

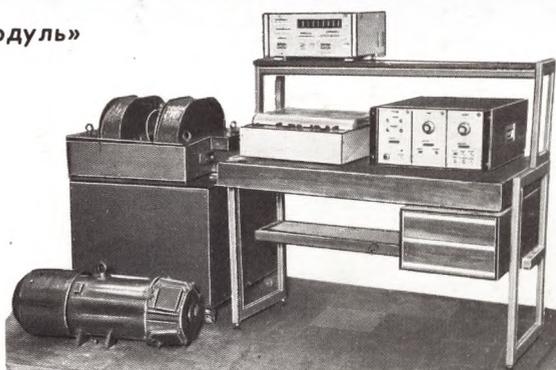


ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

«Мишень-2»

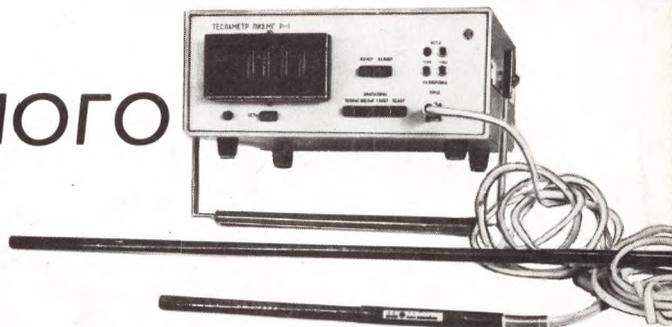


«Модуль»

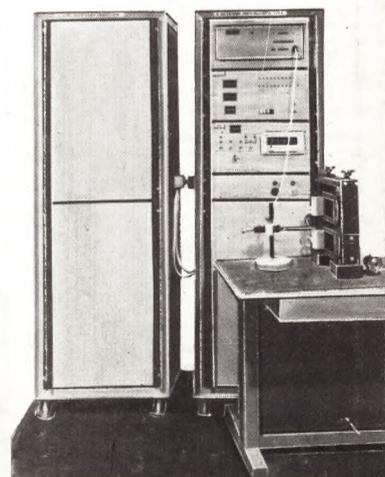


КОМПЛЕКС
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
КОНТРОЛЬНО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
И ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО
КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ МАГНИТНЫХ
СИСТЕМ.

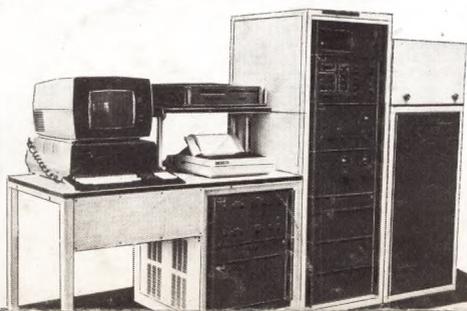
«Маяк-2»

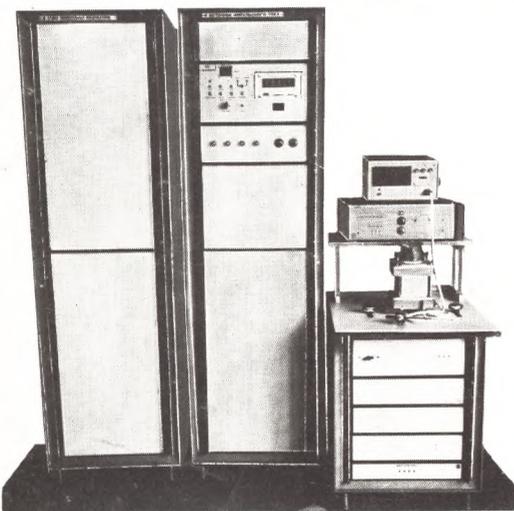


«Мишень-1»

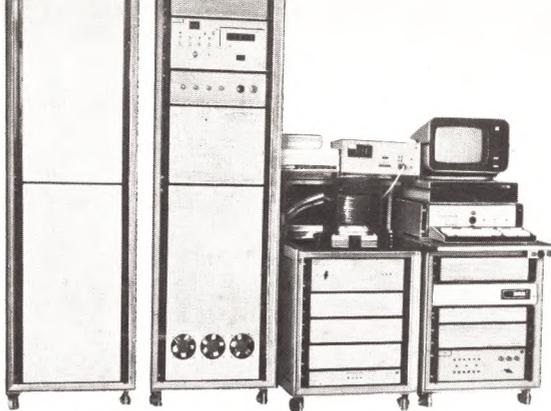


«Мальта-1»



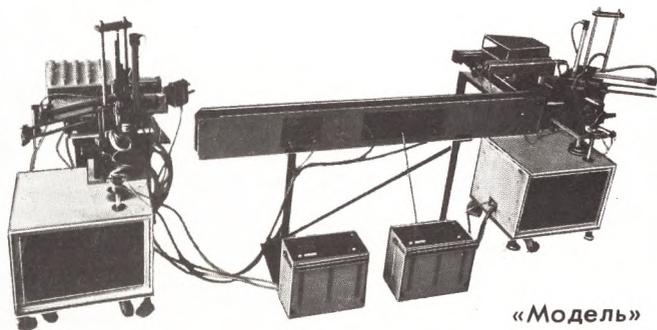


«Мишень»



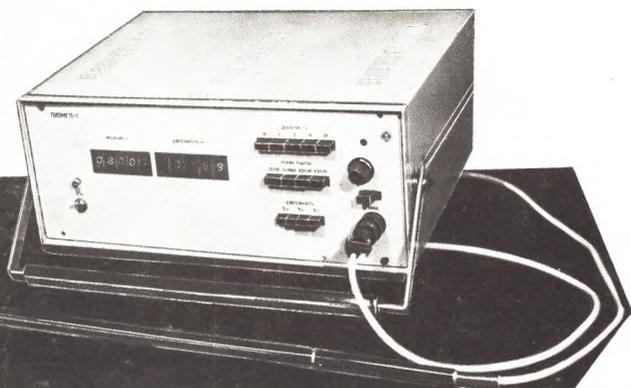
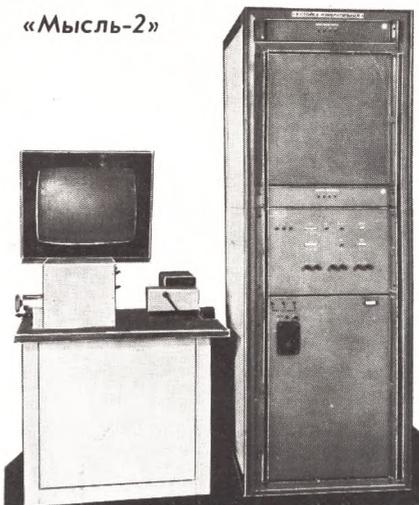
«Модернизация-86»

«Меридиан-2»



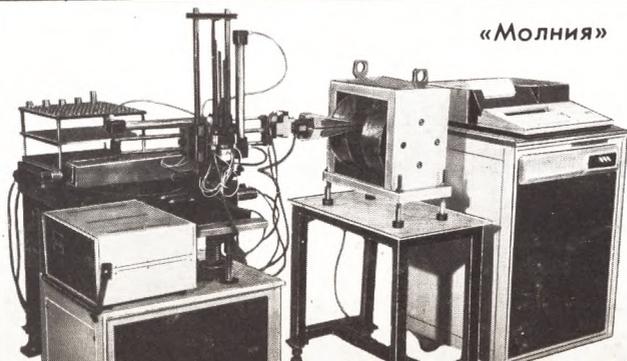
«Модель»

«Мысль-2»



«Меч-2»

«Молния»



«Момент»



Ежемесячный
научно-технический
сборник

МИНИСТЕРСТВО
ЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
СССР

Издается с 1970 г.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

05/1990

В НОМЕРЕ

Главный редактор

Ю.А.Козлов

Редакционная коллегия:

В.А.Афанасьев, А.И.Боровской,
С.С.Булгаков, В.Д.Вернер,
Г.Г.Горбунова (ответственный
секретарь), А.П.Грибачев,
Б.Г.Грибов, Ю.Х.Гукетлев,
Г.Я.Гуськов, Н.Д.Девятков,
Ю.Н.Дьяков, Н.Н.Евтихийев,
В.И.Жильцов, Г.М.Зверев,
В.И.Иванов, Ю.А.Кузнецов,
Ю.Б.Митюшин, А.Р.Назарьян
(зам.главного редактора),
В.И.Никишин, А.Г.Олейников,
Н.С.Самсонов, В.Д.Степанов,
П.М.Стуколов (зам.главного
редактора), В.М.Терехов,
В.С.Турьгин, В.Е.Фетисов,
А.А.Чернышев, А.Т.Яковлев

Научные редакторы: Т.Р.Крылова,
И.В.Кокорева, Л.Н.Михайлова
Выпускающие редакторы:
С.В.Герасименко, Н.И.Кононенко
Технический редактор: Г.М.Корнеева
Художники: В.А.Чернецов, В.Е.Киселев
Цветные фото Б.В.Борисевича
Корректоры: Л.П.Козырева, Н.С.Русецкая

Подписано в печать 25.05.90 г. Т-08940
Формат 60x90/8. Объем: 13 п.л.,
уч.-изд. л. 14,5.
Индекс 3833, 67 статей, 7 реф.
Тираж 4000 экз. Заказ 546. Цена 3 р. 90 к.

Адрес редакции:
117415, Москва, просп. Вернадского, 39.
Телефоны: 432-92-72, 432-92-27.

Применение тонких структур на органических материалах позволит создать новые сверхбыстродействующие элементы ИС с управлением на молекулярном уровне.

Для повышения качества сборочно-монтажных операций и экономии драгоценных металлов при изготовлении ИС предлагается ввести дополнительную операцию химической полировки ковара перед осаждением гальванических покрытий.

Разработанный технологический процесс обратной фотолитографии на основе однослойной маски из фоторезиста ФСН-4ПВ предоставит возможность создавать элементы топологии размером 1,2 мкм в пленке резиста толщиной 2,3 мкм.

Для определения толщины пленок окисла на поверхности кремния, параметров переходного слоя пленка-подложка и выявления топографии окисного слоя, а также для изучения сверхрешеток GaAs-AlAs разработаны новые методы рентгеновской дифрактометрии, основанные на использовании скользящих схем дифракции. Методы предназначены для реализации на серийно выпускаемой аппаратуре. Использование нематических жидких кристаллов позволяет исследовать температурные поля и локализацию дефектов структур ИС (особенно маломощных ИС КМОП-технологии), а также анализировать ИС в корпусах.

Для реактивного ионно-лучевого травления и нанесения пленок разработан ряд технологических источников с холодным катодом. Управление такими параметрами источников, как энергия ионов, плотность тока, состав пучка, однородность обработки используется в зависимости от технологического процесса.

Разработаны микросхемы КН1414УЛ1 и КН1414УЛ2, предназначенные для использования в составе накопителя цифровой информации на магнитных дисках с магнитными головками, имеющими отвод от середины.

Применение микросхемы К503ИЕ3 (двенадцатиразрядного программируемого двоичного счетчика-делителя) позволит создать быстродействующие формователи импульсов произвольной последовательности и упростить построение устройств цифровой автоматики, повысить их надежность, уменьшить габаритные размеры аппаратуры.

Фоточувствительные микросхемы с переносом заряда серии К1200 предназначены для использования в качестве формователей видеосигнала в телевизионных системах. Линейные микросхемы (типа ЦЛ) применяются в сканирующих устройствах или для считывания информации с движущихся объектов. Матричные микросхемы с кадровым переносом (типа ЦМ) предназначены для преобразования двумерных изображений в электрический сигнал.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ

ВУФ очистка поверхности арсенида галлия от полимеров. <i>Леонов Ю. С., Меншутин Л. Н., Рыжиков И. А., Федотов С. М.</i>	3
Перспективы использования тонких органических пленок для создания изделий электронной техники. <i>Бараненков И. В.</i>	5
Диэлектрические изолирующие слои на основе полимеров. <i>Зятков И. П., Гриднев А. М.</i>	8
Обратная фотолитография на основе фоторезиста ФСН-4ПВ. <i>Гайдым Л. И., Маневич М. Л., Фокин Е. П.</i>	9
Повышение качества сборки и монтажа интегральных схем. <i>Ануфриев Л. П., Емельянов В. А., Кушнер Л. К., Ланин В. Л., Хмыль А. А.</i>	11
"АИСТ" — САПР технологических процессов изготовления деталей. <i>Ермолаева И. Н., Климович Е. И., Король В. Я., Романовская Л. Т.</i>	13
Способ регенерации металлических деталей, спаянных со стеклом. <i>Сергеев Ю. С., Коленко Е. А.</i>	13
Упрочнение технологического инструмента лазерным излучением. <i>Павлов С. Г., Филиппов В. К.</i>	14
Применение лазерной технологии при сборке ЭВП. <i>Ширяев В. Т., Сытник Б. Ф.</i>	14

ОБОРУДОВАНИЕ

Специальное технологическое

Источники ионов для реактивного ионно-лучевого травления и нанесения пленок. <i>Маишев Ю. П.</i>	15
Обеспечение помехозащищенности технологического оборудования. <i>Борейко М. Р., Райхлина Л. А., Данилович П. А., Вискушненко А. А., Смирнов А. А.</i>	18
Термическая система пирогенного окисления СОТ.ППЭ-3/100. <i>Сахаров Ю. Н., Сухарев С. О.</i>	21
Универсальная система газонапуска в технологическом оборудовании. <i>Рябов И. А., Кудрявцев В. Г.</i>	21
Повышение производительности вакуумной печи периодического действия. <i>Федоров М. И., Дорохин В. Н., Ульянов В. А.</i>	23
Автоматизированное оборудование для межоперационного контроля постоянных магнитов. <i>Силантьев Н. Н., Тугарин В. Г., Туликин В. Д.</i>	23
Электропитание специального технологического оборудования. <i>Смирнов А. А., Лузанов Г. В., Воронов Е. Д.</i>	29
Оборудование сборки высокоразрешающих проекционных объективов для фотолитографии. <i>Власенко И. Н., Счастливая Л. И., Мощеников В. Ю., Шестаков К. М.</i>	30
Установка для лазерного геттерирования дефектов полупроводниковых пластин ЭМ-227. <i>Вертинский Ю. Ф., Гронский С. И., Корнилов А. В., Погорелов Г. В., Ионова С. А.</i>	31
Установка вакуумного моллирования НХ-157. <i>Марков А. И., Перепица Н. Ф., Петруша С. В., Чеботарь А. И.</i>	32
Виброзащитные устройства для прецизионного технологического оборудования в производстве БИС и СБИС. <i>Юрьев Г. С., Бахтерев Б. К., Лазарев В. И.</i>	33

Контрольно-измерительная аппаратура

Неразрушающий контроль материалов и изделий прецизионного электронного машиностроения. <i>Кузьмичев Г. П., Григорьев А. М., Клецков Е. Л.</i>	36
Поляризационно-оптический метод определения качества полупроводниковых структур. <i>Гамарц Е. М., Добромыслов П. А.</i>	38
Оптическое устройство для автоматического лазерного эллипсометра прямого фотометрирования. <i>Смирнов И. К.</i>	43
Контроль формы поверхности полупроводниковых пластин. <i>Шестаков К. М., Пискунов А. Е., Жукович П. М.</i>	44
Обеспечение метрологических характеристик установки ЭМ-6019. <i>Шестаков К. М., Пискунов А. Е., Жукович П. М.</i>	46
Контроль параметров процессов сборки ИС. <i>Акимов В. Н., Жуков В. В., Илюкевич А. С., Рыдзевский А. П.</i>	47
Автоматизированная установка для контроля температурной стабильности кольцевых магнитов. <i>Голубев В. Ф., Киселев В. А., Тугарин В. Г., Лысенко В. И., Семенов В. З.</i>	48

НАДЕЖНОСТЬ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Новые методы рентгеновской дифрактометрии и топографии в исследовании поверхностных слоев монокристаллов. <i>Имамов Р. М., Новиков Д. В., Щелоков А. Н.</i>	49
Установка для исследования фотоинжекционных параметров СППЗУ. <i>Герасименко В. С., Посудиевский А. Ю., Кролевец Н. М.</i>	52
Использование нематических жидких кристаллов для обнаружения локального перегрева ИС. <i>Гладких А. В., Клименко А. С., Мошель Н. В.</i>	53
Метод оценки качества диэлектрических слоев на поверхности ИС операционных усилителей. <i>Шафер В. И., Глазкова С. В.</i>	54
Приставки к микроскопам для анализа интегральных схем методом нематических жидких кристаллов. <i>Суржина З. Я., Клименко А. С., Мошель Н. В.</i>	57
Определение примесных глубоких уровней в полупроводниках с помощью РЭМ. <i>Амброзевич А. С., Булярский С. В., Назаров М. В., Бутылкина Н. А., Рыжиков И. В., Лукьянов А. Е.</i>	58
Применение голографической интерферометрии для отработки технологии посадки кристаллов СБИС на эвтектику. <i>Климовских В. В., Клименко А. С., Гринченко Н. Т., Трофимова С. С.</i>	60
Использование метода ВИМС для контроля качества обработки кремниевых пластин. <i>Поскутов А. И., Елинсон В. М., Холева Л. Д., Симакина Н. В., Слепцов В. В.</i>	62
Спектроскопия электроотражения как метод контроля полупроводниковых структур. <i>Королев В. Л., Трезубов С. И., Шушеначев Ю. А., Захаров А. А.</i>	63
Применение упругого рассеяния света для контроля качества поверхности эпитаксиальных структур арсенида галлия. <i>Белоусова Ю. Е., Виданов А. П., Войналович А. В., Жаворонков Н. В., Потешнова Л. И., Севшников Ю. Н., Хохлова Н. М.</i>	66

**ИЗДЕЛИЯ
ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКИ**

Интегральные микросхемы

Интегральные микросхемы КР1533КП11А, КР1533КП14А. <i>Прибыльский А. В., Сухопаров А. И., Якубовский С. В., Ельцова С. А.</i>	76
Интегральная микросхема КР1533ЛА4	78
Интегральная микросхема КР1533КП19	78
Интегральная микросхема КР1533ЛИ1	79
Интегральная микросхема КР1533КП17	80
Интегральная микросхема КН1414УЛ1	81
Интегральная микросхема КА1414УЛ2	82
Двенадцатирядный программируемый двоичный счетчик-делитель К503ИЕЗ. <i>Гурин В. Я., Зеболов Г. В., Колчин Г. С., Сопов О. В., Трубецков А. К.</i>	83
Фоточувствительные микросхемы с переносом заряда серии К1200. <i>Василевская Л. М., Марков А. Н., Нарышкин С. Н., Павлова З. В., Пригожин Г. Я.</i>	86
Линейная фоточувствительная микросхема с зарядовой связью типа К1200ЦЛ7. <i>Костюков Е. В., Огородников А. Г., Турилина Л. С.</i>	87
Линейная фоточувствительная микросхема с зарядовой связью типа К1200ЦЛ5. <i>Костюков Е. В., Павлова З. В., Турилина Л. С., Шитова М. А.</i>	87
Интегральная микросхема К1124ПУ1 — многоуровневый преобразователь для ПЗС. <i>Волков И. Н., Володин В. А., Горелов И. В., Настюкова Н. К.</i>	88
Интегральная микросхема К1124АП1 — формирователь импульсов для телекамер на основе ФПЗС. <i>Волков И. Н., Володин В. А., Становская Е. В.</i>	88
Линейная фоточувствительная микросхема с зарядовой связью типа К1200ЦЛ6. <i>Костюков Е. В., Огородников А. Г., Павлова З. В., Турилина Л. С., Шитова М. А.</i>	89
Матричная фоточувствительная микросхема с зарядовой связью типа К1200ЦМ14. <i>Бахвалов С. Б., Васильева Л. А., Костюков Е. В.</i>	89
Фоточувствительная микросхема типа 1200ЦМ8. <i>Алексеевко Г. Д., Бездетков С. И., Скрылев А. С.</i>	89
Серия бескорпусных фоточувствительных микросхем типа Б1200ЦМ3 для гибридных сборок. <i>Ваняшина Е. В., Вето А. В., Скрылев А. С.</i>	90

Полупроводниковые приборы

Кремниевый мощный высокочастотный линейный $n-p-n$ -транзистор типа КТ9131А. <i>Бобровников А. Ф., Гантман Е. И., Мазель Е. З., Кузнецов Ю. А., Перельман Б. Л.</i>	91
Кремниевый биполярный транзистор усилительный СВЧ малошумящий $n-p-n$ -типа КТ682А-2, КТ682Б-2. <i>Андрюхов И. П., Давыдова Т. И., Кузнецов Ю. А., Перельман Б. Л.</i>	92
Арсенид-галлиевый генераторный СВЧ лавинно-пролетный с барьером Шотки диод типа АА730А — АА730И. <i>Вальд-Перлов В. М., Гантман Е. И., Кузнецов Ю. А., Перельман Б. Л., Сибирцев Л. С., Фомин Ю. В.</i>	93
Способ снижения контактного теплового сопротивления корпус-теплоотвод мощных полупроводниковых приборов. <i>Полехов В. В., Лебедев С. Л., Румянцев А. Н.</i>	94

Фотоэлектронные приборы

Новый ФЭУ для регистрации световых сигналов в ближней ИК области спектра излучения. <i>Бегучев В. П., Мечетин А. М., Гордиенко Ю. Н., Ботнев С. А., Белянченко С. А., Смолицкий В. А., Дукор С. Г.</i>	97
Новый фотоприемник для регистрации сверхслабого светового излучения в ближней ИК области спектра излучения. <i>Бегучев В. П., Мечетин А. М., Дукор С. Г., Смолицкий В. А.</i>	97

Устройства отображения информации

Видикон с кремниевой мишенью ЛИ479. <i>Левина Е. Е., Петров И. Н.</i>	98
Телевизионная увеличительная система. <i>Ромашин В. М., Леонтьев Т. Ф.</i>	99

Технология

Физические методы обработки ИЭТ. <i>Кузьмичев Г. П., Григорьев А. М., Клецков Е. Л.</i>	100
---	-----

Контрольно-измерительная аппаратура

Автоматизированная модульная система контроля параметров аналоговых и импульсных микросхем телевизионной и видеотехники. <i>Ларионова Г. И., Маслова В. А., Ерлашов В. П.</i>	102
Система автоматического контроля микросхем аналоговых и аналого-цифровых видеопроцессов и процессов сигналов цветности. <i>Кофман С. Л.</i>	103

РЕКЛАМА

Ночная зрительная трубка с лазерной подсветкой. <i>Гринкевич А. В., Касауров Б. С., Князева С. Н., Медведев А. В.</i>	74
Лазерный измеритель скорости и дальности	85
Встраиваемая высоконадежная микроЭВМ для жестких условий эксплуатации	95
Комплекс средств технического обслуживания микроЭВМ МД.1	96
Комплекс оборудования для обеспечения промышленной чистоты	101
Промышленный робот "Электроника РС.Э-0,05-009"	3-я стр. обл.

УДК 535.89.31

ВУФ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ОТ ПОЛИМЕРОВ

канд. физ.-мат. наук Ю.С.Леонов,
Л.Н.Меншутин, И.А.Рыжиков, С.М.Федотов

Для формирования элементов ИС на подложках из арсенида галлия рекомендуется фототравление резистов и углерода на воздухе ВУФ излучением (115—200 нм).

Для очистки поверхностей неорганических материалов от полимеров может быть использовано фототравление ВУФ излучением в кислородсодержащей среде. Процесс происходит в результате взаимодействия атомов полимеров с атомами кислорода, находящимися под действием этого излучения в возбужденных состояниях, а также с молекулярным кислородом и озоном. Скорости процессов зависят от температуры. В работе [1] представлено количественное описание ВУФ фототравления кислорода при взаимодействии с полимерами и приведена библиография по данному вопросу. Акцент сделан на исследования фототравления электронных резистов на основе ПММА. Теоретические представления могут быть применены и для рассмотрения фототравления других полимеров, в том числе тех, которые используются в микроэлектронике (при этом изменяются соответствующие константы фотохимических реакций). После фототравления важно определить, насколько очищена поверхность подложек от углерода, являющегося основой полимеров. В связи с этим следует отметить, что фототравление имеет место для полимеров, в которых происходит главным образом деструкция связей между атомами (позитивные полимеры). Для другого типа полимеров, в которых преобладает сшивка связей, фототравления не происходит (например, в случае электронного негативного резиста типа ЭЛН-200 [2]).

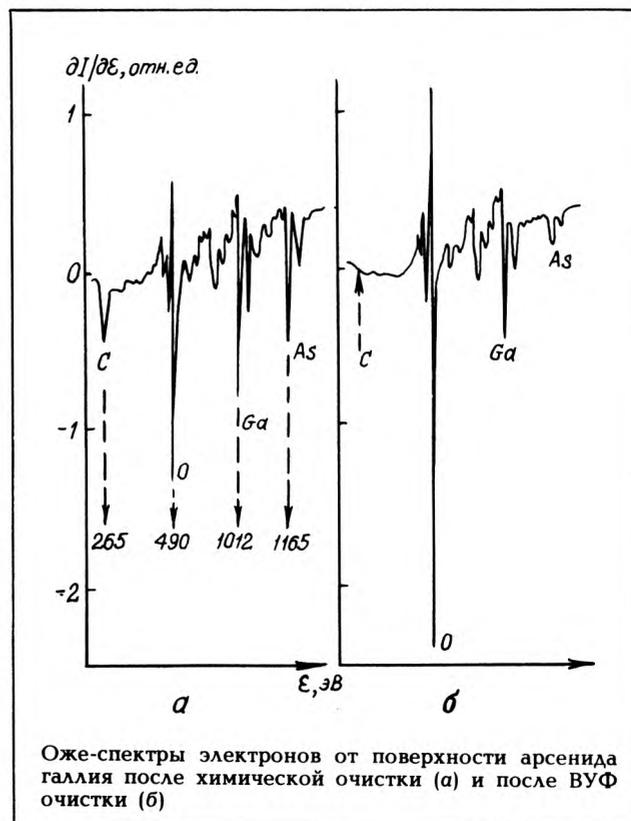
В работе [3] ВУФ фототравление полимеров осуществлено с применением дейтериевой разрядной лампы с окном из фторида магния. Интенсивность излучения в вакууме на выходе из окна лампы в диапазоне длин волн 115—200 нм составляла 20 мВт/см². Из-за значительного поглощения излучения в кислороде воздуха спектр существенно изменяется, и интенсивность уменьшается. Область спектра около 160 нм поглощается вблизи окна в слое не более 100 мкм. Область 115—150 нм при зазорах около 1 мм между окном и образцом ослабляется в среднем в несколько раз [4]. Генерация озона вблизи окна способствует его защите и очистке от продуктов разложения полимеров, гарантируя образование летучих соединений.

Исследовалось ВУФ травление и очистка подложек из арсенида галлия от слоев полимеров, используемых в микроэлектронике (электронных резистов, фоторезистов и полиимида). Для сравнения проведена ВУФ очистка подложек и от слоев углерода, которая характеризуется окислением поверхностного слоя подложки, что выражается в уменьшении отношения содержания мышьяка к галлию и формировании оксида галлия.

ВУФ очистка подложек осуществлялась, как в работе [3], на воздухе при зазорах между окном лампы и подложками около 1 мм. Температура подложек составляла около 200°С. Результаты ВУФ очистки сопоставлялись с химической, которой подвергались подложки после традиционной оптико-механической обработки. Для химической обработки был использован травитель известного состава (H₂SO₄:H₂O₂:H₂O в отношениях 4:1:1). После травления образцы промывали в деионизованной воде и сушили на centrifуге в инертной среде.

При измерении спектров температура подложек составляла 200°С, что было необходимо для удаления в вакууме нескольких монослоев углеводородных соединений [4], которые адсорбировались на очищенную поверхность подложек за время их транспортировки через шлюз в вакуумную камеру.

Эффективность очистки поверхности от углерода определялась по оже-спектрам электронов на установке 09 ИОС-3. Остаточное давление в вакуумной камере составляло около 10⁻⁷ Па; напряжение, ускоряющее электроны, — 3 кВ; ток — 5 мА; диаметр пучка электронов на поверхности образцов — около 10 мкм; глубина слоя, на которой измерялся спектр оже-электронов, составляла не более 5 нм. Измеряемые прибором сигналы при определенных энергиях ϵ пропорциональны производным интенсивностям линий $dI/d\epsilon$, со-



ответствующих различным атомам. Шкала по ϵ для компактности записи не линейна. Количественной мерой состава атомов на поверхности приняты отношения интенсивностей $\Delta I/\Delta \epsilon$ для С, As, Ga и O.

На рисунке представлены оже-спектры после химической очистки (а) и ВУФ очистки полимеров (б). Последняя осуществлялась в течение 10 мин без предварительного нанесения полимеров. Минимальная величина отношения интенсивностей линий С к Ga (0,003) определялась погрешностью измерений, которая обусловлена уровнем шумов спектрометра. Измеренные отношения интенсивностей линий в спектрах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид очистки	Отношение интенсивностей линий		
	С к Ga	As к Ga	O к Ga
Химическая	0,3	0,65	1,6
ВУФ	0,003	0,15	2,7

При уменьшении экспозиции до 1 мин отношение концентрации С к Ga уменьшается по сравнению с исходной величиной более чем на порядок. При увеличении времени экспозиции до 2 ч по сравнению со спектром, аналогичным представленному на рисунке б, но с уменьшенным содержанием As (отношение интенсивностей линий As к Ga — не более 0,05, O к Ga — 4,5).

Эллипсометрические измерения позволили определить толщину слоя, в котором произошло окисление, от состояния, характеризующегося спектром на рисунке а, до состояния при отношении содержания O к Ga, равным 4,5. Толщина такого слоя составляла около 12 ± 3 нм.

Процесс очистки подложек от полимеров состоял в их фототравлении (толщина полимеров составляла около 1 мкм) и экспозиции подложки после снятия полимеров в течение 10 мин. Полученные из измерений оже-спектров данные сопоставлялись с данными ВУФ очистки без предварительного нанесения полимеров. В работе были использованы следующие полимеры: электронные резисты на основе ПММА-МАК; фоторезисты AZ-4110 и ФП-051; лак АД-9103 и полиимид. Полимеризация АД-9103 в полиимид осуществлена при температурах около 350°C в течение 30 мин. Скорости фототравления и данные об очистке для каждого типа полимеров различались незначительно (не более 30%). При температурах $170\text{--}200^\circ\text{C}$ скорости фототравления составляли: для ПММА — 1 мкм/мин, для AZ-4110 и полиимида — в пределах 0,05–0,07 мкм/с. Результаты измерений оже-спектров для ПММА и полиимида идентичны представленным на рисунке б. В случае же AZ-4110 и ФП-051 поверхность подложек оказалась сильно загрязненной углеродом. Даже визуально на поверхности обнаруживаются темные пятна после осаждения углерода и его соединений.

В табл. 2 представлены результаты измерения спектров после ВУФ травления и очистки подложек из арсенида галлия от различных полимеров. Линии галлия и мышьяка в спектре на уровне шумов не идентифицируются. Поэтому отношение As к Ga для AZ-4110 дано прочерком. Для сравнения была проведена очистка от комбинаций полимеров, а также слоев углерода толщиной 30 нм, напыленных на подложки. Время фототравления такого слоя углерода составляло 2 мин.

После ВУФ травления и очистки	Отношение интенсивностей линий	
	С к O	As к Ga
ПММА	0,003	0,15
Полиимид	0,003	0,18
AZ-4110	3,25	—
AZ-4110 на ПММА	0,003	0,18
AZ-4110 на полиимиде	0,003	0,14
Углерод	0,003	0,19

Для всех материалов, кроме фоторезиста, отношение интенсивностей линий O к Ga составляло $2,7 \pm 0,5$. Очистки подложек от фоторезистов не происходило. Однако в случае применения двухслойных масок с верхним слоем из фоторезистов происходило удаление таких слоев с очисткой поверхности от углерода. Данные по AZ-4110 и углероду существенно различаются. Это указывает на то, что углерод после фототравления фоторезистов находится на поверхности подложек в связанном состоянии с продуктами, образующимися при ВУФ деструкции полимера.

Таким образом, ВУФ фототравление и очистка углеродсодержащих соединений эффективно осуществляется на воздухе излучением дейтериевой разрядной лампы [3] с окном из фторида магния. Для фоторезистов очистки не происходит, но задача решается за счет использования двухслойной маски с верхним слоем из фоторезиста. Представленный процесс может быть рекомендован для очистки поверхности при эпитаксиальном выращивании специальных структур на основе арсенида галлия.

Авторы признательны В. С. Гребенькову и А. В. Митрофанову за помощь в работе и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- Махвиладзе Т.М., Пекарчук С.Б. Численное исследование кинетики фотолитизации кислорода в процессах ВУФ литографии.— Труды ИОФ АН, 1989, т. 14, с. 53–66.
- Бокков Ю.С. Фото-, электро- и рентгенорезисты.— М.: Радио и связь, 1982.— 155 с.
- Источник ВУФ излучения для фотохимических реакций/В.С.Гребеньков, Ю.С.Леонов, А.В.Митрофанов, С.М.Федотов.— Электронная промышленность, 1989, вып. 8, с. 79–80.
- Зайдель А.Н., Шредер Е.Я. Спектроскопия вакуумного ультрафиолета.— М.: Наука, 1967.— 472 с.

Статья поступила 24 января 1990 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОНКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

канд.хим.наук, ст.науч.сотр. И.В.Бараненков

По оценкам специалистов, в течение ближайших 30–40 лет произойдет снижение размеров переключательных элементов логических цепей до молекулярного уровня, т.е. до величины 2–10 нм. Очевидно, что кремний, арсенид галлия и другие традиционные полупроводники уже не смогут служить материалом для таких приборов — они должны будут состоять из химических фрагментов, структура которых пригодна для переключения на молекулярном уровне. Вместе с тем существенно изменится и роль химии в достижениях электроники: успехи химиков в значительной степени определяют судьбу новой технологии создания интегральных схем.

С развитием электронного материаловедения традиционных полупроводников все в большей степени выявляются ограничения, накладываемые фундаментальными физическими законами на быстрдействие и степень интеграции, достижимые при использовании этих материалов. Переход от кремния к арсениду галлия позволяет увеличить по крайней мере на порядок быстрдействие и сложность полупроводниковых устройств. Однако и их разработка осложняется ограничениями, связанными как с фундаментальными законами физики, так и с возможностями технологии изготовления: Все это говорит о непригодности традиционных материалов для создания новых поколений компьютеров, использующих элементы искусственного интеллекта. Поэтому все больший интерес вызывают принципы построения компьютерных систем на основе материалов с совершенно новыми свойствами.

Возможно, на смену арсениду галлия придет молекулярная электроника — область микроэлектроники, в которой будут системно использоваться свойства органических соединений [1]. Логические функции в компьютерах, создаваемых на основе молекулярной электроники, будут выполнять отдельные органические молекулы, что позволит увеличить быстрдействие подобных устройств почти на три порядка.

Как известно, число синтезированных органических веществ уже превысило пять миллионов, можно утверждать поэтому, что перспективы использования органических соединений в электронике практически безграничны. Эти материалы обладают гораздо большей чувствительностью (т.е. изменчивостью своих свойств), чем неорганические, по отношению к действию температуры, давления и т.п. и могут быть, таким образом, положены в основу создания различных преобразователей. Однако использование органических материалов и даже отдельных молекул в процессах переработки информации возможно только при условии проведения фундаментальных исследований в области синтеза новых молекул, способных сохранять, передавать и перерабатывать информацию, а также методов организации молекул в супрамолекулярные комплексы.

В этой концепции микроэлектроники можно выделить два направления, отличающихся своими подходами к проблеме создания устройств молекулярной

электроники. Первое — разработка приборов, работающих по принципу изделий дискретной электроники, но выполненных с применением элементов молекулярного дизайна. Второе строится на принципах применения свойств молекулярных фрагментов с внутренними связями.

Первое направление базируется на использовании свойств так называемых "бистабильных" молекул, способных при определенном воздействии обратимо изменять свою структуру. Принцип действия логических элементов с такими молекулами основан на использовании закономерностей переноса энергии и зарядов в квазиодномерных системах, таких как полиацетилен или полидиацетилен [2]. Эти полимеры с системой сопряжения позволяют связать логические переключатели электрическими цепями.

Открытие электропроводящих полимерных комплексов вызвало развитие нового направления на границе химии высокомолекулярных соединений, физики и химии твердого тела. Исследования в этом направлении, несомненно, имеют большие перспективы.

Передача информации в полимерах с системой сопряжения осуществляется потоками электронов или солитонов. Последние являются топологическими узлами π -электронной системы, т.е. доменными стенками на пути альтернирования кратных связей и, вследствие вырожденности основного состояния электропроводящих полимеров, могут свободно перемещаться вдоль их цепи сопряжения, как волна плотности π -электронов, со скоростью, близкой к скорости звука. Принцип передачи информации посредством потока солитонов проиллюстрирован на рис. 1 [3]. Нетрудно заметить, что под воздействием изменений, которые произошли в

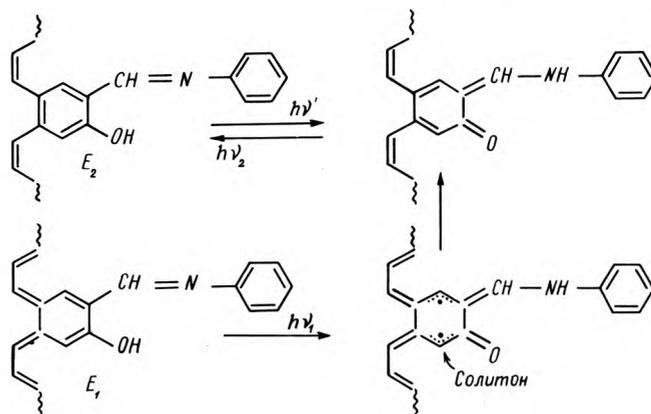


Рис. 1. Молекулярный логический элемент

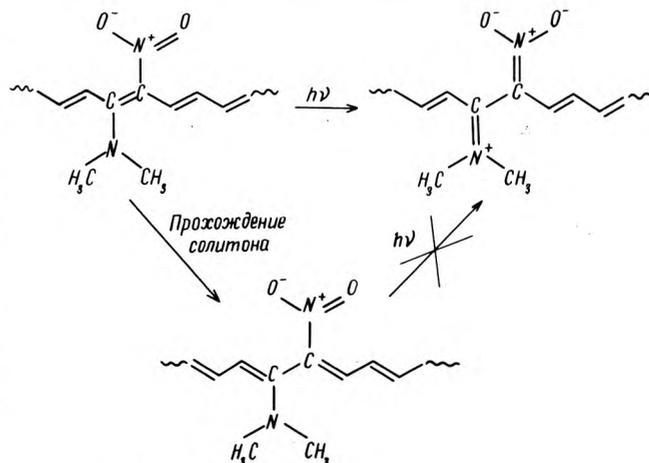


Рис. 2. Молекулярный детектор солитонов

структуре логического элемента, роль которого в данном случае выполняет производное салицилиденанилина, изменилось основное состояние полимера с системой сопряжения, что сопровождается перемещением солитонного потока, т. е. изменением в порядке альтернирования кратных связей, вдоль цепи сопряжения. На рис. 2 и 3 показаны аналогичные схемы, поясняющие принципы создания молекулярных регистрирующих устройств и усилителей [3]. В представленном на рис. 2 молекулярном фрагменте при прохождении солитона фотоактивационный процесс становится невозможным. Факт прохождения солитона можно установить по изменению спектра поглощения олефина, содержащего указанные хромофорные группы. Из рис. 3 видно, что после фотоактивации хромофорных групп (б) прохождение солитона вызывает перестройку внутренней структуры молекулы; следствием этого является генерация двух солитонов (в).

Однако для осуществления логических операций на определенном молекулярном уровне, т. е. для получения возможности проводить адресацию, необходимо не только обеспечить прямую связь между элементами, но и создать определенную систему "ключей" для управления функциональными единицами. Такая система может быть разработана на базе солитонных переключателей или вентилях с использованием продвижения электронов по молекулярным цепям, т. е. туннелирования электронов через неширокие периодические решетки [1, 3]. В соответствии с механизмом туннелирования электрон может проходить сквозь периодическую молекулярную решетку только в том случае, если его энергия соответствует величине каждого энергетического барьера внутри решетки. На рис. 4 точками между барьерами показаны псевдостационарные энергетические состояния (а). Электроны свободно проходят сквозь систему потенциальных барьеров, когда их энергия совпадает с энергией псевдостационарного уровня (б) [1, 3]. Это полностью подтверждается точными расчетами на базе стандартных квантовых методов в математических моделях туннелирования электронов через определенный набор ступенчатых потенциалов.

Переключение в подобных структурах будет осуществляться в том случае, если высота барьера или глубина ямы смогут контролироваться внешними факторами, вызывающими, например, перемещение положительного или отрицательного заряда внутри молекулярного фрагмента или переключение потока туннелирующих электронов путем смещения некоторых псевдоэнергетических барьеров. На рис. 5 показан "молекулярный" вентиль и его полупроводниковый аналог [3]. Периодический потенциал формируется четвертичными атомами азота, входящими в качестве структурных фрагментов в производные нафталина, которые связаны между собой диазогруппами. Две из этих четырех контрольных групп могут управляться потоками заряда через цепочки $(CH)_x$ путем нейтрализации положительного заряда.

Создав в контрольных группах цепи сопряжения разной длины, можно вызывать смещение положительного заряда, воздействуя на систему фотонами разных энергий и изменяя таким образом саму систему потенциальных барьеров. С другой стороны, и электрону, проходящему сквозь туннель, можно с помощью лазера, имеющего соответствующую частоту излучения, придать необходимую энергию, так что ее величина будет совпадать с величиной псевдоэнергетического барьера и обеспечит беспрепятственное туннелирование электрона сквозь барьер.

На основе биохимических соединений уже разработаны базовые логические элементы, являющиеся состав-

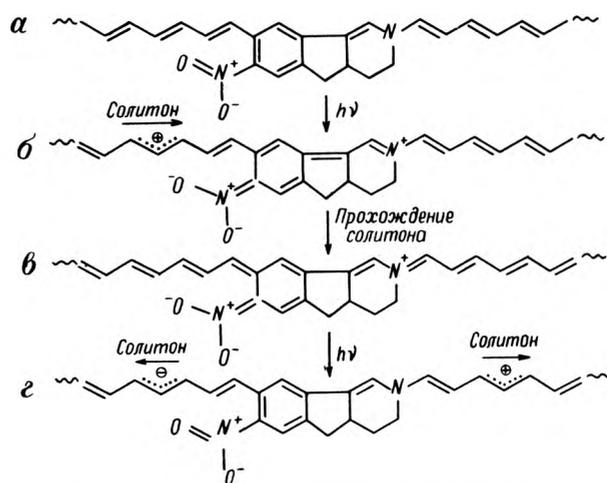


Рис. 3. Молекулярный усилитель солитонов

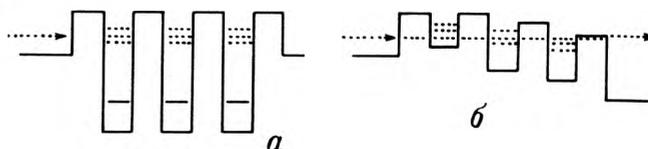


Рис. 4. Туннелирование электрона сквозь периодическую молекулярную решетку

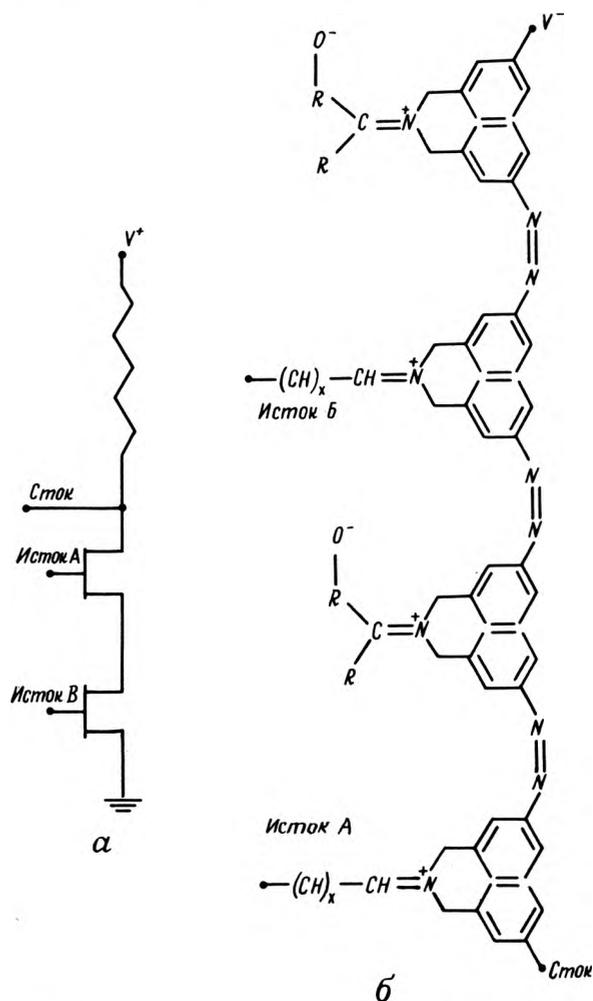


Рис. 5. Логический вентиль NAND (а) и его молекулярный аналог (б)

ными частями компьютерных систем. Размеры структуры молекулярного вентиля составляют менее одной сотой размера наименьшего теоретически возможного аналогичного полупроводникового вентиля, и, таким образом, в 1 см^3 можно разместить до 10^{18} вентиля [1].

Следует подчеркнуть, что ориентация молекулярного компьютера должна строго соответствовать конфигурации оптических коммуникаций, так чтобы последние были сфокусированы на соответствующие входные и выходные молекулярные структуры. Единственный путь достижения такой ориентации — использование самоорганизующегося химического процесса, на чем и базируется второе направление молекулярной электроники. В этом отношении большие потенциальные возможности открываются при создании переключаемых логических элементов в биологических системах, обладающих такими свойствами, как самоорганизация и самосборка, самовоспроизводимость и способность к регенерации, т.е. в ходе синтеза в этих системах добавочные звенья конструируемой молекулы автоматически прикрепляются в нужных местах. Конечный продукт каждой стадии химического процесса синтеза будет автоматически самоорганизовываться так, чтобы управлять ходом последующих операций. Таким образом, форма и размеры микросборки определяются не точностью соблюдения технологических режимов, а лишь свойствами исходных молекул. Такие системы максимально эффективно обеспечивают возможность параллельной обработки информации и ее хранения не в виде отдельных символов, а в виде целых образов, что намного ускоряет ее переработку.

Уже разработан ряд технологических методов, которые с успехом могли бы быть использованы для создания трехмерных молекулярных компьютеров. Их микросборка может быть, например, осуществлена химическим осаждением из газовой фазы; биотехнологическим синтезом; химическим синтезом по методу Меррифилда или химической модификацией поверхности. В частности, метод Меррифилда в полипептидном синтезе является одной из наиболее успешных технологий в биохимии. Сейчас это стандартный метод получения полипептидных цепочек. Такие цепочки могут включать до сотни аминокислотных остатков, связанных друг с другом с высокой селективностью. Суть процесса сводится к следующему. Вначале проводится иммобилизация первой аминокислоты на полимерную матрицу (после проведения синтеза эта связь разрушается). Затем, используя систему автоматически регулируемых клапанов, попеременно подают в реакционную смесь различные реагенты и растворы, содержащие необходимые аминокислоты, которые вступают во взаимодействие с первой кислотой. В ходе определенной последовательности химических превращений, предварительно смоделированных на ЭВМ, к базовой молекуле добавляются все новые и новые звенья и таким образом создается точная копия прототипа, описание которого хранится в памяти ЭВМ.

Молекулярные устройства могут быть получены аналогичным способом, за исключением того, что в различных участках планарной подложки формируются регионы разного типа, т.е. проводники, изоляторы и компоненты, которые станут активными молекулярными устройствами. Иммобилизация первичных молекул на подложке может основываться на свойстве ряда элементов образовывать прочные связи друг с другом, как, например, в парах Au-S, Pt-O или Si-N. С использованием образования подобных связей осуществляется и электрический контакт с молекулой.

Среди способов формирования ориентированных молекулярных слоев следует в первую очередь назвать способ их нанесения, получивший название метода

Лэнгмюра-Блоджетт [4]. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт уже находят применение в качестве электро- и УФ резистов, подзатворных диэлектриков в МОП-транзисторах на арсениде галлия и др. В таблице перечислены новые возможные области применения пленок Лэнгмюра-Блоджетт и преимущества, которые они представляют по сравнению с традиционными материалами.

Применение пленок Лэнгмюра-Блоджетт в молекулярных устройствах

Область применения молекулярных слоев	Преимущества перед традиционными материалами
Интегральная оптика. Создание оптических аналогов традиционных ИС	Контроль с высокой точностью толщины — до 1 нм — и показателя преломления пленок обеспечивает более строгий контроль скорости направленной волны и снижение уровня потерь
Оптоэлектроника. Использование явления переориентации молекулы под действием электрического поля	Возможность управления молекулярной структурой и создания асимметричных структур с высоким коэффициентом нелинейности
Электронные дисплеи. Использование органических электролюминофоров	Создание плоских панелей полноцветного изображения и снижение управляющего напряжения электролюминесцентных дисплеев
Фотоэлектрические преобразователи. Создание туннельных слоев в солнечных элементах со структурой типа МДП или активных слоев в биполярных диодах	Упрощение технологии изготовления солнечных батарей
Полевые приборы. Разработка ион-чувствительных и пьезополевых транзисторов, создание детекторов газов	Повышение чувствительности детекторов, создание новых типов приборов
Запоминающие устройства. Использование свойства супрамолекулярных структур	Создание трехмерной памяти, основанной на эксплуатации свойств ансамбля молекул с его внутренними связями. Благодаря свойственной каждой молекулярной системе своей частоте поглощения можно избирательно осуществлять запись информации воздействием лазерного излучения, т.е. использовать одну и ту же матрицу для многократной одновременной записи

Однако широкое распространение технологии Лэнгмюра-Блоджетт невозможно без решения таких проблем, как разработка общих методов химического связывания лэнгмюровских пленок с подложкой или друг с другом, а также обеспечение стабильности ориентированных мультислоев.

Органические материалы могут оказать существенную помощь и в преодолении трудностей, возникающих при разработке оптических ИС. Эти трудности связаны с тем, что для создания разных элементов интегрально-оптической логики — источников светового излучения, модуляторов, переключателей, фильтров, детекторных схем — требуются отличающиеся друг от друга компо-

зиции самых разнообразных химических соединений; при этом материалы, идеальные для изготовления, например, детекторов или лазеров, часто оказываются совершенно непригодными при формировании световодов, поскольку последние могут поглощать свет именно с той длиной волны, на которой излучают лазеры.

Таким образом, развитие работ в области тонких органических пленок открывает большие возможности для развития широкого спектра новых технологий. Однако создание устройств молекулярной электроники невозможно без развития новых областей химии и биохимии. В частности, необходимо подробно исследовать принципы самоорганизации и самосборки, присущие биологическим системам, с целью распространения этих принципов на небологические объекты химии, а принцип кодирования, аналогичный рекомбинации молекул ДНК, может стать мощным средством молекулярной электроники. Использование процессов лазерной активации химических процессов должно обеспечить существенно большее пространственное разрешение и селективность при активации химических связей в молекулах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будущее технологии — молекулярная электроника.— Зарубежная радиоэлектроника, 1988, № 1, с. 59—64.
2. С и м о н Ж., А н д р е Ж.-Ж. Молекулярные полупроводники.— М.: Мир, 1988.— 344 с.
3. Computer Applications in chemistry/Ed. S.R.Heller and R.Potenzione, Jr.— Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1983.
4. Б л и н о в Л.Б. Лэнгмюровские пленки.— Успехи физических наук, 1988, т. 155, № 3, с. 443—480.

Статья поступила 18 января 1990 г.



И. В. Бараненков — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории в НИИМВ. Окончил химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова в 1977 г. Кандидатскую диссертацию защитил в 1981 г. по теме "Конформационные исследования в области замещенных метиленициклогексанов". Автор почти 50 печатных работ, имеет 15 авторских свидетельств. Область научных интересов — синтез органических и металлоорганических соединений и использование их в процессах нанесения тонкопленочных неорганических и органических покрытий для ИЭТ; разработка материалов для ГИС.

УДК 621.315.616.617

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗОЛИРУЮЩИЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

канд. физ.-мат. наук **И. П. Зятков,**
А. М. Гриднев

Создание диэлектрического слоя между формируемыми элементами микросистемных устройств — одна из задач, стоящих перед технологами при производстве элементной базы, предназначенной для работы при больших напряжениях и токах. В настоящее время широкое распространение получил метод заливки готового изделия различными компаундами и смолами. Полученные слои обладают хорошими диэлектрическими и коррозионно-стойкими свойствами, однако большая толщина слоя (от нескольких до десятков миллиметров) приводит к большому расходу герметика, а следовательно, и высокой стоимости изделий.

Применение диэлектрика на основе органических полимеров позволяет снизить себестоимость готовой продукции, получить надежную межслойную изоляцию и защитить схему от воздействия агрессивных сред.

Напыление диэлектрика — полипропилена и политетрафторэтилена (фторопласт-4) — проводилось в вакууме при помощи электронного пучка [1, 2]. Установка напыления создана на базе серийной УРМЗ 279.017, в качестве источника электронов использовали промышленный источник, напыляемые материалы располагались на вращающейся карусели. Остаточное давление в рабочем объеме составляло $6,7 \times 10^{-3}$ Па, рабочее давление в процессе напыления не превышало 6,7 Па, температура подложки поддерживалась в пределах 50–60°C, ускоряющее напряжение изменялось в диапазоне 1–14 кВ. Скорость напыления материала составляла 0,2–0,5 мкм/мин. Диэлектрик напылялся на кремниевую подложку, на которой был сформирован транзистор, ширина промежутка между токопроводящими частями составляла 20–30 мкм.

Вольт-амперная характеристика изделия снималась на приборе Л2-56. Подаваемый потенциал для проверки пробивного напряжения диэлектрического разделяющего слоя изменялся в пределах от 100 до 900 В, пробивное напряжение составляло 850–900 В.

Проведенный на растровом электронном микроскопе РЭМ-1000 анализ покрытия (использовался фторопласт) показал, что оно имеет развитую поверхность с мелковолоконистой структурой, размер волокон колеблется от 0,1 до 0,5 мкм. Для заполнения микроотверстий применялся пропилен (полимер), что позволило улучшить диэлектрические характеристики изолирующего слоя при его толщине 4–6 мкм.

Одним из способов улучшения диэлектрических характеристик разделительных слоев, кроме использования в качестве наполнителя различных полимеров, является правильный выбор первого слоя, который ложится непосредственно на напыляемый образец.

Предложенный метод позволяет применять органические полимеры для создания разделительных слоев, обладающих различными, но одинаково высокими, диэлектрическими характеристиками, увеличить пробивное напряжение до 1,2–1,5 кВ при толщине 4–8 мкм

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутенин А.В. Механизм лазерного разрушения полимеров. — Квантовая электроника, 1986, 13, № 10.
2. Файштейн А.И., Силантьев А.И. Моделирование процесса электронно-лучевого испарения полимеров. — Высокомолекулярные соединения, 1988, А 30, № 4.

Статья поступила 4 января 1990 г.

УДК 771.531:621.382

ОБРАТНАЯ ФОТОЛИТОГРАФИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕЗИСТА ФСН-4ПВ

Л.И.Гайдим, канд.техн.наук М.Л.Маневич,
д-р хим.наук, вед.науч.сотр., проф. Е.П.Фокин

Разработан технологический процесс формирования однослойной маски на основе фоторезиста ФСН-4ПВ для обратной фотолитографии.

Одно из требований, предъявляемых к маскам для обратной фотолитографии, — наличие так называемого отрицательного клина проявления, благодаря которому после нанесения на подложку материала функционального слоя становится возможным получение в последнем рисунка топологии [1, 2]. На фоторезистах типа AZ были получены многослойные и однослойные маски, имеющие отрицательный клин проявления [3–5]. Авторами [6] разработан процесс формирования отрицательного клина проявления с помощью отечественных позитивных фоторезистов. Однако технология получения многослойных масок очень сложна, а при создании однослойных желение сохранить высокое разрешение приводит, как правило, к ограничению по толщине, которая в лучшем случае составляет 1,5 мкм [3].

На пленках фоторезиста толщиной 2,3–3,0 мкм невозможно получить разрешающую способность порядка 1,0–1,5 мкм, хотя и известны негативно-позитивные фоторезисты группы ФСН, которые позволяют получить высокое разрешение при большой толщине [7].

Наиболее простой и надежный способ создания маски с отрицательным клином проявления основан на модификации поверхностного слоя пленки фоторезиста. Использовался негативный фоторезист ФСН-4ПВ толщиной 2,3–3,0 мкм.

Основные параметры маски для обратной фотолитографии: толщина слоя, ширина отрицательного клина проявления и размер элемента топологии, проявленного в слое резиста, — зависят от длительности процесса модификации, времени проявления фоторезиста и величины экспозиции. Для получения этих зависимостей фоторезист ФСН-4ПВ толщиной 2,9 мкм, нанесенный на хромированные стеклянные пластины, подвергался стандартной фотохимической обработке.

Экспонирование осуществлялось на установке контактной фотолитографии ЭМ-583. После второй термообработки пленки резиста подвергали поверхностной модификации в растворе модификатора. Затем следовало проявление в обычном слабощелочном растворе проявителя фоторезистов группы ФСН. Время модифи-

кации изменялось в интервале 1–17 ч (l_0 — размер непрозрачного элемента на фотошаблоне, l — размер элемента, проявленного в слое фоторезиста). Измерения выполняли на микроскопе Nu — 2E ("Карл-Цейсс Йена", ГДР) при увеличении 1000^x. Как видно из рис. 1 и 2, ширина отрицательного клина проявления и точность воспроизведения размера элемента топологии практически не зависят от времени модификации, что говорит о высокой контрастности процесса, выражающейся в незначительном воздействии раствора модификатора на непроэкспонированные участки пленки фоторезиста. Кроме того, необходимо отметить, что при времени модификации (t_M) менее 6 ч процесс образования отрицательного клина недостаточно стабилен, устойчивое формирование его наблюдается при $t_M \geq 6$ ч.

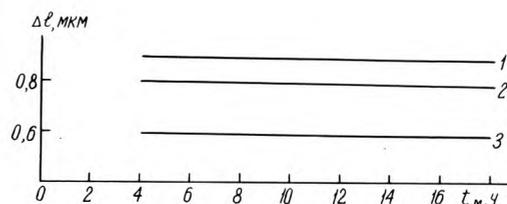


Рис. 1. Зависимость ширины отрицательного клина проявления от времени модификации при экспозициях: 1) $4,8 \cdot 10^6$ лк·с; 2) $7,2 \cdot 10^6$ лк·с; 3) $14,4 \cdot 10^6$ лк·с

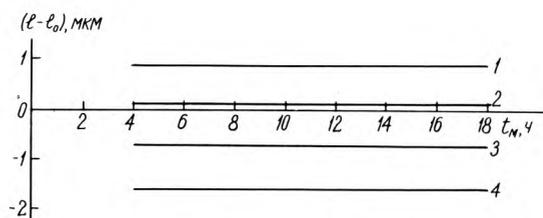


Рис. 2. Зависимость точности воспроизведения размера элемента, проявленного в слое фоторезиста ФСН-4ПВ, от времени модификации при экспозициях: 1) $4,8 \cdot 10^6$ лк·с; 2) $7,2 \cdot 10^6$ лк·с; 3) $9,6 \cdot 10^6$ лк·с; 4) $14,4 \cdot 10^6$ лк·с

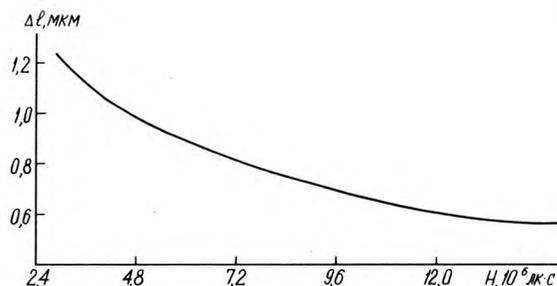


Рис. 3. Зависимость ширины отрицательного клина проявления от величины экспозиции ($t_M = 6$ ч)

Уменьшение ширины отрицательного клина проявления с увеличением времени экспозиции (рис. 3) объясняется сшиванием слоя фоторезиста, находящегося непосредственно на поверхности пленки хрома, за счет усиления эффекта отражения. Причиной уменьшения размера элемента, проявленного в пленке фоторезиста, с ростом экспозиции (рис. 4) является усиление эффекта облучения слоя резиста за счет дифракции на краях непрозрачного элемента фотошаблона [1].

