с отказами других отраслей от изделий электронной техники, многое в решении этих вопросов зависит от работников электронной промышленности.

В 1982 г. по внутриминистерской кооперации арбитражем МЭП было рассмотрено 1900 исков, связанных с недопоставкой продукции и взыскано 1,5 млн.руб. штрафов. Руководство ГПУ, главков не достаточно строго спрашивает с объединений, допускающих невыполнение планов поставок изделий ВМК, в результате чего имеют место даже случаи исключения из плана отдельных изделий без согласования с потребителями.

Одной из причин подобного положения является то, что не по всем изделиям ВМК имеются технологические нормы расхода, которые необходимо учитывать при определении потребности предприятий. В отдельных случаях занижается выход годных

изделий, не обеспечивается увязка изменения технологии по основной продукции и изделиям ВМК. Организационная работа по определению потребности в изделиях ВМК и разработка планов построены так, что в одном случае за это отвечает главк-производитель, в другом — главк-потребитель. В результате план производства продукции ВМК по многим позициям слабо увязан с планом производства ИЭТ.

Несмотря на изданные и утвержденные министерством инструкции по разработке плана изделий ВМК, они внедряются очень медленно, в основном из-за слабого контроля за этой работой. Значение изделий ВМК в условиях большой номенклатуры конечной продукции возрастает из года в год, и их производству следует уделять самое пристальное внимание. Недопоставка изделий ВМК оборачивается десятикратными потерями в объемах предприятий-потребителей, не говоря уже о том, что это отражается на ритмичности их производства и качестве продукции.

Неправильным является централизованное планирование и распределение практически всех изделий внутриминистерской кооперации. Само понятие кооперации предполагает наличие длительных, устойчивых связей между предприятиями. Если учесть, что производственная и организационная структура в отрасли значительно изменилась в связи с созданием крупных объединений, то вопросы внутриминистерской кооперации в основном должны решаться внутри предприятий главков. Это расширит прямые связи и повысит ответственность предприятий, так как они будут формировать план сами, а не по графикам свыше. Расширять прямые связи следует и по целому ряду основных изделий электронной техники. На ряде предприятий отрасли имеется положительный опыт работы в этом направлении.

Необходимым условием выполнения договорных обязательств предприятиями и объединениями является также упорядоченность служб, ответственных за это выполнение, так как в настоящее время за обеспечение договорных обязательств на разных предприятиях отрасли отвечают различные должностные лица.

Мы выпускаем около 3 млн. типономиналов изделий, обеспечиваем несколько тысяч предприятий по 400 тыс. договоров. Количество договоров и потребителей на целом ряде предприятий колеблется от 5 до 10 тыс. Без внедрения автоматизированной системы планирования, учета и контроля нельзя выполнить поставленные задачи.

Разработанная на основе передового опыта ряда предприятий и объединений отрасли автоматизированная система планирования производства, учета и контроля выполнения договорных обязательств функционирует в настоящее время не на всех предприятиях отрасли. В то же время, как показал опыт ее внедрения, она оказывает непосредственное влияние на повышение процента выполнения договорных обязательств, уменьшение суммы штрафных санкций, сокращение остатков готовой продукции на складе и сроков проведения договорной кампании.

Задаче обеспечения 100%-ного выполнения договорных обязательств должна быть подчинена и система материального стимулирования, охватывающая все звенья цепи, в которой замыкаются и те, кто производит продукцию, и те, кто ее планирует, обеспечивает материалами и осуществляет сбыт. Надо отметить, что в отрасли (как и в целом по стране) существует множество положений по материальному стимулированию. Но при этом имеет место и депремирование за невыполнение плана договорных поставок. Однако, эта система пока не оказывает решающего влияния на обеспечение 100%-ного выполнения договорных обязательств.

Зависимость размера выплачиваемой премии от процента выполнения договорных обязательств у нас в ряде случаев отсутствует. Бывает и так: чем меньше процент выполнения договорных обязательств, тем больше процент премирования. Работникам служб организации труда и зарплаты необходимо установить строгий контроль за премированием, чтобы избежать подобных несоответствий.

Среди причин невыполнения договорных поставок весьма существенной является нехватка отдельных видов сырья и материалов. Решение этой острой для нашей отрасли проблемы состоит в обеспечении взаимной ответственности поставщиков, служб снабжения и транспорта за бесперебойную поставку материалов.

Но у нас есть и такие примеры, когда выделенные фонды реализуются не полностью. Это имеет отношение ко многим объединениям и предприятиям. Необходимо усилить контроль за реализацией выделенных фондов на сырье и материалы и повысить оперативность в решении этих вопросов, а также резко поднять ответственность служб снабжения главков за реализацию фондов.

Во исполнение постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР согласно приказу министра в министерстве образована комиссия для подготовки предложений, направленных на повышение ответственности главных управлений, объединений, служб снабжения, транспорта и связи за выполнение договорных обязательств. Во всех главных управлениях проведены партийные собрания, где обсуждено данное постановление и высказан целый ряд предложений, которые окажут существенное влияние на ход реализации договорных обязательств.

Выполнение постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР предполагает решение целого комплекса сложных вопросов, связанных с планированием, совершенствованием форм и методов организации производства и управления, что затрагивает работу всех служб управления отрасли и обязывает всех руководителей с повышенной ответственностью направить свои усилия на выполнение решений июньского (1983 г.) Пленума ЦК КПСС. В современных условиях это является одной из важнейших задач работников отрасли.

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 681.327.2

В.Н.Дятченко, В.А.Неклюдов, А.Э.Нестеров, Ю.П.Роднонов, А.В.Сквира

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ОЗУ К500РУ145 ЕМКОСТЬЮ 64 БИТ

Изготовление ОЗУ на сверхтонких структурах, объединение по эмиттерам транзисторов усилителей записи-считывания и запоминающих элементов разрядными шинами, применение диодного дешифратора и другие конструктивно-технологические особенности обеспечивают высокое быстродействие запоминающего устройства.

В настоящее время для быстродействующих ЭВМ и ряда измерительных устройств необходимы микросхемы, быстродействие которых значительно выше, чем у основной номенклатуры ИС. Важнейшими из них являются оперативные запоминающие устройства на биполярных транзисторах, в том числе ОЗУ малой информационной емкости (16—256 бит).

Микросхема К500РУ145 информационной емкостью 64 бит (16x4), предназначенная для электронных систем с байтовой (8- и 16-разрядной) памятью, разработана с применением схемотехнических методов, обеспечивающих повышение быстродействия узлов и трактов БИС [1, 2]. При расчете и проектировании принципиальной электрической схемы использовались программы моделирования электронных схем на ЭВМ [3] с целью оптимизации схемы по критерию «быстродействие — потребляемая мощность» [4]. ОЗУ изготовлено на основе технологии с боковой диэлектрической изоляцией на сверхтонких структурах с толщиной слоя 1,2—1,5 мкм.

По логическим уровням и диапазону рабочих температур ОЗУ согласуется с ЭСЛ-логикой серии К500; время выборки информации не превышает 10 нс, время перезаписи информации менее 7 нс, потребляемая мощность около 650 мВт. ОЗУ предназначено для работы в диапазоне температур от -10 до +70°C при напряжении источника питания $U_{и.п} = -5,2В \pm 5\%$. Структурная схема ОЗУ приведена на рис. 1.

ОЗУ реализует три режима работы: запись, считывание и хранение информации (табл. 1, рис. 2). Операции записи и считывания осуществляются подачей на вход микросхемы сигнала выборки кристалла (ВК), управление этими операциями — сигнала разрешения записи (ЗП): при «лог.0» входная информация заносится в

запоминающий элемент (ЗЭ) накопителя по выбранному адресу, при «лог.1» производится считывание хранимой информации из ЗЭ без инверсии. Адрес ЗЭ определяется двоичным кодом на входе дешифратора строк.

Матрица накопителя ОЗУ состоит из 16 запоминающих элементов статического типа с нелинейной коллекторной нагрузкой [5], связанных по строкам адресными шинами и шинами питания (рис. 3), а по столбцам — разрядными шинами через эмиттеры транзисторов ЗЭ. Такое объединение столбцов накопителя дает выигрыш в быстродействии при считывании по сравнению с другими способами связи [5], однако требует значительных затрат мощности, обусловленных большими токами считывания, питающими разрядные шины. При 4-разрядной организации ОЗУ возможно исключение схемы дешифрации по разрядам и соответствующее упрощение схемы

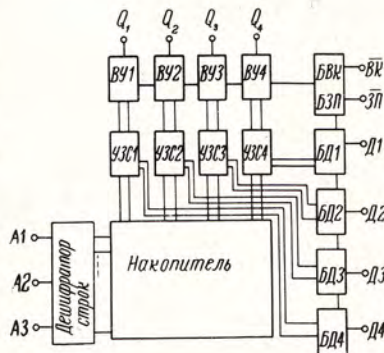


Рис. 1. Структурная схема ОЗУ:

ВВК, БЗП — блоки выборки кристалла и разрешения записи информации; БД1...БД4 — блоки входной информации; УЗС1...УЗС4 — усилители записи-считывания; ВУ1...ВУ4 — выходные усилители

усилителей записи-считывания (УЗС). Управляющие транзисторы Т5, Т6 последних (см.рис. 3) образуют с транзисторами ЗЭ накопителя ЭСЛ-ключи, что обеспечивает высокое быстродействие в режиме считывания. На базы Т5 и Т6 по шинам записи информации ЗП «1» — ЗП «0» подаются 3-уровневые логические сигналы записи-считывания.

Выходной усилитель (ВУ) представляет собой двухуровневый ЭСЛ-ключ с дифференциальным входом по верхнему ярусу. Параметры компонентов

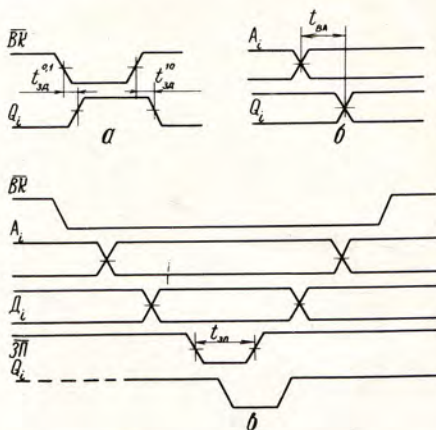


Рис. 2. Потенциально-временная диаграмма работы ОЗУ: а — считывание информации по входу ВК; б — считывание по входам адреса строк; в — управляющие и информационные сигналы в режиме записи

Таблица 1

Операция	Состояние входов			Выход
	ВК	ЗП	Д	
Запись "0"	0	0	0	0
Запись "1"	0	0	1	0
Считывание "0"	0	1	X	0
Считывание "1"	0	1	X	1
Хранение	1	X	X	0

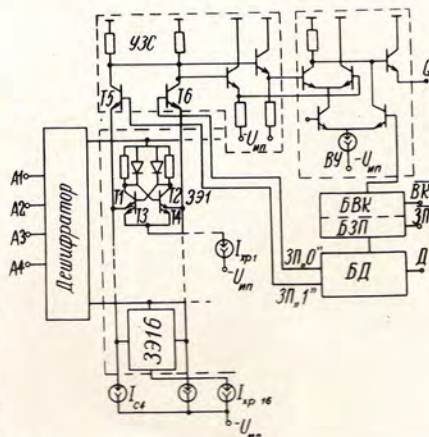


Рис. 3. Фрагменты принципиальной электрической схемы одного разряда ОЗУ

этого усилителя выбираются из условий работы блока на заданную выходную нагрузку: $R_n=50 \text{ Ом}$; $C_n=30\text{пФ}$.

В микросхеме применен диодный дешифратор, характеризующийся высоким быстродействием и отличающийся минимальным числом компонентов и источников тока. В качестве диодных сборок в дешифраторе используются переходы эмиттер—база многоэмиттерного транзистора.

Принципиальные схемы управляющих блоков выборки кристалла (БВК), записи (БЗП) и входной информации (БД) выполнены на традиционной ЭСЛ-логике, что обеспечивает высокое быстродействие трактовых схем записи информации и разрешения считывания.

Основные электрические параметры ОЗУ при $T = 300 \text{ К}$, $U_{и.п} = -5,2 \text{ В}$

- Входной ток лог. "1", мкА
- по входу ВК не более 220
- по остальным входам не более 20
- Выходное напряжение, В
- "лог. 1" от -0,96 до 0,85
- "лог. 0" от -1,65 до -1,75
- Входное пороговое напряжение, В
- "лог. 1" -1,1
- "лог. 0" -1,4
- Входное напряжение, В
- "лог. 1" -0,81
- "лог. 0" -1,85
- Потребляемый ток, мА не более 140
- Время выборки адреса, нс 8,3
- Длительность сигнала записи, нс 6,5

Энергетические показатели блоков ОЗУ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Блок	Потребляемый ток, МА	Потребляемая мощность, мВт	Время задержки сигнала, нс
Дешифратор	15,2	79	2,9
Накопитель	6,4	33,3	3,0 (счит.) 6,5(зап.)
Усилитель записи-считывания	13,6	70,7	0,2
Выходной усилитель	35,2	184	2,0
Блоки ВК и ЗП	4,0	20,8	0,2 (ВК) 1,5 (ВП)
Блок входной информации	30	156	не более 4,8
ОЗУ без схем опорных напряжений	104,8	540	-

Микросхема K500PY145 выпускается в пластмассовом корпусе типа 238.16-2 с вертикальным расположением 16 выводов. Наличие входа выборки кристалла ВК и выходного эмиттерного повторителя с открытым эмиттером позволяет строить запоминающие устройства ЭВМ с любым наращиванием емкости по словам и разрядам с приме-

нением внешних логических устройств на микросхемах серий K500.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстродействующее оперативное запоминающее устройство емкостью 256 бит/В.Н.Гладков, В.Н.Дягилев, С.М.Лавриков, Б.В.Орлов.— Электронная промышленность, 1978, вып. 3, с. 48—50.
2. G l o s k H., V u r k e r U. An ECL100K — compatible 1024x4 bit RAM with 15 ns acces time.— IEEE J.S.S.C., 1979, vol. SC-14, N 05, p. 850—851.
3. Система автоматизированного моделирования и расчета схем (САМРИС)/А.А.Васенков, Г.Г.Казеннов, Ю.Н.Беляков, П.П.Аврашков.— Микроэлектроника, 1975, вып. 9, с. 11—21. (Советское радио).
4. Оптимизация электронных схем по мощности и быстродействию/Я.С.Бугров, К.А.Валиев, Ю.П.Родионов, А.В.Сквира.— Микроэлектроника и полупроводниковые приборы, 1977, № 2, с. 26—39. (Советское радио).
5. В а л и е в К.А., О р л о в с к и й А.А. Полупроводниковые интегральные схемы памяти на биполярных структурах.— М.: Советское радио, 1979.— 296 с.

Статья поступила 30 декабря 1982 г.

УДК 681.327:621.3.049.774.3

Ю.В.Кружанов, В.Э.Сафронов

СТАТИЧЕСКОЕ БИПОЛЯРНОЕ ПЗУ K596PE1 ЕМКОСТЬЮ 64 К

Особенности статической организации БИС K596PE1 — полная совместимость с TTL-уровнями, наличие управляющего сигнала выборки, выходов с тремя состояниями, возможность работы в импульсном режиме питания — упрощают использование ПЗУ в системах памяти.

Микросхема K596PE1 с организацией 8192x8 предназначена для использования в блоках постоянной памяти в качестве средства реализации программного обеспечения микропроцессорных систем, с большинством которых она хорошо согласуется. Схема выпускается в планарном металлокерамическом корпусе 4131.24-3 (рис. 1).

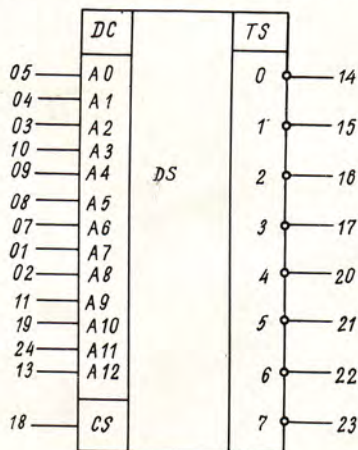
Применение новейшей биполярной технологии — коллекторно-изолирующей диффузии с самосовмещением — обеспечивает высокую надежность микросхемы и возможность раз-

мещения около 70 тыс. транзисторов на площади менее 30 мм².

ПЗУ (рис. 2) содержит матрицу накопителя (512x128) элементов, схемы дешифрации, 13 ад-

ресных буферных схем, схему выборки и 8 выходных формирователей.

Схема выборки управляет выходными формирователями, переводя их в третье состояние —



- A0 ... A12 — адресные входы
- CS—выбор микросхемы
- 0 ... 7 — выходные разряды
- Напряжение питания подается на вывод 12, общим выводом схемы является вывод 6.

Рис. 1. Функциональная схема ПЗУ

состояние с высоким импедансом — при наличии сигнала «лог. 0» на входе CS, что дает возможность расширить объем памяти в системе за счет использования нескольких микросхем.

Время выборки микросхемы на 250 нс меньше, чем время выборки адреса, что позволяет при построении системы из нескольких микросхем получить время цикла, равное времени выборки адреса, за счет использования указанной разницы для дешифрации сигналов старших разрядов системных адресных шин.

Основные электрические характеристики ПЗУ K596PE1 в диапазоне температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$ при напряжении питания $4 \pm 10\%$ приведены ниже.

Потребляемый ток, мА не более 160

Входной ток, мА
"лог. 0" при $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}$... не менее $-0,5$

"лог. 1" при $U_{\text{вх}} = 4,4 \text{ В}$ не более $0,1$

Входной ток в состоянии "отключено", мкА

"лог. 0" при $U_{\text{в.к}} = 0,8 \text{ В}$,

$U_{\text{внх}} = 0,4 \text{ В}$, $U_{\text{п}} = 4,4 \text{ В}$ не менее -10

"лог. 1" при $U_{\text{в.к}} = 0,8 \text{ В}$,

$U_{\text{внх}} = 2,4 \text{ В}$, $U_{\text{п}} = 0 \text{ В}$ не более 10

Выходное напряжение, В

"лог. 0" при $I_{\text{вых}} = 3,2 \text{ мА}$... не более $0,4$

"лог. 1" при $I_{\text{вых}} = -1,6 \text{ мА}$... не менее $2,4$

Время цикла, нс не менее 350

Время выборки микросхемы, нс не более 100

Время выборки адреса, нс не более 350

Время выборки по питанию, нс не более 450

Прибор готов к работе через 100 нс после достижения значения напряжения питания.

Характеристикой микросхемы при использовании ее с импульсным источником питания является время выборки по питанию. Оно измеряется при наличии сигналов адреса и выборки как задержка между моментами подачи напряжения питания и появлением информации на выходе. В качестве импульсного источника питания используется транзисторный ключ, управляющий стандартным ($5 \text{ В} \pm 5\%$) источником питания. При отключении питания на выходах микросхемы независимо от значения сигнала на входе CS реализуется состояние с высоким импедансом, что позволяет при использовании импульсного питания для расширения памяти объединять выходы отдельных микросхем в систему по схеме «проводное ИЛИ».

Временная диаграмма для входных и выходных сигналов ПЗУ приведена на рис. 3. Информация для каждого нового адреса формируется в микросхеме независимо от подачи на

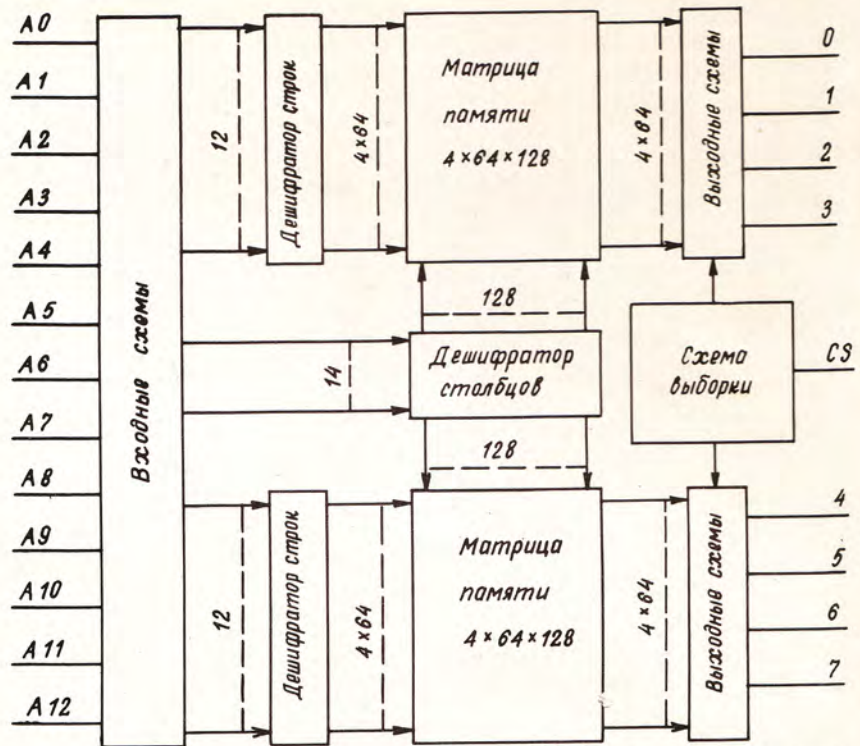


Рис. 2. Блок-схема ПЗУ

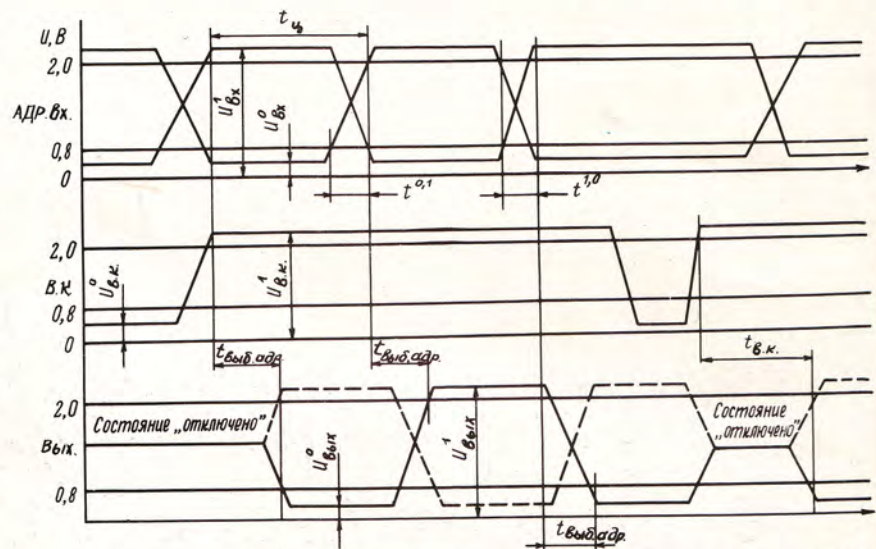


Рис. 3. Временные диаграммы работы микросхемы ПЗУ

вход CS сигнала, который управляет лишь состоянием выходных схем. На порядок следования сигналов адреса и выборки не накладывается никаких ограничений, сигнал выборки может подаваться на микросхему до сигнала адреса, одновременно с ним и после него. При работе от импульсного источника питания также не накладывается ограничений на порядок поступления сигналов адреса, выборки и сигнала питания. Если последние поступают на микросхему соответственно в моменты $\tau_{\text{выб.адр.}}$, $\tau_{\text{в.к.}}$ и $\tau_{\text{п}}$, то правильная информация на выходе микросхемы появится в момент времени, наи-

более поздний из трех моментов: $(\tau_{\text{выб.адр.}} + t_{\text{выб.адр.}})$, $(\tau_{\text{в.к.}} + t_{\text{в.к.}})$ и $(\tau_{\text{п}} + t_{\text{п}})$.

Носителем информации в ПЗУ является стандартная 8-дорожечная перфолента, которая содержит 8192 байта логической и 21 байт служебной информации, включая информацию о номере зашивки и контрольные суммы.

Высокая надежность, малые габариты и масса, простота временных диаграмм, удобство в эксплуатации обеспечивают широкое применение ПЗУ K596PE1 в различных устройствах вычислительной техники.

Статья поступила 31 декабря 1982 г.

ЭЛЕКТРОНИКА МК-53



МИНИАТЮРНЫЙ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР

СОВМЕЩЕН С СЕКУНДОМЕРОМ,
КАЛЕНДАРЕМ, ЧАСАМИ И УСТРОЙСТВОМ
ЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ.

Жидкокристаллический индикатор обеспечивает четкое воспроизведение даты, дня недели, текущего времени, показаний секундомера и результатов вычислений.

В микрокалькуляторе предусмотрено устройство, подающее сигнал в установленное время.

Время выполнения арифметических операций менее 0,6 с.

Точность измерения временных интервалов секундомером не хуже 0,1 с. Точность хода часов за сутки при комнатной температуре составляет $\pm 1,5$ с. Потребляемая мощность не превышает 60 мкВт. Время работы от одного комплекта из двух элементов СЦ32 более 8000 ч.



УДК 681.335.2

К.Ю.Климашаускас, Т.А.Монставичюс, А.-И.К.Марцинкявичюс

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АЦП К1107ПВ1

Монолитный шестизрядный АЦП с частотой квантования 20 МГц предназначен для преобразования широкополосных аналоговых сигналов в диапазоне от 0 до -2 В.

Аналого-цифровой преобразователь К1107ПВ1 построен по параллельной схеме, в которой используются стробируемые компараторы с триггером-защелкой на входе. Такое техническое решение позволило получить высокое быстродействие в режиме непрерывного стробирования, высокую разрешающую способность, уменьшить время включения, зону неопределенности и потребляемую мощность, отказаться от внешних схем выборки и хранения. АЦП обеспечивает возможность получения на выходе кодов: прямого двоичного, обратного двоичного, прямого с дополнением до двух, обратного с дополнением до двух. Уровни выходных сигналов соответствуют уровням ТТЛ.

Основные технические характеристики при температуре окружающей среды в диапазоне от -10 до +70°C

- Число разрядов 6
- Диапазон входного напряжения, В.. от 0 до -2
- Напряжение смещения нуля на входе, В от -0,075 до 0
- Выходное напряжение, В
- "лог.1" не менее 2,4
- "лог.0" не более 0,4
- Абсолютная погрешность, приведенная к шкале, % от -0,781 до 0,781
- Нелинейность, % от -0,781 до 0,781
- Дифференциальная нелинейность, % от -0,781 до 0,781
- Входной ток
- смещения, мкА не более 150
- "лог.1", мкА не более 75
- "лог.0", мА не менее -1,5
- Ток потребления
- от положительного источника питания, мА не более 30
- от отрицательного источника питания, мкА не менее -150
- от источника опорного напряжения, мА не более 43
- Время преобразования, нс ... не более 100
- Максимальная частота преобразования, МГц 20
- Напряжение, В
- положительного источника питания 5,0 (±5%)
- отрицательного источника питания -6,0(±3%)

Микросхема аналого-цифрового преобразователя содержит 64 стробируемых компаратора, резисторный делитель опорных напряжений, синхронизирующие буферные каскады, логику управления и выходной регистр (рис. 1). Резисторным делителем опорных напряжений служит отдельная шина, концы которой подведены к выводам

корпуса, что позволяет, задавая номинальные значения опорных напряжений, скомпенсировать напряжение смещения нуля на входе и абсолютную погрешность преобразования в конце шкалы. Компенсация напряжения смещения нуля обеспечивается путем установки опорного напряжения $U_{оп1}$ в диапазоне от 0 до -0,075 В, а погрешности преобразования — установкой опорного напряжения $U_{оп2}$ от -1,9 до -2,1В. Со средней точки делителя через резистор R_k сделан отвод КН, который может служить источником опорного напряжения для внешнего буферного усилителя при организации биполярного преобразования (подключение к средней точке делителя любой нагрузки влияет на нелинейность АЦП).

Тип выходного кода задается двухразрядным потенциальным кодом на выводах «Управление выходным кодом» (УВК) в соответствии с таблицей, приведенной ниже. Кроме того, он может задаваться и постоянными уровнями напряжения. Подключение выводов УВК к общей шине соответствует подаче «лог.0», к шине питающего напряжения U_n — «лог.1».

Код на выводах		Тип выходного кода
УВК1	УВК2	
1	1	Прямой двоичный Обратный двоичный Прямой с дополнением до двух Обратный с дополнением до двух
0	0	
1	0	
0	1	

Аналоговый вход микросхем состоит из параллельно подключенных 64 эмиттерных повторителей на входах быстродействующих компараторов K_0, \dots, K_{63} . Использование эмиттерных повторителей обеспечивает минимальные входные токи, хорошую линейность характеристики преобразования. Компараторы построены по каскадной схеме. Наименьшая разность амплитуд сигналов, определяемая компаратором, не превышает 1 мВ. Потребляемая мощность 5 мВт.

Схемы «И» преобразуют унитарный код с выходов компараторов в сигнал «лог.1» на выходе одной из 64 схем «И». Во избежание случайных ошибок в одну схему «И» вводятся сигналы от трех соседних по опорным уровням компараторов. Сигнал «лог.1» на выходе схемы «И» появляется только в том случае, если сработали компараторы n и $n-1$, а $n+1$ не сра-

ботал. Дальнейшее кодирование сигнала в соответствующий выходной код проводится в два этапа с использованием схем «ИЛИ» и «Исключающее ИЛИ». Для хранения результата служат схемы на триггерах.

Временная диаграмма работы АЦП приведена на рис. 2. Выборка (стробирование компараторов) производится через 15—20 нс после подачи перед-

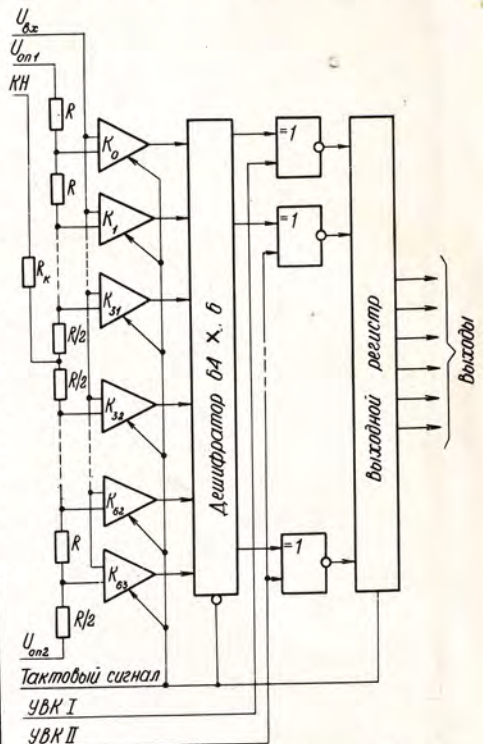


Рис. 1. Структура схемы АЦП

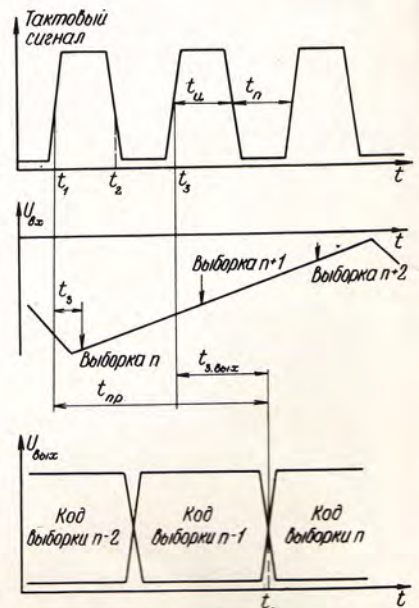


Рис. 2. Временная диаграмма работы АЦП

него фронта тактового импульса. Данная апертурная задержка t_3 изменяется от образца к образцу или в диапазоне температур в пределах нескольких наносекунд, но случайные изменения t_3 не превышают нескольких десятков пикосекунд.

Кодирование результата с выходов компараторов начинается в момент t_2 . Запись кода n -й выборки в выходной регистр производится передним фронтом следующего тактового импульса. Время задержки выходного регистра $t_{3,вых}$ не превышает минимальной длительности периода тактового сигнала, гарантирующей нормальную

работу АЦП, что дает возможность тем же передним фронтом тактового сигнала производить на входе выборку $n+1$.

Максимальная частота преобразования определяется как

$$f_{пр} = 1/(t_{и} + t_{п}),$$

где $t_{и}$ — длительность тактового импульса, $t_{п}$ — пауза между тактовыми импульсами. Время преобразования $t_{пр}$ не превышает двух периодов тактового сигнала и составляет не более 100 нс.

Микросхема выполнена в корпусе 2207.48-1.

АЦП изготовлен по технологии «трех диффузий», для которой области коллекторов, баз и эмиттеров формируются путем последовательного легирования исходного материала через окна в окисной пленке, маскирующей поверхность пластины.

Быстродействующий АЦП К1107ПВ1 найдет широкое применение при построении высокочастотных систем связи, радиолокации, телевидения, измерительной техники.

Статья поступила 10 февраля 1983 г.

УДК 681.118.5:621.3.049.77

В.Р.Вартинь, Ю.В.Додока, В.А.Лужаев

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ТАЙМЕР КР1006ВИ1

Таймер КР1006ВИ1 предназначен для генерации одиночных импульсов и импульсных последовательностей, обнаружения сбоя в импульсной последовательности, обеспечения прецизионной временной задержки, широтно- и частотно-импульсной модуляции.

Компараторы КН1 и КН2 таймера (рис. 1) выполнены на основе дифференциальных усилителей с использованием составных транзисторов $n-p-n$ и $p-n-p$ -типов, благодаря чему снижены токи запуска и срабатывания таймера и уменьшен нижний предел допустимого питающего напряжения до 4,5 В. Резистивный делитель R1—R3 обеспечивает задание порогов срабатывания компараторов КН1 и КН2, равных $1/3$ и $2/3 U_{п}$ соответственно. Выходной каскад формирует выходные логические уровни, которые при напряжении питания 5 В соответствуют логическим уровням TTL-схем. Кроме того, выход-

ной каскад обеспечивает высокую нагрузочную способность таймера для втекающего и вытекающего токов, что позволяет непосредственно управлять малоомощными реле и сигнальными лампочками. Разрядный триггер VT, управляемый триггером, создает быстрый разряд времязадающей емкости в момент формирования заднего фронта выходного импульса. При температуре $+25^{\circ}\text{C}$ таймер имеет следующие параметры:

- Ток потребления при $U_{п} = 15 \text{ В}$, мА не более 15
- Входной ток при $U_{п} = 15 \text{ В}$, мкА .. не более 2
- Ток сброса при $U_{п} = 15 \text{ В}$, мА .. не более 1,5
- Начальная погрешность при $U_{п} = 15 \text{ В}$, % не более 3
- Нестабильность начальной погрешности при $U_{п} = 5 \div 15 \text{ В}$, % .. не более 0,3

- Выходное напряжение высокого уровня, В
- при $U_{п} = 15 \text{ В}$ не менее 12,5
- при $U_{п} = 5 \text{ В}$ не менее 2,5
- Выходное напряжение низкого уровня, В
- при $U_{п} = 15 \text{ В}$ не более 2,75
- при $U_{п} = 5 \text{ В}$ не более 0,35

Основные режимы работы таймера — формирование одиночных импульсов длительностью от десятков микросекунд до десятков минут и генерация последовательности импульсов (рис. 2 и 3). Кроме того, таймер КР1006ВИ1 применяется и для других целей [1—2].

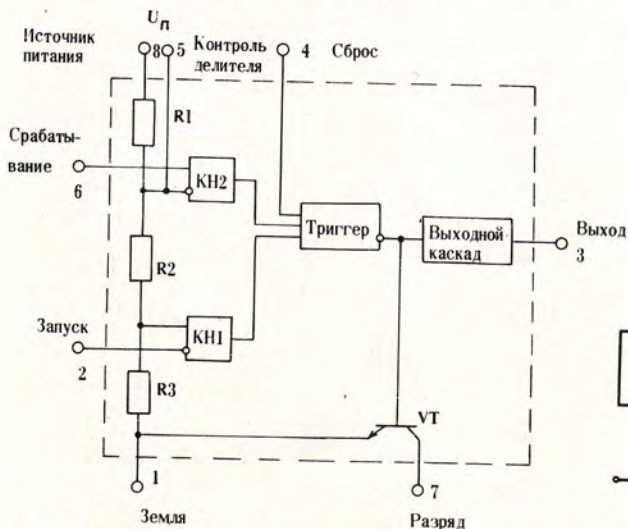


Рис. 1. Функциональная схема таймера

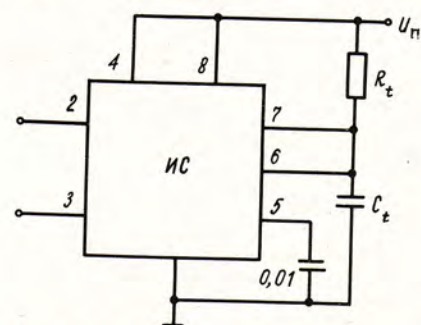


Рис. 2. Схема включения таймера в режиме одиночного запуска

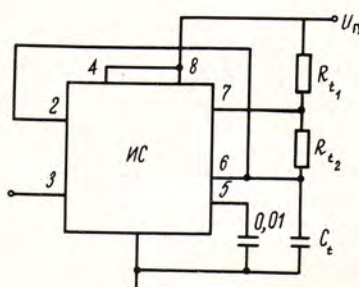


Рис. 3. Схема включения таймера — в генераторном режиме

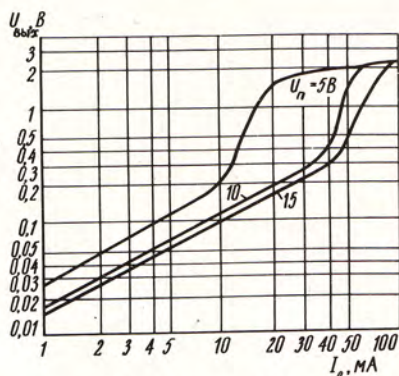


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения низкого уровня от тока нагрузки при различных напряжениях источника питания

К достоинствам таймера КР1006ВИ1 относятся: широкий диапазон питающих напряжений (от 4,5 до 16,5 В), высокая нагрузочная способность (втекающий или вытекающий ток нагрузки могут достигать 200 мА), простота регулировки длительности выходного импульса.

Для изменения длительности выходного импульса таймера используется вывод 5 «Контроль делителя», на который подается внешнее напряжение, меняющее пороги срабатывания КН1 и КН2. Если изменения длительности выходного импульса не требуется, рекомендуется

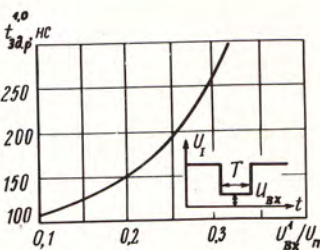


Рис. 5. Зависимость времени задержки распространения сигнала при включении от отношения входного напряжения импульса низкого уровня к напряжению питания

вывод 5 соединить с выводом 1 «Земля» через конденсатор емкостью 0,01 мкФ для уменьшения наводок на пороговые напряжения компараторов КН1 и КН2 и, следовательно, на длительность выходного импульса таймера. Для получения длительности временной задержки, превышающей полчаса, применяется последовательное включение двух и более таймеров типа КР1006ВИ1.

Конструктивно ИС КР1006ВИ1 выполнена в пластмассовом корпусе, ее масса составляет не более 1 г. Допустимый диапазон температуры окружающей среды от -45 до +70°C. Графики зависимости основных параметров таймера приведены на рис. 4—6.

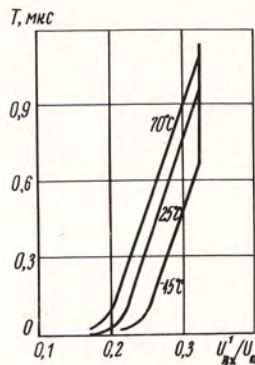


Рис. 6. Зависимость минимальной длительности входного импульса запуска от отношения входного напряжения импульса низкого уровня к напряжению питания

Благодаря широким функциональным возможностям, высоким электрическим характеристикам и хорошим объемно-весовым показателям ИС таймер КР1006ВИ1 найдет широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шило В.Л. Функциональные ИС.— М.: Радио и связь, 1982.— 126 с.
2. Кофлин Р., Дрискол Д. Операционные усилители и линейные интегральные схемы— М.: Мир, 1979 г.— 272 с.

Статья поступила 30 декабря 1982 г.

УДК 681.7.068

Ю.Р.Носов, В.П.Дмитриев, Б.Н.Файзулаев

ВОЛСТРОНЫ — НОВЫЙ КЛАСС ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

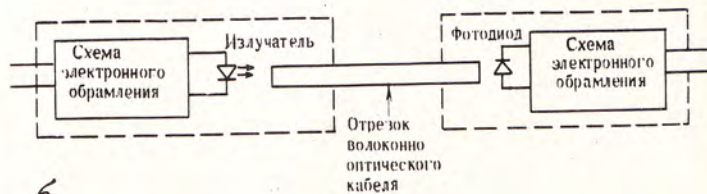
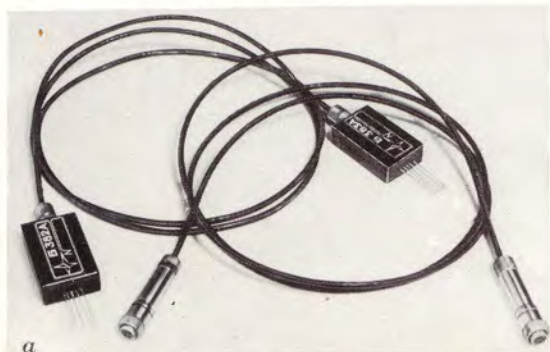
Приборы, выполненные в виде компактных неразъемных конструкций, сочетающих волоконно-оптические линии передачи информации и электронные схемы ее обработки, обладают лучшими энергетическими параметрами и более высокой надежностью по сравнению с разъемными конструкциями волоконно-оптических линий.

Успехи в развитии волоконно-оптических световодов, элементов оптронов и микроэлектронной схемотехники позволили

создать волоконно-оптические линии передачи информации (ВОЛПИ), отличающиеся от известных линий неразъемной конструкцией и достаточно малой протяженностью линейного тракта (единицы и десятки метров). В этих устройствах (см. рисунок), названных волстроны, вход и выход могут быть выполнены в виде стандартных электрических разъемных соединителей, той или иной комбинации выводов, мо-

дифицированных DIP-корпусов и т.п. Неразъемность конструкции, объединяющей воедино отрезок волоконно-оптического кабеля, излучатель, фотоприемник, микросхемы электронного обрамления, позволяет говорить о волстроне как об интегрированной ВОЛПИ.

По сравнению с ВОЛПИ, в которых используются оптические разъемы, волстроны обеспечивают больший выигрыш в энергетике светопередачи



Внешний вид (а) и структурная схема (б) волстроны

вследствие лучших условий ввода излучения в волокно и отсутствия потерь на разъемных соединениях. Этот выигрыш может достигать 6—8 дБ и в конечном счете позволяет снизить токи возбуждения излучателя до приемлемого для микроэлектроники уровня ($\sim 10^{-2}$ А). Благодаря исключению разъемных соединений, а также вследствие большей действенности методов тренировок и отбраковки, которые могут быть распространены на волстроны, повышается надежность этих приборов.

Поскольку работа волстроны определяется главным образом электрическими параметрами, для его проверки может быть использована традиционная контрольно-измерительная аппаратура. Это делает его удобным для широкой массы пользователей. Кроме того, применение волстронов не требует таких сложных операций, как разделка и армирование волоконно-оптических кабелей.

Возможность использования существующего измерительного и испытательного оборудования и применения сложившихся правил приемки и поставки обеспечивают существенное упрощение производства волстронов. При этом снижается их стоимость. Оценки показывают, что короткие волстроны (единицы метров) в несколько раз дешевле, чем ВОЛПИ с разъемными соединениями. Следует отметить, что по мере совершен-

ствования элементов ВОЛПИ, это различие будет возрастать.

Волстроны сохраняют все достоинства «разъемной» ВОЛПИ: высокую помехозащищенность, скрытность передачи информации, высокочастотность, наличие гальванической развязки и т.п., но имеют меньшие габариты и массу.

При большой протяженности линейного тракта (более 100 м) технические и экономические преимущества волстронов исчезают, более того, изготовление таких волстронов существенно усложняется.

Поскольку после монтажа в изделие волоконно-оптическая линия оказывается неизвлекаемой, возможность применения волстроны должна тщательно анализироваться с учетом того, что отказ любого из элементов (излучателя, фотоприемника или схем электронного обрамления) означает отказ всей линии.

Блок-схема волстроны может модифицироваться — от простейшей, в которой электронное обрамление вообще отсутствует (по электрической схеме такой волстроны подобен диодной оптопаре), до наиболее сложной, с входящими в схему электронного обрамления мультиплексором и демультимплексором.

Так же, как и оптоэлектронные микросхемы, волстроны могут использоваться для передачи аналоговых и главным образом цифровых сигналов.

Основными параметрами волстронов являются протяженность линейного тракта и число независимых каналов в нем, скорость передачи информации, вид входных и выходных сигналов, потребляемая мощность, число (и номиналы) напряжений питания.

Элементная база волстронов в значительной мере подобна элементной базе ВОЛС, однако имеет характерные отличия. Прежде всего это касается оптического волокна. Пригодны все его разновидности: полимерные, кварц-кварцевые и кварц-полимерные волокна, волокна на основе многокомпонентных стекол. Для использования в качестве активных элементов оптимальными являются светодиодные излучатели и *p-i-n* фотодиоды (в том числе в виде линеек и матриц).

Рассматриваемые приборы целесообразно применять в АСУ (например, для управления станками с ЧПУ), измерительной технике (для дистанционных измерений в условиях воздействия помех), ЭВМ (для связи процессора с внешними устройствами и для межблочных соединений), СВЧ устройствах, электротехнике и технике физического эксперимента (для соединений блоков, разность потенциалов которых отличается на десятки и сотни киловольт), системах управления на подвижных объектах; медицинской технике, промышленной автоматике.

Статья поступила 18 января 1983 г.

УДК 621.319.4—034.294

М.Н.Дьяконов, В.Е.Коняхин, Л.А.Костельова, Л.А.Столлов, С.Д.Ханин

ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ ТАНТАЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Оксидные объемно-пористые танталовые герметичные конденсаторы обладают повышенной надежностью, могут работать при большей температуре и амплитуде переменного напряжения по сравнению с танталовыми конденсаторами обычной конструкции.

Долговечность танталовых оксидных объемно-пористых конденсаторов обычно ограничивается 5—15 тыс.ч, что связано с некоторыми особенностями их конструкции. Прежде всего это использование в качестве материала катода (корпуса) серебра, которое растворяется в кислоте электролита и образует проводящие мостики, соединяющие катод с анодом. В результате возникают отказы конденсаторов рассматриваемого типа по электрическим параметрам. Кроме того, используемое в конструкции конденсатора уплотнение не гарантирует от утечки

электролита, особенно при повышенной температуре.

Для повышения надежности танталовых конденсаторов потребовалось исключить указанные недостатки. Примером решения этой проблемы является разработка герметичных цельнотанталовых конструкций оксидных объемно-пористых конденсаторов (рис. 1), эксплуатационные характеристики которых приведены в таблице.

Корпус таких конденсаторов изготовлен из химически стойкого танталового листа методом

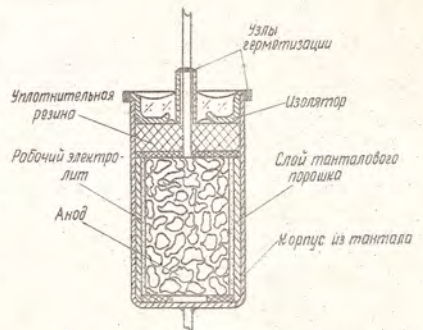


Рис. 1. Конструкция танталового оксидного конденсатора K52-9

Тип корпуса	Тип конструкции	Диапазон напряжений, В	Диапазон емкостей, мкФ	Диапазон рабочих температур, °С	Максимальная наработка (при $T = 70^\circ\text{C}$, $U = 0,7 U_{\text{ном}}$), ч
Серебряный	Уплотненная	3—100	1,5—680	от -60 до 85	10000
Танталовый	Герметичная	6,3—125	1,5—680	от -60 до 125	40000

глубокой вытяжки. Для создания катодной емкости на внутреннюю поверхность корпуса посредством спекания в вакууме нанесен тонкий слой танталового порошка. Стеклотанталовый изолятор обеспечивает герметизацию конденсатора по периметру корпуса и в месте выхода анодного вывода из танталовой трубки.

Долговечность цельнотанталовых объемно-пористых конденсаторов указанной конструкции определяется главным образом старением оксидного диэлектрика. Наиболее вероятной причиной этого процесса для пятиоксида тантала в системе металл-оксид-электролит при электрической и тепловой нагрузке является кристаллизация аморфного слоя. Эксперименты, проведенные на плоских образцах оксидированного тантала в условиях эксплуатации реальных конденсаторов [1], позволили установить, что по истечении некоторого времени (в предельно допустимых условиях эксплуатации не более десятков часов) кристаллы прорастают на всю толщину оксидного слоя. Удельная электрическая проводимость этого слоя приблизительно в 50 раз выше проводимости аморфного диэлектрика, что обуславливает отказ конденсаторов по току утечки. При этом время наработки прибора до отказа может быть определено по формуле

$$\tau = \frac{A}{v_{кр} \sqrt{N}} \exp\left(\frac{W - qaE}{kT}\right),$$

где A — численный коэффициент, определяющий критерий отказа по току утечки; $v_{кр}$ — скорость роста кристаллитов; N — поверхностная концентрация центров кристаллизации; W и a — энергия активации и расстояние перескока ионов кислорода в структуре оксида соответственно; q — заряд иона кислорода; T — температура эксплуатации прибора; E — напряженность электрического поля. Параметры $v_{кр}$ и N определяются технологией изготовления конденсаторов и зависят от состава исходного порошка тантала, условий спекания объемно-пористого анода, электрохимического окисления и последующих термополевых воздействий. Повышенные значения этих параметров делают конденсаторы потенциально ненадежными, так как ток утечки таких приборов быстро возрастает до критического уровня. В то же время повышенные значения $v_{кр}$ и N не всегда сказываются на стандартных электрических характеристиках конденсаторов на момент поставки. Кроме того,

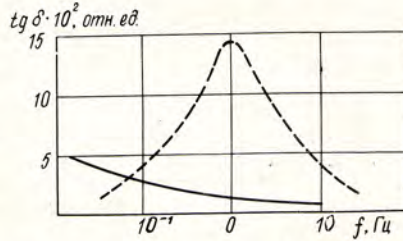


Рис. 2. Частотная зависимость диэлектрических потерь конденсаторов К52-9 (пунктирная кривая — образцы, склонные к кристаллизации)

изменение параметров ионного переноса (W и a) в известных пределах не оказывает влияния на исходное значение тока утечки, определяемое электронной проводимостью оксидного диэлектрика [2, 3].

Повысить точность прогноза долговечности оксидных конденсаторов и отбраковать при поставке потенциально ненадежные приборы позволяет использование таких неразрушающих методов контроля, как диэлектрическая и флуоресцентная спектроскопия в области инфразвуковых частот [4]. Образцы, склонные к кристаллизации оксидного диэлектрика, обнаруживают максимум в частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь на частотах 10^{-1} —1 Гц, в то время как у надежных образцов эта зависимость имеет монотонный характер (рис. 2). Аномалия в частотной зависимости $\text{tg } \delta$ сопряжена с повышенной интенсивностью избыточных шумов, измеряемых одновременно с током утечки. Указанными методами можно отбраковать конденсаторы, имеющие тенденцию к сравнительно быстрому росту тока утечки (рис. 3).

Применение неразрушающих методов контроля качества позволяет повысить точность прогноза долговечности приборов, что подтверждается результатами форсированных испытаний.

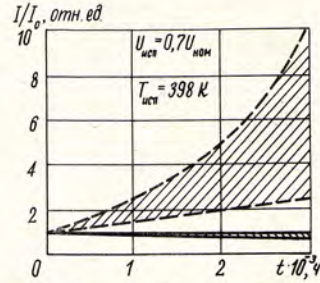


Рис. 3. Зависимость токов утечки конденсаторов К52-9 от времени испытаний (пунктирные кривые — образцы, склонные к кристаллизации)

Наряду с увеличением долговечности цельнотанталовых конденсаторов до 40000 ч при $T=343$ К и $U=0,7U_{ном}$ (что соответствует расчетной оценке по приведенной формуле) оказалось возможным повысить их максимальную рабочую температуру и допустимую амплитуду переменного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термополевая кристаллизация и ее влияние на электроперенос в анодных оксидах тантала и ниобия/М.Н.Дьяконов, А.Г.Карпухина, В.М.Муждаба и др.— Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты, 1980, вып. 3, с. 17—21.
2. Дьяконов М.Н., Муждаба В.М. Возможности улучшения электрических свойств оксидного диэлектрика электролитических конденсаторов.— Электронная промышленность, 1978, вып. 4, с. 31—36.
3. Брыксин В.В., Дьяконов М.Н., Ханин С.Д. Прыжковый перенос в некристаллическом оксиде тантала.— Физика твердого тела, 1980, т.22, вып. 5, с. 1403—1410.
4. А.с. 762044 (СССР). Способ отбраковки конденсаторов с оксидным диэлектриком/М.Н.Дьяконов, В.М.Муждаба, И.В.Нетупский, С.Д.Ханин. Оpubл. в Б.И., 1980, № 33.

Статья поступила 17 июня 1982 г.

НОВАЯ КНИГА

Э.Р.Караханян, В.А.Шилин

М.: Радио и связь, 1984, 8 л.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПАМЯТИ С МДП-СТРУКТУРОЙ

Даны общие принципы проектирования (включая автоматизированное проектирование) однокристалльных запоминающих устройств и основные расчетные соотношения для МДП-транзисторов и ПЗС-элементов памяти. Проанализированы электронные схемы, сформированные на одном кристалле с запоминающими элементами, приведена методика их проектирования. Рассмотрены перспективы дальнейшего развития запоминающих устройств на МДП-элементах.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и производством интегральных микросхем.

РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

УДК 621.382.3

В.В.Бачурин, А.К.Бельков, В.В.Полехов, Е.А.Садковская

МОЩНЫЙ ГЕНЕРАТОРНЫЙ МДП-ТРАНЗИСТОР КП913

Основное назначение транзистора КП913 — генерирование сигналов и усиление мощности в радиоэлектронных схемах с рабочей частотой до 400 МГц. Прибор может применяться также в быстродействующих переключающих устройствах.

Транзистор изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии и конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе типа К119 с полосковыми выводами. Основу при-

бора составляет вертикальная МДП-структура с V-образной канавкой. Электрод затвора размещен на покрытых двуокисью кремния боковых стенках V-образных канавок, созданных в исходной эпитаксиальной $n-l^+$ -основе методами фотолитографии и анизотропного травления кремния. Толщина изолятора затвора составляет 0,2-0,22 мкм, эффективная длина канала — 1-1,2 мкм.

Транзистор работает в режиме обогащения. Пороговое напряжение равно 3-6 В. При $U_{зи} = 0$ через прибор протекает относительно небольшой начальный ток стока (не более десятков миллиампер).

Ниже приведены основные характеристики транзистора КП913 (рис. 1-3), его электрические параметры и предельно-допустимые режимы эксплуатации.

Предельные значения допустимых электрических режимов эксплуатации в диапазоне температур от -60 до +125°C

Напряжение, В	
затвор-исток	20
сток-исток	50
сток-исток в динамическом режиме	65
затвор-сток	60
затвор-сток в динамическом режиме	75
Постоянная рассеиваемая мощность при $T_{корп} = -60 \div +25^\circ\text{C}$, Вт	100
При увеличении температуры от +25 до 125°C мощность рассеяния линейно снижается до 20 Вт.	

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

Крутизна характеристики при $U_{си} = 20\text{ В}, I_c = 3\text{ А}$,
 $r_{и} = 700\text{ мкс}$,
 $Q = 200, \text{ мА/В} \dots \dots \dots 1000-2500$
 Начальный ток стока при $U_{си} = 20\text{ В}, U_{зи} = 0, \text{ мА} \dots \dots \dots 20-300$
 Остаточный ток стока при $U_{си} = 50\text{ В}, U_{зи} = -10\text{ В}, \text{ мА} \dots \dots \dots 20-200$
 Ток стока при $U_{си} = 20\text{ В}, U_{зи} = 20\text{ В}, \text{ А}$

КП913А $\dots \dots \dots 14-20$
 КП913Б $\dots \dots \dots 10-14$

Емкость затвор-исток при разомкнутом выводе стока, $U_{зи} = -5\text{ В}$, $f = 1\text{ МГц}$, пФ $\dots \dots \dots 300-390$

Выходная мощность в непрерывном режиме класса В при $T_{корп} = +25 \pm 10^\circ\text{C}$, Вт

$U_{си} = 45\text{ В}, f = 400\text{ МГц}$
 КП913А ($P_{вх} = 40\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 100-120$
 КП913Б ($P_{вх} = 30\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 70-90$

Коэффициент усиления по мощности в режиме класса В при $T_{корп} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$, $U_{си} = 45\text{ В}, f = 400\text{ МГц}$, дБ
 КП913А ($P_{вых} = 100\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 4-5$
 КП913Б ($P_{вых} = 70\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 4-5,4$

Коэффициент полезного действия цепи стока в режиме класса В при $T_{корп} = 25 \pm 10^\circ\text{C}, U_{си} = 45\text{ В}, f = 400\text{ МГц}$, %
 КП913А ($P_{вых} = 100\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 46-50$
 КП913Б ($P_{вых} = 70\text{ Вт}$) $\dots \dots \dots 40-49$

Сопротивление сток-исток в открытом состоянии при $U_{си} = 0,1\text{ В}, U_{зи} = -10\text{ В}, \text{ Ом} \dots \dots \dots 0,5-1$

Проходная емкость при $U_{си} = 20\text{ В}, U_{зи} = -5\text{ В}, f = 10\text{ МГц}$, пФ $\dots \dots \dots 10-15$

Емкость сток-исток при коротком замыкании между истоком и затвором, пФ $\dots \dots \dots 150-190$

Время включения при $U_{си} = 45\text{ В}, U_{зи,вх} = 20\text{ В}, R_{Г} = 50\text{ Ом}, R_{н} = 5\text{ Ом}$, нс $\dots \dots \dots$ не более 10

Время выключения при $U_{си} = 45\text{ В}, U_{зи,вх} = 20\text{ В}, R_{Г} = 50\text{ Ом}, R_{н} = 5\text{ Ом}$, нс $\dots \dots \dots$ не более 5

При увеличении температуры от +25 до 125°C мощность рассеяния линейно снижается до 20 Вт.

Статья поступила 22 февраля 1983 г.

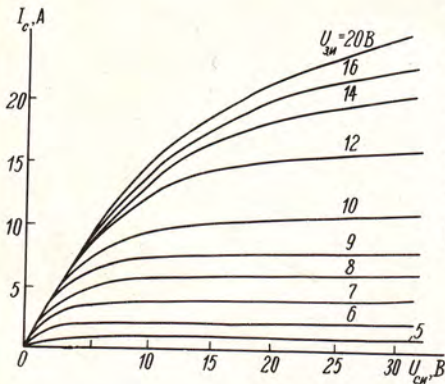


Рис. 1. Выходные вольт-амперные характеристики

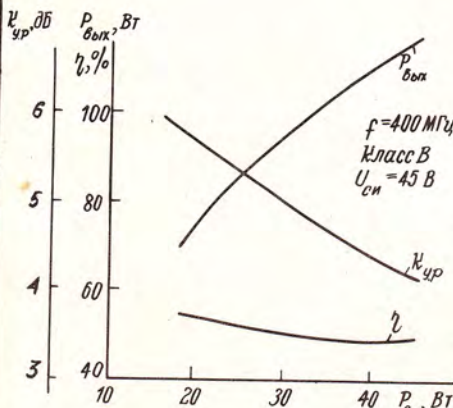


Рис. 2. Зависимость выходной мощности, коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия от входной мощности

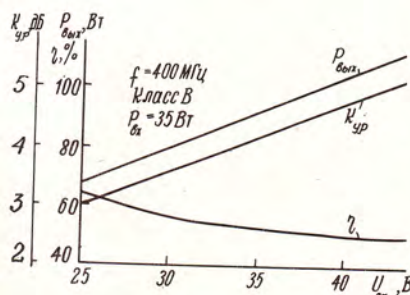


Рис. 3. Зависимость выходной мощности, коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия от напряжения сток-исток

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 536.581.3

А.А.Айвазов, В.Н.Алфеев,
Ю.И.Шаманасев, Ю.И.Штерн**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
КРИСТАТ ДЛЯ
ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ ПЗС**

С целью улучшения чувствительности оптоэлектронного преобразователя на основе ПЗС разработан вакуумный термоэлектрический криостат, обеспечивающий автоматическую регулировку температуры формирователей сигналов принимаемого изображения. Основным элементом криостата является однокаскадная термобатарея из двух секций, каждая из которых содержит 84 полуэлемента, последовательно соединенных между собой и образующих рабочую охлаждающую поверхность размером 30x180 мм. Полуэлементы изготовлены на основе твердых растворов $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ р-типа и $Bi_2Te_3-Bi_2Se_3$ п-типа. Корпус криостата выполнен из сплава АМГ-6. Основание корпуса рассчитано на принудительный жидкостный теплосъем с горячего слоя термобатареи и выполнено в виде шестисекционного радиатора. Съемная крышка имеет оптический ввод из сапфира размером 180x6 мм.

Стабилизация температуры рабочей поверхности термобатареи осуществляется с помощью устройства, в состав которого входит терморезистор ТМД-1, включаемый в мостовую схему, и два устройства сравнения, выполненные на операционных усилителях.

Техническая характеристика

Температура стабилизации работы полупроводниковых приборов, К.....	240-300
Точность поддержания температуры на рабочей поверхности термобатареи, К	0,1
Время выхода на режим, с	180-200
Максимальный перепад температур между горячими и холодными спаями термобатареи при температуре охлаждающей жидкости 288 К, К	48
Давление остаточных газов во внутреннем объеме, Па	0,1
Диаметр полуэлемента батареи, мм.....	4
Максимальный ток питания, А.....	6,0
Максимальная потребляемая мощность, Вт	55
Высота термобатареи, мм	12
Габаритные размеры, мм	281x210x60

Результаты испытаний термоэлектрического криостата показали, что минимальная температура рабочей поверхности (240 К) достигается при токе питания 6 А.

ЭЛЕКТРОНИКА — МЕДИЦИНЕ

УДК 621.397.13

А.Ф.Горкавенко, В.С.Доценко,
Г.А.Падалко, В.В.Тарасов**ТЕПЛОВИЗИОННАЯ
СИСТЕМА «РАДУГА»**

Тепловизионная система имеет широкие функциональные и метрологические возможности и может найти применение как универсальный тепловизионный прибор в различных областях народного хозяйства. Тепловизор позволяет наблюдать объекты в поле зрения $20 \times 17,5^\circ$ при угловом разрешении $7'$, что обеспечивает получение термограмм из 18500 элементов разрешения при температурном разрешении $0,2^\circ\text{C}$.

Применение тепловизионных методов исследования в различных областях науки и техники поставило перед разработчиками серийных тепловизионных систем задачу создания более совершенной аппаратуры — с расширенными функциональными и метрологическими возможностями. Одной из таких разработок является быстросканирующая цветная тепловизионная система «Радуга», снабженная цифровой памятью, оптико-механическим и электронным устройствами сканирования. Система имеет средства калибровки и проверки информационно-измерительного канала, может работать в цветном, черно-белом и комбинированном режимах (рис. 1).

Тепловизор «Радуга» состоит из оптической головки, установленной на подвижном штативе, дисплея, блока управления, фотоприставки с фотоаппаратом «Киев-15» и двухплощадочного



Рис. 1. Цветной быстросканирующий тепловизор «Радуга»

черного тела, размещенных на тележке. В комплект тепловизора входит сосуд Дьюара, диапроектор и экран для демонстрации слайдов.

Особенностями тепловизора являются: регистрация на экране с предельной чувствительностью большого динамического диапазона температур, возможность запоминать в четырех квадратах эталонные и наблюдаемые термограммы на одном экране, наличие цифрового шумоподавителя, выделение или подавление любых цветных и черно-белых изотерм. Шесть параметров термографирования отображаются в цифровом виде на экране, на котором формируется также вертикальный термопрофиль, десять цветных и пять черно-белых градаций в виде дискретного оптического клина. (Одна любая цветная градация термограммы может быть представлена пятью черно-белыми градациями и наоборот). При сложном законе сканирования объекта термограмма формируется простым растром. Результаты измерения температуры в любой точке отображаются на экране в виде цифр.

Как показал опыт использования медленно сканирующих серийных тепловизоров [1—5], в большинстве случаев потребитель предпочитает иметь высокие значения температурного разрешения и скорости сканирования. Эти два противоречивых требования удалось совместить, используя в тепловизоре «Радуга» одиннадцатизначный охлаждаемый жидким азотом приемник излучения на основе сурьмянистого индия и сканер в виде призмы с двенадцатью гранями. Чтобы обеспечить длительное наблюдение и регистрацию быстро протекающих процессов, в состав тепловизора введено цифровое запоминающее устройство на базе микросхем K134PУ6 емкостью 1 кбит. Устройство позволяет фиксировать до четырех фаз теплового процесса (рис. 2) или записать одну или несколько эталонных термограмм, что удобно для решения задач неразрушающего контроля (оператор, сравнивая эталонную термограмму с наблюдаемой, может судить о тепловом состоянии объекта и проходящих в нем процессах). Достоверное наблюдение большого числа изотерм на объекте обеспечивается дисплеем с кинескопом 25AK2Ц, который может работать в цветном, черно-белом (рис. 3) и совмещенном (рис. 4) режи-

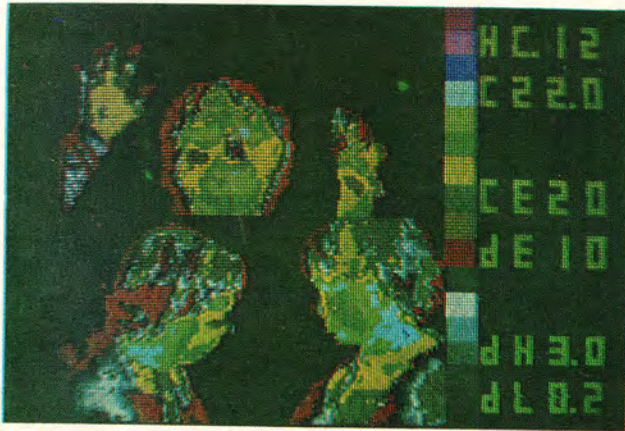


Рис. 2. Термограмма четырех объектов, зарегистрированная с помощью запоминающего устройства тепловизора: HC — номер кадра; C — температура в точке перекрестия; CE — уровень отсчета температуры; dE — диапазон регистрируемых температур; dH — цена деления цветной шкалы; dL — цена деления черно-белой шкалы



Рис. 3. Термограмма, полученная при работе тепловизора в режиме черно-белого изображения

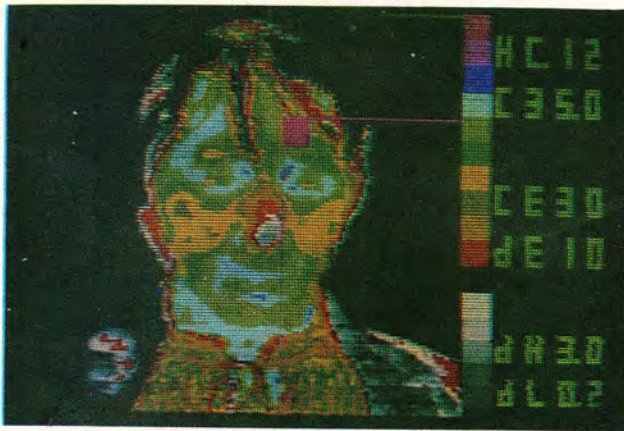


Рис. 4. Термограмма, полученная при работе тепловизора в совмещенном режиме

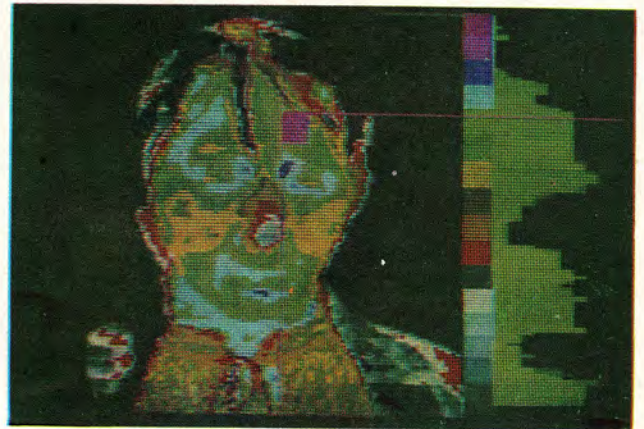


Рис. 5. Термопрофиль исследуемого объекта

мах. Совмещение режимов позволяет увеличить динамический диапазон регистрируемых температур [6]. Представление видеосигнала в цифровой форме расширяет функциональные и информационные возможности тепловизора.

При работе системы объект сканирует с частотой кадра 25 Гц, что обуславливает получение раstra на экране дисплея из 132 строк, состоящих из 140 элементов. Наводка на резкость осуществляется от 0,4 м до бесконечности. Объект может иметь температуру 0—200°C, которая в диапазоне 20—50°C измеряется с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. При периодической калибровке тепловизора по ИК излучателям точность измерения повышается. Запоминание термограммы в одном или нескольких из четырех квадратов экрана осуществляется вручную или автоматически с регулировкой периода перезаписи от 1 до 15 с. Направление поля зрения может быть

изменено разворотом оптической головки на $\pm 180^\circ$ или ее наклоном на $\pm 15^\circ$. Введение в состав тепловизора легкого выносного отклоняющего зеркала на основе алюминированной пленки увеличивает диапазон изменения указанных углов.