При больших дозах облучения ширина отрицательного клина проявления меньше зависит от времени проявления (рис. 5). Более сильная ее зависимость от длительности процесса проявления при малых дозах облучения объясняется меньшей степенью полимеризации фоторезиста, что приводит к снижению величины контраста проявления.

Характер зависимостей (рис. 6) позволяет сделать заключение о том, что увеличение размера элемента топологии, проявленного в слое модифицированного

фоторезиста, с ростом времени проявления объясняется растворением светочувствительного материала с торцов элементов при заведомо длительных процессах проявления. Значительная зависимость размера элемента от дозы облучения при одном и том же времени проявления связана с разными значениями контраста проявления при различных экспозициях.

Исследование полученных зависимостей позволило произвести оптимизацию режимов и разработать технологический процесс формирования однослойной маски для обратной фотолитографии с отрицательным клином проявления на основе фоторезиста ФСН-4ПВ. Оптимальный технологический режим ($H = 7,2 \cdot 10^6$ лк·с, $t_M = 6$ ч, $t_{пр} = 30$ с) позволяет создавать фоторезистивные маски толщиной 2,9 мкм, имеющие клин проявления шириной 0,8 мкм. При увеличении экспозиции и времени проявления удается сформировать клин проявления шириной порядка 0,4 мкм, получить элементы топологии, имеющие минимальные размеры 1,2 мкм, и осуществить перенос полученного изображения в функциональный слой, в качестве которого используются термически напыленные пленки алюминия и меди.

Таким образом, с помощью процесса модификации поверхности пленки фоторезиста ФСН-4ПВ получены однослойные маски для обратной фотолитографии с отрицательным клином проявления. Варьирование таких технологических факторов, как длительность процесса модификации, время проявления и экспозиции позволяет создавать в слое фоторезиста толщиной 2,9 мкм отрицательный клин проявления шириной 0,6–0,9 мкм. На основе проведенных исследований был разработан технологический процесс, с помощью которого в слое фоторезиста ФСН-4ПВ, имеющем толщину 2,3 мкм, получены элементы топологии с минимальными размерами 1,2 мкм и произведен перенос сформированного топологического рисунка в функциональный слой.

ЛИТЕРАТУРА

1. П р е с с Ф.П. Фотолитографические методы в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.— М.: Сов. радио, 1978.
2. Введение в фотолитографию/Под ред. В.П.Лаврищева.— М.: Энергия, 1977.
3. Б е л ь к о В.В., К а л и н и н а Н.Э., Б о р и с е н к о В.Е. Формирование топологии элементов интегральных микросхем методом взрывной фотолитографии.— Зарубежная электронная техника.— М.: ЦНИИ «Электроника», 1987, № 5, с. 3—39.
4. Обзоры по электронной технике: Многослойные пленки резистов в микролитографии/Ю.С.Боков, В.М.Фролов.— М., 1985.— Вып. 3.— Сер. 3. Микроэлектроника.
5. Обзоры по электронной технике: Технология субмикронной фотолитографии: современное состояние перспективы развития и применения/Ю.С.Боков, А.Б.Невский, В.М.Фролов.— М., 1988.— Вып. 6.— Сер. 3. Микроэлектроника.
6. Б о к о в Ю.С., Ф р о л о в В.М. Фоторезистивные маски с отрицательным клином проявления для метода обратной фотолитографии.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника.— 1984.— Вып. 3, с. 78—83.
7. М а н е в и ч М.Л., К а л ь п у с В.Ю. Применение негативно-позитивного фоторезиста.— Обмен производственно-техническим опытом, 1988.— Вып. 11.

Статья поступила 26 декабря 1989 г.

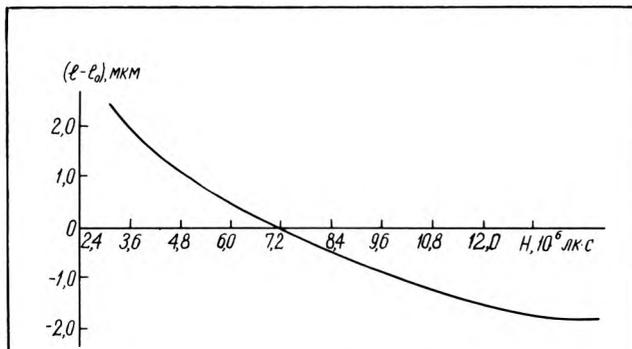


Рис. 4. Зависимость точности воспроизведения размера элемента, проявленного в слое фоторезиста ФСН-4ПВ, от величины экспозиции ($t_M = 6$ ч)

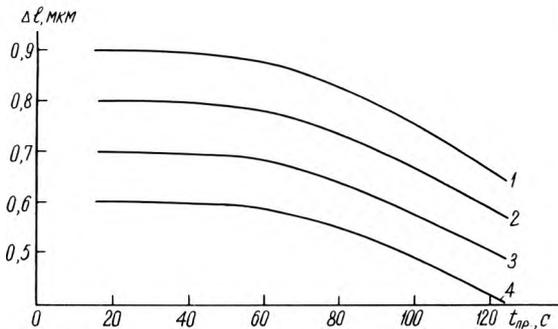


Рис. 5. Зависимость ширины отрицательного клина проявления от времени проявления при экспозициях: 1) $4,8 \cdot 10^6$ лк·с; 2) $7,2 \cdot 10^6$ лк·с; 3) $9,6 \cdot 10^6$ лк·с; 4) $14,4 \cdot 10^6$ лк·с ($t_M = 6$ ч)

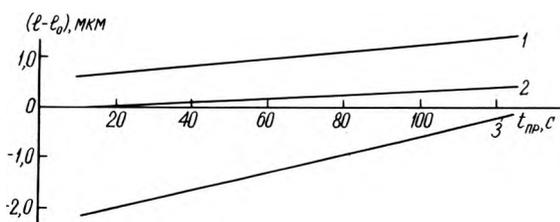


Рис. 6. Зависимость точности воспроизведения размера элемента, проявленного в слоях фоторезиста ФСН-4ПВ, от времени проявления при экспозициях: 1) $4,8 \cdot 10^6$ лк·с; 2) $7,2 \cdot 10^6$ лк·с; 3) $14,4 \cdot 10^6$ лк·с ($t_M = 6$ ч)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРКИ И МОНТАЖА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

А.П.Ануфриев, канд.техн.наук В.А.Емельянов, ст.науч.сотр. А.К.Кушнер, канд.техн.наук, доц. В.Л.Ланин, канд.техн.наук, доц. А.А.Хмыль

Высокое качество сборочно-монтажных операций возможно при соответствующей подготовке поверхности металла корпуса ИС, заключающейся в получении микрорельефа с малой высотой микронеровностей, а также при обеспечении оптимальных физико-механических свойств гальванических покрытий. Введение химической полировки кобальта перед осаждением покрытий позволяет значительно снизить среднюю высоту микронеровностей материала основы, уменьшить внутренние напряжения в нем и создает реальные предпосылки к снижению толщины золотых покрытий. Применение блестящего электролита никелирования в сочетании с нестационарным режимом осаждения позволяет решить задачу замены драгоценных металлов в производстве корпусов ИС.

Металлостеклянные корпуса интегральных схем изготавливают обычно из кобальта (29Н18К), который хорошо согласуется по температурному коэффициенту линейного расширения со стеклом марок С52-1, С52-2.

Для улучшения технологических свойств корпуса (паяемости, свариваемости) и повышения надежности его металлические участки покрывают слоями химического или электрохимического никеля и золота толщиной соответственно 6–9 и 2–6 мкм. Золотое покрытие обеспечивает высокую коррозионную стойкость изделий, стабильность переходного электрического сопротивления, хорошую свариваемость проволочных выводов и паяемость при сборке [1]. Однако дефицитность этого металла и снижение надежности соединений в результате деградационных явлений требуют разработки процессов формирования более экономичных покрытий с улучшенными свойствами.

Гальванические никелевые покрытия могут служить эквивалентной заменой золотым, но высокие микротвердость и внутренние напряжения, развитый микрорельеф приводят при ультразвуковой микросварке к низкой прочности и увеличенному (до 40–50% числу дефектных соединений), а при формовке выводов — к растрескиванию и отслаиванию покрытий [2]. На качество сборочно-монтажных операций влияют толщина покрытий, морфология поверхности, концентрация неметаллических примесей. Установлено [3], что увеличение среднего размера зерна, количества пор и концентрации примесей в никелевом покрытии приводят к уменьшению фактической площади контакта при ультразвуковой микросварке и замедлению физико-химического взаимодействия в зоне контакта, что снижает прочность соединений. На качество сборки и монтажа непосредственное влияние оказывают также дефекты и физико-механические свойства исходного материала, режимы спекания кобальта со стеклом и подготовка поверхностей корпусов ИС к осаждению покрытий.

С целью выявления взаимосвязи технологии изготовления металлостеклянных корпусов, режимов формирования покрытий со свариваемостью, а также облуживаемостью проволочных выводов проводилось гальваническое осаждение слоев золота и никеля (соответ-

ственно из фосфорно-кислого и серно-кислых электролитов на постоянном и периодическом токах) на корпуса с типовой обработкой их поверхности. В качестве источника питания гальванической ванны использовалась программно-управляемая установка нестационарного электролиза на основе тиристорного генератора импульсов тока с длительностью импульсов и пауз в диапазоне 0,02–2с [4].

Контроль параметров ленты 29Н18К толщиной 0,1–0,15 мм, из которой производится вырубка деталей корпуса, показал наличие на ее поверхности микротрещин, расположенных попарно на участках размером $(5–20) \cdot 10^{-3}$ мм² в направлении, поперечном направлению проката. Для таких участков характерна более высокая микротвердость, на $(4–7) \cdot 10^8$ Н/м² превышающая среднее значение для всей ленты, и крупнозернистая структура. Глубина залегания дефектных участков доходит до 0,02 мм. При изготовлении деталей корпуса вырубкой из такой ленты дефектные участки выкрашиваются, образуя на поверхности изделий раковины, которые отрицательно сказываются на механической прочности выводов ИС, а при их формовке приводят к возникновению микротрещин. Образовавшиеся в нагартованных участках ленты микротрещины провоцируют перетравы в процессе подготовки деталей к осаждению покрытия, и образующаяся в этом месте при осаждении сквозная пора вызовет коррозионное повреждение изделий. При контроле пористости золотых покрытий на кобальтовых выводах ИС обнаружены продукты коррозии основного металла.

В результате точечной коррозии и наличия локальных дефектов на поверхности золотого покрытия, количество которых увеличивается в процессе хранения изделий перед сборкой, облуживаемость выводов ИС падает до 50–60%, что снижает качество монтажных работ.

Анализ морфологии поверхностного слоя никелевого покрытия, осажденного в серно-кислом электролите на постоянном токе, показал, что при формовке количество дефектов и их линейные размеры увеличиваются, появляются трещины на поверхности в местах перегибов. В зоне взаимодействия формирующего инструмента с выводом микросхемы в ряде случаев происходит отслаивание или срез покрытия с поверхности выводов. Это свидетельствует о сложных структурных превращениях основного материала и высоком значении внутренних напряжений в никелевом покрытии, недопустимом для качественной сборки изделий.

Исследования показали, что структура и морфология поверхности исходного материала и покрытия претерпевают существенные изменения на различных технологических операциях изготовления корпуса ИС. Так, при спекании стекломассы с деталями металлической арматуры при температуре 750–850°C происходит укрупнение зерна металла и образование на его поверхности пленки окислов толщиной, достаточной для формирования надежного металлостеклянного спая. При последующих операциях травления, отбеливания и декапирования эта пленка удаляется, но с различной скоростью, в объеме кристалла и между отдельными зернами. В результате повышенной скорости межкристаллитного травления происходят перетравы, увеличение исходной шероховатости поверхности (табл. 1), вследствие трудного удаления продуктов травления из узких каналов возникают локальные очаги коррозии

и повышенных напряжений. Последующее матовое никелирование не выравнивает и не сглаживает поверхность металла, в местах дефектов покрытие осаждается с повышенными внутренними напряжениями, возможно его шелушение и отслаивание.

Таблица 2

Качество сборочно-монтажных операций по покрытиям корпусов ИС

Способ получения покрытия	Толщина покрытия, мкм	Средняя прочность микросварки, сН	Количество дефектных соединений	Обслуживаемость выводов, %
Золочение	5,0	12—13	3	96—97
Никелирование химическое	5,0	8—10	60—70	—
Никелирование гальваническое матовое	6,0	10—12	40—50	—
Никелирование гальваническое блестящее	6,0	14—16	10	92—93
Никелирование гальваническое блестящее с чередованием режимов электролиза	6,0	17—18	8	95

Таблица 1

Степень шероховатости поверхности металла основы (ковара) на различных операциях изготовления корпусов ИС

Операция	Состав растворов, г/л	Средняя высота микронеровностей, мкм
Исходное состояние	—	0,4—0,52
Спекание корпуса	—	0,58—0,61
Обезжиривание	Na ₂ CO ₃ — 20 Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O — 30	0,58—0,62
Травление	HCl:H ₂ O=1:1	0,9—1,5
Отбеливание	HCl:H ₂ SO ₄ :H ₂ O=1:0,5:1	1,8—2,1
Декапирование	HCl:H ₂ O=1:1	1,9—2,2
Химическое никелирование	NiCl ₂ · 5H ₂ O — 30 NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O — 10 Na ₃ C ₆ H ₅ O ₅ — 10	2,0—2,3
Гальваническое никелирование матовое	NiSO ₄ · 7H ₂ O — 200 H ₃ BO ₃ — 30 NaCl — 10 MgSO ₄ · 5H ₂ O — 80	1,9—2,7

Применяемая подготовка поверхности ковара обуславливает значительный перерасход золота при осаждении покрытия, ухудшение прочности микросварных соединений. Формовка выводов приводит к образованию глубоких трещин, распространяющихся вглубь ковара.

Улучшение кристаллической структуры и морфологии поверхности, а также снижение шероховатости достигнуто введением операции полирования ковара в растворе (г/л): HCl—120-240; HNO₃—70-140; 2-бутиндиол-1,4 — 0,13-0,50; смачиватель ОС-20 — 1,5-5,0; растворитель — 9-18 [5]. Смачиватель ОС-20 и 2-бутиндиол-1,4, адсорбируясь в процессе полировки на микровпадинах поверхности, способствуют преимущественному растворению микровыступов и выравниванию поверхности — в результате химической полировки средняя высота микронеровностей снижается до 0,32 мкм. Это позволило увеличить катодный выход металла по току с 90 до 95% и уменьшить непокрытые металлом корпусов ИС с 5,6 до 4,0%, что создало реальные предпосылки к снижению толщины золотого покрытия и уменьшению его расхода.

Применение химической полировки материала основы перед нанесением блестящих никелевых покрытий, осаждающихся в нестационарных режимах электролиза из серно-кислого электролита с блескообразователями, позволило снизить среднюю величину микронеровностей покрытий с 2,7—3,0 до 0,9 мкм, а внутренние напряжения — с (2—4) · 10⁸ до (0,45—0,56) · 10⁸ Н/м².

Чередование реверсного и постоянного тока сглаживает поверхность вследствие растворения микрогребешков в течение времени подачи обратного импульса, а образование большого числа монослоев снижает внутренние напряжения.

При ультразвуковой микросварке проволочных выводов по нанесенным гальваническим покрытиям (табл. 2) прочность микросварных соединений для золотых покрытий составляет 12—13 сН при минимальном количестве дефектов, а для блестящих никелевых покрытий достигает 14—16 сН. Обслуживаемость выводов микросхем припоем ПОС61 для золотых покрытий — 96—97%, а для никелевых — 92—93%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмыль А.А., Ланин В.Л., Емельянов В.А. Сравнительная эффективность гальванических покрытий корпусов интегральных схем и микросборок.— Минск: БелНИИТИ, 1983.— 47 с.
2. Гальваническое никелирование корпусов интегральных схем/А.П.Достанко, В.А.Емельянов, В.Л.Ланин, А.А.Хмыль.— Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование. 1987, вып. 1, с. 8—12.
3. Берзина А.И., Алехин В.П. Влияние усредненных параметров зернистости, пористости и концентрации неметаллических примесей никелевых покрытий на качество соединений, полученных ультразвуковой микросваркой.— Сварочное производство, 1984, № 7, с. 6—7.
4. Достанко А.П., Хмыль А.А. Мощный генератор импульсов тока для питания гальванических ванн.— Инф. листок № 82-199/БелНИИТИ.— Минск, 1982.
5. А.с. 1161593 (СССР). Раствор для химического полирования ковара и никеля/Л.К.Кушнер, А.П.Достанко, А.А.Хмыль и др.— Опубл. в Б.И., 1985, № 22.

Статья поступила 13 ноября 1989 г.

«АИСТ» — САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

**И.Н.Ермолаева, Е.И.Климович, В.Я.Король,
А.Т.Романовская**

Автоматизированная интерактивная система проектирования технологических процессов (САПР "АИСТ") может быть использована в случаях, когда между компонентами информации можно установить логические связи. Такими компонентами могут быть операция, оборудование, переход, приспособление, инструмент. Для функционирования системы необходима ЭВМ типа "Электроника 100-25". Программы функционируют под управлением операционной системы ОС.

Проектирование и проектные процедуры выполняются в подсистемах: создания и ведения информационного обеспечения, проектирования технологических процессов из базовых компонентов, редактирования и документирования.

Подсистема создания и ведения информационного обеспечения предназначена для формирования и занесения на магнитный диск базовых компонентов технологических процессов, внесения в них изменений в процессе эксплуатации системы, обеспечения сохранности информационного обеспечения. Организация подсистемы позволяет удалять, заменять и вносить информацию в базу данных без изменения связей в последней. Структурная схема информационного обеспечения показана на рисунке.

В подсистеме проектирования из базовых компонентов выполняются следующие процедуры: ввод данных об объекте, проектирование фрагмента технологического процесса, вывод спроектированного процесса на магнитный диск.

В основе такого проектирования технологического процесса лежат автоматический поиск информации в базе данных и выбор технологом-проектировщиком одного или нескольких элементов из представленной на экране информации.

Из последовательности выбранных элементов формируется технологический процесс. Для корректировки ошибочно принятых решений предусмотрен возврат в любую точку алгоритма проектирования верхнего уровня.

Подсистема редактирования предназначена для внесения изменений в спроектированный технологический процесс, проектирования аналогов новых технологических процессов на базе типовых. Подсистема позволяет манипулировать элементами редактируемого процесса: удалять, вставлять, заменять, корректировать их, обращаясь к базе данных.



Подсистема документирования вводит заданный технологический процесс с магнитного диска, формирует его по ГОСТ 3.1118-82 и выводит на печать. Предлагаются следующие варианты выходной информации: только маршрутной карты, маршрутно-операционной карты, заданных листов документа и карты эскизов.

Разработанное программное обеспечение позволяет работать с системой одновременно 15 пользователям при параллельной работе печатающего устройства. Время реакции системы на запрос составляет 1 с, время работы пользователя с системой при проектировании технологического процесса из базовых компонентов — 15–40 мин в зависимости от сложности детали. При проектировании на базе аналога или типового технологического процесса — 2–10 мин.

В настоящее время система используется для проектирования технологических процессов изготовления оптических, механических и пластмассовых деталей. Наиболее целесообразно использовать систему на предприятиях с мелкосерийным производством.

Статья поступила 25 октября 1989 г.

УДК 666.1.037.5

СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ, СПЯЯННЫХ СО СТЕКЛОМ

Ю.С.Сергеев, Е.А.Коленко

В электронной технике широко используют вакуумно-плотные и термически прочные спая стекла с металлом (вольфрамом, молибденом, коваром, феррохромом, сплавами 47НХР, 32НКД и др.). Вышедшие из строя приборы подлежат уничтожению. Из-за острой дефицитности и высокой стоимости металлов, содержащихся в спаях, а также самих деталей разработан эффективный способ регенерации этих деталей и возвращения их в производство для повторного использования. Основу регенерации составляет процесс растворения стекла, находящегося на металле, в расплаве едкого натра и едкого калия, смешанных в соотношении 41,7 и 58,3% соответственно. Температура плавления этого сплава 170°C. Скорость растворения стекла при температуре расплава 200–250°C составляет 0,8 мм (за 10 мин), при температуре 300–350°C она возрастает до 1–1,2 мм (за 10 мин). Единственный способ, используемый в промышленности, который позволяет удалить стекло, спаянное с металлом, заключается в обработке деталей в кипящем насыщенном растворе едкого натра в течение 25–50 ч (в зависимости от количества стравливаемого стекла).

Используемый расплав едких щелочей не реагирует с металлами, спаянными со стеклом, вплоть до лезвевых сплавов меди со стеклом. Легкий темный налет на коваре и хромосодержащих сплавах не приводит к изменению первоначальных размеров деталей. Перед повторным использованием деталей из коваара, молибдена, вольфрама и других, не содержащих хрома материалов, их подвергают обычному препаративному отжигу во влажном водороде. Хромосодержащие сплавы отжигают в осушенном водороде или вакууме.

Сосуд для расплава изготавливают из листовой стали соответствующих марок, с которыми расплав щелочей не взаимодействует. Нагрев исходной смеси твердых щелочей до требуемой температуры может быть электрический или газовый. Контроль температуры производится хромель-копелевой (ХК) или хромель-алюмелевой (ХА) термопарами. Подлежащие регенерации детали помещают в расплав в решетках из нержавеющей или обычной стали.

Экономическая эффективность описанного способа вытекающая из определения стоимости материала и трудоемкостью изготовления из него детали, эксплуатационные расходы — стоимостью компонентов расплава. В случае, если регенерации подвергаются узлы, в которых металл спаян, кроме стекла, с другими конструкционными материалами, вакуумная плотность швов, паянных твердыми припоями, не нарушается.

Описанный способ в течение ряда лет используется на предприятиях отрасли.

Статья поступила 22 сентября 1989 г.

УПРОЧНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С.Г.Павлов, В.К.Филиппов

Одним из перспективных электрофизических методов повышения износостойкости технологического инструмента является лазерная термическая обработка, позволяющая регулировать толщину упрочненного слоя, не вызывая остаточных деформаций.

На механическую износостойкость инструмента влияет не только поверхностная микротвердость, полученная лазерным излучением, характер работы инструмента, режимы лазерного излучения, но и твердость исходного материала.

Все инструменты для технологической обработки можно разделить на две группы. К первой относятся приспособления, работающие при небольших динамических нагрузках, плавно изменяющихся во времени (поверхности отдельных режущих и гибочных инструментов). Увеличение механической износостойкости достигается созданием слоя с большой (до 0,5 мм) глубиной упрочнения. Для этих целей целесообразно использовать лазеры непрерывного излучения с выходной мощностью до 1 кВт. Анализ стадии нагрева металлов лазерным излучением показал, что в зоне термического воздействия образуется многослойная структура (2—3 слоя), количество слоев зависит от содержания углерода и легирующих элементов. Установлено, что для этой группы твердость исходного материала не влияет на износостойкость инструмента.

Ко второй группе относятся инструменты, работающие с нагрузками ударного типа, силового трения (вырубные штампы, пуансоны, матрицы). При изучении влияния лазерной обработки на технологический инструмент этой группы была выявлена сильная зависимость его износостойкости и срока службы от твердости исходного материала. Для упрочнения использовались установки «Квант-16» и «Квант-18М».

Максимальная износостойкость наблюдалась при глубине упрочненного слоя 0,035—0,08 мм (при меньшей глубине нарушается его сплошность) и твердости исходного материала 52—57 НРС. При этом было установлено, что упрочненная зона имеет многослойную мелкозернистую структуру, и чем выше твердость исходного материала (но не более 57 НРС), тем меньше глубина упрочненного слоя, при увеличении глубины увеличивается хрупкость, и следовательно, уменьшается ударная стойкость.

Для получения мелкозернистой и ненапряженной структуры материал перед обработкой подвергают полному или нормализованному отжигу.

Итак, износостойкость технологического инструмента данной группы тем выше, чем меньше толщина упрочненного слоя при оптимально подобранной твердости основного материала. Тонкий поверхностный слой, формирующийся при упрочнении, и основной материал в этом случае работают как единая система, обладающая пластичностью и твердостью.

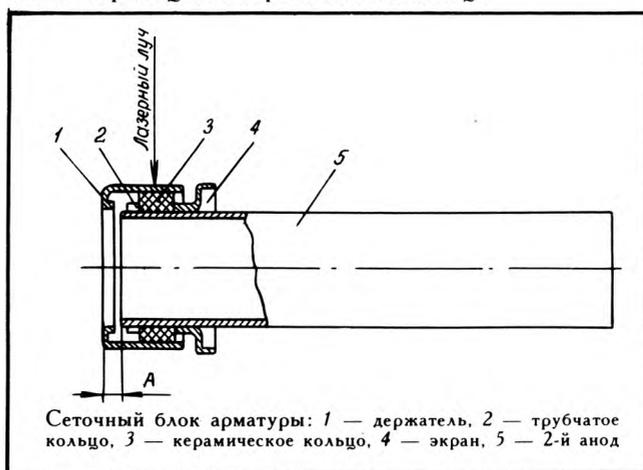
На основании проведенных исследований установлено, что микротвердость широкой группы сталей после упрочнения, по сравнению с исходной, повысилась в пределах 25—75%, а износостойкость при правильном выборе режимов обработки и твердости исходного материала увеличилась в 1,5—2 раза.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СБОРКЕ ЭВП

В.Т.Ширяев, Б.Ф.Сытник

В производстве электровакуумных приборов, например глетиконов ЛИ484, ЛИ485, требуется соединение цилиндрических металлических деталей с керамическими. В случае, когда металлическая деталь больше по диаметру, чем керамическая, применяются фиксирующие кольца или производят вакуумную сварку с применением металлизации керамического кольца или высокотемпературных припоев на основе серебра.

Предлагается оригинальный метод соединения металлического цилиндра с керамикой лазерным лучом (см. рисунок). Керамическое кольцо закрепляется на втором аноде, представляющем собой тонкостенный (0,15 мм) металлический цилиндр, между трубчатым расточом и центрирующим экраном на определенном расстоянии от торца анода. Последние крепятся к аноду с помощью контактной сварки, при этом недопустимо осевое перемещение керамического кольца.



На керамическое кольцо одевается держатель из сплава Х20Н80 толщиной 0,2 мм, при этом зазор между ними должен быть по возможности меньшим. Точное расстояние между торцами цилиндра и держателя (расстояние А) задается оправкой, которая закреплена в приспособлении, расположенном на предметном столике лазерной установки типа «Квант-15».

Лазерная установка работает в импульсном режиме, локальные поверхности держателя нагреваются с определенной периодичностью. В месте воздействия лазерного луча (мощность 2 Дж) происходит плавление металла и его усадка. Диаметр держателя в этом месте уменьшается, и происходит плотный охват керамического кольца металлическим держателем.

Получаемое соединение надежно и выдерживает все механические испытания по техническим условиям на приборы с необходимым запасом. Однако необходимо отметить, что надежность такого соединения сохраняется до температур порядка 400°C и чем меньше зазор между металлическим и керамическим кольцами до сварки, тем выше температурный порог.

Предлагаемый метод обеспечивает надежное соединение деталей и в процессе изготовления прибора, и в процессе его эксплуатации.

Внедрение данного процесса в серийное производство позволило увеличить процент выхода годных узлов до максимума, уменьшить трудоемкость изготовления прибора и исключить применения на данной операции серебра.

УДК 621.793.16

ИСТОЧНИКИ ИОНОВ ДЛЯ РЕАКТИВНОГО ИОННО-ЛУЧЕВОГО ТРАВЛЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОК

д-р.техн.наук, ст.науч.сотр. Ю.П.Маишев

Создан ряд технологических источников ионов с холодным катодом, позволяющих обрабатывать подложки различной площади и конфигурации. Показана принципиальная возможность управления такими параметрами, как энергия ионов, плотность тока, состав пучка, однородность обработки, в зависимости от технологического процесса.

Источники ионов находят все более широкое применение при изготовлении ИС, транзисторов СВЧ диапазона, пьезокварцевых приборов, элементов дифракционной оптики, магнитооптических дисков и других ИЭТ. В серийном производстве используются методы ионно-лучевого и реактивного ионно-лучевого травления (ИЛТ и РИЛТ), осуществляемые соответственно пучками ионов инертных и химически активных веществ, а также методы очистки и активации поверхности пучками ионов перед нанесением пленок в вакууме. Исследуются новые методы ионно-лучевой обработки: нанесение пленок непосредственным осаждением из пучка ионов или распылением материала мишени пучком ионов инертных или химически активных веществ, полировка поверхности пучками ионов (рис. 1).

Для промышленной реализации методов ионно-лучевой обработки необходима разработка технологических источников, формирующих пучки ионов инертных или химически активных газов. К технологическим источникам ионов, используемым в промышленном оборудовании, наряду с общими требованиями [1] предъявляются и специфические.

1. Для обеспечения производительности ионно-лучевой обработки на уровне традиционных технологических процессов токи пучка ионов должны составлять сотни миллиампер, а плотности тока — несколько миллиампер на квадратный сантиметр. Ток пучка ограничивается двумя факторами. Во-первых, в источниках ионов ток, отбираемый с границы плазмы, является током насыщения и определяется законом Лэнгмюра [1, 2]. Во-вторых, ток пучка ионов пропорционален величине потока рабочего вещества и ограничен при фиксированном рабочем давлении быстротой откачки вакуумной системы, определяющей габариты и потребляемую мощность промышленного оборудования.

2. Ионы должны обладать энергией от 0,05 до 5 кэВ. Оптимальная энергия ионов для процессов нанесения пленок ионно-лучевым распылением материала выбирается в соответствии с требованиями получения максимальной скорости распыления при минимальном рабочем давлении. Лучше всего эти требования удовлетворяются при энергии ионов 3—5 кэВ, при которой зависимость коэффициента распыления материала от энергии иона еще не достигает максимума, приближаясь к нему. Критерием выбора максимальной энергии ионов для осаждения пленок непосредственно из пучка иона является соотношение $S(E) < 1$, где $S(E)$ — коэффициент самораспыления осаждаемого материала.

Для процессов ионно-лучевого травления энергия ионов выбирается в диапазоне 0,05—1 кэВ. Ионы с энергией, меньшей пороговой (2—20 эВ), не распыляют материал. Максимальная энергия ионов ограничивается радиационными повреждениями и аморфизацией обрабатываемой поверхности, а также термостойкостью резистивной маски из органических материалов, через которую травится функциональный слой. Так как при травлении через резистивную маску затрата энергии на один удаленный атом должна иметь минимальное значение, оптимальная энергия определяется максимумом функции

$$j(E) = S(E)/E, \text{ где } E \text{ — энергия иона.}$$

3. Технологические источники должны формировать пучки ионов из различных веществ, включая химически активные, например, фтор- или хлорсодержащие соединения, углеводороды, кислород, азот и др. Это требование вытекает из многообразия технологических процессов, осуществляемых с их использованием.

4. Источники ионов должны обеспечивать травление и нанесение пленок с заданной равномерностью. Разнообразие форм и размеров обрабатываемых объектов требует создания источников с различной конфигурацией пучка: однородные по плотности тока пучки большого диаметра, ленточные, сходящиеся, расходящиеся и другие формы пучков.

5. Источники должны иметь катоды нейтрализации для управления величиной поверхностного заряда в процессах травления или нанесения диэлектрических пленок.

Наиболее полно перечисленным требованиям удовлетворяют источники ионов с холодным катодом, формирующие пучки ионов в скрещенных электрическом и магнитном полях.

В первых серийных отечественных установках ИЛТ (029, 036) использовались источники «Луч» с накаливаемым катодом. В этих источниках для увеличения тока сформированного пучка ионов была применена

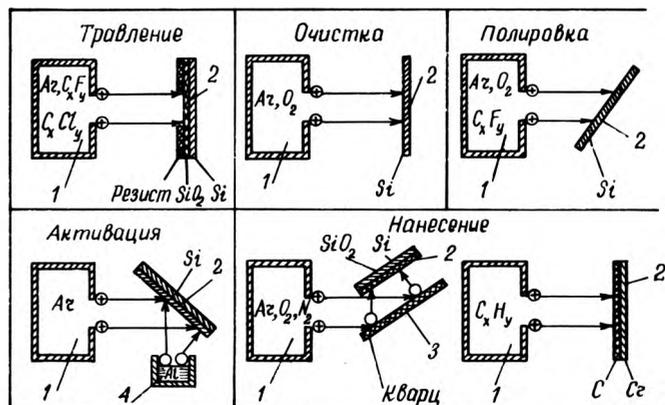


Рис. 1. Методы ионно-лучевой обработки: 1 — источник ионов, 2 — подложка, 3 — мишень, 4 — испаритель

компенсация положительного пространственного заряда внутри ускоряющего промежутка размером в один ларморовский радиус электрона отрицательным пространственным зарядом потока электронов; удерживаемых в скрещенных электрическом E и магнитном B полях [3]. В дальнейшем исследовании показали, что электроны, удерживаемые внутри ускоряющего промежутка при определенных условиях могут не только компенсировать положительный пространственный заряд, но и ионизировать рабочее вещество без включения накаливаемого катода.

В таких источниках с холодным катодом, как и в источниках «Луч», реализован замкнутый дрейф электронов в скрещенных E и B полях в промежутке катод—анод размером порядка ларморовского радиуса электронов. Ионизация практически любых веществ обеспечивается высокоэнергетическими электронами, ускоряемыми в специально созданной потенциальной яме и в локализованных скрещенных

E и B полях, обеспечивающих максимальное изменение энергии электронов в промежутке анод—катод (рис. 2). Удержание электронов в промежутке анод—катод осуществляется скрещенными E и B полями, потенциальной ямой и линзообразным магнитным полем пробочной конфигурации.

Движение электронов вдоль магнитных силовых линий может быть проанализировано в дрейфовом приближении из работы [4]:

$$\frac{1}{2} m(v_{\parallel}^2 - v_{0\parallel}^2) = -e(V_0 - V) - M(B - B_0), \quad (1)$$

где v_{\parallel} , $v_{0\parallel}$ — параллельные магнитному полю составляющие скорости электронов; $M = mv_{0\perp}^2 / 2B_0 = \text{const}$ — магнитный момент электронов; V , V_0 — потенциалы.

Следовательно, для электронов с малой величиной M механизмом их удержания может быть электрическое поле (потенциальная яма), а при достаточно большом значении M — пробочное отношение B/B_0 (B_0 — значение магнитного поля в точке эмиссии электронов).

Критерии для рассматриваемых источников с холодным катодом записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} r_e/d \approx 1; \quad D_e/d \geq 1; \quad r_i/d \gg 1; \quad \lambda_{e,i}/d \gg 1; \\ \gamma = \frac{W}{eV_i} \gg 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где d — расстояние анод—катод; r_e , r_i — ларморовский радиус электронов и ионов соответственно; D_e — дебаевский слой; $\lambda_{e,i}$ — длина свободного пробега электрона и иона соответственно; V_i — потенциал ионизации рабочего вещества; W — абсолютное значение изменения средней кинетической энергии электронов в промежутке анод—катод при их движении вдоль траектории. Параметр γ характеризует эффективность ионизации рабочего вещества электронным ударом.

На основе рассмотренных выше физических принципов формирования интенсивных пучков ионов различных веществ были исследованы и разработаны десятки модификаций источников ионов с холодным катодом, предназначенных для различных технологических процессов.

Источники ионов для травления материалов.

Наибольшее распространение получил источник ионов с холодным катодом «Радикал», формирующий трубчатый пучок ионов (рис. 3). Катод с кольцевой щелью диаметром 100 мм изготовлен из магнитомягкого материала и служит одновременно магнитопроводом и ускоряющим электродом (катодом). Кольцевой анод охлаждается водой. Радиальное магнитное поле индукцией до 0,15 Тл создается соленоидом и системой магнитопроводов. Газообразное рабочее вещество подается через канал в камеру и через кольцевое отверстие в центральном магнитопроводе поступает в промежуток анод—катод. Источник «Радикал» может пристыковываться к смотровому окну практически любой высоковакуумной технологической установки.

Исследования показали, что для источника «Радикал», как и для ускорителей с анодным слоем [5], характерно наличие двух режимов работы. При увеличении потока газа, проходящего через источник, наблюдается сначала медленный рост тока пучка, а затем он круто возрастает. Переход от одного режима в другой происходит при некотором критическом потоке газа $Q_{кр}$. Режим работы источника при $Q < Q_{кр}$ называется слабым, а при $Q > Q_{кр}$ — сильным (рис. 4).

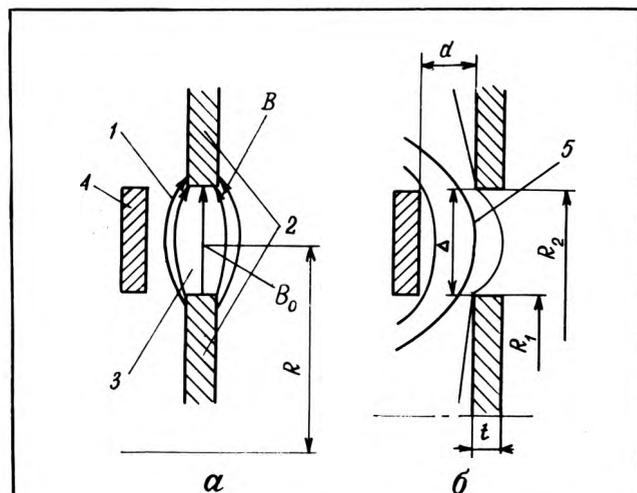


Рис. 2. Сечение ускоряющего промежутка источника ионов, на котором показаны силовые линии магнитного поля (а) и конфигурация эквипотенциалей (б): 1 — силовые линии магнитного поля; 2 — катод (ускоряющий электрод); 3 — отверстие для выхода пучка ионов; 4 — анод; 5 — эквипотенциалы



Рис. 3. Источник ионов с холодным катодом «Радикал»

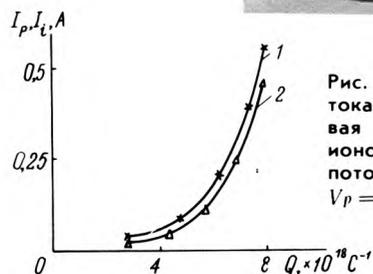


Рис. 4. Зависимость тока разряда I_p (кривая 1) и тока пучка ионов I_i (кривая 2) от потока газа Q при $V_p = 1,4$ кВ, $B = 0,1$ Тл

Источник «Радикал» использован в технологическом оборудовании различного типа в установках реактивного ионно-лучевого травления (037 и 045), в установках ионно-плазменного нанесения с предварительной очисткой пластин пучком ионов (040 и 050), а также в установках вакуумного плазменно-дугового нанесения с очисткой и активацией поверхности перед и в процессе нанесения пленок (051, 062, 070).

Для травления пластин большой протяженности созданы источники ионов с ленточными пучками. Ширина пучка достигает 700 мм, что позволяет равномерно обрабатывать пластины указанной ширины при перемещении их относительно пучка. Нет принципиальных ограничений к дальнейшему увеличению ширины пучка ионов.

Принципиальным решением проблемы равномерной обработки поверхностей большой площади явилось создание многопучковых источников ионов «Радикал М». В источниках сохранены физические принципы формирования пучков ионов, характерные для источников «Радикал». При разработке источника удалось реализовать одинаковые электрофизические и геометрические параметры в каждой ячейке, что обеспечило формирование пучков ионов различного диаметра. Созданы источники ионов «Радикал М-100», «Радикал М-200», «Радикал М-300», «Радикал М-450» (рис. 5) с пучками ионов диаметром 100, 200, 300, 450 мм соответственно.

В источниках «Радикал М-100» максимальный ток пучка ионов четырехфтористого углерода достигает 700 мА, а плотность тока на обрабатываемой поверхности близка к 7 мА/см². Напряжение на разряде составляет 1—3 кВ, а средняя энергия ионов — 300—500 эВ, что обеспечивает обработку большинства материалов без радиационных повреждений и аморфизации поверхности. При обработке неподвижных пластин равномерность травления составляет ±5% в зоне обработки диаметром 90 мм. Источник обеспечивает максимальную скорость травления двуокиси кремния ~14 нм/с (рабочее вещество CF₄), а алюминия 3 нм/с (газ аргон). Селективность травления SiO₂ к Si достигает 15:1 при использовании хладагента 218 (C₃F₈).

Источник ионов «Радикал М-200» обеспечивает зону равномерной обработки диаметром 175 мм и максимальную плотность ионного тока — 2,5 мА/см². В источниках «Радикал М-300» и «Радикал М-450» диаметры зоны равномерной обработки составляют 220 и 350 мм соответственно, а плотность ионного тока достигает 1 мА/см². Принципы конструирования многопучковых источников позволяют создать источники, формирующие пучки практически любых конфигураций: ленточные, прямоугольные, кольцевые и др.

Техническая характеристика источников ионов для травления материалов

Обрабатываемые материалы	диэлектрики (SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , ФСС и др.), полупроводники (Si, GaAs и др.), металлы и сплавы (Cu, Au, Ti, W, AlCu, NiFe и др.)
Разрешающая способность, мкм	<0,2
Точность переноса размеров элементов, мкм	<0,05
Скорость травления, нм/с	
двуокиси кремния	≤14
металлов, полупроводников	≤2—3
Селективность травления	
SiO ₂ :Si	(15—20):1
SiO ₂ :GaAs	(10—12):1
Неоднородность травления пластин диаметром до 350 мм, %	≤±5
Глубина травления кварца, мкм	≤100

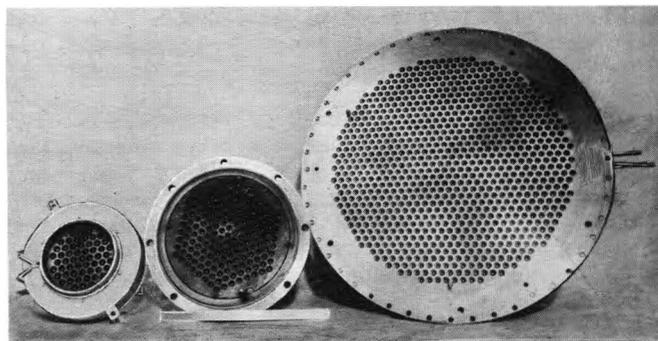


Рис. 5. Многопучковые источники ионов «Радикал М-100», «Радикал М-200», «Радикал М-450»

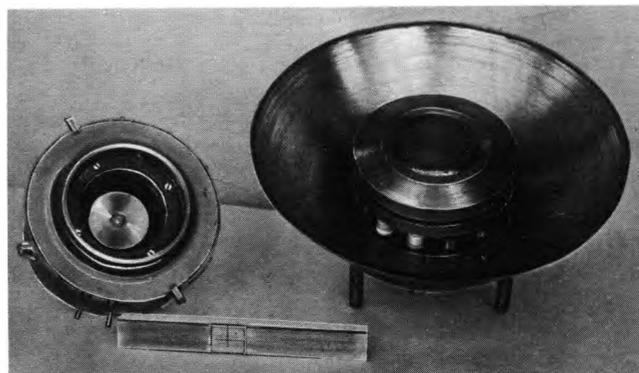


Рис. 6. Источники ионов «Холодок-1» и «Холодок-2»

Нейтрализация заряда происходит по всей поверхности пластины. Имеется возможность управления профилем микроструктуры в обрабатываемом материале.

Источники ионов для нанесения материалов

Рассмотренные источники могут применяться не только для очистки, активации, полировки и травления поверхности. Сравнительно малые средние энергии ионов позволяют их использовать и для нанесения пленок путем осаждения материала непосредственно из пучка ионов. Таким методом, например, получены пленки нитрида бора и алмазоподобные.

Источники с холодным катодом применяются также для нанесения пленок распылением материала мишени пучком ионов. Основным отличием предложенного способа распыления от известных методов является возможность бомбардировки мишени высокоэнергетическими ионами практически любых газообразных веществ, включая химически активные соединения.

Источник ионов «Холодок-1» (рис. 6) создает радиально сходящийся пучок ионов, направленный под таким углом к поверхности мишени, при котором обеспечивается получение максимального коэффициента распыления материала. Исследования показали эффективность повышения энергии ионов при распылении материалов под углом к поверхности. При одной и той же мощности пучка ионов скорости нанесения пленок возрастают при увеличении разности потенциалов между катодом и анодом. Например, в процессе осаждения пленок нитрида алюминия скорость нанесения возрастает в 2 раза при увеличении V_p от 3 до 6 кВ и постоянной мощности пучка. Ток пучка ионов достигает 0,5 А.

Высоковольтный режим предпочтителен для процессов нанесения, так как он поддерживается при

меньших потоках газа, а следовательно, меньших рабочих давлениях. Источник «Холодок-1» позволяет наносить пленки металлов, диэлектриков, полупроводников, сплавов, а также сложных композиционных материалов, включая высокотемпературные сверхпроводники. Скорость нанесения таких пленок, как SiO_2 , превышает 1,5 нм/с.

С целью нанесения пленок на поверхности большой площади разработан источник «Холодок-2» с радиально расходящимся пучком ионов и протяженные источники «Холодок-3» с расходящимися пучками.

Источник «Холодок-2» (см. рис. 6) позволяет наносить пленки с неравномерностью $\pm 5\%$ на подложки диаметром 350 мм. Токи ионов на мишени составляют 1 А при напряжении разряда 4—5 кВ.

Источник «Холодок-3» обеспечивает нанесение пленок с неравномерностью менее $\pm 5\%$ на пластины шириной 450 мм. Указанные размеры равномерно обрабатываемых поверхностей могут быть увеличены или уменьшены соответствующим изменением размеров источника и мишеней.

Процессы нанесения пленок ионно-лучевыми методами обеспечивают возможность нанесения практически любых материалов, включая композиты (итрий-бариевые сверхпроводящие высокотемпературные пленки, железо-иттриевый гранат и др.), диэлектрики (SiO_2 , Si_3N_4 , алмазоподобные пленки и др.), магнитные материалы (пермаллой, самарий-кобальтовые сплавы и др.); высокий вакуум в области подложки; отсутствие электрических полей между ми-

шенью и подложкой; возможность управления зарядом в растущей диэлектрической пленке.

Скорость нанесения пленок различных материалов составляет 1—2 нм/с. Неоднородность нанесения пленок на пластины диаметром до 350 мм равна $\pm 5\%$.

Применение источников ионов для процессов очистки, активации и полировки поверхностей позволяет повысить адгезию пленок к подложке в 2—4 раза, уменьшить переходные сопротивления в десятки раз, уменьшить неровности на обрабатываемой поверхности, управлять структурой и свойствами пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а б о в и ч М.Д. Физика и техника плазменных источников ионов.— М.: Атомиздат, 1972.— 304 с.
2. Г а б о в и ч М.Д., П л е ш и в ц е в Н.В., С е м а ш к о Н.Н. Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей.— М.: Энергоатомиздат, 1986.— 249 с.
3. М а и ш е в Ю.П. Источники интенсивных ионных пучков с компенсацией положительного пространственного заряда внутри ускоряющего промежутка.— Приборы и техника эксперимента, 1980, № 1, с. 183—186.
4. Л е н н е р т Б. Динамика заряженных частиц.— М.: Атомиздат, 1967.— 351 с.
5. К е р в а л и ш в и л и Н.А. Неустойчивости в разряде низкого давления в поперечном магнитном поле.— ЖТФ, 1968, т. 38, вып. 4, с. 770—773.

Статья поступила 24 января 1990 г.

УДК 621.3.049.77.002.5.019.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**М.Р.Борейко, Л.А.Райхлина, П.А.Данилович,
А.А.Вискушенко, А.А.Смирнов**

В производстве изделий микроэлектроники повышение энергоемкости в целом и снижение потребляемой мощности комплексуемых изделий, приводит к ухудшению помехозащищенности оборудования, а следовательно, к снижению надежности, производительности, выхода годных изделий и увеличению затрат на восстановление. Поэтому повышение уровня помехозащищенности — одна из важнейших задач, решаемая при создании нового поколения технологического оборудования. Разработаны нормативно-технические документы [1], оговаривающие технические требования и методику испытания электронного оборудования на устойчивость к сетевым помехам. Для проведения испытаний на помехозащищенность требуются специальные приборы — имитаторы и измерители помех [2—5].

С точки зрения обеспечения помехозащищенности технологическое оборудование имеет ряд особенностей:

- наличие источников (лазеров, источников света и приводов) и приемников (датчика) помех, расположенных в непосредственной близости друг от друга;
- наличие длинных линий связи между составными частями оборудования;
- низкая помехозащищенность покупных средств вычислительной техники, входящих в оборудование;

— наличие многоуровневых микропроцессорных систем управления оборудованием.

В последнее время наметилась тенденция полной автоматизации технологических процессов изготовления ИЭТ — создание автоматических линий, что значительно усложняет задачу обеспечения помехозащищенности технологического оборудования.

Для достижения требуемого уровня помехозащищенности на основе ОСТ 251189—85 "Совместимость технических средств цифровой вычислительной техники электромагнитная. Технические требования и методы испытаний" и комплекта приборов КИМП [6] разработаны методика испытания оборудования на помехозащищенность и имитаторы импульсных и длительных помех. Оба имитатора помех метрологически аттестованы.

Техническая характеристика имитатора импульсных помех

Амплитуда импульса, В	100—1500
Длительность импульса на уровне 0,5 амплитуды, нс	150—250
Длительность фронта импульса между уровнями 0,1—0,9 амплитуды, нс	30—35
Частота повторения импульсов, Гц	50 и однократно

Техническая характеристика имитатора длительных помех

Диапазон изменения провала, В	10—220
Длительность провала, мс	10—9990
Период повторения провала, мс	100—9900

Организационно-технические мероприятия, проводимые на различных этапах создания технологического оборудования

Этапы работы	Мероприятия	Примечания
Техническое задание	Установление нормированных уровней требований к ЭМС оборудования, а также к ЭМС составных частей, разрабатываемых по отдельным ТЗ	
Эскизный и технический проект	Проверка составных частей оборудования, получаемых по кооперации, на соответствие требованиям ЭМС согласно инструкции. (В случае необходимости ответственным исполнителем по обеспечению ЭМС разрабатывается дополнительная инструкция, согласованная с предприятием-изготовителем. При несоответствии требованиям ЭМС проводится доработка согласно рекомендациям ответственного исполнителя по обеспечению ЭМС)	Перечень составных частей определяется руководителем разработки оборудования Рекомендации по доработке согласуются с предприятием-изготовителем
	Проверка действующего макета оборудования на соответствие требованиям ЭМС согласно инструкции. (В случае его несоответствия требованиям ЭМС ответственный исполнитель по обеспечению ЭМС составляет перечень доработок, которые должны быть учтены на следующем этапе разработки оборудования)	
Рабочая конструкторская документация	Решение вопросов общей компоновки оборудования, устройства сетевого ввода, устройства системы вторичного электропитания, раскладки кабелей и монтажа, а также заземления	Перечень чертежей определяется в процессе проектирования руководителем разработки оборудования
опытного образца	Испытание отдельных составных частей оборудования на соответствие требованиям ЭМС согласно программе и методике испытаний (ПМ) в процессе комплексной наладки Испытание всего оборудования в целом на соответствие требованиям ЭМС согласно инструкции после окончания комплексной наладки	
серийного образца	Внесение в ТУ требований к ЭМС на оборудование, проведение входного контроля составных частей на соответствие требованиям ЭМС и контроль внешних помех из сети питания, а также указаний по размещению оборудования согласно габаритному чертежу Внесение в ПМ на отдельные вновь разрабатываемые составные части требований по ЭМС	Перечень составных частей определяет руководитель разработки оборудования совместно с ответственным исполнителем по обеспечению ЭМС

Таблица 2

Повышение помехозащищенности технологического оборудования

Оборудование	Исходный уровень помехозащищенности		Достигнутый уровень помехозащищенности		Мероприятия, позволившие достичь требуемого уровня помехозащищенности
	Амплитуда импульсной помехи, В	Длительность помехи (провал до нуля), мс	Амплитуда импульсной помехи, В	Длительность помехи (провал до нуля), мс	
Автомат дисковой резки полупроводниковых пластин	400	меньше 10	1500	20	В блоке статического преобразователя частоты установлен дополнительный сетевой фильтр В блоке модулятора вместо магнитного пускателя ПМЕ-111 введена схема, исключающая повторный запуск оборудования при кратковременном пропадании сетевого питания, выполненная на реле МКУ-48 В вычислительном блоке установлены дополнительные конденсаторы емкостью 66000 мкФ

Оборудование	Исходный уровень помехозащищенности		Достигнутый уровень помехозащищенности		Мероприятия, позволившие достичь требуемого уровня помехозащищенности
	Амплитуда импульсной помехи, В	Длительность помехи (провал до нуля), мс	Амплитуда импульсной помехи, В	Длительность помехи (провал до нуля), мс	
Автомат присоединения проволочных выводов транзисторов	200	10	1000	20	В блоке питания установлен дополнительный сетевой фильтр Проведены существенные изменения в компоновке и монтаже блока питания. В частности, разнесены «грязные» и «чистые» сетевые провода Проведены изменения в монтаже вычислительного блока В вычислительном блоке установлены дополнительные конденсаторы емкостью 40000 мкФ
Генератор изображения	100	—	630	—	Блок питания лазера помещен в дополнительный экран Экранированы кабели, соединяющие блок питания лазера и излучатель Корпус излучателя лазера изолирован от корпуса оптико-механического оборудования На разрядные цепи излучателя и на шину заземления блока питания лазера установлены ферритовые кольца Установлен дополнительный сетевой фильтр в блок питания лазера Введена гальваническая развязка между блоком питания лазера и устройством управления
Установка совмещения и мультипликации	100	—	630	—	Установлены сетевой трехфазный фильтр для питания управляющего комплекса (УК) и сетевой фильтр в блоке питания ртутной лампы ДР.С Разводка низковольтного питания в УК выполнены шинами с малой индуктивностью Покупная ЭВМ (ДВК) запитана через фильтр УК Для заземления нулей цифроаналогового и силового питания организована «чистая земля»

Создание приборов для имитации импульсных и длительных помех и методики испытаний позволило ввести в стандарты предприятия типовые формы технических требований по помехозащищенности технологического оборудования и его составных частей. В плановой документации по разработке оборудования отведено время для испытания на помехозащищенность. Организационно-технические мероприятия, проводимые на различных этапах создания технологического оборудования (табл. 1), обеспечивают требуемый уровень помехозащищенности только при условии выполнения ряда технических требований, которые оговариваются в руководящем техническом материале по помехозащищенности. Документ включает в себя вопросы компоновки и заземления технологического оборудования и его составных частей, ввода в оборудование сетевого питания и систем вторичного электропитания, приводятся рекомендации по выбору сетевых фильтров, разделительных трансформаторов, шин питания и экранирующих желобов для кабелей. Круг вопросов, охватываемых руководящими техническими материалами по помехозащищенности, расширяется.

В таблице 2 приведены исходные на начало работ по электромагнитной совместимости (ЭМС) и достигнутые уровни помехозащищенности отдельных образцов технологического оборудования по импульсным и длительным сетевым помехам, а также указаны меры, принятые с целью достижения требуемого уровня.

Для выхода на внешний рынок требуется обеспечить соответствие специального технологического

оборудования международным стандартам. Созданы макеты приборов с техническими характеристиками, указанными в международных стандартах. Ведутся дальнейшие разработки подобного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н о с о в В.В. Промышленные помехи и обеспечение надежности функционирования систем управления технологическими процессами.— Измерение, контроль, автоматизация, 1987, вып. 2, с. 61—72.
2. Имитаторы помех и измерители помех.— Обзор продукции фирмы Noise Laboratory Co. LTD (Япония).
3. Обзор продукции фирмы Schaffner Instruments AG/Пер. с нем.— Торгово-промышленная палата БССР.— 1987.— № 464/4.
4. High voltage Impulse Testers.— Проспект фирмы Haefely (Швейцария).
5. Pouer Line Disturbance Analyzer. Series 646.— Проспект фирмы Dranetz (США).
6. Комплект измерителей и имитаторов помех КИМП-2/И.С.Гурвич, Б.А.Корнеев, В.П.Самуйтис, М.З.Боркумас.— Приборы и системы управления, 1987, № 10, с. 24—25.

ТЕРМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПИРОГЕННОГО ОКИСЛЕНИЯ СОТ.ППЭ-3/100

Ю.Н.Сахаров, С.О.Сухарев

Предназначена для автоматической групповой прецизионной газотермической обработки кремниевых пластин диаметром не более 100 мм (сухого и влажного пирогенного окисления) при производстве ИЭТ. Разработана на базе установки СДОМ-3/100.

В термической системе пирогенного окисления полностью изменен модуль обеспыливания зоны загрузки, который представляет собой закрытый объем с направленным ламинарным потоком очищенного воздуха, поступающий с блока обеспыливания через фильтры тонкой очистки. Новый блок имеет более высокую производительность и большую площадь фильтрующих элементов по сравнению с ранее применяемым. Потребитель имеет возможность подключить через отверстия в столешнице дополнительную вытяжную вентиляцию для удаления пыли из зоны загрузки.

Для удобства обслуживания механизмов перемещения (кварцевых носителей) в конструкции модуля предусмотрены технологические окна на быстросъемных крепежных деталях. Вытяжная камера в отличие от ранее применяемой имеет отдельные воздуховоды для каждого канала загрузки, что исключает попадание инородных частиц с верхних каналов на нижние. Устройство газораспределения оснащено камерой сгорания, к которой подведены магистрали водорода и кислорода. При температуре 700°C в камере происходит реакция соединения водорода с кислородом, и в реактор электропечи подаются чистые пары воды, что значительно повышает качество процесса окисления. В связи с применением в системе водорода она дополнительно оснащена термохимическим многоканальным сигнализатором "Щит-2-1", датчики которого установлены в устройстве газораспределения и срабатывают при утечке водорода из магистралей газовой сети.

Система имеет автоматическое управление с поста управления ПУ-4Б всеми каналами независимо друг от друга, регуляторами расхода газов в устройстве газораспределения и исполнительными элементами запирающей арматуры газовых магистралей. Осуществляется оперативный ввод следующих данных программы технологического процесса по каждому каналу:

- длительности временных интервалов;
- расхода технологических газов;
- допустимых отклонений от заданных значений.

При выходе текущих параметров технологического процесса за допустимые пределы система автоматического управления обеспечивает сигнализацию, останов, переход на другой интервал. Дисплей позволяет контролировать текущие параметры технологического процесса. Предусмотрены три кнопки аварийного выключения. Так как загрузочная система размещена в "чистой" комнате, одна из кнопок аварийного выключения расположена в модуле обеспыливания, а две других со стороны технического помещения. Система имеет дополнительный комплект кварцевых заслонок для модуля загрузки и саморегулируемые рабочие термодары.

Наряду с повышением производительности оборудования в результате введенных в систему СОТ.ППЭ-3/100 конструктивных улучшений достигается более высокий процент выхода годных изделий.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ГАЗОНАПУСКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

И.А.Рябов, В.Г.Кудрявцев

Разработанная система газонапуска для технологического оборудования производства ИЭТ применяется в любом из трех режимов: регулирование потока напускаемого газа; стабилизация давления с обратной связью от вакуумметра любого типа со стандартным аналоговым сигналом 0—10 В в диапазонах низкого, среднего и высокого вакуума; дозирование газа с управлением от внешних устройств. Система имеет автоматическое управление, что позволяет применять ее в составе ГАП и АСУТП с использованием ЭВМ. Для удобства работы оператора в ручном режиме применены квазисенсорные переключатели и цифровая индикация.