Цветные и черно-белые шкалы, калиброванные в градусах, воспроизводятся на экране, что позволяет методом сравнения цветов определять температуру изотермических зон объекта наблюдения. По желанию оператора на термограмму может накладываться цветная квадратная метка с вертикальной и горизонтальной линиями для определения в точке их пересечения элемента, из которого производится выборка видеосигнала для измерения в цифровом виде радиационной температуры в точке на объекте. Метка может перемещаться оператором и служит для допускового контроля температур методом сравнения. Так, напри-

мер, придав метке цвет, соответствующий цвету исследуемого участка объекта, можно контролировать стабильность его температуры, сравнивая изменение этих двух цветов во времени. Вертикальная перемещаемая оператором линия служит указателем места выборки видеосигнала для формирования термопрофиля (рис. 5). Термограмма может быть как позитивной, так и негативной, при этом соответственно меняется и порядок следования градаций на шкалах. Предусмотрен также цветоконтрастный режим, при котором изотермам присваиваются цвета, значительно различаемые по спектру. Это обеспечивает визуальное точное различие перепадов температур на объекте. В тепловизоре применен цифровой шумоподаватель, выполняющий операции цифрового интегрирования изображений на нескольких кадрах. К одному тепловизору можно подключать два дисплея, напри-

мер, для дистанционного контроля или при необходимости их раздельной работы — в цветном и черно-белом режимах. Учет нелинейной зависимости от температуры обеспечивается применением неравномерного квантования, что уменьшает погрешность измерения температур и расширяет их динамический диапазон. Любая или несколько цветных или черно-белых изотерм на термограмме могут быть подавлены, что позволяет исключить помехи от фона посторонних предметов, полностью устранить шумовые флуктуации.

Информационно-измерительный канал тепловизора «Радуга», как и ранее разработанные модели [3, 7, 8], имеет декадные аттенуаторы уровня отсчета в диапазоне регистрируемых температур, показания которых указывают на параметры термографирования и в виде чисел

отображаются на дисплее вместе с числами, обозначающими цену деления цветной и черно-белой шкал, температуру в точке перекрестия и порядковый номер кадра, задаваемый вручную, что удобно при фотографировании термограммы с целью документирования.

Калибровка тепловизора при изготовлении и в процессе эксплуатации осуществляется по ИК излучателям, температура которых поддерживается с точностью $0,2^{\circ}\text{C}$ и может дискретно изменяться в пределах от 20 до 70°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловизор для наблюдения квазистационарных тепловых полей /М.М.Мирошников, Г.М.Овчаренко, О.К.Шабашев и др.— Оптико-механическая промышленность, 1971, № 6, с. 3.

2. П а д а л к о Г.А. Тепловидение в радиоэлектронике.— Радио.— 1978, № 1, с. 10.

3. Тепловизор «Рубин-3»/М.М.Мирошников, Г.А.Падалко, В.П.Светлаков и др.— Оптико-механическая промышленность, 1980, № 8, с. 28.

4. Л о й д Дж. Системы тепловидения: Пер. с англ.— М.: Мир.— 414 с.

5. Jeol Ltd. Токио. Медицинский термограф с высоким разрешением Thermoviewer MB JTG-MB.

6. А.с. 932652 (СССР). Устройство воспроизведения изображения в условных цветах/В.С.Доценко, В.В.Перлов, А.Ф.Горкавенко. Опул. в Б.И., 1982, № 20.

7. Тепловизор — дефектоскоп «Статор-1»/М.М.Мирошников, Г.А.Падалко, Р.Н.Иванова и др.— Оптико-механическая промышленность, 1972, № 12, с. 17.

8. П а д а л к о Г.А. Информационно-измерительное обеспечение тепловизора «Рубин-3». — Измерительная техника, 1981, № 4, с. 29.

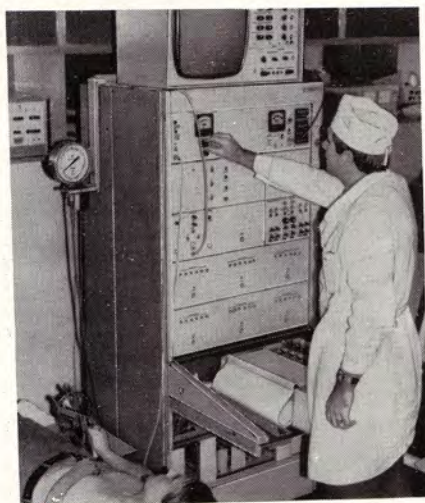
Статья поступила 25 августа 1982 г.

УДК 615.471:616—073.97:616.12

Ю.В.Белецкий, В.А.Осипов, Л.С.Россиянский

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

Для количественной оценки функционального состояния электро-механической активности сердца разработано электронное устройство, обеспечивающее автоматическую обработку информации об изменениях кардиопараметров в каждом сердечном цикле у пациентов в покое и при функциональных нагрузках.



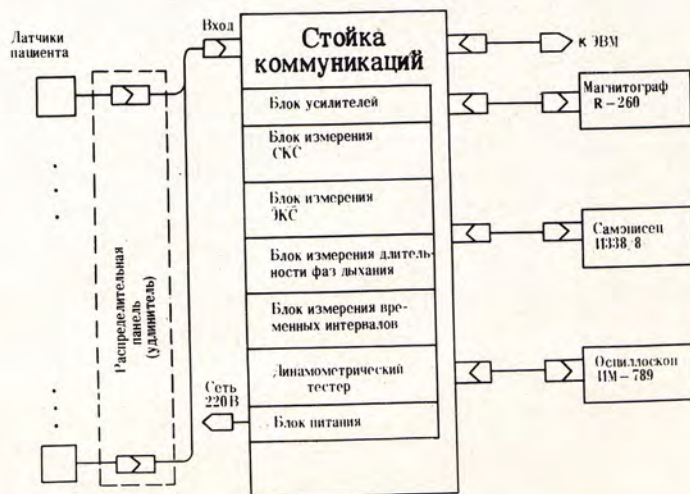
Устройство (см. рисунок) входит в состав информационно-измерительного комплекса «Элитерис ФДА» и дает возможность обрабатывать в реальном масштабе времени информацию о текущем и пиковом значении RR-интервалов электрокардиосигналов, а также средневыпрямленном значении сейсмокардиосигналов.

Блок измерения и обработки электрокардиосигналов (ЭКС) включает в себя усилитель, селектор R-зубца, селектор T-зубца, преобразователь длительности RR-, RT- и TR-интервалов в напряжение, значение которого выводится на самописец и ЭВМ.

Блок измерения и обработки сейсмокардиосигналов (СКС) состоит из усилителя, измерителя пикового значения и интеграла модуля сигнала, которые преобразуются в напряжения, выводимые на самописец

и ЭВМ. Измерительный тракт имеет встроенное устройство для калибровки.

Измерение кардиопараметров синхронизировано с вершиной R-зубца ЭКС: напряжения, пропорциональные измеряемым величинам, изменяют свои значения на новые с приходом очередного импульса, соответствующего вершине R-зубца, и сохраняются на выходе измерителя до прихода следующего R-зубца ЭКС. Это позволяет врачу накапливать данные при записи на самописец, облегчает



Блок-схема устройства для измерения кардиопараметров

разработку алгоритмов для принятия решений при обработке данных на ЭВМ в реальном масштабе времени за счет предварительного преобразования информации до ввода в ЭВМ, что особенно важно

при увеличении числа измеряемых параметров.

Устройство позволяет определять средневыпрямленные и эффективные значения первого и второго комплексов СКС в RT- и TR-интервалах,

получать коэффициенты формы, амплитуды и усреднения, используя данные, зафиксированные на самописце, а также в памяти ЭВМ.

Статья поступила 24 июня 1982 г.

УДК 621.318.2:[615.471.616.089]

Г.М.Баринов, Л.А.Благодарный, А.Н.Герберг,
С.Б.Мухом, Т.С.Одарюк, В.И.Рыков,
Е.Д.Савков, В.Д.Федоров

МАГНИТНОЕ ЗАПИРАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ КОЛОСТОМЫ

Применение в разработанной конструкции оптимальной схемы намагниченности позволило уменьшить массу магнитного материала в 1,8 раза по сравнению с известным зарубежным аналогом, а использование эластичных полимеров обеспечило улучшение медико-технических характеристик устройства.

При ряде заболеваний прямой и толстой кишки возникает необходимость в создании колостомы — формировании на передней брюшной стенке отверстия для вывода кишечного содержимого. Это выдвигает проблему разработки средств, обеспечивающих эффективную социально-трудовую реабилитацию пациентов с колостомой и снижающих процент их инвалидизации.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом ведутся работы по созданию магнитных запирающих устройств для управления колостомой [1, 2]. Фирма Coloplast International (Дания) выпускает устройство Maclet, которое состоит из имплантируемого аксиально-намагниченного кольца (из материала типа РЗМ-кобальт), заключенного в титановую оболочку, и затвора грибообразной формы из полиэтилена, содержащего аксиально-намагниченный цилиндр в стержневой части и аксиально-намагниченное кольцо в крышке. Такая схема намагниченности обеспечивает получение практически постоянной силы взаимодействия имплантируемого кольца и затвора в некотором интервале расстояний между кольцом и плоскостью крышки, что является одним из основных требований к устройствам подобного типа, так как глубина залегания кольца не может быть постоянной. Однако, на наш взгляд, указанная схема не является оптимальной с точки зрения использования магнитного материала. Кроме того, недеформируемость материала корпуса затвора по сравнению с прилежащими тканями организма может быть причиной неплотного прилегания его крышки к передней брюшной стенке и постоянного давления стержня затвора на один и тот же участок слизистой оболочки выведенной кишки в тех случаях, когда поверхность брюшной стенки недостаточно ровная или выведенная кишка не перпендикулярна брюшной стенке.

Моделирование на ЭВМ с использованием программы анализа силовых аксиально-симметричных магнитных систем и применение для изготовления корпуса затвора эластичных материалов позволили разработать более удачную в техническом и медицинском отношении конструкцию устройства (рис. 1). Форма затвора в нем аналогична форме разработанных ранее конст-

рукций, так как она определяется геометрией человеческого организма. Имплантируемое кольцо намагничено радиально, что обеспечивает более высокую, чем при аксиальной намагниченности, степень неоднородности поля в апертуре кольца. Так как магниты изготовлены из высокоэрициативного материала, кривая размагничивания которого близка к кривой идеального материала, увеличение неоднородности поля вызывает заметное увеличение силы взаимодействия магнитов кольца и затвора.

Кривая зависимости силы взаимодействия от расстояния между кольцом и плоскостью крышки затвора приведена на рис. 2. Интервал работы устройства определяется некоторой выбранной, не зависящей от его магнитной схемы длиной стержневой части затвора. Постоянство силы взаимодействия в некотором интервале взаиморасположений элементов устройства обеспечивается за счет размещения в стержне затвора двух последовательно расположенных цилиндрических магнитов. Для материалов, близких к идеальным, силовая характеристика устройства может рассматриваться как результират сложения двух более «острых» кривых, сдвинутых относительно друг

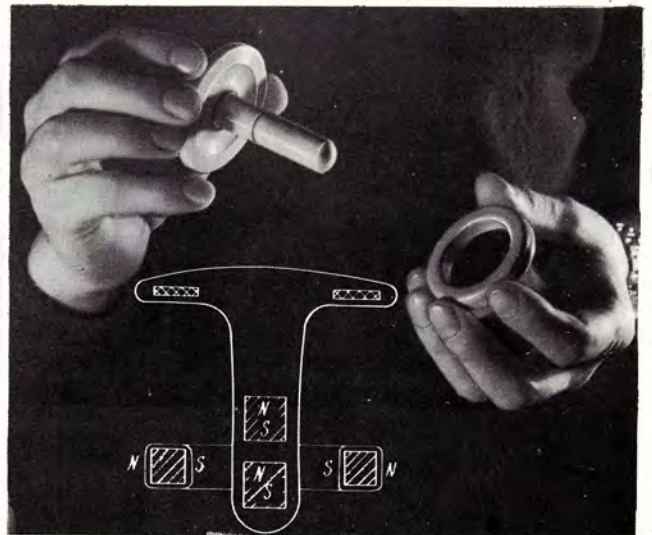


Рис. 1. Магнитное запирающее устройство

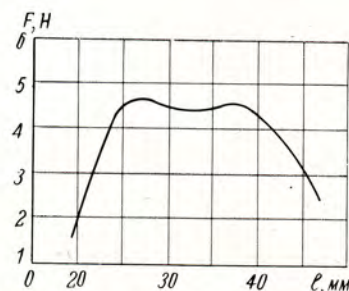


Рис. 2. Силовая характеристика устройства

друга и соответствующих взаимодействию с кольцом одного из магнитов затвора при перемещении последнего относительно кольца.

Защитная биологически инертная оболочка имплантируемого кольца и корпус затвора выполнены из резиновой смеси 52336/4 на основе силиконового каучука. Обрезинивание кольца и формирование корпуса затвора осуществляется путем вулканизации в специальных пресс-формах.

Стержень такого затвора эластичен и при введении в колостому легко повторяет наклон канала (если таковой имеется), что предотвращает опасность постоянного давления стержня на один и тот же участок слизистой оболочки кишки. В толще крышки затвора размещена тонкая кольцевидная пластина из пластичной нержавеющей стали. Это позволяет каждому пациенту при пользовании устройством самому подбирать наиболее подходящий для него профиль крышки, чем обеспечивается надежное прилегание ее к поверхности передней брюшной стенки.

Клинические испытания и эксплуатация устройства пациентами показали его надежность и безопасность. Применение разработанной конструкции значительно облегчает уход за колостомой, обеспечивает высокую степень социально-трудовой реабилитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка управляемой колостомы с магнитным запирающим устройством/В.И.Рыков, В.Д.Федоров, Л.А.Благодарный, Т.С.Одарюк.— В кн.: Тезисы докладов XIV съезда хирургов УССР, 20—23 мая 1980 г., г. Донецк.— Донецкий медицинский институт, 1980, с. 221—222.
2. Magnetic continent colostomy device/Alexander—Williams A., Devlin N., Goliger I.— British Medical J., 1977, № 6071, pp. 1238, 1269—1270.

Статья поступила 4 апреля 1983 г.

НОВАЯ КНИГА

В.А.Мищенко, А.В.Гурьянов,
В.Д.Козюминский, Б.С.Гуркович

ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИС

М.: Радио и связь, 1984, 22 л.

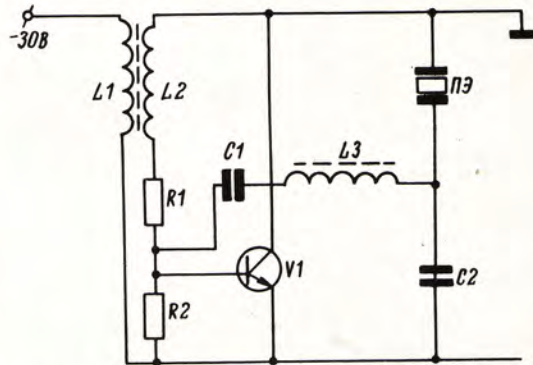
Рассматриваются проблемы и методы логического проектирования цифровых БИС. Процесс синтеза БИС выполняется по общей методологии перехода от модели многофункционального автомата к конкретной реализации. Исследуются алгоритмы выполнения заданных функций, включая автоматизацию логического синтеза. Приводятся примеры синтеза конкретных цифровых устройств. Большое внимание уделяется использованию секционируемых программируемых матриц в качестве основных базовых элементов.

Книга предназначена для научных работников, специализирующихся в области логического проектирования цифровых БИС.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

СХЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

При разработке ультразвуковых ингаляторов и других устройств с применением пьезоизлучателей важно выбрать оптимальную схему возбуждения. В результате анализа схемных решений отечественных и зарубежных ультразвуковых устройств установлено, что наиболее удачной для этих целей является схема, представляющая собой разновидность известной трехточечной схемы с емкостной связью (см. рисунок).



Принципиальная электрическая схема возбуждения пьезокерамических излучателей широкого применения

Включение в цепь базы транзистора $V1$ последовательного контура $C1, L3$ обеспечивает генерацию частоты, совпадающую с резонансной частотой пьезоизлучателя $\omega_{и} = 1/C_{и} L_{и}$, где $C_{и}$ и $L_{и}$ — динамическая емкость и индуктивность излучателя. При запираии транзистора $V1$ в катушке $L1$ наводится э.д.с. самоиндукции, составляющая примерно 100 В, которая, воздействуя на пьезоизлучатель, поддерживает в нем колебания. Обратная связь осуществляется по цепи $C1, L3$; катушка связи $L2$ переводит транзистор $V1$ в ключевой режим работы.

При использовании пьезоизлучателя с $\omega_{и} = 880$ кГц требуются следующие номиналы радиокомпонентов: $L3 - 8,8$ мГн, $C1 - 3600$ пФ, $C2 - 0,05$ мкФ, $R1 - 5,6$ кОм, $R2 - 560$ Ом.

Особенностью схемы является то, что частото задающий элемент (пьезоизлучатель ПЭ) одновременно является и силовой нагрузкой.

Рассмотренная схема может быть рекомендована для возбуждения пьезоизлучателей различного назначения, что подтверждено испытаниями в ультразвуковом ингаляторе и в универсальном терапевтическом устройстве с набором пьезоизлучателей, имеющих различную частоту механического резонанса.

В.А.Нагиев, В.И.Носачев, М.П.Третьяков,
Е.В.Щаенко

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 621.315.592.3

С. К. Максимов, Д. И. Пискунов, Е. А. Питиримова

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИОННОГО ВНЕДРЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В СОЕДИНЕНИЯ $A^{III}B^{V}$

Изучение закономерностей аномального разбухания материалов $A^{III}B^{V}$ при внедрении примесей дало возможность выработать рекомендации по оптимизации процесса ионного легирования.

Использование технологии ионного внедрения применительно к соединениям $A^{III}B^{V}$ связано с рядом специфических трудностей, и прежде всего с аномальным разбуханием слоя, подвергнутого ионной бомбардировке [1—5]. Разбухание арсенида галлия происходит при внедрении ионов ксенона в дозах, превышающих 10^{14} см⁻². У антимонида галлия это явление связано с бомбардировкой ионами дейтерия сверхвысоких энергий [3], а у антимонида индия оно наблюдается при внедрении большинства ионов. Высота ступеньки, возникающей на границе между облученным и необлученным участками и характеризующей степень разбухания, увеличивается с ростом дозы облучения или энергии внедряемых ионов и сильно зависит от их массы. При больших дозах облучения и значительных массах имплантируемых ионов на поверхности образца отмечается появление черной «сажи» (предположительно, окислов).

Аномальное разбухание материала вызывает разупорядочение его дефектной структуры, которая не восстанавливается даже в результате отжига при температурах, близких к температуре плавления [2, 4, 5]. Поэтому данное явление в технологии ионного легирования крайне нежелательно.

Аномальное разбухание некоторые исследователи связывают с образованием в облученном материале пор вследствие пластической деформации материала мишени при воздействии на неё внедряемого иона [2]. В других работах [4] разбухание материала объясняется фазовым переходом, сопровождающим внедрение ионов.

В целях изучения особенностей поведения материалов $A^{III}B^{V}$ под пучком ионов наблюдалось образование дефектной структуры при внедрении ионов в антимонид индия — соединение, характеризующееся минимальной энергией связи, а также в арсенид галлия — наиболее важный в практическом отношении материал.

Исследования показали, что механизмы формирования дефектной структуры в арсениде галлия близки к механизмам, происходящим при ионном внедрении и постимплантационных отжигах в кремнии. Можно выделить несколько стадий образования дефектной структуры. Первичными дефектами являются точечные, преимущественно междуузельные атомы. Они коагулируют при отжигах, образуя призматические петли внедренного типа, что в свою очередь приводит к возникновению дислокационных сеток, которые в некоторых случаях можно рассматривать как сетки несоответствия. При дозах облучения более 10^{16} см⁻² концентрация легирующей примеси увеличивается настолько, что она не растворяется в арсениде галлия, а выделяется на поверхности кристалла,

вызывая генерацию дислокаций (вследствие призматического выдавливания этой примеси). Наиболее характерным для арсенида галлия является отсутствие каких-либо признаков участия вакансий в формировании дефектной структуры.

Аномальное разбухание антимонида индия сопровождается возникновением в облучаемом объеме пористой структуры. Чем больше доза

имплантируемой примеси или масса внедряемого иона, тем выше степень пористости. Поры соединяются и образуют каналы, которые частично выходят на поверхность кристалла. Образующаяся на поверхности пор пленка индия вступает в реакцию с кислородом, в результате чего, как установлено электронографическими исследованиями, возникает поликристаллическая фаза In_2O_3 . Рентгеноструктурный анализ позволил уточнить результаты электронографии: линии поликристаллической фазы соответствуют веществу с кубической решеткой того же типа, что и для In_2O_3 , но с несколько увеличенным периодом решетки. Кроме того, появляется несколько слабых и средних отражений, отсутствующих в табличной рентгенограмме этого соединения, причем большинство добавочных рефлексов легко связать с увеличенным периодом решетки кубического кристалла, хотя они и соответствуют отражениям, запрещенным для идеального кристалла In_2O_3 . Все эти аномалии на рентгенограммах легко объяснимы, если предположить, что структура In_2O_3 , формирующейся при ионном легировании, далека от совершенной.

Если слой антимонида индия подвергнуты ионному облучению, не приводящему к аномальному разбуханию, и лежат ниже пористого слоя, то наряду с призматическими петлями внедренного типа в них обнаруживаются петли вычитания (вакансионные). Появление таких петель является прямым подтверждением активной роли вакансий в структурных превращениях, сопровождающих ионное легирование этого материала. Поэтому формирование пористой структуры $[nSb]$ логично связать не с процессами деформации или фазовых превращений, а с процессами конденсации вакансий.

Поскольку сурьма при температурах, близких к комнатной, обладает упругостью паров на несколько порядков выше, чем индий [6], то разложение $InSb$ должно сопровождаться частичным испарением сурьмы и появлением избыточных атомов индия. Область гомогенности $InSb$ крайне узка, и даже при незначительном избытке индия (порядка долей атомного процента) сплав становится двухфазной системой, в которой индий присутствует в виде металлической фазы [6]. Разложение антимонида индия, испарение сурьмы и преципитация индия способствуют накоплению в активированном объеме вакансий и коагуляции последних в поры, что облегчает перенос паров сурьмы, а связанное с увеличением пористости развитие поверхности приводит к зарождению преципитатов металлической фазы на поверхностях пор и каналов. Не исключено, что зарождение пор само облегчается наличием межфазных границ «матрица — преципитат индия». Повышение температуры мишени от комнатной до 523—573 К подавляет развитие аномального разбухания антимонида индия. Электроно-микроскопическими исследованиями образцов, легированных при этих температурах, поры не обнаружены. Полученные слои

являются монокристаллическими, хотя многие признаки указывают на то, что они претерпевают значительные упругие деформации. Наличие призматических вакансионных петель свидетельствует о том, что ионная имплантация приводит к генерации вакансий, в результате чего их концентрация существенно превышает равновесную.

Изучение упругих напряжений в материале, подвергнутом обработке потоком ионов, показало, что имплантация при комнатной температуре сопровождается изгибом образцов (выпуклая поверхность находится с облученной стороны). По мере увеличения температуры мишени изгиб возрастает, достигая максимального значения при 623 К. С увеличением дозы облучения изгиб усиливается; зависимость изгиба от массы ионов — обратная. Поэтому чем больше аномальное разбухание антимионида индия при имплантации, тем меньше упругие напряжения, возникающие в системе «пленка—подложка». Внедрение в антимионид индия легких ионов, особенно в малых дозах, приводит к возникновению вакансионных петель.

Таким образом, поведение антимионида индия при ионном внедрении во многом определяется разложением этого соединения под пучком, что приводит к нарушению стехиометрии и, по-видимому, является причиной аномального разбухания. Возможно также, что активную роль в явлении аномального разупорядочения играют пленки, расчленившие активированный объем на блоки и препятствующие процессу рекристаллизации. Имплантация при повышенных температурах далеко не всегда может быть рекомендована в качестве технологического приема, предотвращающего аномальное разупорядочение, поскольку возникающий при этом значительный изгиб препятствует успешному проведению фотолитографии.

Аномальное разбухание может наблюдаться и у других соединений A^mB^v , обладающих малой энергией связи. Следует учитывать, что разложение этих соединений при ионной имплантации влияет на результирующую дефектную структуру даже в тех случаях, когда оно не является доминирующим процессом (например, при имплантации малых доз легких ионов).

На основании проведенных исследований могут быть предложены следующие приемы, позволяющие оптимизировать технологию ионного внедрения примесей в соединениях A^mB^v :

- замена тяжелых ионов более легкими;
- уменьшение энергии ионов;
- использование легирования из пленок, нанесенных на поверхность кристалла;
- разработка мероприятий, предотвращающих испарение элементов V группы;
- разработка мероприятий, препятствующих окислению элементов III группы;
- проведение постимплантационных отжигов в условиях, обеспечивающих восстановление химического состава и структуры соединений A^mB^v .

ЛИТЕРАТУРА

1. W h a n R.E., A r n o l d G.W. Lattice expansion and strain in ion-bombarded GaAs and Si.— Appl. Phys. Lett., 1970, vol. 17, N9, p. 378—380.
2. D e s t e f a n i s G.L., G a i l l i a r d J.P. Very efficient void formation in ion-implanted InSb.— Appl. Phys. Lett., 1980, vol. 36, N1, p. 40—42.
3. K l e i t m a n D., Y e a r i a n H.Y. Radiation-induced expansion semiconductors.— Phys. Rev., 1957, vol. 108, N3, p. 901.
4. П а в л о в П.В., Д а н и л о в Ю.А., Т у л о в ч и к о в В.С. Морфологические и структурные изменения антимионида индия при ионной бомбардировке.— Доклады АН СССР, 1979, т.248, №5, с. 1111—1114.
5. Д а н и л о в Ю.А., Т у л о в ч и к о в В.С. Аномальное радиационное разупорядочение антимионида

индия при ионной имплантации.— Физ. и техн. полупроводников, 1980, т.14, №1, с. 197—200.

6. Материалы, используемые в полупроводниковых приборах/Под ред. К.Хогарта.— М.: Мир, 1968, с. 147—208.

Статья поступила 14 сентября 1982 г.

УДК 621.3.049.771.14

А.Н.Кармазинский, Д.А.Смирнов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРАГМЕНТОВ КМДП БИС ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Знание обобщенных зависимостей основных характеристик проектируемого фрагмента (быстродействия, активной площади кристалла, паразитных емкостей) от структуры схемы и параметров транзисторов обеспечивает гибкость проектирования БИС.

Задачей схемотехнического проектирования цифрового устройства на КМДП-транзисторах является расчет оптимальных параметров компонентов схемы, определяющих ее основные характеристики. Эта задача достаточно сложна вследствие большого числа варьируемых переменных. Поэтому необходима разработка приближенных методов оптимизации, основанных на макромоделях (ММ) цифровых элементов (ЦЭ).

Предлагаемый метод макромоделирования обеспечивает упрощенное представление о характере переходного процесса в ЦЭ и дает возможность получить аналитические соотношения для временных параметров ЦЭ в зависимости от их структуры и параметров транзисторов. Для реализации этого метода создан комплекс программ, обеспечивающих оптимизацию цепей обработки информации на основе специально разработанных ММ и определение параметров транзисторов в элементах [1].

Применение комплекса программ позволяет: — оптимизировать по быстродействию фрагмент БИС в отсутствие и при наличии ограничений на активную площадь, входные емкости, минимальный и максимальный размеры транзисторов и определить максимальные активную площадь, быстродействие и изменение задержек распространения сигналов в зависимости от ограничений;

— оценить задержки, вносимые каждым элементом при оптимальном быстродействии цепи, и использовать их в качестве исходных данных для программ логического моделирования;

— определить полное множество каналов

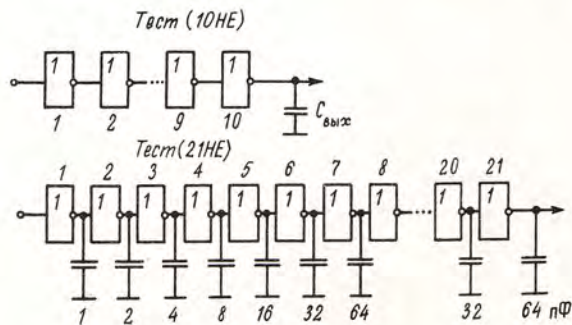


Рис. 1. Модели фрагментов КМДП-схем

обработки информации и соответствующие каждому каналу задержки, предельное быстродействие каналов и скорректировать технические требования к БИС или ее фрагменту.

Представляет интерес на примере тестовых схем (рис. 1) выявить качественную взаимосвязь основных параметров фрагментов БИС (быстродействия, площади, паразитных емкостей) в зависимости от структуры принципиальной схемы. Результаты исследований зависимости относительной задержки распространения сигналов от относительной активной площади цепи (рис. 2) показывают, что при наличии ограничений на W_z задержка распространения сигнала в цепи возрастает. Наибольшие изменения задержки происходят при $W_z \leq 0,1W_{z\text{ макс}}$.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что чем больше каскадов в цепи и чем неравномернее распределены в ней нагрузочные емкости, тем слабее зависит задержка от изменений активной площади. Построение аналогичных зависимостей для конкретного фрагмента БИС позволяет обоснованно выбрать ограничения на его активную площадь и определить максимально допустимое отклонение задержки.

Рост активной площади цепи связан с необходимостью обеспечения тока, требуемого для перезаряда паразитных емкостей. Следовательно, площадь, занимаемая схемой, пропорциональна (зависимость почти линейна) сумме паразитных емкостей в узлах цепи [2, 3], так как же зависимость задержки от соотношения $C_{\text{вых}}/C_{\text{вх}}$.

Ограничения на площадь W_z и входные емкости $C_{\text{вх}}$ приводят к существенному перерас-

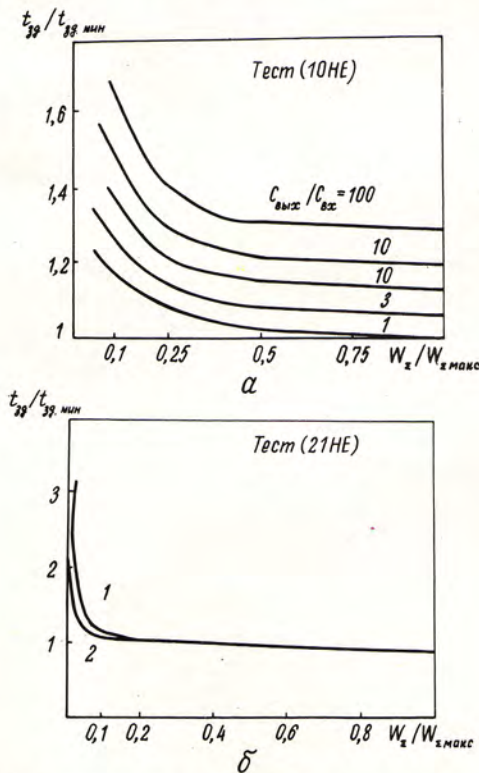


Рис. 2. Зависимости относительной задержки распространения сигнала от величины относительной активной площади для различных соотношений выходной $C_{\text{вых}}$ и входной $C_{\text{вх}}$ емкостей (а), равномерного (б, кривая 1) и неравномерного (б, кривая 2) распределения параметров. $t_{39\text{ мин}}$ — минимальная задержка для максимальной активной площади $W_{z\text{ макс}}$, занимаемой цепью при отсутствии ограничений

пределению активной площади между отдельными каскадами (рис. 3).

В отсутствие ограничений и при наличии емкости C_H на выходе цепи для оптимального быстродействия необходимо увеличивать размеры транзисторов в направлении от входа к выходу (кривая $W_z/W_{z\text{ макс}}=1$), что согласуется с результатами, полученными многими авторами [2—4]. Однако при уменьшении активной площади происходит увеличение размеров выходных каскадов и уменьшение размеров транзисторов в промежуточных каскадах (рис. 4).

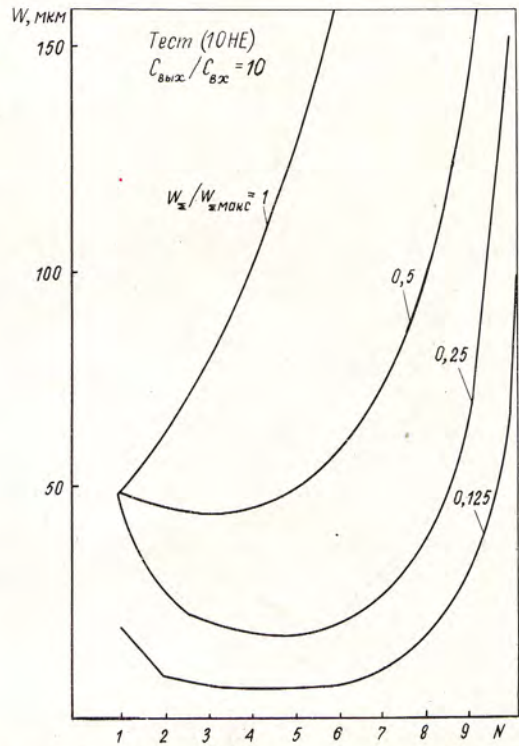


Рис. 3. Распределение размеров транзисторов в схеме с сосредоточенной нагрузкой при различных ограничениях на площадь схемы (N — номер каскада в цепи)

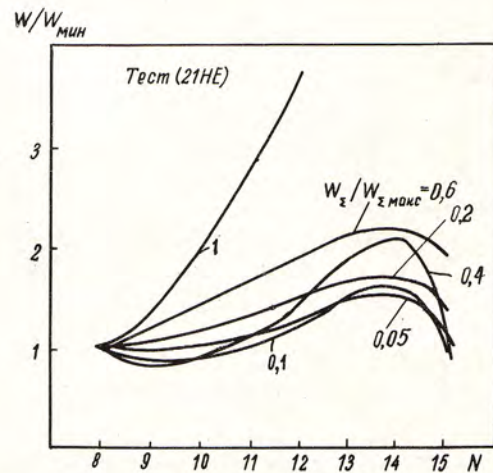


Рис. 4. Распределение размеров транзисторов во фрагменте схемы (каскады 8—15) с распределенной нагрузкой для заданных ограничений на площадь схемы при различных отношениях $W_z/W_{z\text{ макс}}$ и емкостях на выходах элементов $C_{H1}=C_{H8}=C_{H15}=1\text{ пФ}$; $C_{H2}=C_{H9}=C_{H18}=2\text{ пФ}$; $C_{H3}=C_{H10}=C_{H17}=4\text{ пФ}$; $C_{H4}=C_{H11}=C_{H16}=8\text{ пФ}$; $C_{H5}=C_{H12}=C_{H19}=16\text{ пФ}$; $C_{H6}=C_{H13}=C_{H20}=32\text{ пФ}$; $C_{H7}=C_{H14}=C_{H21}=64\text{ пФ}$

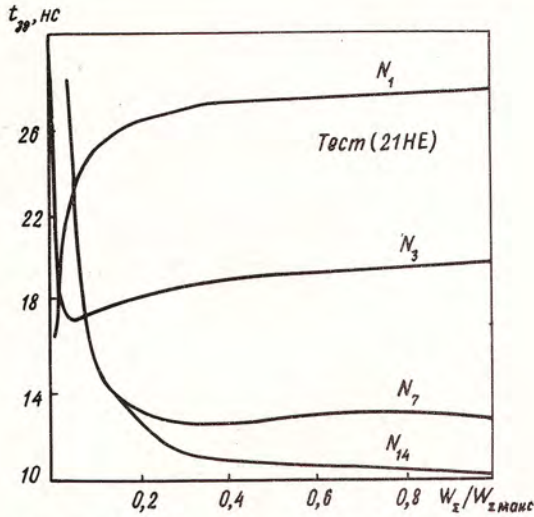


Рис. 5. Задержки отдельных каскадов схемы при различных ограничениях на площадь

причем активная площадь схемы перераспределяется и сосредотачивается в тех каскадах, которые работают на большую емкостную нагрузку, в связи с чем изменяются задержки распространения сигнала, вносимые каждым каскадом (рис. 5). Знание в каждом конкретном случае величины задержки каскада позволяет повысить точность логического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вереникин Г.Н., Кармазинский А.Н., Смирнов Д.А. Автоматизированная система синтеза параметров компонентов в БИС на основе макромоделей.— В кн.: Теоретические и прикладные вопросы разработки, внедрения и эксплуатации САПР РЭА.: Тематический сборник научных трудов.— М.: МАИ, 1981, с. 58—59.
2. Белик В.Н., Герасимов Ю.М., Кармазинский А.Н. Определение оптимальных размеров транзисторов в цепочке каскадно соединенных логических элементов на дополняющих МДП-транзисторах.— В кн.: Ядерная электроника/Под ред. Т.М.Агаханяна.— М.: Атомиздат, 1979, вып. 10, с. 64—69.
3. Пат. 4015431 (США).
4. Караханян Э.Р. Проектирование буферных каскадов для МДП-сдвиговых регистров.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1976, вып. 3., с. 24—28.

Статья поступила 22 февраля 1983 г.

УДК 621.3.049.77.002.72

А.А.Васенков, В.С.Засед, Я.А.Федотов

ОГРАНИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РОСТОМ ЧИСЛА МЕЖСОЕДИНЕНИЙ

По мере увеличения площади кристалла и уменьшения площади ячейки реальный прирост числа ячеек сдерживается сверхлинейным приростом площади, занимаемой межсоединениями. Этот фактор является предпосылкой для разработки микроэлектронных устройств без межсоединений.

Оценка пределов плотности размещения элементов на кристалле исходя из физических и технологических принципов [1—3] дает представле-

ние лишь об интеграции комплексов невзаимодействующих ячеек, т.е. не учитывает их схемотехнической взаимозависимости. Это обстоятельство ведет к тому, что при расчетах значение интеграции оказывается ниже на 1,5—2 порядка.

Сделана попытка учесть взаимосвязь числа и размеров ячеек, расположенных на кристалле, с числом и размером межсоединений при оценке предельной плотности размещения элементов в схеме.

Общая площадь кристалла определяется как

$$A_{кр} = A_{яч} N_{яч} + \alpha_{мс} A_{кр} \quad (1)$$

или

$$A_{кр} = A_{яч} N_{яч} / (1 - \alpha_{мс}),$$

(где $A_{яч}$ — площадь ячейки; $N_{яч}$ — число ячеек; $\alpha_{мс}$ — фактор межсоединений), откуда следует, что число межсоединений оказывает существенное влияние на площадь кристалла. Фактор межсоединений является функцией числа ячеек и числа уровней межсоединений (рис. 1), которая может быть представлена в виде

$$\alpha_{мс} = \exp(-k/N_{яч}), \quad (2)$$

где $k = 2 \cdot 10^3$ для одного уровня межсоединений. Для 15 тыс. ячеек, например, площадь кристалла, занятая межсоединениями, расположенными на одном уровне, составляет около 90% от общей площади. Формирование нескольких уровней межсоединений снижает влияние фактора межсоединений, хотя по существу вид зависимости (2) сохраняется. Коэффициент k для двух- и трехуровневой металлизации принимает соответственно значения $3,5 \cdot 10^3$ и $5 \cdot 10^3$. При малом числе ячеек ($N_{яч} \ll k$) площадь кристалла определяется соотношением $A_{кр} | N_{яч} \ll k = A_{яч} N_{яч}$. При $N_{яч} > k$ роль межсоединений в определении площади кристалла становится главной. Экспоненциальную зависимость (2) можно разложить в ряд

$$\alpha_{мс} | N_{яч} > k \approx 1 - k/N_{яч},$$

$$\text{тогда } A_{кр} = (A_{яч} / k) N_{яч}^2 \quad (3)$$

Следовательно, площадь кристалла определяется квадратичной зависимостью от числа ячеек, учитывающей (в отличие от линейной) число межсоединений.

Сущность ограничений, обусловленных ростом числа межсоединений, поясняется с помощью рис. 2, на котором представлены зависимости построенные на основании соотношений (1) и (2):

$$A_{кр} / A_{яч} = N_{яч} / (1 - \exp(-k/N_{яч})).$$

Увеличение $A_{кр} / A_{яч}$ ограничивается физическими и технологическими факторами, однако более существенным ограничением, препятствующим достижению определенного числа ячеек при заданном $A_{кр} / A_{яч}$, является рост межсоединений.

Из соотношения (3) следует

$$N_{яч} = \sqrt{k \cdot A_{кр} / A_{яч}},$$

т.е. по мере увеличения $A_{кр} / A_{яч}$ закономерность линейного роста $N_{яч}$ переходит в закономерность, где $N_{яч}$ растет пропорционально $(A_{кр} / A_{яч})^{0,5}$.

С позиций комбинаторики межсоединения представляют собой элементы комбинаторных размещений из n элементов по 2, где в данном случае $n = N_{яч}$, так как рассматривается взаимодействие

каждой ячейки с остальными $(N_{яч} - 1)$ ячейками.

Общее число таких размещений (общее число межсоединений) определяется соотношением

$$N_{МС} = N_{яч}! / (N_{яч} - 2)! = N_{яч} \cdot (N_{яч} - 1) = N_{яч}^2.$$

По мере уменьшения топологических размеров начинают проявляться эффекты, связанные с допустимой плотностью тока, протекающего через токоведущую дорожку межсоединений. Предварительные расчеты показывают, что при этом число ячеек на кристалле возрастает по еще более слабому закону $(A_{кр} / A_{яч})^{0,4}$.

Формирование многоуровневой металлизации в целях уменьшения роли межсоединений малоэффективно, как видно из рис. 2. Другой путь решения этой проблемы — снижение общности функционального использования ИС.

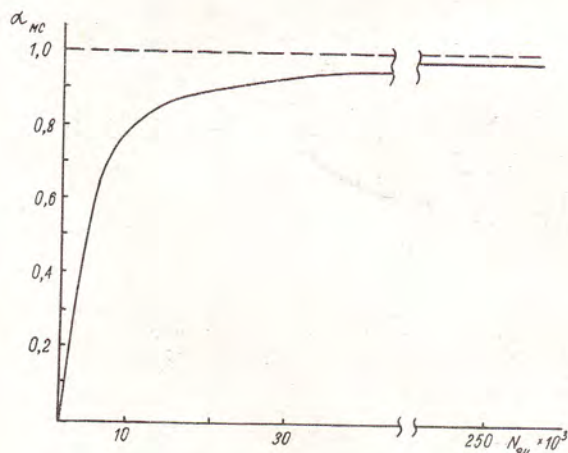


Рис. 1. Зависимость фактора межсоединений от числа ячеек на кристалле при расположении всех межсоединений на одном уровне

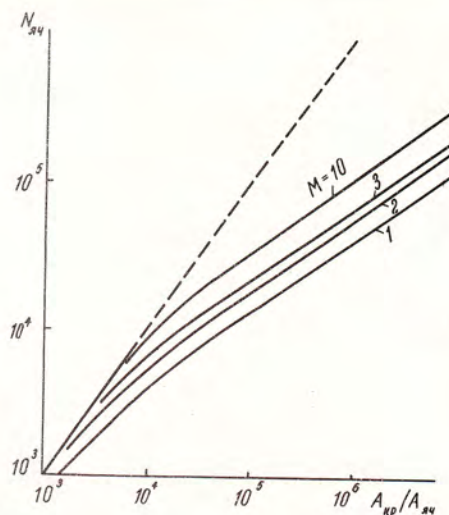


Рис. 2. Зависимость числа ячеек схемы от отношения площади кристалла к площади ячейки для различного числа уровней межсоединений

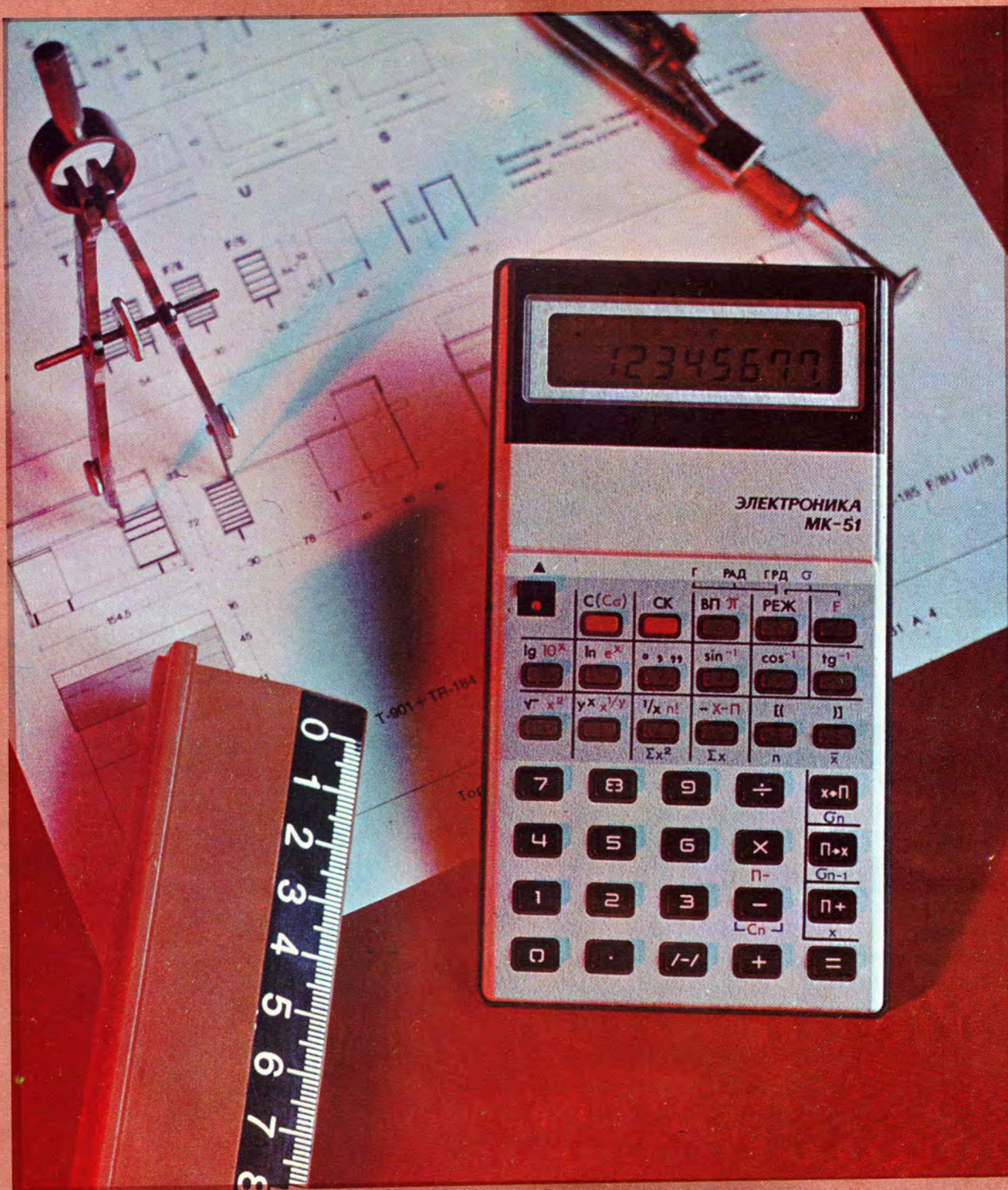
В частных случаях, когда микросхема выполняет определенные функции, число межсоединений может быть уменьшено вследствие неполной загрузки взаимодействий между ячейками. Так, ПЗУ емкостью 256К [4] выполнено при сравнительно малом факторе межсоединений ($\alpha_{МС} \approx 0,5$), программируемые ПЗУ с электрическим стиранием емкостью 64К [5] с $\alpha_{МС} = 0,64$, логические схемы с числом ячеек 10^4 [6] с $\alpha_{МС} \approx 0,9$.

Таким образом, анализ влияния числа межсоединений на степень интеграции выявил основную причину снижения плотности компоновки элементов в микросхемах и позволил сделать вывод о перспективности формирования микроэлектронных устройств без межсоединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wallmark J.T. Fundamental physical limitations in integrated electronic circuits. Solid State Dev., 1974, Conf. Ser. 23.— 1975, p. 133—167. (The Institute of physics, London and Bristol).
2. Barbe D.F. VHSJC technology barriers.— Jnt. Electron Devices Meet., Washington, D.C.— N.Y.: 1980., p. 20—23.
3. Eitan B., Frohman-Bentchowsky D. Surface conduction in short-channel MOS-devices as limitation to VLSJ scaling.— IEEE Trans. on Electron Dev. 1982, vol. ED-29, № 2, p. 254.
4. Коэн Ч., Поса Дж. Перспективы сбыта ПЗУ большой емкости.— Электроника. Пер. журн. США «Electronics», 1981, № 22, с. 74—77.
5. Поса Дж. Новые технологические процессы и материалы для СБИС — основная тема Международной конференции по электронным приборам 1981.— Электроника. Пер. журн. США «Electronics», 1981, № 24, с. 31.
6. Lam b D.R. et al. A sub-nanosecond JSL technology demonstrated in a 400 milx400mil VLSJ-chip.— Jnt. Electron Devices Meet., Washington, D.C.— N.Y.: 1980, p. 837.

Статья поступила 25 мая 1982 г.



МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР

ЭЛЕКТРОНИКА МК-51

ОБЛАДАЕТ РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ, ЧТО МОЖЕТ БЫТЬ ПОЛЕЗНО ПРИ НАУЧНЫХ РАСЧЕТАХ. Он выполняет 35 различных операций, отображая результаты вычислений на восьмиразрядном жидкокристаллическом индикаторе.

Литиевый источник питания ДМЛ-012 обеспечивает продолжительность непрерывной работы более 1000 ч. Потребляемая мощность не превышает 0,6 мВт. Миниатюрные размеры калькулятора [130x71x8 мм] делают его удобным в пользовании.

УДК 621.317:621.315.5.032.14

Г.Д.Глебов

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ СВЯЗЫВАНИЯ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ

Кинетические параметры различных газопоглотителей могут быть определены расчетным путем — на основании экспериментально измеренных значений энергии активации.

При разработке электронных ламп и аналогичных устройств, снабженных геттером, иногда необходимо знать объемную скорость связывания химически активных остаточных газов (водорода, окислов углерода, азота и т.п.). Обычно ее определяют опытным путем, но при этом из-за активации газа вакуумметрическими датчиками получается большой разброс результатов. Чтобы избежать его, представляется заманчивым вычислять скорость связывания газов, прибегая к минимуму измерений.

Принцип подобного расчета основан на простейших предпосылках теории абсолютных скоростей реакций и специфических закономерностях геттерных процессов:

— для реакций данного типа значение энтропии активации всегда равно $-5R$;

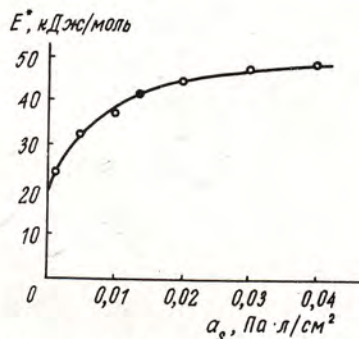
— относительная объемная скорость связывания остаточных газов очень слабо увеличивается с уменьшением давления и практически не зависит от глубины реакций не только для тонких пленок активных металлов, но и для компактных или высокопористых поглотителей при умеренном их насыщении в пределах твердого α -раствора.

При этом могут быть учтены структурные особенности геттера.

Относительную объемную скорость геттерирования k для единицы макроскопической площади поверхности можно рассчитать, зная коэффициент захвата газовых частиц Γ :

$$k = V_0 \Gamma,$$

где $V_0 = \sqrt{RT/2\pi M}$ — объем газа с температурой T и молярной массой M (R — универсальная газовая постоянная), попадающий на единицу площади поверхности поглотителя в единицу времени.



Зависимость энергии активации от количества связанного азота

Для тел с хаотичной поверхностью шероховатостью значение $\Gamma = n\phi$ (где n — коэффициент шероховатости, ϕ — вероятность реакции), а для специально получаемых регулярных пористых структур, например губчатых масс, $\Gamma \approx 2\sqrt{\phi}$. Так как обычно $n \leq 2 \div 10$, а $\phi \ll 1$, приведенные соотношения не противоречат друг другу. Согласно первому из них полностью игнорируется переотражение частиц; в соответствии со вторым — именно этот эффект является решающим в определении эффективного коэффициента захвата.

Вероятность реакции можно вычислить по формуле:

$$\phi = (10^{-3}/p)^{1/3} \cdot e^{-5} \cdot e^{-E^*/RT},$$

где p — давление и E^* — экспериментальное значение энергии активации реакции. Числовое значение размерного коэффициента 10^{-3} подобрано путем анализа большого числа фактических данных для $p \leq 0,1$ Па.

Таким образом, для расчета k надо определить лишь единственную величину E^* . Ее нетрудно найти, измеряя, например, ϕ при близких давлениях в двух-трех температурных точках. Для быстрых геттерных реакций, как правило, $E^* = 5-25$ кДж/моль и лишь при участии азота (и, возможно, метана) энергии активации могут достигать 40–50 кДж/моль.

Для подтверждения возможности практического использования предложенного метода расчета сопоставим экспериментальные и расчетные скорости связывания азота плазмотитановым пористо-порошковым покрытием (см. таблицу). Экспериментальные данные получены при постоянном давлении над поглотителем, равном $5 \cdot 10^{-4}$ Па. Активировка образцов выполнялась при температуре 700°C в течение 1 ч. Значение E^* найдено опытным путем (см. рисунок) в предположении, что при количестве связанного азота $a_s = 0,01 \div 0,02$ Па·л/см² поглощение его титаном идет достаточно стабильно. При расчетах структура поглотителя принималась идеально пористой, причем поры, выходящие на поверхность, занимали 25% площади покрытия.

Температура геттера, °C	$V_0 \cdot 10^4$, см/с	Γ	ϕ	k , см/с	
				Расчет	Эксперимент
150	1,41	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$5,52 \cdot 10^{-6}$	1,66	—
300	1,64	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$	9,2	5–6
400	1,78	$4,32 \cdot 10^{-3}$	$4,67 \cdot 10^{-6}$	19,2	18–20
500	1,91	$7,02 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	33,5	40–50

Поскольку различие расчетных и экспериментальных значений скорости связывания азота не превышает 25–50%, предложенная процедура расчета может быть применена для весьма широкого круга быстрых химических и абсорбционных реакций газ–твердое тело в изделиях вакуумной техники.

Статья поступила 1 декабря 1982 г.

УДК 621.382.019.3

Н.Б. Лукьянчикова

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОФЛУКТУАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ НАДЕЖНОСТИ И СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Исследования флуктуационных явлений в полупроводниках, направленные на выявление возможных причин деградации приборов и прогнозирование их надежности, открывают широкие возможности в решении важнейшей практической задачи — обеспечении надежной работы полупроводниковых приборов и устройств.

Среди различных методов неразрушающего контроля качества полупроводниковых приборов шумовые (электрофлуктуационные) методы занимают особое место. Это обусловлено чрезвычайно высокой чувствительностью шумовых характеристик к наличию потенциально аварийных с точки зрения надежности ситуаций, а также к начальным стадиям процессов, приводящих к последующему выходу приборов из строя. В настоящее время методы электрофлуктуационной диагностики успешно используются в условиях производства ряда полупроводниковых приборов, интегральных схем и некоторых узлов радиоэлектронных устройств для отбраковки изделий на различных этапах их изготовления и контроля, а также для индивидуального прогнозирования срока их службы [1], что существенно повышает качество выпускаемой продукции, сокращает время технологических испытаний и приносит значительный экономический эффект. Однако возможности этих методов контроля реализованы пока лишь частично, поскольку их разработка часто наталкивалась на значительные трудности, вызванные прежде всего тем, что обычно не учитывалось разнообразие и особенности физических механизмов, лежащих в основе формирования шумов и протекания деградационных процессов.

Некоторые физические аспекты электрофлуктуационной диагностики рассмотрены в ряде работ (например, в [2, 3]), но специальный последовательный анализ этой проблемы до сих пор не проводился. Настоящая работа является попыткой дать указанному методу физическое обоснование, т.е. показать, почему информация о деградационных процессах может содержаться в шумовых характеристиках, как и при каких условиях она может быть получена, и установить, что обуславливает высокую чувствительность электрофлуктуационного контроля.

Сущность и основные механизмы деградационных процессов, требования к методам их диагностики

Известно, что параметры полупроводникового прибора определяются физическими особенностями

используемого материала, а также наличием и характером содержащихся в нем дефектов структуры, приводящих к существованию в запрещенной зоне полупроводника различных энергетических уровней. Концентрация этих уровней, сечения захвата ими носителей, их энергетическое положение и распределение по объему полупроводника оказывают решающее влияние на параметры прибора. В процессе его работы либо неправильного хранения характеристики дефектов могут существенно изменяться, что приводит к деградации прибора. Можно указать, по крайней мере, четыре причины таких изменений и соответственно четыре механизма деградации.

Изменение зарядового состояния центров сопровождается изменением взаимодействия между центрами, что может вызывать их распад или ассоциацию. Распад донорно-акцепторных пар происходит, например, вследствие нейтрализации акцептора при захвате им дырки, когда сила кулоновского притяжения, удерживающая донор и акцептор на небольшом расстоянии друг от друга, исчезает и в результате диффузии они сравнительно легко могут разойтись [4]. Параметры новых центров (отдельно расположенных доноров и акцепторов) существенно отличаются от параметров распавшегося центра. В частности, изменяются сечения захвата носителей и глубина залегания уровней [5]. Ассоциация донорных центров может произойти после захвата ими неравновесных электронов, в результате которого доноры становятся нейтральными [6]. При этом концентрация доноров уменьшается, а глубина залегания их энергетического уровня возрастает. Образовавшиеся центры могут играть роль активных центров безызлучательной рекомбинации. Кроме того, изменение концентрации этих центров приводит к изменению заселенности всех других энергетических уровней и таким образом также влияет на деградацию характеристик прибора.

Поглощение центрами энергии, выделяющейся при захвате на них носителей, может приводить к изменению положения центра в кристаллической решетке: либо он уйдет из узла в междуузлие, либо перейдет в другой узел. В первом случае говорят о рекомбинационно-стимулированном образовании дефектов. Примером может служить Zn в GaAs, который, находясь в узле на месте Ga, является акцептором, а оказавшись в междуузлии, становится донором. Во втором случае имеет место рекомбинационно-стимулированная диффузия, т.е. прохождение диффузионных процессов облегчается благодаря поглощению добавочной энергии.

Уменьшение высоты внутренних потенциальных барьеров вследствие приложения к прибору электрического напряжения способствует диффузии различных примесей через область барьера, что влечет за собой изменение параметров прибора.

Появление в приборе сильного электрического поля при его работе приводит к дрейфу примесных ионов.

Кроме перечисленных механизмов деградации существует и ряд других, которые, однако, сводятся к появлению либо исчезновению различных центров в запрещенной зоне. К ним относятся, например, адсорбция и десорбция различных атомов в приповерхностной области полупроводника, диффузия примесных атомов при наличии градиентов их концентрации (например, диффузионное "распльвание" p - n перехода). Деградация может быть вызвана и различными химическими превращениями — окислением поверхности, приводящим к изменению ее проводимости и условий рекомбинации в приповерхностной области, окислением контактов, увеличивающим их сопротивление, и т.п. Довольно часто деградация является следствием дефектов сборки приборов, например плохой герметизации или некачественного прикрепления контактов. В последнем случае деградация чаще всего заключается в отказе приборов. Во многих случаях развитию деградационных процессов способствуют различного типа неоднородности в полупроводниковых структурах, в частности существование межкристаллических барьеров в поликристаллических материалах, наличие сужений области объемного заряда в p - n переходах и на контактах и другие причины.

На основании вышеизложенного можно сформулировать основные требования к методам, с помощью которых можно своевременно обнаруживать деградационные процессы и исследовать их природу. Прежде всего, такие методы должны быть чувствительными к наличию, характеру и распределению различных дефектов в полупроводниковой структуре, основываться на измерениях характеристик, изменяющихся в процессе деградации, а также характеристик, чувствительных к условиям, способствующим ее развитию и, кроме того, быть достаточно хорошо теоретически и экспериментально разработанными, что необходимо для расшифровки информации, содержащейся в измеряемых параметрах прибора. Всем этим требованиям в полной мере удовлетворяют флуктуационные методы.

Связь флуктуационных процессов с особенностями деградационных явлений

Электрические флуктуации являются следствием протекающих в полупроводнике процессов, которые носят статистический характер [7, 8]. Так, например, флуктуации проводимости полупроводника могут обуславливаться случайными флуктуациями потоков генерации, рекомбинации и прилипания носителей тока, шум фототока в фотодиоде — случайным характером фотоактивного поглощения фотонов, поверхностной рекомбинации электронно-дырочных пар и рассеяния носителей при их диффузии к области объемного заряда, флуктуации тока в светодиоде — статистической природой процессов термоэмиссии, туннелирования и рекомбинации но-

сителей в области объемного заряда, а также их диффузии и дрейфа.

Несмотря на случайный характер источников шума, характеристики электрических флуктуаций приборов содержат разнообразные сведения о параметрах полупроводниковой структуры и особенностях протекающих в ней физических процессов. Это объясняется тем, что релаксация флуктуаций происходит аналогично релаксации малых, создаваемых искусственно (например, слабой модулирующей интенсивности падающего света) изменений соответствующих величин. Такая релаксация, как известно, весьма чувствительна к особенностям конкретной полупроводниковой структуры.

Наиболее распространенной характеристикой флуктуационных процессов являются шумовые спектры, представляющие собой зависимость усредненных квадратов Фурье-компонент шумового сигнала от частоты. Их получают путем пропускания шумового сигнала через узкополосные фильтры (с полосой Δf), настроенные на разные частоты ($\Delta f < f$), и последующего квадратичного детектирования и усреднения. Для расчета спектральной плотности шума наиболее удобен метод Ланжевена, заключающийся в решении характерной для рассматриваемой полупроводниковой структуры системы линеаризованных кинетических уравнений, дополненных случайными источниками шума.

Покажем, что шумовые спектры полупроводниковых структур чутко реагируют на наличие локальных центров в полупроводнике и их параметры, состояние поверхности полупроводника и качество токоподводящих контактов, а также на наличие в структуре различных неоднородностей, т.е. на те особенности, с которыми тесно связаны деградационные процессы.

Чувствительность шумовых спектров к наличию локальных центров и их параметрам. На рис. 1, а представлены некоторые результаты исследований спектров генерационно-рекомбинационного шума монополярного фоторезистора с различными локальными центрами [8]. Типичная схема электронных переходов для такого фоторезистора показана на рис. 1, б. (Центры m , n и s являются центрами рекомбинации, у которых сечения захвата дырок значительно превышают сечения захвата электронов C_i , причем $C_s > C_r > C_m$; центры t — уровни прилипания электронов, которые могут быть "быстрыми" или "медленными"). Как видно из рисунка, шумовые спектры, представляющие собой ступенчатые кривые, на которых не зависящие от частоты плато сменяются спадающими по закону f^{-2} участками, по своей форме подобны спектрам квадрата фотоотклика, т.е. зависимостям квадрата амплитуды синусоидального изменения концентрации фотозлектронов, вызываемого синусоидальными изменениями интенсивности падающего света, от частоты этих изменений. Однако количество и расположение "ступенек" на спектрах фотоотклика

часто отличается от таковых на соответствующих спектрах шума.

Анализ приведенных спектров генерационно-рекомбинационного шума показывает, что они весьма чувствительны к наличию в полупроводнике

даже малой добавки каких-либо уровней. Изменения, связанные с существованием уровней, проявляются в этих спектрах в виде соответствующих ступенек при гораздо меньшей концентрации уровней, чем в спектрах фотоотклика. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что шум представляет собой ответ на спонтанные флуктуации интенсивности всех генерационно-рекомбинационных процессов, а не шумовые характеристики, в частности фотоотклик, являются ответом на изменение какого-либо одного внешнего фактора, в данном случае — процесса генерации.

Путем сопоставления экспериментальных результатов с приведенными на рис. 1, а возможными вариантами спектров можно осуществлять "шумовую спектроскопию" центров: получать сведения о наличии и параметрах различных центров в исследуемом фоторезисторе и о реализующейся в нем схеме электронных переходов, определяющих фотоэлектрические характеристики прибора.

Сделанные выводы имеют важное значение для электрофлуктуационной диагностики. Действительно, благодаря высокой чувствительности шумовых характеристик к наличию и типу центров в полупроводниковой структуре изменение ее параметров, обусловленное деградацией, отражается прежде всего на изменении спектральной плотности шума в соответствующем частотном диапазоне. Иными словами, деградация шумовых характеристик может быть обнаружена задолго до деградации основных параметров прибора, т.е. она может использоваться в качестве сигнализатора аварийной ситуации и степени ее опасности для работы прибора. Существование определенных "ступенек" в шумовом спектре может указывать на наличие в структуре центров, потенциально опасных с точки зрения деградации. Интенсивность деградации при этом коррелирует с уровнем шума в определенном частотном диапазоне, оказываясь большей для тех приборов, в которых наблюдается больший уровень шума. Анализируя деградационные изменения в спектрах генерационно-рекомбинационного шума, можно исследовать подробности механизма деградации и выяснить, с какими центрами связано протекание этого процесса.

Аналогичные выводы можно сделать, рассматривая спектры шума в диодных структурах. В этом случае флуктуации потоков генерации, рекомбинации и прилипания в области объемного заряда являются составляющими дробового шума диода ($S_i(f) = 2ei$, где e — заряд электрона, i — ток диода), характеристики которого, как правило, не дают достаточной информации о деградации. Однако возникающие вследствие генерационно-рекомбинационных флуктуаций случайные изменения населенностей различных уровней в области объемного заряда приводят к флуктуациям ширины и высоты потенциального барьера [9–11]. Это, в свою очередь, модулирует ток диода, обуславливая

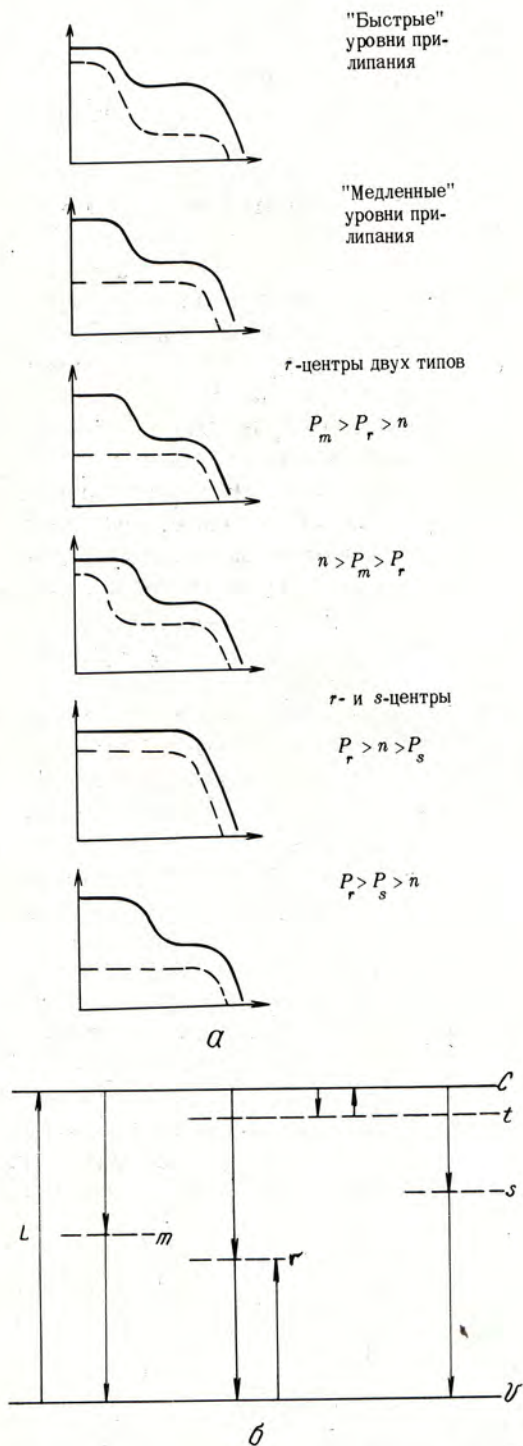


Рис. 1. Чувствительность характеристик генерационно-рекомбинационного шума к наличию локальных центров в полупроводнике и их параметрам: а — спектры шума фототока /сплошная линия/ и спектры фотоотклика /пунктирная линия/ для монополярного фоторезистора с различными центрами прилипания и рекомбинации; б — схема электронных переходов в фоторезисторе с различными центрами прилипания и рекомбинации

существование генерационно-рекомбинационной компоненты в шумовых спектрах, которая, как было показано, содержит обширную информацию о деградации прибора.

Следует отметить, что в диодных структурах шумовые спектры очень часто имеют более или менее протяженные участки, на которых $S_i \sim f^{-1}$, где S_i — спектральная плотность токового шума.

Причиной появления этих участков может быть распределение времен релаксации малых изменений заселенностей уровней, обусловленное либо распределением самих уровней по энергетической глубине их залегания в запрещенной зоне, либо изменением их заселенности в зависимости от положения в p - n переходе, либо, наконец, тем, что захват электронов на эти уровни происходит путем туннелирования, причем расстояния, на которые туннелируют электроны, оказываются различными из-за различного положения центров или различной толщины области объемного заряда.

Шум и качество контактов. Отклонения в технологии получения омических контактов могут приводить к формированию в области контактов небольших и (или) достаточно узких потенциальных барьеров [12], что, не ухудшая качества прибора, может в дальнейшем отрицательно сказаться на его свойствах. Поскольку в барьерах, как и в диодных структурах, могут генерироваться модуляционные флуктуации, то ясно, что повышенный уровень шума, наблюдаемого в области омических контактов (рис. 2), сигнализирует об их плохом качестве и связанной с этим возможности выхода прибора из строя.

Особенности шумовых характеристик при наличии неоднородностей структуры и материала. Повышенная чувствительность шумовых характеристик к неоднородностям полупроводниковой структуры определяется двумя обстоятельствами. Во-первых, спектральная плотность токового шума обратно пропорциональна объему V , в котором этот шум формируется: для генерационно-рекомбинационного шума $S_i^{Г-Р} = 4i^2 \tau / N [1 + (2\pi f \tau)^2] \sim i^2 / V$ [7], для $1/f$ шума $S_i^{1/f} = \alpha i^2 / N f \sim i^2 / V$ [13]. Здесь i — ток; τ — время релаксации генерационно-рекомбинационных флуктуаций; N — полное число носителей тока, с которыми связаны наблюдаемые флуктуации; α — коэффициент, часто равный $2 \cdot 10^{-3}$. Поскольку неоднородности (контактные и межкристаллические барьеры, области пониженной фоточувствительности и т.п.) занимают обычно малую часть объема полупроводниковой структуры, то их вклад в наблюдаемый шум может стать основным. При непосредственных измерениях распределения сопротивления R по структуре обнаружить такие неоднородности гораздо труднее, поскольку $R = (1/e\mu)(l/s) = l^2/e\mu N \sim l^2/V$, т.е. вклад сопротивления неоднородности в полное сопротивление определяется не только ее объемом (как в

случае шума), но и линейной протяженностью, которая обычно мала. Во-вторых, с неоднородностями могут быть связаны дополнительные источники повышенного шума. Такими источниками служат модуляционные процессы в области межкристаллических и контактных барьеров, туннелирование носителей в областях сужений потенциального барьера, вероятность которого весьма чувствительна к флуктуациям высоты и ширины барьера, и другие.