Применение в ионно-плазменном технологическом оборудовании высокоэффективных ионно-лучевых и магнетронных устройств нанесения и травления обусловило жесткие требования к стабильности давления, поддерживаемого в вакуумной системе в области разряда. Это объясняется прямой зависимостью величины напряжения (тока) разряда от концентрации молекул рабочего газа, мерой которой является давление.

Нестабильность процесса ионно-плазменной обработки вызвана множеством факторов: нестабильностью скорости действия откачных средств, изменением скоростей диффузии и реакции газов с распыляемыми материалами, непостоянством скоростей десорбции и поглощения газов поверхностями внутрикамерных устройств, "всплесками" потоков газов и паров, десорбирующих с поверхностей вновь вносимых изделий, и др. Как следствие нестабильности давления ухудшается воспроизводимость технологических процессов, что ведет к значительному разбросу параметров обрабатываемых изделий.

Стабилизация давления с обратной связью от вакуумметра полностью исключает указанные эффекты. Разработанная система газонапуска (см. рисунок) позволяет осуществлять стабилизацию непосредственно ионного тока источника по сигналу обратной связи, снимаемому с мишени. Существует возможность стабилизации напряжения разряда магнетрона при наличии согласующего устройства. В качестве исполнительного устройства системы использован серийный электромагнитный импульсный натекатель НМБ-1.

Регулирование потока напускаемого газа осуществляется посредством схемы частотно-широкоимпульсной модуляции. Селектор каналов управления определяет режим работы системы, т.е. пропускает сигнал от требуемого устройства в усилитель мощности, который преобразует его уровень до необходимого для питания электромагнита натекателя. При работе системы в режиме регулирования потока селектор каналов управления пропускает сигнал звукогенератора с ЗГ1, имеющего отдельные регулировки длительности импульсов и паузы между ними, что определяет широкий диапазон регулирования среднего значения величины потока газа. В режиме стабилизации давления сигнал проходит с ЗГ2, который аналогичен описанному, но управляется сигналом обратной связи, которая вычитает из опорного напряжения величину сигнала обратной связи. Последняя также обеспечивает устойчивость системы посредством регулируемых корректирующих звеньев.



Универсальная система газонапуска

Зависимости интегрального потока напускаемого через натекатель газа от длительности импульсов газа, паузы между ними и скважности показывают, что диапазон регулирования составляет два порядка, это вполне достаточно для конкретного технологического оборудования. Более глубокая перестройка достигается подбором сменной диафрагмы натекателя. Крутой характер нарастания кривых зависимости потока от длительности импульсов указывает на возможность грубой регулировки с помощью данного параметра. Более точную подстройку можно осуществлять изменением паузы между импульсами, так как зависимость интегрального потока газа в этом случае имеет плавно падающий характер.

Кривая зависимости потока от скважности импульсов свидетельствует о том, что регулирование посредством одного параметра затруднено из-за значительной нелинейности, однако в режиме стабилизации давлений указанная нелинейность повышает запас устойчивости системы. Это объясняется тем, что в области больших потоков, а следовательно и давлений, увеличивается быстрота действия откачных средств и для обработки возмущений требуется большой коэффициент усиления системы, который обеспечивается высокой крутизной зависимости потока от скважности. В области малых потоков уменьшается скорость откачки и высокий коэффициент усиления может вывести систему из области устойчивости, что приведет к раскачке автоколебаний. Однако благодаря пологому характеру зависимости автоматически уменьшается коэффициент, и система сохраняет свою устойчивость.

При стабилизации давления в вакуумной системе со скоростью откачки 1000–1200 л/с и объемом камеры 0,4 м³ в качестве датчика обратной связи использован вакуумметр ВМЦБ-12. В начальный момент на диаграмме отражена реакция системы на ступенчатое появление установки стабилизации. Как видно из диаграммы, переходный процесс без перерегулирования позволяет сразу после включения системы выходить на рабочий режим до установления стационарного процесса в камере. Ступенька на кривой переходного процесса может быть объяснена изменением структуры потока в подводящем вакуумпроводе. Нестабильность давления по окончании переходного процесса не превышает 1%. Далее по диаграмме система была разомкнута. При этом наблюдается значительное перерегулирование, после которого система вновь возвращается в рабочее состояние. Такой режим включения не является рабочим, однако свидетельствует о значительном запасе устойчивости системы.

Разработанная система может легко встраиваться в АСУ ТП. Широкий диапазон регулирования позволяет без перестройки переходить на различные технологические режимы. Высокое качество стабилизации давления дает возможность повысить воспроизводимость и качество технологических процессов. Унифицированный диапазон анодного сигнала обратной связи обеспечивает встраиваемость системы в различные вакуумные установки с любыми средствами контроля вакуума.

Статья поступила 29 декабря 1989 г.

**Предприятиям,
занимающимся
толстопленочной
технологией,**

**ВНИИГИС
предлагает:**

лазерную установку автоматической подгонки толстопленочных резисторов «Темп-30» (новая, цена 76,6 тыс. руб.),
установку контроля герметичности корпусов «УКГК-3» (новая, цена 2,26 тыс. руб.).

ВНИИГИС приобретет вакуумно-напылительное оборудование типа «УВН-75РЗ» или «Р1», «Магнетрон». Оборудование типа СТИ-14 для контроля герметичности сварных соединений.

Справки по адресу: 452620, БАССР, г. Октябрьский, ул. Горького, 1, ВНИИГИС. Тел. 5-81-00.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

М.И.Федоров, В.Н.Дорохин, В.А.Ульянов

Производительность вакуумной печи может быть повышена вдвое благодаря сокращению времени ее остывания при напуске теплопроводного газа в количестве 0,01—0,001 ее объема.

Производительность вакуумных печей периодического действия значительно ниже аналогичных печей с газовой защитой из-за медленного остывания. Для ускорения остывания вакуумных печей применяется напуск в вакуумную камеру нейтрального газа до атмосферного давления, т.е. в количестве $\nu \cdot 10^5$ л·Па (где ν — объем вакуумной камеры печи в литрах)*. Тот же эффект ускорения остывания печи достигается и напуском в вакуумную камеру газа в количестве $\nu \cdot (10^2 \dots 10^3)$ л·Па.

Производительность печи можно повысить, используя для охлаждения теплопроводный газ в значительно меньших количествах по сравнению с нейтральным. Уменьшение количества наиболее теплопроводного, но взрывоопасного газа — водорода в 100—1000 раз по сравнению с его количеством при напуске до атмосферного давления обеспечивает его технически безопасное применение. Кроме того, использование таких же малых количеств чистого гелия экономически целесообразно, несмотря на его высокую стоимость.

Дозированный напуск теплопроводного газа в вакуумную камеру печи осуществляется устройством, которое состоит из мерного сосуда с мановакуумметром для приготовления порции газа, редуктора, обеспечивающего напуск газа в мерный сосуд до требуемого давления из баллона или промышленной газовой сети, и клапана, сообщающего мерный сосуд с вакуумной камерой печи. Мерный стакан снабжен фланцем для установки в него при необходимости устройства сорбционной очистки приготавливаемой порции газа.

Время остывания (с 1200 до 100°C) типовой вакуумной печи с объемом камеры 150 л и экранной теплоизоляцией при напуске гелия в количестве $1,5 \cdot 10^5$ л·Па в камеру, отключенную от агрегата откачки при температуре 600°C, сокращается с 5 до 1 ч.

Производительность печи при пайке в вакууме медными припоями с длительностью активной части технологического процесса (загрузки, вакуумирования, нагрева, пайки, выгрузки) 2,5 ч повысилась в два раза.

Выбор оптимальной температуры печи, при которой вакуумная камера отключается от откачного агрегата и производится напуск газа, а также применение чистых газов обеспечивают сохранение качества термообработки.

* Справочник по пайке/Под ред. И.Е.Петрунина.— М.: Машиностроение, 1984, с. 136—158.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Н.Н.Силантьев, В.Г.Тугарин, В.Д.Тупикин

Разработан комплекс контрольно-измерительного и испытательного оборудования для межоперационного контроля основных элементов магнитных фокусирующих систем — постоянных магнитов.

В магнитных системах современного технологического оборудования используется большое число постоянных магнитов, изготовление которых представляет собой весьма сложный процесс. Причем магнитные характеристики материала готового магнита могут отличаться от характеристик исходного материала. Поэтому контроль готовых систем с постоянными магнитами становится экономически невыгодным и возникает необходимость их межоперационного контроля с целью раннего диагностирования.

Разработан комплекс оборудования для межоперационного контроля постоянных магнитов (от контроля материалов до термоиспытаний готовых магнитов), который включает в себя четыре группы установок:

- для контроля магнитных параметров образцов магнитных материалов и постоянных магнитов;
- для импульсного намагничивания, стабилизации (калибровки) и контроля постоянных магнитов;
- для контроля разбраковки магнитов по параметрам;
- для термоиспытаний постоянных магнитов.

В оборудовании использованы методы измерения, позволяющие автоматизировать процесс измерения и обеспечивающие высокую точность и широкий диапазон измерения магнитных величин. При разработке комплекса магнитоизмерительного оборудования усовершенствованы существующие методы измерения, созданы новые измерительные преобразователи, измерительные системы и системы обработки информации.

Применение блочно-модульного принципа конструирования дает возможность быстро совершенствовать и гибко перестраивать оборудование для контроля и испытания широкой номенклатуры постоянных магнитов.

Разработанный комплекс оборудования характеризуется широким диапазоном, высокой точностью и производительностью измерений и дополняет по своим возможностям существующее оборудование для измерения и контроля магнитных свойств постоянных магнитов [1, 2].

Оборудование для контроля магнитных параметров образцов магнитных материалов и постоянных магнитов

Автоматизированная установка "Меридиан-2" (рис. 1) представляет собой вибромагнитометр, который может быть использован при разработке постоянных магнитов и в серийном производстве. Вибромагнитометр позволяет измерять зависимость удельной намагниченности от напряженности магнитного поля в диапазоне температур от -60 до 650°C. Определяются следующие параметры этой зависимости: удельная намагниченность насыщения; остаточная удельная на-



Рис. 1. Автоматизированная установка «Меридиан-2» для измерения магнитных параметров образцов магнитотвердых материалов с малой массой

магнитность; коэрцитивная сила по намагниченности; коэрцитивная сила по индукции; намагниченность насыщения; остаточная намагниченность; напряженность поля при значении, равном 0,9 остаточной намагниченности; остаточная магнитная индукция; напряженность магнитного поля при $(H_N)_{max}$; магнитная индукция при $(H_N)_{max}$; максимальное энергетическое произведение $(BH)_{max}$.

Процессы намагничивания, измерения и расчета результатов выполняются автоматически. ЭВМ «Электроника» обеспечивает выдачу на цифрочасть всех измеренных и рассчитанных параметров, а также вывод в графической форме на самописце Н-307 зависимостей удельной намагниченности от внешнего магнитного поля, намагниченности от внутреннего магнитного поля, индукции от внутреннего магнитного поля, индукции от энергетического произведения (BH) [3].

Техническая характеристика установки «Меридиан-2»

Диапазон измерения напряженности магнитного поля, кА/м	
с термокамерой	0—1600
без термокамеры	0—2400
Диапазон измерения удельной намагниченности, А · м ² /кг	0—200
Погрешность измерения напряженности магнитного поля, %	2
Погрешность измерения удельной намагниченности, %	3
Погрешность измерения температуры, °С	3
Производительность измерений при нормальной температуре, изм/ч	20
Время достижения максимальной и минимальной температур, мин	не более 30
Масса образцов сферической формы диаметром до 3 мм, подлежащих измерению, мг	100 ± 40

Установка совмещает в себе функции лучших отечественных образцов вибромагнитометров [4] и превосходит их по точности и диапазону температур. Срок освоения в производстве — 1990 г.

Гистереограф «Модуль» (рис. 2) для образцов магнитотвердых материалов и постоянных магнитов с наружным диаметром от 5 до 40 мм и толщиной от 4 до 10 мм позволяет регистрировать на двухкоординатном самописце статические петли гистерезиса в целочисленном масштабе в координатах: индукция намагниченности — внешнее магнитное поле и магнитная индукция — внешнее магнитное поле. Из полученных зависимостей определяется остаточная магнитная индукция, остаточная индукция намагниченности, коэрцитивная сила по индукции и намагниченности.

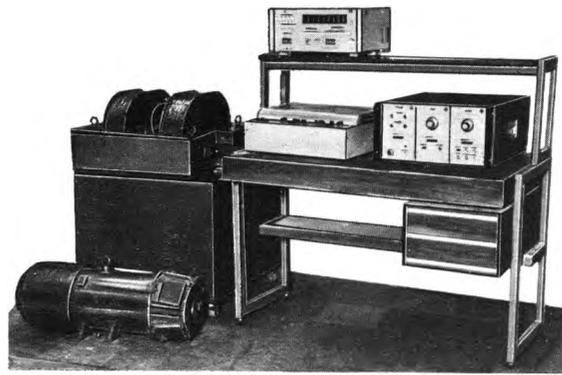


Рис. 2. Установка «Модуль» для регистрации кривых размагничивания постоянных магнитов

Оборудование для импульсного намагничивания, стабилизации (калибровки) и контроля постоянных магнитов

Это оборудование получило широкое распространение при производстве постоянных магнитов и магнитных систем, так как в процессе изготовления все магниты многократно подвергаются намагничиванию.

Установки предназначены для намагничивания, частичного размагничивания и контроля остаточной магнитной индукции широкой номенклатуры магнитов из любых магнитотвердых материалов, в том числе



Рис. 3. Установка «Мишень» для намагничивания, размагничивания до заданного уровня и контроля магнитной индукции постоянных магнитов



Рис. 4. Установка «Мишень-1» для намагничивания, размагничивания до заданного уровня и контроля магнитной индукции литых подковообразных магнитов

Технические характеристики импульсных установок

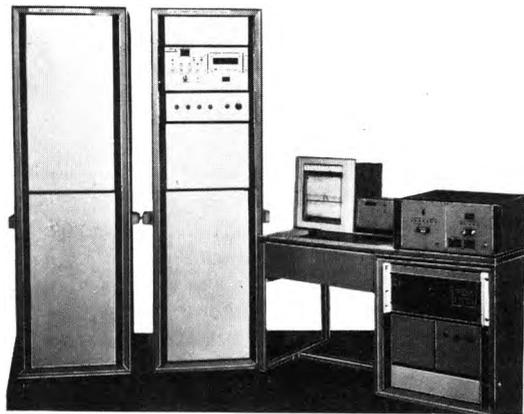


Рис. 5. Установка «Мишень-2» для намагничивания, размагничивания до заданного уровня и контроля магнитной индукции 4-полюсных роторных магнитов

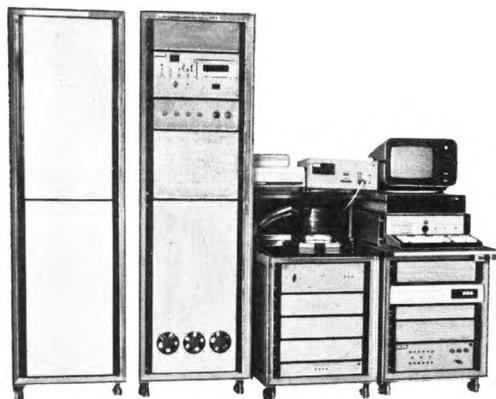


Рис. 6. Автоматизированная установка «Модернизация-86» для намагничивания, стабилизации рабочей точки и контроля магнитной индукции кольцевых магнитов



Рис. 7. Тесламетр «Меч-2» для импульсных магнитных полей

на основе редкоземельных элементов и сплава Fe-Nd-B. Намагничивание до технического насыщения материала осуществляется импульсным магнитным полем соленоида с системой масляного охлаждения, обеспечивающей стабилизацию температуры источника магнитного поля при его длительной работе.

Оборудование характеризуется высокой надежностью, возможностью реверсирования направления магнитного поля, отсутствием обратного импульса при намагничивании.

	«Мишень» (рис.3)	«Мишень-1» (рис.4)	«Мишень-2» (рис.5)	«Мишень-3»
Максимальная напряженность (индукция) магнитного поля в рабочем объеме соленоида, МА/м (Тл)	5,6(7,0)	1,2(1,5)	3,6(4,5)	12(15,0)
Предел измерения остаточной индукции магнита, Тл	1,0	1,0	1,0	—
Погрешность измерения остаточной индукции, %	1	1	1	—
Производительность в режиме намагничивания, шт/ч	60	20	60	60
Предельные размеры магнитов, мм				
кольцевых	∅60	—	—	∅45
призматических	130×30	—	—	—
литых подковообразных	—	40—200	—	—
4-полюсных роторных	—	—	∅40	—
тонкослойных	—	—	—	∅45

Установка "Модернизация-86" (рис. 6) предназначена для автоматического намагничивания, стабилизации рабочей точки и контроля магнитной индукции кольцевых магнитов с минимальным внутренним диаметром 5 мм, максимальным наружным диаметром 44 мм и высотой не более 10 мм. Установка обеспечивает по программе от ЭВМ "Электроника 60": испытание кольцевых магнитов воздействием двух возрастающих по напряженности импульсов магнитного поля соленоида ($H_2 > H_1$) (режим 1); намагничивание магнита до и после испытания (в случае признания годным); стабилизацию магнита при норме контроля $\pm 0,5\%$ от заданного уровня индукции B_3 , где $B_3 \geq 50\%$ от индукции в точке максимума поля на оси магнита после намагничивания его до насыщения (режим 2). Срок освоения в производстве — 1990 г.

Техническая характеристика установки "Модернизация-86"

Диапазон воспроизведения напряженности импульсного магнитного поля в центре соленоида при намагничивании, МА/м	0,3—6
Диапазон воспроизведения напряженности импульсного магнитного поля в центре соленоида при размагничивании, МА/м	0,3—2,5
Погрешность воспроизведения импульсного магнитного поля при намагничивании и размагничивании, %	3
Диапазон измерения магнитной индукции, Тл	0,01—1
Погрешность измерения магнитной индукции, %	1
Производительность установки, шт/ч	
в режиме 1	80
в режиме 2	60

Для измерения параметров магнитного поля в импульсных намагничивающих устройствах разработан и освоен в производстве переносной тесламетр "Меч-2" (рис. 7), который позволяет измерять амплитуду и длительность импульса и имеет цифровой отсчет измеряемых величин.

Техническая характеристика тесламетра «Меч-2»

Диапазон измерения амплитуды индукции импульсно-периодических магнитных полей, Тл	0,02—20
Погрешность измерения амплитуды индукции, %	3
Диапазон измерения длительностей импульса индукции на уровнях 0,1 и 0,9 и времени нарастания и спада импульса между уровнями 0,1 и 0,9 мс	1—100
Погрешность измерения временных параметров, %	5

Прибор превосходит установку "Меч-1" [5] по точности измерения и не имеет зарубежных аналогов.

Оборудование для контроля и разбраковки магнитов по магнитным параметрам

Для разбраковки в цеховых условиях магнитов из сплава ЮНДК по коэрцитивной силе разработана установка "Молния" (рис. 8), которая позволяет измерять и разбраковывать магниты диаметром 10 — 60 мм и толщиной 5 — 50 мм в автоматическом режиме по программе от ЭВМ "Электроника 60".

Загрузка—выгрузка и разбраковка магнитов осуществляется автоматически с помощью робота-манипулятора с микропроцессорным управлением, такого же, как в установке "Модель".

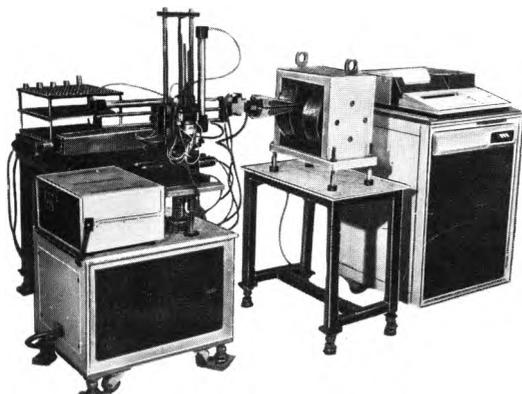


Рис. 8. Роботизированная установка «Молния» для разбраковки в цеховых условиях постоянных магнитов по коэрцитивной силе

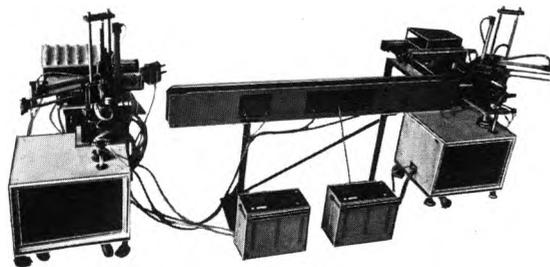


Рис. 9. Установка «Модель» для транспортирования постоянных магнитов

Техническая характеристика установки «Молния»

Диапазон измерения коэрцитивной силы по намагниченности, кА/м	40—200
Погрешность измерения, %	3
Производительность установки, шт/ч	120

Установка "Модель" (рис. 9) для транспортирования постоянных магнитов включает в себя: два манипулятора, два тактовых стола, два блока управления манипулятором и шаговый транспортер.

Для измерения магнитной индукции постоянного магнитного поля разработаны тесламетры Холла "Маяк-2" (рис. 10), Т-1, Т-2 и Т-5. Тесламетры выполнены в виде приборов, которые могут пользоваться автономно и встраиваться в установки для измерения магнитной индукции отдельных магнитов и магнитных систем. Тесламетры имеют цифровое табло, цифровой и аналоговый выходы.

Технические характеристики тесламетров

	«Маяк-2» [6]	Т-1	Т-2	Т-5 [7]
Диапазон измерения индукции, Тл	$1 \cdot 10^{-4}$ — 10	$2 \cdot 10^{-3}$ — 1	$5 \cdot 10^{-3}$ — 2	$1 \cdot 10^{-2}$ — 5
Поддиапазоны измерения, Тл	0,01; 0,1; 1; 10; с двукратным перекрытием	0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2	0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5
Погрешность измерения, приведенная к концу шкалы, %	1	1	1	1
Время измерения, с	1	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Габаритные размеры зондов, мм				
С-типа	$\varnothing 3 \times 500$	$\varnothing 2 \times 400$ $\varnothing 3 \times 600$	$\varnothing 0,95 \times 280$	$\varnothing 2 \times 400$ $\varnothing 3 \times 600$
М-типа	$1 \times 4 \times 150$	$1 \times 4 \times 200$	$1 \times 3 \times 200$	$1 \times 4 \times 200$
Возможность автоматического определения экстремальных значений индукции	нет	есть	есть	есть

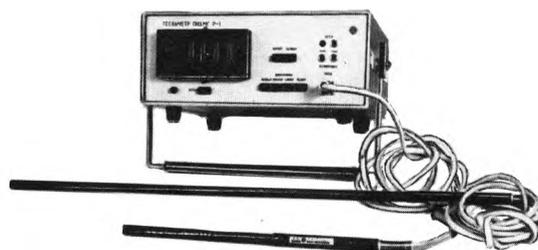


Рис. 10. Широкодиапазонный тесламетр постоянных магнитных полей «Маяк-2»

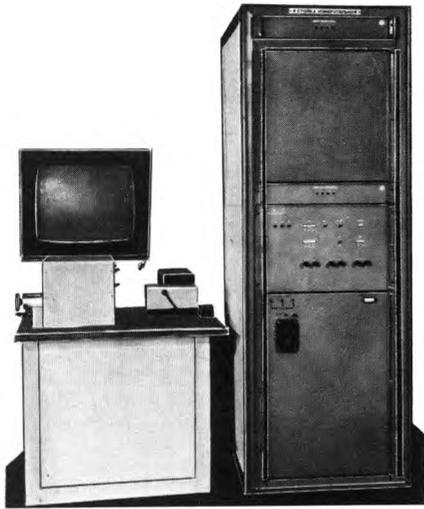


Рис. 11. Установка «Мысль-2» для визуального контроля распределения нормальной составляющей магнитной индукции полюсных поверхностей постоянных магнитов

Наиболее широко применяется тесламетр «Маяк-2» — он имеет высокую точность, надежен и прост в эксплуатации. Этот прибор прошел государственные испытания и рекомендован для серийного выпуска, срок освоения в производстве — 1990 г.

Установка «Мысль-2» (рис. 11) предназначена для топографирования и визуального контроля распределения нормальной составляющей магнитной индукции на плоских магнитах призматической или кольцевой формы с наибольшими линейными размерами 50 мм [8]. Результаты измерения выводятся в цифровой форме на экран монитора телевизионной установки.

Техническая характеристика установки «Мысль-2»

Диапазон измерения нормальной составляющей магнитной индукции на полюсных поверхностях, Тл	0—0,4
Погрешность измерения магнитной индукции, %	1,5
Наименьшее разрешение по линейным размерам при топографировании, мм	0,3
Время одного измерения, с	60

В качестве датчика использована тонкая феррит-гранатовая пленка.

Установка не имеет отечественных и зарубежных аналогов. Применяется для контроля однородности намагниченности плоских и тонкослойных магнитов на основе магнитотвердых материалов. Может использоваться для определения дефектов, контроля качества сварных швов изделий из магнитных и немагнитных материалов. Освоена в производстве в 1989 г.

Установка «Момент» (рис. 12) предназначена для измерения продольной и радиальной составляющих магнитной индукции кольцевых магнитов с наружным диаметром 6—60 мм, внутренним диаметром 2—40 мм, высотой — 2—12 мм. Разработана впервые для контроля отдельных магнитов и не имеет промышленных аналогов. Установка освоена в производстве в 1988 г.

Измерение и обработка результатов осуществляются по заданной программе с помощью ЭВМ «Электроника-60М». Результат измерения составляющих магнитной индукции выводится на цифropечатающее устройство МПУ 16-3. С установкой поставляется набор тестовых программ, позволяющих проводить измерения в различных режимах и проверять работоспособность отдельных узлов и установки в целом.



Рис. 12. Автоматизированная установка «Момент» для измерения продольной и радиальной составляющих магнитной индукции кольцевых магнитов



Рис. 13. Автоматизированная установка «Мальт-1» для массового контроля температурной стабильности магнитной индукции на оси кольцевых магнитов

Техническая характеристика установки «Момент»

Диапазон измерения продольной составляющей магнитной индукции, Тл	0—1
Погрешность измерения продольной составляющей магнитной индукции, %	1
Диапазон измерения радиальной составляющей магнитной индукции, мТл	0—50
Погрешность измерения радиальной составляющей магнитной индукции, %	2
Диаметр измерительного зонда, мм	1,6
Рабочий ход линейного перемещения измерительного зонда, мм	не менее 25
Дискретность, мм	не более 0,02
Рабочий ход вращения зонда не менее 360° с дискретностью, град	1
Производительность, шт/ч	90

Оборудование для термических испытаний постоянных магнитов

Установка «Мальт-1» (рис. 13) для автоматизированного 100%-ного контроля температурной стабильности кольцевых магнитов позволяет отбраковывать их на ранних стадиях технологического процесса, снизить трудоемкость настройки магнитных систем и в конечном счете повысить процент выхода годных СВЧ приборов.

Измерение и обработка результатов осуществляются по программе с помощью ЭВМ «Электроника». При этом обеспечивается автоматическая регистрация макси-

мальных значений магнитной индукции кольцевых магнитов, поддержание и регистрация температуры, управление перемещением магнитов и измерительного зонда, для каждой температуры — вычисление и регистрация температурного коэффициента максимального значения магнитной индукции относительно ее значения при комнатной температуре [9]. Контролю на установке подлежат кольцевые магниты с наружным диаметром 10–40 мм, внутренним диаметром 5–25 мм и высотой 2–8 мм. Установка не имеет промышленных аналогов.

Техническая характеристика установки «Мальт-1»

Диапазон измерения магнитной индукции, мТл	0—500
Погрешность измерения магнитной индукции, %	не более 1,5
Диапазон температур контроля, °С	20—200
Погрешность задания, поддержания и измерения температуры, °С	не более 4
Погрешность измерения температурного коэффициента индукции в диапазоне 0,005—0,01% /°С, %	15

Установка проходит опытно-промышленную эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Испытание магнитных материалов и систем/Е.В.Кожмаров, А.Д.Покровский, В.Г.Сергеев, А.Я.Шихин.— М.: Энергоатомиздат, 1984.— 376 с.

2. Антонов В.Г., Петров Л.М., Шелкин А.П. Средства измерений магнитных параметров материалов.— Л.: Энергоатомиздат, 1986.— 216 с.

3. Вибромагнитометр для контроля параметров магнитотвердых материалов в интервале температур от —60 до +600°С/В.Г.Тугарин, Е.В.Краснихин, Е.Н.Смирнов, О.Н.Иванкина.— Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по постоянным магнитам.— М.: Информэлектро, 1988, с. 106—107.

4. Краснихин Е.В., Матасов В.Ф., Флатов А.Б. Магнитометр вибрационный для контроля магнитных свойств магнитотвердых материалов полуавтоматический (УКЭ МГП-17).— Информационный листок ВИМИ.— 88-2460.

5. Грудцин В.Н., Тугарин В.Г. Цифровой тесламетр сильных импульсных магнитных полей.— Электронная техника. Сер. 6. Материалы, 1986, вып. 4, с. 29—50.

6. Беляева Н.Ф., Тугарин И.В., Шандуров В.А. Тесламетр ПИЭ.МГР-1.— Электронная промышленность, 1988, вып. 6, с. 7.

7. Новорасов А.А., Мурнина Л.П., Грудцин В.Н. Тесламетр Т-5.— Информационный листок ВИМИ.— 87-2404.

8. Магнитооптическая установка контроля качества высококоэрцитивных постоянных магнитов/А.Н.Павлов, В.Г.Тугарин, А.П.Доронин, В.М.Белоконев.— Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по постоянным магнитам.— М.: Информэлектро, 1988, с. 108—109.

9. Установка для массового контроля температурной стабильности кольцевых магнитов на базе микроЭВМ/В.Ф.Голубев, В.А.Киселев, В.З.Семенов и др.— Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по постоянным магнитам.— М.: Информэлектро, 1988, с. 101—102.

Статья поступила 2 февраля 1990 г.

НПИК «Инфо-сервис»

Научно-производственный информационный кооператив «Инфо-Сервис» (г. Москва) совместно с Государственной публичной научно-технической библиотекой СССР выпускает фактографическую реферативную базу данных (РБД) на гибких магнитных дисках по теме «Материаловедение полупроводников» по отечественной и зарубежной литературе по последним поступлениям в фонды ГПНТБ СССР.

При подготовке РБД анализируется более 200 журналов, а также книг, материалов конференций, фирменных сообщений.

Ежегодная РБД, содержащая более 600 развернутых рефератов распространяется на дискетах ПЭВМ IBM PC XT/AT/PS2, жестких дисках ЕС 1840 с поисковой системой. Поиск осуществляется по 140 рубрикам, ключевым словам, изданиям, фирмам, странам, фамилиям авторов публикаций, шифрам изданий ГПНТБ СССР.

Реферирование научных статей и сообщений, которое проводят специалисты в области технологии полупроводниковых материалов охватывает следующие направления:

— технология получения объемных монокристаллов полупроводников A^{IV} , $A^{III}V$, $A^{II}VI$ и родственных соединений;

— технология эпитаксиального выращивания гомо- и гетероструктур (жидкофазная эпитаксия, МОС-гидридный метод, молекулярно-лучевая эпитаксия и др.);

— аппаратура и исходные материалы для технологических процессов;

— аналитические и электрофизические методы контроля параметров полупроводниковых материалов и структур;

— исследование структурного совершенства;

— моделирование процессов роста;

— применение эпитаксиальных структур в СВЧ-технике и оптоэлектронике;

— перспективные теоретические исследования.

Стоимость годовой подписки четыре тысячи рублей. Предварительно ознакомиться с РБД можно в ГПНТБ СССР. Тел. 921-25-63. По вопросу оформления подписки обращаться по тел. 253-87-46. Наш адрес: 123557 г. Москва, Пресненский вал, 16.

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.А.Смирнов, Г.В.Лузанов, Е.Д.Воронов

Приведен типоразмерный ряд модульных источников электропитания, на базе которых строятся системы электропитания специального технологического оборудования.

При разработке современного оптико-механического и контрольно-измерительного оборудования для производства СБИС предъявляются все более жесткие требования к системам электропитания:

— высокая надежность и безотказность в работе (установленная безотказная наработка не менее 6500 ч);

— большая выходная мощность при низких значениях выходных напряжений (от 2 до 27 В) и достаточном высоком КПД (до 80%);

— высокая помехозащищенность от сетевых помех (амплитудой до 620 В, длительностью 0,5 мкс);

— электромагнитная совместимость с разными системами специального технологического оборудования (СТО);

— конструктивная совместимость и компоуемость в принятых конструктивах различных видов СТО;

— возможность дистанционного и автоматического управления режимом работы;

— компактность, минимальная масса и др.

Для реализации этих противоречивых требований потребовалась разработка ряда унифицированных модульных источников питания (МИП), с применением которых могут быть построены системы питания различных классов оптико-механического и контрольно-измерительного оборудования. МИП конструктивно совместимы с системами управления оборудования, характеризуются достаточно высокими удельными массо-габаритными характеристиками и высокой надежностью.

Основные характеристики типоразмерного ряда МИП приведены в таблице.

Типоразмерный ряд МИП	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки, А	Напряжение пульсаций (максимальная амплитуда), мВ	Удельная мощность, Вт/дм ³
МИП 5 В, 20 А	5	20	100	55
МИП 5 В, 40 А	5	40	100	60
МИП 5 В, 60 А	5	60	100	100
МИП 5 В, 100 А	5	100	100	125
МИП 5 В, ±15 В	5	40	100	80
	+15	1,5	100	
	-15	1,5	100	
МИП 12 В, 5 А	12	5	60	32
МИП 15 В, 4 А	15	4	75	32
МИП ±15 В, 3 А	+15	3	75	30
	-15	3	75	
МИП 27 В, 5 А	27	5	300	70
МИП ±27 В, 5 А	+27	5	300	90
	-27	5	300	
МИП 27 В, 10 А	27	10	300	90

МИП предназначены для эксплуатации в составе стоек, шкафов, блоков СТО в условиях умеренного климата для категории помещения 4,2 по ГОСТ 15150-69 с использованием обдува окружающим воздухом при расходе воздуха не менее 0,55 м³/мин.

Электропитание МИП осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В (50 Гц). По конструкции МИП делятся на две группы. К первой относятся МИП 20 А; МИП 27 В, 5 А; МИП 15 В, 4 А; МИП 12 В, 5 А, имеющие габаритные размеры 60×140×220 мм. В их состав включено по два узла печатного монтажа: преобразователь напряжения и устройство управления преобразователем.

Выпрямитель напряжения электросети и выпрямитель выходного напряжения с трансформатором и дросселем сглаживающего фильтра расположены на металлическом угольнике, установленном с помощью винтов на боковой стенке МИП, являющейся одновременно теплоотводом. К угольнику с противоположной стороны крепится монтажная печатная плата с разъемами, на которой устанавливаются узлы печатного монтажа преобразователя напряжения и устройства управления преобразователем, а также конденсатор сглаживающего фильтра выпрямителя напряжения электросети.

Ко второй группе относятся МИП, имеющие габаритные размеры 120×140×200 мм (кроме МИП 5 В, 100 А). В их состав входят четыре узла печатного монтажа: выпрямитель входного напряжения, выпрямитель выходного напряжения, преобразователь напряжения, устройство управления преобразователем. МИП 5 В, 60 А и МИП 5 В, 40 А; ±15 В, 1,5 А имеют два выходных выпрямителя и содержат по пять узлов печатного монтажа.

Кроме того, во всех МИП имеются печатные монтажные платы, на которых расположены узлы печатного монтажа через разъемы. Элементы схем печатных узлов, выделяющие при работе тепло, установлены через электроизолирующие теплопроводящие прокладки на металлические угольники, которые одной своей стороной плотно винтами прикруплены к боковой теплоотводящей стенке, а другой — к печатной плате.

Одноканальные МИП 5 В, 20 А; МИП 15 В, 4 А; МИП 12 В, 5 А; МИП 27 В, 5 А; МИП 27 В, 10 А работают следующим образом. Напряжение электросети (220 В, 50 Гц) через сетевой фильтр импульсных помех подается на входной выпрямитель и на понижающий трансформатор питания устройства управления преобразователем. С входного выпрямителя напряжение 310 В подается на преобразователь напряжения, а сниженное и выпрямленное напряжение 20 В поступает на вспомогательный стабилизатор напряжения +5 В для питания устройства управления.

Преобразователь напряжения предназначен для преобразования постоянного напряжения 310 В в переменное прямоугольной формы с паузой на уровне 0 (с частотой 25 кГц), собран по схеме стабилизирующего полумостового преобразователя напряжения на биполярных транзисторах большой мощности типа КТ809. Для формирования безопасных траекторий переключения силовых транзисторов используются специальные цепи, обеспечивающие транзисторам преобразователя ненасыщенный режим в открытом состоянии и ограничивающие скорость нарастания тока коллектора во время их отпирания.

Устройство управления преобразователем служит для формирования импульсов управления состоянием транзисторов преобразователя напряжения. Устройство работает следующим образом. Задающий генератор вырабатывает синхроимпульсы с частотой 50 кГц, которые подаются на вход широтно-импульсного модулятора (ШИМ). С прямого и инверсного выходов ШИМ модулированные по длительности импульсы подаются на вход делителей частоты. С выхода делителей частоты импульсы поступают на предварительный усилитель

мощности, к выходу которого подключен переключающий трансформатор, установленный в преобразователе напряжения. При включении МИП нарастание длительности импульсов на выходе широтно-импульсного модулятора, а следовательно, и на выходных обмотках переключающего трансформатора происходит плавно в течение 0,5—1 с благодаря схеме плавного пуска. Это обеспечивает плавное нарастание величины выходного напряжения МИП и срабатывание защиты от перегрузок при включении.

При достижении номинального значения выходного напряжения начинает работать схема сравнения. Напряжение на выходе схемы сравнения, воздействуя на широтно-импульсный модулятор, изменяет длительность импульсов на его выходе, поддерживая заданное значение выходного напряжения.

Устройство защиты обеспечивает выключение предварительного усилителя мощности при перегрузках и тем самым отключает преобразователь напряжения.

Предусмотрено дистанционное включение МИП путем подачи на вход схемы включения напряжения 5 В. «Лог. 1» на выходе схемы включения дает разрешение на включение МИП через устройство защиты.

Переменное напряжение прямоугольной формы с выходного трансформатора преобразователя напряжения поступает на выходной выпрямитель, а затем — на нагрузку и на схему сравнения.

Структурная схема МИП 5 В, 60 А отличается от вышеописанной тем, что преобразователь напряжения построен на мощных МДП-транзисторах типа 2П701А и работает на частоте 100 кГц. Вместо предварительного усилителя мощности в состав МИП введен транзисторный коммутатор управляющих сигналов, который размещен на плате преобразователя напряжения. Напряжение с задающего генератора в виде синхроимпульсов поступает на вход ШИМ и в формирователь, который представляет собой усилитель на транзисторах. Усиленные импульсы поступают в преобразователь и с помощью трансформаторов и выпрямителей со сглаживающими фильтрами преобразуются в постоянные напряжения ± 15 ; -7 В по два напряжения на каждый ключ преобразователя.

Модулированные по длительности импульсы с выхода широтно-импульсного генератора через формирователь поступают на транзисторный коммутатор в преобразователь напряжения. Последний под их воздействием формирует из напряжений ± 15 и -7 В импульсы, управляющие состоянием ключей преобразователя напряжения.

Кроме указанных особенностей структурной схемы МИП 5 В, 60 А в устройстве управления преобразователем введена схема ступенчатой регулировки выходного напряжения на $\pm 5\%$ от номинального значения. Эта регулировка осуществляется дистанционно с помощью логических сигналов через устройство дистанционного управления путем воздействия на схему обратной связи. Введены также два дополнительных устройства защиты: защита $U_{\text{вых}}$, отключающая преобразователь при превышении и понижении выходного напряжения более чем на 15% от номинального значения, и защита $U_{\text{сети}}$, отключающая преобразователь при длительном (более 100 мс) снижении напряжения электросети на входе МИП ниже 15% от номинального значения.

Структурная схема МИП 5 В, 40 А; ± 15 В, 1,5 А отличается от схемы МИП 5 В, 60 А тем, что вместо одного из двух выходных выпрямителей ± 5 В в нее введен один выпрямитель ± 15 В. Обратная связь введена с выхода выпрямителя ± 5 В, и следовательно, стабилизация выходного напряжения осуществляется по выходу ± 5 В. В состав двухканального выпрямителя ± 15 В входят два стабилизатора напряжения 15 В.

Из приведенного ряда МИП преимущества по конструкции и схемному решению имеет МИП 5 В, 100 А, который содержит встроенный вентилятор и три узла:

выпрямитель сетевой, преобразователь и выходной выпрямитель. Габаритные размеры составляют $120 \times 144 \times 240$ мм. Преобразователь собран по полумостовой схеме на транзисторах КТ847А. Источник может служить базовым для дальнейшего расширения ряда МИП как по мощности, так и по увеличению числа выходных каналов.

Статья поступила 24 июля 1989 г.

УДК [621.3.049.77.002:776).002.5

ОБОРУДОВАНИЕ СБОРКИ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИХ ПРОЕКЦИОННЫХ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ФОТОЛИТОГРАФИИ

И.Н.Власенко, Л.И.Счастливая, В.Ю.Мошеников,
К.М.Шестаков



Высокоразрешающие проекционные объективы, используемые в оптико-механическом оборудовании для фотолиитографии, представляют собой многолинзовые системы с числом оптических поверхностей 20—36, диаметрами оправ 150—200 мм и длиной пакета 300—600 мм. Как показывают расчеты и опыт создания подобных систем, достижение требуемого разрешения 0,5—1 мкм на полях размерами до 20×20 мм невозможно без прецизионной сборки пакета линз с погрешностью ориентации оптических поверхностей, влияющих на качество изображения, не более 0,5—2", что является предельным требованием к точности центрирования линз в оптических приборах. Без выполнения этих требований невозможно создание объективов для мультикаторов нового поколения.

Практически единственный путь получения необходимого качества объективов — контролируемая сборка из предварительно отцентрированных с предельной точностью линз в оправках с одновременной юстировкой влияющих на изображение поверхностей. Серийные приборы контроля децентрировки и приослабления сборки не обеспечивают заданной точности, достижение которой возможно, как показывает практика, только при использовании специализированных установок сборки объективов.

Установка КЮ-204 (см. рисунок) предназначена для контролируемой сборки объективов и их компонентов массой до 35 кг. Юстируемый объектив устанавливается на прецизионный аэростатический шпindel, элементы которого изготовлены из ситалла по специальной технологии, что позволило обеспечить биение оси вращения не хуже 0,2 мкм при указанной нагрузочной способности. Манипуляторы, входящие в состав шпинделя и обладающие чувствительностью при радиальном перемещении не хуже 0,2 мкм и угловом перемещении не хуже 0,5", позволяют совместить ось объектива с осью вращения шпинделя.

Контроль величины и азимута децентрировки осуществляется фотоэлектрическим автоколлимационным микроскопом с переменной сходимостью, перемещаемым для фокусировки вдоль оси вращения шпинделя с дискретностью 5 мкм в диапазоне 0—500 мм. Шпиндель и механизм перемещения автоколлимационного микроскопа установлены на базовой гранитной плите, связанной с основанием через систему виброизоляции. В качестве марки в фотоэлектрическом автоколлимационном микроскопе применен растр, шаг которого пропорционален шагу многоэлементного линейного фотоприемника. Полученная информация обрабатывается ЭВМ. В результате проводимого усреднения соотношение сигнал—шум улучшается в несколько раз, многократно ослабляется влияние откликов от близких к контролируемой по положению автоколлимационных точек поверхностей.

УДК 621.382.032.928

УСТАНОВКА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН ЭМ-227

Ю.Ф.Вертинский, С.И.Гронский, А.В.Корнилов,
Г.В.Погорелов, С.А.Ионова



Автоматическая установка лазерного геттерирования дефектов полупроводниковых пластин ЭМ-227 предназначена для создания геттерирующего слоя на поверхности полупроводниковой пластины сфокусированным излучением лазера. В состав установки входит мощный твердотельный лазер непрерывного действия ЛТН-103 с оптической системой формирования и фокусировки луча, оптико-механическое устройство для

Техническая характеристика

Биеение оси шпинделя, мкм	не более 0,2
Несущая способность шпинделя, кг	не менее 35
Погрешность регистрации децентрировки, мкм	$\pm 0,3$
Величина перемещения автоколлимационного микроскопа, мм	500

Разработанная технология контролируемой сборки объективов включает в себя контроль линз в оправках с допуском на наклоны оптической оси относительно нормали базового торца в 2—3" и последующую контролируемую сборку. Совмещение оси объектива или отдельной линзы с осью вращения шпинделя производится без применения дополнительных приспособлений путем сочетания сдвига и поворота манипулятора по результатам измерения составляющих вектора децентрировки в координатной системе шпинделя двух поверхностей линз*. Технологический процесс с использованием установки КЮ-204 позволяет юстировать объективы типа «Бинар» до величины остаточной децентрировки автоколлимационных точек юстируемых компонентов не более 1 мкм (1').

* А.с. № 1381356 (СССР). Способ центрировки линз/И.Н.Власенко, В.Ю.Мощников, К.М.Шестаков и др.— Оpubл. в Б.И., 1988, № 10.

Статья поступила 24 июля 1989 г.

регулирования и стабилизации мощности излучения в зоне обработки, система координатных перемещений полупроводниковой пластины на базе линейного шагового двигателя с механизмом загрузки и выгрузки пластин, устройство автоматической фокусировки и контроля деформации полупроводниковой пластины, микропроцессорное устройство управления.

Высокоскоростной привод координатных перемещений с обратной связью по скорости позволяет развивать скорость обработки до 1 м/с при ускорении 15 м/с². Предусмотрена возможность обработки пластин диаметром 76, 100 и 125 мм.

Производительность установки до 100 пластин/ч обеспечивается не только за счет высокодинамичного привода, но и за счет применения многолучевой обработки. Луч лазера делится фазовой дифракционной решеткой на два или три луча одинаковой мощности, которые затем фокусируются объективом на поверхность полупроводниковой пластины.

В основу действия устройства регулирования и стабилизации мощности излучения в зоне обработки положен принцип резервирования части выходной мощности лазера оптическим аттенуатором френелевского типа. Это позволило нивелировать медленные флуктуации мощности лазерной системы (дрейф тока накачки, выработка ламп накачки и др.). Быстродействие устройства определяется в основном инерционностью термоэлектрического датчика мощности лазерного луча. При этом относительная нестабильность средней мощности излучения в зоне обработки не превышает 5%.

Применение устройства управления, разработанного на базе микропроцессора К580ИК80А, позволило полностью автоматизировать цикл обработки 25-ти пластин в стандартной межоперационной кассете. Информация о таких переменных исходных данных, как диа-

метр, пластин, скорость и шаг обработки, мощность излучения, заносится с помощью клавиатуры дисплея в батарейное ОЗУ и при необходимости стирается или перезаписывается. Ряд неисправностей в работе установки диагностируется с помощью устройства управления.

Геттерирующий слой создается на непланарной поверхности полупроводниковой пластины вследствие локального расплавления материала в зоне прохождения сфокусированных лучей лазера. В алгоритме работы установки ЭМ-227 предусмотрено измерение изменения прогиба каждой пластины в результате образования нарушенного слоя, что позволяет контролировать воспроизводимость лазерной обработки. Степень деформации полупроводниковой пластины в результате лазерной обработки можно изменять за счет скорости сканирования, шага обработки, мощности луча и диаметра пятна фокусировки.

Технологические режимы лазерной обработки должны задаваться с учетом особенностей технологии изготовления приборов. Так, с помощью высокотемпературных термических операций, предусмотренных технологией, прогиб пластины, полученный в результате лазерного воздействия, должен релаксировать к исходному. Данный метод лазерного геттерирования по сравнению с известным [1] позволяет в более широких

пределах варьировать степень нарушений, вводимых при лазерном воздействии, характеризуется отсутствием пыли и шлаков.

Установка и способ создания геттерирующего слоя прошли производственное опробование как при создании эпитаксиальных структур со скрытыми диффузионными слоями, так и при изготовлении однослойных эпитаксиальных структур. Плотность дефектов упаковки и дислокаций находилась на уровне менее 10 см^{-2} , коэффициент заполнения линиями скольжения уменьшался в три раза, а время жизни неосновных носителей увеличивалось в 12 раз [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники/В.А.Лабунов, Н.Л.Баранов, В.П.Бондаренко, А.М.Дорофеев.— Зарубежная электронная техника, 1983, № 11.
2. Пилипенко В.А., Попов Ю.П. Использование фотонных технологических процессов при изготовлении биполярных интегральных схем.— Электронная промышленность, 1988, вып. 5, с. 3—9.

Статья поступила 24 июля 1989 г.

УДК 681.7.06

УСТАНОВКА ВАКУУМНОГО МОЛЛИРОВАНИЯ НХ-157

А.И.Марков, Н.Ф.Переписай, С.В.Петруша,
А.И.Чеботарь



Для обеспечения оптико-механического оборудования совершенными осветительными системами с бесконденсорной схемой блока освещения требуется изготавливать различные отражатели с асферической формой отражающей поверхности.

Традиционные методы получения асферических поверхностей оптических деталей, заключающиеся в предварительном прессовании заготовок с припуском на холодную обработку и последующей механической обработке, не могут удовлетворить потребности производства из-за большой трудоемкости изготовления и конт-

роля. В связи с этим в производстве оптических деталей получил распространение способ, при котором формирование асферической поверхности осуществляется вакуумным моллированием предварительно разогретой заготовки в форме соответствующего профиля.

Для изготовления асферических отражателей методом вакуумного моллирования разработана установка НХ-157.

В состав установки входят устройства моллирования и управления. В устройстве моллирования термокамера расположена сверху, а форма с заготовкой вводится в камеру снизу. Вход в термокамеру закрыт заслонкой, автоматически открывающейся в момент ввода формы в термокамеру.

Установка позволяет изготавливать отражатели с диаметром до 400 мм и глубиной вытяжки до 150 мм из листового стекла толщиной до 6 мм. Плоская круглая стеклянная заготовка, помещенная в форму, разогревается до термопластичного состояния, а форма — до определенной температуры с последующим принудительным формированием (моллированием) заготовки по вогнутой поверхности формы с помощью вакуума.

Загрузка заготовки в форму и съем готовой детали осуществляются механизмами перегрузки, снабженными вакуумными схватами. Форма крепится на шток пневмоцилиндра, поднимающий ее в термокамеру и опускающий в исходное положение. Для центрирования заготовки при укладке ее в форму в полость формы подается сжатый воздух, обеспечивающий всплывание заготовки на воздушной подушке, что придает ей горизонтальное положение. В термокамере заготовка выдерживается заданное время при одновременной температуре в зоне нагрева. После выдержки в термокамере в полости формы создается вакуум для принудительного моллирования заготовки. Контроль окончания моллирования осуществляется с помощью контактного датчика, закрепленного внизу полости формы и дублируется по таймеру. При опускании формы в ее полость подается сжатый воздух для отрыва отмоллированной детали от поверхности формы и ее охлаждения.

Система управления установкой выполнена на базе диалогового вычислительного комплекса «Электроника МС 0501.02» (ДВК-2М) и снабжена устройством параллельного обмена для связи с исполнительными органами установки, обеспечивающими работу перегрузчиков, электроавтоматики, систем поддержания и контроля температуры в термокамере и форме. Система управления запрограммирована на стандартный цикл работы установки. При переналадке установки на новый тип отражателя (замена формы) клавиатурой дисплея ДВК вводятся переменные данные технологических параметров процесса моллирования,

Техническая характеристика

Внутренние размеры термокамеры, мм	
диаметр	500
глубина	450
Суммарная мощность нагревателей, кВт	12
Число нагревателей	2

Максимальные размеры заготовки, мм	
диаметр	450
толщина	6
Диапазон регулирования температуры в термокамере, °С	400—900
Отклонение температуры в термокамере от установленного значения, °С	±10
Время выхода на режим, ч	не более 1,5
Производительность, шт/ч	не менее 8
Габаритные размеры, мм	1860×1050×2300

Разработанная установка НХ-157 обладает широкими технологическими возможностями за счет больших внутренних размеров термокамеры, рационального расположения мощных нагревателей, автоматических операций загрузки заготовки и съема детали, автоматизированного управления циклом работы и контролем за состоянием технологических параметров процесса моллирования.

Статья поступила 24 июля 1989 г.

УДК 621.752

ВИБРОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИС И СБИС

Г.С.Юрьев, Б.К.Бахтерев, В.И.Лазарев

Создан и испытан макет виброзащитной платформы номинальной грузоподъемностью 300 кг на принципиально новых модулях квазиу нулевой жесткости, состоящих из рессорно-пружинных элементов. Коэффициенты передачи виброперемещения в вертикальном направлении в диапазоне частот более 2 Гц в 1,5—3 раза меньше, чем у лучших зарубежных аналогов.

Снижение уровня вибрации в чистых технологических помещениях — актуальная задача совершенствования прецизионных технологий изготовления БИС, СБИС, в растровой электронной спектроскопии, при контрольно-измерительных операциях с применением электронных микроскопов с высокой разрешающей способностью, а также в машино- и приборостроении.

Выход годных и повышение степени интеграции микросхем ограничиваются уровнем вибрации специального технологического и контрольно-измерительного оборудования. Производство СБИС (более 256 К) без применения защиты от промышленных и транспортных вибрационных помех практически невозможно.

В последнее десятилетие в мировой практике с целью защиты прецизионного оборудования и приборов применяются виброзащитные системы на основе активных двухкамерных пневматических виброизоляторов с автоматическими регуляторами уровня (сервоклапанами). Большой опыт в развитии этого направления имеют такие фирмы, как Newport Corporation (США), Physik Instrumente (ФРГ), которые выпускают ряд виброзащитных столов, платформ и виброизоляторов с различными грузоподъемностью, габаритными размерами, виброзащитными характеристиками [1—5].

Активные пневматические виброизоляторы (АПВ) по сравнению с ранее применявшимися пассивными виброизоляторами (резино-металлическими, силиконовыми, пружинными, резиновыми, массивными баллонными и др.) имеют: малые габаритные размеры (диаметр одного виброизолятора составляет от 200 до

300 мм, высота — от 200 до 700 мм); низкую собственную частоту свободных колебаний (1,5—2,5 Гц); возможность варьирования грузоподъемности без конструктивных изменений, с помощью различного давления сжатого воздуха, подаваемого в АПВ [6—8].

Однако анализ результатов разработки изготовления, а также стендовых и эксплуатационных испытаний виброзащитных платформ грузоподъемностью 3000 и 15000 Н на базе АПВ показал ряд их существенных недостатков: необходимость применения дорогостоящей технологической оснастки и разработки технологических режимов изготовления гибких резинотканевых гофрированных мембран толщиной не более 0,8 мм и диаметром 200—300 мм; высокую металлоемкость и трудоемкость при изготовлении камер АПВ; потребность в специальных устройствах для тонкой очистки сжатого воздуха (газа), выпускаемого в окружающую среду через сервоклапаны в условиях чистых производственных помещений; возможность появления режима автоколебаний в процессе эксплуатации, являющихся неизученным процессом, определяющимся многими факторами, требующими специального изучения в рамках НИР; ограничение дальнейшего снижения собственной частоты свободных колебаний АПВ вследствие внутреннего вязкого трения сжатого воздуха и материала гибких мембран, затрудняющее улучшение виброзащитных характеристик.

С целью устранения указанных недостатков для виброизоляции прецизионного и контрольно-измерительного оборудования предложены усовершенствованные рессорно-пружинные элементы — модули квазиу нулевой жесткости (МКНЖ), характеризующиеся близкой к нулю рабочей жесткостью, отсутствием конструкционного трения, простотой изготовления, низкой материалоемкостью, высокой прочностью.

Основной элемент модуля — упругая балка (рессора), выполненная вместе с опорной рамкой и заземленной шарнирно двумя осями (неподвижной и подвижной) с регулировочным винтом и рычагом. Рессора помещена в жесткую коробчатую П-образную опору. В подвес параллельно рессоре введена винтовая пружина растяжения, которая одним концом связана с объектом виброзащиты, а другим — с неподвижной

базовой опорой через регулировочный винт. На центральную часть балки приходится около 50% общей нагрузки на МКНЖ. Изгибая опорную рамку рессоры перемещением одной из трех опор с помощью регулировочного винта, можно регулировать осевую силу в балке и соответственно жесткость от обычного ее значения до нуля, а также до отрицательных величин. Таким образом, поперечная жесткость рессоры снижается в несколько сотен раз за счет осевой силы сжатия. Расширение диапазона масс защищаемых объемов достигается винтовой пружиной растяжения, жесткость которой вычитается модулем (при его отрицательной жесткости), а натяг устанавливается с помощью регулировочного винта по фактическому весу объекта виброзащиты.

Модульная конструкция МКНЖ [9—12] позволяет применять их как самостоятельные изделия, встраиваемые в объекты виброзащиты, а также в составе виброзащитных платформ или столов.

Жесткость несущего элемента рессоры МКНЖ зависит от силы T сжатия и достигает минимального значения K_{\min} в выпрямленном (рабочем) состоянии. Этот минимум можно регулировать изменением заданной кривизны балки. Устойчивость несущего элемента в поперечной нагрузке обеспечивается тем, что сила сжатия принимается несколько меньшей, чем критическая, а при некотором его отклонении от прямолинейного состояния уменьшается. Поперечная сила P в зависимости от прогиба изменяется по нелинейному закону с точкой перегиба при максимальном значении силы сжатия T_{\max} .

Упругое устройство (пружина растяжения), работающее совместно с рессорным элементом МКНЖ, должно обладать жесткостью K_{δ} , ограниченной неравенством: $K_{\delta} \leq K(P l^2 \mu^2 / EI \pi^2 - 1)$, где K — линейная жесткость опорной балки рессоры, P — продольная сила, возникающая в опорной балке от изгиба опорной рамки; l — длина опорной балки; μ — коэффициент приведенной длины опорной балки; EI — изгибная жесткость опорной балки [9].

Составлена программа для инженерных расчетов МКНЖ на ЭВМ. Рассчитаны МКНЖ на грузоподъемность 80, 320, 650, 1200, 2000, 3000 Н. Экспериментальная проверка расчетов на изготовленных макетах МКНЖ подтвердила полученные результаты расчетов с погрешностью $\pm 10\%$.

Обследование ряда предприятий отрасли показало, что фоновая вибрация пола в местах расположения прецизионного специального технологического и контрольно-измерительного оборудования составляет от 2 до 30 Гц (в единицах виброперемещения — от 0,5 до 6 мкм, а в отдельных случаях до 10—15 мкм), причем в течение суток амплитуда колебаний изменяется в зависимости от многих факторов. В таких условиях невозможно измерить технические характеристики виброзащитных устройств (коэффициенты передачи, степень виброизоляции, декремент затухания колебаний), даже при применении весьма чувствительной виброизмерительной аппаратуры. Поэтому потребовалось разработать вибрационный испытательный стенд, который должен создавать направленные гармонические колебания с постоянной во времени амплитудой и регулируемой частотой в диапазоне от 2 до 30 Гц.

Стенд СИВ-1 состоит из нижней базовой платформы, верхней подвижной платформы, расположенной на четырех активных пневматических виброизоляторах баллонного типа с автоматическими регуляторами уровня (сервоклапанами).

К нижней плоскости подвижной платформы жестко прикреплен эксцентрикый вибровозбудитель с направленным действием вибровозбуждения.

Для измерений использовался виброметр Vibroport (ФРГ), в комплект которого входит два датчика Т-77, определяющих виброперемещение или виброскорость.

Грузоподъемность, Н	4000—40000
Диапазон регулируемой частоты гармонических колебаний, Гц	2—30
Диапазон регулируемой амплитуды колебаний, мкм	3—30
Точность поддержания амплитуды колебаний, %	± 5
Точность поддержания уровня верхней подвижной платформы, мм	$\pm 0,05$
Точность поддержания установленной частоты, %	± 1
Габаритные размеры, мм	1500 × 1500 × 800
Направление возбуждаемых колебаний	вертикальное

Виброметр удовлетворял основным требованиям, предъявляемым к измерительным приборам: диапазон частот 2—30 Гц, наличие узкополосного сопровождающего фильтра, чувствительность вибродатчиков к виброперемещению — не более 0,1 мкм в диапазоне 0—30 мкм.

Разработан и испытан действующий макет виброзащитной платформы УПМ-3000 на базе четырех МКНЖ под объекты виброзащиты с массой от 210 до 410 кг и габаритными размерами в плане не более 800 × 1200 мм.

Платформа состоит из нижней (базовой) плиты; верхней подвижной платформы; МКНЖ, установленных под углом; платформы в комплекте с пружинами растяжения; реверсивных приводных узлов для регулирования натяжения пружин; автоматического регулятора жесткости, представляющего собой фотоэлектрический дискретный датчик вертикального перемещения платформы, электрически связанный с одним из приводных узлов; а также из блока управления БУ-3000 приводными узлами и автоматического регулятора жесткости.

Рессоры МКНЖ опираются своими незащемленными балками на шаровые опоры, которые «развязывают» горизонтальную составляющую движения платформы от вертикальной.

Рессоры МКНЖ при номинальной нагрузке от объекта виброзащиты, равной 3000 Н, воспринимают на себя вертикальную суммарную нагрузку 2600 Н (с учетом веса платформы), а оставшаяся нагрузка (2000 Н) распределена на четыре пружины растяжения.

Номинальная нагрузка на рессоры, равная 2600 Н, настраивается с помощью приводных узлов, связанных с натяжением или ослаблением пружины, в результате чего жесткость системы платформа — МКНЖ приближается к нулю и составляет $(1...1,7) \cdot 10^4$ Н/м, а собственная частота свободных вертикальных колебаний достигает 0,6—0,8 Гц. Вся фоновая вибрация, воздействующая на базовую плиту, гасится при частоте выше 1,2 Гц. Качественная проверка УПМ-3000 осуществлялась при помощи построения графиков изоляционно-частотных характеристик (ИЧХ).

Проводились стендовые испытания действующего макета грузоподъемностью 3000 Н. Выявлено, что при размещении датчика виброметра в центре верхней платформы УПМ ИЧХ в диапазоне от 2 до 8 Гц лучше (т.е. ближе к прямой), чем при размещении датчиков по углам платформы. Это объясняется тем, что подвижная платформа совершает не только вертикальные, но и горизонтальные колебания. Поэтому амплитуда колебаний углов платформы всегда больше, чем ее центра.

В связи с тем, что максимальная чувствительность виброметра Vibroport составляет 0,1 мкм, при частотах выше 8 Гц (при коэффициенте передачи $K_n \leq 0,01$) чувствительность прибора недостаточна, что приводит к отклонению от прямой линии на графике ИЧХ в этом диапазоне частот.

Для определения диапазона полезной грузоподъемности УПМ на верхнюю платформу помещались грузы различной массы. После каждой замены груза произ-

водилась настройка МКНЖ с целью минимизации их жесткости при помощи приводных узлов. Время настройки на каждый груз составляло 20—25 мин.

Результаты испытаний показали, что в диапазоне нагрузок от 2500 до 4000 Н ИЧХ практически остается постоянной. При нагрузке менее 250 и более 4000 Н наблюдается резкое ухудшение виброизоляционной характеристики. Это объясняется тем, что при минимальной нагрузке пружины растяжения перестают работать, а при максимальной — растягиваются до такой степени, что платформа опускается до аварийных ограничителей и начинает с ними контактировать.

Таким образом, при оптимизации параметров пружин растяжения и рессор МКНЖ имеется возможность расширить диапазон грузоподъемности УПМ в сторону увеличения нагрузки.

Исследования показали, что увеличение жесткости МКНЖ приводит к увеличению K_n во всем диапазоне частот.

Анализ поддержания работоспособности УПМ с помощью автоматического регулятора жесткости показал, что при настройке чувствительности датчика автоматического регулятора жесткости на величину дифференциала хода срабатывания (хода штока датчика от точки включения до точки выключения), в пределах зоны этого хода меняется и жесткость системы МКНЖ. ИЧХ замерялось при минимальных и максимальных значениях в пределах этой зоны. При настройке чувствительности автоматического регулятора жесткости ИЧХ изменяется незначительно и практически не влияет на работоспособность УПМ (погрешность составляет 10%).

Сделан вывод, что оптимальная величина дифференциала хода срабатывания составляет 0,2—0,4 мм.

Были получены ИЧХ, измеренные на УПМ-3000, виброзащитной платформе на базе АПВ УПЭ-3000-007 и проспектных данных виброзащитной платформы ВР-34 фирмы Newport (США), имеющей лучшие ИЧХ среди других зарубежных виброзащитных устройств. Сравнительный анализ показал, что собственная частота свободных колебаний УПМ значительно ниже, чем у других устройств (менее 1 Гц). Выявить истинную величину этой характеристики не представляется возможным ввиду ограничения по частотным характеристикам виброметра и вибростенда. Коэффициенты передачи K_n у УПМ во всем диапазоне частот от 2 до 16 Гц в 1,5—3 раза меньше, чем у ВР-34 и соответственно в 5—10 раз меньше, чем у УПЭ-3000-007.

Все графики ИЧХ сняты при установке датчика виброметра в центре подвижной платформы. Амплитуда

колебаний платформы стенда поддерживалась в следующих пределах: при частоте 2 Гц амплитуда составляет 3 мкм, при 4 Гц — 30 мкм, при 8 Гц — 20 мкм, при 16 Гц — 16 мкм.

В качестве объекта виброзащиты использовался имитатор с массой 300 кг в виде сварной тумбы.

Особое важное значение имеет настройка квазиуравновешенной жесткости МКНЖ, состоящая из двух операций: собственно настройки жесткости МКНЖ и подстройки несущей способности под конкретную нагрузку.

Настройка жесткости МКНЖ производилась на специальном приспособлении, имитирующем нагрузку на модуль, равную 1150 Н, из которых 650 Н приходится на рессору 500 и Н — на пружину. С помощью регулировочных винтов на балке модуля и на пружине достигается минимальная жесткость системы МКНЖ, которая контролируется индикаторными головками с точностью измерения 0,01 мм. Модуль считается настроенным, если при действии груза массой 0,1 кг индикаторная головка отклоняется на 0,4—0,6 мм.

После настройки всех четырех МКНЖ и установки их на подвижную платформу УПМ, производилась настройка МКНЖ под конкретную нагрузку, отличающуюся от 1150 Н. Для настройки использовались приводные узлы, связанные с пружинами растяжения МКНЖ.

Контроль настройки осуществлялся с помощью индикаторных головок, установленных по четырем углам подвижной платформы УПМ, и груза массой 0,1 кг. Подстройка считается качественной, если отклонение индикатора на каждом из четырех углов платформы составляет 0,06—0,1 мм от данной нагрузки.

При изменении массы объекта виброзащиты более чем на 1—2 кг или при смещении его на платформе, необходимо отключить автоматический регулятор жесткости и настроить жесткость МКНЖ с помощью приводных узлов в наладочном режиме. Выбранный режим устанавливается оператором с помощью блока управления.

Другой вариант контроля настройки жесткости МКНЖ заключается в измерении коэффициента передачи K_n УПМ на какой-то фиксированной частоте (например, 10 Гц) вибрации. УПМ устанавливалась на испытательный стенд СИВ-1, а значения вибропередачи платформы стенда и платформы УПМ измерялись виброметром Vibroport. С помощью управления приводными узлами достигалась минимальная величина коэффициента передачи (порядка $2 \dots 3 \cdot 10^{-3}$ на частоте 10 Гц). Этот вариант настройки более удобен и качествен, чем первый.

Характеристика разрабатываемых виброзащитных платформ

Наименование характеристики	УПМ-3000 (макет)	УПМ-1500	УПМ-15000	УПЭ-3000-007 (оп. образец)	УПЭ-15000-008 (оп. образец)	ВР-34 Newport, США	ВР-46 Newport США
Номинальная грузоподъемность, Н	3000	1500	15000	3000	15000	3000	15000
Частота собственных колебаний, Гц	0,7—1	0,7—1	0,7—1	3,5	2,5	1,6	2,5
Коэффициент передачи на частотах 2 Гц	0,5—0,8	0,5—0,8	0,5—0,8	2,5	2	1	2
4 Гц	0,2	0,2	0,2	3	1,1	0,16	0,4
8 Гц	0,06	0,06	0,06	0,16	0,15	0,035	0,055
16 Гц	0,003	0,003	0,003	0,13	0,09	0,01	0,015
20 Гц	0,001	0,001	0,001	0,1	0,1	0,005	0,006
Подача очищенного сжатого воздуха	отсутствует	отсутствует	отсутствует	имеется	имеется	имеется	имеется
Цена одного изделия, тыс.руб.	25	20	35	50	55	50	55
Трудоёмкость изготовления, н—ч	2000	1000	3000	5000	6000	нет данных	нет данных

Эксплуатационные испытания действующего макета УПМ-3000 проведены в условиях реального производства БИС и СБИС. Фоновая вибрация пола в месте установки составила 6—10 мкм в диапазоне частот 2—63 Гц. Вибрация на верхней платформе УПМ-3000 составила не более 0,5 мкм. Измерения проводились виброметром ВМ-1 с вибропреобразователем ДН-5.

Оценка работы УПМ-3000 также осуществлялась при помощи микроскопа МКД-20 с юстировочной насадкой МОВ-1 и специально изготовленных образцов кремниевых пластин с нанесенными на них наборами гребенок элементов от 1,0 до 5,0 мкм. Испытания проводились в различное время суток; все элементы измерялись по 25 раз с выключенной и включенной виброизоляцией (выключение виброизоляции осуществлялось фиксированием верхней подвижной платформы УПМ-3000 домкратом).

Результаты испытаний показали, что в зависимости от измеряемых элементов точность измерения с применением виброзащиты увеличилась в 2—4 раза. Отказов в работе УПМ-3000 в течение 240 ч не наблюдалось, и дополнительного обслуживания во время его работы не потребовалось. Наблюдалась высокая степень податливости подвижной системы от случайных воздействий со стороны оператора, а также от несимметричных нагрузок.

В процессе эксплуатационных испытаний выявилась необходимость подвешивания на специальном кронштейне к объекту виброзащиты коммуникаций с целью предотвращения влияния несимметричной нагрузки от веса коммуникаций на край подвижной платформы. Этот фактор необходимо учитывать при разработке виброзащитных систем.

На основании полученных результатов проводится расчет и разработка виброзащитных столов и платформ номинальной полезной грузоподъемностью 500, 1500 и 15000 Н на базе МКНЖ для электронных микроскопов и установок прецизионной фотолитографии (см. таблицу).

Результаты стендовых и эксплуатационных испытаний показали, что новый принцип найдет широкое применение для виброзащиты объектов различных типоразмеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог фирмы Physik Instrumente (ФРГ).
2. Каталог фирмы Oriel Corporation (США).
3. Каталог фирмы LKB Producter AB (Швеция).
4. Проспекты фирмы Newport Corporation (США), 1985.
5. Проспект фирмы Technical Manufacturing Corp., (США), 1985.
6. Р и в и н Е.И. Виброизоляторы и системы установки оборудования с автоматическим регулированием. Обзор. Серия С-1. НИИМАШ, М., 1971.
7. Кузнецов Н.А., Логинов П.В. Системы и средства виброизоляции сверхвысоковакуумного аналитического оборудования.— Электронная промышленность, 1988, вып. 6, с. 26—28.
8. Алексеев С.В., Бородин Ю.В., Морозов А.В. Виброизоляция прецизионного оборудования с помощью пневматических опор.— Электронная промышленность, 1983, вып. 2, с. 48—49.
9. А.с. 456935 (СССР). Упругая подвеска/Г.С.Юрьев, П.М.Алабушев, А.К.Зуев и др.— Оpubл. в Б.И., 1975, № 2.
10. А.с. 746143 (СССР). Упругая подвеска/Г.С.Юрьев.— Оpubл. в Б.И., 1980, № 25.
11. А.с. 931353 (СССР). Соединение станка с фундаментом/Ю.М.Ермаков.— Оpubл. в Б.И., 1982, № 20.
12. А.с. 1155803 (СССР). Амортизатор/Г.С.Юрьев.— Оpubл. в Б.И., 1985, № 18.

Статья поступила 12 июня 1989 г.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 620.179.1(031)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков

Для контроля наиболее важных узлов и деталей оборудования целесообразно применять взаимодополняющие методы: голографический и магнитный, ультразвуковой, рентгенотелевизионный и пенетрационный. Методами дисперсионного анализа установлены значимые параметры и их сочетания при определении различных дефектов.

В связи с совершенствованием специального технологического оборудования весьма актуальным становится контроль качества материалов для его изготовления. Целесообразность проведения контроля в течение всего технологического цикла определяется вероятностью внесения каждым из видов применяемых обработок изменений свойств материала (существенных для нормального функционирования детали), чувствительностью используемой методики и аппаратуры, а также уровнем материальных затрат на реализацию измерений.

На различных этапах неразрушающего контроля металлических, полимерных, минеральных материалов и их различных сочетаний применялись голографические, магнитные, ультразвуковые, рентгенотелевизионный, пенетрационные методы, а также контролировались геометрические параметры. Опыт показал, что в ряде случаев целесообразно сочетать преимущества разных методов (например, голографического и магнитного; ультразвукового, рентгенотелевизионного и пенетрационного) для получения наиболее полной и достоверной информации о контролируемом объекте.

На стадии лабораторной отработки режимов механообработки традиционных конструкционных материалов, а также минеральных твердых материалов (гранитов, диабазов и др.) наиболее целесообразно применение методов голографической интерферометрии [1]. При этом удается определять картину и уровни деформаций на деталях по всей их поверхности с целью последующей оптимизации технологических режимов резания [2], шлифования [3] и др. Этим же методом можно при соответствующем подборе режима физического воздействия (тепловое поле,

механическое и другие нагружения) определять наличие внутренних дефектов.

На рис. 1 показана голографическая интерферограмма цилиндрической детали диаметром 50 мм из твердокаменного материала при механическом нагружении. Резкое изменение картины полос равных смещений характеризует нарушение сплошности в указанном сечении, что и было подтверждено разрушением. Данным методом проводится также анализ деформаций элементов индукторно-статорной системы линейных шаговых двигателей (ЛШД) как на различных этапах изготовления, так и при эксплуатации. Таким образом определяют стадии технологического цикла и зоны статора ЛШД, где целесообразно проводить контроль в производственных условиях приборными методами.

Для измерения напряженного состояния прецизионных деталей из ферромагнитных материалов методом магнитной упругости разработаны датчики, позволившие решить ряд проблем повышения метрологических характеристик контроля при измерениях на реальных объектах за счет использования принципиально нового элемента — магнитопровода на основе магнитной жидкости [4, 5]. С использованием датчиков измеряют линейное, плосконапряженное однородное состояние и анизотропию поля механических напряжений [6]. Измерения проводят при помощи разработанного портативного прибора [7] (рис. 2).

**Техническая характеристика
прибора для измерения механических напряжений**

Фиксированные частоты измерения магнитной упругости (предусмотрена дополнительная возможность подключения внешнего генератора), кГц	(1,0; 2,0; 10,0) ± 0,5
Напряжение питания датчика, В	0,05—1,2
Диапазон измеряемых механических напряжений (σ _т — напряжение текучести материала)	(0—0,8) σ _т
Чувствительность, МПа/мВ	не хуже 0,05
Индикация	цифровая (индикатор ИЖКЦ1-4/14)
Напряжение питания, В	220 (50 Гц) и автономное
Габаритные размеры, мм	
прибора	210 × 100 × 55
датчика	∅28 × 45
Масса, кг	
прибора	1,2
датчика	0,1

На основе статистического анализа результатов измерений напряженного состояния ярма статора ЛШД [8] с использованием данных голографических исследований установлены граничные величины напряжений на основных этапах изготовления. При превышении этих значений статор бракуют.

С помощью ультразвуковых методов при испытании статоров ЛШД контролируют: отслоения магнитопровода статора ЛШД от основания, макро- и микродефекты металлов и твердокаменных материалов, структурные неоднородности, напряженное состояние, демпфирующая способность, дефекты заданных размеров. Разработанные методики позволяют повысить достоверность контроля за счет устранения влияния фактора формы изделия и контактных условий на границе датчик—изделие на результаты измерений. Благодаря применению акустической призмы с ловушкой специальной конструкции [9] в 1,8 раза снижен уровень реверберационных шумов ультразвукового искателя в диапазоне частот 0,5—2,5 МГц, что повысило надежность результатов контроля [10].

Для программируемого перемещения датчиков по двум координатам и их установки с постоянным усилием прижатия к поверхности деталей преимущественно прямоугольной формы (например статоров ЛШД)

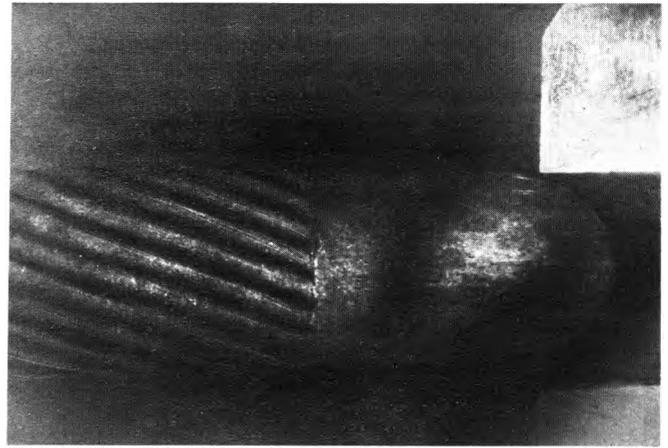


Рис. 1. Голографическая интерферограмма дефектной детали при статическом нагружении сосредоточенной силой



Рис. 2. Прибор для измерения напряженного состояния деталей из ферромагнитных материалов: 1 — прибор; 2 — датчик

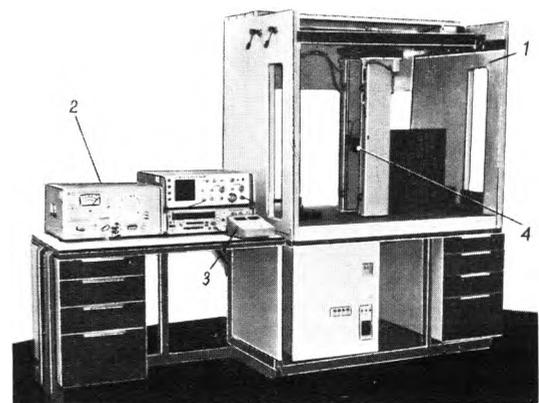


Рис. 3. Автоматизированный стенд для ультразвукового неразрушающего контроля: 1 — автоматизированный стенд; 2 — стойки с приборами; 3 — пульт управления; 4 — ультразвуковой датчик

при ультразвуковом контроле разработан автоматизированный стенд [11] (рис. 3).

**Техническая характеристика
автоматизированного стенда ультразвукового контроля**

Максимальные размеры контролируемых деталей, мм	1200×900×190
Шаг сканирования относительно поверхности объекта контроля (дискретность перемещения датчиков), мм	
в вертикальном направлении	1,4—33,0
в горизонтальном направлении	1,6—49,0
Усилие прижима датчиков к контролируемой поверхности, Н	20—70
Компенсация неплоскостности объекта контроля узлом самоустановки датчиков, град	до ±5
Напряжение питания, В	380 (50 Гц)
Потребляемая мощность, кВт	не более 2,0
Давление в сети сжатого воздуха, МПа	0,2—0,7
Габаритные размеры, мм	
поста контроля	1400×900×2000
стойки приборной	1200×900×1000

Методами дисперсионного анализа определены значимые контролируемые параметры и их сочетания при выявлении дефектов материалов и на этой основе разработаны методики контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия.— М.: Наука, 1977.— 336 с.

2. Особенности абразивной обработки твердокаменных материалов/ В.И.Туромша, Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков.— В кн.: Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: Межвузовский сборник научных трудов.— Пенза: Пензенский политехнический институт, 1987, вып. 15, с. 9—13.

3. Деформация деталей приборов из твердокаменных материалов после абразивной обработки/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков и др.— Приборостроение, 1987, вып. 9, с. 63—67.

4. А.с. № 924526 (СССР). Магнитоупругий датчик/ А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, Г.П.Кузьмичев, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1982, № 16.

5. А.с. № 993055 (СССР). Магнитоупругий датчик/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1983, № 4.

6. Магнитоупругие датчики на основе магнитной жидкости/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, И.П.Янович.— Инф. листок. Бел. НИИТИ, № 327. — 1987. Сер. 50.09.37.

7. Устройство для контроля напряжений в деталях из ферромагнитных материалов/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, И.П.Янович.— Инф. листок Бел. НИИТИ, № 328. — 1987. Сер. 59.45.35.

8. Анизотропия остаточных напряжений в деталях из электротехнической стали 10895 после механической обработки/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, В.И.Туромша.— Минск: Машиностроение, 1987, вып. 12, с. 79—82.

9. А.с. № 1281995 (СССР). Ультразвуковой преобразователь/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1987, № 1.

10. Ультразвуковой преобразователь/ Г.П.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, И.П.Янович.— Инф. листок Бел. НИИТИ, № 393, — 1988. Сер. 59.45.29.

11. Григорьев А.М., Клецков Е.Л., Янович И.П. Автоматизированный стенд для ультразвукового неразрушающего контроля.— Инф. листок. Бел. НИИТИ, № 391, — 1988. Сер. 59.45.29.

Статья поступила 8 августа 1989 г.

УДК 621.3.049.77.002:681.785.3

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Е.М.Гамарц, П.А.Добромыслов

Качество материалов, используемых при изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, оказывает значительное влияние на процент выхода годных схем, их параметры и надежность.

Производство интегральных схем включает механическую обработку, многократные температурные воздействия (диффузию, окисление, эпитаксию), в результате которых в полупроводниковых структурах возникают внутренние напряжения (ВН). Своевременный и точный контроль ВН дает возможность оптимизировать условия высокотемпературных технологических операций [1, 2].

Особенности современного производства, необходимость анализа состояния как исходных, так и прошедших различные технологические операции объектов определяют следующие требования к методам и средствам контроля: они должны быть неразрушающими, бесконтактными, локальными, экспрессными, обладать высокой производительностью. Оптические методы наиболее полно отвечают указанным выше требованиям. В частности, весьма удобным для проведения неразрушающего сплошно-

го оперативного контроля качества стандартных полупроводниковых пластин является поляризационно-оптический метод.

В его основу положено явление вынужденного двулучепреломления, которое заключается в том, что под действием механических напряжений оптически изотропное тело становится двулучепреломляющим. Если действие внешних сил на исследуемое тело отсутствует, то напряжения, существующие в объекте, называются внутренними и в значительной мере характеризуют состояние образца.

Двулучепреломление и соответственно вносимая объектом разность фаз между ортогональными компонентами прошедшего поляризованного излучения пропорциональны величине напряжений в исследуемой области и зависят от направления распространения света, пьезоупругих коэффициентов материала и ориентации напряжений [3]. В общем случае связь между двулучепреломлением Δ и напряжением описывается следующей зависимостью:

$$\Delta = C_{\sigma}^L \Delta \sigma,$$

где C_{σ}^L — фотоупругая постоянная, индекс L обозначает направление наблюдения, σ — ориентация

напряжений, $\Delta\sigma$ — разность квазиглавных напряжений в исследуемой области образца.

Для стандартных полупроводниковых пластин, у которых отношение толщины к диаметру весьма мало, можно считать, что реализуется плосконапряженное состояние. В этом случае фазовый сдвиг φ , между ортогональными компонентами прошедшего через объект поляризационного излучения пропорционален разности главных внутренних напряжений $\Delta\sigma$ (ВН), лежащих в плоскости образца, его толщине. Эта связь определяется выражением

$$\sin\varphi = (2\pi d C_{\sigma} \Delta\sigma) / \lambda,$$

где d — толщина напряженного образца, λ — длина волны зондирующего излучения.

Выпускаемые промышленностью и широко используемые для выпуска полупроводниковых приборов и интегральных микросхем кремниевые и арсенидгаллиевые пластины имеют ориентацию (111) или (100), поэтому можно ограничиться рассмотрением случая, когда исследуемые ВН лежат в плоскостях (111) и (100), а направление наблюдения совпадает с нормалью к этим поверхностям. Указанные полупроводниковые материалы являются исходно оптически изотропными кристаллами кубического класса. Поэтому в случае исследований пластин ориентации (111) фотоупругая постоянная не зависит от направления ВН. При поляризационно-оптическом изучении образцов (100) необходимо учитывать зависимость фотоупругой постоянной от ориентации напряжений. Однако эта связь слабая, что позволяет использовать усредненное значение фотоупругой постоянной для любого направления ВН [3]. Например, при величине напряжения $1,8 \cdot 10^{-4}$ кПа, погрешность определения ВН лежит в пределах 10% и менее.

Из сказанного следует, что поляризационно-оптический метод позволяет без затруднений измерять ВН в стандартных кремниевых и арсенидгаллиевых пластинах. Это, как известно, позволяет оценить величину максимальных касательных напряжений и, следовательно, определить возможность перехода материала за предел упругой деформации. Однако более важной является информация, содержащаяся в регистрируемом сигнале об источниках ВН, которыми могут быть, как считается в настоящее время, термические напряжения и напряжения несоответствия, концентрационные и напряже-

ния, обусловленные наличием структурных дефектов [4]. Таким образом, указанный параметр характеризует структурно-примесное состояние кристаллического материала и поэтому может быть использован для контроля качества стандартных полупроводниковых пластин в процессе производства изделий электронной техники.

При выборе поляризационно-оптического метода измерения ВН в стандартных полупроводниковых пластинах была проведена оценка величины вносимого фазового сдвига, распределения и ориентации осей двулучепреломления в кремниевых и арсенидгаллиевых образцах как исходных, так и прошедших стандартные технологические операции — окисление, диффузию, эпитаксию. Измерения проводились на лазерном поляриметре с вращающимся анализатором (см. таблицу).

Типичные характеристики ВН в объектах на различных стадиях технологического процесса можно определить по величине фазового сдвига.

Связь между параметрами исследуемого объекта (исходная полупроводниковая пластина или структура) — фазовым сдвигом φ , ориентацией осей двулучепреломления α и интенсивностью излучения I , дошедшего до фотоприемника, определяется выражением:

$$I = I_0 T [1 + \sin\varphi \cdot \sin 2(\omega t + \alpha)]; \theta = \alpha + \pi/4,$$

где I_0 — интенсивность излучения источника, ω — частота вращения анализатора, T — пропускание образца, θ — ориентация главных напряжений.

Из уравнения следует простая связь между регистрируемым сигналом — интенсивностью излучения на фотоприемнике — и параметрами объекта, т.е. возможность исследования как величины, так и ориентации напряжений.

На рис. 1 представлена функциональная схема разработанного лазерного поляриметра, предназначенного для измерения параметров ВН в стандартных полупроводниковых пластинах. В качестве источника излучения используется лазер с длиной волны 1,15 мкм, что позволяет повысить чувствительность и избежать погрешности измерений, обусловленной монохроматичностью света. Телескопическая система расширяет зондирующий пучок и обеспечивает высокую локальность измерений 100—150 мкм, эффективно подавляет многолучевую интерференцию, оказывающую сильное влияние на регистрируемый сигнал при исследовании тонких, слабопоглощающих анизотропных объек-

Характеристики стандартных пластин кремния и арсенида галлия, прошедших различные технологические операции

Материал	Технологическая операция	Диапазон регистрируемого фазового сдвига, рад.	Средняя величина фазового сдвига, рад.	Особенности распределения напряжений	Ориентация напряжений
Кремний	Исходные	0,01—0,03	0,01—0,03	Равномерное	Вдоль одного направления
	Окисление	0,01—0,1	0,01—0,03	Неоднородности в центре, рост на краях	То же
	Диффузия, ионная имплантация	0,01—0,1	0,01—0,3	То же	—
	Эпитаксия	0,01—0,6	0,03—0,5	Рост на краях	На краях — по радиусу, в центре — как в исходных
Арсенид галлия	Исходные	0,01—0,3	0,01—0,1	Рост на краях	Сложный характер

тов с высоким коэффициентом отражения. Составная подстраиваемая фазовая пластина преобразует линейно поляризованное излучение в излучение, максимально близкое к циркулярно поляризованному на исследуемом образце. Вращающийся анализатор модулирует интенсивность излучения на фотоприемнике, электрический сигнал с выхода которого поступает на усилитель. Затем сигнал усиливается с заданным коэффициентом, селектируется на частоте модуляции механического модулятора и удвоенной частоте вращения анализатора, детектируется и далее поступает на вход аналогового преобразователя. Информация в цифровом виде подается через интерфейс на ЭВМ, где производится обработка сигнала. Запуск АЦП производится синхроимпульсами, сформированными кодовым диском, оптопарой и формирователем. Управление сканированием объекта осуществляется ЭВМ через блок управления шаговыми двигателями. Разработанная функциональная схема лазерного поляриметра была использована в установке для измерения внутренних напряжений в стандартных пластинах УИЭ.КОП-1, выпускаемой в настоящее время серийно.

При исследованиях полупроводниковых пластин и структур полагалось, что зондирующее излучение падает нормально на исследуемый объект.

Известно, что одним из источников ВН может служить пленка, нанесенная на подложку, если материалы подложки и пленки имеют различные коэффициенты термического расширения. При охлаждении такой системы от температуры выращивания пленки до комнатной в ней возникают ВН, которые могут вызвать упругие деформации и даже разрушение образца. Рассмотрим радиальные и тангенциальные напряжения, возникающие в круглых двухслойных пластинах при охлаждении после окисления. Так как регистрируемый при поляризационно-оптических измерениях пластин сигнал пропорционален разности главных напряжений, лежащих в плоскости образца, то при исследовании пленочных систем ВН будут определяться разностью тангенциальной и радиальной составляющей.

Эти компоненты равны для любой точки структуры, и, следовательно, в этом случае фазовый сдвиг, вносимый образцом, будет отсутствовать. Изгиб объекта в данном случае определяется компонентой напряжения, нормальной к поверхности образца, свойствами материалов пленки и подложки, их толщиной, разностью температур проведения операций и комнатной [5].

Из сказанного выше следует, что упругая деформация структуры, обусловленная различными коэффициентами термического расширения пленки и подложки не должна проявляться в сигнале, регистрируемом при поляризационно-оптических исследованиях. Важным следствием является отсутствие прямой связи между напряжениями, определяемыми по изгибу пластины, а также параметрами ВН, определяемых поляризационно-оптическим методом.

Проверка сделанных выводов проводилась на стандартных кремниевых подложках, покрытых слоем окисла различной толщины, что привело к генерации в системе ВН различной величины. Было установлено, что в описанных структурах величины ВН близки между собой, а их зависимость от толщины окисла отсутствует.

Следовательно, можно считать, что ВН в пленочных системах, обусловленные различием в коэффициентах термического расширения материалов пленки и подложки, при поляризационно-оптических исследованиях выявлены быть не могут.

Другим источником ВН в полупроводниковых материалах служит неоднородное распределение атомов примеси. В этом случае из-за различного эквивалентного радиуса атомов примеси и матрицы происходит деформация кристаллической решетки, пропорциональная концентрации введенной примеси [4]. На границе областей, различающихся количеством примесных атомов, возникает разность главных напряжений, которую в принципе можно

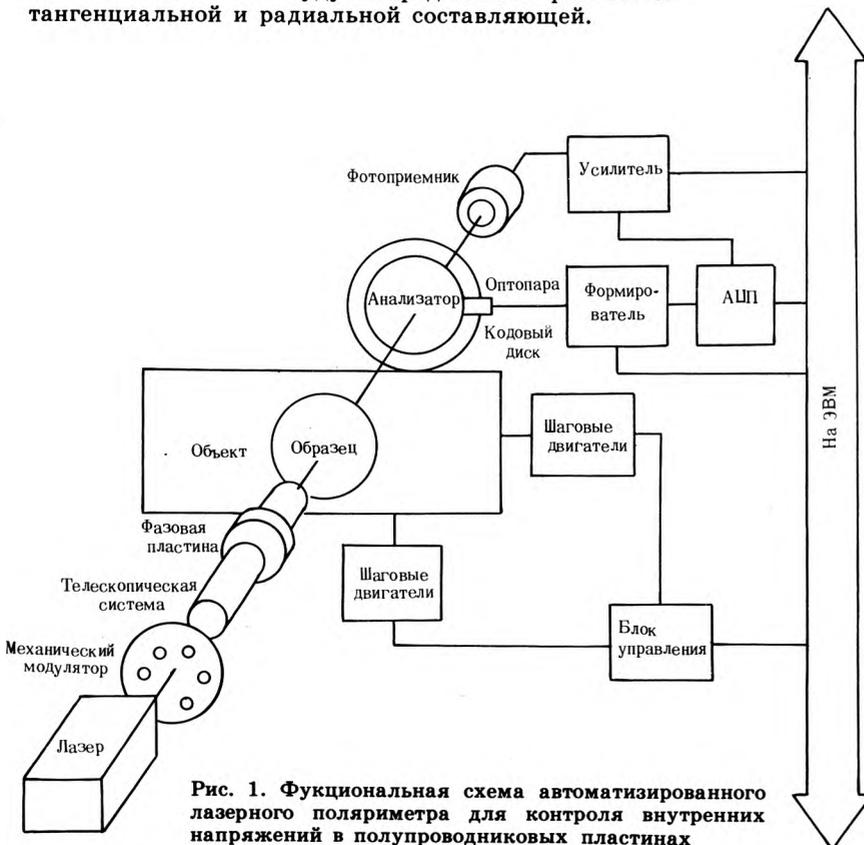


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированного лазерного поляриметра для контроля внутренних напряжений в полупроводниковых пластинах

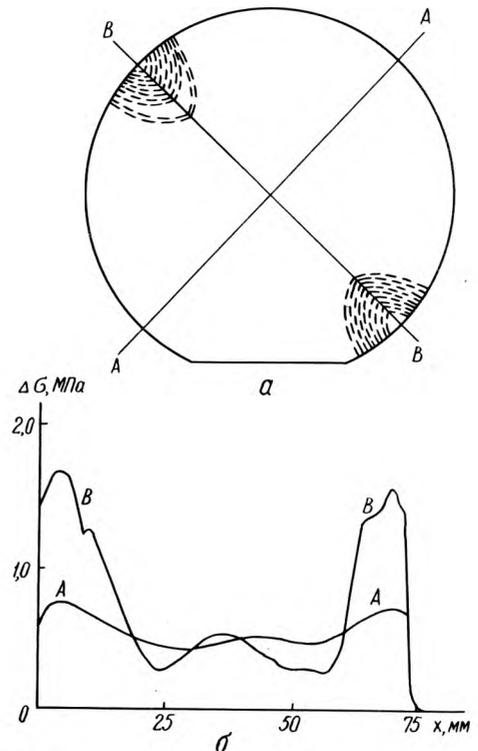


Рис. 2. Распределение в кремниевой пластине структурных дефектов, выявленных селективным травлением (а), и напряжений по диаметру образца (б)

регистрировать поляризационно-оптическим методом.

При проведении технологических операций, например диффузии, в подложках могут образовываться области, значительно отличающиеся от исходного материала концентрацией примеси. На границе этих участков ВН могут достигать больших величин — 10 МПа и более. Однако необходимо учитывать то, что напряжения сосредоточены в слое, толщина которого определяется глубиной, на которую введена примесь, и составляет обычно 3—5 мкм. В этом случае фазовый сдвиг, приобретаемый излучением в результате прохождения напряженного слоя, будет мал даже по сравнению с величиной фазового сдвига, характерного для исходных кремниевых пластин. Поэтому можно считать, что регистрируемые поляризационно-оптическим методом ВН не могут быть обусловлены неоднородным распределением примеси, введенной при выполнении технологических операций.

Измерения, выполненные на кремниевых пластинах с неоднородным распределением примеси, введенной в результате диффузии, также не выявили скачка величины ВН на границе областей, резко отличающихся концентрацией примеси.

Таким образом, можно исключить наличие пленки и неоднородное распределение примеси как возможные источники возникновения напряжений, регистрируемых поляризационно-оптическим методом. В этом случае основной причиной ВН служат структурно-примесные дефекты. Подтверждением этого вывода может служить результат измерения ВН в пластинах кремния, содержащих области с повышенной плотностью дефектов, выявленных селективным травлением. Как следует из рис. 2, областям с дефектами соответствуют большие ВН.

Структурно-примесные дефекты в полупроводниковых пластинах и структурах могут быть обусловлены качеством слитка, из которого они изготовлены, или введены в ходе различных технологических операций.

При выращивании слитков полупроводниковых материалов из-за неоптимальных условий процесса в них возникают различные несовершенства — микродефекты, дислокации и т.д. После резки кристалла и дальнейших операций введенные дефекты в

основном сохраняются, могут вводиться новые, и вся совокупность несовершенств оказывает сильное влияние на процент выхода годных, их надежность. Для оценки качества исходных полупроводниковых материалов и влияния технологических операций на дефектообразование проводилось исследование параметров ВН в стандартных исходных кремниевых пластинах. В этих объектах величина напряжений невелика: 300—500 кПа, они близки для всех точек пластины и ориентированы вдоль одного направления. Если бы источником ВН в этих образцах служили структурные дефекты, унаследованные от слитка и введенные в него при пластической деформации во время остывания, то имела бы место параболическая зависимость регистрируемого сигнала от радиуса. Кроме того, ориентированы ВН в этом случае были бы по диаметру пластин. Поэтому наиболее вероятными причинами наблюдаемых ВН в исходных пластинах кремния можно считать операции резки слитка, полировки, шлифовки. Полученные результаты свидетельствуют о высоком качестве исходных кремниевых пластин, используемых при производстве диодов, транзисторов, интегральных схем.

Необходимо отметить, что дефекты типа свирлей, хорошо различимые после травления пластин, по регистрируемому поляризационно-оптическим методом макрораспределению ВН в исходных пластинах не выявлялись. Поэтому можно считать, что основной причиной появления ВН в стандартных полупроводниковых пластинах является наличие в них структурных дефектов.

После проведения высокотемпературных технологических операций основным источником ВН служат структурные дефекты, вводимые в пластины в ходе пластической деформации под действием градиента температуры. В этом случае, если термические напряжения превышают пороговую величину, то происходит активация источников дислокаций и могут возникать дефекты типа линий скольжения. После возврата в нормальные условия остаточные напряжения будут обусловлены введенными несовершенствами и равны рассеявшимся, взятым с обратным знаком. Таким образом, по виду распределения ВН, их ориентации можно судить как о наличии дефектов, так и об условиях, в которых проводились технологические операции.

Термическое окисление, диффузия или ионное легирование обычно слабо меняют величину и распределение ВН в стандартных кремниевых пластинах. Однако в некоторых объектах регистрирова-

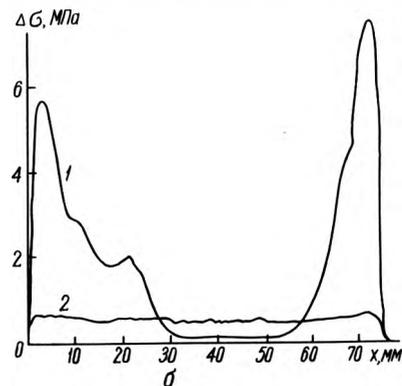
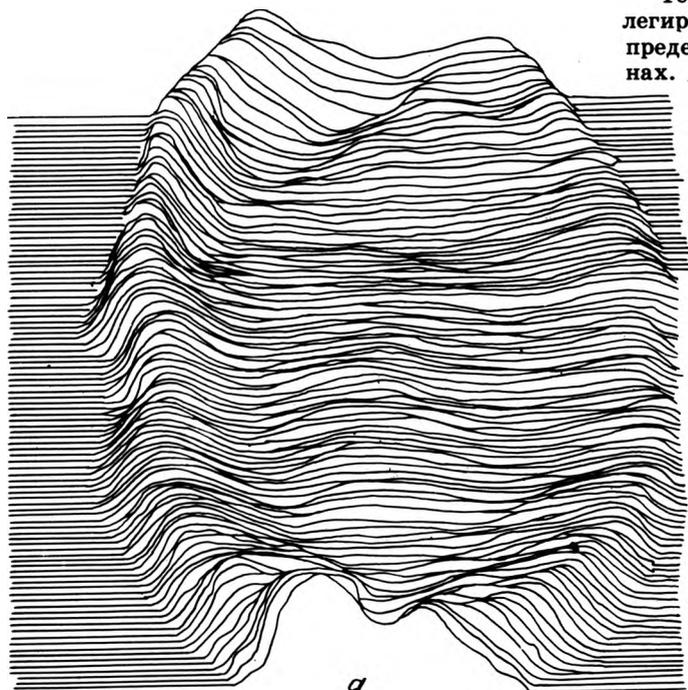


Рис. 3. Распределение напряжений: а — в пластине кремния после эпитаксии, б — по диаметру пластины после эпитаксии (1 — обычный технологический процесс, 2 — режим с однородным распределением температуры)

лись неоднородности в распределении напряжений в центральной части образцов, которые сохраняются до конца технологического процесса. Часто наблюдалось слабое увеличение ВН на краях пластин после проведения указанных операций. Селективное травление также выявило увеличение плотности дефектов на периферии у таких образцов. Небольшое изменение средней величины ВН в пластине кремния после проведения окисления, диффузии свидетельствует о незначительной пластической деформации или ее отсутствии, что указывает на оптимально подобранные условия этих процессов.

Эпитаксия оказывает наиболее сильное влияние на параметры ВН в стандартных кремниевых пластинах (рис. 3). После нее часто наблюдается значительный рост напряжений на краях образцов. При этом даже пластины, прошедшие эпитак-

сию в одном процессе, могут значительно отличаться величиной и распределением ВН. При стандартном технологическом процессе под действием термических напряжений произошла пластическая деформация, что выявлялось селективным травлением по наличию линий скольжения (см. рис. 3, кривая 1). В этом случае величина ВН достигала 6 МПа и более. Если принять меры, направленные на устранение градиента температуры, то величина ВН в пластине после эпитаксии почти не меняется (кривая 2). Полученные результаты свидетельствуют, во-первых, о необходимости сплошного контроля ВН в эпитаксиальных структурах, так как выборочное селективное травление дает весьма приблизительную картину брака в партиях пластин. Во-вторых, имеется возможность корректировки условий технологических операций по минимуму вводимых в пластины ВН. При этом оптимизация операций может проводиться без останки производства по динамике изменения напряжений в образцах.

После операции эпитаксии в областях с повышенной величиной напряжений на краях образцов происходит их переориентировка (рис. 4). В областях, в которых произошла пластическая деформация, ВН ориентировались по радиусу пластин. В центральной части сохранилась ориентация, характерная для исходных пластин. Таким образом, участки, подвергшиеся в ходе эпитаксии пластической деформации, могут быть выявлены по радиальному характеру ориентации напряжений.

По сравнению с исходными пластинами кремния, стандартные пластины, изготовленные из арсенида галлия, характеризуются значительно большими значениями ВН и более сложной их ориентацией (рис. 5). При выполнении технологических операций ВН еще более возрастают, а их ориентация изменяется. Полученные результаты свидетельствуют о большей подверженности пластической деформации пластин из арсенида галлия, поэтому необходимо как оптимизировать процесс выращивания кристаллов арсенида галлия, так и вводить постоянный входной контроль пластин и структур из GaAs при использовании их в производстве различных приборов.

Поляризационно-оптический метод может быть использован также для контроля некоторых конкретных типов дефектов полупроводниковых пластин, в частности, для определения коэффициента заполнения кремниевых структур ориентации (111) линиями скольжения. Площадь, занятая дефектами указанного типа, сравнивалась с расстоя-

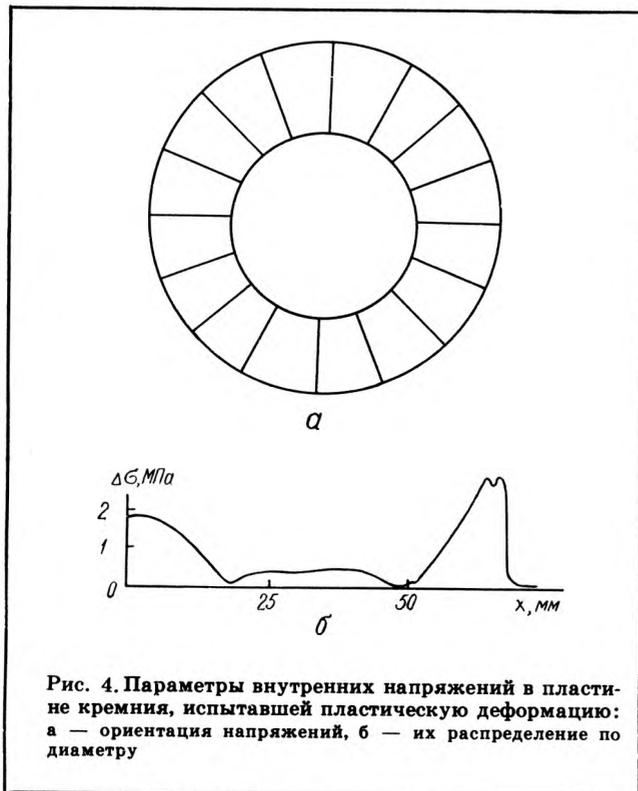


Рис. 4. Параметры внутренних напряжений в пластине кремния, испытавшей пластическую деформацию: а — ориентация напряжений, б — их распределение по диаметру

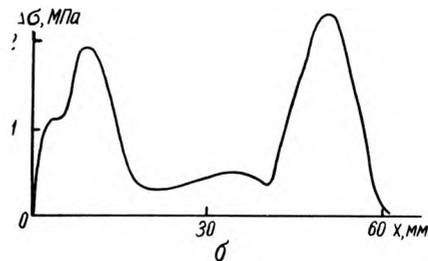
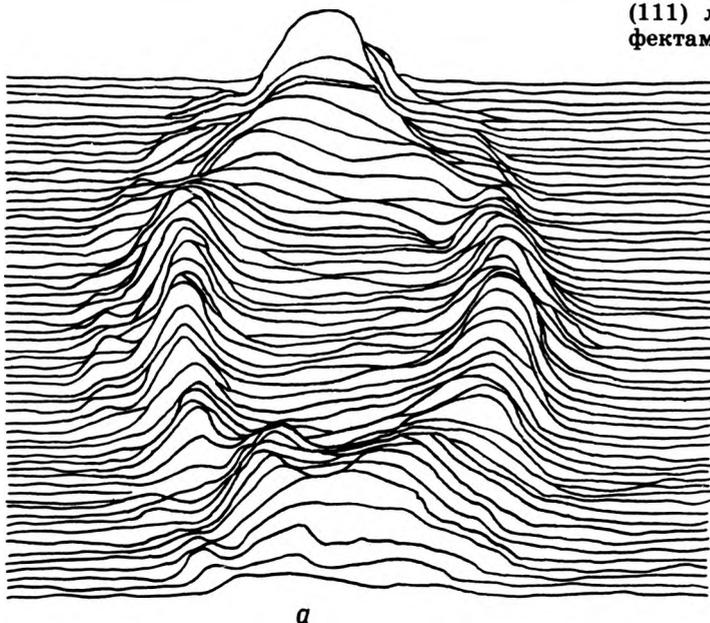


Рис. 5. Внутренние напряжения в исходной пластине из арсенида галлия: а — распределение во всем образце, б — распределение по диаметру

Оптическое устройство для автоматического лазерного эллипсометра прямого фотометрирования

И.К.Смирнов

Разработан автоматический лазерный эллипсометр прямого фотометрирования, основанный на пространственном разделении компонент отраженного светового потока поляризованных в плоскости падения света на контролируемый образец и перпендикулярно к этой плоскости.

При изготовлении ИЭТ методом тонкопленочной технологии требуется контролировать оптические контакты и толщины различных прозрачных пленок. Однако автоматическая аппаратура для такого контроля выпускается в недостаточном количестве, что отчасти связано с ее сложностью и техническими трудностями автоматизации схем измерений (в частности, классических эллипсометрических) [1]. Наиболее удобным с точки зрения автоматизации измерений является эллипсометр прямого фотометрирования, в котором отсутствует необходимость механического перемещения каких-либо частей прибора в процессе измерений, что упрощает решение задачи автоматизации измерений, увеличивает производительность и позволяет использовать такие устройства для контроля быстропеременных процессов [2].

В настоящей статье приведена оптическая схема эллипсометра прямого фотометрирования, разработанная автором, и описана методика измерений. Принцип действия предлагаемого устройства основан на пространственном разделении отраженного контролируемой пленкой светового потока на три компоненты (поляризованную в плоскости падения света — p , перпендикулярно к этой плоскости — s и под углом 45° к плоскости падения — смешанную ps) и одновременном измерении интенсивностей этих компонент и падающего на пленку светового потока, который также поляризован под углом 45° к плоскости падения. Разделение светового потока осуществляется при помощи двух прозрачных плоскопараллельных диэлектрических пластинок. На каждую из них отраженный пленкой свет падает под углом Брюстера к ее нормали, определяемым условием $\varphi_B = \arctg n$, где n — показатель преломления пластины. Плоскости падения света на эти пластинки взаимно ортогональны. Причем, одна из этих плоскостей параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения предметного столика. При таком расположении пластинок и при условии, что лазерный световой поток падает на пленку перпендикулярно к оси вращения предметного столика, одна из них отражает на соответствующий фотодатчик только s -а, другая только p -компоненту падающего на нее светового потока. Световой поток, прошедший через обе пластинки, регистрируется фотодатчиком, перед которым установлен призмный анализатор поляризованного света. В отличие от схемы, описанной в работе [2], в данной схеме для предотвращения изменения разности фаз между отраженными пленкой s - и p -компонентами светового потока в результате сложения амплитуд свето-

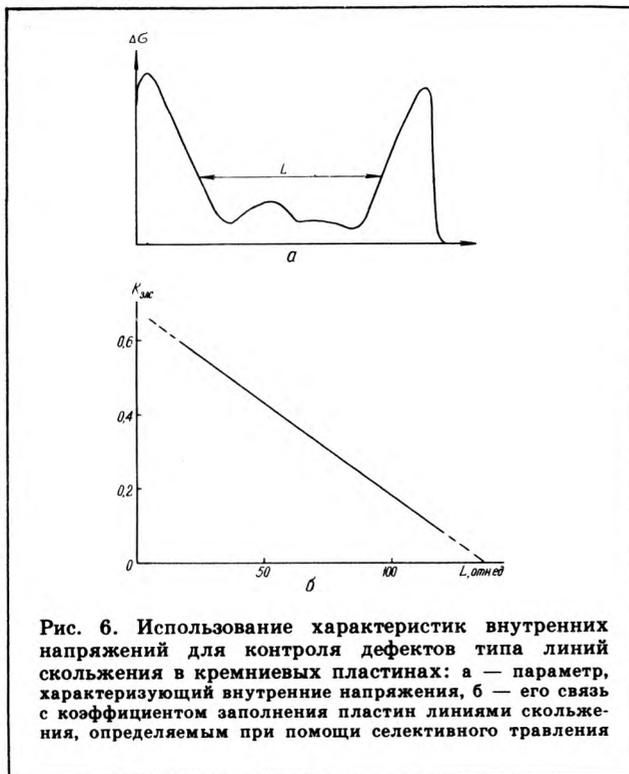


Рис. 6. Использование характеристик внутренних напряжений для контроля дефектов типа линий скольжения в кремниевых пластинах: а — параметр, характеризующий внутренние напряжения, б — его связь с коэффициентом заполнения пластин линиями скольжения, определяемым при помощи селективного травления

нием между точками распределения ВН, расположенными на скатах максимумов вблизи краев объекта. На рис. 6 условно представлен этот параметр, а также приводятся результаты, свидетельствующие о непосредственной связи между коэффициентом заполнения пластин линиями скольжения, определяемыми при помощи селективного травления, и данным параметром. Использование для определения дефектности пластины распределения ВН лишь по одному диаметру обусловлено высокой степенью симметрии напряжений в полупроводниковых пластинах и значительно повышает скорость контроля.

Из приведенных расчетов и примеров следует целесообразность применения поляризационно-оптического метода для сплошного бесконтактного контроля качества стандартных кремниевых и арсенид-галлиевых пластин, используемых при производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем. Возможно также использование указанного метода для оптимизации условий высокотемпературных технологических операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концевой Ю.А., Филатов Д.К. Дефекты кремниевых структур и приборов. Ч. 1. Базовые процессы подготовки кремниевых пластин и эпитаксиальных структур.— Э. Т., справочные материалы, 1987.— 44 с.
2. Концевой Ю.А., Филатов Д.К. Дефекты кремниевых структур и приборов. Ч. 2. Основные технологические процессы.— Там же.— 68 с.
3. Горбач С.С., Пахнев А.В., Шаскольская М.П. Фотоупругие свойства кристаллов.— Обзоры по электронной технике. Сер. 6. Материалы, 1974, вып. 16.— 82 с.
4. Тхорик Ю.А., Хазан Л.С. Пластическая деформация и дислокации несоответствия в гетероэпитаксиальных системах.— Киев: Наукова думка, 1983.— 304 с.
5. Напряжения и деформации в элементах микросхем/ В.С.Сергеев, О.А.Кузнецов, Н.П.Захаров, В.А.Летягин.— М.: Радио и связь, 1987.— 88 с.

вых лучей, многократно отраженных в пластинках, толщины этих пластинок выбираются такими, чтобы в каждой из них происходило полное пространственное разделение световых пучков, претерпевших разное число внутренних отражений. Кроме того, с помощью круговых диафрагм, установленных между пластинками и соответствующими фотодатчиками, выделяется наиболее яркий из этих пучков. Ориентация плоскости поляризации света, падающего на пленку, осуществляется с помощью четвертьволновой фазовой пластинки и установленного за ней поляризатора, а для определения его интенсивности используется третья прозрачная плоскопараллельная диэлектрическая пластинка, которая отражает часть лазерного излучения на соответствующий фотодатчик, перед которым также установлена круговая диафрагма. Если толщины h и показатели преломления n всех трех пластинок одинаковы и третья пластинка установлена также под углом φ_B между ее нормалью и направлением падающего на нее светового потока, то диаметры отверстий круговых диафрагм d_1 , d_2 и d_3 определяются из условия $d_0 < d < l$, где d_0 — диаметр светового пучка, а $l = (h \sin 2\varphi_B) / \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_B}$. Эллипсометрические параметры ϱ и $\Delta = \delta_s - \delta_p$ определяются по формулам:

$$\varrho = \arctg \sqrt{R_p/R_s};$$

$$\Delta = \arccos \frac{R_s + R_p - 4R_{s,p}}{2\sqrt{R_s R_p}},$$

где $R_s = U_{19}(\varphi)/K_1 U_{15}$; $R_p = U_{20}(\varphi)/K_2 U_{15}$; $R_{s,p} = U_4(\varphi)/K_3 U_{15}$; $U_{19}(\varphi)$, $U_{20}(\varphi)$, $U_4(\varphi)$ и U_{15} — сигналы с соответствующих фотодатчиков, зарегистрированные при значении угла падения света на пленку, равном φ ; K_1 , K_2 , K_3 — постоянные коэффициенты, δ_s и δ_p — изменения фаз соответственно s - и p -компоненты светового потока при его отражении от пленки. Коэффициенты K_1 , K_2 и K_3 определяются при отладке устройства. С этой целью устанавливается значение угла φ , равное 90° , с тем, чтобы весь световой поток проходил в измерительный блок без отражения от пленки, анализатор настраивается на максимум пропускания и одновременно измеряются сигналы со всех фотодатчиков. Значения

K_1 , K_2 и K_3 рассчитываются по формулам $K_1 = U_{19}(90)/U_{15}$, $K_2 = U_{20}(90)/U_{15}$ и $K_3 = U_4(90)/U_{15}$. Затем анализатор настраивается на минимум пропускания — его рабочее положение. Возможный источник погрешности в определении величин ϱ и Δ — неточность установки пластинок, выделяющих s - и p -компоненту отраженного светового потока. Для устранения этой погрешности в устройстве имеются два пленочных поляризатора, установленные между этими пластинками и соответствующими фотодатчиками, которые осуществляют дополнительную фильтрацию света.

Характеристики элементов оптической системы устройства зависят от выбора длины волны излучения. Для видимой области спектра плоскопараллельные пластинки могут быть изготовлены из оптического стекла толщиной 4—8 мм (при d_0 , составляющей 1—2 мм). В качестве фотодатчиков могут быть использованы фотоэлементы типа Ф-22, а в качестве поляризационной призмы и пленочных поляризаторов соответственно призма Рошона (или Николая) и поляризационные светофильтры типа ПФ-40,5.

Чувствительность схемы по R_s , R_p и $R_{s,p}$ не хуже 0,0001, а относительная погрешность измерений при определении оптических констант и толщин пленок не превышает 5%. Долговременная стабильность практически определяется только временем гарантийной работы источника излучения (лазер типа ЛГ-78) и фотодатчиков.

Схема автоматического лазерного эллипсометра может быть использована при разработке высокопроизводительной аппаратуры, применяемой для измерения оптических констант, толщин тонких пленок и для контроля быстропеременных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков М.М. Эллипсометрия. — М.: Сов. радио, 1974. — 200 с.
2. Быстров Ю.А., Кочин С.А., Котлецов Б.Н. Технологический контроль размеров в микроэлектронном производстве. — М.: Радио и связь, 1988. — 160 с.

Статья поступила 24 января 1989 г.

УДК 621.3.049.77.002.56

КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

К.М.Шестаков, А.Е.Пискунов, П.М.Жукович

Автоколлимационный метод считывания формы поверхности, реализованный в установке ЭМ-6019, позволяет проводить 100%-ный контроль и отбор полупроводниковых пластин перед операциями фотолитографии при производстве СБИС.

Для получения высокого выхода годных кристаллов СБИС с операций фотолитографии необходим отбор полупроводниковых пластин с формой поверхности, близкой к идеальной. Проведение такого отбора требует 100%-ного контроля формы поверхности пластин [1].

Идеальной формой поверхности признана плоскость, поэтому за установками контроля формы по-

верхности полупроводниковых пластин закрепилось название установок контроля отклонений от плоскостности, хотя их возможности значительно шире. Расширение возможностей установок контроля отклонений от плоскостности обусловлено развитием фотолитографического оборудования. Для контроля реальной пластины, форма поверхности которой отличается от плоской, фотолитографическое оборудование оснащается системами фокусировки и выравнивания, работающими как по каждому экспонируемому модулю, так и по всей площади пластины. Таким образом, требование плоскостности поверхности полупроводниковых пластин трансформировалось в ограничение на перепад высот в пределах участка поверхности пластины, соответствующего рабочему полю проекционно-го объекта с учетом возможности выравнивания пластины и фокусировки на модуль, а качество пластины оценивается по предсказываемому проценту годных модулей.

Главная характерная черта современных установок контроля отклонений от плоскостности полупроводниковых пластин — гибкое изменение функционала оценки качества пластин с возможностью математического моделирования систем выравнивания и фокусировки фотолитографического оборудования.

Требования к точности таких установок формулируются исходя из наименьших реальных значений глубины резкости проекционных объективов, которая составляет 0,5—1 мкм на поле размерами не более 20×20 мм [2]. В работе [3] приведено следующее практическое правило: на неравномерность толщины фоторезиста, на погрешность системы фокусировки и на отклонение от плоскостности полупроводниковой пластины распределяется по одной трети глубины резкости объектива. Учитывая это, а также то, что разрешающая способность установки должна быть в несколько раз меньше контролируемой величины, можно считать вполне достаточной для установок данного класса среднеквадратическую составляющую погрешность 0,05 мкм на поле размерами 20×20 мм.