Особенности шумовых характеристик, связанные с наличием неоднородностей, существенно зависят от характера этих неоднородностей. Рассмотрим наиболее типичные случаи.

У диодов с неоднородной по толщине областью объемного заряда при запорных смещениях наблюдается микроплазменный шум, обусловленный случайным лавинным пробоем отдельных участков потенциального барьера [14]. Если в области объемного заряда имеются небольшие участки с повышенной плотностью тока, то возникает импульсный шум. Случайные прямоугольные импульсы тока обусловлены тем, что захваты и выбросы электронов на расположенные в областях этих участков центры изменяют на некоторое время высоту барьера в них, модулируя таким образом величину протекающего тока [14].

Локальные сужения области объемного заряда в диодах очень часто приводят к существованию в области низких частот значительного (избыточного по сравнению с дробовым) шума. Исследования свойств и природы этого шума позволили предложить методы электрофлуктуационной диагностики светодиодов, основанные на измерении деградационных характеристик таких шумов либо начального их уровня [15]. Одновременно удалось во многом прояснить механизм деградации этих приборов [16]. Из сравнения типичных зависимостей уровня шума

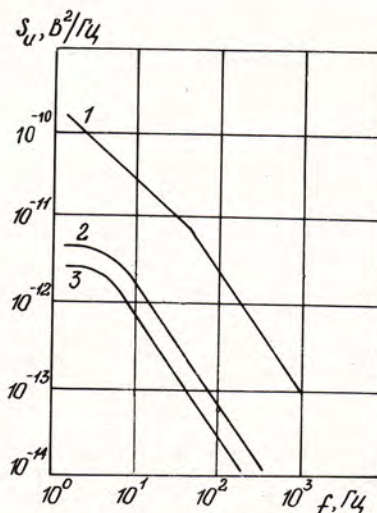


Рис. 2. Зависимости спектральной плотности флуктуаций напряжения S_u от частоты для CdS-фоторезисторов, измерения на контактах, полученных термическим испарением In в вакууме (кривая 1), намазыванием расплавленного In на образец (кривая 2), а также на потенциальных зондах (кривая 3)

и основных шумовых параметров светодиода от времени его работы (рис. 3, а) видно, что существенные деградационные изменения в шумовых характеристиках появляются намного раньше, чем начинают заметно деградировать параметры диода. Это позволяет проводить своевременный контроль и отбраковку негодных приборов. Анализ зависимости интенсивности деградации яркости светодиодов от уровня шумов S_u , измеренных до начала их работы (рис. 3, б), показывает, что эта зависимость носит "пороговый" характер, т.е. су-

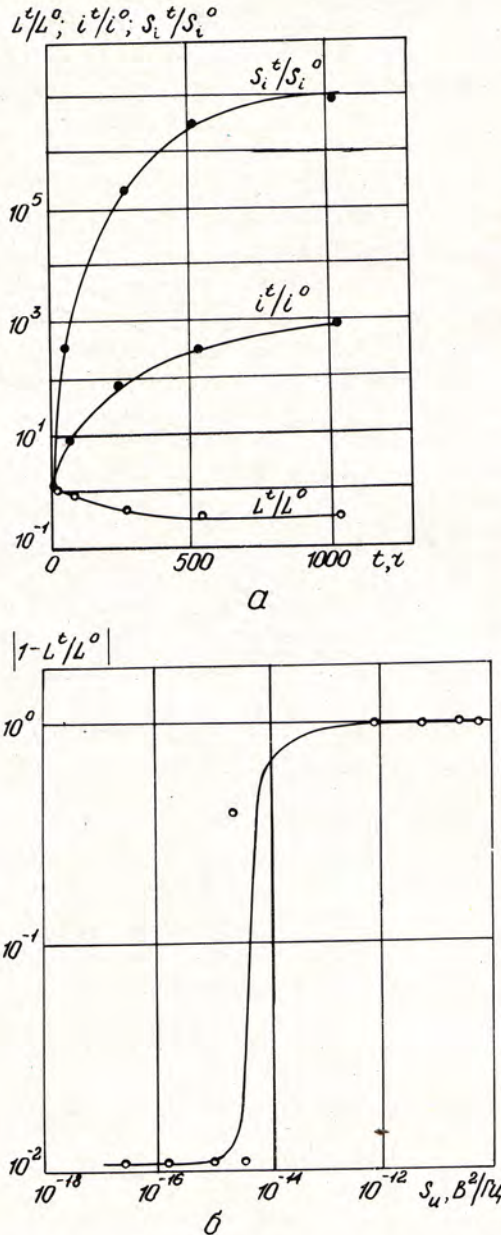


Рис. 3. Деградационные и шумовые характеристики светодиодов: а — относительные изменения спектральной плотности избыточного токового шума (S_u), тока (i) и интенсивности электролюминесценции (L) GaAs-светодиода в зависимости от времени его работы; б — связь степени деградации излучения GaP-светодиодов с исходным значением спектральной плотности флуктуаций напряжения S_u на их контактах. Индексы «0» и «t» относятся к измерениям, проведенным до и в процессе деградации соответственно

ществует некоторое пороговое значение начального шума, превышение которого сигнализирует о возможной быстрой деградации прибора. Оказалось также, что для наиболее интенсивно деградирующих приборов характерна немонотонная зависимость уровня шума от времени работы прибора.

Особенности шумов, связанные с неоднородностями самого полупроводникового материала, также весьма разнообразны [8]. Так, неравномерная фоточувствительность полупроводника сопровождается повышенным уровнем генерационно-рекомбинационного шума. Наличие межкристаллических барьеров может привести как к интенсивному модуляционному шуму, так и к заниженному генерационно-рекомбинационному шуму. Присутствие в полупроводнике коллективных рекомбинационных барьеров приводит к появлению в шумовых спектрах высокочастотных $1/f$ -участков.

Таким образом, шумовые характеристики могут реагировать на существование неоднородностей не только повышением уровня низкочастотного шума, но и появлением шумовых импульсов определенной формы, усилением высокочастотного шума и даже некоторым подавлением низкочастотных флуктуаций. Все эти особенности необходимо иметь в виду при поисках методов электрофлуктуационной диагностики в случаях, когда предполагается, что существенными для деградации приборов данного типа являются неоднородности его структуры.

Шум и деградационные процессы на поверхности полупроводника. Наличие на поверхности полупроводника либо в поверхностном слое окисла различных электронных состояний часто приводит к существованию приповерхностного потенциального барьера. Обмен носителями между объемом полупроводника и поверхностными центрами происходит путем преодоления этого барьера и, таким образом, его параметры определяют вероятность захвата и выброса носителей с поверхностных уровней. Происходящие при захвате либо выбросе носителей изменения заселенности поверхностных уровней вызывают соответствующие изменения высоты и ширины самого барьера. С точки зрения формирования флуктуаций в этом случае реализуется ситуация, аналогичная процессу формирования модуляционных шумов в диодах: генерационно-рекомбинационный шум заселенности уровней в приповерхностной области приводит к модуляциям параметров приповерхностного потенциального барьера, которые, в свою очередь, модулируют скорости захвата и выброса носителей с поверхностных центров.

Если обмен носителями происходит лишь между центрами одного типа, то описанный процесс представляет собой процесс с внутренней обратной связью. При этом уровень шума может оказаться несколько подавленным по сравнению с наблюдаемым в отсутствие модуляционного механизма. Если на поверхности существуют центры нескольких типов, то флуктуации их заселенности будут оказы-

вать влияние друг на друга. Так, например, при наличии центров с резко различающимися скоростями обмена большие низкочастотные флуктуации заселенности более медленных центров будут модулировать скорость захвата и выброса носителей с более быстрых центров. При этом генерируемый в приповерхностной области шум может оказаться очень большим. Подобное происходит, например, на поверхности Ge или Si, где роль медленных центров играют ловушки в слое окисла, покрывающего поверхность, а быстрые центры находятся на самой поверхности [7]. Заметим, что в диодах рассматриваемые флуктуации приповерхностного потенциала могут не только влиять на шум тока поверхностной рекомбинации, но и вызывать дополнительные флуктуации всех других компонент диодного тока [17].

Необходимо учитывать также возможную модуляцию параметров приповерхностного потенциального барьера процессами адсорбции-десорбции различных атомов и молекул, при которой в спектрах шума появляется соответствующая составляющая, отражающая интенсивность таких процессов и их кинетические особенности.

Спектральная плотность шума, генерируемого вблизи поверхности, в очень широкой области частот, как правило, обратно пропорциональна частоте, что связано по крайней мере с двумя причинами. Первая из них состоит в том, что при наличии на поверхности полупроводника слоя окисла с распределенными по его глубине медленными ловушками, захват носителей на эти ловушки происходит путем туннелирования, причем вероятность туннелирования экспоненциально зависит от глубины залегания ловушки в окисле. Поскольку эта глубина для различных ловушек различна, процесс обмена с ловушками характеризуется набором времен релаксации. Вторая причина — распределение времен релаксации флуктуаций заселенностей поверхностных уровней вследствие неоднородности параметров приповерхностного потенциального барьера, вызванных, например, неоднородным распределением легирующих примесей в приповерхностной области или адсорбированных атомов на поверхности. Таким образом, если деградационные процессы связаны с явлениями, происходящими на поверхности полупроводника, то весьма вероятно, что информация о них содержится в $1/f$ -участках шумовых спектров, а деградационный процесс сопровождается деградацией шумовых характеристик. Если деградация связана с наличием на поверхности образца некоторых "опасных" центров, то интенсивность деградации и исходный уровень шума могут коррелировать между собой. Когда с точки зрения деградации потенциально опасными являются сужения приповерхностного барьера, для которых характерны более короткие времена обмена, информация о деградации содержится в более высокочастотной области $1/f$ -участков шумового спектра.

Деградационные процессы и $1/f$ -шум. В течение долгого времени связь $1/f$ -шума с состоянием поверхности полупроводника представлялась достаточно строго установленной и, поскольку поверхность полупроводника представляет собой одно из наиболее уязвимых для деградации мест в приборе, особая роль $1/f$ -шума в деградационных проблемах получала и определенное физическое обоснование. Рассмотренные выше и не связанные с поверхностью $1/f$ -флуктуации, которые могут коррелировать с деградационными характеристиками приборов, обусловлены флуктуациями заселенностей различных уровней и зон в полупроводнике, т.е. представляют собой некую разновидность генерационно-рекомбинационного шума. Однако в последнее время появились аргументы в пользу того, что флуктуации $1/f$ -типа могут быть связаны не только с процессами генерации, рекомбинации и прилипания носителей, но и с процессом их рассеяния [18, 19], т.е. представлять собой флуктуации не числа носителей, а их подвижности (μ -флуктуации). Такие флуктуации формируются в объеме полупроводника либо металла [13, 18] и не зависят от протекания через них электрического тока [20]. Поскольку в характеристики такого $1/f$ -шума входят значения целого ряда параметров (в том числе и деградирующих), то эти характеристики также могут оказаться весьма информативными с точки зрения электрофлуктуационной диагностики. Действительно, если учесть, что приведенная выше формула Хоуге $S_i^{1/f} = \alpha i^2 / Nf$, по-видимому, опи-

сывает и такие μ -флуктуации и что входящая в эту формулу величина α существенно зависит от относительного вклада в формирование подвижности различных механизмов рассеяния [19], то понятно, что по изменению уровня этого шума в процессе деградации можно судить о механизмах рассеяния носителей.

В случае диодных структур при прямом смещении такой шум $S_i^{1/f} \sim \alpha e i / \tau f$ (где τ — время жизни неосновных носителей, если речь идет о $1/f$ -шуме диффузионного тока, либо время рекомбинации носителей, если $1/f$ -шум сопровождается протеканием рекомбинационного тока) [21, 22]. Если в шуме диодной структуры преобладают такие $1/f$ -флуктуации, то, наблюдая за их уровнем в процессе деградации, можно судить о деградационных изменениях τ и, следовательно, параметров центров, определяющих эту величину. Такие сведения представляют большой интерес, поскольку между τ и протекающим через диод током существует прямая связь: $i_{\text{диф}} \sim 1/\sqrt{\tau}$; $i_{\text{рек}} \sim 1/\tau$. Заметим, что в случае деградации диффузионного тока характеристики $1/f$ -шума оказываются более чувствительными к деградационным процессам, чем сам ток (поскольку $i_{\text{диф}} \sim \tau^{-1/2}$, а $(S_i^{1/f})_{\text{диф}} \sim \tau^{-3/2}$).

Экспериментально $1/f$ -флуктуации, описываемые формулой $S_i^{1/f} \sim \alpha e i / r f$, были обнаружены в p - n переходах на основе кремния [21] и фосфида галлия [22]. В последнем случае особенности такого шума были исследованы совместно с особенностями происходящих в диодах деградационных процессов. Оказалось, что между шумовыми и деградационными характеристиками существует тесная связь, обнаружение и анализ которой позволяют не только отбраковывать потенциально негодные приборы, но и наметить пути повышения их срока службы.

Стоит отметить и другую точку зрения на возможный механизм формирования $1/f$ -флуктуаций. Анализ наблюдаемых особенностей $1/f$ -шума с чисто математической точки зрения привел некоторых авторов к выводу, что этот шум может сопровождать любой нестационарный процесс и быть обусловлен его нестационарным характером [2, 3, 23]. Поскольку деградационные процессы являются нестационарными, присутствие $1/f$ -компоненты в спектрах шума деградирующих структур вполне вероятно. Возможно, именно такой $1/f$ -шум наблюдался в ZnS-электролюминофоре (рис.4) [24]. Следует подчеркнуть, что поскольку $1/f$ -шум обязан своим происхождением самой нестационарности, т.е. фундаментальному свойству, общему для всех деградационных процессов, то выделение из общего шума этой компоненты и подробное исследование ее свойств позволит получить некоторые более или менее универсальные методы электрофлуктуационной диагностики, применимые ко всем системам, в которых $1/f$ -шум окажется преобладающим.

Однако, как показывает опыт, в большинстве случаев основной вклад в шум приборов вносят другие источники $1/f$ -флуктуаций, связанные со спецификой работы и конструкции приборов. По-

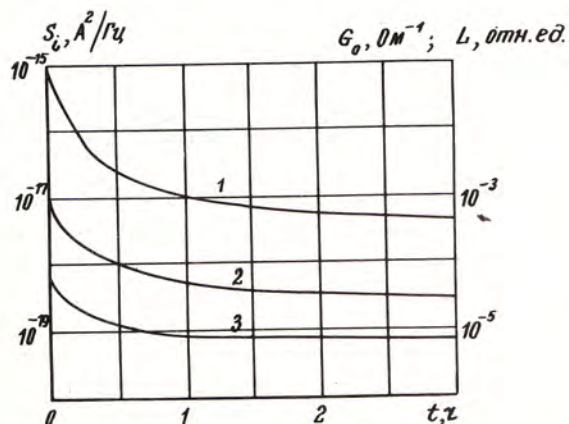


Рис. 4. Зависимости спектральной плотности избыточного токового шума (кривая 1), интенсивности электролюминесценции (кривая 2) и «равновесной» проводимости (кривая 3) электролюминесцентной ячейки на основе ZnS от времени ее работы

этому методы электрофлуктуационной диагностики должны разрабатываться для каждого типа приборов специально.

Особенности разработки шумовых методов

Из изложенного выше ясно, что в зависимости от конкретной ситуации информативными с точки зрения надежности прибора могут оказаться различные параметры его шумовых характеристик. Поэтому при разработке методов шумового прогнозирования необходимо пройти следующие три этапа:

1 — подробное исследование шумовых характеристик приборов с целью выявления возможных прогнозирующих параметров (в качестве таких параметров выбирают те шумовые характеристики, для которых в исходном состоянии наблюдается разброс для разных приборов);

2 — изучение степени корреляции между этими параметрами и надежностью изделий, выделение тех параметров, для которых эта степень велика. Это чрезвычайно ответственный этап, поскольку прогнозирующие параметры часто оказываются довольно сложными (наряду с уровнем шума в некоторой полосе частот, а также скоростью его изменения в процессе работы или напряжением, при котором в вольт-шумовых зависимостях наблюдаются некоторые особенности, в качестве прогнозирующих параметров могут выступать различные коэффициенты, характеризующие форму шумового спектра в области избыточного шума либо отношение уровней избыточного и генерационно-рекомбинационного шума, либо характеристики импульсных шумов и т.п.);

3 — выбор на основании анализа полученных результатов алгоритма отбраковки изделий, обеспечивающего минимальные ошибки прогнозирования. Существенную роль в таком анализе могут играть методы, основанные на теории распознавания образов. Если при этом удастся установить физическую природу процессов, определяющих найденные информативные шумовые параметры, то можно получить важные сведения о причинах, приводящих к отказам.

В настоящее время степень развития методов изучения флуктуационных явлений достигла весьма высокого уровня. К таким методам следует отнести метод шумовой спектроскопии уровней, методы исследования шума в диодных структурах, позволяющие устанавливать, в какой области структуры генерируется шум и какие процессы он сопровождает; метод, основанный на исследовании корреляции флуктуаций прямого тока с интенсивностью излучения диода и зависимости коэффициента такой корреляции от внешней нагрузки, применяемый для диагностики светодиодов; зондовую методику измерения уровня шума, позволяющую судить о роли контактных шумов и исследовать их особенности. Кроме того, существует ряд шумовых

методик, которые дают возможность устанавливать наличие и характер межкристаллических потенциальных барьеров.

Понятно, что в случаях, когда в шумовых характеристиках преобладают неинформационные с рассматриваемой точки зрения источники шума, прогнозирование надежности приборов и исследование причин их отказов шумовыми методами может оказаться мало эффективным. Однако поскольку чувствительность шумовых характеристик к факторам, обуславливающим отказы, весьма велика, то границы применимости рассматриваемых методов достаточно широки.

Таким образом, достигнутый уровень понимания физики флуктуационных явлений, а также возможных механизмов деградационных процессов обеспечивает достаточно хорошую научную основу для дальнейшего развития электрофлуктуационной диагностики качества приборов и причин их деградации. Наиболее перспективным представляется проведение работ в следующих направлениях:

— широкое привлечение для исследования механизмов деградационных процессов и разработки методов электрофлуктуационной диагностики характеристик генерационно-рекомбинационных шумов;

— разработка "кинетических" методов диагностики, основанных на исследовании изменений, происходящих в шумовых характеристиках приборов в процессе их работы и хранения;

— поиск способов, с помощью которых можно выявить в наблюдаемых шумах компоненты, содержащие информацию о деградационных процессах, в том числе $1/f$ -компоненту, обусловленную нестационарностью деградационного процесса;

— расширение в сторону более высоких частот диапазона шумовых характеристик, привлекаемых для исследования деградации приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. П р я н и к о в В.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов.— М.: Энергия, 1978.
2. Я к и м о в А.В. Диффузия примесей и дефектов и фликкерные флуктуации числа носителей в проводящих средах.— Изв. вузов. Сер. Радиофизика, 1980, т. 23, № 2, с. 238—243.
3. В р а ч ё в А.С. О термодинамическом подходе к проблеме низкочастотного шума.— Изв. вузов. Сер. Радиофизика, 1980, т. 23, № 12, с. 1464—1472.
4. Л а ш к а р е в В.Е., Л ю б ч е н к о А.В., Ш е й н к м а н М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках.— Киев: Наукова думка, 1981.— 264 с.
5. Фотопроводимость и фотолюминесценция спеченных слоев CdS:Cu:Cl/А.М.Павелец, И.Б.Ермолович, Г.А.Федорус, М.К.Шейнкман.— УФЖ, 1974, т. 19, № 3, с. 406—414.
6. Г о р ч и н с к а я Т.В., Ш е й н к м а н М.К. Процессы преобразования центров и ухудшение параметров полупроводниковых лазеров.— Квантовая электроника, 1981, т. 21, с. 75—90 (Киев: Наукова думка).
7. В а н д е р З и л А. Ш у м.— М.: Советское радио, 1973.— 229 с.
8. Л у к љ а н ч и к о в а Н.Б. Флуктуационные процессы в освещаемых полупроводниках.— Лит. физ. сб., 1980, т. 20, № 5, с. 25—50.
9. H s u S.T. Low-frequency excess noise in metal-silicon Schottky barrier diodes.— IEEE Trans. El. Dev., 1970, vol. ED-17, N 7, p. 496—506.
10. H s u S.T. Flicker noise in metal-semiconductor Schottky barrier diodes due to multistep tunneling processes.— IEEE Trans. El. Dev., 1971, vol. ED-18, N 10, p. 882—887.
11. Л у к љ а н ч и к о в а Н.Б., Т к а ч е н к о Н.Н. Механизм формирования $1/f$ -шума в полупроводниковых гетероструктурах.— Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по физич. процессам в полупроводниковых гетероструктурах.— Одесса: ОГУ, 1982, т.1, с. 80—82.
12. Ohmic contacts to low-resistivity ZnS: preparation, noise properties and nature of contact resistance/ N.B.Lukyanchikova, G.S.Pekar, N.N.Tkachenko and AP.— Solid-Stat Electron. 1977, vol. 20, N 11, p. 879—882.
13. H o o g e F.N. $1/f$ noise is no surface effect.— Phys. Lett., 1969, vol. 29A, N 3, p. 139—140.
14. H s u S.T. Bistable noise in p-n junctions.— Solid-Stat Electron., 1971, vol. 14, p. 487—497.
15. Шумы и деградационные процессы в инжекционных светодиодах/Н.Б.Лукьянчикова, Н.П.Гарбар, М.К.Шейнкман, А.М.Коган.— Письма ЖТФ, 1979, т. 5, вып. 22, с. 1358—1362.
16. Деградационные процессы и шумы в светодиодах и инжекционных лазерах/Н.Б.Лукьянчикова, Н.П.Гарбар, Н.И.Сыпко, М.К.Шейнкман.— В кн.: Вопросы физики электролюминесценции/Н.Б.Лукьянчикова, Н.П.Гарбар, Н.И.Сыпко, М.К.Шейнкман.— Днепропетровск: ДГУ, 1979.
17. H s u S.T. Surface state related $1/f$ noise in p-n junctions.— Solid-Stat Electron., 1970, vol. 13, N 6, p. 843—865.
18. H o o g e F.N. $1/f$ noise.— Physica, 1976, vol. 83 B+C, N 1, p. 14—23.
19. H o o g e F.N., V a n d a m m e L.K.J. Lattice scattering causes $1/f$ noise.— Phys. Lett., 1978, vol. 66A, N 4, p. 315—316.
20. V o s s R.F., C l a r k e J. $1/f$ noise from systems in thermal equilibrium.— Phys. Rev. Lett., 1976, vol. 36, N 1, p. 42—45.
21. K l e i n p e n n i n g T.G.M. $1/f$ noise in p-n diodes.— Physica, 1980, vol. 98B, N 4, p. 289—299.
22. Деградационные процессы и токовый шум в светоизлучающих диодах из фосфида галлия/Н.Б.Лукьянчикова, Н.П.Гарбар, М.И.Лисянский, А.М.Коган.— В кн.: Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов.— Кишинев: КПИ, 1982, ч. 2, с. 94.
23. T a n d o n J.L., B i l g e r H.R. $1/f$ noise as a nonstationary process: experimental evidence and some analytical conditions.— J. Appl. Phys., 1976, vol. 47, N 4, p. 1697—1701.
24. Л у к љ а н ч и к о в а Н.Б., Г а р б а р Н.П., Х о м ч е н к о В.С. Шумы электролюминесценции в пленках ZnS-Cu.— В кн.: Электролюминесценция твердых тел.— Киев: Наукова думка, 1971.— с. 201—206.

Статья поступила 13 октября 1982 г.

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 681.723:534

М.А.Кулаков, А.И.Морозов

АКУСТИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Сканирующий акустический микроскоп с разрешением 1,5—5 мкм может быть использован для визуализации микросхем, шлифов металлов и других объектов, а также для анализа приповерхностных структур на глубине порядка нескольких микрометров.

В последние годы интенсивное развитие получил метод акустической микроскопии [1—3], обеспечивающий получение изображений микрообъектов, которые в ряде случаев невозможно получить методами микроскопии, основанными на других видах излучений.

Разработанный однолинзовый сканирующий акустический микроскоп может работать в двух режимах — импульсном на отражение и непрерывном на прохождение — и имеет разрешение, позволяющее исследовать элементы микрорелектронных приборов, детали в металлографии и гистологические препараты, размеры которых сопоставимы с величиной разрешения.

Техническая характеристика

Диапазон рабочих частот, МГц	400—800
Разрешающая способность, мкм	1,5—5
Поле сканирования, мм	0,4х0,5
Кратность увеличения	100—300
Длительность радиоимпульса, нс	150
Глубина импульсной модуляции, дБ	90
Частота повторения импульсов, кГц	70
Угол раскрытия акустической линзы, град	110
Радиус, кривизны акустической линзы, мм	0,21

При работе в режиме отражения (рис. 1) непрерывный сигнал от генератора Г4-76А модулируется с помощью СВЧ переключателя на быст-

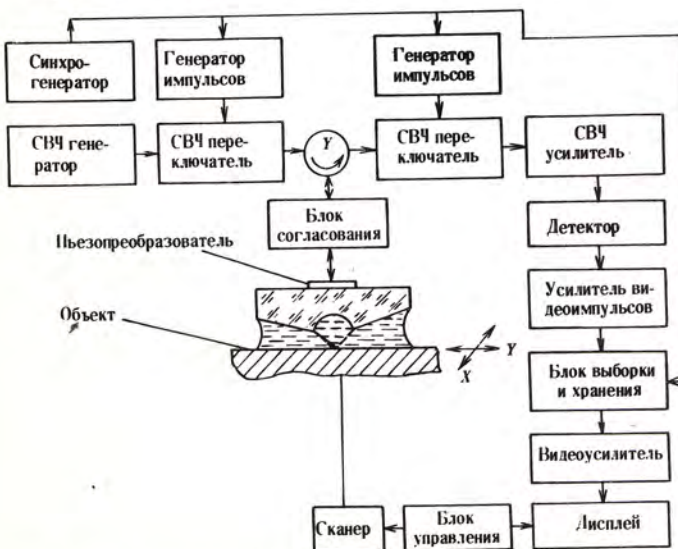


Рис. 1. Функциональная схема сканирующего акустического микроскопа, работающего на отражение

родействующих $p-i-n$ -диодах, в котором формируется радиоимпульс. Развязывающее устройство типа Y-циркулятора или направленного ответвителя служит для согласования элементов радиотракта и предотвращения попадания мощного зондирующего радиоимпульса в приемную часть. Другой СВЧ переключатель предназначен для временной селекции пришедшего из акустического тракта полезного сигнала и ослабления ложных сигналов. После усиления и детектирования полезный сигнал поступает на схему выборки и хранения, в качестве которой использован стробоскопический усилитель Я40-1700. Полученный аналоговый сигнал подается через видеоусилитель В6-4 на вход модулятора яркости устройства отображения.

Акустический пучок при исследовании объекта фокусируется акустической линзой в иммерсионной жидкости на его поверхности, которая сканируется в двух взаимно перпендикулярных направлениях в фокальной плоскости линзы. При этом последовательно, от точки к точке, регистрируется амплитуда отраженных от поверхности акустических волн. Растровая развертка электронно-лучевой трубки устройства отображения синхронизирована с перемещениями объекта, а яркость в каждой точке определяется акустическими свойствами последнего. Быстрое сканирование объекта (x-скан.) осуществляется от диффузора электродинамического громкоговорителя с частотой 50 Гц. В качестве промежуточного элемента с возвратно-поступательным перемещением используются направляющие на плоско-пружинной подвеске, обеспечивающие высокую воспроизводимость и точность перемещения. Медленное сканирование (y-скан.) производится с частотой 0,2 Гц путем перемещения всего узла быстрого сканирования с помощью гидравлического микролифта.

Для получения качественных изображений имеет большое значение (особенно в режиме отражения) точная перпендикулярность плоскости объекта к оси акустической линзы. Закрепление держателя на карданной подвеске обеспечивает возможность юстировки объекта.

В качестве звукопровода акустического элемента применяются бруски алюмоиттриевого граната и кремния, ориентированные соответственно вдоль осей [100] и [111] и имеющие длину

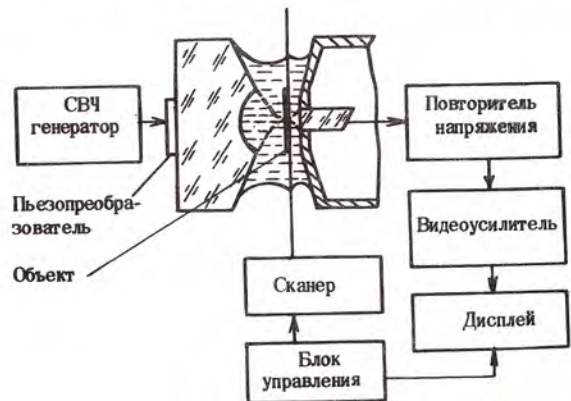


Рис. 2. Функциональная схема сканирующего акустического микроскопа с акустоэлектрическим детектором, работающего на прохождение

около 4 мм [4]. Пьезоэлектрическим преобразователем объемных продольных волн служат пластинки $ZiNbO_3$ $35^\circ Y$ толщиной 5—10 мкм [5]. Время задержки сигнала в иммерсионной жидкости (воде или ртути) составляет примерно 320 нс, что при длительности зондирующего импульса 150 нс дает возможность разделять во времени полезный сигнал и паразитные отражения от торцов акустического элемента.

При работе микроскопа в режиме прохождения (рис. 2) приемным элементом служит акустический детектор [6, 7]. В такой системе ниже требования к несоосности детектора с акустической линзой, меньше потери в жидкостной ячейке и выше контрастность изображения по сравнению с двухлинзовым акустическим микроскопом. В этом режиме работы непрерывный сигнал от генератора подается непосредственно на пьезопреобразователь. Прошедший через объект и принятый акустическим детектором сигнал усиливается видеоусилителем В6-4 и поступает на устройство отображения.

С использованием акустического микроскопа было проведено исследование различных объектов: микросхем, сплавов, биологических срезов.

Акустическая микрофотография с достаточной четкостью выявляет многие находящиеся на глубине более 3 мкм детали структуры микросхем, покрытых металлизированными (0,2 мкм Al), оптически непрозрачными полимерными пленками или пластинками слюды (рис. 3).



Рис. 3. Акустическое изображение микросхемы с наклеенной пластинкой слюды ($f=750$ МГц, иммерсионная жидкость — ртуть)

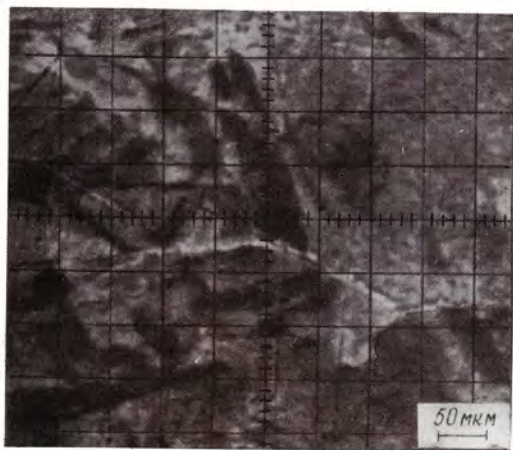


Рис. 4. Акустическое изображение полированного образца сплава Ti—Mo—Zr—Al ($f=400$ МГц)

Изображение полированного образца сплава Ti—Mo—Zr—Al, полученное на частоте 400 МГц с помощью акустического микроскопа (рис. 4), дает возможность установить структуру сплава и различные его фазы, в то время как, пользуясь оптическим микроскопом, элементы структуры образца можно увидеть лишь после дополнительной химической обработки.

Высокая контрастность изображения и разрешение порядка нескольких микрометров при визуализации подповерхностных структур, видимому, позволит использовать разработанный микроскоп и для контроля адгезии тонких пленок к подложке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куэйт К.Ф., Аталар А., Викрамасингхе Х.К. Акустическая микроскопия с механическим сканированием.— ТИИЭР, 1979, т. 67, №8, с. 5—31.
2. Кесслер Л.У., Юхас Д.Э. Акустическая микроскопия — 1979.— ТИИЭР, 1979, т.67, №4, с. 96—108.
3. Березина С.И. Акустический микроскоп и его применение.— Электронная промышленность, 1979, вып. 1—2, с. 125—132.
4. Кулаков М.А., Морозов А.И. Исследование возможности улучшения характеристик акустического микроскопа на прохождение.— В кн.: Материалы XI Всесоюзной конференции по акустической и квантовой акустике.— Душанбе: Дониш, 1981, ч.2, с. 32—33.
5. Морозов А.И., Проклов В.В., Станковскый Б.А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств.— М.: Радио и связь, 1981, с. 184.
6. А.с. 832449 (СССР). Сканирующий акустический микроскоп/А.И.Морозов, М.А.Кулаков. Оpub. в Б.И., 1981, №19.
7. Морозов А.И., Кулаков М.А. Single lens transmission scanning acoustic microscope.— Electron. Lett., 1980, vol. 16, N15, p. 596—597.

Статья поступила 29 марта 1982 г.

УДК 620.179.1:621.3.049.77

В.М.Габучян, С.Е.Лобзин,
Н.С.Кирсанов, М.П.Шульженко

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНАРНО-ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Установка обеспечивает прецизионный бесконтактный (путем измерения поляризационных характеристик) контроль параметров структур, используемых в производстве ИС: концентрации свободных носителей в пленках, показателя преломления и толщины тонких диэлектрических слоев на полупроводниковых подложках, объемной и поверхностной неоднородности образцов.

Повышение степени интеграции микросхем и вызванное этим возрастанием требований к контролю состояния поверхности полупроводниковых пластин, параметров тонких диэлектрических слоев и планарно-эпитаксиальных структур обусловили необходимость дальнейшего совершенствования бесконтактных методов контроля, основанных на анализе поляризации отраженного от образца излучения [1—5], и создания устройств, обеспечивающих проведение комплексных поляризационных измерений.

К числу таких устройств относится описываемая в данной работе установка, обеспечивающая проведение поляризационных измерений, а так-

же измерений отражательной и пропускной способности объектов в видимой и в ИК областях спектра.

Установка состоит из оптико-механической и электрической частей (рис. 1, 2). Источником монохроматического плоскополяризованного излучения служит оптический квантовый генератор 1, на пути луча которого установлены амплитудный модулятор 2, оптико-поляризационная система 5 и оптическая система 8 формирования узкопараллельного пучка излучения.

Амплитудный модулятор представляет собой непрозрачный диск в форме усеченного конуса с чередующимися через равные интервалы отверстиями, который приводится во вращение электродвигателем 3.