Предельным требованиям по отклонению от плоскостности формы поверхности полупроводниковых пластин удовлетворяет только небольшая доля от их общего количества. В то же время проектные нормы 1,5—3 мкм допускают использование пластин с существенно большими перепадами высот в модуле. Поэтому сортировка по методу «годен—не годен» является неприемлемой. Установка контроля отклонений от плоскостности наряду с отбором по жесткому допуску должна обеспечивать сортировку по крайней мере еще по одному дополнительному критерию качества.

С целью минимизации загрязнений пластины необходимо применять автоматический режим работы «из кассеты».

Перечисленным требованиям удовлетворяют анализаторы плоскостности FAMI1000 System фирмы «Мицуи буссан дэнси хамбаи» (Япония) [4], Auto Sort II МК 150 отделения Tropel компании GCA (США) [4], установка ЭМ-6019 (СССР) [5] и некоторые другие.

В основе работы указанных зарубежных установок лежит интерферометрический метод [6], установки ЭМ-6019 — автоколлимационный метод считывания формы поверхности. Оба эти метода обеспечивают требуемую разрешающую способность.

Интерферометрический метод предъявляет более высокие требования к когерентности и стабильности частоты источника излучения. Рабочий диапазон интерферометрических систем высокого разрешения невелик вследствие ограниченности разрешающей способности существующих устройств считывания интерференционной картины. Основное преимущество данных систем — отсутствие роста среднеквадратической погрешности с увеличением поля анализа, свойственного автоколлимационному методу.

Измерительное устройство установки ЭМ-6019 представляет собой двухкоординатный сканирующий автоколлиматор [7], имеющий высокую чувствительность (не хуже 0,002 мкм/мм) при диапазоне углов наклона участков поверхности полупроводниковой пластины ±1,0 мкм/мм. Такое соотношение удовлетворяет большому множеству форм контролируемых поверхностей. В качестве источника излучения применен лазер ЛГН-207А, эффективно используемый в фотолитографическом оборудовании.

Измерение углов наклона осуществляется в узлах квадратной сетки с шагом 2,4 мм. Для компенсации временного и температурного дрейфов системы при каждом облучении полупроводниковой пластины делаются отсчеты и на опорной плоскости, выполненной в виде отражающего покрытия на поверхности вакуумного столика. В результате измерений формируются два массива углов наклона α_x и α_y .

2 2 3 2 2

2 2 1 2 2

3 1 0 1 3

2 2 1 2 2

2 2 3 2 2

Расположение точек при построении формы поверхности полупроводниковой пластины

Перед построением форм поверхности участков пластины проверяются полученные данные на достоверность. Каждая точка i принимается за центр участка размерами 3,4×3,4 мм (диагональ 4,8 мм), и для нее вычисляются исходя из предположения о принадлежности точки i элементарной поверхности второго порядка, включающей в себя ближайшие соседние точки, математические ожидания α_{xi}^0 и α_{yi}^0 . Разность между результатами измерений и их математическими оценками проверяется на допуск, по превышении которого результаты измерений признаются недостоверными и заменяются на максимально допустимые значения. Общее число недостоверных точек на полупроводниковой пластине контролируется, и при превышении некоторой заданной величины выдается диагностическое сообщение. Такое решение позволяет свести к минимуму выбросы, обусловленные загрязнениями, посторонними частицами.

Построение поверхностей начинается с центральной точки модуля (точка 0 на рисунке). Все точки делятся на три группы: первые точки «на кресте» 1; точки, не лежащие «на кресте», 2 и последующие точки «на кресте» 3. Для каждой точки используются результаты измерений в соседних точках и в самой точке. Точка 1 строится из точки 0 с учетом результатов определения перепада уровня по шести группам измерений. В точке 0 начинаются три различных пути движения. Для точки 1, лежащей справа, это пути: +X; +Y, +X, -Y; -Y, +X, +Y (знак определяет направление шага вдоль указанной оси). Три оставшихся пути начинаются в точке 1 и ведут к точке 0. Полученные значения суммируются с введенным коэффициентом 0,5 для значений путей длиной в три шага. Высота в точках 2 находится статистическим усреднением результатов измерений при движении из двух ранее построенных точек. Высота точек 3 определяется статистическим усреднением результатов измерений при движении из трех ближайших ранее построенных точек. В процессе построения поверхностей модулей моделируются системы фокусировки и выравнивания фотолитографического оборудования.

В обработке данных участвуют два специализированных вычислителя, получающие информацию от аналого-цифровых преобразователей многоэлементных линейных фотоприемников X и Y — каналов, одноплатная микроЭВМ «Электроника МС 1201.02» и персональная ЭВМ оператора ДВК-3. Последняя служит для вывода на внешние носители визуальной и цифровой информации о форме поверхности полупроводниковой пластины и ее участков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство кремниевых подложек для больших интегральных схем/Ю.Д.Чистяков, А.И.Пекарев, А.Н.Бурмистров и др. — Зарубежная техника, 1986, № 4.

2. Объективы для фотолитографии/ Э.С.Гуревич, Б.Ф.Нисковских, Л.Д.Пигулевская, А.П.Грамматин. — Оптико-механическая промышленность, 1988, № 2, с. 55—58.

3. P o d u j e N., B a y l i e s W. Wafer geometry characterization: a overview. — Microelectronic Manufacturing and Testing, 1988, vol. 11, N 6, May, p. 29—32; vol. 11, N 7, June, p. 14—15.

4. Накамото Хисаси, Инаба Сигэру. Автоматическая система анализа и обработки плоскостности для интеграции сверхвысокого уровня. 1983, № 9, с. 34—37.

5. Установка контроля плоскостности полупроводниковых пластин ЭМ-6019/ В.И.Будрик, Л.В.Гоман, П.М.Жукович и др. — Электронная промышленность, 1989, вып. 1, с. 55.

6. Интерференционный микропрофилограф МПИ-80/ В.А.Беляев, Д.Л.Богачев, А.А.Воеводин и др. — Электронная промышленность, 1988, вып. 5, с. 34.

7. А.с. № 1409863 (СССР). Устройство измерения геометрических параметров поверхности полупроводниковых пластин/ К.М.Шестаков, В.И.Чухлиб, В.А.Юдицкий, Л.В.Гоман. — Оpubл. в Б.И., 1988, № 26.

Статья поступила 8 августа 1989 г.

УДК 621.317.799:621:3.049:77

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ ЭМ-6019

К.М.Шестаков, А.Е.Пискунов, П.М.Жукович

Установка ЭМ-6019 предназначена для контроля отклонения от плоскостности полупроводниковых пластин автоколлимационным методом считывания формы поверхности [1, 2]. Максимальный диаметр измеряемого поля равен 115 мм, что соответствует примерно 1800 точкам контроля по поверхности. При измерении в этих точках формируется и запоминается массив углов наклона луча, отраженного от поверхности, который и служит для восстановления ее формы при обработке по определенному алгоритму.

Основные составляющие погрешности работы установки: случайная и систематическая погрешности измерения угла наклона лазерного луча, отраженного от поверхности и погрешность алгоритма восстановления формы поверхности.

Случайная составляющая погрешности установки при измерении угла наклона обусловлена кратковременной нестабильностью источника излучения, вакуумной сети, взаимного положения вакуумного стола и измерительного тракта, а также движущимися оптико-механическими узлами. Для уменьшения этой погрешности установлены определенные условия эксплуатации установки, время выхода на стационарный режим, а также вводятся поправки, корректирующие погрешности движущихся оптико-механических узлов. Указанные меры позволили уменьшить случайную погрешность до величины 1—2-х единиц младшего разряда кода, что составляет 0,25—0,5".

Систематическая погрешность измерения угла наклона, обусловленная абберациями оптической системы по рабочему полю, устранялась путем многократных измерений плоской стеклянной меры, имеющей клин между поверхностями не более 10" и отклонение от плоскостности по рабочему полю 0,05—0,1 мкм. Результаты измерений усреднялись и использовались для формирования массива, который при дальнейших

измерениях учитывался как аддитивная поправка для каждой точки измеряемого поля.

Программное обеспечение содержит также ряд числовых массивов и констант, которые необходимы для коррекции координатной и оптической системы. Кроме того, оно позволяет учитывать медленные изменения положения вакуумного стола относительно измерительного тракта и изменение коэффициента отражения по полупроводниковым пластинам. Для уменьшения систематической погрешности отклонение от плоскостности рабочей поверхности вакуумного стола не должно превышать 0,15 мкм (стол изготавливается из ситалла).

Исследование алгоритма восстановления формы поверхности при заданной погрешности измерения угла наклона необходимо как для анализа дополнительной вносимой погрешности, так и для предварительного прогнозирования технических характеристик установки или определения требуемой точности измерения угла наклона по заданным характеристикам установки. Кроме того, исследование алгоритма позволяет найти корреляцию между теоретической моделью установки и экспериментальными результатами, полученными для поверхностей известной формы (сферы, плоскости и др.).

С учетом изложенного была разработана программа генерации массива углов наклона для поверхности сложной формы. Восстановление формы поверхности происходило в рабочей программе установки в соответствии с заданным режимом работы.

Для анализа шумовых свойств алгоритма расчетный массив углов наклона «зашумлялся» в соответствии с уравнением:

$$\alpha_i = \alpha_{i \text{ расч}} + C_i \Delta \alpha,$$

где i — порядковый номер угла наклона в массиве; C_i — случайное число в диапазоне $[+1, -1]$ из множества, распределенного по равномерному закону; $\Delta \alpha$ — максимальное значение отклонения угла наклона от расчетного.

Массив обрабатывался в соответствии с алгоритмом и режимом работы, и определялось отклонение формы поверхности от расчетной.

Метрологические характеристики установки определялись по нескольким сферическим и клиновидным стеклянным мерам с различной величиной отклонения от плоскостности и параллельности. Основными требованиями, которые предъявлялись к мерам, были стабильность характеристик, а также возможность изготовления и аттестации с погрешностью не хуже 0,1 мкм. Коэффициент отражения хромового покрытия выбирался примерно равным коэффициенту отражения от полупроводниковой пластины. Сравнение расчетной величины среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности (для различных размеров контролируемых участков) с результатами многократных измерений отклонения от плоскостности и параллельности дает величину погрешности измерения угла наклона 0,5", что хорошо коррелирует с прямыми измерениями угла наклона.

Введение указанных мер компенсации погрешности позволяет сохранить метрологические характеристики установки ЭМ-6019 в течение длительного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Установка контроля плоскостности полупроводниковых пластин ЭМ-6019/ В.И.Будрик, Л.В.Гоман, П.М.Жукович и др. — Электронная промышленность, 1989, вып. 1, с. 55.

2. Шестаков К.М., Пискунов А.Е., Жукович П.М. Контроль формы поверхности полупроводниковых пластин. — См. наст. вып., с. 21—22.

Статья поступила 8 августа 1989 г.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ИС

В.Н.Акимов, В.В.Жуков, А.С.Илюкевич,
канд.техн.наук А.П.Рыдзевский

В условиях автоматизации сборочных процессов в производстве ИС, а также расширения функциональных возможностей современных микропроцессорных средств возрастает значение методов и систем, реализующих функции текущего анализа и позволяющих адаптивно, в ритме производства управлять технологией и качеством сборки.

Управление таким параметром, как усилие нагружения инструмента, который при микросварке является одним из основных, требует, с одной стороны, разработки миниатюрных, помехозащищенных, надежных и точных первичных преобразователей, с другой — компактных и быстродействующих измерительных систем с возможностью обработки поступающей от них информации с помощью микропроцессорных средств.

Опыт разработки и эксплуатации сварочных систем показал, что указанным требованиям лучше всего удовлетворяют первичные преобразователи, выполненные на кремниевой мембране с тензорезисторами, полученные методом ионной имплантации и образующие двухплечий разомкнутый мост. Тензочувствительный мост расположен на квадратной мембране размером 3×3 мм на расстоянии 50 мкм от края мембраны.

Геометрические размеры тензорезисторов, расположенных перпендикулярно и параллельно стороне квадратной диафрагмы, равны 180×20 мкм, и по отношению к мембране их можно рассматривать как точечные чувствительные элементы. При жестком креплении мембраны на кронштейне и приложении силы на незакрепленный его конец (рычаг) деформацию мембраны можно описать как деформацию при нормированном давлении по формуле [1]:

$$W = \frac{8,88 \cdot 10^{-3} (1 - \nu^2) P l^x}{E_x h^3},$$

где E_x — модуль упругости (для кремния 169 ГПа); $\nu = 0,262$ — коэффициент Пуассона; h — толщина мембраны; l — длина мембраны; P — давление на мембрану. При толщине мембраны 10 мкм, ориентации кремния (100) и усилия 0,1 Н деформация мембраны составляет 10,36 мкм.

При полной мостовой схеме включения тензорезисторов относительный выходной сигнал $\Delta V/V = 68,5$ мкВ/В (где ΔV — выходное напряжение, V — напряжение питания), что характеризует чувствительность мембранного преобразователя. Габаритные размеры преобразователя составляют 5×5 мм. Выводы тензорезисторов уложены в протравленные канавки в монокристаллическом кремнии и залиты эпоксидной смолой ВК-250, длина выводов из провода диаметром 0,18 мм составляет 150 мм.

Типовая схема включения датчика в микропроцессорную систему содержит: датчик усилия, который крепится на упругом держателе сварочного микроинструмента, дифференциальные усилители на базе микросхем К140УД20, нормируемый усилитель, аналого-цифровой преобразователь на базе

К1113ПВ1, логическое устройство настройки (состоящее из генератора на базе К1006ВИ1), логическую схему ИЛИ, формирователь, светодиодный индикатор и переключатель режимов. С измерительной диагонали моста датчика сигнал подается на вход усилителя с дифференциальным включением входного сигнала [2], затем сигнал проходит через нормирующий усилитель и поступает на вход АЦП, который запускается от микропроцессорной системы и по концу преобразования устанавливает сигнал. По этому сигналу микропроцессорная система принимает действительные данные с выхода АЦП.

Дальнейшая обработка сигнала датчика производится алгоритмически под управлением микропроцессорной системы. Например, для установок термокомпрессионной сварки (ТКС) ЭМ-4060, где устройство микросварки работает в зоне с большим градиентом температур и имеет место прогрев датчика до температуры $\sim 70^\circ\text{C}$, алгоритм обработки сигнала датчика включает в себя реализацию функции фильтра нижних частот [3], введение которого позволяет стабилизировать задаваемое сварочное усилие с точностью не менее 0,01 Н.

Для удобства регулировки схемы введено логическое устройство настройки, которое работает в автономном режиме без участия микропроцессорной системы, при этом генератор запускает АЦП с частотой ~ 1 Гц, а данные с выхода АЦП через формирователь индицируются на светодиодном индикаторе. С помощью потенциометров можно установить требуемые цифровой код 0-нагрузки на выходе АЦП и масштаб преобразования АЦП.

При отсутствии воздействия на сварочную головку механических нагрузок сигнал с выхода датчика усилия определяется его температурным дрейфом, наличием остаточных напряжений после предыдущей технологической операции и вибрациями сварочной головки (см. рисунок, участок АБ). С момента касания сварочного инструмента (через проволоку) контактной площадки кристалла (точка Б) датчик усилия воспринимает возрастающее по мере опускания сварочной головки усилие упругого рычага до тех пор, пока значение усилия P_0 не достигнет заданного (точка В), после чего поступает обработанный сигнал датчика, и линейный шаговый двигатель (ЛШД) по координате Z останавливается.

Можно предположить, что в этот период при ТКС происходит формирование физического контакта соединяемых материалов. Спадающий участок осциллограммы (ВГ) указывает на влияние деформации и осадки проводника при сварке.

Крутизна участка БВ и темп спада участка ГД определяются скоростями перемещения ЛШД после



момента касания инструментом подложки и подъема сварочной головки. Установлено, что оптимальный диапазон скоростей ЛШД после момента касания составляет 90—120 мм/с, в период подъема сварочной головки — 260—280 мм/с. Оптимальные усилия нагружения для сварки встык золотой проволоки диаметром 30 мкм составляют 0,2—0,3 Н, для сварки внахлест — 1,1—1,3 Н. При других значениях параметров процесса ТКС могут появиться сколы в кристаллах ИС.

Время процесса ТКС $t_{оп}$ (см. рисунок) по программатору устанавливалось равным 10 мс, но фактически для указанных диапазонов скоростей после момента касания и подъема инструмента проводник с подложкой находятся в контакте в течение 30—35 мс ($t_{св}$).

При записи осциллограмм перемещения инструмента с большим разрешением установлено, что при повышенных скоростях после момента касания амплитуда вибраций инструмента по координате Z до момента касания с кристаллом может достигать 15 мкм. Превышение допустимого уровня амплитуды вибраций приводит к не прогнозируемому преждевременному отрыву деформированной проволоки при вибрациях инструмента в момент сварки внахлест.

Допустимая амплитуда вибраций инструмента при ТКС по координате Z составляет 4 мкм, по координатам X, Y — 2 мкм. Вибрации инструмента в плоскости сварки приводят к интенсификации диффузионных процессов. При термозвуковой сварке уровень вибраций должен быть меньше в 2 раза, чем при ТКС, чтобы исключить дестабилизацию амплитуды колебаний инструмента и невоспроизводимость качества соединений, поскольку процесс сварки протекает при меньших температурах подогрева корпуса ИС (180—250°C). Вибрации инструмента приводят к пульсации усилия, что видно на рисунке.

Устройство контроля усилия нагружения инструмента позволяет обеспечить регистрацию изменения этого усилия, начиная с момента касания инструментом подложки, а также регистрацию роста усилия в процессе перемещения сварочной головки, стабилизацию усилия в период остановки и простоя сварочной головки и регистрации спада усилия при ее подъеме. Управление усилием нагружения и контроль его на автомате ЭМ-4060Т2 обеспечивают оптимизацию условий протекания технологических процессов, повышение производительности оборудования и качества ИС.

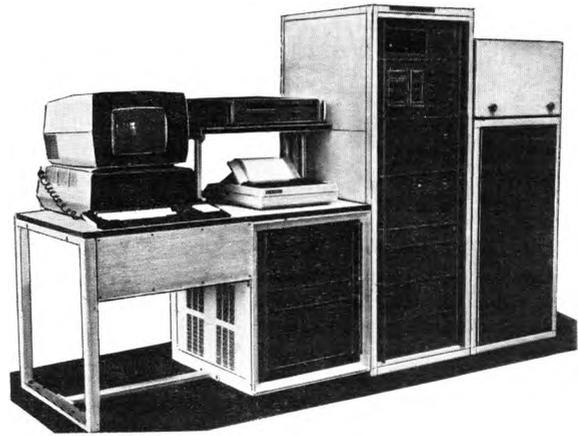
ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.А. Упругие элементы приборов.— М.: Энергия, 1962.— 120 с.
2. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре.— М.: Сов. радио, 1979, с. 159—160.
3. А.с. № 1429864 (СССР). Устройство для сварки давлением/В.Н.Акимов, В.С.Илюкевич, А.П.Рыдзевский.— Оpubл. в Б.И., 1989, № 7.

Статья поступила 8 августа 1989 г.

УДК 621.317.421

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ МАГНИТОВ



Предназначена для отбраковки кольцевых магнитов на ранних стадиях технологического процесса настройки магнитной периодической фокусирующей системы:

В состав установки входят: измерительная стойка с блоками калибровки, автоматического поддержания температуры, питания, измерения температуры, коммутации, управления механизмами регулирования температуры (2 блока) и выходными усилителями шаговых двигателей; исполнительный механизм; измерительный стенд с блоками управления и измерения магнитной индукции, микроЭВМ "Электроника МС.05.07" и цифровым вольтметром.

Температурная стабильность кольцевых магнитов определяется по методу сравнения значений магнитной индукции, полученных при разных температурах, со значением при комнатной температуре. Диапазон температур контроля кольцевых магнитов — до +200°C.

Магнитная индукция измеряется с помощью измерительного зонда с преобразователем Холла ПХЭ606817, имеющим габаритные размеры не более 1x1x0,6 мм. Для исключения погрешности, обусловленной зависимостью параметров преобразователей Холла, применена их термостабилизация.

Процесс контроля и обработки результатов измерения автоматизирован на базе микроЭВМ "Электроника". При этом обеспечивается автоматическая регистрация максимальных значений магнитной индукции, поддержание и регистрация температуры контролируемых кольцевых магнитов, управление перемещением магнита и измерительного зонда, вычисление и автоматическая регистрация температурного коэффициента максимального значения индукции кольцевых магнитов.

Техническая характеристика

Диапазон (поддиапазоны) измерения магнитной индукции, мТл	0...±500 (0...±20, 0...±50, 0...±100, 0...±200, 0...±500)
Предельно допустимое значение приведенной погрешности измерения магнитной индукции, %	±1,5
Температурный коэффициент магнитной индукции кольцевых магнитов, %/°C	0,005—0,2
Погрешность измерения температурного коэффициента, %	±15
Предельно допустимое значение погрешности задания, поддержания и измерения температуры в нагревательном устройстве, °C	не более ±4
Размеры контролируемых образцов, мм	
внешний диаметр	10—40
внутренний диаметр	5—25
высота	2—8
(под каждый типоразмер колец имеется перестраиваемая оснастка)	
Производительность контроля, изделий/ч	30
Напряжение питания, В	220 ± 22

Использование установки позволяет снизить трудоемкость настройки магнитной периодической фокусирующей системы и повысить стабильность параметров ЭВП.

В.Ф.Голубев, канд.техн.наук В.А.Киселев,
канд.техн.наук В.Г.Тугарин, В.И.Лысенко,
В.З.Семенов

УДК 548.73

НОВЫЕ МЕТОДЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ И ТОПОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МОНОКРИСТАЛЛОВ

д-р физ.-мат.наук, проф. Р.М.Имамов,
Д.В.Новиков, канд.техн.наук А.Н.Шелоков

Предлагаются рентгенодифракционные методы исследования приповерхностных слоев совершенных кристаллов, основанные на использовании скользящих схем дифракции и предназначенные для реализации на серийно выпускаемой аппаратуре. Методы рекомендуются для определения толщины пленок окисла на поверхности кремния, параметров переходного слоя пленка-подложка и выявления топографии окисного слоя, а также для изучения сверхрешеток GaAs—AlAs.

Рентгеновская дифрактометрия и топография — высокоэффективные методы анализа структурных нарушений в кристаллах высокой степени совершенства, обладающие по сравнению с другими способами исследования структуры кристаллов высокой точностью определения параметров решетки кристалла $\Delta d/d \sim 10^{-5} - 10^{-6}$, неразрушающим характером измерений и экспрессностью, особенно при использовании мощных рентгеновских генераторов или синхротронного излучения, что обеспечивает их широкое применение.

Для рентгеновских лучей, например в случае дифракции по Брэггу, минимальная глубина проникновения в кристалл (длина экстинкции) составляет в зависимости от вещества, порядка отражения и длины волны излучения 1—10 мкм. В связи с этим считалось, что рентгеновские лучи не являются оптимальным средством изучения поверхностных слоев. Однако в последние годы достигнут значительный прогресс в повышении разрешающей способности рентгеновского эксперимента и предложены методы диагностики реальной структуры тончайших приповерхностных слоев монокристаллов и границ раздела, базирующиеся на так называемой скользящей схеме дифракции в Брэгг—Лауэ геометрии и методе асимптотической брэгговской дифракции (АБД). В дифракционной схеме в геометрии Брэгга—Лауэ используются отражающие плоскости, почти перпендикулярные поверхности кристалла. При этом углы падения Φ_0 и выхода Φ_n рентгеновских лучей к поверхности кристалла оказываются малыми, а следовательно, резко уменьшается и длина экстинкции L_{ex} [1]. Метод АБД основан на измерении дифракционного рассеяния вдали от точного значения угла Брэгга, где благодаря эффектам интерференции весь регистрируемый сигнал формируется в тонком приповерхностном слое кристалла.

Однокристалльный метод асимптотической брэгговской дифракции

При использовании метода АБД, основанного на измерении интенсивности дифракционного отражения вдали от брэгговского пика, требуется устранить фоновые излучения различной природы, диффузное рассеяние от дефектов, рассеяние от держателя образца. С

этой целью в экспериментах по реализации метода АБД обычно используется трехкристалльный рентгеновский спектрометр, который позволяет выделять дифракционное рассеяние от исследуемого образца с угловым разрешением в несколько угловых секунд (рис. 1). В случае скользящей геометрии Брэгга—Лауэ метод АБД легко реализуется без третьего кристалла-анализатора [2], который заменяется сканированием со щелью. Такая возможность создается благодаря тому, что малые изменения брэгговского угла Θ вызывают много большие изменения угла выхода Φ_n , поскольку этот угол связан с углом Брэгга соотношением:

$$\Phi_n^2 = (\Phi_0 + \Psi)^2 + 2(\Theta - \Theta_0) \sin(2\Theta), \quad (1)$$

где Φ_0 — угол падения излучения на кристалл; $\Psi = 2\varphi \sin(\Theta_0)$ — эффективный угол, φ — реальный угол скоса дифракционных плоскостей (рис. 1, б).

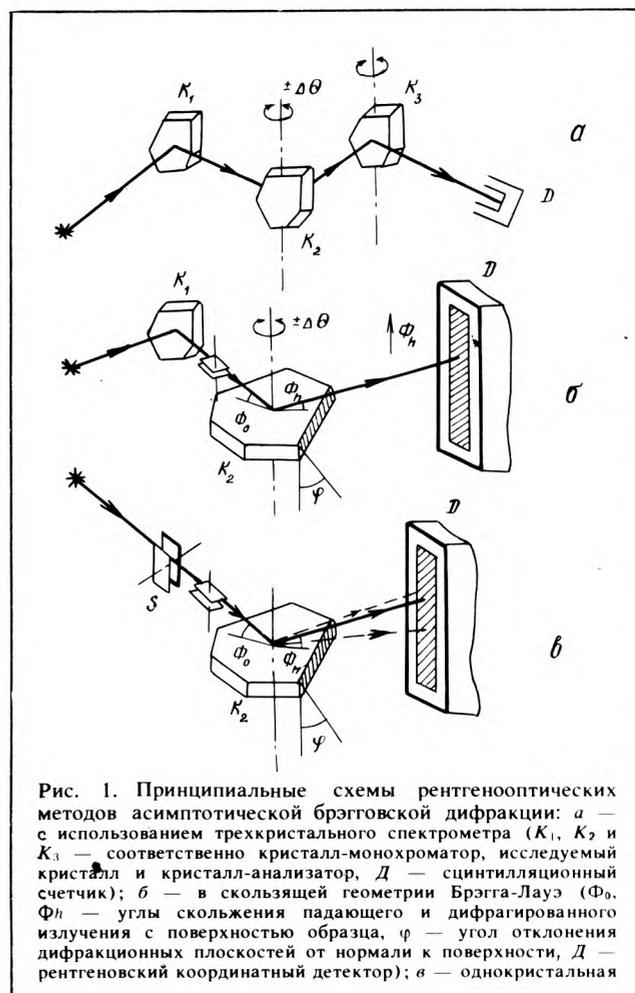


Рис. 1. Принципиальные схемы рентгенооптических методов асимптотической брэгговской дифракции: а — с использованием трехкристалльного спектрометра (K_1 , K_2 и K_3 — соответственно кристалл-монокроматор, исследуемый кристалл и кристалл-анализатор, D — сцинтилляционный счетчик); б — в скользящей геометрии Брэгга—Лауэ (Φ_0 , Φ_n — углы скольжения падающего и дифрагированного излучения с поверхностью образца, φ — угол отклонения дифракционных плоскостей от нормали к поверхности, D — рентгеновский координатный детектор); в — однокристалльная

Из формулы [1] следует, что изменения угла Θ примерно на $1''$ вызывают изменения Φ_h на $1'$. Поэтому использование сканирующей по углу Φ_h щели с приемным окном размером порядка $1'$ эквивалентно использованию третьего кристалла-анализатора с разрешением порядка одной угловой секунды. При этом угол фонового рассеяния по шкале углов выхода не зависит от угла Θ и совпадает с основным брэгговским максимумом. Следовательно, если на кристалл падает не коллимированное по углу Θ излучение, то побочные механизмы рассеяния дают излучение (например, диффузный пик), строго попадающее на положение основного брэгговского пика. При этом «хвосты» кривой отражения формируются только за счет дифракционного рассеяния от исследуемого кристалла. Таким образом, проблема очищения дифракционного рассеяния от фоновых составляющих, для решения которой потребовался переход от двухкристалльной дифрактометрии к трехкристалльной с дополнительным кристаллом-анализатором, в данном случае решается автоматически. Кроме того, здесь не требуется коллимация падающего пучка кристаллом-монохроматором. Прецизионные измерения «хвостов» кривой дифракционного рассеяния можно проводить практически в однокристалльном варианте [3] (см. рис. 1,б).

Рассмотрим результаты эксперимента с монокристаллами кремния, различающимися степенью окисления поверхности и имеющими угол разориентации с плоскостью (111) $\varphi = 4^\circ$. В качестве отражающих использовались плоскости (220) с эффективным углом скола $\Psi = 167'$. Измерения проводились с помощью

$= 1,1 \pm 0,2$ нм, а для образца со слоем термического окисла 5 нм значения $L_{ам} = 4,2 \pm 0,3$ нм и $L_{гр} = 0,6 \pm 0,2$ нм.

Однокристалльный метод обладает рядом преимуществ для исследования сверхрешеток. Он позволяет одновременно регистрировать большое число спутников, что дает возможность точно определять параметры структуры сверхрешеток. На рис. 2 представлена кривая дифракционного отражения от сверхрешетки GaAs—AlAs, имеющей 10 пар слоев AlAs (12 нм) — GaAs (32 нм).

Метод одновременной регистрации основного брэгговского пика и «хвостов» кривой дифракционного отражения от совершенного кристалла в резко асимметричной геометрии Брэгга

Схема скользящей дифракции в геометрии Брэгга—Лауэ предъявляет специальные требования к исследуемым образцам. Кроме того, она имеет сравнительно низкое пространственное разрешение. Эти недостатки можно преодолеть, используя резко асимметричную компланарную схему дифракции (рис. 3) [4]. Пучок рентгеновского излучения, проходя через β -фильтр и коллиматор, ограничивающий размеры пучка до $0,1 \times 0,1$ мм, попадает на кристалл, установленный в асимметричное брэгговское отражение так, чтобы угол входа Φ_0 был больше угла выхода (Φ_h). Экспериментальные измерения интенсивности дифракционного рассеяния удобно проводить в условиях, когда излучение, соответствующее точному брэгговскому максимуму, со-

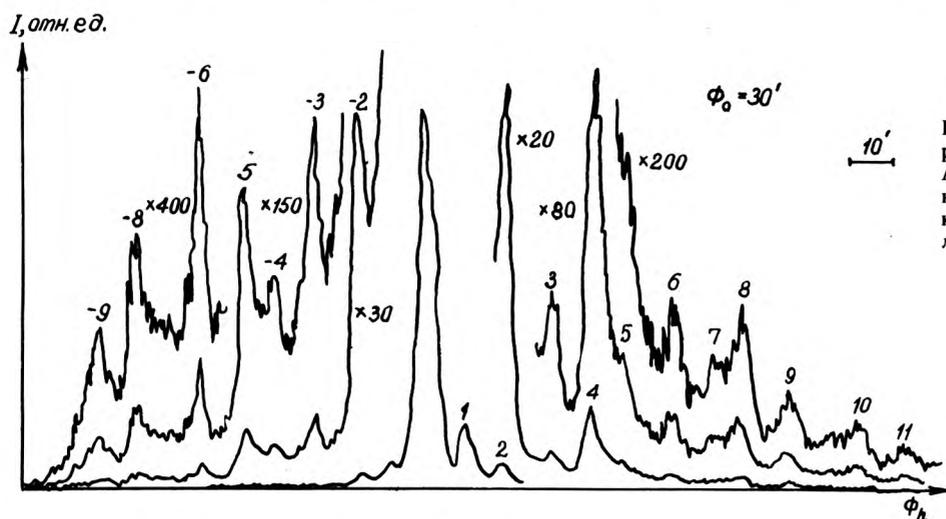


Рис. 2. Кривая дифракционного отражения от сверхрешетки GaAs—AlAs, полученная с применением однокристалльного метода (время съемки на стандартном источнике излучения — 1 ч)

обычной медной рентгеновской трубки мощностью 0,8 кВт. В ходе эксперимента никаких вращений кристалла не проводилось, а использование линейного рентгеновского координатного детектора РКД-1 позволило осуществить одновременно измерения интенсивности дифракционного рассеяния при 800 значениях Φ_h , так что одновременно фиксировались основной брэгговский пик, поверхностный брэгговский пик, соответствующий углу выхода $\Phi_h = \Phi_c$, где $\Phi_c = 13,34'$ — критический угол зеркального отражения, а также вся область между этими двумя пиками. По этим данным оказалось возможным с высокой точностью определить структуру нарушенного слоя. Предполагалось, что на поверхности кристалла имеется аморфный слой толщиной $L_{ам}$, а под ним граничный слой толщиной $L_{гр}$ с частичной аморфизацией, которая может быть описана через статический фактор Дебая—Валлера. Чувствительность данного метода в эксперименте достигает 0,1 нм при определении толщины аморфного слоя $L_{ам}$. Обработка результатов показала: для образца со слоем естественного окисла на поверхности $L_{ам} = 1,2 \pm 0,2$ нм, $L_{гр} =$

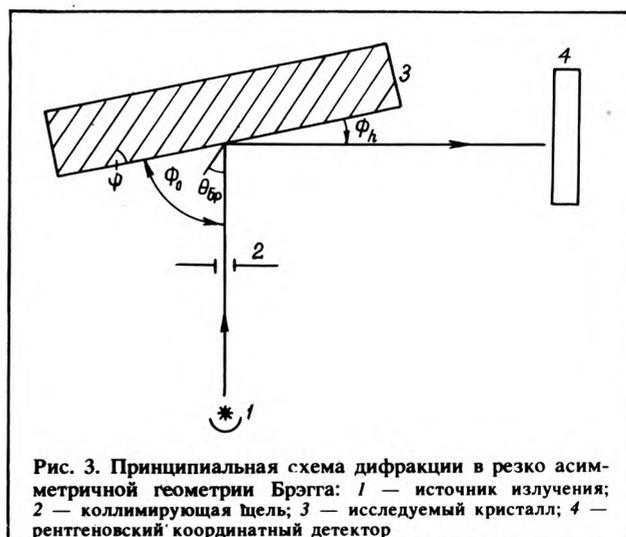


Рис. 3. Принципиальная схема дифракции в резко асимметричной геометрии Брэгга: 1 — источник излучения; 2 — коллимирующая щель; 3 — исследуемый кристалл; 4 — рентгеновский координатный детектор

ставляет с поверхностью кристалла угол ($\Phi_v \sim 1-2^\circ$). Измерения проводились на монокристаллических пластинах Si (111) с 4-градусной разориентацией поверхности. Исследовались как исходные образцы, подвергнутые химико-механической полировке с последующим глубоким полирующим травлением, так и образцы с термическим окислом на поверхности толщиной 5,0 и 20,0 нм.

Кривые дифракционного отражения от образцов с естественным и термическим окислом, представлены на рис. 4 (дифракционные плоскости (311) составляют угол с поверхностью образца $\varphi = 27,1^\circ$, Cu K_α -излучение, фактор асимметрии $\beta = 47$, $\Theta_v = 28,1^\circ$). Измерения проводились с помощью рентгеновского координатного детектора. Видно, что положение и интенсивность основного брэгговского пика на кривых совпадают, в то время как интенсивность и форма «хвостов» дифракционных кривых различаются. Максимум поверхностного брэгговского пика, возникающего при $\Phi_h = \Phi_c$, ярко выражен для образца с тонким слоем естественного окисла на поверхности и заметно уменьшается при наличии пленки толщиной 5 нм, а при толщине пленки 20 нм полностью подавляется.

Таким образом, благодаря большим углам падения и малым углам выхода дифракционного излучения из кристалла обеспечивается высокая локальность измерений по поверхности при высокой чувствительности к тонким (1–10 нм) приповерхностным слоям кристаллов.

Рентгеновская дифракционная топография приповерхностных слоев кристаллов при скользящих углах падения

Предельно асимметричное отражение в геометрии Брэгга можно использовать и в дифракционной топографии [5]. Рентгенооптическая схема метода показана на рис. 5. Излучение от источника, проходя через систему щелей, падает на образцы под малым углом $\Phi_h \approx \Phi_c$. В качестве дифракционных выбираются плоскости, составляющие угол $\varphi \leq \Theta_v$ с поверхностью кристалла. Отраженное от кристалла излучение регистрируется на фотопластинке. Поскольку углы падения излучения на поверхность кристалла составляют в данном случае несколько угловых минут, данный метод обладает следующими преимуществами:

- за счет эффекта полного внешнего отражения появляется чувствительность к рентгеноаморфным пленкам толщиной менее 10 нм на поверхности монокристаллов;

- благодаря малой глубине экстинкции обеспечивается высокая чувствительность к искажениям структуры в слоях субмикронной толщины;

- одновременно освещается большой участок исследуемого образца, что при съемке топограмм позволяет отказаться от сканирования или использования многокристалльных схем;

- благодаря плоскопараллельному отраженному пучку рентгеновского излучения с большими углами выхода снижаются требования к расстоянию образец — фотопластинка;

- резко увеличивается светосила за счет уширения кривой дифракционного отражения со стороны углов входа.

На рис. 6 показана топограмма от образца Si со сложной структурой окисла толщиной 0,3 мкм на поверхности. Более темные участки соответствуют закрытым окислом частям подложки. Хорошо виден рисунок окисла на поверхности кристалла. Топограммы, снятые при разных углах, позволяют определить напряжения, возникающие на краях окисла. Время съемки таких топограмм составляет 30 мин — 1 ч при использовании стандартных источников излучения.

Рассмотренные новые рентгенодифракционные методы в совокупности обладают широкими возможностями в исследовании дефектов и неоднородности иска-

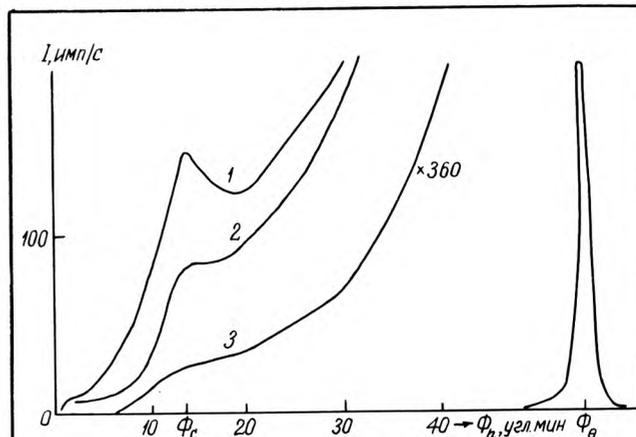


Рис. 4. Кривые дифракционного отражения в резко асимметричной геометрии Брэгга от кристаллов кремния с естественным окислом (1), термическим окислом 5 нм (2) и 20 нм (3)

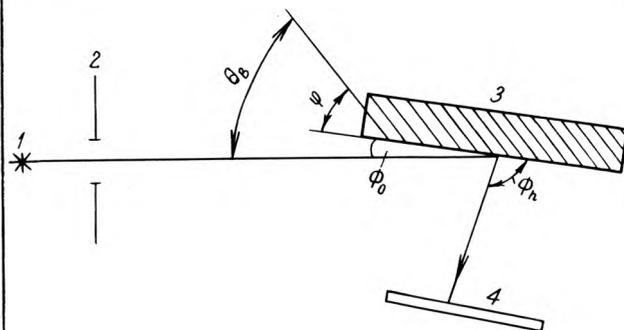


Рис. 5. Принципиальная схема рентгенооптической топографии в предельно асимметричной геометрии Брэгга: 1 — источник излучения; 2 — коллимирующая щель; 3 — исследуемый кристалл; 4 — фотопластинка

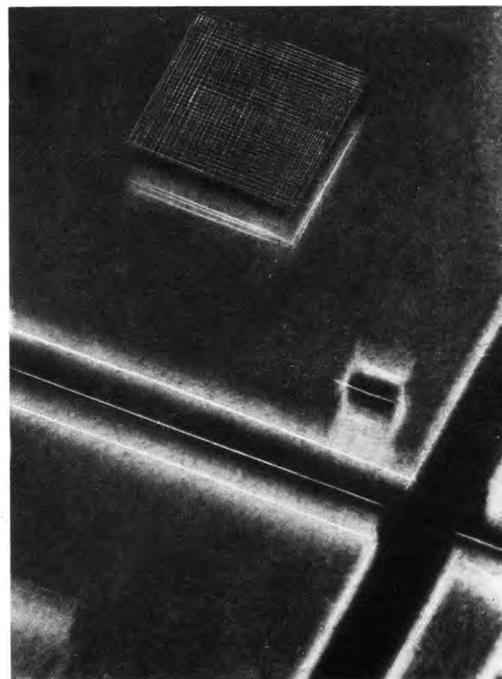


Рис. 6. Топограмма от кристалла кремния со сложным рисунком окисла на поверхности

жений структуры тонких приповерхностных слоев субмикронной толщины. Они легко реализуются на серийно выпускаемой промышленностью аппаратуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имам-ов Р.М. Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев.— М.: Наука, 1989.— 152 с.
2. Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия в скользящей Брэгг-Лауэ геометрии с перпендикулярной разверткой/А.М.Афанасьев, С.М.Афанасьев, П.А.Александров и др.— ФТТ, 1985, т. 27, вып. 8, с. 2284—2291.
3. Однокристальная реализация метода асимптотической брэгговской дифракции/А.М.Афанасьев, Р.М.Имамов, А.А.Ломов, Д.В.Новиков.— ФТТ, 1989, т. 31, № 11, с. 176—181.
4. Имам-ов Р.М., Ломов А.А., Новиков Д.В. Поверхностный брэгговский пик и его возможности в исследовании тончайших приповерхностных слоев кристаллов.— В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по когерентному взаимодействию излучения с веществом.— М., ВНИИФТРИ, 1988, с. 193—194.
5. Imamov R.M., Lomov A.A., Novikov D.V. Grazing-incidence diffraction X-ray topography.— Phys. Stat. Sol. (a), 1989, vol. 115, p. K133—K134.

Статья поступила 24 января 1990 г.

УДК 543.422.6

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОИНЖЕКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СППЗУ

канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. В.С.Герасименко,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр.
А.Ю.Посудиевский, канд.физ.-мат.наук,
ст.науч.сотр. Н.М.Кролевец

Разработанная установка позволяет изучать фотоинжекционные параметры СППЗУ и эффекты воздействия УФ излучения на структуры аморфных диэлектрических пленок диоксида кремния диаметром 100 мм. Может быть использована для оперативного контроля стабильности характеристик и надежности СППЗУ при многократном перепрограммировании.

Создана установка, позволяющая исследовать воздействие высокоэнергетического электромагнитного излучения различной интенсивности и спектрального состава на фотоинжекционные ВАХ запоминающих элементов СППЗУ. В качестве источника излучения в ней используется дуговая ксеноновая лампа высокого давления типа ДКсШ-150, более мощная по сравнению с ртутными лампами низкого давления типа ДРБ-8 или ДБ-60, которые обычно используются при УФ стирании информации СППЗУ (даже при условии излучения ими 70% энергии на длине волны 253,7 нм) и обеспечивают лишь сравнительно низкий поток возбуждения (не выше $2 \cdot 10^{16}$ фотон/см²·с). При помощи специальной оптической системы с кварцевой оптикой, которая смонтирована на оптической скамье, размещенной над установкой разбраковки кристаллов на пластине типа "Зонд", весь оптический поток ксеноновой лампы фокусируется в пятно диаметром менее 2 мм в области контакта зондов с тестовой структурой или фиксируется на запоминающей матрице СППЗУ. Это обеспе-

чивает через металл-диэлектрические фильтры с полосой пропускания около 20 нм поток возбуждения СППЗУ на длине волны 253,7 нм—не менее $2 \cdot 10^{17}$ фотон/см²·с. Увеличение УФ пропускания по меньшей мере в два раза при использовании чисто диэлектрических интерференционных фильтров с полосой не более 30 нм увеличивает указанный поток до $5 \cdot 10^{17}$ фотон/см²·с. Стабильность потока достигается с помощью оригинального блока питания лампы ДКсШ-150. Спектральный состав излучения выбирается с помощью набора интерференционных фильтров.

Конструкция установки обеспечивает полную безопасность персонала от облучения высокоэнергетическими УФ фотонами, а высокая освещенность образцов позволяет проводить также ускоренные исследования деградационных характеристик и надежности запоминающих элементов СППЗУ, для которых полное гарантированное УФ стирание информации обеспечивается поглощенной дозой 15 Дж/см² ($2 \cdot 10^{19}$ фотон/см²).

На разработанной установке осуществляется фотоинжекция носителей заряда в запоминающий элемент СППЗУ. При этом, как известно [1], полиаморфная, сформированная самоограниченными упорядоченными кластерами атомная сетка аморфных пленок диоксида кремния испытывает существенные внутренние структурные переустройства. Носители заряда (электроны), разогреваясь при перемещении в электрическом поле, взаимодействуют с атомной сеткой диоксида при помощи оптических (0,15 и 0,06 эВ) и акустических (4—6 эВ) фотонов [2]. Таким образом они эффективно трансформируют свою энергию в решеточные колебания, способствующие благодаря вращательно-колебательным движениям развороту тетраэдров и релаксации структуры термически выращенных пленок диоксида кремния.

Возрастание плотности носителей с увеличением потока возбуждения в установке способствует более быстрому и полному переустройству атомной сетки аморфного диэлектрика, в результате чего стабилизация фотоинжекционных параметров СППЗУ достигается всего лишь за два—три, вместо пяти—семи циклов перепрограммирования. Для всех типов транзисторов (с плавающим затвором, закороченных и др.) и всех разновидностей химических обработок, используемых при изготовлении диэлектрика, первые несколько доз УФ излучения, гарантирующие стирание информации СППЗУ, обуславливают рост порогового напряжения, абсолютная величина которого зависит от способа изготовления затворной системы. Низкий поток возбуждения может затягивать процесс формирования свойств этой системы вплоть до очень высоких суммарных доз, даже в тысячи джоулей на квадратный сантиметр, чего никогда не наблюдается при высоком потоке.

Однако достигнутого уровня потока возбуждения на длине волны 253,7 нм недостаточно для фундаментального, порогового изменения процесса переноса носителей и соответствующего изменения структуры (в том числе дефектной) тонкопленочной матрицы запоминающего элемента. Вероятно, лишь та незначительная доля электронов, которая приобретает в процессе переноса максимальную энергию (в среднем может составлять более 20 эВ), способна вызвать в этом случае разрушение матричных связей Si—O. В то же время именно наличие определенного числа разрушенных связей создает возможность кардинальной реконструкции в атомной сетке аморфного диэлектрика больших сформированных тетраэдрами колец в малые.

Резкое усиление явления фотоиндуцированного уплотнения, которое отражает качественно иные процессы термоактивированного образования собственных дефектов в структуре тонкопленочного диоксида

кремния, наблюдается при воздействии высокоинтенсивного УФ излучения с энергией 6,5–7,3 эВ. В результате воздействия таких высокоэнергетических фотонов на атомную сетку при термической активации происходят процессы фотолиза регулярных связей Si—O с последующей стимуляцией продуктов распада в форме стабильных собственных дефектов. Факторами, способствующими эффективному фотолизу кремний-кислородных связей и стабилизации их фрагментов в форме дефектов в результате структурных релаксаций, можно считать статистически распределенные напряженные связи в атомной сетке и большой свободный объем в структуре стеклообразного тонкопленочного диоксида кремния, обеспечиваемый присутствием в нем встроенной сетки собственных протяженных дефектов — дисклинаций.

Вместе с тем высокая эффективность фотоиндуцированных процессов уплотнения объемных стекол [3] и тонких аморфных пленок диоксида кремния позволяет считать в определенной степени условными представления об энергетической пороговости процессов дефектообразования при совместном воздействии УФ излучения и фононного поля структуры. Сопоставление эффектов структурных нарушений атомной сетки при воздействиях высокоэнергетического УФ излучения и потоков нейтронов (протонов) позволило идентифицировать дозы по критерию равного достигаемого результата [4]. Равные значения относительного уплотнения и наведенной концентрации E' -центров в

двуокиси кремния достигаются воздействием УФ излучения поглощенной дозой $1,1 \cdot 10^{10}$ рад (что эквивалентно поглощению всего лишь около 10^5 фотонов с длиной волны в 253,7 нм в запоминающем элементе СППЗУ), потоками протонов $8 \cdot 10^{16}$ и быстрых нейтронов $2,8 \cdot 10^{16}$ см⁻². При достигнутых в специализированной установке плотностях потока возбуждения и поглощенной дозе в 15 Дж/см² ($15 \cdot 10^{-7}$ Дж на запоминающий элемент) за время порядка минуты структура получает дозу не менее чем 10^{11} рад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко В.С., Посудиевский А.Ю. Дефектная топологическая структура полупроводниковой системы SiO₂/Si.— Физика, электроника.— Львов, 1983, вып. 27, с. 127—131.
2. Fischetti M.Y. Monte Carlo solution to the problem of high-field electron heating in SiO₂.— Phys. Rev. Lett., 1984, vol. 53, N 18, p. 1755—1758.
3. Devine R.A.B., Fiori C., Robertson J. The influence of irradiation on temperature on U.V. induced defect creation in dry silica.— In book: Defects in glasses, Proc. Mat. Res. Soc. Symp., 1986, vol. 61, p. 177—185.
4. Овчаров А.Т., Киселев В.Г. Фотоиндуцированные явления в кварцевых стеклах.— Материалы XV Межд. конгресса по стеклу.— Ленинград, 1989, т. 2в, с. 202—205.

Статья поступила 22 декабря 1989 г.

УДК 536.425:621.3.049.77

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА ИС

А.В.Гладких, А.С.Клименко,
канд.физ.-мат.наук, доц. Н.В.Мошель

Метод, основанный на использовании фазового перехода жидкокристаллическая фаза — изотропная жидкость в НЖК, перспективен для изучения температурных полей и локализации дефектов ИС, особенно для малоомощных ИС КМОП-технологии; позволяет достичь гораздо большего разрешения и чувствительности по сравнению с ИК радиометрией и методом, основанным на холестерических жидких кристаллах.

Наиболее часто встречающиеся виды отказов в ИС (короткие замыкания, паразитные токи, токи утечки, зашелкивания и др.) характеризуются аномальным выделением тепла. Изучение температурного поля отказавшей ИС часто позволяет обнаружить место дефекта и определить причину отказа без использования дополнительных средств анализа отказов ИС.

Существует несколько способов регистрации температурного поля ИС. Наиболее распространен метод, основанный на получении термозависимой цветовой картины жидкокристаллической фазы в холестерических жидких кристаллах, и ИК радиометрия. Однако разрешающая способность этих методов часто не достаточна для обнаружения дефектов в современных малоомощных и обладающих высокой степенью интеграции ИС.

Метод, основанный на фазовом переходе в нематических жидких кристаллах (НЖК), позволяет достичь гораздо большего разрешения и чувствительности,

чем ИК радиометрия и метод ХЖКТИ. Это объясняется тем, что разница температур фазового перехода в НЖК очень мала ($0,01^\circ$) и четко фиксируется с помощью микроскопа, оснащенного поляризаторами. НЖК характеризуется двулучепреломлением и поэтому в скрещенных поляридах пленка НЖК, нанесенная на поверхность ИС, выглядит светлым полем. Если повышать температуру наблюдаемой поверхности (что можно сделать с помощью внешнего нагревателя), то в местах, где она начинает превышать значение фазового перехода НЖК в изотропную жидкость, исчезает двулучепреломление и эти места выглядят в виде черных пятен. На границе черного пятна температура поверхности равна температуре фазового перехода. На этом эффекте основано определение температуры поверхности.

При экспериментах исследуемая ИС устанавливалась в контактное устройство. Разогрев ИС до температуры, близкой к температуре мезофазы, осуществлялся с помощью внешнего нагревателя, установленного в контактном приспособлении. В качестве нагревателя использовался танталовый тонкопленочный резистор, нанесенный на ситалловую подложку (рис. 1). Однако лучший способ разогрева ИС — банный. Несмотря на то, что термостатирование усложняет установку, оно дает возможность измерять температуру поверхности и снимать карты распределения температур по поверхности ИС*.

* High resolution thermal mapping of microcircuits using nematic liquid crystals/G.Aszodit, J.Szabon, J.Janossy, V.Szakely.— Solid-State Electronics, 1981, vol. 24, N 12, p. 1127—1133.

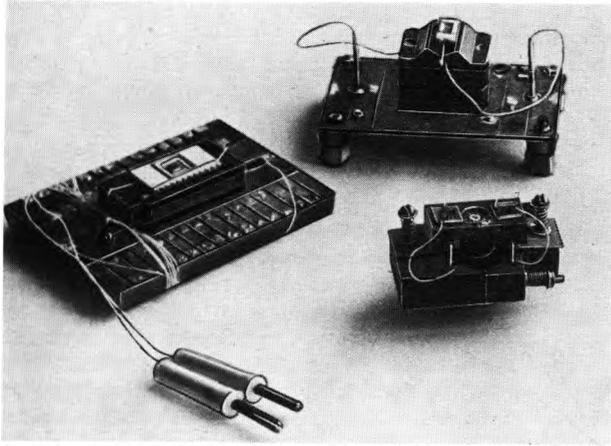


Рис. 1. Контактные устройства, используемые для обнаружения мест локального перегрева в ИС

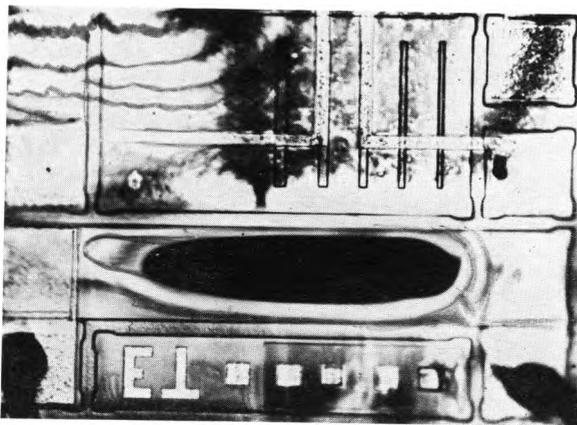


Рис. 2. Тестовая структура со слоем ЖК

В экспериментах использовался ЖК Д-205, выпускаемый промышленностью и имеющий невысокую температуру фазового перехода. Капля ЖК наносилась на поверхность исследуемой ИС, которая разогревалась внешним нагревателем до температуры выше точки просветления. ЖК растекался по поверхности кристалла, его излишки снимались. Для получения контрастного, четкого изображения необходимо создавать как можно более тонкий слой ЖК. В проведенных экспериментах молекулы тонкого слоя (3–5 мкм) ЖК при температуре выше фазового перехода ориентировались нормально к поверхности ИС и двойное лучепреломление пропадало, поле зрения микроскопа становилось темным. Использование ЖК, спонтанно создающего на поверхности ИС планарную или наклонную ориентацию, позволило бы использовать очень тонкие пленки ЖК, что существенно увеличило бы чувствительность и разрешающую способность метода.

Использование ориентантов нежелательно, так как примеси или загрязнения существенно расширяют температуру фазового перехода. Неочищенные от примесей и загрязнений ЖК не могут быть использованы в исследованиях поверхностей, имеющих малый градиент температур. При наличии примесей расширяется граница фазового перехода и превращается в полосу, внутри которой участки изотропной жидкости граничат с областями ЖК. Кроме того, ширина полосы увеличивается с уменьшением градиента температуры на исследуемой поверхности.

На ИС с нанесенным слоем ЖК подавались испытательные напряжения. С помощью внешнего нагревателя достигалась визуализация температурного поля

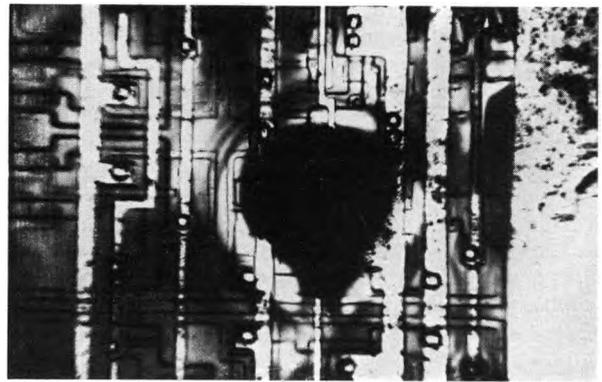


Рис. 3. Участок СБИС 1810 ВГ72А со слоем ЖК

ИС. В первых экспериментах использовались тестовые структуры. Источниками тепловыделения на структурах были диффузионные резисторы. На рис. 2 представлена фотография тестовой структуры со слоем ЖК. Темное пятно в центре резистора – это ЖК, находящийся в изотропной фазе.

Были проведены эксперименты и на реальных схемах. На рис. 3 представлена фотография участка СБИС 1810 ВГ72А. Схема была забракована по большим токам утечки. Темное пятно в центре фотографии – место наибольшего выделения тепла.

На изображении температурного поля, получаемого с помощью ЖК, влияет множество факторов: легкие потоки воздуха, нестабильность источников питания, наводки и т.д. Получение стационарной картины без принятия специальных мер затруднено. Для визуальной регистрации разогретых точек удобно использовать динамический режим. В этом случае появляющееся и исчезающее темное пятно позволяет очень точно, в пределах нескольких микрон, указать место утечки.

В заключение можно сказать, что метод очень прост, не требует никакого специального оборудования, но в то же время весьма эффективен при анализе разнообразных отказов в ИС.

Статья поступила 22 декабря 1989 г.

УДК 621.375.5.087.9

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ИС ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В.И.Шафер, С.В.Глазкова

Метод оценки качества диэлектрических слоев на поверхности ИС операционных усилителей, основанный на осаждении ионов на поверхность микросхемы и контроле скорости их растекания, позволяет в условиях производства оперативно оценить качество поверхностных диэлектрических слоев и может быть использован для отбраковки на пластинах кристаллов потенциально ненадежных ИС.

При производстве микросхем с повышенной степенью интеграции, имеющих многоуровневую и одноуровневую металлизацию, а также многослойные защит-

ные пленки, актуальной стала проблема качества диэлектрических слоев. Это обусловлено тем, что дополнительные защитные окислы, нанесенные на поверхность достаточно совершенного термически выращенного окисла, как правило, обладают более высоким содержанием влаги, понижая стабильность параметров и надежность микросхем. Стоящие перед предприятиями — изготовителями ИЭТ требования повышения качества и надежности выпускаемых изделий определяют необходимость совершенствования известных и разработки новых методов контроля дефектности диэлектрических слоев.

Известны различные методы контроля диэлектрических слоев [1–3]. Однако в условиях производства для контроля непосредственно на пластинах кристаллов ИС необходимы неразрушающие методы, позволяющие оперативно оценивать качество диэлектрических слоев по интегральному признаку, несущему информацию как о дефектности диэлектрических слоев (порах, микротрещинах, скоплениях примесей, зарядовой нестабильности), так и о наличии различного рода загрязнений и адсорбированной влаги на их поверхности.

Таким требованиям удовлетворяет разработанный метод оценки качества диэлектрических слоев на поверхности ИС операционных усилителей. Он заключается в подаче на контролируруемую микросхему напряжения питания, создающего обратное смещение на коллекторных $p-n$ -переходах транзисторов, и осаждения ионов на поверхность микросхемы из коронного разряда с одновременным контролем какого-либо электрофизического параметра, чувствительного к поверхностному заряду (например, входного тока).

Осаждаемые из коронного разряда отрицательные ионы под действием краевого поля обратносмещенных $p-n$ -переходов накапливаются на поверхности диэлектрика над коллекторными областями $n-p-n$ -транзисторов, наводя своим полем инверсионные слои, что приводит к возрастанию тока на контролируемом входе микросхемы. Инверсионные слои вызывают уменьшение краевого поля обратносмещенных $p-n$ -переходов изолирующих "карманов" и коллекторных переходов транзисторов, в том числе и входных транзисторов операционного усилителя, вследствие чего дальнейшее накопление ионов на поверхности микросхемы прекращается и входной ток микросхемы принимает установившееся значение. Возникновение инверсионного слоя определяют по возрастанию тока или напряжения на входе микросхемы и по достижении измеряемым параметром установившегося значения отключают высокое напряжение.