Излучение ОКГ модулируется и благодаря конусности диска амплитудного модулятора направляется то на контрольный фотоприемник, то в оптико-поляризационную систему, состоящую из четвертьволновой пластины 6 и поляризатора 7. Четвертьволновая пластина преобразует плоскополяризованное излучение, поляризатор выделяет составляющую нужной поляризации из циркулярно поляризованного потока.

Оптическая фокусирующая система построена по телескопической схеме и позволяет получать пучок излучения с диаметром пятна 100 мкм на исследуемом образце 10. С помощью предметного столика 9 образец перемещается по двум

взаимно перпендикулярным направлениям, а также вращается вокруг оси, перпендикулярной его плоскости.

Отразившееся от образца излучение регистрируется фотоприемником 12 фотополяриметрического угломерного блока 13. В состав блока входят также редуктор 15 с электромеханическим приводом 16 и угломерным устройством 18, обеспечивающим взаимосвязанное вращение предметного столика и фотоприемника вокруг общей оси с отношением скоростей вращения, равным 1:2, что позволяет постоянно регистрировать отраженное от образца излучение при непрерывном изменении угла падения. Преобразование угловых величин в электрические осуществляется с помощью реохорда 14, закрепленного на валу редуктора. Для автоматической фиксации измеряемых углов поворота предметного столика в электрической части установки на одной

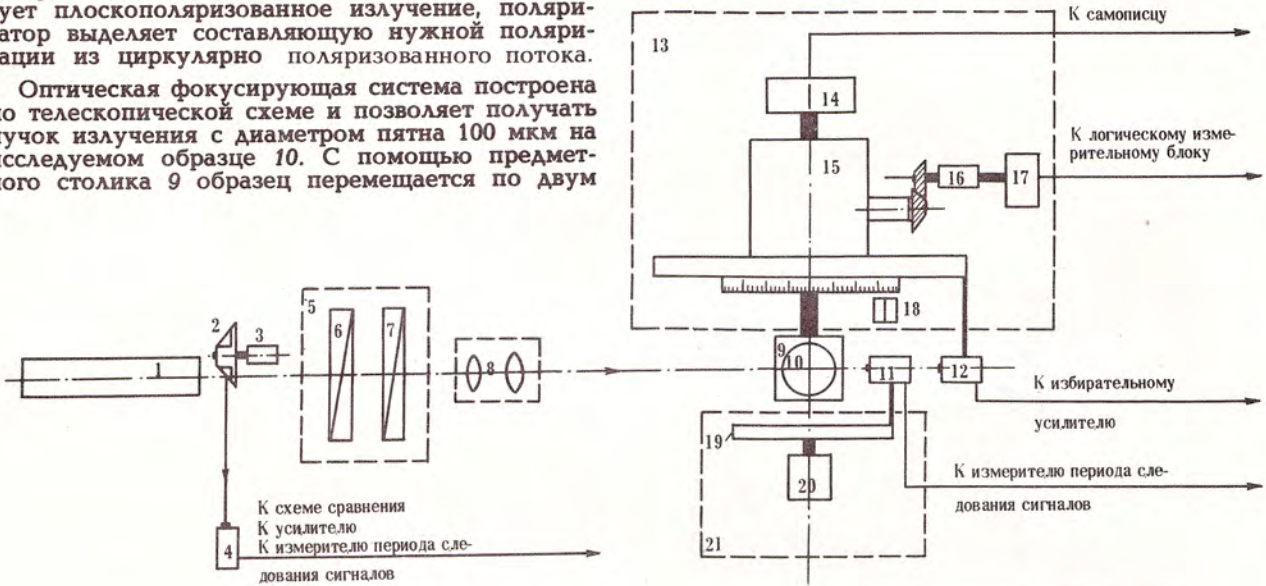


Рис. 1. Структурная схема оптико-механической части установки

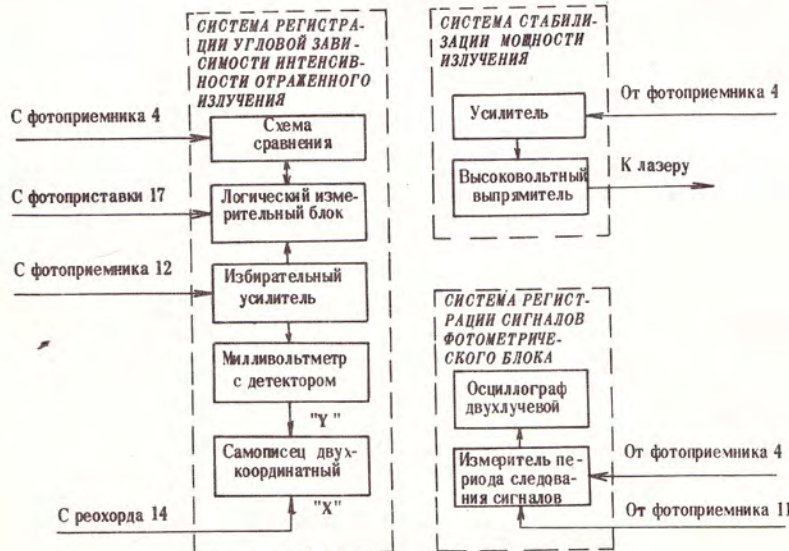


Рис. 2. Структурная схема электрической части установки

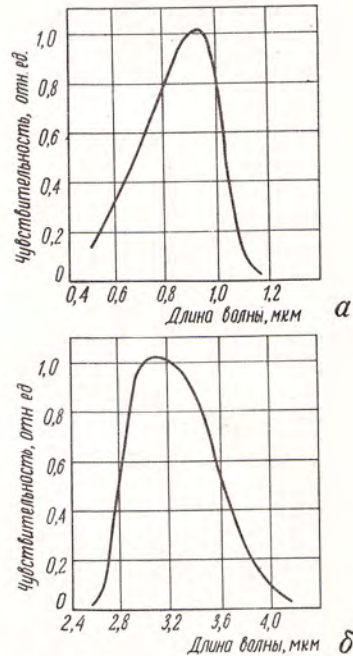


Рис. 3. Относительные характеристики спектральной чувствительности фотоприемников в видимой (а) и ИК (б) областях спектра

оси с электромеханическим приводом размещена фотоприставка 17, формирующая синхронимпульсы отсчета угла.

Для измерений пропускной способности служит фотометрический блок 21. Фотоприемник 11 этого блока закреплен на диске 19, установленном соосно с общей осью редуктора и приводимом во вращение электромеханическим приводом 20. С помощью диска фотоприемник равномерно вращается вокруг исследуемого образца в плоскости падения излучения и регистрирует при этом отраженное и прошедшее через образец излучение ОКГ. Сигналы с фотоприемника снимаются специальными токосъемниками.

С целью расширения функциональных возможностей установки она оснащена съемными зондовыми головками на предметном столике и микроскопом МБС-9, с помощью которого производится контроль за контактированием и совмещение зондов с контактными площадками образцов. (Конструкция и расположение зондовых головок не препятствуют прохождению излучения ОКГ на образец и фотоприемник 12). Наличие указанных элементов дает возможность измерять фотопроводимость исследуемых структур, определять ее зависимость от вида и степени поляризации падающего излучения, а также сравнивать результаты, полученные бесконтактным и контактным методами в идентичных условиях.

Источник излучения, применяемый в установке, работает на трех длинах волн — 3,39; 1,15 и 0,63 мкм. В связи с этим элементы оптической системы и фотоприемники подбирались в соответствии с длиной волны излучения. В ИК области в качестве поляризатора использовались реплики на фторопластовых пленках (степень поляризации 98%). Приемники излучения выбраны с учетом их избирательной чувствительности на рабочих длинах волн (рис. 3). Элементы поляризационно-оптической системы (четверть-волновая пластина, поляризатор) и фотоприемник фотополяриметрического угломерного блока, соответствующие определенной рабочей длине волны, устанавливаются на пути луча с помощью револьверных головок.

Электрическая часть установки (см.рис. 2), обеспечивающая регистрацию и запись сигналов, включает в себя электронную систему измерения, регистрации и записи угловой зависимости интенсивности отраженного излучения и электронную систему измерения и регистрации сигналов, снимаемых с фотометрического блока.

Для устранения нестабильности излучения ОКГ в процессе его эксплуатации в электрическую часть установки введена электронная система, состоящая из усилителя и высоковольтного выпрямителя.

При оптических измерениях плоскополяризованное монохроматическое излучение ОКГ модулируется амплитудным модулятором и, пройдя через оптико-поляризационную и фокусирующую системы, попадает на исследуемый образец. Использование конической конструкции диска амплитудного модулятора для отражения части излучения ОКГ на контрольный фотоприемник позволило избежать потерь излучения, возникающих в полупрозрачных пластинах, обычно применяемых для аналогичных целей. Отраженное от образца излучение принимается фотоприемником 12 и преобразуется в электрические сигналы, которые поступают в избирательный усилитель, настроенный на частоту модуляции падающего излучения. Усиленный переменный сигнал подается на селективный милливольтметр с встроенным детектором и протектированный вход «у» двухкоординатного самопишущего прибора, в котором развертка по «х» осуществляется сигналами, поступающими с реохорда 14. По графику зависимости интен-

сивности отраженного излучения от угла падения, вычерченному самописцем, определяется значение псевдо-угла Брюстера, с которым взаимосвязаны электрофизические параметры полупроводниковых структур [4, 5]. Автоматическая фиксация и цифровая индикация этого угла производятся с помощью логического электронно-измерительного блока, который позволяет также измерять сигнал, пропорциональный интенсивности отраженного излучения при разных углах падения излучения на образец.

При измерении концентрации свободных носителей на образец направляется излучение с длиной волны 3,39 мкм и колебаниями электрического вектора, параллельными и перпендикулярными плоскости падения излучения. Концентрация носителей определяется по теоретическим зависимостям — нахождением ее значения, соответствующего измеренным псевдо-углу Брюстера и коэффициенту отражения, который определяется с помощью измерителя отношения напряжений, пропорциональных интенсивностям падающего и отраженного излучения (рис. 4).

При использовании излучения с длиной волны 0,63 мкм, поляризованного в плоскости падения луча на образец, электронная система с помощью известных соотношений позволяет определить угол Брюстера, связанный с показателем преломления и толщиной тонких диэлектрических слоев на полупроводниковых подложках. При этом фотометрический блок 21 обеспечивает

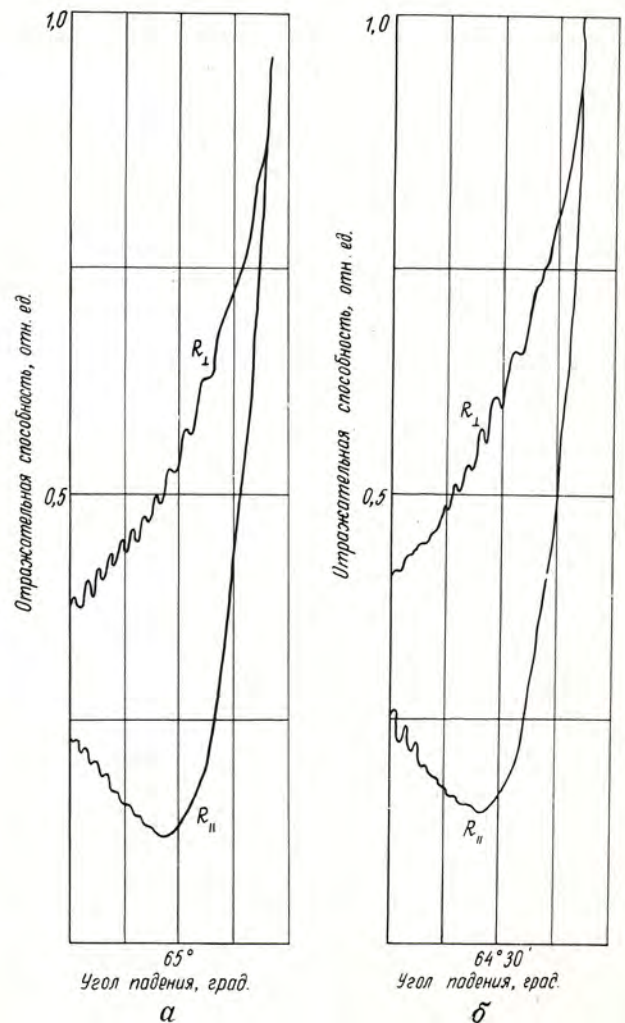


Рис. 4. Угловые зависимости отражательной способности сильнолегированных диффузионных слоев кремния р-типа (а) и п-типа (б)

вращение фотоприемника, регистрирующего отраженное и прошедшее через исследуемый образец излучение, с постоянной скоростью вокруг образца в плоскости падения излучения и передает сигналы с фотоприемника в электронную систему. С помощью измерителя периода следования сигналов и двухлучевого осциллографа осуществляется измерение и сравнение значений амплитуд и периода следования сигналов, поступающих от фотоприемников 4 и 11 и пропорциональных интенсивностям падающего, отраженного и преломленного излучений с длиной волны 1,15 и 3,39 мкм. Измерение амплитуд этих сигналов позволяет определить прозрачность и отражательную способность одного и того же микроучастка исследуемого образца.

Сравнение результатов измерений параметров исследуемого и эталонного образцов дает возможность установить наличие объемной, поверхностной и комплексной неоднородности.

Как показали испытания, установка характеризуется хорошей чувствительностью, быстродействием, простотой в эксплуатации, обеспечивает высокую точность и достоверность получаемых результатов [6], что дает возможность применять ее в производстве полупроводниковых приборов для прецизионных измерений параметров планарно-эпитаксиальных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р е з в ы й Р.Р. Эллипсометрия — эффективный метод контроля технологических процессов. — Электронная промышленность, 1979, вып. 1—2, с. 73.
2. Б а т а в и н В.В. Контроль параметров полупроводниковых материалов и эпитаксиальных слоев. — М.: Советское радио, 1976. — 100 с.
3. P o t t e r R.F. Optical constants of germanium in spectral region from 0,5 ev to 3,0 ev. — Physical Review, 1966, vol. 150, N 2, p. 562—567.
4. Определение электрофизических параметров сильнолегированных полупроводников методом псевдо-угла Брюстера/В.Н.Ковалев, М.И.Еляинсон, В.М.Габучян, М.П.Шульженко. — Микроэлектроника, 1976, т. 5, № 1, с. 76—78. (Изд-во «Наука»).
5. K e e p a n W.A., S c h u m a n n P.A. Pseudo-Brewster angle determination of carrier concentration. — J. Electrochem. Society, 1971, vol. 118, N 12, p. 2010—2014.
6. Метод и устройство для измерения концентрации свободных носителей заряда/В.М.Габучян, М.П.Шульженко, С.Е.Лобзин, В.И.Ковалев. — Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством и стандартизация, 1982, вып. 1—2, с. 93—94, 100—104.

Статья поступила 30 июня 1982 г.

УДК 621.385.832.7.032.36

А.Д.Кононов, Г.Б.Кузнецов,
Ю.А.Мартьяшев, О.Ф.Семенов

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛЮМИНОФОРОВ

Применение разработанного оборудования обеспечивает контроль люминофоров различного типа на основе единых методов измерения их параметров.

В связи с ростом производства электронно-лучевых трубок, вакуумных катодолюминесцентных индикаторов и газоразрядных индикаторных панелей с использованием различных люминофоров появилась необходимость в создании единых ме-

тодов и средств контроля последних. С этой целью разработан ряд установок.

Установка 040.0035 представляет собой вакуумную камеру, совмещенную с электронно-лучевой трубкой, внутри которой помещены контролируемые образцы катодолюминофоров в виде порошка или покрытий, нанесенных на специальные подложки. Установка обеспечивает измерение относительной и абсолютной яркости, координат цветности, снятие спектральных характеристик, проведение испытаний на срок службы и радиационную стойкость, отработку технологии нанесения люминофорных покрытий и исследование их вторично-эмиссионных свойств.

Техническая характеристика установки 040.0035

Число контролируемых образцов, шт	24
Диаметр контролируемого образца, мм	не более 40
Диапазон тока луча, мкА	0,1—100
Точность стабилизации тока луча, %	1
Энергия электронов, В	300—25000
Размер раstra, мм	5x5—40x40
Рабочее разрежение в рабочей камере, Па	$6,65 \cdot 10^{-3}$
Потребляемая мощность, кВт·А	5,5
Габаритные размеры, мм	1850x1100x1600
Откачка рабочей камеры	автоматическая

При измерениях образцы катодолюминофоров возбуждают электронным лучом в режиме телевизионного раstra и расфокусированного пятна, имитируя способы возбуждения в электронно-лучевых приборах (рис. 1). Заданный режим возбуждения сохраняется постоянным за счет стабилизации тока луча и напряжений питания электродов электронно-оптической системы. Временные характеристики возгорания и затухания люминофоров определяются с помощью специальной приставки 036.0027, в основе работы которой лежит метод возбуждения образца лучом, модулированным прямоугольными импульсами, и фиксирования светового потока в различные моменты времени после начала возбуждения (рис. 2). Световой поток, проходящий через оптические фильтры различной плотности, преобразуется с помощью ФЭУ в электрический сигнал и фиксируется на экране осциллографа в виде кривых возгорания и затухания.

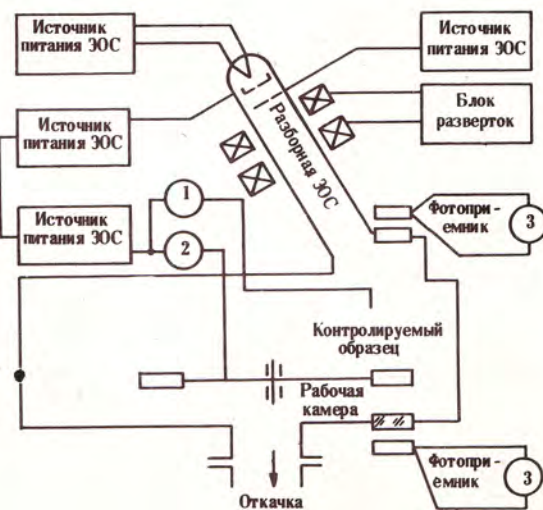
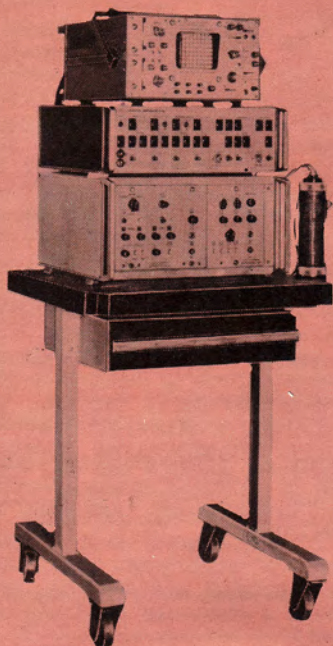
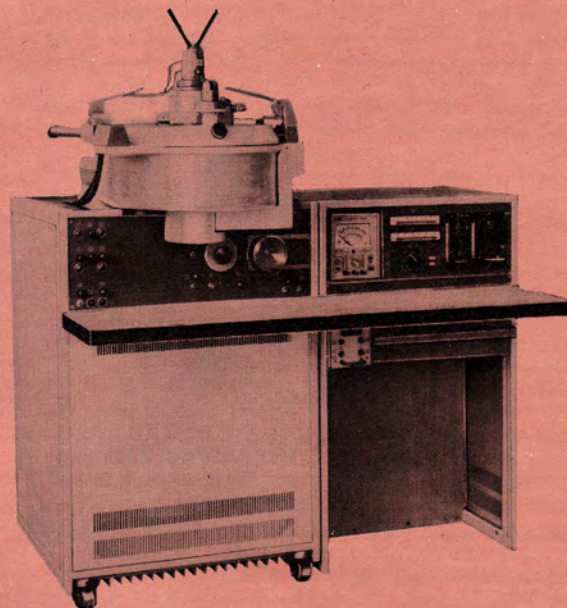


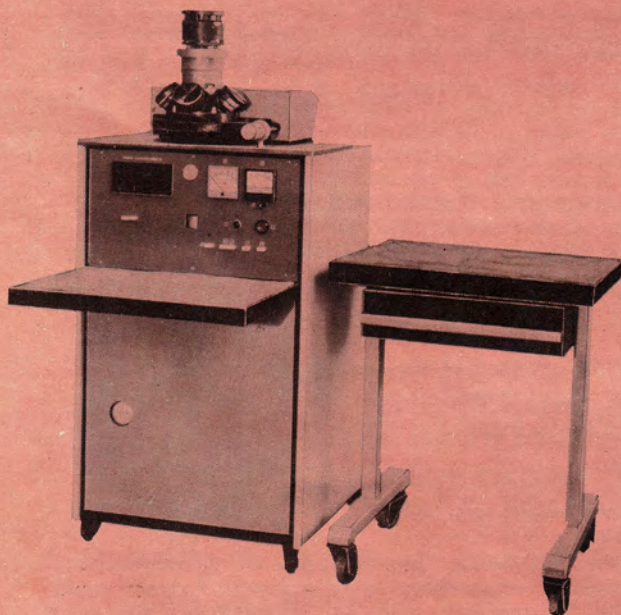
Рис. 1. Структурная схема установки 040.0035: 1, 2, 3 — измерители тока вторичной эмиссии, тока луча и фототоков соответственно



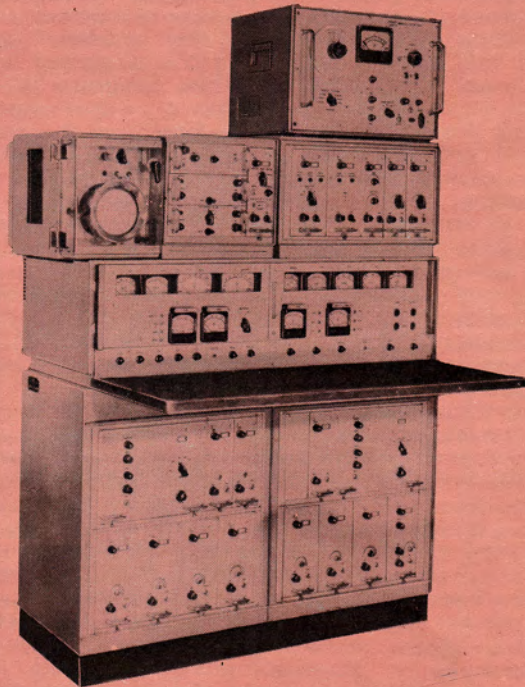
ПРИСТАВКА 036.0027



УСТАНОВКА 031.0074



УСТАНОВКА 031.0071



УСТАНОВКА 040.0035

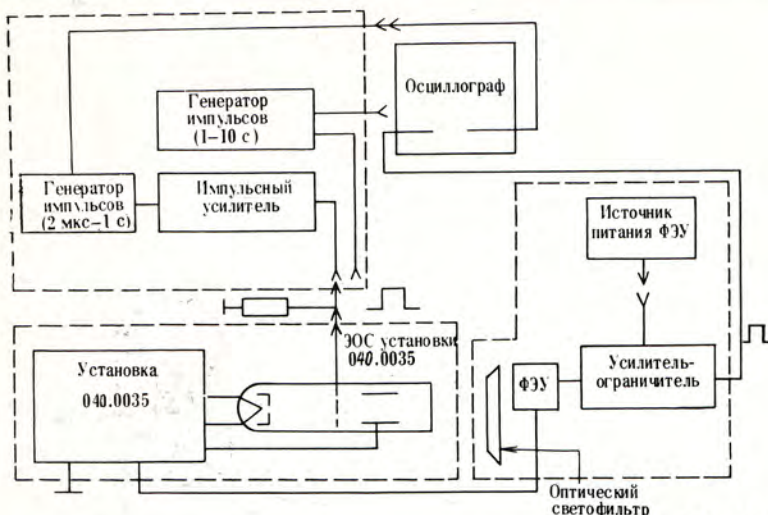


Рис. 2. Структурная схема приставки 036.0027

Техническая характеристика приставки 036.0027

Диапазон измерения длительности послесвечения, с	
при спаде яркости до 1%	$1 \cdot 10^{-2} - 10$
при спаде яркости до 5%	$2 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-2}$
Полоса пропускания усилителей, Гц	$20 - 70 \cdot 10^5$
Типы фотоприемников для областей спектра:	
белой	ФЭУ-55
синей	ФЭУ-81
красной	ФЭУ-83

Созданные ранее промышленные установки не позволяют осуществлять контроль низковольтных катодолюминофоров, так как применяемые в них электронные пушки не обеспечивают необходимой плотности тока при энергиях 10—100 эВ [1], а вакуумные системы — требуемых степени разрежения и состава остаточных газов. Работы по измерению яркости свечения таких люминофоров показали, что для всех образцов характерен спад яркости, монотонно убывающий во времени. Бомбардировка медленными электронами возбуждает только поверхностные слои люминофорного покрытия (менее нескольких долей нанометра) [2], что при малой их проводимости способствует образованию пространственного заряда, который уменьшает и без того малую энергию возбуждения и соответственно яркость свечения.

Контроль электропроводности низковольтных люминофоров может быть реализован с помощью специализированной установки 031.0074. Измерение сопротивления 1 см^3 образца люминофора, уплотненного определенным усилием и помещенного в кварцевую трубку, производится в вакууме после его обезгаживания при температуре от 525 до 673 К. Установка позволяет контролировать не только люминофоры, но и другие порошковые и сыпучие материалы.

Люминофоры, применяемые в газоразрядных индикаторах и панелях, контролируются на установке 031.0075, в которой образцы, помещенные в вакуумную камеру, возбуждаются вакуумным ультрафиолетовым излучением от ксеноновой резонансной лампы типа КСр-1П (рис. 3). Световой поток регистрируется фотоприемными устройствами, как при контроле катодолюминесценции.

Внедрение рассмотренного комплекта оборудования на предприятиях различных отраслей промышленности позволило разработать соответствующие отраслевые и государственные стан-

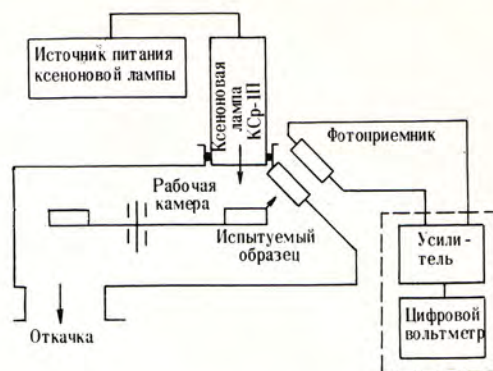


Рис. 3. Структурная схема установки 031.0075

дарты по контролю люминофоров, способствовало созданию и использованию новых типов люминофоров, повышению качества изделий электронной техники.

Техническая характеристика установки 031.0075

Диапазон измерения фототоков, мкА	0,1—100
Основная погрешность измерения относительной яркости, %	
при 1—10 мкА	не более 10
при 0,1—1 мкА	± 20
Давление в рабочей камере, Па	4
Число контролируемых образцов	12
Габаритные размеры, мм	1150x140x1560

ЛИТЕРАТУРА

- Абадуев Б.В. Низковольтные катодолюминофоры.— *Электронная промышленность*, 1982, вып. 5—6, с. 81—87.
- Navitia K., Kagami A. Behavr of phosphors under low voltage cathode ray exelation.— *J. Electrochem. Soc. Solid — State Science and Technology*, 1980, vol. 127, N8, p. 1794—1798.

Статья поступила 25 января 1983 г.

УДК 620.179.11:621.3.049.77

В.В.Васильев, Г.И.Журавлев, К.В.Зиновьев, П.С.Кокорин, Т.Л.Приходько, Б.А.Саламатин

ГАЗСОРБЦИОННАЯ РАДИОИЗОТОПНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ОСАЖДАЕМЫХ ИЗ РАСТВОРА ПЛЕНОК ДВУОКСИ КРЕМНИЯ

Газсорбционная радиоизотопная дефектоскопия является эффективным средством неразрушающего контроля влияния различных факторов на поверхностные свойства пленок, осаждаемых из растворов композиций. По сравнению с химическим травлением этот метод более чувствителен к структурным и морфологическим изменениям пленки, вызванным нарушениями состава раствора и технологического режима.

Пригодность пленок двуокиси кремния, получаемых из растворов гидролизованного тетраэтоксисилана, для изготовления полупроводниковых при-

боров и микросхем определяется прежде всего степенью дефектности осажденных слоев [1]. При этом такие характеристики, как оптическая плотность и скорость травления пленок, обычно связываются лишь с крупными дефектами, хорошо видимыми в оптический микроскоп, в то время как наибольший интерес представляет связь этих характеристик с микроструктурой и состоянием поверхности пленок.

Широко применяемый для контроля микроструктуры и состояния поверхности метод химического травления не обеспечивает достаточной точности и воспроизводимости. Электронографический метод, хотя и позволяет выявлять различия между окислами, получаемыми различными способами, также не обладает достаточной чувствительностью, чтобы установить зависимость микроструктуры пленок двуокиси кремния от состава растворов и условий формирования.

Для этих целей наиболее перспективен метод газосорбционной радиоизотопной дефектоскопии [2], основанный на различной скорости десорбции газа (в частности криптона) с дефектных и бездефектных поверхностей. Этот метод позволяет определять местоположение и число дефектов на поверхности, имеющей поры с шириной их раскрытия до 0,02 мкм и длиной 15 мкм. Особо ценным является то, что при этом визуально выявляются не видимые в оптический микроскоп микродефекты, поскольку излучение сорбированного ими криптона воздействует на рентгеновскую пленку под углом 2π , в результате чего происходит уширение пятна потемнения ее фотоэмульсии до 0,1–0,3 мм.

Применение метода газосорбционной дефектоскопии для контроля осажденных из раствора пленок двуокиси кремния позволило установить связь их структуры и дефектности с сорбционной способностью (т.е. поверхностной активностью пленки), а также составом пленкообразующего раствора и условиями термообработки пленок.

При исследованиях использовались пленки, полученные методом центрифугирования из раствора на основе этилового спирта (скорость 4000 об/мин,

температура 22,5–23°C, влажность 58%) на пластинах кремния КДБ-10, ориентированных в плоскости (111). Пленки отжигали при 700°C в течение 10 мин в атмосфере $N_2 : O_2 = 10 : 1$.

Контроль дефектности пленок после криптонирования осуществлялся двумя методами: радиометрическим с использованием измерительного прибора УИМ2-1еМ с детектором БДБ2-02 и автордиографическим – с применением рентгеновских пленок РТ-1. Параллельно на аналогичных образцах измеряли толщину пленок и скорость их химического травления в растворе, состоящем из 140 мл 49%-ной плавиковой, 425 мл 85%-ной фосфорной и 1000 мл 1%-ной щавелевой кислот, при $20 \pm 0,5^\circ C$ в статических условиях. Точность определения скорости травления была не хуже $\pm 5\%$.

Для обоснованного выбора времени криптонирования, выдержки образцов на воздухе и экспонирования рентгеновской пленки, а также для оценки чувствительности метода газосорбционной радиодефектоскопии предварительно определялись эффективность счета детектора БДБ2-02 и чувствительность рентгеновской пленки РТ-1 к β -излучению $^{85}Kг$. Ввиду отсутствия эталонных источников криптона использовались эталонные источники таллия ^{204}Tl , энергия β -излучения которого близка к энергии β -излучения криптона. Было установлено, что эффективность счета детектора зависит от интенсивности излучения. Это вызывает необходимость введения поправки в результаты измерения сорбционной способности пленок двуокиси кремния. Для получения визуально наблюдаемой области почернения на рентгеновской пленке ее необходимо экспонировать не менее 20 ч, если активность образца не превышает $10 \text{ имп/см}^2 \cdot \text{с}$ в угол 2π . При высокой активности образца (около $80 \text{ имп/см}^2 \cdot \text{с}$) время экспонирования может быть снижено до 3–4 ч, а при очень высокой (порядка $1000 \text{ имп/см}^2 \cdot \text{с}$ и более) максимальная плотность почернения достигается уже за 3,5 ч. Дальнейшее увеличение времени экспонирования приводит лишь к увеличению диаметра области почернения, и за счет возможного перекрытия областей почернения разрешающая способность метода снижается.

Исследования показали, что воспроизводимость процесса сорбции криптона растворными пленками двуокиси кремния достаточно высока. Изучение зависимости количества сорбированного криптона от времени криптонирования (рис. 1) позволило установить, что увеличение времени криптонирования в интервале от 1 до 24 ч приводит к увеличению количества сорбированного газа, причем наибольшая адсорбция (90–95%) происходит в первые три часа, после чего дальнейшая выдержка образцов в атмосфере криптона малоэффективна. В связи с этим криптонирование пленок двуокиси кремния проводили в течение 3 ч.

Из типичных кривых десорбции криптона с поверхности растворных пленок двуокиси кремния (рис. 2) видно, что в первоначальный момент скорость этого процесса велика. Этот факт объясняется

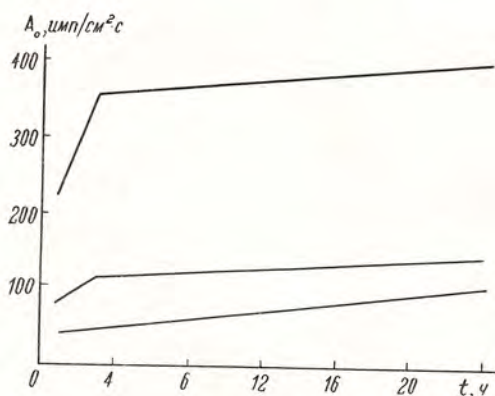


Рис. 1. Зависимость количества сорбированного криптона от времени выдержки в атмосфере криптона (для трех образцов)

десорбцией газа с бездефектной поверхности. Далее скорость десорбции заметно снижается, поскольку криптон длительное время задерживается в микродефектах и микропорах, что позволяет автораддиографическим методом эффективно контролировать состояние поверхности пленок (рис. 3).

Как показали эксперименты, метод газосорбционной радиодефектоскопии перспективен для исследования влияния состава пленкообразующих растворов и условий формирования пленок на их свойства.

Наблюдается четкая корреляция между сорбционной способностью и скоростью химического травления пленок двуокиси кремния в специально подобранном мягком травителе. Причем рассматриваемый метод более чувствителен к изменениям свойств пленок, чем метод химического травления. Так, например, если метод химического травления не позволяет дифференцировать пленки, отличающиеся лишь по времени отжига при 700°C , уже через 30 мин после начала обработки, то газосорбционный метод выявляет довольно резкое различие в сорбционной способности пленок во всем исследуемом диапазоне времени отжига — вплоть до 120 мин (рис. 4). В результате исследований этим методом установлено, что двухчасовая термообработка пленок при 700°C менее эффективна, чем десятиминутная при 1100°C , а пленки двуокиси кремния, отожженные при 1100°C , по своим свойствам еще не достигают свойств термически выращенного окисла (табл. 1).

Таблица 1

Тип пленки	Поверхностная активность, имп/см ² ·с	Скорость травления, нм/с
Растворный окисел кремния, отожженный при 700°C в течение		
10 мин	315	60
60 мин	105	37,5
120 мин	9,5	40
Растворный окисел кремния, отожженный при 1100°C в течение		
10 мин	0,2–0,5	2
Термический окисел кремния	0,09	0,6–0,8

Преимущества метода проявляются и при изучении влияния состава пленкообразующего раствора на свойства пленок двуокиси кремния (рис. 5). Изменение их сорбционной способности по отношению к криптону и изменение скорости травления в зависимости от соотношения воды и тетраэтоксисилана в растворе носят противоположный характер. Причина этого явления пока еще недостаточно ясна. (Следует отметить, что по такому же закону меняется толщина осаждающихся пленок).

По нашему мнению, связь сорбционной способности и скорости травления исследованных пленок в первую очередь объясняется изменением их структуры в процессе формирования пленки и последующей термообработки. Подтверждением этого предположения служат оптические исследования двух пленок двуокиси кремния, отличающихся сор-

бционной способностью (0,9 и 6,2 имп/с·см²) и цветом (синий и голубой). При просмотре в металлографический микроскоп на поверхности пленок обнаружен полосчатый рельеф, различающийся плотностью полос (у синего окисла полосы более частые), без каких-либо других особенностей структуры. При исследованиях угольных реплик с поверхности пленок в электронном микроскопе JEM-150 при увеличении $14500\times$ на поверхности синего

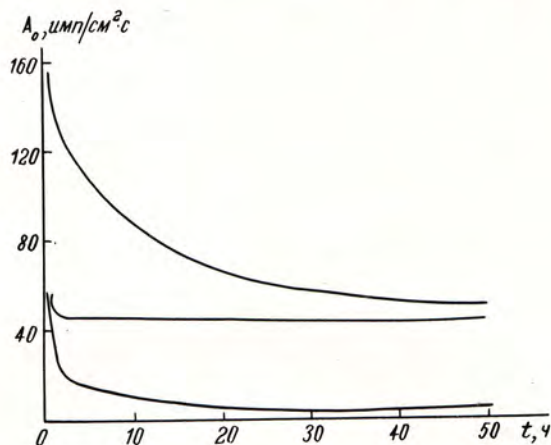


Рис. 2. Десорбция криптона с поверхности пленок двуокиси кремния при хранении на воздухе (для трех образцов)



Рис. 3. Автораддиограмма пленки двуокиси кремния, осажденной из раствора

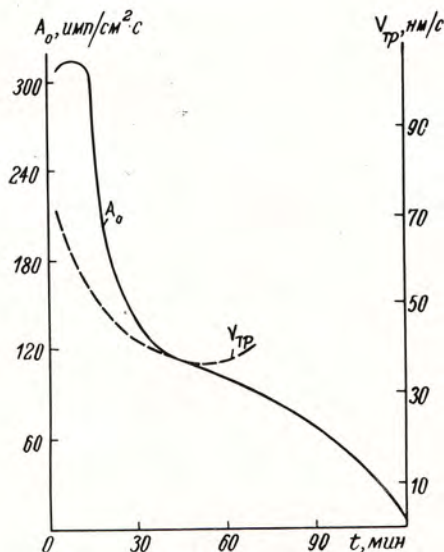


Рис. 4. Зависимость начальной активности и скорости травления пленок двуокиси кремния от времени отжига при 700°C

окисла наблюдался рельеф в виде мелких бугорков размером 0,03 мкм (рис. 6, а), в то время как для голубого окисла характерен рельеф с более крупными деталями размером 0,1–0,2 мкм (рис. 6, б).

Корреляция между размерами зерен пленки двуокиси кремния при субмикронной пористости и сорбционной способностью ее по отношению к криптону позволяет предположительно объяснить ход зависимостей, представленных на рис. 4 и 5, следующим образом. При увеличении времени отжига (см. рис. 4) происходит уменьшение объема и числа пор в пленке в результате спекания и соответ-

ственное уменьшение ее сорбционной способности и скорости химического травления.

Увеличение мольного соотношения воды и тетраэтоксисилана в исходном растворе приводит к тому, что пленки, сохраняя практически постоянной массу, уменьшаются по толщине (табл. 2).

Таблица 2

Отношение $H_2O: Si(OC_2H_5)_4$	Масса Si, мкг	Толщина Si, нм
2	147	153
3	160	138
4	154	130
5	161	124
6	160	120
7	160	—
8	—	117

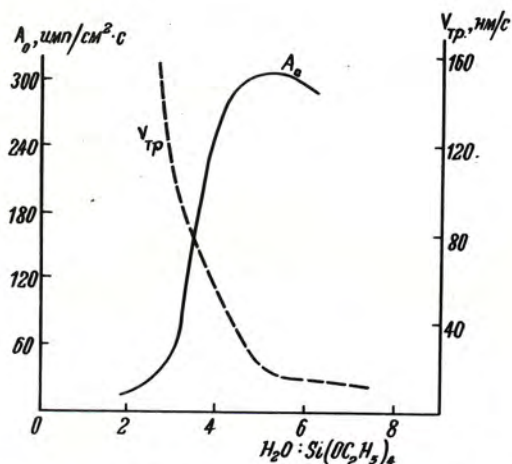


Рис. 5. Зависимость начальной активности и скорости травления пленок двуокиси кремния от соотношения воды и тетраэтоксисилана в пленкообразующем растворе

Такое уплотнение обусловлено тем, что повышение мольного соотношения воды и тетраэтоксисилана в исходном растворе при прочих равных условиях ведет к формированию ультрамикropористой структуры, а это вызывает увеличение поверхности стенок пор и соответственно увеличение сорбционной способности пленки по отношению к криптону (см.рис.5). Уменьшение же наблюдаемой экспериментально скорости травления пленок, вероятно, можно объяснить тем, что с изменением состава раствора возрастает степень гидролиза, в результате чего пленки уплотняются в такой мере, что проникновение травителя в поры затруднено, тогда как криптон проникает в них беспрепятственно.

ЛИТЕРАТУРА

- Носиков С.В., Пресс Ф.П. Электрографический метод исследования слоев двуокиси и нитрида кремния.— Электронная промышленность, 1971, вып. 1., с. 69.
- Румянцев С.В., Фурман К.С. Газо-сорбционная радионизотопная дефектоскопия.— М.: Атомиздат, 1979.— 144 с.

Статья поступила 19 мая 1982 г.

УДК 621.317

Н.В.Воробьев, Г.И.Рыжков

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КонтРАСТНОСТИ РЕПЕРНЫХ ЗНАКОВ

Разработанный прибор обеспечивает контроль контрастности реперных знаков на полупроводниковых пластинах с точностью 3,5–4% и может с успехом использоваться в автоматизированных системах совмещения при производстве ИС.

Одной из наиболее ответственных и трудоемких операций процесса фотолитографии при производстве интегральных схем является совмещение топологий фотошаблона и полупроводниковой пластины. При автоматическом выполнении этой



Рис. 6. Электронно-микроскопические реплики с пленок двуокиси кремния: а — синий окисел, б — голубой окисел

операции на фотошаблон и пластину наносят реперные знаки, совокупность которых образует узел рассогласования. Основной характеристикой реперных знаков является коэффициент контрастности m , определяющий точность совмещения и стабильность работы соответствующих датчиков. Расчет этого коэффициента производится на основании данных, получаемых при последовательном измерении сигнала на самом реперном знаке и вне его:

$$m = (U_1 - U_2) / (U_1 + U_2), \quad (1)$$

где U_1 и U_2 — напряжения сигналов, полученных от лучистого пятна вне реперного знака и на реперном знаке соответственно. Такой подход возможен при использовании материала, прозрачного для лучистой энергии в узле рассогласования. Но этот метод непродуцируем при 100%-ном контроле реперных знаков из-за низкого быстродействия и значительной продолжительности съема значений U_1 и U_2 и последующих расчетов.

Более целесообразным представляется определять коэффициент контрастности с помощью дифференциальной электрической системы*. Правомочность этого способа становится очевидной, если преобразовать уравнение (1) в вид

$$m = \frac{U_1}{U_2 + U_2} - \frac{U_2}{U_1 + U_2}.$$

Тогда, пронормировав лучистый поток относительно $(U_1 + U_2)$, можно путем измерения разности $(U_1 - U_2)$ сразу получать значения коэффициента контрастности. Указанный способ измерения реализуется в приборе, структурная схема которого приведена на рис. 1.

Формирование двух световых пятен — на реперном знаке и вне его — осуществляется посредством диафрагмы с двумя отверстиями и оптической системы, распределяющей эти пятна в плоскости узла рассогласования. (Диаметр отверстий диафрагмы определяется исходя из геометрических размеров реперных знаков и апертуры оптической части). Ориентация плоскости узла рассогласования производится столиком-манипулятором. Преобразованные фотоприемниками ФП1 и ФП2 потоки лучистой энергии Ф1 и Ф2 усиливаются электронными трактами У1 и У2, и сигналы с них поступают на вычитающее ВУ и суммирующее СУ устройства. Разность сигналов $(U_1 - U_2)$, по которой определяется значение коэффициента контрастности, фиксируется измерительным прибором. Суммарный сигнал $(U_1 + U_2)$

дифференциальной системы используется для стабилизации чувствительности прибора, т.е. для управления интенсивностью источника модулированного лучистого потока Ф.

Для юстировки нуля и единицы рассматриваемого прибора применяется имитатор — непрозрачная для лучистого потока пластина, устанавливаемая в плоскости узла рассогласования. При перекрытии ею изображений отверстий диафрагмы регулятором усиления РЗ блока усилителей одного из электронных каналов устанавливается нулевое показание измерительного прибора, при убранном имитаторе регулятором Р2 зазора заслонки для лучистого потока, прошедшего через одно из отверстий диафрагмы, — истинное нулевое показание измерительного прибора. При перекрытии одного из изображений отверстий регулятором Р1 устанавливается единица на измерительном приборе. Затем при размещении на столике-манипуляторе контролируемого реперного знака таким образом, чтобы одно лучистое пятно находилось на нем, а другое вне его, на измерительном приборе снимается значение коэффициента контрастности в единицах измеряемой величины.

В процессе измерений необходимо, чтобы лучистые потоки, проходящие через отверстия диафрагмы, были равны. Это достигается регулятором Р2 в процессе юстировки нуля измерительного прибора. Однако под влиянием различных факторов лучистые потоки с течением времени изменяются, что приводит к искажению истинного значения коэффициента контрастности. Поэтому требуется периодическая юстировка нуля. Для автоматизации этой процедуры в прибор введен контур выравнивания лучистых потоков,

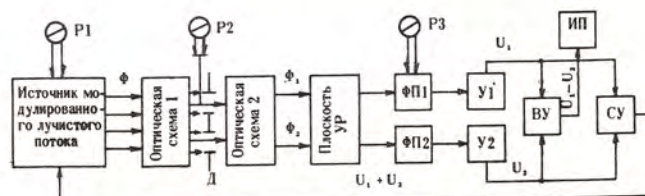


Рис. 1. Структурная схема прибора для измерения коэффициента контрастности реперных знаков

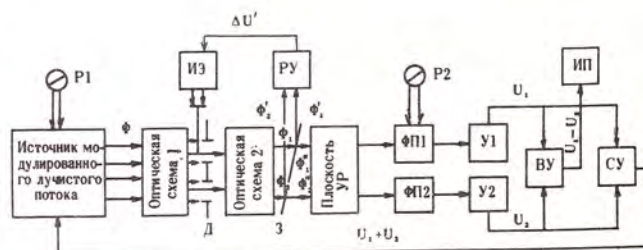


Рис. 2. Структурная схема прибора для измерения коэффициента контрастности реперных знаков с автоматическим контуром выравнивания лучистых потоков

*Преснухин А.Н., Воробьев Н.В. Повышение точности дифференциальных фотометрических датчиков положения методом параллельного замещения. — Оптико-механическая промышленность, 1971, № 9.

включающий полупрозрачное зеркало 3, разностное устройство РУ и исполнительный элемент ИЭ (рис. 2). Лучистые потоки, отраженные зеркалом, поступают на РУ, которое преобразует их в электрические сигналы $U_1' = \Phi_1'$, $U_2' = \Phi_2'$, выделяет и усиливает разность $(U_1' - U_2')$. Исполнительный элемент в процессе работы автоматически стабилизирует равенство лучистых потоков. В этом случае калибровка прибора на нуль осуществляется только выравниванием коэффициентов усиления блока усилителей измерительного канала регулятором Р2, а на единицу — изменением коэффициента усиления канала чувствительности устройства регулятором Р1 по методике, описанной выше.

Если в уравнении (1) напряжения U_1 и U_2 выразить через лучистые потоки Φ_1 и Φ_2 на фотоприемниках и коэффициент пропускания реперного знака $\tau_{ЭН}$, то коэффициент контрастности записывается в виде

$$m = (1 - \tau_{ЭН}) / (1 + \tau_{ЭН}),$$

т.е. полностью определяется коэффициентом пропускания лучистого потока в рассматриваемом диапазоне длин волн, что важно при точностном анализе прибора, определяющего контрастность реперных знаков.

Эксперименты показали, что суммарная погрешность определения коэффициента контрастности реперного знака с помощью рассмотренного прибора составляет 3,5–4%.

Статья поступила 7 августа 1982 г.

УДК 621.382.002

В.В.Гусев, В.М.Долгополов, В.И.Иванов

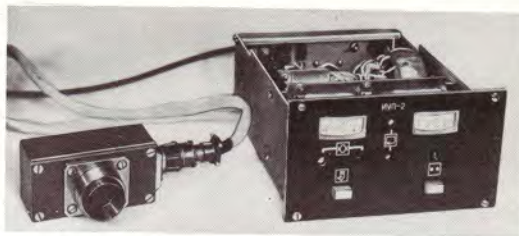
ИНДИКАТОРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Применение индикаторов спектрального контроля обеспечивает точность фиксации момента окончания процесса плазмохимического травления в пределах $\pm 5\%$.

Измерение интенсивности излучения спектральных линий и полос из разряда в процессе плазмохимического травления многослойных структур является эффективным методом определения момента начала и завершения процесса травления [1–3].

Для реализации данного метода разработаны фотоэлектрические индикаторы спектрального контроля ИУП-1, ИУП-2 (см. рисунок), выполненные на базе интерференционных светофильтров и фотоприемников.

Момент окончания процесса фиксируется в индикаторе по изменению значения первой производной сигнала (в этом случае скорость отвода продуктов реакции вносит минимальную погреш-



Датчик спектрального контроля ИУП-2

ность в результате). Точность фиксации окончания процесса T , характеризующая отношение времени перетравки пластин к общей продолжительности процесса, может быть определена по формуле:

$$T \approx \frac{s_{ш}}{s} \cdot \frac{t_{\delta} + t_N}{d} v_{тр} \cdot 100\%,$$

где $s_{ш}/s$ — отношение шум/сигнал; t_{δ} — разброс времени травления по партии пластин; t_N — среднее время пребывания частиц в реакторе; d — толщина слоя; $v_{тр}$ — скорость травления.

Из приведенной зависимости следует, что эффективность используемого метода контроля значительно выше при поштучной обработке пластин за счет значительного уменьшения величины t_{δ} .

Успешное применение спектральных индикаторов требует знания минимальной площади травления $s_{тр.min}$, при которой контроль процесса еще возможен:

$$s_{тр.min} = \frac{1}{k\Phi} \cdot \frac{\sum K_i \delta_i}{v_{тр}},$$

где k — коэффициент, устанавливаемый экспериментально из зависимостей чувствительности рассматриваемого метода контроля от произведения площади травления на скорость процесса; $\Phi \approx 0,1$ — требуемое отношение шум/сигнал; K_i — коэффициент, учитывающий вклад каждого из параметров; δ_i — стабильность поддержания внешних параметров плазмы.

Для практических расчетов можно считать $K_i = 1$ и учитывать только стабильность поддержания расхода газа и ВЧ мощности. Чувствительность определяется как отношение сигнала в ходе плазмохимического процесса к фоновому значению.

При эксплуатации индикаторов спектрального контроля в установках 08 ПХО-100Т-004 на операциях травления и удаления нитрида кремния достигнута точность фиксации момента их окончания в пределах 5–8% от необходимой продолжительности плазмохимического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Техника плазмохимической обработки в производстве ИС/В.И.Иванов, В.А.Кротков, О.И.Любимова, В.М.Долгополов. — М.,

1979. Вып. 18. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование.— 68 с.

2. Исследование и контроль плазмохимических процессов/Н.К.Юдина, М.С.Чумахин, Э.А.Лебедев, Н.Н.Федоров.— Зарубежная электронная техника, 1980, № 3, с. 3—54.

3. Босьяков М.Н. Лабуда А.А., Никифорова Н.Н. Спектральный метод контроля плазмохимического процесса удаления фоторезиста.— Электронная промышленность, 1978, вып. 7, с. 27—30.

Статья поступила 1 марта 1983 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 621.317.799:621.3.049.77

В.Б.Ахманаев, М.В.Детинко, Ю.В.Медведев, А.С.Петров, А.И.Сафронов

ПРИБОР ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК

Прибор обеспечивает экспрессный неразрушающий контроль удельного сопротивления эпитаксиальных пленок с погрешностью измерения не более 10%, а также монокристаллического материала и подложек с погрешностью, не превышающей 5%.

Принцип работы прибора основан на регистрации потерь, вносимых эпитаксиальной структурой в СВЧ датчик, в качестве которого использован резонатор квазистационарного типа с кольцевым измерительным отверстием. Особенностью датчика является локализация измерительного электрического поля в малом объеме, что обеспечивает пространственное разрешение в пределах 0,1—1 мм и позволяет оценить распределение удельного сопротивления по площади пластин.

При исследованиях образец накладывается на верхнюю стенку резонатора с измерительным отверстием, обуславливая изменение добротности и резонансной частоты датчика. Можно связать эти изменения с удельным сопротивлением эпитаксиальных пленок*.

Диапазон измеряемых значений удельного сопротивления пленок ρ_1 зависит от их толщины и удельного сопротивления подложек ρ_2 . Эта зависимость для толщины пленок 10 мкм и толщины подложек 250 мкм приведена ниже. Допустимая погрешность для указанного диапазона составляет 10%.

ρ_2 , Ом·см	10^{-4}	10^{-2}	10^0	10^2	10^4	10^6
ρ_1 , Ом·см	от 0,25 до $4,7 \cdot 10^4$	от 1,5 до $7,6 \cdot 10^4$	от 10^{-4} до 3,3	от 10^{-4} до $3,6 \cdot 10^{-2}$	от 10^{-4} до 10^3	от 10^{-4} до $1,6 \cdot 10^4$

Контроль удельного сопротивления монокристаллического материала и подложек в диапазоне 10^{-3} — 10^5 Ом·см производится с погрешностью, не превышающей 5%. Разработанная методика полностью устраняет влияние прогиба структуры на результат измерения.

* СВЧ резонаторный метод измерения удельного сопротивления и толщины эпитаксиальных пленок/Г.Н.Данилов, М.В.Детинко, Ю.В.Медведев, А.Ф.Свиригина.— Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1982, вып. 6, с. 16.

УДК 621.3.049.77.002.56

А.А.Барсуков, Ю.В.Савченко

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ БИС

Предназначена для автоматической разбраковки по внешнему виду кристаллов БИС, находящихся на липком носителе или насыпанных одним слоем в тару, и для укладки годных кристаллов в кассету с сохранением ориентации.

В состав установки входит пульт управления, микроскоп, стол, устройство укладки кристаллов в кассету, шкаф электрооборудования и устройство подкола.

Оператор, манипулируя вручную двумя рукоятками механизмов подачи стола, подводит кристаллы поочередно в поле зрения микроскопа. Если кристалл годен, нажимается кнопка "Пуск", вмонтированная в рукоятку механизма подачи. Рука манипулятора устройства укладки поворачивается, вакуумный схват опускается на кристалл, и устройство подкола отделяет кристалл от липкого носителя. Вакуумный схват поднимает кристалл, и рука манипулятора, поворачиваясь, переносит его в ячейку кассеты. После укладки кристалла координатный стол перемещает кассету на шаг, обеспечивая возможность укладки следующего кристалла.

Техническая характеристика

Производительность, кристаллов/ч	не менее 200
Размеры кристалла, мм	не более 9×9
Время непрерывной работы, ч	8
Давление сжатого воздуха, кПа	100—133
Давление остаточных газов, кПа	60
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)
Потребляемая мощность, кВт	не более 0,5
Габаритные размеры, мм	1000×760×1210

Годовой экономический эффект за счет снижения трудоемкости ориентировочно составляет 6,2 тыс.руб.

УДК 621.7—982

В. В. Боженков, Н. В. Вышинский,
С. П. Кундас, М. Д. Тявловский

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕНТ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Технология горячего ультразвукового плющения в вакууме обеспечивает получение лент хорошего качества из молибдена и вольфрама при высокой производительности процесса.

Существующая в настоящее время промышленная технология получения плющенной ленты из тугоплавких металлов и сплавов на валковых станках характеризуется малой производительностью (скорость плющения 1–5 м/мин, степень обжатия за проход 20–30%), что обусловлено низкой технологичностью таких материалов — твердостью, склонностью к хрупкому разрушению при холодной деформации и интенсивному окислению и газонасыщению при нагреве на воздухе [1]. Более производительным является способ получения лент с использованием ультразвуковых колебаний для пластического деформирования в вакууме проволоки, нагретых до температур начала кристаллизации (ультразвуковые инструменты располагаются соосно или под определенным углом к направлению движения проволоки [2, 3]).

При обычных методах горячей обработки тугоплавких металлов в вакууме резко повышается их пластичность, но одновременно интенсифицируются процессы трения и адгезионного схватывания металла с инструментами, что требует повышения энергосиловых параметров обработки и снижает качество получаемых изделий [4].

Деформирование проволоки с помощью ультразвуковых инструментов практически полностью исключает схватывание вследствие того, что кон-

такт между обрабатываемым металлом и инструментами постоянно прерывается. Ультразвуковые колебания способствуют также интенсификации процесса пластического деформирования металла, снижению деформирующих усилий, уменьшению уровня остаточных напряжений и более равномерному их распределению по сечению лент [5].

Особенности конструкций установок, реализующих способ горячего ультразвукового плющения в вакууме (см. рисунок), определяются диаметром обрабатываемых проволок. При плющении проволоки микронного сечения (до 0,2 мм) бобина с проволокой и получаемой лентой размещается в вакуумной камере. В качестве источников ультразвуковых колебаний используются магнито-стрикционные преобразователи мощностью 400 Вт, питаемые от генератора типа УЗ ДН-1 (или УЗ ДН-2Т). Нагрев проволок до 1300–1600 К производится с помощью излучателя на основе ламп инфракрасного излучения [6]. При плющении проволоки большего диаметра (более 0,2 мм) бобины размещаются за пределами вакуумной камеры, а ввод и вывод проволоки и ленты из камеры осуществляется через специальные магнито-жидкостные уплотнения [7]. Устойчивый режим работы источников ультразвука обеспечивается путем использования магнито-стрикционных преобразователей мощностью 1,5 кВт, питаемых от генератора УЗГ-2–4. Лентопротяжный механизм работает от двигателей постоянного тока с понижающими редукторами. Откачка вакуумной камеры до давления в пределах $1,33\text{--}1,33 \cdot 10^{-2}$ Па осуществляется с помощью механического и парамасляного насосов.

Были проведены исследования с целью определения оптимальных технологических режимов плющения проволок из тугоплавких металлов.

Амплитуда колебаний ультразвуковых инструментов изменялась в диапазоне 2–15 мкм, температура нагрева проволоки — от 400 до 1600 К, скорость протяжки лент — от 0,1 до 1 м/с, степень обжатия — от 20 до 80%.

В результате исследований установлено, что наибольшее влияние на силовые характеристики плющения и качество получаемых лент оказывают амплитуда колебаний ультразвуковых инструментов, температура нагрева проволок и степень их обжатия за проход. Наименьшие усилия плющения и протяжки и наиболее высокое качество лент (лучшие физико-механические свойства, отсутствие трещин и расслоений, малая степень шероховатости обработанных поверхностей) обеспечиваются при синфазном режиме работы источников ультразвука с амплитудой колебаний не менее 3–4 мкм. Температура нагрева и деформирования проволок зависит от обрабатываемого металла и его физико-механических свойств.

Эксперименты показали, что при плющении молибденовых проволок в горячем состоянии улучшаются их прочностные и пластические свойства

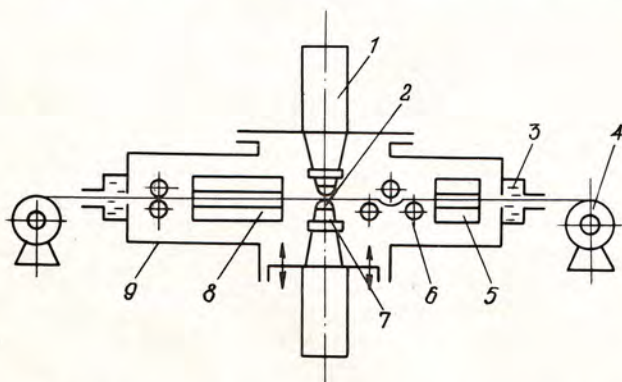


Схема установки горячего ультразвукового плющения в вакууме: 1 — источник ультразвука; 2 — деформирующие инструменты; 3 — уплотнение; 4 — бобина; 5, 6, 7 — датчики толщины ленты, амплитуды УЗ колебаний и усилия протяжки; 8 — нагреватель; 9 — вакуумная камера

и снижается количество трещин и расслоений. Кроме того, на 35–50% по сравнению с плющением в холодном состоянии уменьшается усилие плющения. Оптимальный температурный диапазон деформирования молибденовых проволок марки МЧ-1Г составляет 1000–1400 К.

Плющение вольфрамовых проволок марок ВА-1, ВА-1Г в холодном состоянии практически невозможно из-за образования большого количества трещин и расслоений в ленте и обрыва ее при протяжке. Наилучшее качество лент из вольфрама обеспечивается при плющении их в диапазоне температур 1300–1600 К (точное значение температуры деформирования устанавливается экспериментально в зависимости от диаметра проволоки и партии ее выпуска). Оптимальная степень обжатия вольфрамовых проволок составляет 45–65% за проход. Однако в случае специального подбора режимов плющения необходимое качество лент обеспечивается и при более высоких степенях обжатия (до 80%).

Степень разряджения в вакуумной камере оказывает значительное влияние на качество получаемых лент, в частности при переходе от атмосферных условий деформирования к низкому вакууму (13,3 Па) и при увеличении разряджения выше $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, когда начинают проявляться процессы адгезионного взаимодействия металла с инструментами, ухудшающие качество обработанных поверхностей лент. Необходимые физико-механические свойства лент достигаются при давлении $1,33\text{--}1,33 \cdot 10^{-1}$ Па. К тому же при таком давлении к вакуумному оборудованию, материалам вакуумной камеры и устройствам, установленным в ней, не предъявляется высоких требований.

Скорость протяжки лент по кинематическим и силовым условиям плющения может быть достаточно высокой (до 5–10 м/с), но реальное ее значение при плющении тугоплавких металлов ограничивается возможностями высокотемпературного нагрева проволок. При использовании в установках плющения нагревателей на основе ламп ИК нагрева мощностью 2–4 кВт можно обеспечить нагрев проволок диаметром 0,1–0,2 мм до температур 1300–1600 К при скорости их протяжки 0,5–1,0 м/с. Плющение проволок больших диаметров (0,3–1,0 мм) осуществляется при скоростях 0,1–0,3 м/с.

Указанным способом плющения получены ленты из молибдена марки МЧ-1Г размером $0,4 \times 1,2$ мм, предназначенные для изготовления катодов электровакуумных приборов, а также ленты размером $0,2 \times 0,6$ мм из молибдена МЧ-1Г и сплава ВР-20 — для изготовления деталей спиральной конструкции.

Испытания показали, что горячее ультразвуковое плющение в вакууме в 2–3 раза повышает выход годной продукции и производительность процесса плющения по сравнению с существующей технологией, а также улучшает физико-механические свойства и качество обработанных поверхностей лент. Кроме того, достигается луч-

шая свариваемость лент из молибдена марки МЧ-1Г и вольфрамового сплава ВР-20 в процессе изготовления из них конструктивных элементов ЭВП. Все это свидетельствует о перспективности применения разработанного технологического процесса и оборудования в производстве электровакуумных и электроизмерительных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов/Н.И.Корнеев, С.Б.Певзнер, Е.Н.Разуваев и др.— М.: Металлургия, 1975, с. 225—228.
2. Пат. 1539857 (Великобритания) В21f21/00. Improvements in or Relating to Method and Apparatus for Production of Metal Ribbon/М.Тявловский, S.Kundas, M.Los, V.Serenkov, N.Vyshinsky.— Publ. 1979.
3. А.с. 695746 (СССР). Устройство для получения ленты из проволоки/М.Д.Тявловский, С.П.Кундас, М.Н.Лось, В.Ю.Серенков, Н.В.Вышинский.— Оpubл. в БИ, 1979, № 41, с. 34.
4. Крупин А.В. Прокатка металлов в вакууме.— М.: Металлургия, 1974, с. 130.
5. Северденко В.П., Скрипниченко А.А., Тявловский М.Д. Ультразвук и прочность.— Минск: Наука и техника, 1979, с. 216.
6. Тявловский М.Д., Тхостов М.Х.-М., Кундас С.П. Нагрев проволок из тугоплавких металлов с помощью инфракрасного излучения.— Металловедение и термическая обработка металлов, 1980, № 4, с. 18—19.
7. А.с. 792012 (СССР). Уплотнение движущейся проволоки или ленты/М.Д.Тявловский, С.П.Кундас.— Оpubл. в БИ, 1980, № 48, с. 148.
8. Тявловский М.Д., Кундас С.П., Колтович В.А. Устройство для бесконтактного измерения амплитуды ультразвуковых колебаний.— В кн.: Проблемы конструирования и производства современной измерительной техники: Тезисы докл. респ. науч.-техн.конф.— Минск: БелНИИНТИ, 1979, с. 46—47.

Статья поступила 15 октября 1982 г.

УДК 621.793

Э.Ф.Бенуа, В.С.Великих, В.П.Гончаренко,
Г.К.Дмитриев, А.И.Маслов

УГЛЕРОДНЫЕ АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Применение в качестве покрытий углеродных пленок, обладающих высокой твердостью, соизмеримой с твердостью алмаза, хорошей адгезией к подложке, стойкостью по отношению к абразивному износу и низким коэффициентом трения при взаимодействии со сталью и другими материалами, повышает износостойкость режущего и мерительного инструмента, деталей штампов и пресс-форм, деталей машин.

В настоящее время проявляется большой интерес к получаемым различными способами углеродным (алмазоподобным) покрытиям, которые характеризуются высокой твердостью, сравнимой с твердостью алмаза, повышенной износостойкостью и химической инертностью [1, 2]. Благодаря большому удельному электросопротивлению и высокой электрической прочности таких покрытий открывается перспектива их широкого применения в изделиях электронной техники. Указанные покрытия могут быть получены путем конденсации в вакууме плазменного потока, генерируемого импульсным электродуговым испарителем [3]. Сред-

ная энергия ионов углерода составляет при этом 50–70 эВ, температура подложки не превышает 150°C.

Углеродные пленки осаждаются на предварительно очищенные образцы — полированные ситалловые и кремниевые подложки, режущий инструмент и детали штампов из различных инструментальных сталей и твердых сплавов — при давлении в вакуумной камере $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па со средней скоростью осаждения 2–5 мкм/ч. Шероховатость поверхности полированных стальных образцов после нанесения на них углеродных пленок толщиной 2–4 мкм не хуже 0,16 мкм. Полированные поверхности подложек из ситалла и кремния с покрытием толщиной менее 1 мкм сохраняют зеркальный вид. В диапазоне толщин 300–500 нм углеродные пленки оптически прозрачны.

Электронно-микроскопические исследования показали, что углеродные пленки толщиной 20–100 нм на сколе монокристалла NaCl представляют собой однородный конденсат (при увеличении до $\times 150000$). Рентгенографическими исследованиями конденсатов толщиной 5–8 мкм, нанесенных на стальные образцы, установлено, что они являются "рентгеноаморфными". Это свидетельствует о высокой дисперсности структуры углеродных пленок, имеющих блоки упорядоченного строения с размерами, не превышающими 1–2 нм.

Микротвердость углеродных покрытий $HV_{0,2} = 4000 \div 15000$ в зависимости от условий осаждения, а удельное электросопротивление $1 \cdot 10^5 \div 1 \cdot 10^{10}$ Ом·см. При испытании методом царапания алмазным индентором с усилием до 20 Н покрытия от стальной подложки не отделялись, что свидетельствует об их высокой адгезии.

Оценка внутренних напряжений в пленке по методу прогиба пластинки [4] (для этой цели применялись пластинки из закаленной стали У8А размерами $80 \times 5 \times 0,5$ мм) показала, что углеродные пленки толщиной 2–5 мкм находятся в состоянии сжатия, причем величина напряжений составляет 5–10 ГПа и мало зависит от их толщины.

Результаты испытаний углеродных покрытий на износ в процессе сухого внешнего трения (табл.1) свидетельствуют о значительном повышении износостойкости материалов, на которые были нанесены эти покрытия.

Таблица 1

Сталь	Линейный износ, мм	Весовой износ, мг
X12M без покрытия	0,21	9,25
X12M с углеродным покрытием толщиной 2–3 мкм	0,01	0,04

Коэффициент трения углеродного покрытия по стали 45 не превышал 0,07–0,08 и был значительно ниже коэффициента трения стали X12M по стали 45 (около 0,35).

В ходе производственных испытаний инструментов и деталей оснастки с углеродным покрытием на рабочей поверхности было отмечено уве-

личение стойкости упрочненного инструмента по сравнению с инструментом без углеродного покрытия (табл. 2).

Таблица 2

Вид инструмента	Материал инструментальной основы	Обрабатываемый материал	Относительное повышение стойкости
Завивочный пуансон	X12M	X18H10T	10
Сверла $\phi 0,8$ и $1,5$ мм	P6M5	Стеклотекстолит	2–2,5
Пуансон для холодного выдавливания	X12M	Никелевый сплав	3–4
Ролик-клише	У8	Стекло	2–3
Фрезы концевые $\phi 6, 10, 12, 16$ мм	P6M5	Сталь 20	3,1–3,5

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения углеродных покрытий с целью повышения износостойкости таких тяжело нагруженных изделий, как сверла, фрезы, а также детали технологической оснастки.

ЛИТЕРАТУРА

1. A i s e n b e r g S., C h a b o t R. Ion-beam deposition of thin films of diamondlike carbon.— J. Appl. Phys., 1971, vol. 42, p. 2953.
2. Некоторые свойства алмазоподобных углеродных покрытий и возможные области применения/ И.И.Аксенов, В.Г.Падалка и др.
3. Методы плазменной технологии высоких энергий/С.Д.Гришак, А.М.Дороднов, С.А.Мубаеджян, Я.А.Помелов: Тез. докл. Ш Всесоюз. конф. по плазменным ускорителям.— Минск, 1976, с. 220.
4. К е м п б е л л Д.С. Технология тонких пленок. Справочник: Пер. с англ. под ред. Л.Майссела и Р.Гэнга.— М.: Советское радио, 1977. Т.2, с. 246–304.

Статья поступила 31 марта 1983 г.

УДК 620.179.11:621.315.61

В.И.Шепелев

НОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Метод предназначен для межоперационного экспресс-контроля на этапе получения диэлектрического слоя на полупроводниковой пластине. Он позволяет выявлять электрически слабые места структуры полупроводник—диэлектрик, к которым относятся сквозные и тупиковые поры, неоднородности в диэлектрике, а также механические повреждения поверхности полупроводника под диэлектриком.