В связи с тем, что накопление поверхностного заряда и возникновение инверсионного слоя определяются по изменению тока или напряжения на каком-либо входе операционного усилителя, более эффективен контроль по производной измеряемого параметра (например, напряжения), которая при установившемся значении этого параметра на входе принимает нулевое значение (время t_2 , см. рис. 1). После этого отключают источник ионов и накопленные в краевом поле коллекторных переходов транзисторов ионы под действием сил электростатического отталкивания начинают растекаться по поверхности диэлектрика, что приводит к снижению поверхностного заряда над коллекторными областями транзисторов и, следовательно, к уменьшению площади инверсионных слоев в этих областях.

Скорость снижения поверхностного заряда при постоянной температуре и влажности окружающей среды зависит от степени дефектности диэлектрических слоев. Наличие дефектов в диэлектрических пленках, загрязнений поверхности и адсорбированной влаги приводит к возникновению объемных и поверхност-

ных каналов утечки, вследствие чего возрастает скорость снижения поверхностного заряда. Время, в течение которого отключен источник ионов и происходит снижение поверхностного заряда ($t_2 - t_3$), для различных типов микросхем, отличающихся конструкцией и материалом диэлектрических слоев, подбирается индивидуально и обычно составляет от 10 до 40 с. За это время, в зависимости от степени дефектности диэлектрических слоев, происходит снижение электрического поля, наведенного поверхностным зарядом, что вызывает уменьшение площади инверсионного слоя, при этом входной ток микросхемы также уменьшается.

Через заданный промежуток времени вторично включают высокое напряжение и осаждают ионы из коронного разряда на поверхность микросхемы до восстановления инверсионного слоя, одновременно контролируя производную напряжения на входе микросхемы (при времени t_3), по максимальной величине которой оценивают степень дефектности защитного окисла. Наряду с этим метод позволяет выявить наличие загрязнений и адсорбированной влаги на его поверхности, также увеличивающих скорость растекания ионов по поверхности диэлектрика.

Разработанный метод был применен для исследования влияния степени дефектности защитного окисла на надежность операционных усилителей и стабильность их параметров. Для этого на нескольких партиях годных по параметрам незагерметизированных ИС операционных усилителей проводилось измерение производной напряжения на входе микросхем и последующее разделение их на три группы по 50 шт. в каждой, в которых значения производной напряжения U' составляли соответственно 1–5, 10–15 и более 20 мВ/мс.

После финишных операций сборки и герметизации на всех микросхемах измерялись электрические параметры в нормальных климатических условиях и при предельных температурах (-60 , 125°C), см. табл. 1.

Таблица 1

Группа ИС	Количество отказавших ИС, шт.			Количество отказавших ИС, %
	в нормальных условиях	при -60°C	при 125°C	
1	—	1	2	6
2	—	3	5	16
3	1	11	13	50



Рис. 1. Осциллограмма производной напряжения на входе ИС операционного усилителя

На микросхемах 1-й и 2-й групп были проведены испытания на безотказность в соответствии с ОСТ 11.073.013-83, ч. VIII [4] (табл. 2). На микросхемах 3-й группы испытания не проводились из-за малой выборки ИС (50% ИС отказало при испытаниях на предельных температурах). Как видно из табл. 2, при проведении ступенчатых испытаний все отказы были вызваны пробоями термического окисла, в то время как в процессе испытаний на воздействие постоянной электрической нагрузки при $T = 125^\circ\text{C}$ в основном — уходом параметров $U_{\text{см}}$, $I_{\text{вх}}$, K_U за нормы ТУ.

Таблица 2

Количество ИС, шт.	Группа ИС	Вид и последовательность испытаний	Количество отказавших ИС, шт.	Вид отказа
10	1	Изменения температуры среды ($-60, 125^\circ\text{C}$)	—	Отсутствует
10	2		—	—«—
10	1	Ступенчатая электрическая нагрузка при $T = 125^\circ\text{C}$	1	Пробой термического окисла
10	2		8	—«—
20	1	Постоянная электрическая нагрузка при $T = 125^\circ\text{C}$ и $U_{\text{пит}}$ на 20% ниже, чем при ступенчатых испытаниях	—	Отсутствует
20	2		2 (при 168 ч) 1 (при 240 ч)	Параметрические $U_{\text{см}}$, $I_{\text{вх}} > N$, $K_U < N$

На рис. 2 приведен фрагмент структуры ИС операционного усилителя с отказом, вызванным пробоем тонкого окисла. Для установления причин отказов проводилось послойное травление технологических слоев и селективное травление кремния. Анализ отказавших ИС показал, что наряду с дефектным защитным окислом в 86% отказавших микросхем дефектным был также термический окисел, а в 62% из них — и эпитаксиальный кремний. Фрагмент ИС операционного усилителя с пробоем тонкого окисла после селективного травления кремния приведен на рис. 3.

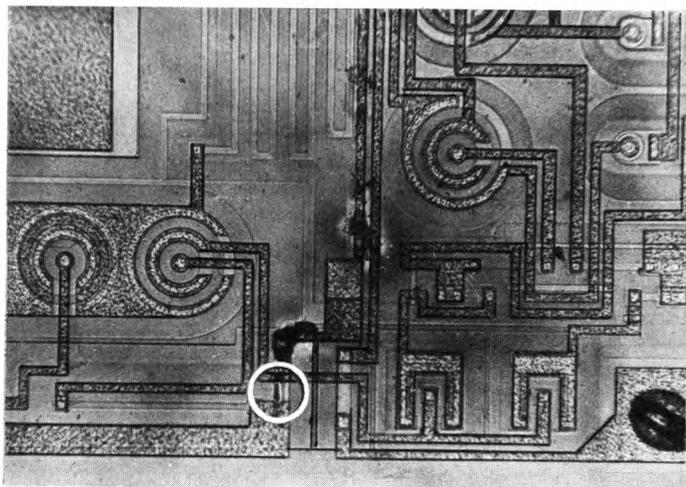


Рис. 2. Фрагмент структуры ИС операционного усилителя с отказом, вызванным пробоем тонкого окисла

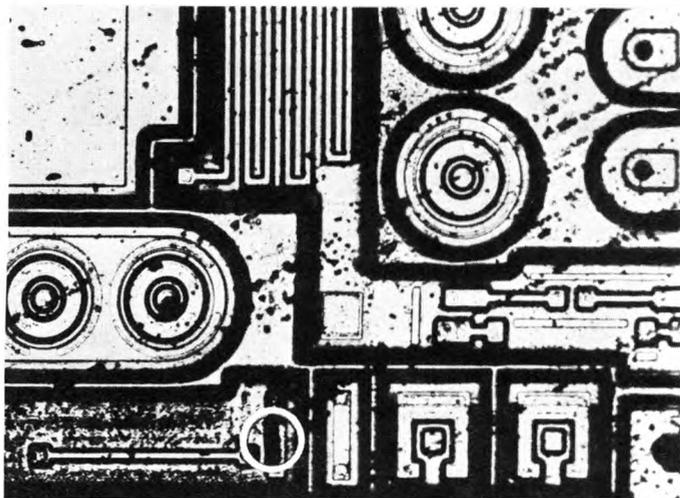


Рис. 3. Фотография ИС операционного усилителя с пробоем тонкого окисла после селективного травления кремния

Таким образом, применение разработанного метода позволяет оперативно оценить качество не только поверхностного диэлектрического слоя, но и нижележащих диэлектрических слоев. Исследования показали высокую информативность метода оценки качества диэлектрических слоев на поверхности ИС операционных усилителей и целесообразность его применения для отбраковки потенциально ненадежных микросхем.

ЛИТЕРАТУРА

- Обзоры по электронной технике: Методы контроля макродефектов диэлектрических покрытий/И.С.Суровцев, Г.А.Кузнецова, С.С.Булгаков, В.Ф.Сыноров.— М., 1983.— Вып. 3. Сер. 3. Микроэлектроника, с. 22—45.
- Обзоры по электронной технике: Электрохимические и электрооптические методы анализа и контроля полупроводниковых приборов и микросхем/П.Ф.Ваканова, А.Е.Рубцов.— М., 1983.— Вып. 2. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, с. 5—34.
- Диагностика транзисторных структур с дефектами защитных покрытий методом наведенного заряда/М.Д.Преженцев, Е.З.Рыскин, Н.М.Борунова, И.П.Тимохин.— Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, 1987 вып. 3, с. 36—38.
- Ост 11.073.013. Микросхемы интегральные. Методы испытаний.

Статья поступила 22 декабря 1989 г.

НОВАЯ КНИГА

МИКРОСТРУКТУРЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.

Бузанева Е. В.

М.: Радио и связь, 1990. — 22 л.

Изложены основы микротехнологии слоистых структур на элементарных, сложных полупроводниках и высокотемпературных сверхпроводниках. Описаны методы практической реализации приборов, устройств и сверхбольших сверхскоростных микросхем на основе слоистых структур. Рассмотрена связь эксплуатационных характеристик приборов, устройств, элементов микросхем с физическими параметрами микроструктур на полу- и сверхпроводниках с различной толщиной слоев металлов, диэлектриков, аморфных, варизонных полупроводников и полиполупроводников. Приведены характеристики слоистых структур и функциональные параметры приборов, устройств, микросхем на их основе.

ПРИСТАВКИ К МИКРОСКОПАМ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ МЕТОДОМ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

З.Я.Суржина, А.С.Клименко,

канд.физ.-мат.наук, доц. Н.В.Мошель

Рассмотрены особенности использования электрооптических эффектов в тонких слоях нематических жидких кристаллов для контроля и анализа ИС в корпусах. Приведены описания разработанных НЖК зондовых приставок к микроскопам, применяемых для анализа ИС.

В последние годы для контроля качества и анализа брака ИС широко применяются методы, основанные на использовании электрооптических и термооптических эффектов в нематических жидких кристаллах (НЖК) [1–6]. Использование этих методов повышает объем информации о качестве ИС. Реализация методов проста, оперативна, не требует сложной и дефицитной аппаратуры.

В основу методов положена реакция НЖК в виде оптической картины на электрические и тепловые неоднородности, возникающие у поверхности ИС в процессе работы. Поэтому реализация метода предполагает формирование ячейки типа кристалл ИС – ориентированный слой НЖК – прозрачный электрод.

Наиболее часто для создания тонкого слоя НЖК на исследуемой поверхности ИС в корпусе применяется покровное стекло [7, 8], размеры которого позволяют разместить его на кристалле ИС, не разрушая проволочных выводов контактных площадок. В работе [7] покровное стекло применялось в пассивном режиме, т.е. оно формировало только тонкий слой НЖК, толщина которого определялась поверхностным натяжением НЖК. При подаче питания на ИС визуально фиксировались участки ИС, создающие электрическое поле с напряженностью в НЖК слое, достаточной для возникновения в нем эффекта динамического рассеяния.

В работах [8, 9] показано использование покровного стекла с нанесенной прозрачной электропроводящей пленкой. И стекло, и поверхность ИС предварительно обрабатывались поверхностно-активным веществом для образования однородно ориентированного слоя НЖК между стеклом и поверхностью ИС. При подаче питания на ИС и потенциала на прозрачный электрод под микроскопом наблюдали картину, соответствующую режиму включения ИС, величине и знаку потенциала на прозрачном электроде. Различие картин бракованной и нормальной функционирующей ИС позволяло определить дефектные места. Благодаря управляемому прозрачному электроду расширилась возможность анализа ИС, позволяющего не только визуально фиксировать картину распределения электрического потенциала на поверхности ИС, но и количественно оценить ее.

В описанном варианте с использованием покровного стекла с электропроводящей прозрачной пленкой электрический контакт между проволочным проводником и пленкой осуществлялся с помощью электропроводящей эпоксидной смолы, затем с помощью игл-зондов и тонкой (поэтому прозрачной) пленки золота, напыленной на внешнюю поверхность стекла. Использование покровного стекла и такого способа контактирования с ним не позволяет избежать свободного скольжения стекла по НЖК слою, а следовательно, отрыва проволочных выводов от кристалла ИС или



Рис. 1. Микроскопы ММУ-3 (слева) и «Eriyal» с НЖК зондовыми приставками

закорачивания этих выводов на проводящую пленку стекла. Кроме того, место контактирования со стеклом затеняет значительную площадь осмотра кристалла ИС, особенно при исследовании малых кристаллов.

В связи с недостатками, связанными с использованием покровных стекол, поставлена задача поиска новых конструктивных решений [5, 6] при реализации методов НЖК для исследования кристаллов ИС, размещенных в корпусах:

Первый вариант такой конструкции представляет собой мини-ячейку (кристалл ИС-НЖК-прозрачный электрод), устанавливаемую на столик микроскопа, причем объектив и мини-ячейка не связаны между собой. Стекло с прозрачной электропроводящей пленкой (прозрачным электродом) и контактирующим с ней токопроводящим выводом для подачи потенциала на прозрачный электрод покрывает поверхность кристалла ИС между контактными площадками, не соприкасаясь с проволочными выводами от кристалла. При этом стекло закрепляется так, чтобы оно не скользило на поверхности кристалла ИС, особенно в момент подсоединения прозрачного электрода к источнику питания. Поверхность ИС, покрытая стеклом с прозрачным электродом, осматривается при передвижении столика микроскопа.

Второй вариант состоит в реализации конструкции НЖК зонда в виде приставки, жестко связанной с объективом микроскопа. Собственно зонд (стеклянный цилиндр или призма, поверхность которого покрыта электропроводящей пленкой SnO_2) закрепляется к приставке механическим прижимом. При этом через поверхность прижима к зонду осуществляется электрический контакт с прозрачной электропроводящей пленкой (прозрачным электродом). Часть приставки, в которой закрепляется зонд, электрически изолирована от объектива микроскопа.

Конструкция приставки обеспечивает образование заданного зазора между исследуемой поверхностью ИС (после настройки микроскопа на максимально четкое изображение) и нижней поверхностью зонда, который заполняется слоем НЖК заданной толщины. Нижняя часть приставки с зондом жестко соединяется с верхней только после совмещения оптических осей зонда и объектива микроскопа.

Конструкция узла механического закрепления обеспечивает применение зондов различных размеров (длин и диаметров), т.е. предусматривается их сменяемость. Зонд в приставке может быть закреплён так, чтобы его выступающая часть из нижней поверхности приставки позволяла исследовать поверхность ИС в любом корпусе без соприкосновения этой поверхности с корпусом.

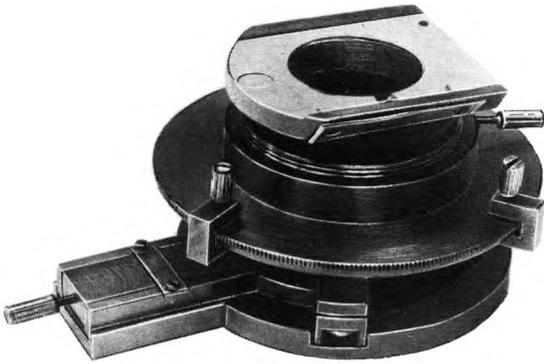


Рис. 2. Зондовая приставка к микроскопу ММУ-3

Нижняя поверхность зонда значительно меньше поверхности кристалла ИС, расположенной в контуре между контактными площадками. При перемещении столика микроскопа с закрепленной на нем исследуемой микросхемой меняется место осмотра поверхности через НЖК зонд.

В исследовании ИС методом НЖК зонда чаще всего используется электрополевой эффект, основанный на однородной ориентации молекул НЖК слоя в зазоре между поверхностью зонда и поверхностью ИС. При перемещении столика микроскопа перемещается слой НЖК, находящийся в зазоре между нижней поверхностью и поверхностью ИС, и в новом месте осмотра практически без задержки происходит его ориентация.

Для анализа бракованных и отказавших ИС обычно используются микроскопы ММУ-3 и "Eрival" с НЖК зондовыми приставками (рис. 1, 2), которые аналогичны по конструкции. На приставки к микроскопам ММУ-3 и "Eрival" разработаны комплекты эскизной конструкторской документации, соответственно 920.Э2.00.С6 и 920.Э00.С6.

НЖК зонды используются для исследования и анализа отказов ИС в корпусах в соответствии с внедренным в практику нормативным документом СТ П1 194-88, включающим в себя следующие методики:

- определение качества пассивирующего слоя на металлизированных шинами;
- контроль электрической связи контактных площадок с кристаллом;
- контроль электрического контакта металлизированных шин с кристаллом и топологических цепей контактных площадок кристалла;
- определение НЖК образцов, соответствующих испытательному электрическому режиму включения ИС;
- определение количественных значений электрических потенциалов на поверхности ИС;
- контроль качества изолирующего, подзатворного и тонкого окислов и вскрытия контактных окон;
- контроль качества изоляции "карманов" и изолирующего окисла ИС на основе ДИКЭД- и КСДИ-структур;
- контроль качества диэлектрической изоляции "карманов" в процессе изготовления ДИКЭД- и КСДИ-структур;
- оценка толщины диэлектрического слоя на проводящей подложке;
- контроль качества межслойной изоляции;
- контроль качества подзатворного диэлектрика в ИС с поликремниевым затвором.

Используемые в НЖК зондовых приставках к микроскопам сменные зонды, которые представляют

собой стеклянные цилиндры с поверхностью, покрытой прозрачной пленкой SnO_2 , имеют диаметры 0,5; 1; 1,5 мм и длины 2; 3 мм.

НЖК зондовые приставки к микроскопам удобны для работы, настройки, надежно обеспечивают контакт с электрически управляемым прозрачным электродом и полностью устраняют опасность разрушения проводочных выводов кристалла или их закорачивания на зонд, возникающую при использовании покровного стекла. Размеры покровного стекла зависят от размеров кристалла исследуемой ИС. Следовательно, для каждой исследуемой ИС должно быть приготовлено отдельное стекло, в то время как НЖК зондовая приставка универсальна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение нематических жидких кристаллов для контроля качества технологических слоев ИС/ Н.И.Гриценко, С.А.Добролеж, А.С.Клименко и др.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 90—95.
2. Исследование распределения поверхностных потенциалов ИС с помощью нематических жидких кристаллов/Н.И.Гриценко, С.А.Добролеж, А.С.Клименко и др.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 95—97.
3. Микроэлектроника/Н.И.Гриценко, А.С.Клименко, Ю.Д.Коваль и др.— 1984, т. 13, вып. 5, с. 468—471.
4. Обзоры по электронной технике: Метод жидких кристаллов в контроле ИС/А.Е.Рубцов, Г.Е.Невская.— М., 1986.— Вып. 1. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, с. 48.
5. Технологическое обеспечение НЖК методов контроля в анализе отказов ИС/А.С.Клименко, Ю.Д.Коваль, Н.В.Мошель, З.Я.Суржина.— В кн.: Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции «Жидкие кристаллы и их практическое использование», т. IV.— Чернигов, 1988, с. 510.
6. Измерение поверхностных потенциалов ИС методом НЖК/А.С.Клименко, Ю.Д.Коваль, Н.В.Кучаев и др.— В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции «Жидкие кристаллы и их практическое использование», т. IV. Чернигов, 1988, с. 511.
7. Патент 30934199 (США).
8. Патент 4242635 (США).
9. Burns D.J. Microcircuit analysis techniques using field-effect liquid crystals.— IEEE Transactions on Electron Devices, 1979, vol. ED-26, N 1, p. 90—95.

Статья поступила 22 декабря 1989 г.

УДК 621.385.833

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ПОМОЩЬЮ РЭМ

канд.техн.наук А.С.Амброзевич,
д-р физ.-мат.наук С.В.Булярский,
канд.физ.-мат.наук М.В.Назаров,
Н.А.Бутылкина, д-р техн.наук И.В.Рыжиков,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. А.Е.Лукьянов

Электронно-микроскопическими, емкостными и вольт-амперметрическими методами получены данные об изменении времени жизни и диффузионных длин носителей заряда в светоизлучающих структурах в процессе облучения их нейтронами. Показано, что деградация структур обусловлена ростом концентрации глубоких центров с энергией активации $E_v + 0,85$ эВ.

Изучение деградации светоизлучающих диодов в процессе работы, а также под воздействием различных внешних факторов представляет большой практический

интерес, так как позволяет определить пути повышения надежности оптоэлектронных приборов. Для изучения деградации светоизлучающих структур GaP/N при облучении их нейтронами образцы изготавливались следующим образом. На подложку GaP, легированную теллуром ($\sim 10^{18}$ см $^{-3}$), осаждались эпитаксиальные слои *n*- и *p*-типа, *n*-слой легировался теллуром до $\sim 10^{16}$ см $^{-3}$, *p*-слой — цинком до $\sim 10^{18}$ см $^{-3}$. Сила света составляла 1,0—1,5 мкд при токе через *p*—*n*-переход 10 мА. Максимум спектральной кривой наблюдался при 0,56 мкм. Исследовали необлученные образцы и образцы, подвергнутые трем различным степеням облучения. Величины флуенсов составили соответственно 10^{11} , 10^{12} и $5 \cdot 10^{12}$ см $^{-2}$. Измерения профилей легирования, проведенные методом вольт-фарадных характеристик, показали во всех образцах наличие компенсированного слоя толщиной от 0,17 до 0,30 мкм. Облучение нейтронами не привело к заметным изменениям профилей слоев.

В растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-U3 в режиме наведенного тока (НТ) измеряли диффузионные длины неосновных носителей как в *n*-, так и в *p*-областях. Предварительно выбирали оптимальный режим работы микроскопа (ускоряющее напряжение прибора $U=25$ кВ, ток поглощенных электронов $I=10^{-10}$ А), что не вносило дополнительных искажений в измерения диффузионных длин [1]. Это также подтверждалось сопоставлением нескольких осциллограмм НТ, снятых в одной точке. При этом не было замечено существенных отличий как в самих осциллограммах, так и в рассчитанных диффузионных длинах, что позволило нам пренебречь влиянием прибора на результаты измерений. На каждой структуре снимали по пять осциллограмм в различных точках *p*—*n*-перехода. Результаты измерений статистически обрабатывали на ЭВМ и по специально разработанной программе рассчитывали диффузионные длины.

На рис. 1 представлены данные изменения диффузионных длин неосновных носителей заряда в зависимости от степени облучения светодиодов GaP/N нейтронами. Наблюдается уменьшение диффузионных длин в облученных образцах по сравнению с необлученными, как в *n*-, так и в *p*-областях, причем это уменьшение пропорционально степени облучения. Для определения причин изменения диффузионных длин были проведены исследования глубоких центров в образцах методом термостимулированной емкости [2]. Параметры найденных глубоких центров приведены в таблице.

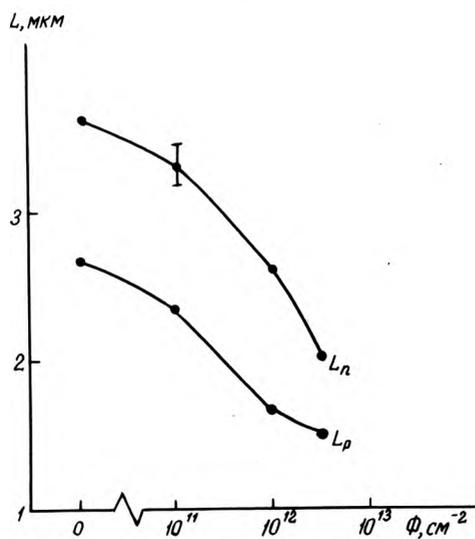


Рис. 1. Зависимость изменения диффузионных длин неосновных носителей заряда от степени облучения

Энергия активации и коэффициенты захвата глубоких уровней в структурах GaP/N зеленого свечения

Обозначение ловушки	Энергия активации, эВ	Коэффициент захвата, см 3 с $^{-1}$
E1	$E_c - 0,25$	$8 \cdot 10^{-13}$
E2	$E_c - 0,25$	$2 \cdot 10^{-12}$
E3	$E_c - 0,35$	$8 \cdot 10^{-11}$
E4	$E_c - 0,53$	$1,8 \cdot 10^{-10}$
E5	$E_c - 0,65$	$1,2 \cdot 10^{-9}$
E6	$E_c - 1,0$	$1,2 \cdot 10^{-12}$
E7	$E_v + 0,5$	$2 \cdot 10^{-13}$
E8	$E_v + 0,85$	$6 \cdot 10^{-7}$

Уровни E3—E5 всегда встречаются в слоях *n*-типа. Их концентрация связана с температурой выращивания слоев и содержанием мелких донорных центров. Сопоставление условий выращивания с термодинамическими расчетами, опирающимися на квазихимические реакции, а затем и более поздними расчетами, выполненными на основе обобщенной модели дефектообразования [2], показало, что данные уровни связаны с ионизацией многозарядных комплексов вакансии галлия с мелкими донорами. Уровень E1 наблюдается только в светодиодах, легированных азотом. Предполагается, что данные центры являются комплексами азота с другими дефектами. В частности, возможно образование комплексов изоэлектронной ловушки с вакансией галлия.

Уровень E6 во многих работах связывают с антиструктурным положением фосфора в узле галлия. Считается, что этот дефект приводит к деградации светодиодов на основе GaP. Уровни E7 и E8, по-видимому, связаны с акцептором, образованным галлием в узле фосфора.

После облучения в образцах заметно возрастают концентрации центров E1 и E8 (рис. 2). В меньшей степени увеличиваются концентрации уровней E3—E5.

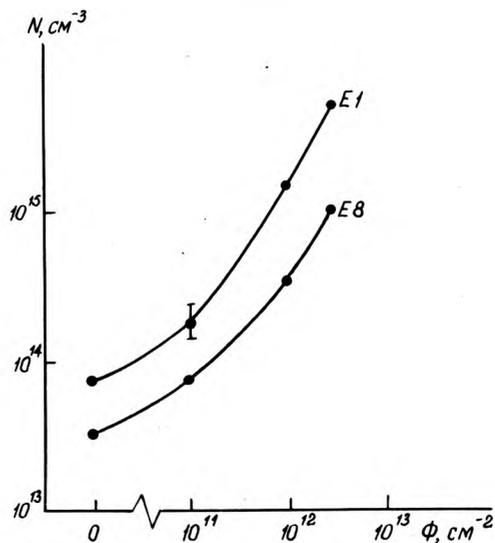


Рис. 2. Зависимость концентрации глубоких центров E1 и E8 от степени облучения

Анализ природы центров позволяет сделать вывод о том, что в результате облучения нейтронами атомы галлия выбиваются из своих узлов в решетке, а затем захватываются вакансиями фосфора, образуя антиструктурные дефекты. Так как при низких температурах вероятность комплексообразования возрастает, то вакансии галлия не остаются свободной и захватываются примесным атомом. Концентрация атомов азота на два порядка выше, чем концентрация атомов шестой группы, кроме того в окрестностях изоэлектронного центра решетка напряжена и захват вакансии энергетически выгоден. Это приводит к снижению концентрации излучающих центров и росту концентрации ловушки ЕВ.

Изменения концентраций других центров не наблюдается, поэтому трудно судить о радиационном смещении атомов фосфора. Энергия, передаваемая атому нейтроном, выше, так как сам атом легче. Нет оснований полагать, что сечение столкновений этого атома заметно меньше, чем у галлия. По-видимому, дело заключается в термодинамически равновесных концентрациях вакансий обоих типов. Термодинамические расчеты, выполненные в работе [2], показывают, что концентрация вакансий фосфора на порядок выше, чем концентрация вакансий галлия. Поэтому захват атома фосфора собственной вакансией весьма вероятен, атом галлия должен с большей вероятностью попадать в ва-

кансию фосфора, чем в собственную. Поэтому и растет концентрация соответствующих антиструктурных дефектов.

Анализ вольт-амперных характеристик $p-n$ -переходов, измеренных в диапазоне температур 77—400 К, показал, что их начальные участки определяются рекомбинацией через глубокий центр Е8, который определяет время жизни и эффективность структуры. Это подтверждается данными исследований диффузионных длин и глубоких центров.

Проведенные исследования дают информацию для оценки и прогнозирования радиационной стойкости светоизлучающих приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронно-микроскопические исследования диффузионных длин при деградации светодиодов/М.В.Назаров, Т.А.Назарова, С.В.Булярский и др.— Изв. АН СССР. Сер. Физическая, 1988, т. 52, с. 1383.
2. Булярский С.В. Глубокие центры безызлучательной рекомбинации в светоизлучающих приборах.— Кишинев: Штиинца, 1987.

Статья поступила 20 ноября 1989 г.

УДК 543.46:621.3.049.771

ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПОСАДКИ КРИСТАЛЛОВ СБИС НА ЭВТЕКТИКУ

В.В.Климовских, А.С.Клименко,
канд.техн.наук Н.Т.Гринченко, С.С.Трофимова

Показаны информационные возможности метода голографической интерферометрии при отработке технологии посадки на эвтектику кристаллов СБИС.

Голографическая интерферометрия эффективно используется для исследования конструкций ИЭТ, в том числе, многослойных полупроводниковых структур, а также для отработки технологии их изготовления [1–3].

С увеличением размеров кристаллов ИС изменяется технология их посадки на эвтектику. Для отработки технологии посадки кристалла использовался разработанный голографический микроскоп, лазер ЛГИ-503, в качестве голографической среды — фотопластинки Agfa gewert.

При площади кристалла СБИС 8×7 мм² неплоскостность доньшка металло-керамического корпуса достигала 50 мкм. Поэтому, стандартная золотая прокладка толщиной 20 мкм не могла обеспечить качественную посадку кристалла. На рис. 1,а показана голографическая интерферограмма деформаций кристалла,

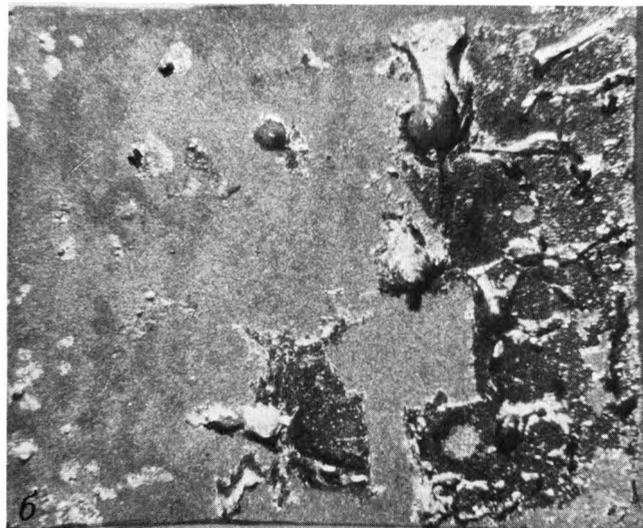
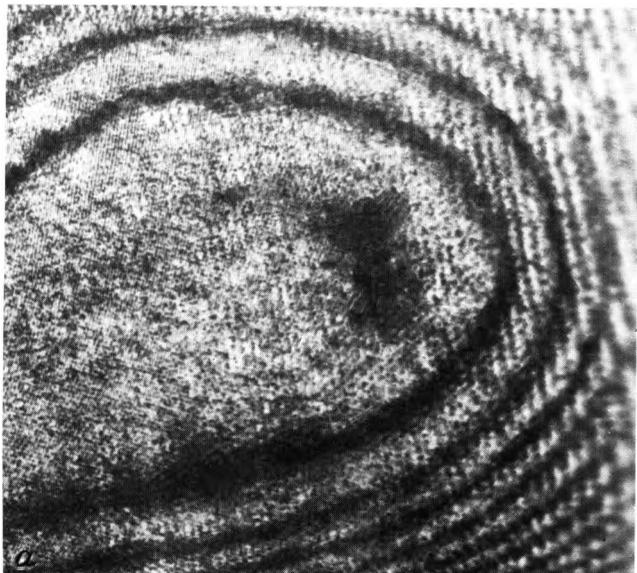


Рис. 1. Голографическая интерферограмма деформаций кристалла СБИС (а) и обратная сторона кристалла, напаянного по стандартной технологии (б)

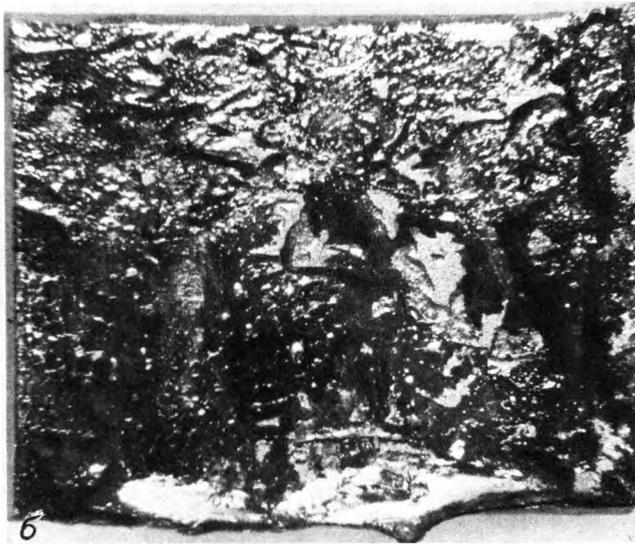
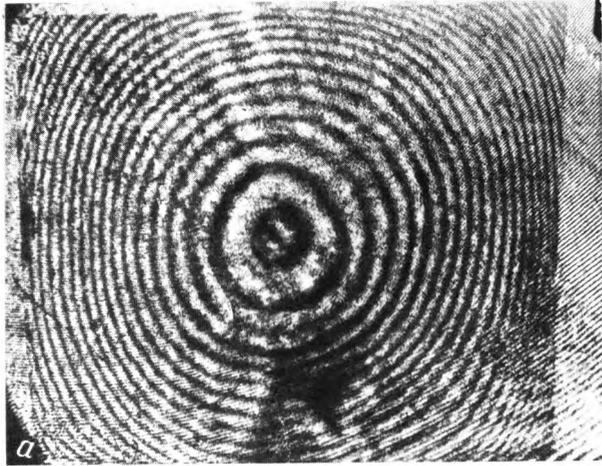


Рис. 2. Голографическая интерферограмма качественной посадки кристалла СБИС (а), обратная сторона кристалла, напаянного по усовершенствованной технологии (б)

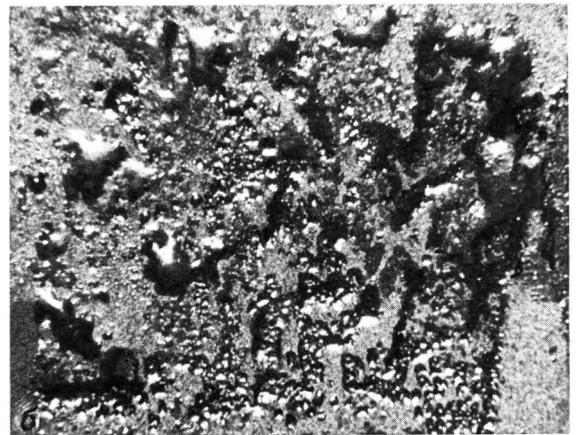
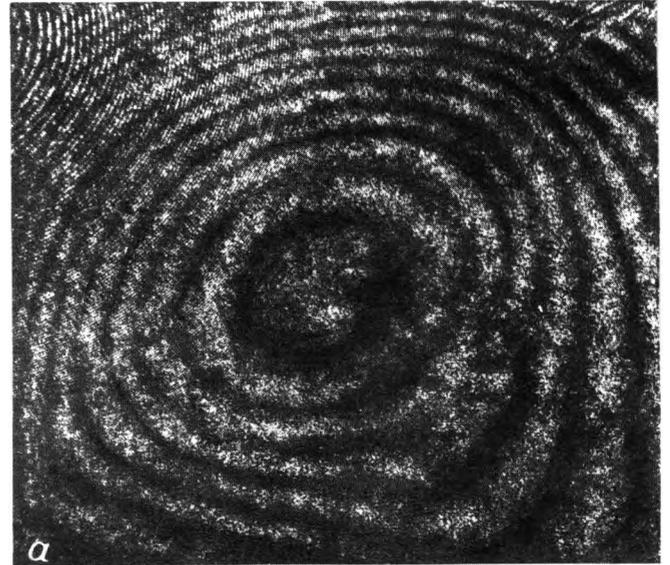


Рис. 4. Голограмма некачественной посадки («точечный пропай») кристалла СБИС (а) и обратная сторона кристалла (б)

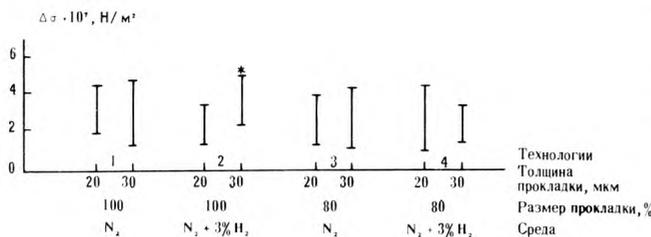


Рис. 3. Разброс механических напряжений по кристаллам СБИС, напаянным по разным технологиям

напаянного по стандартной технологии (одна интерференционная полоса соответствует деформации 0,2 мкм). Из интерференционной картины следует, что кристалл припаян только по правому краю. Это подтверждается видом обратной стороны отпаянного кристалла (рис. 1, б). Отсюда следует необходимость увеличения толщины золотой прокладки.

С увеличением размера кристалла температура образования эвтектики 400°C оказалась недостаточной для пайки. При увеличении времени разогрева происходит подокисление обратной стороны кристалла. Увеличение температуры до 440°C уменьшило время образования эвтектического спая и улучшило его качество, но осталось заметным подокисление. Этот недостаток

был устранен после того, как к защитной среде азота было добавлено 3% водорода (рис. 2).

Из четырех технологических режимов (рис. 3) качественная посадка кристаллов СБИС размером 6,8x8,1 мм² на Au-Si-эвтектику, получена при следующих данных:

- золотая прокладка толщиной 30 мкм;
- размер прокладки равен размеру кристалла;
- температура посадки 440°C;
- газовая среда N₂ + 3% H₂.

Как видно из диаграммы рис. 3, хорошо напаянный кристалл (помечен *) имеет более высокие механические напряжения, чем кристаллы, напаянные по другим технологиям (но не более 4,6x10⁷ Н/м²) при небольшом разбросе этих напряжений. Для этих технологий был обнаружен дефект (“точечный пропай”), при котором наблюдаются хорошие, симметричные интерференционные полосы, что показано на рис. 2, и очень пористая обратная сторона кристалла (рис. 4, б). Проведенные исследования показали, что резкое изменение частоты интерференционных полос, их локальные изгибы и несимметричное расположение (см. рис. 4, б), малые значения и неравномерное распределение напряжений характерны для некачественной посадки кристаллов

Таким образом, метод голографической интерферометрии можно использовать для отработки технологии посадки кристаллов СБИС на эвтектику и для аттестации этих технологий в производственном цикле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование механических напряжений в полупроводниковых структурах и элементах конструкций ИС методом голографической интерферометрии/С.А.Добролеж, А.С.Клименко, В.В.Климовских, Н.А.Ситенок.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 83—87.
2. Исследование механических напряжений в кристаллах ИС/В.В.Климовских, А.С.Клименко, А.А.Романенко, В.П.Самчук.— Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1986, вып. 1, ч. 1, с. 9.
3. Климовских В.В., Клименко А.С. Применение голографической интерферометрии в отработке технологических процессов производства ИС.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1987, вып. 3, с. 101.

Статья поступила 22 декабря 1989 г.

УДК 533.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВИМС ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

канд.хим.наук, ст.науч.сотр. А.И.Лоскутов,
канд.техн.наук, ст.науч.сотр. В.М.Елинсон,
Л.Д.Холева, Н.В.Симакина,
канд.техн.наук, ст.науч.сотр. В.В.Слепцов

Показана возможность применения метода масс-спектрометрии вторичных ионов для контроля качества ионно-химического полирующего травления с целью получения минимальной шероховатости поверхности кремниевых пластин. При изучении влияния режимов ИХПТ на шероховатость обрабатываемой поверхности установлена зависимость между изменением коэффициента диффузного рассеяния света, химическим составом и однородностью поверхностных слоев кремния толщиной $\sim 0,2$ мкм.

В производстве современных изделий микроэлектроники предъявляются все более высокие требования к качеству обработки поверхности кремниевых подложек. Наряду с необходимостью геометрически совершенных поверхностей, плоскопараллельных по всей рабочей поверхности подложек, важной проблемой обработки пластин кремния является формирование беспримесного структурно и стехиометрически упорядоченного поверхностного слоя. Поэтому приобретает актуальность разработка методик контроля качества поверхности.

Обработку кремниевых пластин проводили методом ионно-химического полирующего травления (ИХПТ) [1], направленным потоком ионов Ar , O_2 , CF_4 и их смесей при различном соотношении компонентов в диапазоне энергий 0,4—2,0 кэВ. Для контроля качества очистки поверхности кремниевых пластин от загрязнений использовали метод вторично ионной масс-спектрометрии (ВИМС). Масс-спектры вторичных ионов измеряли при энергии первичного пучка Ar^+ 6 кэВ и скорости распыления $1 \cdot 10^2$ нм/мин. Измеряли интенсивности (I) вторичных ионов Si^+ , SiO^+ , Si_2^+ , Na^+ , K^+ , Cr^+ , Fe^+ . Их интегральные интенсивности рассчитывали при послойном травлении слоев кремния на глубину 0,15—0,2 мкм. Кроме того, определяли изменение коэффициента диффузного рассеяния света $\Delta\beta = \beta_2/\beta_1$ и среднеквадратичное отклонение микронеровностей (δ) методом рефлектометрии при $\lambda = 337,0$ нм.

Независимо от состава полирующей газовой смеси ИХПТ приводит к уменьшению концентрации натрия на поверхности кремния.

ИХПТ с использованием кислорода практически не влияет на содержание калия, который в отличие от

натрия, присутствует в более глубоко лежащих поверхностных слоях кремния. После ИХПТ в смесях $O_2 + Ar$ и $O_2 + CF_4$ интенсивность вторичных ионов K^+ резко уменьшается по сравнению с исходной поверхностью кремния до обработки. Концентрация калия зависит от состава полирующей смеси и минимум ее наблюдается при использовании смеси $O_2 + CF_4$ в соотношении 1:3. Увеличение плотности потока ионов полирующей среды приводит к росту концентрации калия в поверхностных слоях кремния. При этом она может превышать концентрацию K на исходной поверхности кремния. Установлена прямая логарифмическая зависимость между интегральной интенсивностью вторичных ионов K^+ и плотностью потока ионов полирующей среды.

ИХПТ поверхности кремния аргоном уменьшает β до 0,4, а δ до 1,7 нм. Введение в газовую смесь химически активного газа (O_2 или CF_4) вызывает дальнейшее уменьшение β . Минимальное значение $\Delta\beta$ наблюдается после ИХПТ в смеси $O_2 + Ar$ в соотношении 3:1 (рис. 1) ИХПТ поверхности кремния кислородом сопровождается резким ростом интенсивности вторичных ионов SiO^+ , которая растет с увеличением длительности процесса и превышает интенсивность вторичных ионов на исходной поверхности кремния. Добавление к кислороду аргона или CF_4 уменьшает интенсивность вторичных ионов SiO^+ , которая в смеси $Ar + O_2$ растет по мере роста относительного содержания кислорода и слабо зависит от плотности потока ионов. После ИХПТ кремния в полирующих смесях вторичных ионов SiO^+ в приповерхностных слоях толщиной до 0,16 мкм не наблюдается. В отличие от смеси $Ar + O_2$ в случае $O_2 + CF_4$ интенсивность вторичных ионов SiO^+ практически не зависит от содержания кислорода в смеси, но при его максимальной концентрации 75% на поверхности кремния обнаруживаются вторичные ионы O^+ .

В приповерхностных слоях кремния после ИХПТ наблюдаются также вторичные ионы $SiOH^+$, интенсивность которых в случае смеси $O_2 + CF_4$ выше, чем на исходной поверхности кремния. В смеси $O_2 + Ar$ интенсивность вторичных ионов $SiOH^+$ изменяется незначительно. Их интенсивность сильно зависит от направления потока ионов смеси $O_2 + CF_4$ и уменьшается при направлении ионного пучка параллельно обрабатываемой поверхности.

Обнаружена линейная зависимость между интегральными интенсивностями вторичных ионов SiO^+ и Si_2^+ , при которой уменьшение интенсивности Si_2^+ сопровождается пропорциональным ростом интенсивности SiO^+ (рис. 2).

Установлена прямая связь между $\Delta\beta$ и изменением интенсивности вторичных ионов SiO^+ , $SiOH^+$ и Si_2^+

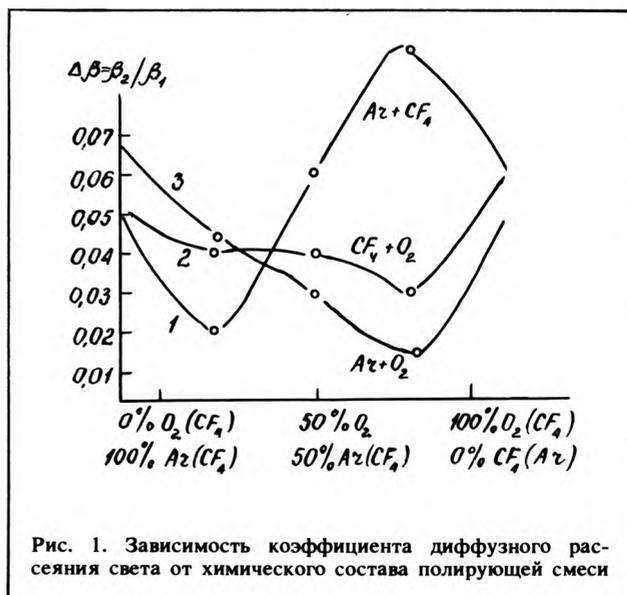


Рис. 1. Зависимость коэффициента диффузного рассеяния света от химического состава полирующей смеси

(рис. 3). При этом уменьшение интенсивности SiO^+ приводит к уменьшению $\Delta\beta$, а на кривой зависимости $I_{\text{SiOH}^+}(\Delta\beta)$ появляется максимум в области значений $\Delta\beta=0,045$, который достигается в момент полного исчезновения из спектра вторичных ионов SiO^+ . При дальнейшем уменьшении $\Delta\beta$ интенсивность ВИ SiO^+ падает, а Si_2^+ растет. Зависимость между $\Delta\beta$ и $I_{\text{Si}_2^+}$ выражается в виде $\Delta\beta = -k \lg(I + I_0)$.

При ИХПТ на поверхности кремния могут протекать различные физико-химические процессы: образование поверхностных соединений, распыление, радиационно-стимулированная диффузия и сегрегация примесей, имплантация атомов отдачи и др. [2]. Увеличение приповерхностной концентрации калия с ростом плотности потока ионов свидетельствует о том, что скорость радиационно-стимулированной диффузии калия из объема к поверхности кремния начинает превышать скорость его распыления. В области низких плотностей потока ионов полирующей смеси это соотношение скоростей изменяется и концентрация калия уменьшается.

Увеличение выхода вторичных ионов SiO^+ при наличии в полирующей среде кислорода указывает на ее окислительный характер: линейная зависимость между интенсивностями вторичных ионов SiO^+ и Si_2^+ , при которой уменьшение интенсивности одних сопровождается ростом интенсивности других, обусловлена образованием на поверхности оксидных соединений кремния, так как известно, что увеличение выхода кластерных вторичных ионов происходит при уменьшении на поверхности химических соединений [3]. Эта закономерность может отражать также структурное разупорядочение поверхности и поверхностных слоев кремния.

Сложный характер выхода вторичных ионов SiO^+ и SiOH^+ , а также их зависимость от $\Delta\beta$, по-видимому, обусловлены наличием двух форм кислорода в поверхностных слоях кремния, например, растворенного и связанного в оксиде. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что при анализе методом ВИМС границ раздела $\text{SiO}_2\text{—Si}$ по мере изменения концентрации кислорода также наблюдается изменение относительной интенсивности этих вторичных ионов. Причем, обнаруженные закономерности выхода SiO^+ и SiOH^+ с поверхности кремния при изменении условий

ИХПТ вызваны изменением локального химического окружения атомов кремния и по мере углубления понимания механизма вторичной ионной эмиссии их можно будет использовать для определения химических связей и стехиометрии образующихся поверхностных соединений.

В связи с тем, что измерения масс-спектров вторичных ионов проводились при достаточно высоких скоростях распыления, зависимость $I_{\text{Si}_2^+}(\Delta\beta)$ отражает, в основном, изменение химического состава и однородности поверхностных слоев кремния, а не только изменение первоначального геометрического рельефа поверхности. Поэтому при ИХПТ структура и состав поверхностных слоев кремния толщиной $\sim 10^2$ нм связаны с шероховатостью обрабатываемой поверхности. Минимальной шероховатости поверхности отвечают более совершенная структура и высокая чистота поверхностных слоев кремния.

Эти результаты наглядно демонстрируют высокую чувствительность метода ВИМС к состоянию исследуемой поверхности и возможность использования его для контроля качества ИХПТ кремниевых пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства поверхности кремния после ионно-химического травления/В.А.Колясников, С.М.Крючков, В.С.Куликаускас, В.Г.Ястребов, — Физика и химия обработки материалов, 1983, № 2, с. 101—108.
2. Распыление твердых тел ионной обработкой/Под ред. В.Бериша.— М.: Мир, 1984.— 336 с.
3. Курбанов Р.Т. Температурные зависимости выхода атомарных и кластерных ионов из Cu, Ag и Al мишеней.— В сб.: Тезисы докладов республиканского совещания. «Диагностика поверхности ионными пучками».— Запорожье, 1983, с. 47—48.

Статья поступила 1 декабря 1989 г.

УДК 543.42:621.382

СПЕКТРОСКОПИЯ ЭЛЕКТРООТРАЖЕНИЯ КАК МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

канд.физ.-мат.наук, доц. В.Л.Королев,
С.И.Трегубов, мл.науч.сотр. Ю.А.Шушеначев,
канд.техн.наук, доц. А.А.Захаров

Для современных устройств твердотельной электроники характерно использование полупроводниковых структур с эпитаксиальными слоями толщиной в десятки и сотни нанометров. Контроль электрофизических параметров таких структур традиционными методами сопряжен с определенными трудностями из-за относительно большой глубины проникновения зондирующего возмущения по сравнению с геометрическими размерами неоднородностей [1].

Для контроля тонких слоев структур могут быть использованы оптические методы, основанные на зависимости коэффициента поглощения (α) и соответственно глубины проникновения ($\sim 1/\alpha$) от энергии излучения $h\nu$. Спектр любого оптического параметра определяется зонной структурой полупроводника, а особенности спектра вблизи критических точек могут быть усилены

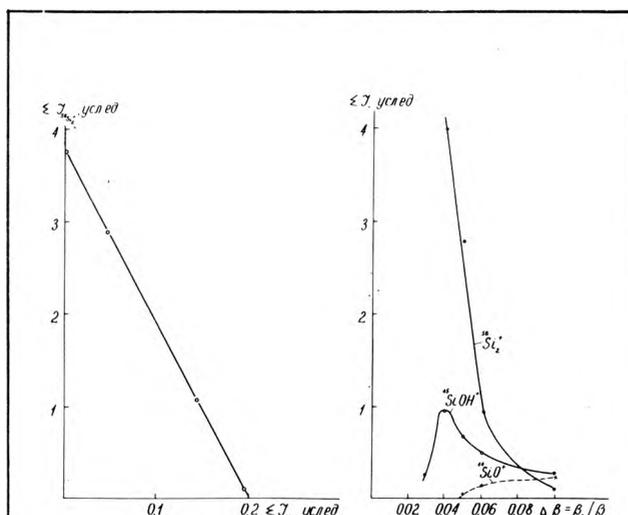


Рис. 2. Зависимость между интегральными интенсивностями вторичных ионов Si_2^+ и SiO^+

Рис. 3. Зависимость интегральных интенсивностей вторичных ионов от коэффициента диффузного рассеяния света

периодической модуляцией зонной структуры внешним воздействием [2]. Наибольшее распространение получила дифференциальная электролитическая модуляция коэффициента отражения R , при которой отражение происходит в приповерхностном слое объемного заряда на контакте полупроводника с прозрачным электролитом, включенном в цепь внешнего постоянного V_0 и переменного ΔV смещения. Возникающее под действием модулирующего смещения ΔV изменение коэффициента отражения ΔR отлично от нуля только в окрестностях критических точек зонной структуры, так что

«фон» отражения, связанный с переходами иных типов, из дифференциального спектра исключается. Этим обусловлена высокая чувствительность метода, получившего название «электроотражение» (ЭО).

Особый практический интерес представляет случай низкополювого электроотражения (НПЭО), когда спектр относительного изменения отражения $\Delta R/R$ описывается наиболее простой зависимостью [3]:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{CN\Delta V}{(hv)^2} \operatorname{Re} [e^{i\theta} (hv - E_s + i\Gamma)^{-n}].$$

Форма спектра ЭО зависит от энергетического зазора в критической точке E_s , фактора уширения Γ и фазового фактора θ . Амплитудный множитель, или масштаб спектра, определяется концентрацией носителей заряда N невозмущенного полупроводника в отражающей области, а также рядом констант, объединенных в коэффициент C . Необходимое разрешение ЭО по глубине δ может быть достигнуто за счет соответствующего выбора энергии критической точки E_s исследуемого материала.

Вычисляемые при обработке экспериментального спектра параметры N , E_s , Γ и θ могут применяться для определения подвижности носителей заряда, составов твердых растворов и оценки дефектности приповерхностного слоя [1, 3].

Исследования проводились на соединениях А В с целью разработки метода и аппаратуры автоматизированного контроля параметров полупроводниковых структур.

Схема установки, необходимой для наблюдения ЭО, показана на рис. 1. Оптический тракт полностью определяется спектральным диапазоном, принятым для проведения измерений. Как показал анализ, для GaAs и InP при измерениях ЭО оптимальной является критическая точка с энергией перехода E_1 и $E_1 + \Delta_1$ (последняя добавка связана со спин-орбитальным взаимодействием). При этом спектр ЭО наблюдается в области энергий $hv \approx 2,7 - 3,3$ эВ, что позволяет ожидать разрешающей способности по глубине не хуже 10–20 нм, $\alpha(hv = 2,8 \text{ эВ}) \geq 1,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$. Выбор спектрального диапазона определил элементы оптического тракта установки (см. рис. 1): кварцевый монохроматор, дуговую ксеноновую лампу ДКсШ-150, фотоприемник ФЭУ-100, зеркальную и кварцевую оптику в фокусирующих системах ФС-1 и ФС-2.

Оптическое возбуждение и электрическое смещение поверхности образца осуществляется в электрохимической ячейке. В качестве растворителей для электролитов использовались вода и этиленгликоль. Водные растворы предпочтительнее в силу большей электропроводности [2]. Стабильный электрический режим контакта «электролит—полупроводник» обеспечивает двухэлектродный потенциостат. Выделение отношения $\Delta R/R$ осуществляется в приемном тракте; при сравнительно низкой мощности источника излучения чувствительность в тракте сигнала по $\Delta R/R$ не хуже $5 \cdot 10^{-5}$. Время измерения одного спектра не превышает 1–2 мин.

Автоматизированный вариант установки содержит ЭВМ типа ДВК-3. В ее функции входит управление установкой, запись спектров ЭО со сглаживанием шумов и обработка спектра. Алгоритм машинной обработки в основном повторяет ручной процесс, описываемый ниже.

Обработка спектров ЭО заключается в определении по вышеприведенному уравнению значений параметров θ , E_s , Γ и N , обеспечивающих наилучшее согласование расчетных значений $\Delta R/R$ с экспериментально полученной зависимостью $\frac{\Delta R}{R} (hv)$. С ростом уровня легирования спектры ЭО уширяются и происходит наложение

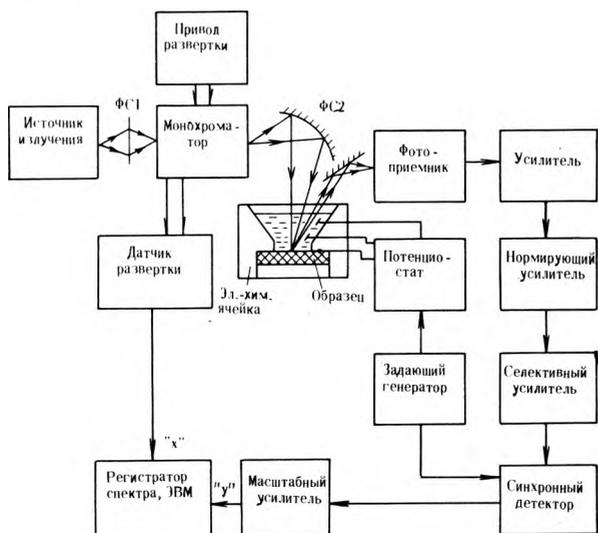


Рис. 1. Схема установки для наблюдения спектров электроотражения

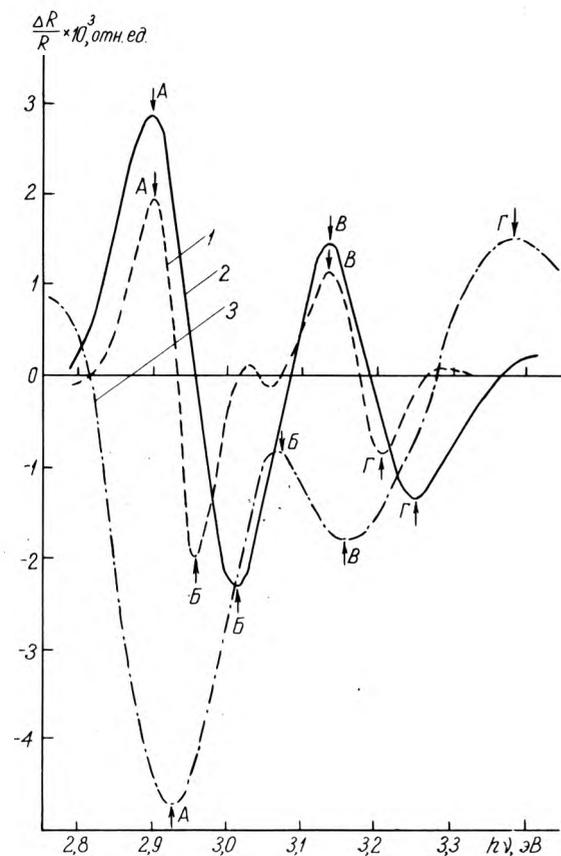


Рис. 2. Спектры НПЭО GaAs. Тип и концентрация носителей, см^{-3} : 1 — $n = 5 \cdot 10^{16}$; 2 — $n = 5,5 \cdot 10^{17}$; 3 — $p = 5 \cdot 10^{19}$. Стрелками обозначены типы экстремумов: А — E_1 (1), Б — E_1 (2), В — $E_1(1) + \Delta_1$, Г — $E_1(2) + \Delta_1$. Кривая 1 увеличена в 10 раз, кривая 3 уменьшена в 2 раза

осцилляций, связанных с критическими точками E_1 и $E_1 + \Delta_1$. При независимом проявлении спектров E_1 и $E_1 + \Delta_1$ (рис. 2, кривые 1, 2) для обработки применяется «трехточечный метод» [3] с использованием координат $\left(\frac{\Delta R}{R} \text{ и } hv\right)$ экстремумов E_1 (1) и E_1 (2). При наложении берутся координаты наименее искаженного низкоэнергетического экстремума E_1 (1) и ближайшего к нему нуля спектра (см. рис. 2, кривая 3); обработка производится упрощенно [4]. В результате калибровки выработан критерий применимости указанных трехточечной и одноточечной методик, основанный на соотношении амплитуд экстремумов компонент E_1 и $E_1 + \Delta_1$ спектра ЭО [5]. Для одно- и трехточечных методик оказываются различными и значения амплитудного фактора C в приведенном уравнении, которые определялись по образцу с известной концентрацией носителей зарядов.

Для измерения распределения концентрации носителей заряда $N(x)$ по толщине структуры нами было опробовано два способа. Первый заключается в многократном послойном химическом травлении образца с промежуточными измерениями спектров ЭО в нейтральном электролите [5]. Основной недостаток такого метода — сложность конструкции электрохимической ячейки из-за необходимости многократной смены рабочих растворов. При втором способе измерения спектров ЭО выполняются периодически в процессе непрерывного травления структуры, так что химический травитель является одновременно и электролитом для электрооптического воздействия. Этот вариант измерения более предпочтителен для целей технологического контроля в силу простоты его реализации.

Применение указанного уравнения для аппроксимации экспериментального спектра ЭО правомочно только при соблюдении определенных условий, характерных для НПЭО: неизменности формы спектра в диапазоне смещений V_0 и линейной зависимости его амплитуды от амплитуды модуляции ΔV . Отсюда следует принципиальная важность выбора электрического режима для проведения измерений. Эксперименты показали, что с минимальной трудоемкостью диапазон смещений НПЭО можно определить из зависимости амплитуды какого-либо экстремума спектра от V_0 .

Для нейтрального электролита (одномолярного раствора хлористого калия) при изменении поверхностной концентрации носителей N диапазон смещений, отвечающих режиму НПЭО, определяется только уровнем легирования образца и, например, для GaAs в диапазоне концентраций $10^{16} \dots 6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ аппроксимация (1) всегда справедлива при $V_0 \approx -0,7 \text{ В}$, $\Delta V \approx 0,3 \text{ В}$. В таблице приведены значения концентрации носителей заряда, полученные по описанной методике и из $(C-V)$ -измерений на однородно легированных пластинах GaAs. Наблюдаемые расхождения в основном не превышают погрешностей $(C-V)$ -метода, что подтверждает достоверность метода ЭО.

В случае измерения профиля $N(x)$ при непрерывном травлении область НПЭО дополнительно определяется составом травителя. Скорость травления и ее воспроизводимость также зависят от состава травителя. При этом поскольку разрешающая способность по глубине ухудшается на толщину слоя, стравленного за время измерения, для структур с разными толщинами слоев целесообразно использовать травители с различными скоростями травления.

Для GaAs использовались травители на основе H_2SO_4 и H_2O_2 . Скорость травления зависела от степени разбавления водой (от 1:10 до 1:500) и изменялась соответственно от 200 до 0,5 нм/мин. Были выполнены эксперименты по определению режима НПЭО для травителей различной концентрации. На рис. 3 показаны вольт-амперные характеристики контакта «электролит-полупроводник» и зависимость амплитуды пика

Материал, тип проводимости	Концентрация носителей, см^{-3}		Метод обработки спектра
	$(C-V)$ -метод	метод ЭО	
n-GaAs	$5 \cdot 10^{16}$	$5,8 \cdot 10^{16}$	Трехточечный
n-GaAs	$7,5 \cdot 10^{16}$	$6,57 \cdot 10^{16}$	— « —
n-GaAs	$3,5 \cdot 10^{17}$	$3,38 \cdot 10^{17}$	— « —
p-GaAs	$1,3 \cdot 10^{18}$	$1,15 \cdot 10^{18}$	— « —
p-GaAs	$5,5 \cdot 10^{19}$	$2,4 \cdot 10^{19}$	Одноточечный
n-InP	$5,9 \cdot 10^{17}$	$7,9 \cdot 10^{17}$	Трехточечный

E_1 (1) от напряжения на контакте. Характерно, что в области НПЭО где отклик $\frac{\Delta R}{R}$ (E_1) максимален (см.

рис. 3, б), ток через электролитический контакт близок к нулю. В более сильных травителях область НПЭО сужается и увеличивается ток через ячейку. Оптимальным является режим измерений V_0 от $-0,7$ до $0,8 \text{ В}$ и $\Delta V \leq 0,3 \text{ В}$. Аналогичные результаты получены на GaAs с другими уровнями легирования.

На рис. 4, 5 показаны результаты измерения профилей $N(x)$ структур GaAs с использованием различных травителей. Измерения проводились при непрерывном травлении с применением электрических режимов, от-

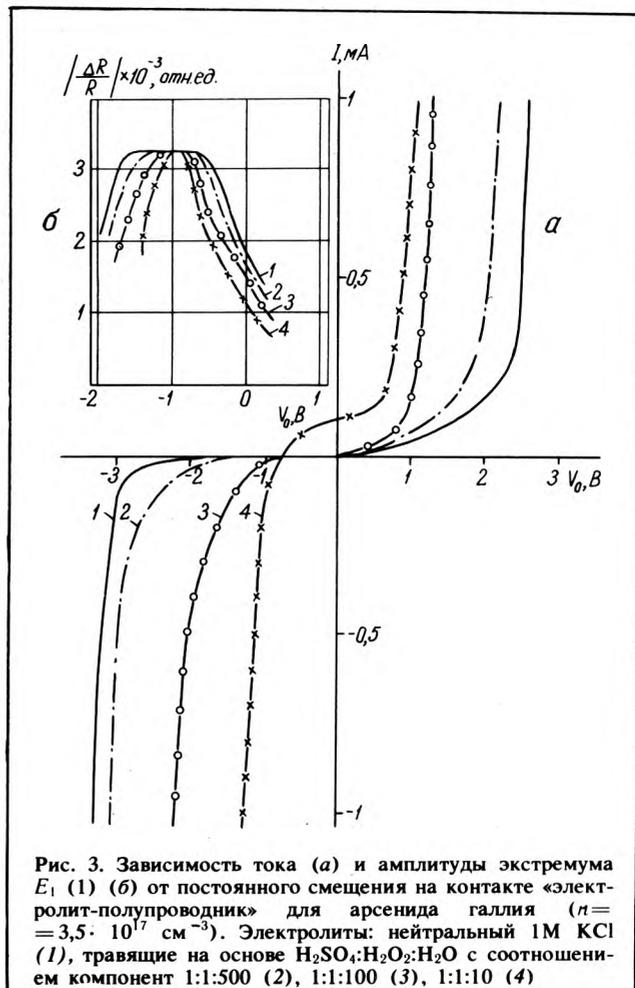


Рис. 3. Зависимость тока (а) и амплитуды экстремума E_1 (б) от постоянного смещения на контакте «электролит-полупроводник» для арсенида галлия ($n = 3,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Электролиты: нейтральный 1М КСl (1), травление на основе $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ с соотношением компонент 1:1:500 (2), 1:1:100 (3), 1:1:10 (4)

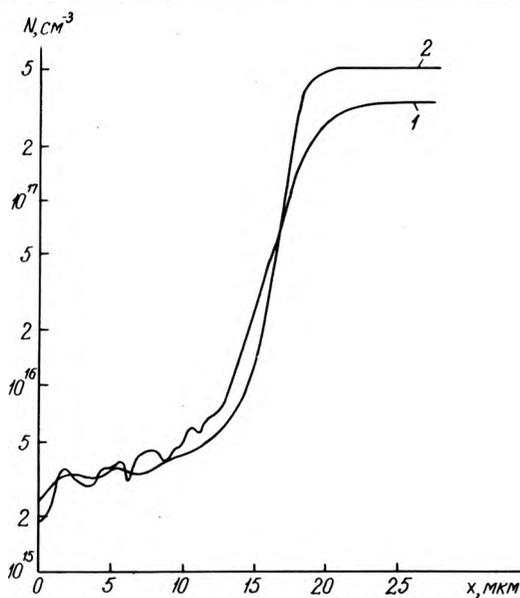


Рис. 4. Профили концентрации носителей заряда эпитаксиальной структуры n - n -GaAs, измеренные методом ЭО (1) и электролитическим ($C-V$)-профилометром (2). Расчетная толщина слоя ~ 18 мкм. Травитель — $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=1:1:10$

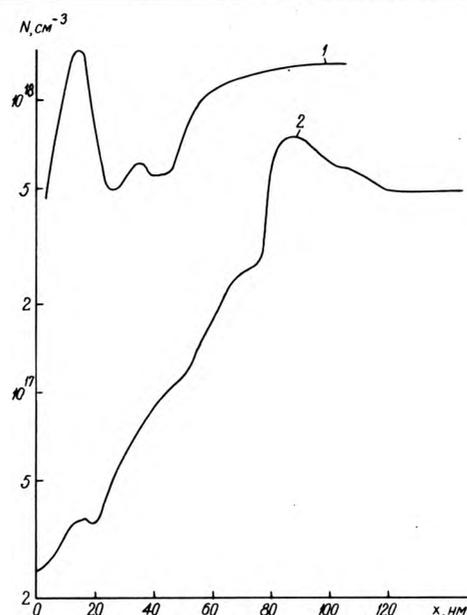


Рис. 5. Профили концентрации носителей заряда эпитаксиальных структур n - n -GaAs, измеренные методом ЭО при послойном травлении (1) и непрерывном травлении (2). Расчетные толщины слоев: 1 — 50 нм, 2 — 110 нм. Травитель — $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=1:1:500$

вечающих НПЭО. Сопоставление результатов измерений $N(x)$ для относительно толстых слоев n -типа на подложке n -GaAs методом ЭО (см. рис. 4) и электролитическим профилометром показывает довольно хорошее совпадение. При этом ЭО выявляет более тонкую структуру профиля концентрации.

На рис. 5 показаны профили $N(x)$ тонких слоев, для которых применить ($C-V$)-измерения с необходимым разрешением по глубине не представилось возможным. Тем не менее о реальности полученной кривой 1 (см. рис. 5) говорит, например, тот факт, что качественное согласие с ней дают изменения интенсивности микрокатодолюминесценции, измеренной при сканировании косого шлифа данной структуры. Характер экспериментальных кривых $N(x)$ на рис. 5 позволяет оценить разрешающую способность метода по глубине не хуже 10 нм.

Выполненные исследования подтверждают основное преимущество ЭО по сравнению с другими методами контроля полупроводников — высокое пространственное разрешение по глубине. Кроме того, проведенная формализация процесса измерений ЭО и обработки результатов, а также выполненные технические разра-

ботки обеспечивают возможность создания автоматизированной установки технического контроля полупроводниковых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а л и е в Г.Б., М о к е р о в В.Г. Применение спектроскопии электроотражения света в исследовании параметров полупроводниковых структур.— *Электронная промышленность*, 1985, № 3, с. 48—55.
2. К а р д о н а М. Модуляционная спектроскопия/Под ред. А.А.Каплянскогo.— М.: Мир, 1972.
3. A s p n e s D.E. Third-derivation modulation spectroscopy with low-field electroreflectance.— *Surface Sciency*, 1973, vol. 37, N 2, p. 418—442.
4. Определение концентрации заряженных примесей в кремнии методом электроотражения/А.Р.Бегишев, Г.Б.Галиев, В.В.Каев и др.— *ФТП*, 1982, т. 16, вып. 3, с. 426—431.
5. Контроль полупроводниковых структур с высоким пространственным разрешением/В.Л.Королев, С.И.Трегубов, Ю.А.Шушеначев и др.— *1 Всес. конф. по физ. основам твердотельн. электроники*.— Л., 1989, т. В, с. 151—152.

Статья поступила 31 октября 1989 г.

УДК 535.36

ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

канд.техн.наук Ю.Е.Белоусова,
А.П.Виданов, А.В.Войналович,
канд.техн.наук, ст.науч.сотр. Н.В.Жаворонков,
Л.И.Потешнова, канд.техн.наук,
ст.науч.сотр. Ю.Н.Свешников, Н.М.Хохлова

Одним из основных критериев качества при производстве эпитаксиальных структур арсенида галлия явля-

ется морфология поверхности. Требования к этой характеристике материала постоянно ужесточаются, а существующие промышленные методы оценки поверхности основаны на визуальном контроле и являются крайне субъективными и неопределенными. В связи с этим становится весьма важной разработка инструментальных методов контроля качества поверхности, что позволит упростить процедуру контроля и исключить конфликтные ситуации между потребителями и производителями структур.

Среди характеристик морфологии поверхности эпитаксиальных структур особую сложность при контроле представляет собой матовость проявляющаяся в диффузии рассеяния падающего света на поверхности.

Для инструментальной оценки степени матовости был использован метод упругого рассеяния света (УРС)*, реализованный на базе прибора для измерения интенсивности рассеянного света типа "Рефлекс-1000". Модулированный луч лазера ($\lambda = 0,63$ мкм) падает перпендикулярно поверхности исследуемой пластины. Рассеянное излучение собирается в оптической системе и регистрируется фотоэлектронным умножителем. Собирающая система имеет цилиндрическую симметрию и обеспечивает регистрацию интенсивности излучения, рассеянного в телесном угле от 35° до 55° к нормали. Метод упругого рассеяния света применялся для контроля эпитаксиальных структур арсенида галлия одновременно с обычным визуальным контролем в соответствии с действующими стандартами. При этом устанавливалась возможная корреляция между результатами визуального контроля и численным значением степени матовости, определяемой методом УРС в относительных единицах. На рис. 1 приведена гистограмма распределения структур, прошедших визуальный контроль, по значениям относительной величины матовости, полученным методом УРС. Существует довольно четкое различие в величинах единиц УРС, соответствующих гладкой или матовой поверхности (см. рис. 1). Частичное перекрытие распределения в области 3–4,5 отн. ед. может в определенной мере свидетельствовать о субъективности визуального контроля.

Дополнительно изучался вопрос насколько однозначно отражает метод УРС именно микрорельеф

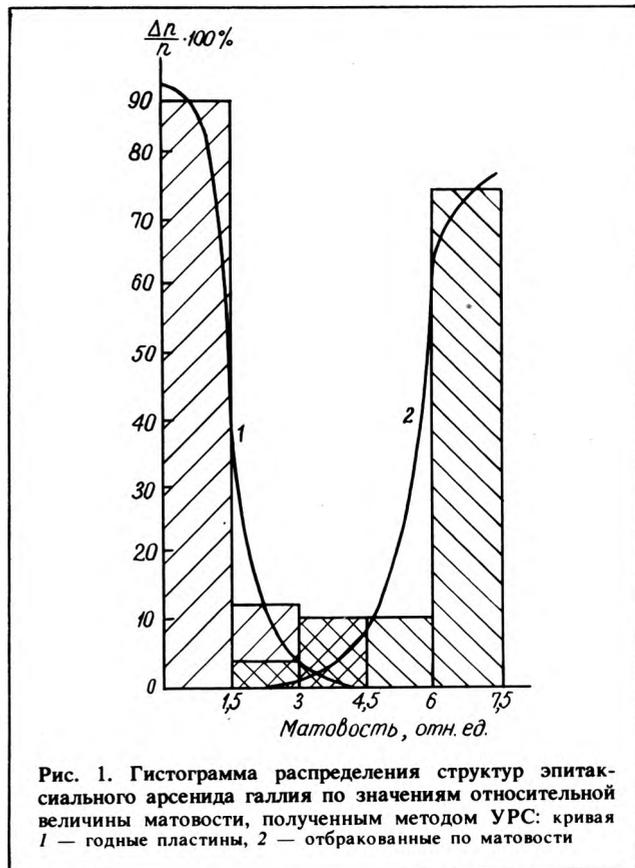


Рис. 1. Гистограмма распределения структур эпитаксиального арсенида галлия по значениям относительной величины матовости, полученным методом УРС: кривая 1 — годные пластины, 2 — отбракованные по матовости

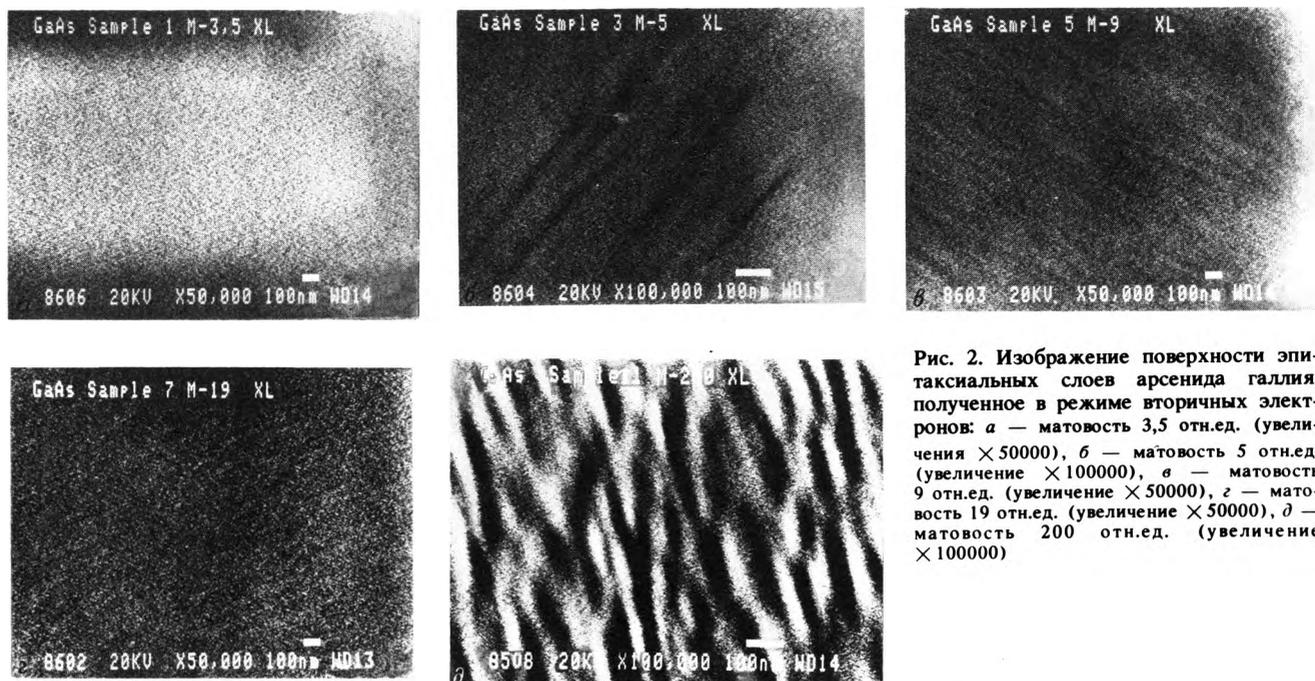


Рис. 2. Изображение поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия, полученное в режиме вторичных электронов: а — матовость 3,5 отн. ед. (увеличение $\times 50000$), б — матовость 5 отн. ед. (увеличение $\times 100000$), в — матовость 9 отн. ед. (увеличение $\times 50000$), г — матовость 19 отн. ед. (увеличение $\times 50000$), д — матовость 200 отн. ед. (увеличение $\times 100000$)

поверхности и оценивался вклад в величину сигнала, связанный со взаимодействием излучения с приповерхностной областью эпитаксиального слоя. С этой целью на эпитаксиальных структурах с различной величиной сигнала УРС (величиной матовости) были проведены морфологические исследования поверхности методами

растровой электронной микроскопии в режиме вторичных электронов, методом оптической микроскопии на отражение, а также методом угольных реплик в электронной микроскопии.

Исследования проводились на растровом электронном микроскопе JSM-840/LINK-860 (рис. 2, 3, 4). Показано, что величина матовости связана с изменением характера мелкого волнообразного рельефа поверхности. При матовости менее 5 отн. ед. на поверхности образцов не обнаруживаются никаких отличительных особенностей (см. рис. 2, а). На образце, имевшем

* Контроль качества полупроводниковых пластин и структур методом измерения интенсивности рассеяния света/ Г.Н.Агафонова, В.В.Батавин, А.В.Войналович и др.— Электронная промышленность, 1988, вып. 4, с. 38—39.

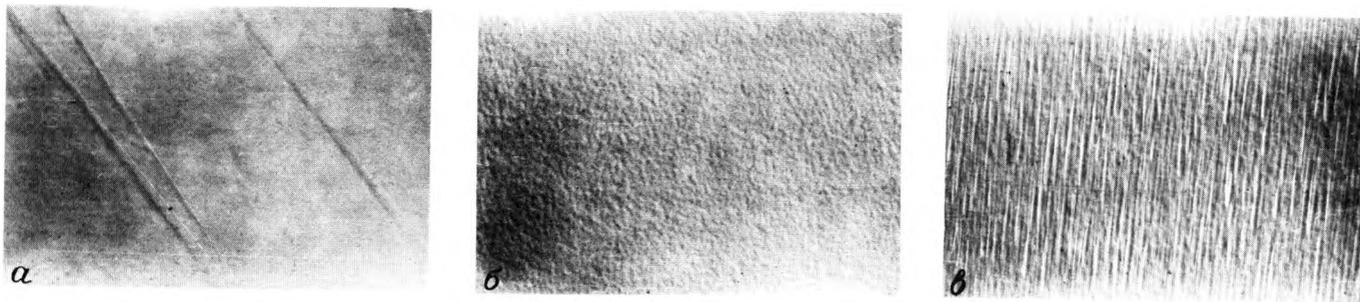


Рис. 3. Изображение эпитаксиальных слоев арсенида галлия, полученные оптическим методом с контрастом по Номарскому: а — матовость 4 отн.ед., б — матовость 7 отн.ед., в — матовость 30 отн.ед. (увеличение $\times 165$)

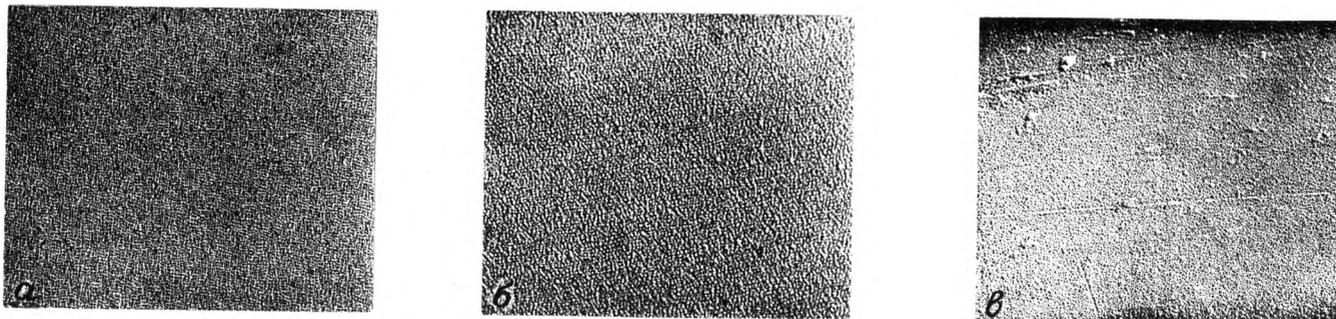


Рис. 4. Рельеф поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия, полученный методом угольных реплик: а — матовость 4 отн.ед., б — матовость 7 отн.ед., в — матовость 30 отн.ед. (увеличение $\times 25000$)

матовость 5 отн. ед., имеется неглубокий волнообразный рельеф (см. рис. 2, б). Волны имеют примерно равную высоту несколько нанометров и период 100 нм по приблизительной оценке. С ростом величины матовости растет высота неровностей рельефа. На фотографиях это находит отражение в усилении контраста изображения рельефа. При этом длина волн, а главное, их период, несколько уменьшаются (см. рис. 2, в, г, д).

Исследование поверхности с помощью оптической микроскопии с контрастом по Номарскому показало, что при значениях матовости 1,6 и 3,5 поверхность — гладкая. Незначительное повышение уровня матовости до 4,0 отн. ед. уже фиксируется при металлографическом исследовании (см. рис. 3, а). Чуть заметный рельеф улавливается на следах рисок, которые в слое выглядят размытыми мелкими канавками. При уровне матовости 7,0 отн. ед. рельеф поверхности становится более выраженным по сравнению с уровнем матовости 4,0 отн. ед. (см. рис. 3, б). Более грубый рельеф поверхности с хорошо выраженной рябью характерен для слоев с матовостью 16,0 отн. ед. Дальнейшее увеличение матовости до 30,0 отн. ед. не связано с резким ухудшением рельефа поверхности, однако, в этом случае возникает направленный характер неровностей (см. рис. 3, в).

Исследование микрорельефа поверхности методом угольных реплик тех же эпитаксиальных слоев в зависимости от уровня матовости показало следующее: при значениях матовости 1,6; 3,5; 4,0 отн. ед. микроморфология поверхности позволяет наблюдать только ступени роста, никаких других неровностей обнаружить не удалось. Можно отметить, что при матовости 1,6 отн. ед. ступени равной ширины, гладкие, строго направленные. При матовости 3,5 и 4,0 отн. ед. направленность ступеней нарушается, хотя ширина их сохраняется и равна приблизительно 0,015 мкм (см. рис. 4, а). В слоях

с уровнем матовости 7,0 отн. ед. можно заметить расположение ступеней роста в нескольких направлениях, при этом микроступени роста становятся более рельефными и развитыми (см. рис. 4, б). При уровне матовости 16,0 отн. ед. на поверхности образца встречаются полусферические фигуры размером 0,3 мкм и высотой 12 нм. В слоях с матовостью 30,0 отн. ед. наблюдаются протяженные следы, свидетельствующие о наличии нарушенного слоя в подложке (см. рис. 4, в).

Таким образом, результаты исследований морфологии поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия различными методами позволяет считать, что изменение величины сигнала УРС ("величины матовости") закономерно отражает изменение характера рельефа эпитаксиального слоя и, следовательно, метод УРС может быть использован как метод инструментального контроля качества поверхности по оценке величины матовости.

Использование этого метода в промышленном производстве обеспечивает экспрессность, высокую точность и бесконтактность измерений. Метод удобен для автоматизации и создания на его базе сортировщиков пластин по уровню матовости.

Статья поступила 4 августа 1989 г.

РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ТОНКИХ ПЛЕНОК И ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

канд.хим.наук А.П.Зуев,
канд.физ.-мат.наук,
ст.науч.сотр. Л.Г.Шабельников

Повышающийся технологический уровень отрасли, задачи увеличения степени интеграции приборов и освоения новых физических принципов их функционирования требуют развития широкой гаммы специализированных методов изучения структурного состояния, элементного и фазового состава тонких пленок и приповерхностных слоев. Среди получивших широкое распространение методов анализа поверхности, применяемых для этих целей, — масс-спектрометрии вторичных ионов, электронной и оже-спектроскопии — заметную роль играют рентгеновские методы. Здесь в первую очередь необходимо отметить те их модификации, в которых используется скользящее падение рентгеновских пучков и достигается уменьшение глубины проникновения в исследуемый материал от десятков и сотен микрон до десятых долей микрона. При этом в условиях реализации эффекта полного внешнего отражения рентгеновских лучей возможно получение данных, относящихся к приповерхностным слоям толщиной до единиц нанометров. Это делает рентгеновские неразрушающие методы контроля ценным инструментом в изучении свойств поверхности и тонких пленок. Ниже будут рассмотрены методы контроля элементного состава на основе рентгеновского флуоресцентного анализа с возбуждением в условиях полного внешнего отражения (РФА—ПВО) и анализа фазового состава на основе рентгеновской дифрактометрии в схеме скользящего падения пучка.

Эффект ПВО наблюдается при падении коллимированного пучка рентгеновских лучей на достаточно гладкую поверхность материала с высотой неровностей 1 нм и менее. Типичными примерами таких материалов могут служить пластины кремния, кварцевые или стеклянные фототаблонны, а также подложки, используемые для осаждения различного рода пленок, например, из сапфира, поликора и т.д. При этом все рентгеновские лучи, падающие на поверхность под углом, меньшим определенного критического значения φ_c , испытывают 100%-ное отражение. Значение φ_c для материалов, состоящих из одного вида атомов, может быть найдено по соотношению [1]

$$\varphi_c = (5,4 \times 10^{10} Z_e / A \times \lambda)^{1/2},$$

где Z — атомный номер, A — атомный вес, ρ — плотность материала (г/см^3), λ — длина волны излучения (см).

Как следует из вышеприведенного равенства, значение φ_c больше для тяжелых элементов с большой плотностью и увеличивается при переходе на длинноволновое рентгеновское излучение. Например, для кварца SiO_2 на излучении $\text{MoK}\alpha$ ($\lambda = 0,071$ нм), $\varphi_c = 0,1^\circ$, а для вольфрама угол ПВО увеличивается до $\varphi_c = 0,67^\circ$ ($\text{CoK}\alpha$, $\lambda = 0,178$ нм). Заметим, что для материалов сложного химического состава расчет угла φ_c возможен [2]. Современные гониометрические устройства, имеющие точность $(1-5) \cdot 10^{-3}$ град., позволяют без труда реализовать эффект ПВО.

Важной особенностью эффекта ПВО является малая глубина проникновения d [1]:

$$d = 0,5(\lambda/\mu)^{1/2},$$

где λ — длина волны излучения (см), μ — линейный коэффициент поглощения (см^{-1}). На рис. 1. представлены значения d , рассчитанные для кремния с учетом известной спектральной зависимости $\mu(\lambda)$. Эффективная глубина проникновения лучей вне эффекта ПВО, обратно пропорциональная μ , имеет более сильную зависимость от длины волны $\sim 1/\lambda^3$.

Использование эффекта ПВО для рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) позволяет проводить изучение элементного состава в условиях, когда глубина исследуемого слоя сравнима с глубиной проникновения луча. Технические решения, позволяющие осуществлять РФА на эффекте ПВО, предложены достаточно давно [3—6]. В последнее время стало известно также и о промышленном выпуске спектрометров РФА — ПВО «ЭКСТРА-П», имеющих, как показано в литературе [7], предел обнаружения ряда элементов на уровне 5×10^{-12} г.

Рассмотрим схему метода рентгеновского флуоресцентного анализа с возбуждением на эффекте ПВО (рис. 2). Метод реализован на спектрометре РФА—ПВО [8]. В схеме с двумя рефлекторами в узле формирования падающего пучка, в котором происходит его необходимая коллимация за счет многократных отражений от рефлекторов ПВО. Сформированный таким образом пучок возбуждающего излучения падает на прободержатель с анализируемым образцом, флуоресцентное излучение от которого попадает на кремниевый, легированный литием, полупроводниковый детектор (ППД). Заметим, что для регистрации и анализа спектров флуоресцентного излучения в спектрометрах РФА—ПВО используются те же самые аппаратные средства (ППД с многоканальным

анализатором), что и в широко известных установках микрозонда. Интересной особенностью рассматриваемой схемы является подавление коротковолнового тормозного спектра при многократных отражениях между рефлекторами. Показано [8], что на выходе из узла формирования в падающем пучке имеются только характеристические линии анода, для которых угол φ_c имеет большие значения, чем для тормозного спектра. Возбуждение многоэнергетическим пучком позволяет добиться существенного снижения уровня фона и улучшения чувствительности по сравнению с другими спектрометрами для РФА.

Следует отметить, что метод РФА—ПВО может быть осуществлен, когда исследуемый образец находится

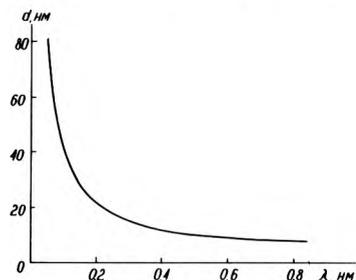


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения от длины волны в условиях эффекта ПВО для кремния

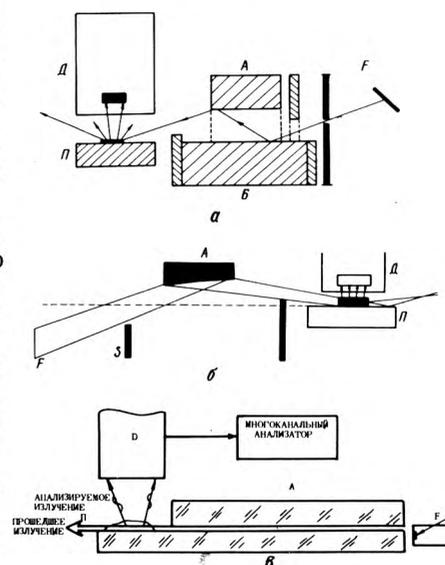


Рис. 2. Схемы метода рентгеновского флуоресцентного анализа с возбуждением на эффекте ПВО: с двумя рефлекторами в узле формирования (а); с ассиметричным рефлектором (б); с совмещенным рефлектором и прободержателем (в). Обозначения: F — фокус источника; А и Б — рефлекторы; Д — детектор излучения; П — прободержатель

ся в особых условиях (реакторе или вакуумной камере). Известно применение метода для анализа напыляемых пленок непосредственно в камере напыления и для осуществления текущего контроля их элементного состава в процессе роста [6].

Отличительной особенностью схемы спектрометра РФА—ПВО «Экстра-П» [7, 9] является применение асимметричного рефлектора ПВО (рис. 2, б). Рефлектор отполирован и установлен так, чтобы собирать излучение от линейчатого фокуса F в диапазоне углов до φ и направлять сходящийся пучок на анализируемый образец. Этим самым достигается улучшение чувствительности установки по сравнению с прежними решениями [8]. Заслуживает внимания применение установок для анализа аэрозольных осадков, которые могут быть собраны на участках с контролируемой атмосферой [9].

Анализ элементного состава методом РФА—ПВО в данной работе проводился по схеме, в которой прободержатель совмещен с одним из рефлекторов ПВО (рис. 2, в). Это позволяет в качестве рефлектора Б использовать непосредственно анализируемую пластину кремния или подложку с анализируемой пленкой. Применяемую схему отличают простота, надежность в работе, легкость юстировки, проводимой по макси-

муму прошедшего пучка с помощью дополнительного детектора. В схеме отсутствуют сложные гониометрические устройства.

Используемая при анализе аппаратура включает полупроводниковый детектор «Ortes» с собственным разрешением 185 эВ на линии 5,9 кэВ, а также многоканальный анализатор «Ortes-5604» (США), данные для обработки с которого передаются на персональный компьютер РС—АТ «Orus-V».

Необходимо также отметить, что повышение чувствительности к определению легких элементов, линии которых сильно поглощаются в воздухе (вследствие чего требуется обычно вакуумирование всего рабочего объема спектрометра), в предлагаемом варианте достигается путем заполнения промежутка между прободержателем и окном детектора легким газом — гелием. Анализ легких элементов, например натрия или магния, проводится при атмосферном давлении без вакуумирования при расходе газа около 1 см³/мин.

Методика отработывалась на пленках различного состава, получаемых высокочастотным магнетронным напылением на кремниевую подложку, в том числе пленок магнитных материалов Co—Cr, Fe—Tb, пленок фианита Zr(Y)O₂. При этом минимальная толщина пленок, для которых

получены достаточно интенсивные спектры флуоресценции, составляет 20 нм. Методика была применена для контроля загрязнений на поверхности пластин кремния, возникающих после проведения плазмохимического травления. При контроле пластин, обработанных в смеси SF₆ + Ar, в спектрах (рис. 3) обнаружена линия SK_α, что свидетельствует о наличии внедренных атомов серы в слое толщиной $d=28$ нм. Методика позволяет, кроме серы, обнаруживать примеси железа, никеля, меди, входящих в состав конструкционных материалов.

Таким образом, обсуждаемый метод РФА—ПВО позволяет проводить анализ элементного состава пленок и приповерхностных слоев и может дать сведения, полезные для обработки технологических процессов.

Ранее [10] был рассмотрен принцип рентгеновской дифрактометрии в схеме скользящего падения пучка и изучены возможности метода для анализа фазового состава и структурных характеристик тонких пленок. Реализация обсуждаемой схемы достаточно проста, для нее требуется незначительная модификация стандартных гониометрических устройств. Имеются сообщения о выпуске специализированных приставок к дифрактометру [11, 12], которые позволяют проводить анализ

Пределы обнаружения ряда элементов и условия возбуждения

Атомный номер и символ элементов	Пределы обнаружения в ряду, $\times 10^{-12}$, г	Условия возбуждения		
		Линия WL _α	Линия MoK _α	Сплошной спектр
11 Na 12 Mg	более 100	+	—	—
13 Al	30—100	+	—	—
14 Si	30—100	+	+	—
15 P 16 S	10—30	+	+	—
17 Cl	5—10	+	+	—
18 Ar 21 Sc	менее 5	+	+	—
22 Ti 28 Ni	—	+	+	+
29 Cu 38 Sr	—	—	+	+
39 Y 40 Zr	5—10	—	+	+
41 Nb 43 Tc	5—10	+	—	+
44 Ru 46 Pd	10—30	+	—	+
47 Ag 52 Tc	5—10	+	—	+
53 I 54 Xe	менее 5	+	—	+
55 Cs 64 Gd	—	+	+	+
65 Tb 71 Lu	5—10	+	+	+
72 Hf 75 Re	5—10	—	+	+
76 Os 83 Bi	менее 5	—	+	+
88 Ra 92 U	5—10	—	+	+
93 Np 94 Pu	10—30	—	+	+

Примечание: + излучение используется
— излучение не используется

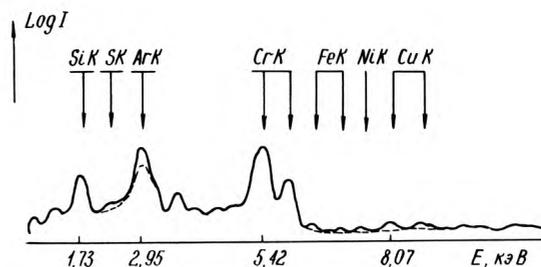


Рис. 3. Энергетический спектр флуоресцентного излучения, полученный для пластин кремния после плазмохимического травления в смеси SF₆ с Ar. Источник излучения — трубка БС с хромовым анодом, режим 20 кВ, 55 мкА, время набора 10³ с. Пунктирной линией обозначена исходная пластина, сплошной линией — пластина после травления

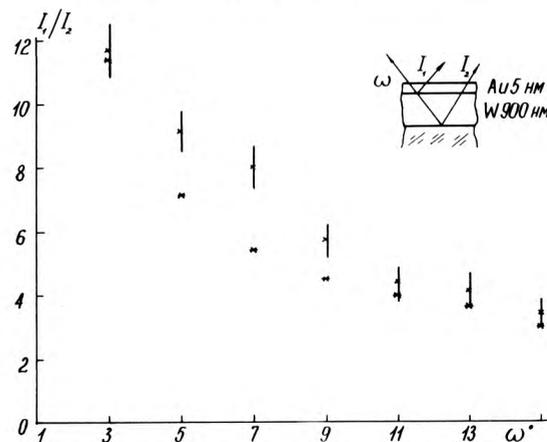


Рис. 4. Зависимость отношения интенсивностей линии (111) золота и линии вольфрама (110) от угла падения ω : * — расчет, × — экспериментальные данные

пленок толщиной до 10 нм. Модификация отечественных дифрактометров серии ДРОН подробно описана в работе [13]. Предложен также вариант схемы скользящего падения, обеспечивающий существенное (в 3—5 раз) повышение интенсивностей слабых линий при одновременном улучшении соотношения линия/фон, что позволяет повысить чувствительность метода к обнаружению малых количеств посторонних фаз.

Следует отметить, что при изменении угла падения пучка ω в данной схеме, ведущей к соответствующему изменению эффективной глубины проникновения $l_{\text{эф}}$ [10], возможно получение сведений о глубине залегания анализируемой фазы. С целью проверки отмеченной возможности метода было проведено рентгенодифрактометрическое изучение двухслойной пленки, в которой верхний слой золота толщиной 5 нм был нанесен на слой вольфрама (толщина 0,9 мкм). Метод нанесения нижнего слоя — высокочастотное магнетронное распыление (остаточный вакуум лучше $1,33 \times 10^{-4}$ Па), верхнего магнетронное распыление на постоянном токе. На дифрактограммах отсутствовали линии посторонних фаз, напыление на стеклянную подложку позволило избежать перераспреде-

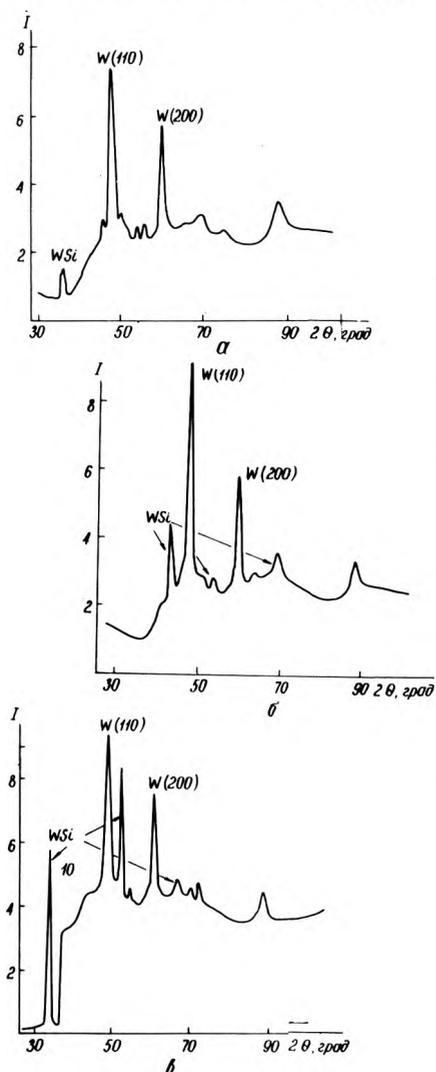


Рис. 5. Дифрактограммы слоев вольфрама, полученные при различных углах падения пучка: а) $\omega = 5^\circ$, б) $\omega = 9^\circ$, в) $\omega = 13^\circ$

ления интенсивностей линий, связанного с наличием аксиальной текстуры [10].

На рис. 4 представлена полученная экспериментальная угловая зависимость отношения интенсивности I_1 линии (111), относящейся к верхнему слою, к интенсивности I_2 линии (110) от нижележащего слоя. Там же представлены данные расчета отношений I_1/I_2 на основе соотношений, выведенных в [10]. Расчет проводился на персональном компьютере РС—АТ при помощи пакета прикладных программ «Эврика». При уменьшении угла падения ω и сопровождающемся уменьшении $l_{\text{эф}}$ (см. рис. 4) наблюдается рост отношения I_1/I_2 , что свидетельствует об увеличении вклада верхнего слоя по сравнению с нижним. Полученный при измерениях ход угловой зависимости подтверждается расчетными данными (однако для лучшего совпадения точек необходим, по-видимому, учет эффектов экстинкционного ослабления падающего пучка).

Таким образом, измерение зависимостей дифракционных линий от угла в схеме скользящего падения позволяет указать глубину залегания в пленке анализируемой фазы. При этом использованная в эксперименте толщина верхнего слоя 5 нм может служить оценкой для минимально обнаружимой прослойки этой фазы.

Отмеченная возможность метода была использована при анализе слоев вольфрама, осажденного из газовой фазы на кремниевую подложку (рис. 5) [14]. При наиболее пологом (рис. 5, а) падении пучка на дифрактограмме присутствуют линии вольфрама, а линии силицида $WS_{0,7}$ имеют малую интенсивность. При увеличении угла падения (рис. 5, б, в) наблюдается рост интенсивности линий $WS_{0,7}$, что указывает на локализацию силицидной фазы вблизи границы пленки с подложкой. Для проверки этого вывода слой вольфрама был удален в селективном травителе, не воздействующем на силицид. На дифрактограмме после травления также наблюдались линии фазы $WS_{0,7}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. W o b r a u s c h e k P., A i g i n g e r H. Analytical application of total reflection and polarized x-rays.— Fresenius Z. Anal. Chem., 1986, vol. 324, p. 865—874.
2. С и н а й с к и й В.М. Расчет величины угла полного внешнего отражения для зеркал сложного химического состава.— В сб.: Аппаратура и методы рентгеновского анализа.— Л.: Машиностроение, 1981, вып. 26, с. 59—61.
3. Заявка ФРГ № 2727505.
4. Заявка ФРГ № 2736960.
5. Заявка ФРГ № 2911596.
6. Пат. № 4169228 (США).
7. Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр EXTRA-II. Проспект фирмы «Seifert».— Арнсбург (ФРГ).
8. Trace analytical capabilities of total reflection x-ray fluorescence analysis/W. Michaelis, I. Knoth, A. Prange et al.— Advances in x-ray analysis, 1985, vol. 28, p. 75—83.
9. P r a n g e A., S c h w e n k e H. Sample treatment for TXRF—Requirements and prospects.— Advances in x-ray analysis, 1989, vol. 32, p. 209—218.

10. Ш а б е л ь н и к о в Л.Г. Тонкопленочная рентгеновская дифрактометрия. Электронная промышленность, 1988, вып. 7, с. 27—30.

11. Дифрактометр D5000. Проспект фирмы «Siemens».— ФРГ.

12. Тонкопленочный рентгеновский дифрактометр. Проспект фирмы «Rigaku».— Токио (Япония).

13. Ш т ы п у л ь а к Н.И., Я к и м о в И.И., Л и т в и н ц е в В.В. Рентгенодифрактометрическое исследование приповерхностных слоев.— ПТЭ, 1988, № 5, с. 181—184.

14. М а л и к о в И.В., П л ь щ е в а С.В., Ш а п о в а л С.Ю. Низкотемпературное осаждение вольфрама в контактные области.— Тез. докл. Всесоюзной конференции «Поверхность-89».— Черноголовка.



А. П. Зуев — кандидат химических наук, зав. лабораторией ядернофизических методов анализа Института проблем технологии микроэлектроники АН СССР. Окончил Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева в 1963 г. Тема кандидатской диссертации: «Влияние гидратации солей аминов на экстракционные свойства и равновесия» (1973 г.). Автор 50 публикаций. В настоящее время занимается исследованием ядернофизических методов анализа структуры и элементного состава материалов.



Л. Г. Шабельников — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем микроэлектроники АН СССР. Окончил МФТИ в 1970 г. В 1976 г. защитил диссертацию на тему «Рентгенографическое изучение структурных перестроек в сегнетоэлектриках при внешних воздействиях». Имеет около 50 публикаций.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

принимает заказы
на разработку и изготовление
тонкопленочных микроплат
и гибридных микросборок

- разработку принципиальной электрической схемы;
- разводку проводников тонкопленочной микроплаты как в одном, так и в нескольких уровнях;
- разработку технологического процесса изготовления микроплат (в том числе и многоуровневых на основе алюминия и его анодных окислов) и микросборок;
- изготовление микроплат, микросборок (в том числе комплект микроплат для высококачественного внешнего СВЧ блока для приема спутникового телевидения).

В качестве подложек для микроплат наряду с традиционными материалами могут быть использованы подложки из анодированного алюминия.

Принимаются также заказы на:

- изготовление небольших партий подложек из анодированного алюминия;
- разработку и изготовление полного комплекта полуавтоматических установок, необходимых для проведения операций анодирования при формировании многоуровневых микроплат по алюмооксидной технологии;
- разработку, изготовление и оснащение стандартных напылительных установок системами магнетронного распыления и поставку заказчику технологических процессов нанесения тонких пленок проводящих материалов.

для организаций, предприятий, кооперативов и радиолюбителей, желающих самостоятельно собрать выносной СВЧ блок (малошумящий усилитель—преобразователь) для приемной системы спутникового телевидения

МОЖЕТ ИЗГОТОВИТЬ

— полный комплект микрополосковых узлов (отдельные узлы) высококачественного СВЧ блока спутникового телевизионного приемника. Комплект состоит из 10 микрополосковых сборок со сборочными чертежами и электрическими принципиальными схемами с рекомендациями по сборке и настройке.

— полный комплект микрополосковых плат (отдельные платы) для указанного СВЧ блока. Комплект состоит из 14 микроплат со схемами и сборочными чертежами.

Желающие могут приобрести комплект конструкторской документации на микрополосковый СВЧ блок, содержащий принципиальные электрические схемы, топологические чертежи микроплат и сборочные чертежи.

121355, г. Москва, ул. Ив.Франко, д. 4, ЦНИТИ
Телефоны для справок: 146-13-34 Казарьян В.К,
146-10-95 Лункин В.Я.

ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОН»

для работы в специальном конструкторско-технологическом бюро по разработке перспективных образцов накопителей на магнитных дисках — НГМД и НЖМД типа «ВИНЧЕСТЕР» — и других специальных средств вычислительной техники

ОБЪЯВЛЯЕТ ПРИЕМ

на конкурсной основе квалифицированных специалистов, имеющих опыт разработки микропроцессорных схем и конструктивов накопителей, их компонентов (приводов, магнитных головок, БИС, СБИС), контрольно-диагностической аппаратуры и технологий их производства, разработки и внедрения методов автоматизированного проектирования

УСЛОВИЯ КОНКУРСА

- образование высшее
- стаж работы по специальности в области устройств внешней памяти или устройств, близких к ним по схемно-конструктивному решению не менее трех лет
- возраст до 30 лет

Заводом высокими темпами ведется строительство жилья и объектов социкультбыта.

Одиноким предоставляется место в благоустроенном общежитии. Семьиные до получения в порядке очередности квартиры, обеспечиваются отдельным жильем в квартирных общежитиях (1—2 комнатные отдельные квартиры).

Имеются места в детских дошкольных учреждениях. Документы для участия в конкурсе (личный листок по учету кадров, заявление и копию трудовой книжки) направлять по адресу: 322530, Днепропетровская обл., г. Желтые Воды, ул. Гагарина, 40, Приборный завод «Электрон», отдел кадров, тел. 3-30-02.

УСТАНОВКА КОНТРОЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОРАЗРЯДНЫХ ЦАП

**Н.И.Чернышев, Г.С.Власов, Е.В.Кулагина,
В.А.Алексеев**

Автоматизированная установка контроля статических параметров 18-разрядных цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) ЮУМ 2.681.011 конструктивно выполнена в виде двух стоек: измерительной и управления. Измерительная стойка содержит три приборных блока: первый блок фильтров, измерительный блок, блок сопряжения. Стойка управления содержит второй блок фильтров, ЭВМ ДВК-3, термолечающее устройство (ТПУ) 15ВВП80-002. К блоку сопряжения измерительной стойки подключается контактная панель с контактным устройством для установки проверяемого интегрального ЦАП. Функциональные узлы и блоки объединены в измерительно-вычислительный комплекс через два измерительных канала, выполненных в соответствии с ГОСТ 26003-80, два контроллера, драйвер и интерфейсную шину микроЭВМ.

Функционирование установки осуществляется по заданной программе, включающей в себя алгоритм установления напряжений питания проверяемого ЦАП и алгоритмы измерения его точностных параметров. Погрешность контроля приведена к диапазону преобразования ЦАП ± 20 В и установлена при доверительной вероятности $P=0,95$.

Установка позволяет контролировать токи потребления ЦАП, напряжение на логических входах и обеспечивает формирование четырех напряжений, питающих ЦАП, в диапазоне от —30 до 30 В с погрешностью установки напряжения не более $\pm(0,001 U_n + 1$ мВ).

При создании установки использовались оригинальные технические решения, защищенные авторскими свидетельствами.

Погрешность контроля, %	
нелинейности	не более $\pm 0,0003$
дифференциальной нелинейности	не более $\pm 0,00015$
коэффициента передачи ($K = \pm 1$)	не более $\pm 0,0025$
абсолютной погрешности преобразования ЦАП	не более $\pm 0,0075$
напряжения смещения нуля	не более ± 20
Мощность потребления, кВА	1
Средняя производительность, схем/ч	15
Габаритные размеры каждой стойки, мм	702×650×1603
Масса, кг	140

Ночная зрительная трубка с лазерной подсветкой

Портативный прибор для детального изучения удаленных статических и движущихся объектов в темноте, при лунном свете и днем.



Успешная ночная кино- и фотоохота гарантирована даже в жестких условиях: на расстоянии до 400 метров и при температуре от минус 20° до плюс 40°С.

Наличие специальных переходных колец позволяет унифицировать трубку и широко использовать ее в составе кино- и фотоаппаратуры для съемки самых разнообразных сюжетов.



ПРЕДПРИЯТИЕ-ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Ростовский оптико-механический
завод
152100 г. Ростов Ярославской обл.
Савинское шоссе
Телефон 3-14-76



Ночная зрительная трубка с лазерной подсветкой

А.В.Гринкевич, Б.С.Касауров, С.Н.Князева, А.В.Медведев

Особенностью новой зрительной трубки является наличие усилителя яркости изображения и блока лазерной подсветки [1].

Формирование лазерного излучения осуществляется двухлинзовым объективом с фокусным расстоянием 18,4 мм и относительным отверстием 1:0,9.

Крепление объектива зрительной трубки позволяет использовать ее совместно с аппаратурой «Зенит» с любыми фотообъективами.

Блок лазерной подсветки полностью автономен, узел крепления унифицирован со стандартными штативными креплениями фотоаппаратуры.

Основной качественной характеристикой зрительной трубки является предел разрешения.

Без использования блока лазерной подсветки величина разрешения зависит от освещенности объекта [2].

При уровне освещенности около 0,01 лк разрешающая способность трубки около 5 угл. мин., что соответствует опознаванию человека на расстоянии 100 м.

При включении блока лазерной подсветки на расстоянии 100 м создается освещенность четырехметрового участка равная 0,4 лк (выше, чем при полнолунии). При этом разрешающая способность трубки не хуже 100 угл. сек.

При использовании трубки в дневное время объектив закрывается крышкой с отверстием малого диаметра для ограничения больших световых потоков.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НОЧНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ

- Увеличение 2,4 крат
- Угол зрения 15 град
- Разрешающая способность 100 угл. сек.
- Питание 9 В (элемент «Крона»)
- Питание блока подсветки (три элемента 316) 4,5 В
- Угол расхождения пучка излучения от 0,3 до 15 град
- Масса (без элементов питания) 1,9 кг

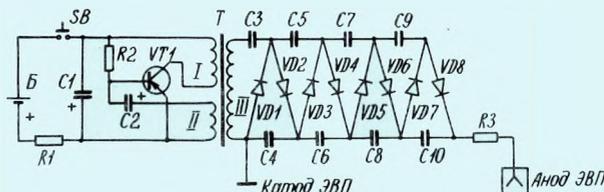
Электронно-оптический блок заключен в корпус и содержит усилитель яркости изображения ЭВП, блок питания, элемент питания «Крона», кнопку включения, присоединительные узлы объектива и окуляра.



К штативному гнезду объектива крепится блок лазерной подсветки, выполненный в виде рукоятки, в которой размещены три элемента питания «316», комбинированный блок для питания излучателя, кнопка включения, подвижный блок объектива с излучателем и винт регулировки пучка излучения по вертикали.

Усилитель яркости изображения ЭВП имеет сурьмяно-щелочной фотокаод, двухэлектродную электростатическую фокусирующую систему и экран желто-зеленого свечения. Его техническая характеристика:

- Интегральная чувствительность 200 мкА/лм
- Спектральный диапазон 350—950 нм
- Предел разрешения 30 мм⁻¹
- Увеличение 0,5 крат
- Напряжение питания 18 кВ
- Масса 0,04 кг



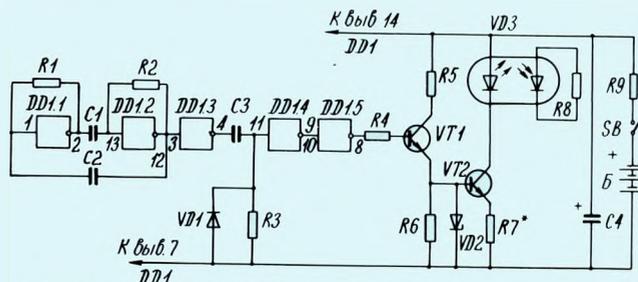
Электрическая схема питания усилителя яркости

На элементах VT1, R2, C2, обмотках I и II трансформатора Т собран блокинг-генератор, формирующий импульсы высокого напряжения на повышающей обмотке III трансформатора Т. Умножение и выпрямление напряжения происходит на элементах C3—C10, VD1—VD8. Питание блокинг-генератора осуществляется от конденсатора C1, который периодически подзаряжается от первичного источника питания через резистор R1. В источнике питания реализована электрическая защита усилителя яркости изображения (при воздействии яркого света) за счет падения напряжения на высоком резисторе R3 в высоковольтной цепи.

В блоке лазерной подсветки за объективом установлен излучатель ИЛПН-108, выполненный на основе полупроводникового двойного гетероструктурного лазерного диода с полосковым резонатором.

Техническая характеристика излучателя

- Длина волны в дискретной точке 820—860 мкм
- Средняя мощность лазерного излучения 40 мВт
- Расходимость лазерного излучения по уровню 0,5 60 град
- Размер излучающей области 10×100 мкм
- Ток накачки 100 мА



Электрическая схема питания излучателя

На элементах DD1.1, DD1.2, R1, R2, C1, C2 выполнен генератор по схеме симметричного мультивибратора, нагрузкой которого является инвертор DD1.3, а на элементах DD1.4, DD1.5, C3, R3, VD1 — формирователь импульсов, длительность которых определяется элементами R3, C3. Импульсы с выхода инвертора DD1.5 поступают на базу транзистора VT1, который формирует на резисторе R6, а следовательно и на базе транзистора VT2, импульсы нап-



Уменьшенным пучком лазерного излучения освещена правая сторона лица и груди человека (фотосъемка производилась фотоаппаратом «Зенит» при использовании специальных переходных колец со стандартными присоединительными размерами, которые входят в комплект ночной зрительной трубки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ночная зрительная трубка НЗТ-1.— Электронная промышленность, 1989, вып. 9, с. 61.

ряжения, равные по величине напряжению стабилизации стабилизатора VD2. При открывании транзистора VT2 происходит излучение лазерного диода VD3. Резистор R7 служит для ограничения тока накачки диода. Питание схемы осуществляется от конденсатора C4, который является аккумулятором энергии. Периодический заряд конденсатора до напряжения питания происходит через резистор R9 в период отсутствия излучения лазерного диода.



Изображение при внешней освещенности 0,1 лк (что эквивалентно освещенности на местности от 0,5 полной Луны).

2. Медведев А.В., Касауров Б.С., Гринкевич А.В., Князева С.Н. Малогабаритная зрительная трубка для низких уровней освещенности.— Оптико-механическая промышленность 1989, вып. 9, с. 28—29.



ТОВАРЫ И УСЛУГИ НАСЕЛЕНИЮ



Кнопочный номерабираетель «ЭЛЕКТРОНИКА НК-01»

Кнопочный номерабираетель «Электроника НК-01» может быть вмонтирован в телефонный аппарат общего применения вместо дискового номерабираетеля. При этом он будет выполнять следующие функции:

- набор номера с числом знаков до 22;
- повтор последнего набранного номера;
- прерывание набора номера в любой его фазе и последующий повтор всего номера с первой цифры;
- прослушивание сигналов АТС в паузах между цифрами набираемого номера;
- программирование увеличенной паузы между любыми двумя цифрами номера;
- отбой АТС при нажатии на соответствующую кнопку.

Длительность размыкания импульсной цепи 60 мс

Длительность замыкания импульсной цепи 40 мс

Длительность паузы между сериями импульсов набираемого номера 740 мс

Длительность увеличенной паузы 2,68 с

Сопротивление, вносимое в шлейф номерабираетелем в разговорном режиме, 100 Ом

Ток, потребляемый от линии АТС 0,2 мА

Цена 35 руб.

УДК 621.3.049.77

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ МАЛОМОЩНЫЕ ЦИФРОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ С ДИОДАМИ ШОТКИ СЕРИИ КР1533

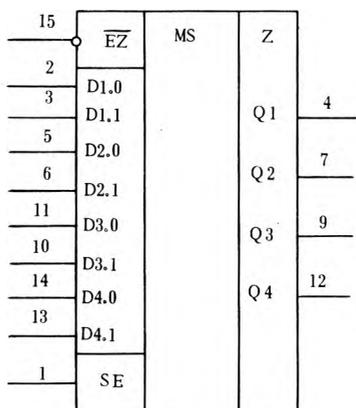
А.В.Прибыльский, А.И.Сухопаров,
С.В.Якубовский, С.А.Ельцова

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ КР1533КП11А, КР1533КП14А

Микросхема КР1533КП11А — четырехразрядный селектор 2—1 с тремя устойчивыми состояниями; КР1533КП14А — четырехразрядный селектор-мультиплексор 2—1 с тремя устойчивыми состояниями с инверсными выходами.

ИС КР1533КП11А, КП14А включают по четыре мультиплексора, организованных для мультиплексирования двух каналов в один, с общими дешифратором адреса и входом выбора для всех мультиплексоров. ИС КР1533КП11А обеспечивают прямую передачу информации, КР1533КП14А — инверсную.