Техническая сущность метода* заключается в регистрации точечных сквозных отверстий, которые образуются в слое лака, осаждаемого на поверхности контролируемой пластины при помещении ее в раствор ацетона и перхлорвинилового лака (98–99 об.% ацетона и 2–1 об.% лака). Обра-

*А.с. 894532 (СССР). Способ контроля дефектов слоев материала/В.И.Шепелев. Оpubл. в Б.И., 1981, № 48.

зование этих отверстий обуславливается тем, что при подаче напряжения на электроды, между которыми находится в растворе пластина, в местах наиболее сильного электрического поля, соответствующих дефектам окисного слоя, лак не осаждается. После извлечения пластин из раствора картину распределения изображений дефектов наблюдают в микроскоп при увеличении $16\times$.

Чувствительность метода постоянна и максимальна при напряженности электрического поля выше 60 В/см и частотах от 10 до 60 Гц (рис. 1). За пределами указанных диапазонов с уменьшением напряженности и увеличением частоты поля происходит уменьшение плотности изображений дефектов, обусловленное снижением релаксационной диэлектрической поляризации раствора. Приведенные зависимости позволяют сделать выбор параметров процесса контроля однотипных полупроводниковых структур. Горизонтальные участки зависимостей являются рабочими.

Плотность изображений дефектов снижается с увеличением толщины слоя диэлектрика за счет ослабления электрического поля в местах дефектов. Однако влияние толщины диэлектрика на плотность изображений дефектов при контроле несущественно по сравнению с зависимостью степени дефектности слоя от его толщины, так как для большинства диэлектрических материалов в области толщин $0,4\text{--}0,6 \text{ мкм}$ степень дефектности рез-

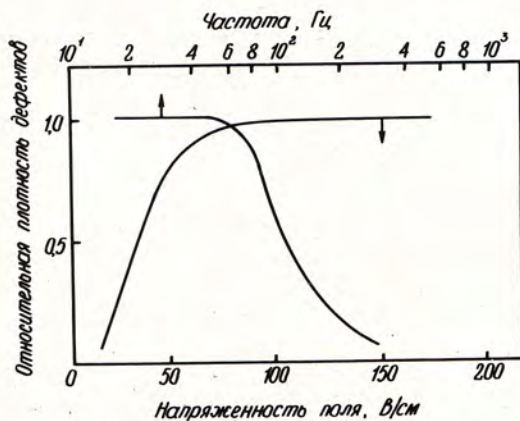


Рис. 1. Влияние частоты и напряженности электрического поля, приложенного к структуре полупроводник—диэлектрик, на плотность выявленных дефектов

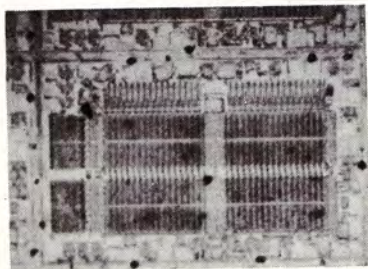


Рис. 2. Поверхность структуры полупроводник—диэлектрик с выявленными дефектами диэлектрика

ко снижается. Если в диэлектрическом слое имеются дефекты различных размеров, для выявления более мелких из них следует увеличить напряженность электрического поля. Вместо переменного можно использовать постоянное электрическое поле. Тогда изображения дефектов получаются только со стороны пластины, обращенной к положительному электроду.

При контроле указанным способом пластин кремния p -типа с созданной на поверхности рельефной структурой со ступенчатым профилем окисла и скрытыми под окислом n - и p -областями четко видны изображения дефектов окисла в виде точек; расположенных в основном по границам тонкого и толстого окислов (рис. 2).

Разрешающая способность метода составляет 10 мкм , минимальный размер выявленных дефектов — $0,2 \text{ мкм}$.

По сравнению с электрографическим, электрофорезным и электролитическим методами контроля рассматриваемый метод обладает рядом преимуществ:

- сохраняется исходное качество структуры, так как раствор не вступает с ней в химическую реакцию и не загрязняет ее, а слой лака легко удаляется с поверхности растворителем;

- повышается достоверность оценки качества структуры благодаря возможности многократного ее контроля;

- одновременно можно получать изображения дефектов на обеих сторонах одной пластины или на двух, соединенных вместе;

- обеспечивается бесконтактный контроль, снижается его трудоемкость.

Статья поступила 13 декабря 1982 г.

УДК:621.315.617.3

В.А.Гусинская, Ю.В.Лихолетов, А.Н.Мосевич,
К.А.Ромашкова, С.С.Чурганова

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИАМИДОИМИДНЫХ ЛАКОВ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Физико-механические и диэлектрические свойства полиамидоимидных пленок позволяют использовать их в качестве защитных покрытий компонентов криогенной аппаратуры, работающей при температурах до -269°C .

Защитные покрытия компонентов электронной техники в значительной степени определяют экономичность приборов и их эксплуатационную надежность. Практика показала эффективность применения в качестве таких покрытий поли-

Таблица 1

Деформационно-прочностные и термические свойства полиамидоимидных пленок









R	До обработки				После обработки жидким гелием			
	E, МН/М ²	γ, %	σ, МН/М ²	T _{дестр.} , °С	E, МН/М ²	γ, %	σ, МН/М ²	T _{дестр.} , °С
-O-  -SO ₂ -  -O- пара	3400	60	135	380	3360	53	135	380
-O-  -SO ₂ -  -O- мета	3000	95	100	380	3220	161	185	330
-O- -SO ₂ - } сополимер	3800	45	125	400	3350	41	122	400
-SO ₂ -	3900	70	120	380	3370	64	126	330

Таблица 2

Диэлектрические свойства полиамидоимидных пленок

R	До обра ботки		После обра ботки жидким гелием	
	ε	tg δ	ε	tg δ
-O-  -SO ₂ -  -O- пара	4,47	0,0350	4,02	0,0040
-O-  -SO ₂ -  -O- мета	5,66	0,0510	4,07	0,0069
-O- -SO ₂ - } сополимер	9,05	0,0518	3,98	0,0051
-SO ₂ -	5,55	0,0852	4,05	0,0074

мерных материалов, свойства которых (физико-механические, адгезия к материалу защищаемого объекта, эластичность, целостность) остаются стабильными в температурном режиме работы защищаемого объекта.

К числу материалов, сохраняющих свои основные свойства в широком интервале температур (от -196 до 300°С), относятся полиуретаны, полиамиды, полиимиды и полиамидоимиды [1—3]. Последние находят широкое применение в электротехнической и радиотехнической промышленности в качестве электроизоляции и защитных покрытий в печатных схемах [4]. Однако поведение этих полимеров при сверхнизких температурах изучено слабо, что ограничивает их использование.

В связи с этим были исследованы ароматические полиамидоимиды, содержащие кислород и сульфоновую группу в различных комбинациях, молекулярные массы которых составляли (25 ÷ 40) · 10³ [5].

Полимеры получали низкотемпературной поликонденсацией из раствора N-метилпирролидона (12—15%-ный раствор) [6]. Жидкие полимеры наносили на стеклянную подложку и ступенчато высушивали (по 2 ч при температурах от 80 до 120°С и от 120 до 150°С); толщина пленок составляла 10—30 мкм.

Деформационно-прочностные (модуль упругости, относительное удлинение, прочность на разрыв), термические (температура деструкции) и некоторые электрические характеристики определяли перед и после помещения их в криостат с жидким гелием и выдержки там в течение 24 ч. Данные исследований показывают, что деформационно-прочностные свойства поли-

амидоимидных пленок после обработки жидким гелием практически не меняются (табл. 1). Удельное сопротивление* не зависит от температурной обработки и составляет 10¹² Ом·м. Диэлектрические свойства полиамидоимидных пленок после обработки жидким гелием несколько улучшаются (табл. 2).

Испытания на влагуостойчивость (56 сут. при влажности 98% и температуре +40°С) и на термостойчивость (10 циклов с изменением температуры от -269 до +300°С, время выдержки 30 мин при каждом граничном значении) показали, что электрические параметры полиамидоимидных пленок после проведения испытаний остаются без изменений.

Пленки полиамидоимидов, полученные из 3—5%-ного N-метилпирролидона, были использованы в качестве защитных покрытий элементов электронных приборов, в частности конденсаторов, работающих при гелиевой температуре. Толщина покрытий была равномерной и составляла 0,7—2,5 мкм.

Как показали наблюдения с помощью оптического микроскопа, целостность лакового покрытия на медной поверхности электродов не нарушалась в течение полутора лет, не наблюдалось за этот срок и следов отслаивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т а р е е в Б.М., Ф и л и м о н о в Ю.П., Свойства электротехнических материалов при криогенных температурах.— М.: МИРЭА, 1972.— 66 с.
2. А с т а х и н В.В., Т р е з о в В.В., С у х а н о в а И.В. Электроизоляционные лаки.— М.: Химия, 1981.— 71 с.
3. К вопросу о термостабильности полиамидоимидов/М.М.Котон, В.А.Гусинская, Ю.Н.Сазонов и др.— ВМС, 1975, т.Б17, с. 226.
4. Гибкий фольгированный диэлектрик на основе полиамидоимидов/Б.З.Моценят, В.А.Гусинская, М.М.Котон и др.— Пластические массы, 1981, № 6, с. 55.
5. Полиамидоимиды, содержащие в структуре фрагменты дифенилоксида и дифенилсульфона/М.М.Котон, В.А.Гусинская, В.М.Светличный и др.— ВМС, 1980, т.Б22, с. 760.
6. Полиамидоимиды на основе симметричных и несимметричных имидодихлорангидридов/В.А.Гусинская, М.М.Котон, Т.В.Батракова и др.— ВМС, 1976, т.А18, с. 2681.

Статья поступила 11. апреля 1983 г.

*Для изменения электрических характеристик на полиамидоимидные пленки предварительно напылялись медные электроды с подслоем хрома.

ЭЛЕКТРОНИКА БЗ-39

МИНИАТЮРНЫЙ МИКРОМОЩНЫЙ микрокалькулятор имеет размеры 110x66,5x10,5 мм, массу менее 70 г. Потребляемая мощность не превышает 1мВт. Питается от трех элементов СЦ32, время работы от одного комплекта элементов более 1000 ч.



**МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР ПРЕДНАЗНАЧЕН
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ
НЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ
РАБОТНИКАМИ.
ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ОДНОЙ ОПЕРАЦИИ
МЕНЕЕ 1 С.**

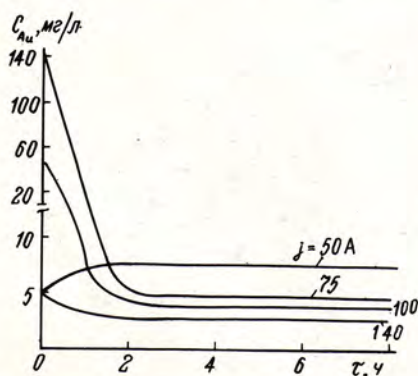


УДК 621.357.035.4

В. В. Бабина, З. Т. Белякова, В. Н. Бушков,
В. К. Варенцов, А. С. Ульданов**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА
ИЗ ПРОМЫВНЫХ
ЦИТРАТНО-ФОСФАТНЫХ
РАСТВОРОВ****Электрохимический способ извлечения золота из промывных цитратно-фосфатных растворов надежнее и экономичнее ионообменного.**

Широкое использование в различных отраслях промышленности гальванического покрытия благородными металлами выдвигает задачу разработки эффективных способов извлечения этих металлов из промывных растворов. Для этих целей успешно используются химические а также ионобменные и экстракционные методы [1–3]. Одним из перспективных является электрохимический способ извлечения металлов из промывных вод, реализуемый с помощью волокнистых углеродистых электродов с высокоразвитой реакционной поверхностью, который, в частности, применяется в гидрометаллургии для извлечения золота и серебра из сернокислых тиомочевинных растворов [4]. Указанный способ может быть эффективен для извлечения золота и из цитратно-фосфатных растворов, получающихся при промывке деталей ИЭТ после золочения. Лабораторные исследования показали, что при исходной концентрации золота в таких растворах от 5 до 100 мг/л и проведении процесса с разделенными электродными пространствами (для чего служит ионообменная мембрана) может быть извлечено более 99% золота. При этом на 1 г волокнистого углеродистого катода можно, не ухудшая показатели его работы, осадить около 25 г золота.

Промышленные испытания электролизера, разработанного на основе результатов лабораторных



Зависимость концентрации золота в ванне улавливания от времени электролиза при различной плотности тока, протекающего через раствор

исследований, проводились на автоматизированной линии золочения металлокерамических корпусов. Электролизер, который представлял собой аналог промышленного аппарата ЭУ-1М [5], подключался к ванне улавливания. В качестве катодов использовался волокнистый углеродистый материал ВВП-66-95, анодом служила платинированная титановая сетка. Анолит (раствор сульфата натрия) циркулировал между анодными камерами электролизера и анолитной емкостью. Подача раствора в ванну улавливания осуществлялась с помощью насоса. Периодичность внесения золота с раствором из основной ванны в ванну улавливания составляла 8 мин.

Поскольку независимо от исходной концентрации золота в растворе его содержание в ванне улавливания устанавливается на постоянном уровне через 1,5–2 ч после включения электролизера (см. рисунок), это позволяет ограничивать концентрацию золота в ванне на уровне 3–5 мг/л при непрерывной работе линии золочения.

Помутнения и "цветения" цитратно-фосфатных растворов при использовании указанного электролизера не наблюдалось в отличие от ионообменного способа улавливания золота, при котором промывной раствор подлежит смене каждые пять–шесть дней. Замена катодов в электролизере производится раз в месяц; углеродистый материал с осевшим на него золотом подвергается обжигу при температуре 500–550°C, при этом углеродистая основа выгорает и остается чистый металл в виде порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у ч и л о Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений.— М.: Металлургия, 1974.— 198 с.
2. Ш и л и н А.И. Регенерация драгоценных металлов.— Журнал ВХО им.Д.И.Менделеева, 1980, т. 25, № 2, с. 215–217.
3. W a i t z W.H. Ion exchange for recovery of precious metals.— Plating and surface finishing, 1982, N 4, p. 56–59.
4. Разработка и промышленное освоение способа и аппаратуры для электролитического извлечения золота из тиомочевинных растворов/Р.Ю.Бек, В.К.Варенцов, А.И.Маслий и др.— В кн.: Гидрометаллургия золота.— М.: Наука, 1980, с. 173.
5. В а р е н ц о в В.К., П р о к о ф ь е в В.В., Б е л ы х А.К. Разработка и промышленное освоение электролизеров с волокнистыми углеродными волокнами.— Цветные металлы, 1981, № 5, с. 100.

Статья поступила 29 марта 1983 г.

УДК 621.3.049.776.002

Б.Н.Андронов, В.И.Мареха,
В.З.Петрова, Т.Д.Чиликина**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОДЛОЖКИ
СО СТЕКЛОВИДНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

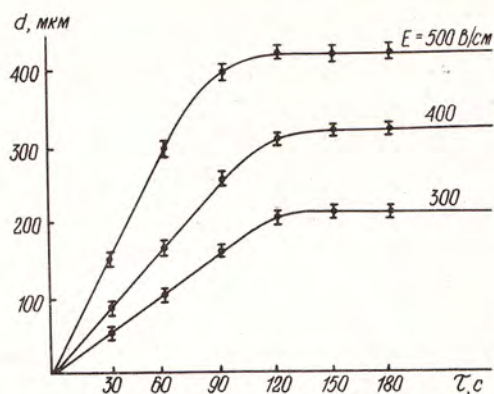
Для использования в производстве многослойных ГИС, печатных плат и высокотемпературных тензорезисторных датчиков разработаны составы и технология получения стекловидных диэлектриков металлических подложек.

Применение металлических подложек с диэлектрическим покрытием принципиально изменяет технологию производства многоуровневых печатных плат [1]. Преимуществами таких подложек по сравнению с используемыми в настоящее время стеклотекстолитовыми платами, керамическими и ситалловыми подложками являются высокие механическая прочность и термическая устойчивость, а также низкая стоимость при массовом выпуске. Кроме того, применение таких подложек позволяет совмещать на одном основании толсто- и тонкопленочные микросхемы, монтировать бескорпусные элементы и ИС непосредственно на металлическое основание. Металлические подложки с диэлектрическим покрытием могут использоваться в качестве элементов конструкции различных устройств.

**Технические характеристики стекловидных пленок
на металлических подложках**

	Стекло для толсто- пленочных ГИС	Стекло для тонкопленочных ГИС
Коэффициент линейного термического расширения (20–300°C) × 10 ⁷ /град	109	125
Температура размягчения, °C	580	540
Температура кристаллизации, °C	760	—
Максимальная температура последующих термообработок, °C	800	680
Влагостойкость (гидролитический класс)	III	I
Сопротивление изоляции толщиной 100 мкм при T = 20°C, Ом	10 ¹²	10 ¹²
Электрическая прочность, В/см	10 ⁶	10 ⁶
Диэлектрическая проницаемость при T = 20°C, f = 1 МГц	9	8
Тангенс угла диэлектрических потерь tgδ (при T = 20°C, f = 1 МГц) × 10 ⁻⁴	30	35
Изменение tgδ после 24-ч выдержки в воде, × 10 ⁻⁴	20	5

В результате проведенных исследований созданы физико-химические основы технологии получения металлических подложек со слоем стекловидного диэлектрика, в частности разработаны составы диэлектриков для получения покрытий на подложках из малоуглеродистой стали [2] для толсто- и тонкопленочных ГИС.



Зависимость толщины осажденного слоя стекла от длительности процесса и напряженности электрического поля

Процесс получения диэлектрических покрытий на металлических подложках заключается в осаждении методом электрофореза стеклопорошков из суспензии, ИК сушке порошкового слоя и его термообработке. Время термообработки и температура зависят от состава стекловидного диэлектрика и составляют соответственно 5–12 мин и 760–860°C.

Метод электрофореза позволяет получать беспористые, однородные по толщине и химическому составу покрытия в широком диапазоне толщин на поверхности подложек любого профиля и различного размера, легко поддается автоматизации, прост в технологическом отношении и не требует дорогостоящего оборудования.

Четкая зависимость толщины стеклопорошкового покрытия, осажденного методом электрофореза, от напряженности электрического поля и длительности осаждения (см. рисунок) позволяет регулировать толщину покрытия путем контроля параметров процесса.

При нанесении покрытий методом электрофореза достигается эффективное использование стекла (97%), поэтому стоимость этих покрытий по сравнению с полученными методами окунания или пульверизации снижается приблизительно на 16%.

ЛИТЕРАТУРА

1. L y m a n J. New methods and materials stir up wiring.— Electronics, 1978, vol. 9, p. 122–144.
2. Петрова В.З., Чиликина Т.Д., Андронов Б.Н. Применение металлических подложек с диэлектрическим покрытием для производства надежных ГИС и печатных плат.— В кн.: Пути повышения стабильности и надежности микросхем и микросхем. Тез. докл. 11 Всесоюз. науч.-техн. семинара.— Рязань: 1981. Ч. 2, с. 167, 168.

Статья поступила 15 декабря 1982 г.

УДК 621.315.6.004:621.382

И.Д.Голото, А.Ф.Нелюбин, В.З.Петрова,
Т.Д.Чиликина**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЕ
ТЕПЛОПРОВОДЯЩЕЕ ОСНОВАНИЕ
ДЛЯ МОЩНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРОВ**

При изготовлении мощных низкочастотных полупроводниковых приборов бериллиевую керамику можно заменить более дешевым материалом, не ухудшая параметров изделий.

При монтаже мощных дискретных полупроводниковых приборов очень важно обеспечить электрическую изоляцию между радиатором и самим прибором, для чего обычно используют прокладки из слюды, майлара и других материалов. Однако низкая теплопроводность указанных материалов и большая толщина (100–500 мкм) прокладок, требуемая для надежной электрической изоляции, повышают тепловое сопротивление прибора. Применение прокладок из бериллиевой керамики устраняет этот недостаток; но приводит к значительному удорожанию приборов. Попытки изменения конструкции мощных полупроводниковых приборов и замены бериллиевой керамики другим изоляционным материалом при сохранении параметров прибора не дали, как показывает анализ литературных данных [1–2], положительных результатов.

На наш взгляд, целесообразно использовать вместо бериллиевой прокладки теплопроводящее трехслойное основание, состоящее из двух металлических пластин, спаянных между собой слоем стекловидного диэлектрика. Для изготовления пластин предпочтительнее применять медь, в качестве диэлектрика – стекло марки ПМЧ-86. Слой стекла толщиной 50–100 мкм наносят на одну из пластин методом электрофореза. После предварительной сушки пластину помещают в фиксирующее приспособление из жаропрочной стали и спаивают с другой медной пластиной под небольшим давлением при температуре 550–570°C в течение 20 мин.

Как показали измерения, трехслойное основание обладает сопротивлением изоляции между металлическими пластинами не менее 10^{10} Ом и напряжением пробоя изоляции не менее 2 кВ. Теплопроводность составляет примерно 300 Вт/м·К.

Изготовленные с использованием рассматриваемых оснований транзисторы имеют тепловое сопротивление $1,20 \pm 0,05^\circ\text{C}/\text{Вт}$, не превышающее сопротивления стандартных транзисторов, а их параметры (приведенные ниже) полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к этим приборам.

**Электрические параметры мощных транзисторов
на трехслойном основании**

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером n_{21s}	
при $U_K = 2 \text{ В}, I_K = 10 \text{ А}$	8–60
при $U_K = 4 \text{ В}, I_K = 4 \text{ А}$	не менее 20
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{Kэ.нас}$, В	
при $I_K = 10 \text{ А}, I_G = 2 \text{ А}$	не более 1,5
при $I_K = 4 \text{ А}, I_G = 0,4 \text{ А}$	не более 1,0
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{Kэ.макс}$, В	
при $R_{бэ} = 10 \text{ Ом}$	не менее 100
при $R_{бэ} = 250 \text{ Ом}$	не менее 60

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 1474902 (Великобритания).
2. Пат. 4057825 (США).

Статья поступила 15 декабря 1982 г.

УДК 66.067

Е.А.Дмитрова, Н.С.Мусалев, Т.А.Орлова,
В.В.Попов**ПРЕДФИЛЬТРЫ
МЕМБРАННОГО ТИПА
В КОМБИНИРОВАННЫХ
ДВУХСЛОЙНЫХ ФИЛЬТРАХ**

Тонкая очистка деионизованной воды от механических примесей в производстве полупроводниковых приборов и микросхем осуществляется при помощи мембранных фильтров с порами размером 0,2 или 0,5 мкм. Основным недостатком этих фильтров малая грязеемкость и небольшая длительность фильтрации. Одним из направлений интенсификации работы микрофильтров является применение комбинированных двухслойных фильтров с порами различных размеров, при этом более крупнопористый материал используется в качестве предфильтра. Это может быть материал объемного или мембранного типа с порами размером более 0,5 мкм. Опыт эксплуатации предфильтров объемного типа показал, что их использование ведет к увеличению продолжительности цикла фильтрации без заметного снижения производительности микрофильтра [1, 2]. Результаты изучения влияния предфильтров мембранного типа на длительность цикла фильтрации микрофильтра с размером пор 0,5 мкм приведены ниже.

Размер пор предфильтра, мкм	0,8	1,0	1,5	4,0
Начальная скорость фильтрования микрофильтра, см ³ /см ² ·мин	0,66	0,64	0,67	0,35

Исследования проводили при давлении 0,1 МПа, используя деионизованную воду, фильтрование которой прекращали при снижении производительности микрофильтра в 3 раза. Начальная скорость

фильтрации самих префильтров значительно превышает производительность микрофильтра.

Применение префильтров с размером пор 0,8; 1 и 1,5 мкм в составе комбинированного двухслойного фильтра повышает срок службы микрофильтра на 22,20 и 25% соответственно и практически не оказывает влияния на начальную скорость фильтрации. В то же время при размере пор префильтра 4 мкм начальная скорость фильтрации и срок службы микрофильтра снижаются вдвое, что, вероятно, связано с природой материала микрофильтра и префильтра. Все это говорит о том, что выбор префильтров мембран-

ного типа следует проводить не только по размерам пор и производительности, но и с учетом индивидуального сочетания микрофильтр-префильтр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фильтрующие материалы для микроочистки технических сред/О.В.Казакевич, А.К.Кравцов, Е.Г.Кушнарева и др.— Электронная промышленность, 1980, вып. 8—9, с. 122—124.
2. Жу ж и к о в В.А. Фильтрация: теория и практика разделения суспензий.— М.: Химия, 1980. 400 с.

Статья поступила 11 марта 1982 г.



«ЭЛЕКТРОНИКА-ДОКТОР»

Индивидуальный прибор для определения функций времени и некоторых физиологических функций состояния организма человека.

В режиме часов прибор индицирует часы, минуты, секунды; в режиме календаря — месяц, число, день недели; в режиме микрокардиомонитора — измерение, выделение и заполнение количества неопасных и опасных аритмий, автоматическое включение звуковой сигнализации в момент нарушений сердечного ритма; в режиме пульсометра — изменение частоты пульса, контроль частоты пульса в установленном диапазоне.



«ЭЛЕКТРОНИКА 5-208»

Осуществляют счет и индикацию часов, минут, секунд, дня недели, числа месяца и порядкового номера месяца. Могут работать в режимах будильника и таймера. Особенностью часов является наличие звуковой сигнализации по истечении запрограммированного момента времени (будильник), установленного интервала времени (таймер), а также по истечении каждого часа; имеется люк для замены источника питания потребителем.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 621.315.612.6

А.И.Ермолаева, Н.И.Кошелев, В.З.Петрова

СТЕКЛОВИДНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК
ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ
ЭЛЕМЕНТОВ ИС

Для высокотемпературной изоляции элементов ИС разработан диэлектрик Ст-37, коэффициент линейного термического расширения которого согласован с КТР монокристаллического кремния.

Структуры кремния со стекловидным диэлектриком допускают последующее проведение термических операций, применяемых в планарной технологии изготовления ИС, при температурах до 1200°C.

Формирование стекловидных пленок толщиной от 5 до 500 мкм может осуществляться методом центрифугирования, пленок толщиной от 0,5 до 10 мкм — методом ВЧ магнетронного распыления. Фазовый состав пленок на кремнии, полученных указанными методами, после кристаллизации идентичен составу диэлектрических подложек, изготовленных из монокристаллического материала.

Для предотвращения диффузии компонентов стекловидного материала в кремний используется пленка SiO₂ толщиной 0,4 мкм.

Технические характеристики Ст-37

Коэффициент линейного термического расширения (20—600°C) × 10 ⁻⁷ /град	37
Удельное объемное сопротивление при T=20°C, × 10 ⁶ В/см	10 ¹³
Электрическая прочность при T=20°C, кВ/мм	4
Тангенс угла диэлектрических потерь при T=20°C, f=10 ⁶ Гц, × 10 ⁻⁴	15
Диэлектрическая проницаемость при T=20°C, f=10 ⁶ Гц	8
Влагостойкость (гидролитический класс)	1
Температурный интервал кристаллизации, °C	1180—1220

Материал Ст-37 может быть использован для получения тонких монокристаллических пленок кремния на диэлектрических подложках методом, предусматривающим формирование на исходной монокристаллической пластине кремния ситаллового слоя с последующей механической обработкой* или избирательным анодным электрохимическим травлением кремниевой пластины до требуемой толщины.

Стекловидный диэлектрик может быть использован также для получения структур поликристаллического или аморфного кремния на стекловидных подложках с последующей рекристаллизацией методами графопитаксии и лазерного отжига.

* Гаряинов С.А. Диэлектрическая изоляция элементов интегральных схем.— М.: Советское радио, 1975.— 121 с.

УДК 621.794/795

Д.Н.Гулидов, А.И.Пекарев,
Ю.Д.Чистяков, А.С.УшаковКРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ
ШЛИФОВКА И ПОЛИРОВКА
МОНОКРИСТАЛЛОВ

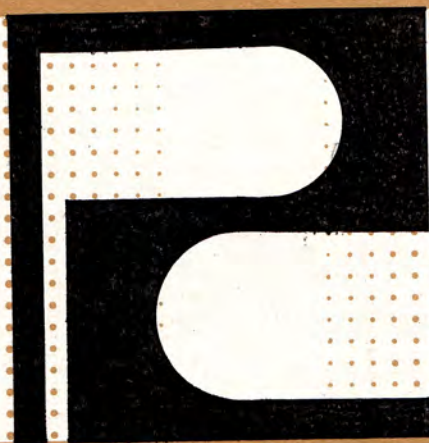
Разработан высокоэффективный способ механической обработки пластин монокристаллов с алмазной кристаллической решеткой, характеризующийся малой глубиной приповерхностной деформации.

Способ основан на использовании азимутальной анизотропии механических свойств монокристаллов указанного типа, что позволяет оптимизировать процесс абразивной обработки поверхности. Шлифовка и полировка производятся по замкнутому контуру наименее дефектообразующих направлений. Так, для обеспечения минимальной глубины нарушений обработка поверхности пластины по плоскости (111) должна производиться по замкнутому шестиугольному контуру направлений <110>. В случае необходимости создать нарушенный приповерхностный слой большей глубины (например, для введения в пластину кремния геттера с нерабочей стороны) или повысить скорость обработки следует шлифовать по шестиугольнику со сторонами <112>. Для пластин с ориентацией поверхности (001) можно выбрать два семейства оптимальных направлений, образующих квадрат.

Различие по глубине нарушенного слоя и скорости удаления материала при шлифовании и механическом полировании для различных семейств направлений составляет для пластин с ориентацией (111) 30—50%, с ориентацией (001) 15—30% (в зависимости от используемого абразива и способа обработки). Так, глубина нарушенного слоя после шлифовки пластины кремния типа КЭС 0,01 свободным абразивом КЗМ5 и обработки по направлениям <110>, <112> и <112> соответственно составляет 8—9; 14—15 и 12—13 мкм, а при произвольной обработке — 9—10 мкм; высота микронеровностей поверхности для перечисленных видов обработки равна 0,12; 0,35; 0,14; 0,14 мкм; скорость съема материала для указанных направлений — 1,1; 2,8 и 1,6 мкм/мин (различие в скоростях съема тем сильнее, чем меньше размер зерна абразива).

Кристаллографическая шлифовка или полировка осуществляется с помощью специального устройства, преобразующего вращательное движение привода станка в поступательное движение кассеты с пластинами по замкнутому многоугольнику относительно неподвижного шлифовальника.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ



В издательстве «Радио и связь»
в 1984 году выйдут книги, распространяемые
только по подписке.

Подписка будет проводиться до 31 декабря 1983 года магазинами и отделами подписных изданий, специализированными книжными магазинами и магазинами-опорными пунктами издательств.

При оформлении подписки индивидуальными покупателями стоимость книги оплачивается полностью.

Заказы библиотек принимают библиотечные коллекторы.

Подписка организаций оформляется при наличии гарантийного письма, в котором должен быть указан срок оплаты заказа (до 31 декабря 1984 года).

Б.А.Кузьмин, А.А.Эйдес, Б.С.Иругов,
А.А.Дорохин

АДАПТИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

12,5 л., ил., 60к.

Рассматриваются принципы построения адаптируемых систем автоматизированного проектирования печатных плат, методы обеспечения универсальности и надежности программных комплексов, организационные проблемы разработки, внедрения и эффективной эксплуатации таких систем.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием печатных плат.

О.В.Бецкий, К.И.Палатов, М.Б.Цейтлин

ПОБОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ СВЧ

Под ред. Н.Д.Девяткова

14 л., ил., 1р.80к.

Исследованы физические механизмы возникновения побочных колебаний в усилителях и генераторах СВЧ, их расчет и методы подавления. Основное внимание уделено анализу таких колебаний, как высшие гармонические и комбинационные составляющие усиливаемого сигнала, паразитные колебания, обусловленные неустойчивостью электронного потока, нерабочие колебания в электродинамических системах, в частности электровакуумных и полупроводниковых приборах СВЧ.

Книга предназначена для научных работников, интересующихся вопросами электроники СВЧ.

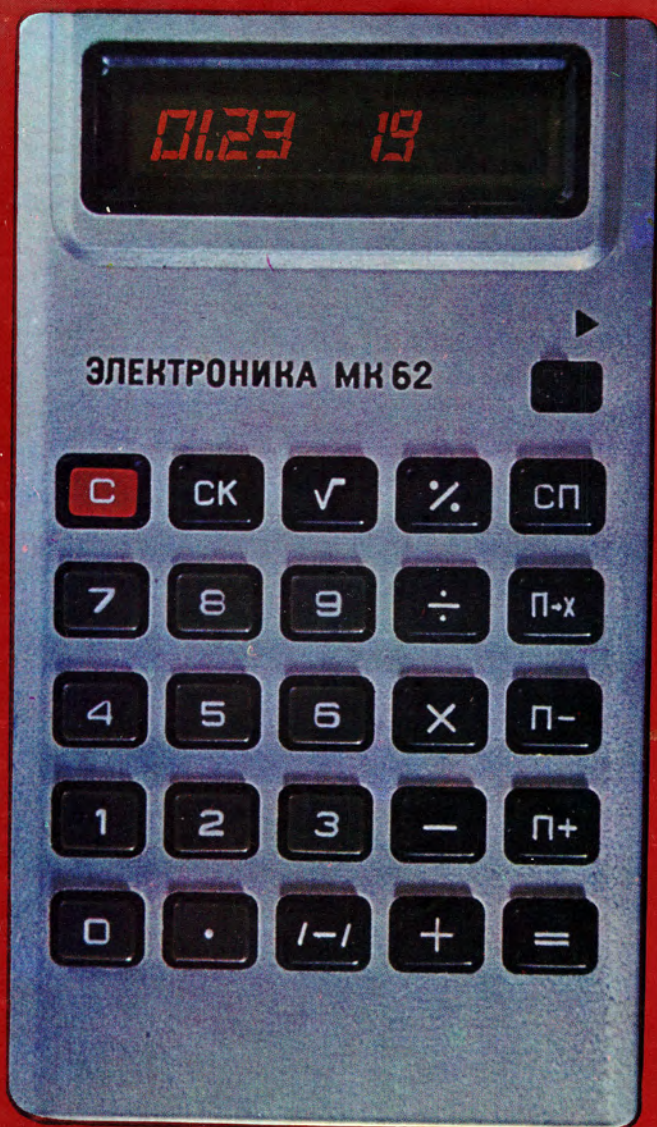
Своевременно оформляйте подписку на эти издания.

МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР «ЭЛЕКТРОНИКА МК-62»

ПОМОЖЕТ УЧАЩИМСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ, ТЕХНИКУМОВ, СЛУЖАЩИМ В ПРОВЕДЕНИИ НЕСЛОЖНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.

Малые габариты (112x65x8 мм), масса (54 г), удобство в пользовании клавиатурой, возможность непрерывной работы от одного комплекта элементов в течение 2000 ч — отличительные особенности этой модели.

Питание осуществляется от двух элементов СЦ32.



Ответственные за выпуск С.И.Баранова, Г.В.Потапова
Художник В.А.Чернецов
Технический редактор Г.М.Корнеева
Корректоры А.В.Смирнова, Л.П.Данченкова
Цветные фото Б.В.Борисевича



Т-16802
Уч.—изд. л.10
Заказ 807

Подписано в печать 18.7.83
Формат 60x90/8
Индекс 3833
Тираж 4480

Объем 7,5 п.л.
37 статей, 3 реф.
Цена 2 руб.90 коп.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ «Электроника»
Москва, 117415, проспект Вернадского, 39