КР1533КП11А



КР1533КП14А

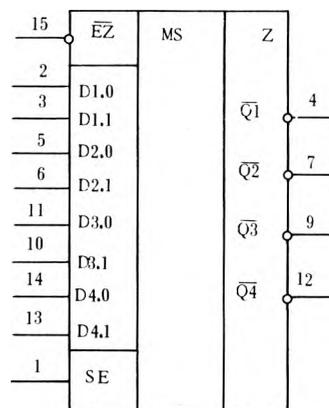


Таблица истинности КР1533КП11А

Входы				Выход
$\overline{E}Z$	SE	DO	D1	Q
H	X	X	X	Z
L	L	L	X	L
L	L	H	X	H
L	H	X	L	L
L	H	X	H	H

Таблица назначения выводов КР1533КП11А

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	SE	Вход выбора данных
2, 3, 5, 6, 10, 11, 13, 14	D1.0, D1.1, D2.0, D2.1, D3.1, D3.0, D4.1, D4.0	Информационные входы
15	$\overline{E}Z$	Вход разрешения состояния высокого импеданса («выключено»)
4, 7, 9, 12	Q1, Q2, Q3, Q4	Выход
8	OV	Общий вывод
16	U_{cc}	Вывод питания

Таблица истинности КР1533КП14А

Входы				Выход
\overline{EZ}	SE	D0	D1	\overline{Q}
H	X	X	X	Z
L	L	L	X	H
L	L	H	X	L
L	H	X	L	H
L	H	X	H	L

H — высокий логический уровень; L — низкий логический уровень; X — безразличное состояние (H или L); Z — состояние высокого импеданса.

Таблица назначения выводов КР1533КП14А

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	SE	Вход выбора данных
2, 3, 5, 6, 10, 11, 13, 14	D1.0, D1.1, D2.0, D2.1, D3.1, D3.0, D4.1, D4.0	Информационные входы
4, 7, 9, 12	$\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$, $\overline{Q3}$, $\overline{Q4}$	Выход
8	O1	Общий вывод
15	\overline{EZ}	Вход разрешения состояния высокого импеданса («выключено»)
16	U_{cc}	Вывод питания

Основные электрические параметры КР1533КП11А

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более	
при выходном токе 12 мА	0,4
при выходном токе 24 мА	0,5
Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее, при выходном токе 2,6 мА	2,4
Входной ток, мкА, не более	
низкого уровня	100
высокого уровня	20
Выходной ток высокого (низкого) уровня в состоянии «Выключено», мкА, не более	20(— 20)
Ток потребления, мА, не более	
при низком уровне выходного напряжения	12
при высоком уровне выходного напряжения	6
в состоянии «Выключено»	14
Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более	
по информационным входам	12(10)

по входу выбора данных	22(18)
Время задержки распространения при переходе из состояния «Выключено» в состояние высокого (низкого) уровня, нс, не более	16(18)
Время задержки распространения при переходе из состояния высокого (низкого) уровня в состояние «Выключено», нс, не более	40(25)

Основные электрические параметры КР1533КП14А

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более	
при выходном токе 12 мА	0,4
при выходном токе 24 мА	0,5
Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее, при выходном токе 2,6 мА	2,4
Входной ток, мкА, не более	

низкого уровня	100
высокого уровня	20
Выходной ток высокого (низкого) уровня в состоянии «Выключено», мкА, не более	20(— 20)
Ток потребления, мА, не более	
при низком уровне выходного напряжения	11
при высоком уровне выходного напряжения	4
в состоянии «Выключено»	13
Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более	
по информационным входам	7(8)
по входу выбора данных	25(20)
Время задержки распространения при переходе из состояния «Выключено» в состояние высокого (низкого) уровня, нс, не более	18(18)
Время задержки распространения при переходе из состояния высокого (низкого) уровня в состояние «Выключено», нс, не более	40(25)

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА

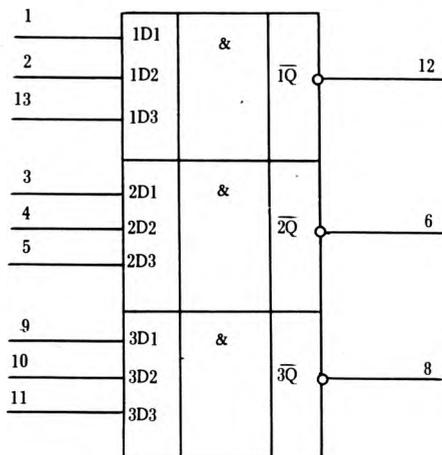
КР1533ЛА4

Микросхема КР1533ЛА4 — три логических элемента «ЗИ—НЕ». Конструктивно выполнена в 14-выводном пластмассовом корпусе 201.14-1.

Основные электрические параметры КР1533ЛА4

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более
 при выходном токе 4 мА 0,4
 при выходном токе 8 мА 0,5
 Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее, при выходном токе 0,4 мА 2,5
 Входной ток высокого (низкого) уровня, мкА, не более 20 (| — 200 |)
 Ток потребления при высоком (низком) уровне выходного напряжения, мА, не более 0,6 (2,2)
 Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более 10 (11)

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 13	1D1, 1D2, 2D1, 2D2, 2D3, 3D1, 3D2, 3D3, 1D3	Входы информационные
6, 8, 12	$\overline{2Q}$, $\overline{3Q}$, $\overline{1Q}$	Выходы
7	OV	Общий вывод
14	U _{cc}	Вывод питания



ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533КП19

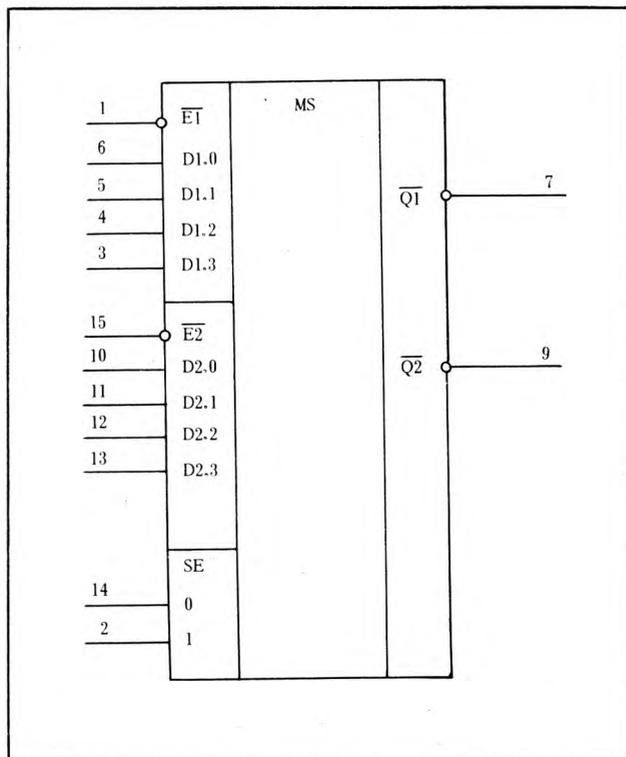
Микросхема КР1533КП19 — Конструктивно выполнена в двоярный селектор-мультиплексор 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

Основные параметры

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более
 при выходном токе 12 мА 0,4
 при выходном токе 24 мА 0,5
 Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее, при выходном токе 2,6 мА 2,4
 Входной ток, мкА, не более
 низкого уровня / — 100 /
 высокого уровня 20
 Ток потребления, мА, не более 10
 Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более
 по информационным входам 13 (18)
 по входам выбора данных 21 (24)

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 15	$\overline{E1}$, $\overline{E2}$	Вход разрешения
2, 14	SE1, SE0	Вход выбора данных
3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13	D1.3, D1.2, D1.1, D1.0, D2.0, D2.1, D2.2, D2.3	Вход информационный
7, 9	$\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$	Выход
8	OV	Общий вывод
16	U _{cc}	Вывод питания

Таблица истинности



Вход							Выход
SE1	SE0	D0	D1	D2	D3	\bar{E}	\bar{Q}
X	X	X	X	X	X	H	H
L	L	L	X	X	X	L	H
L	L	H	X	X	X	L	L
L	H	X	L	X	X	L	H
L	H	X	H	X	X	L	L
H	L	X	X	L	X	L	H
H	L	X	X	H	X	L	L
H	H	X	X	X	L	L	H
H	H	X	X	X	H	L	L

H — высокий уровень напряжения; L — низкий уровень напряжения; X — безразличное состояние (H или L)

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533ЛИ1

Микросхема КР1533ЛИ1 — четыре логических элемента «2И» — конструктивно выполнена в 14-выводном пластмассовом корпусе 201.14-1.

Основные параметры

Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее при выходном токе высокого уровня /—0,4/ мА 2,5

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более

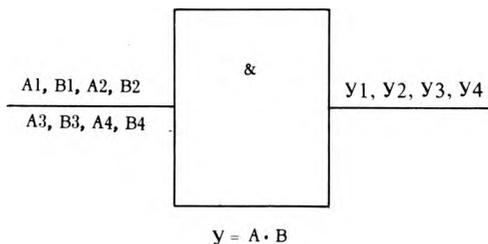
при выходном токе низкого уровня 4 мА 0,4

при выходном токе низкого уровня 8 мА 0,5

Входной ток высокого (низкого) уровня, мкА, не более 20 (|—200 |)

Ток потребления при высоком (низком) уровне выходного напряжения, мА, не более 2,4(4)

Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более 10(14)



Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 2, 4, 5, 9, 10, 12, 13	A1, B1, A2, B2, A3, B3, A4, B4	Вход информационный
3, 6, 8, 11	Y1, Y2, Y3, Y4	Выход
7	OV	Общий
14	U_{cc}	Вывод питания

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533КП17

Микросхема КР1533КП17 — двойной инверсный селектор-мультиплексор 4—1 с тремя устойчивыми состояниями на выходе.

Конструктивно микросхемы выполнены в 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

Основные параметры

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более

при выходном токе
12 мА 0,4
при выходном токе
24 мА 0,5

Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее при выходном токе

2,6 мА 2,4

Входной ток, мкА, не более

низкого уровня / -100 /
высокого уровня 20

Выходной ток в состоянии выключено, мкА, не более

низкого уровня / -20 /
высокого уровня 20

Ток потребления, мА, не более

..... 12

Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более

по информационным входам 13(18)

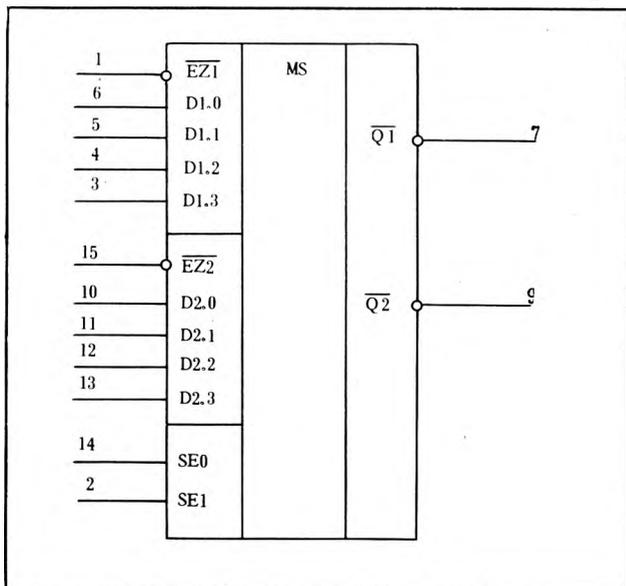
по входам выбора данных 21(24)

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 15	$\overline{EZ1}, \overline{EZ2}$	Вход разрешения снятия состояния высокого импеданса («выключено»)
2, 14	SE1, SE0	Вход выбора данных
3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13	D1.3, D1.2, D1.1, D1.0, D2.0, D2.1, D2.2, D2.3	Вход информационный
7, 9	$\overline{Q1}, \overline{Q2}$	Выход
8	OV	Общий вывод
16	U_{cc}	Вывод питания

Таблица истинности

Вход							Выход
SE1	SE0	D0	D1	D2	D3	\overline{EZ}	\overline{Q}
X	X	X	X	X	X	H	Z
L	L	L	X	X	X	L	H
L	L	H	X	X	X	L	L
L	H	X	L	X	X	L	H
L	H	X	H	X	X	L	L
H	L	X	X	L	X	L	H
H	L	X	X	H	X	L	L
H	H	X	X	X	L	L	H
H	H	X	X	X	H	L	L

H — высокий уровень напряжения, L — низкий уровень напряжения, X — безразличное состояние (H или L), Z — состояние высокого импеданса



УДК 621.049.77

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КН1414УЛ1

Разработанная ИС представляет собой четырехканальный формирователь тока записи и усилитель считывания с устройством защиты записи.

Предназначена для использования в составе накопителя цифровой информации на магнитных дисках с магнитными головками, имеющими отвод от середины.

В состав ИС входят четыре дифференциальных формирователя тока записи, четыре входных усилителя считывания, переключатель каналов, переключатель режимов, узел защиты записи, выходной дифференциальный усилитель считывания.

ИС изготовлена по планарно-эпитаксиальной пленке толщиной 5 мкм. Выполнена в металлокерамическом корпусе типа Н06 24—2В с планарным расположением выводов.

Типовая схема включения представлена на рисунке.

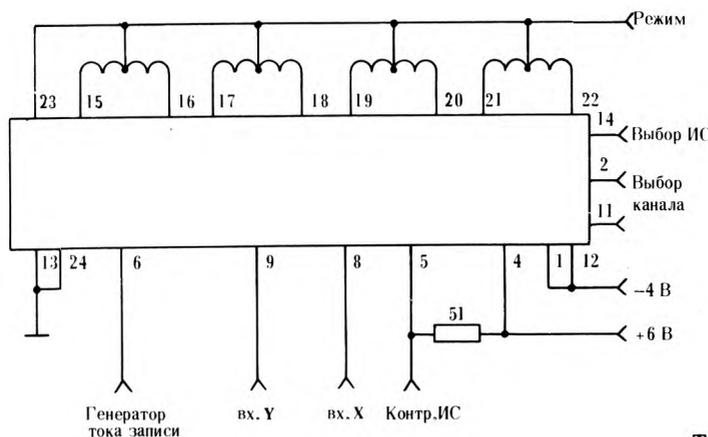


Схема включения КН1414УЛ1

Входная информация записи подается на контакты 8,9 в виде дифференциальных импульсов: высокий уровень — минус 0,4 В, низкий уровень — минус 0,85 В.

В режиме считывания с выводов 8,9 снимается усиленное напряжение с одного из 4-х каналов. Выбор каналов осуществляется подачей кода с уровнями ЭСЛ на контакты 2,11 нс в соответствии с таблицей.

Включение ИС из ждущего состояния в рабочее осуществляется замыканием вывода 14 на корпус. Переключение режимов осуществляется коммутацией вывода 23:

«считывание» — вывод 23 замкнут на корпус,

«запись» — вывод 23 подключен к источнику 3,5 В.

Средние отводы магнитных головок подключены к 23 выводу. ИС работает в температурном режиме от —10 до 85°С.

Таблица выводов

Номер вывода	Назначение
1,12	Напряжение питания —4 В
2,11	Выбор канала
4	Напряжение питания +6 В
5	Контроль ИС
6	Ток записи
8,9	Вход/выход информации
13,24	Корпус
15,16	МГ канал 1
17,18	МГ канал 3
19,20	МГ канал 0
21,22	МГ канал 2
23	Режим ИС
3,7,10	Свободные

Номер канала	Код на выводе	
	11	2
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Основные параметры

Ток потребления от источника 4 В, мА	
в режиме записи	не более 65
в режиме ожидания	не более 40
Ток потребления от источника 6 В, мА	
в режиме считывания	не более 20
в режиме ожидания	не более 5
Ток записи, мА	
высокого уровня	от 38 до 42
низкого уровня	не более 2
Ток по выводу 5, мА	не более 30
Длительность фронта тока записи при $I_z = 40$ мА, нс	не более 15
Верхняя граничная частота, МГц	не менее 35
Дифференциальный коэффициент усиления напряжения	от 32 до 50
Коэффициент ослабления синфазного напряжения, дБ	не менее 60
Спектральная плотность шума, приведенного ко входу, нВ/√Гц	не более 2
Входное сопротивление дифференциальное, Ом	от 700 до 1000

Ю.М.Григорьев

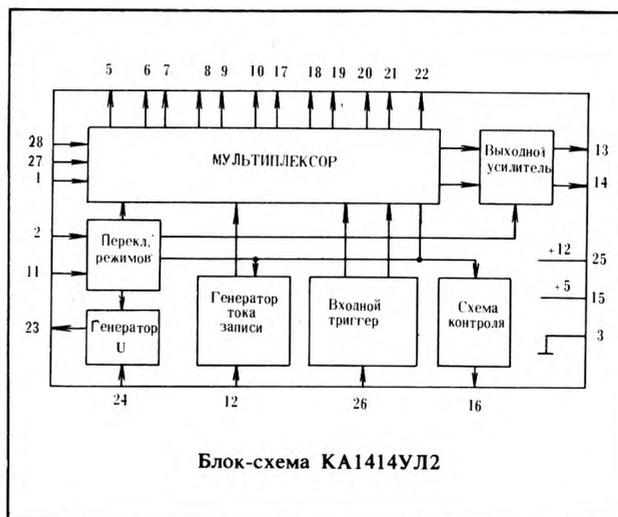
УДК 621.049.77

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КА1414УЛ2

Разработана интегральная микросхема КА1414ЛУ2 — новая шестиканальная ИС для применения в накопителях цифровой информации на магнитных дисках. Интегральная микросхема (см. рисунок) обеспечивает усиление сигнала от любой из шести магнитных головок со средним отводом; формирование тока записи с короткими фронтами; переключение в режимы: «ожидание», «запись», «считывание», «формирование сигнала ошибки для защиты информации при записи».

Управление ИС обеспечивается импульсами с уровнями ТТЛ. Напряжение питания 5 В, 12 В ±10%. Температурный диапазон от -10 до 70°C.

Средний отвод магнитных головок соединен с выводом 23.



Блок-схема КА1414УЛ2

Таблица выводов

Номер вывода	Назначение
1	Выбор канала 0
2	Выбор ИС
3	Корпус
4	Свободный
5—6	Вход/выход МГ канал 0
7—8	Вход/выход МГ канал 1
9—10	Вход/выход МГ канал 2
11	Выбор режима
12	Управление током записи
13—14	Выход усилителя считывания
15	Напряжение питания +5 В
16	Выход схемы контроля
17—18	Вход/выход МГ канал 3
19—20	Вход/выход МГ канал 4
21—22	Вход/выход МГ канал 5
23	Напряжение средней точки
24	Управление средней точки
25	Напряжение питания +12 В
26	Вход усилителя записи
27	Выбор канала 2
28	Выбор канала 1

Основные параметры

Входное сопротивление, кОм более 2
 Спектральная плотность шума, приведенная ко входу, нВ/√Гц менее 2,1
 Коэффициент усиления дифференциальный при $f_1 = 1$ МГц, $R_n = 1$ кОм 80—120
 Полоса пропускания по уровню 0,7 МГц 30
 Коэффициент ослабления синфазного сигнала при $f_1 = 0,1$ МГц, дБ 60
 Максимальное выходное напряжение при $K_h \leq 5\%$, мВ более 500
 Ток потребления при выходном токе 50 мА, мА
 в режиме считывания
 от источника 5 В 20
 12 В 40
 в режиме записи
 от источника 5 В 20
 12 В 80
 Диапазон регулировки тока записи, мА 60
 Выходной ток высокого уровня, мА не менее 50
 Выходной ток низкого уровня, мА не более 2
 Ток в невыбранном канале не более 2
 Разность тока между каналами не более 2
 Время нарастания (спада) выходного тока записи, нс 15
 Размах дифференциального напряжения на индуктивной нагрузке, В 5,7
 Асимметрия выходных токов по времени, нс 10
 Напряжение на выходе 16 при срабатывании схемы защиты, В более 3,5

Микросхема герметизирована в пластмассовом корпусе типа 4119. 28—7, допускающем поверхностный монтаж. Габаритные размеры 18,2×12,7×3 мм. Максимальная мощность рассеивания корпуса 1,3 Вт, тепловое сопротивление кристалл—среда 65°C/Вт. Масса 2 г.

Ю.М.Григорьев

ДВЕНАДЦАТИРАЗРЯДНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ДВОИЧНЫЙ СЧЕТЧИК-ДЕЛИТЕЛЬ К503ИЕЗ

Микросхема К503ИЕЗ представляет собой 12-разрядный программируемый двоичный счетчик-делитель и предназначена для формирования временных последовательностей импульсов, управляемых внешним кодом.

Микросхема реализована по КМОП-технологии и конструктивно выполнена в 24-выводном металлокерамическом корпусе 4118.24-2

Основные электрические параметры

Напряжение питания, В	$5 \pm 10\%$
Ток потребления в состоянии покоя, мкА	не более 20
Тактовая частота, МГц	не более 10
Ток потребления на частоте 10 МГц, мА	не более 10
Ток утечки, мкА	
по входам	не более 1
по выходам	не более 3
Программируемый коэффициент деления	2-4095

Микросхема стыкуется по выходам с ТТЛ и КМОП-схемам, а по входу — с КМОП-схемами.

Основой микросхемы является 12-разрядный асинхронный двоичный счетчик, который отсчитывает N входных импульсов от своего начального состояния до заполнения (состояние — все «1»). При этом он вырабатывает командный импульс, по которому формируется выходной сигнал на выводах 8 и 9, а сам счетчик устанавливается в начальное состояние, определяемое кодом N , содержащимся в регистре хранения коэффициента деления. Коэффициент деления предварительно заносится в регистр с выводов 11...22 по сигналу «Запись».

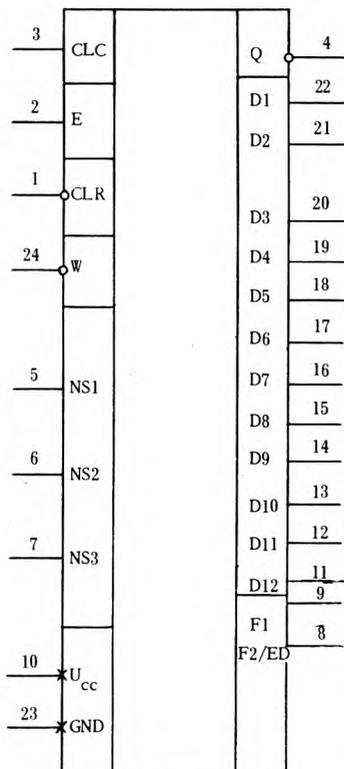


Рис. 1. Графическое обозначение микросхемы

Микросхема дополнительно содержит 12-разрядный синхронный счетчик, отсчитывающий входные импульсы от 0 до $N-1$ и выдающий текущее состояние счетчика на выводы 11—22. Циклическое обнуление синхронного счетчика происходит также по внутреннему командному импульсу. Наличие выхода мощного инвертора входных импульсов позволяет реализовать автогенератор при помощи пассивных элементов. Оба счетчика переключаются по спаду входного сигнала.

Применение микросхемы К503ИЕЗ позволит создать быстродействующие формирователи импульсов произвольной последовательности и упростить построение устройств цифровой автоматики, повысить их надежность, уменьшить габаритные размеры аппаратуры.

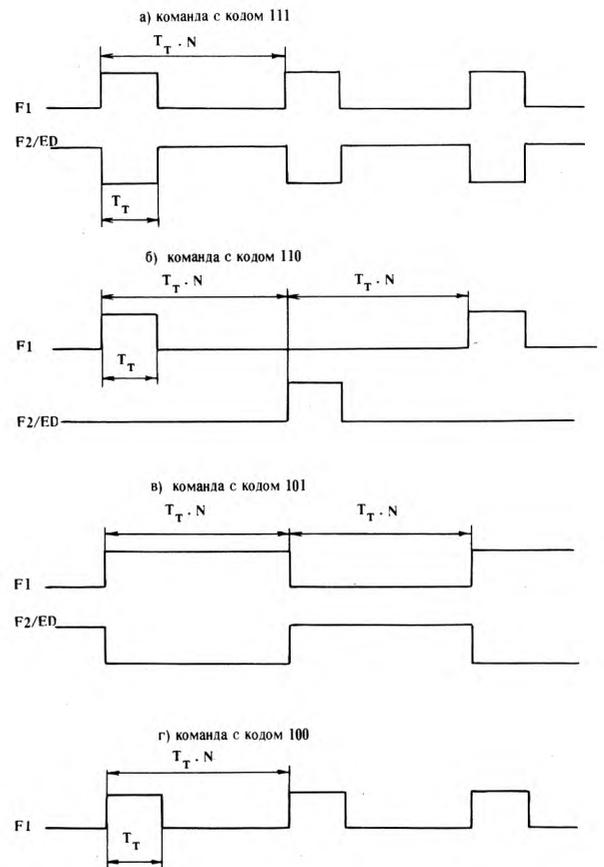


Рис. 2. Форма выходных сигналов по выводам F1 и F2/ED, T_T — период следования тактовых импульсов, N — коэффициент деления

Микросхема имеет бескорпусной вариант конструктивного оформления, выполненный на гибком полиимидном носителе.

Режимы работы микросхемы

Код команды			Назначение команды
NS3	NS2	NS1	
1	1	1	Режим программируемого делителя частоты тактовых импульсов. Коэффициент деления соответствует числу N , поданному на выходы D1...D12 в двоичном коде. Выходные сигналы выдаются по выводам F1 и F2/ED (рис. 2а)
1	1	0	Режим работы отличается от предыдущего только формой выдачи выходных сигналов (рис. 2,б)
1	0	1	Режим работы отличается от предыдущего только формой выдачи выходных сигналов (рис. 2,в)
1	0	0	Режим программируемого двоичного счетчика с выдачей выходного импульса по выводу F1 (рис. 2,г) Выдача состояний счетчика на выходы D1...D12 происходит при подаче на вывод F2/ED низкого уровня входного сигнала
0	1	0	Режим непрограммируемого 12-разрядного двоичного счетчика. Выдача состояний счетчика на выходы D1...D12 происходит при подаче на вход F2/ED низкого уровня входного сигнала. Выходной импульс по выводу F1 не выдается

Таблица выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
2	E	Разрешает поступление тактовых импульсов по высокому уровню сигнала
24	W	Записывает данные с выводов D1...D12 в регистр хранения коэффициента деления по низкому уровню сигнала
1	CLR	По низкому уровню сигнала микросхема устанавливается в исходное состояние: синхронный счетчик обнуляется, в асинхронный счетчик загружается код регистра хранения коэффициента деления, а выходы F1 и F2/ED устанавливаются в состояние низкого и высокого уровня соответственно

Номер вывода	Обозначение	Назначение
8	F2/ED	При выполнении команд с кодом 111, 110, 101 по этому выводу производится выдача выходного сигнала. При выполнении команд с кодом 100 и 010 используется в качестве управляющего входа. По низкому уровню происходит выдача состояния синхронного счетчика по выводам D1...D12, а по высокому уровню выходы D1...D12 переводятся в состояние с высоким сопротивлением и по ним в регистр хранения записываются внешние данные
9	F1	Выдача выходного сигнала
5	NS1	Трехразрядный код определяет выполняемую команду
6	NS2	
7	NS3	
11...22	D12...D1	Прием и выдача данных
3	CLC	Прием тактовых импульсов
4	Q	Служит для реализации генератора тактовых импульсов
10	U_{cc}	Служат для подачи напряжения
23	GND	Напряжение питания

В.Я.Гурин, Г.В.Земолов, Г.С.Колчин, О.В.Сопов, А.К.Трубецков

НОВАЯ
КНИГА

ЛАЗЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ.
 (Труды Физ. ин-та П. Н. Лебедева)
 М.: Наука, 1990. — 20 л.

В сборнике рассмотрены основные достижения и перспективы развития полупроводниковых лазеров с накачкой электронным пучком. Приведены новые результаты исследований по созданию активных элементов (АЭ) лазерных ЭЛТ, работающих в диапазоне от 330 нм до 5 мкм. Разработан АЭ с волоконно-оптической шайбой, отличающийся улучшенной диаграммой направленности излучения. Установлены основные признаки деградации полупроводникового материала АЭ. Исследованы возможности оптимизации структуры АЭ с использованием полупроводниковых гетероструктур.

ЛАЗЕРНЫЙ

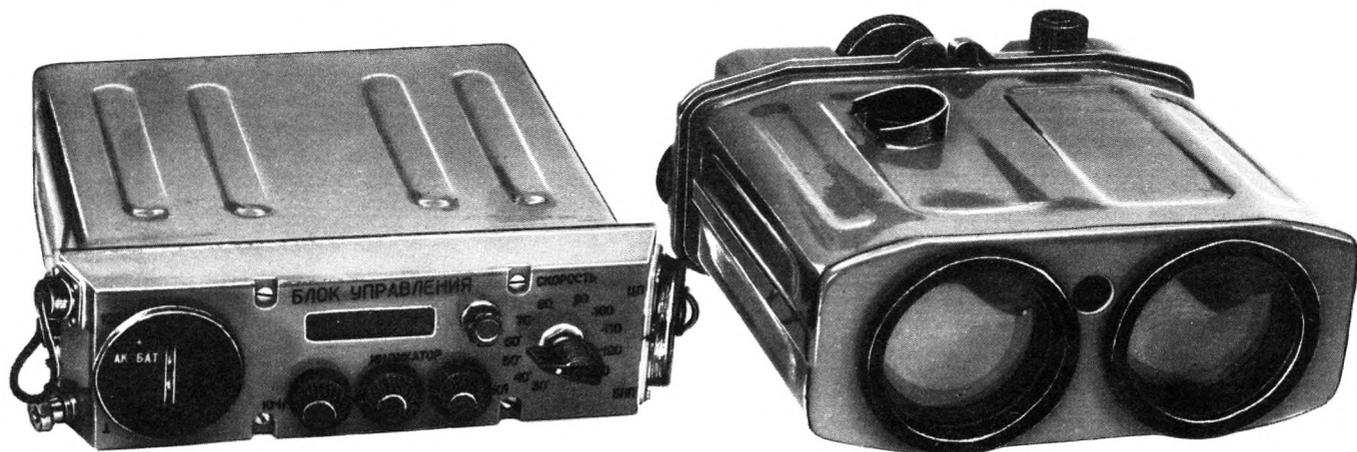
ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ

И ДАЛЬНОСТИ —

НОВОЕ СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Предназначен для дистанционного измерения скорости движения транспортных средств в плотном потоке и дальности до различных объектов.

Характеризуется пространственной селекцией транспортных средств, высокой точностью измерения, малым временем измерения, большим ресурсом работы.



Прибор состоит из приемопередающего блока и блока управления, соединенных кабелем.

Приемопередающий блок представляет собой оптико-механическое устройство, которое осуществляет:

- генерацию лазерного излучения полупроводниковым лазером на длине волны 0,9 мкм,
- прием и фильтрацию отраженного сигнала,
- первичную обработку принимаемого сигнала.

Блок управления осуществляет:

- синхронизацию и управление работой прибора,
- арифметико-логическое преобразование поступающей информации в соответствии с принятым алгоритмом,

- выдачу сигнала превышения скорости,
- индикацию дальности или скорости.

Измеритель скорости и дальности

- может работать автономно при питании от батареи 10Д-055С или от бортовой сети автомобиля,

- не создает радиопомех,
- устойчив к воздействию электромагнитного излучения радио- и оптического диапазона.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Диапазон измеряемых скоростей	0—200 км/ч
Максимальная дальность действия	250 м
Погрешность измерения скорости в диапазоне дальности	
5—150 м	±2 км/ч
150—250 м	±4 км/ч
Погрешность измерения дальности	±(2+0,005Д) (Д — дальность)
Время готовности	10 с
Ресурс	1 · 10 ⁶ циклов
Питание прибора	постоянное, 12±2 В
Габариты	
приемопередающего блока	220×187×85 мм
блока управления	210×205×56 мм
Масса	
приемопередающего блока	2,0 кг
блока управления (без батареи)	1,2 кг

УДК 621.383.5

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ С ПЕРЕНОСОМ ЗАРЯДА СЕРИИ К1200

Предназначены для использования в качестве формирователей видеосигнала в телевизионных системах.

Линейные микросхемы (типа ЦЛ) применяются в сканирующих устройствах или для считывания информации с движущихся объектов (например, для считывания текстов или контроля размеров и отклонений от заданных параметров движущихся предметов).

Отличительной чертой микросхемы К1200ЦЛ1 является наличие антиблуминга, что позволяет использовать его в случаях, когда имеют место локальные пересветки.

Микросхемы К1200ЦЛ2 и К1200ЦЛ4 имеют улучшенную по сравнению с ЦЛ1 характеристику спектральной чувствительности в коротковолновой области спектра. Это дает возможность применять их для считывания информации в синем и зеленом цветах.

Микросхема К1200ЦЛ4 имеет на одном кристалле 4 фоточувствительные структуры, расположенные параллельно друг другу с шагом 0,57 мм. Конструкция прибора позволяет выполнять его в спектрзональном варианте, размещая полосковые оптические фильтры внутри корпуса на отдельной стеклянной

подложке или на внутренней поверхности прозрачной крышки. В таком варианте прибор позволяет получать информацию одновременно в четырех спектральных диапазонах.

Матричные микросхемы с кадровым переносом (типа ЦМ) предназначены для преобразования двумерных изображений в электрический сигнал. Возможные области применения микросхемы К1200ЦМ1 — системы технического зрения, робототехника.

Микросхемы К1200ЦМ7 и К1200ЦМ15 предназначены для применения в телевизионных системах вещательного стандарта. Микросхема К1200ЦМ15 с объемным каналом переноса обеспечивает улучшенные параметры при низком уровне освещенности по сравнению с микросхемой К1200ЦМ7. Прибор имеет повышенную чувствительность в синей области спектра, обусловленную незакрытыми поликремнием участками в фоточувствительной ячейке.

Фоточувствительная микросхема 14М с кадровым переносом предназначена для специальной телевизионной аппаратуры с повышенной разрешающей способностью, например, для решения навигационных и фотометрических задач. Прибор выпускается в охлажда-

Основные типовые характеристики фоточувствительных микросхем с переносом заряда серии К1200

	ЦЛ1	ЦЛ2	ЦЛ4	ЦМ1	ЦМ7	ЦМ15	ФППЗ 14М
Число фоточувствительных элементов	1000×1	2000×1	2048×4 ⁽³⁾	230×288	360×580	442×580	800×800
Число регистров переноса заряда	1	2	2—4	—	1	—	2
Число фаз управления	3	3	3	3	3	3	3
Размер фоточувствительного элемента, мкм ²	15×15	12×10	15×15	21×27	19×18	19×22	15×15
Шаг фоточувствительных элементов по горизонтали, мкм	15	12	15	—	79	—	15
Коэффициент передачи модуляции на половине предельной пространственной частоты, %	50	55	50	55	55	60	40
Сигнал насыщения, В	2	1	2	0,2	0,1	0,2	0,1
Интегральная чувствительность, В/лк	2·10 ⁻²	1·10 ⁻²	1,5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	10 ⁻²	5·10 ⁻²	0,4
Неравномерность темнового сигнала, % (мВ)	2	2	2	1	7	7	12
Относительная неравномерность выходного сигнала, %	8	7	10	—	10	10	—
Рабочая частота регистра, МГц	0,25	0,25	0,25	4,5	7	8,5	0,64
Диапазон спектральной чувствительности (по уровню 0,1), мкм	0,5—1,1	0,36—1,1	0,5—1,1	0,5—1,1	0,5—1,1	0,4—1,1	0,5—1,1

емом металло-стеклянном корпусе типа КВТО-2 с двухкаскадной термобатареей типа «Пленка-3» на основе эффекта Пельтье.

В таблице приведены основные характеристики линейных и матричных микросхем. Коэффициент передачи модуляции линейных микросхем и интегральная чувствительность линейных и матричных микросхем ЦМ1, ЦМ7 и ЦМ15 приводятся для источника типа А, время накопления в линейных микросхемах — 4 мс.

В матричных микросхемах ЦМ1, ЦМ7 и ЦМ15 коэффициент передачи модуляции измерен с ИК фильтром.

УДК 621.383.5

ЛИНЕЙНАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ ТИПА К1200ЦЛ7

Предназначена для прецизионной контрольно-измерительной аппаратуры при определении геометрических размеров и анализе спектра.

Микросхема типа К1200ЦЛ7 является представителем линейных фоточувствительных микросхем с зарядовой связью второго поколения со скрытым каналом и обладает всеми достоинствами, присущими этому виду микросхем: малой неэффективностью переноса заряда порядка 10^{-5} , высокой чувствительностью, быстродействием. Отличительной особенностью микросхемы является сильновытянутая прямоугольная форма фотоячейки, площадь которой в 40 раз превышает площадь ячейки конструктивно-технологического аналога К1200ЦЛ5.

Изменение размеров фотоячейки упростило конструкцию фоточувствительного накопителя. Вместо трехзатворной системы — барьерный, накопительный и разрешающий затворы, — использованной в конструкции К1200ЦЛ5, применена однозатворная система с разрешающим затвором, так как в микросхеме К1200ЦЛ7 накопителем является сам фотодиод.

Основные характеристики

Число фоточувствительных элементов в строке	1024
Размер фоточувствительной ячейки, мкм	13×500
Шаг фоточувствительных элементов, мкм	13
Длина фоточувствительной области, мм	13,29
Частота вывода сигнала, МГц	10
Число фаз управления	2
Уровни питающих напряжений, (импульсные, постоянные), В	до +20
Сигнал насыщения, В	1,4
Коэффициент передачи модуляции на пространственной частоте 19 пар.лин./мм, %	45
Монохроматическая чувствительность, В/Вт \cdot м ⁻²	16
Относительная неравномерность выходного сигнала, %	не более 25
Относительная неравномерность темнового сигнала при времени накопления 20 мс, %	не более 5
Габаритные размеры, мм	$32 \times 14,7 \times 8,6$
Масса, г	не более 5,7

Е.В.Костюков, А.Г.Огородников, Л.С.Турилина

Для фоточувствительной микросхемы 14М использовался источник света с длиной волны 670 нм, время накопления 1 с.

Для микросхемы ЦМ1 измерение неравномерности темнового сигнала производится при времени накопления 100 мс.

Л.М.Василевская, А.Н.Марков, С.Н.Нарышкин,
З.В.Павлова, Г.Я.Пригожин

УДК 621.383.5

ЛИНЕЙНАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ ТИПА К1200ЦЛ5

Предназначена для преобразования оптического изображения видимой области спектра в электрический сигнал и может быть с успехом использована при создании высокочувствительных быстродействующих сканирующих систем с аналоговой и цифровой обработкой сигнала.

Микросхема типа К1200ЦЛ5 является представителем второго поколения линейных фоточувствительных микросхем с зарядовой связью со скрытым каналом.

Основные характеристики

Число элементов разложения	1024
Размер фоточувствительной ячейки, мкм	13×13
Шаг фоточувствительных элементов, мкм	13
Длина фоточувствительной области, мм	13,29
Частота вывода сигнала, МГц	20
Интегральная чувствительность, В/лк	$8 \cdot 10^{-7}$
Число фаз управления	2
Уровни питающих напряжений (импульсные, постоянные), В	до +20
Сигнал насыщения, В	1,4
Коэффициент передачи модуляции на пространственной частоте 10 пар.лин./мм, %	45
Габаритные размеры, мм	$32 \times 14,7 \times 8,6$
Масса, г	5,7

По сравнению с поверхностным каналом (например в микросхеме К1200ЦЛ1) использование скрытого канала обеспечивает значительное снижение неэффективности переноса заряда до 10^{-5} , более чем на порядок повышение интегральной чувствительности, высокое быстродействие (до 20 МГц вместо 3 МГц у К1200ЦЛ1) позволяет реализовать двухфазную вместо традиционной трехфазной систему управления. Технология изготовления микросхем со скрытым каналом включает ряд новых по сравнению с поверхностным каналом, нетрадиционных технологических операций: локальное окисление кремния, комбинированную подзатворную систему окисел-нитрид, низкотемпературное термическое окисление, имплантацию высокоэнергетическими ионами мышьяка и прецизионными ионами бора для формирования ям и барьеров скрытого канала $n-p-n$ -типа на подложке p -кремния. Кроме того, используются нетрадиционные методы защиты микросхемы от паразитной засветки.

Е.В.Костюков, З.В.Павлова, Л.С.Турилина, М.А.Шитова

УДК 621.383.5

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА K1124ПУ1 — МНОГОУРОВНЕВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ПЗС

Микросхема содержит три четырехуровневых и шесть двухуровневых КМОП преобразователей логических сигналов в сигналы фазных электродов приборов с зарядовой связью (ПЗС). Может осуществлять управление всеми секциями среднеформатных фотоувеличителей ПЗС (например, типа 1200ЦМ1), секциями накопления и хранения крупноформатных ФПЗС (например, K1200ЦМ12) и электродами ряда других ПЗС (например, линейных). Предназначена для создания простых экономичных миниатюрных телекамер прикладного телевидения и других устройств. Рекомендуется к использованию совместно с КМОП формирователями импульсов для телекамер типа K1124АП1 или K1124АП2. Выпускается в металлокерамическом корпусе 405.24-2 с 24 планарными выводами.

Рассчитана на эксплуатацию в диапазоне температур от -60 до 70°C . Механические воздействия — по табл. 1 ГОСТ 1825-83, линейное ускорение — до $500g$.

УДК 621.383.5

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА K1124АП1 — ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ТЕЛЕКАМЕР НА ОСНОВЕ ФПЗС

Микросхема содержит КМОП многофункциональный перестраиваемый формирователь импульсов управления матричными фотоувеличителями приборами с зарядовой связью (ФПЗС) и служебных импульсов для телевизионных систем. Предназначена для создания простых экономичных миниатюрных телекамер прикладного телевидения для работы в различных режимах (вещательный, малокадровый, ждущий и др.). Непосредственно совместима с отечественными трехфазными ФПЗС с кадровым переносом, имеющими 580 или 576 строк и 360 элементов в строке. Может использоваться с ФПЗС с другим числом элементов в строке. Формирует синхронизирующие и уравнивающие импульсы строк и полей приемника с временными соотношениями по ГОСТ 7845-79 системы вещательного телевидения и другие служебные сигналы. Запускается

Электрические параметры

Напряжение питания, В	
первое, U_{cc1}	9—15,5
второе, U_{cc2}	9— U_{cc1}
третье, U_{cc3}	от 0 до -5
четвертое, U_{cc4}	4,5— U_{cc1}
Напряжение выходное четырехуровневое, В	
низкий уровень, нижнее значение, U_{oLL}	0—1
низкий уровень, верхнее значение, U_{oLH}	от $U_{cc3}-1$
	до $U_{cc3}+1$
высокий уровень, нижнее значение, U_{oHL}	от $U_{cc2}-1$
	до $U_{cc3}+1$
высокий уровень, верхнее значение, U_{oHH}	от $U_{cc1}-1$
	до U_{cc1}
Напряжение входное, В	
низкий уровень, U_{iH}	от $-0,2$ до $+0,4$
высокий уровень, U_{iH}	от 4,5 до $U_{cc4}-1$
Частота входного напряжения, f , МГц:	
при $CL = 20$ пФ	не более 7
при $CL = 100$ пФ	не более 5
при $CL = 2000$ пФ	не более 0,5
Время задержки включения (выключения), t_{DLH} (t_{DHL}), нс	
при $CL = 100$ пФ	не более 100
Время нарастания (спада) выходного импульса, t_r (t_f), нс	
при $CL = 100$ пФ	не более 50
при $CL = 2000$ пФ	не более 400
Ток потребления, мА	
статический, I_{cc}	не более 0,1
динамический, I_{ccAV}	не более 33
Потребляемая мощность, P , Вт	не более 0,5

И.Н.Волков, В.А.Володин, И.В.Горелов, Н.К.Настюкова

парафазными тактовыми импульсами частотой до 21 МГц, а также в автоколебательном режиме. Выпускается в металлокерамическом корпусе 4134.48-2 с 48 планарными выводами. Рассчитана на эксплуатацию в диапазоне температур от -60 до 70°C . Механические воздействия — по табл. 1 ГОСТ 1825-83, линейное ускорение — до $500g$.

Электрические параметры

Напряжение питания, В	$12 \pm 10\%$
Выходное напряжение, В	
высокого уровня, U_{oH}	не менее $U_{cc}-1$
низкого уровня, U_{oL}	не более 1
Входное напряжение, В	
высокого уровня U_{iH}	от $U_{cc}-1$
	до $U_{cc}+0,2$
низкого уровня, U_{iL}	от $-0,2$ до $+0,5$
Частота, МГц	
входного сигнала, f	до 21
сигналов управления регистром ФПЗС, f_0	до 7
Ток потребления, мА	
статический, I_{cc}	не более 0,5
динамический, I_{ccAV}	не более 50
Емкость нагрузки, CL , пФ	не более 20

И.Н.Волков, В.А.Володин, Е.В.Становская

ЛИНЕЙНАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ ТИПА К1200ЦЛ6

Предназначена для преобразования оптического изображения видимой области спектра в электрический сигнал и может быть использована при создании высокочувствительных быстродействующих сканирующих систем с аналоговой и цифровой обработкой сигнала.

Микросхема типа К1200ЦЛ6 является представителем второго поколения линейных фоточувствительных микросхем с зарядовой связью со скрытым каналом.

Число элементов разложения	2048
Размер фоточувствительной ячейки, мкм	13×13
Шаг фоточувствительных элементов, мкм	13
Длина фоточувствительной области, мм	26,62
Частота вывода сигнала, МГц	10
Интегральная чувствительность, В/лк	$8 \cdot 10^{-3}$
Число фаз управления	2
Уровни питающих напряжений (импульсные, постоянные), В	до +20
Сигнал насыщения, В	1,4
Коэффициент передачи модуляции на пространственной частоте 19 парлин./мм, %	45
Габаритные размеры, мм	41,5×14,7×8,6
Масса, г	13

По сравнению с поверхностным каналом (например, в микросхеме К1200ЦЛ2) использование скрытого канала обеспечивает значительное снижение неэффективности переноса заряда до 10^{-5} , повышение в 4 раза интегральной чувствительности, значительно более высокое быстродействие (10 МГц вместо 3 МГц) позволяет реализовать двухфазную вместо традиционной трехфазной систему управления.

*Е.В.Костюков, А.Г.Огородников, З.В.Павлова,
Л.С.Турилина, М.А.Шитова*

МАТРИЧНАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ ТИПА К1200ЦМ14

Для формирования в видеокамере сигналов изображения разработана первая отечественная строчно-кадровая матрица.

Наличие устройства антиблуминга, низкая инерционность, высокая чувствительность, две фазы для управления матрицей и две для управления выходного регистра позволяют быстро и качественно осуществить формирование сигналов изображения.

Тонкий слой поликремния в МОП-накопителе приближает микросхему к фотодиодным конструкциям по чувствительности в синей области видимого диапазона спектра. Использование в качестве разрешающего затвора части фазного электрода, лежащей над поверхностным каналом между скрытым каналом вертикального регистра переноса и фоточувствительной МОП-ячейкой, а также использование конструкции самосовмещенного устройства антиблуминга позволило

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА ТИПА 1200ЦМ8

Предназначена для преобразования оптического изображения в электрический видеосигнал и применяется в ТВ-аппаратуре.

Микросхема представляет собой матрицу с кадровым накоплением с числом элементов разложения 288×256 и размером элемента разложения 24×18 мкм.

Оригинальная конструкция матрицы расширяет функциональные возможности микросхемы, позволяя проводить обработку изображений непосредственно на кристалле в аналоговой форме. В зависимости от тактовых диаграмм микросхема функционирует как в стандартном телевизионном режиме, так и в режиме межкадрового вычитания изображений.

Межкадровая обработка изображений, заключающаяся в накоплении, одновременном считывании и вычитании на внешнем устройстве видеосигналов двух последовательных кадров, позволяет микросхеме 1200ЦМ8 выделять нестационарные малоконтрастные объекты на сложном неподвижном фоне высокого контраста.

Микросхема выпускается в 24-выводном металлокерамическом корпусе с оптическим окном с вертикальным расположением выводов.

Напряжение насыщения выходного сигнала, В	0,25
Монохроматическая чувствительность, $\text{В} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$	0,8
Неравномерность выходного сигнала, %	3
Неравномерность темнового сигнала, %	1
Коэффициент ослабления сигналов вычитаемых полей, отн.ед.	15
Коэффициент передачи модуляции, %	50
Спектральный диапазон, мкм	0,4—1,1
Диапазон тактовых частот регистра, МГц	0,1—5
Интервал рабочих температур, °С	от -60 до +60
Масса, г	5
Габаритные размеры, мм	29,2×14,7
Шаг выводов, мм	2,5

Г.Д.Алексеев, С.И.Бездетков, А.С.Скрылев

уменьшить размер ячейки по сравнению с традиционными конструкциями. Наличие p -кармана в вертикальном регистре позволяет подавить расплывание изображения. Выходное устройство выполнено по схеме двухкаскадного истокового повторителя, истоки обоих каскадов объединены, затвор нагрузочных транзисторов — общий, а сток каждого активного транзистора и транзистора сброса выведены отдельно, что обеспечивает оптимальную подстройку режима.

Параметры приведены для времени накопления 40 мс.

Число эффективных элементов:	
по горизонтали	440
по вертикали	576
Размер ячейки, мкм	21,8×12,6
Интегральная чувствительность В/лк · С	0,9
Относительная неравномерность темнового сигнала, %	не более 10
Разрешение, ТВ лин.	330
Относительная чувствительность	
в синей области спектра	0,25—0,53
в зеленой	0,6—1,0
в красной	0,93—1,0

С.Б.Бахвалов, Л.А.Васильева, Е.В.Костюков

УДК 621.383.5

СЕРИЯ БЕСКОРПУСНЫХ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ТИПА Б1200ЦМЗ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СБОРОК

Предназначена для преобразования движущегося оптического изображения в электрический сигнал в составе гибридных интегральных микросборок.

Фоточувствительные микросхемы с зарядовой связью работают в режиме временной задержки и накопления (ВЗН) заряда.

Тактовых площадок относительно выходного сдвигового

регистра. Это позволяет монтировать микросхемы в гибридные модули в шахматном порядке с гарантированным перекрытием фоточувствительных областей.

Микросхемы выпускаются в бескорпусном варианте или в металлокерамическом 24-выводном корпусе.

Кроме основного режима работы микросхемы позволяют осуществить дополнительные режимы:

Основные параметры

	Б1200ЦМ3-3 4-3	Б1200ЦМ5-3 6-3	Б1200ЦМ9-3 10-3
Размер кристалла, мм	5,36×2,2	5,36×2,6	5,45×2,7
Число элементов разложения в матричной секции	3400	10700	32700
вдоль регистров	108	168	256
перпендикулярно регистрам	32	64	128
Размер элемента разложения, мкм			
вдоль регистра	39	24	16
перпендикулярно регистру	30	21	12
Экспозиция насыщения (при $\lambda=0,66$ мкм), Дж/см ²	(2—4) · 10 ⁻⁷	(2—4) · 10 ⁻⁷	(1—2) · 10 ⁻⁷
Выходной сигнал при экспозиции насыщения, $R_n = 5$ кОм, В	1,2	0,8	0,3
Коэффициент передачи модуляции	0,6 (8 пар/лин/мм)	0,5 (12 пар/лин/мм)	0,4 (24 пар/лин/мм)
Диапазон рабочих частот регистра, МГц	0,05...1,0	0,05...1,5	0,05...4,0
Спектральный диапазон, мкм	0,4...1,1	0,4...1,1	0,4...1,1

Конструктивно схема выполнена на держателе из оксидированного алюминия, на который наклеены ПЗС-кристалл и сигналовая плата с контактными площадками для присоединения внешних выводов.

ПЗС-кристалл содержит:

- фоточувствительную матричную область;
- выходной сдвиговый регистр;
- входной сдвиговый регистр;
- устройство ввода информации в регистр;
- устройства вывода информации из регистра.

Выпускаются три типа микросхем этой серии, отличающиеся размером элемента разложения и числом элементов в матричной секции при идентичном функциональном назначении.

Каждый из типов микросхем имеет две конструктивные разновидности, отличающиеся расположением кон-

кадровый, при котором матричная секция совмещает в себе функции накопления и буферной памяти (этот режим используется для регистрации квазине-подвижного изображения);

импульсной засветки для регистрации неподвижных изображений (схема управления — аналогичная режиму ВЗН, а длительность засветки должна быть менее длительности периода тактовых импульсов в секции накопления);

линии задержки последовательно-параллельно-последовательного типа для аналоговой и цифровой информации с суммарной емкостью (3400 и 11000 элементов);

линии задержки последовательного типа.

УДК 621.382.3:546.28

КРЕМНИЕВЫЙ МОЩНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ $n-p-n$ -ТРАНЗИСТОР ТИПА КТ9131А

Предназначен для работы в линейных широкополосных передатчиках в диапазоне частот 1,5—30 МГц. Изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно оформлен в металлокерамическом корпусе КТ-19Б. Масса транзистора не более 30 г.

Транзистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до 125°C на корпусе, при вибрационных нагрузках на частоте от 1 до 5000 Гц с ускорением до 40 g , многократных ударных нагрузках до 150 g (длительность от 1 до 5 мс), одиночных ударных нагрузках до 1500 g (длительность от 0,1 до 2 мс) и линейных нагрузках до 500 g .

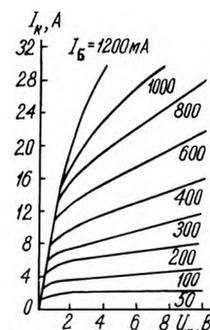
Основные типовые характеристики транзистора при $t_{\text{корп}} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ приведены на рисунках, а электрические параметры (при той же температуре) и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

- Выходная мощность, $P_{\text{вых}}$, при $U_n = 50 \text{ В}$, $f = 30 \text{ МГц}$, не менее 400
- Выходная мощность в пике огибающей, $P_{\text{вых,п.о.}}$, при $U_n = 50 \text{ В}$, $f = 30 \text{ МГц}$, не менее 400
- Коэффициент усиления по мощности при $U_n = 50 \text{ В}$, $P_{\text{вых}} = 400 \text{ Вт}$, $f = 30 \text{ МГц}$, $K_{\text{ур,п.о}}$, не менее 10
- Коэффициент усиления по мощности в пике огибающей, $K_{\text{ур,п.о}}$, при $U_n = 50 \text{ В}$, $P_{\text{вых,п.о.}} = 400 \text{ Вт}$, $f = 30 \text{ МГц}$, не менее 10
- Коэффициент комбинационных составляющих третьего и пятого порядка, M_3 и M_5 при $U_n = 50 \text{ В}$, $P_{\text{вых,п.о.}} = 400 \text{ Вт}$, $f = 30 \text{ МГц}$, дБ, не более -30
- КПД коллектора, η_k , при $U_n = 50 \text{ В}$, $P_{\text{вых}} = 400 \text{ Вт}$, $f = 30 \text{ МГц}$, %, не менее 60
- КПД в пике огибающей, $\eta_{k,п.о.}$, при $U_n = 50 \text{ В}$, $P_{\text{вых,п.о.}} = 400 \text{ Вт}$, $f = 30 \text{ МГц}$, %, не менее 40
- Емкость, пФ, не более
 - коллекторного перехода, C_k , при $U_{кб} = 50 \text{ В}$, $f = 1 \text{ МГц}$ 800
 - эмиттерного перехода, $C_э$, мФ при $U_{эб} = 1 \text{ В}$, $f = 100 \text{ кГц}$, не более 0,01
- Граничная частота коэффициента передачи тока, $f_{гр}$, МГц, при $U_{кз} = 50 \text{ В}$, $I_k = 8 \text{ А}$, не менее 100
- Статический коэффициент передачи тока, $h_{21э}$ при $U_{кб} = 10 \text{ В}$, $I_k = 10 \text{ А}$, не менее 10
- Напряжение насыщения коллектор—эмиттер, $U_{кэ нас}$ при $I_k = 25 \text{ А}$, $I_б = 5 \text{ А}$, V , не более 2,5
- Обратный ток коллектор—эмиттер, $I_{кэ R}$, при $U_{кз} = 100 \text{ В}$, $R_{эб} \leq 10 \text{ Ом}$, мА, не более 200
- Обратный ток эмиттера, $I_{эб}$, при $U_{эб} = 4 \text{ В}$, мА, не более 600
- Входное полное сопротивление транзистора на большом сигнале, $Z_{вх}$, при $P_{\text{вых,п.о.}} = 400 \text{ Вт}$; $U_n = 50 \text{ В}$, $f = 300 \text{ МГц}$, Ом $0,3 + j2$

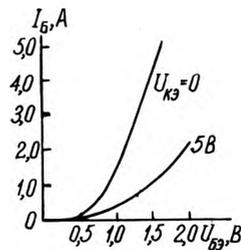
- Индуктивность, нГн, не более
 - эмиттера, $L_э$ 1,5
 - базы, $L_б$ 2,4
 - коллектора, $L_к$ 2,6
- Конструктивная емкость, пФ, не более
 - эмиттер—корпус, C_1 5,2
 - коллектор—корпус, C_2 6,0
 - база—корпус, C_3 1,5

Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} = -60$ до $t_{\text{корп}} = 125^\circ\text{C}$

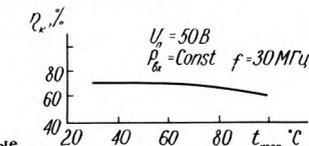
- Постоянное напряжение, В
 - коллектор—база, $U_{кб max}$ 100
 - коллектор—эмиттер, $U_{кэ R max}$, при $R_{эб} \leq 10 \text{ Ом}$ 100
 - эмиттер—база, $U_{эб max}$ 4
 - Граничное напряжение, $U_{кэ0 гр. max}$, В 55
 - Постоянный ток, А
 - коллектора, $I_k max$ 25
 - базы, $I_б max$ 7
 - Импульсный ток коллектора
 - I_k , и $I_б$, А 40
 - Постоянная рассеиваемая мощность коллектора, $P_k max$, Вт в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} (-60^\circ\text{C})$ до $t_{\text{корп}} (50^\circ\text{C})$ 350
 - при $t_{\text{корп}}$ равном 125°C 175
 - Напряжение питания, $U_n max$, В 50
 - Рабочая частота, f , МГц, 1,5...30
 - Максимально допустимый КСВН коллекторной цепи (при времени рассогласования не более 1 с, $P_{\text{вых,п.с}} = 150 \text{ Вт}$, $U_n = 50 \text{ В}$, $f = 30 \text{ МГц}$), $K_{ст} U_{max}$ 30
 - Максимальная температура перехода, t_n , $^\circ\text{C}$ 200
 - Внутреннее тепловое сопротивление, R_t , п-к, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, не более 0,425
- Область безопасной работы в статическом режиме при прямом смещении транзистора. Ограничения для активного режима: $I_k max = 30 \text{ А}$ (область I), $P_k max = 350 \text{ Вт}$ (область II), загиб ВАХ (область III); для режима отсечки: $I_{кэ R} = 200 \text{ мА}$, $R_{эб} = 10 \text{ Ом}$ (область IV)



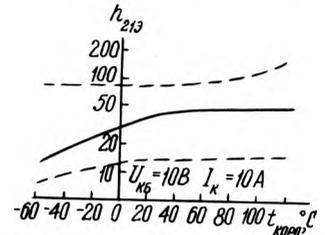
Входные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



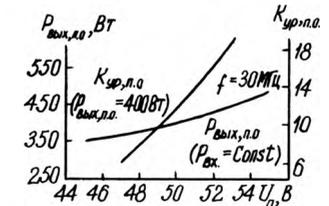
Выходные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



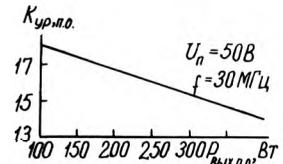
Зависимость КПД коллектора от температуры



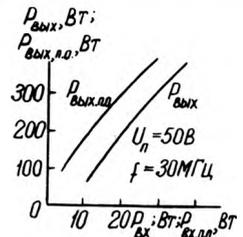
Зависимость статического коэффициента передачи тока от температуры



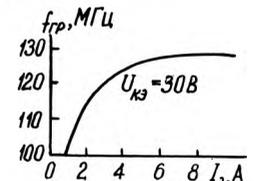
Зависимости выходной мощности и коэффициента усиления по мощности в пике огибающей от напряжения питания



Зависимость коэффициента усиления по мощности в пике огибающей от выходной мощности в пике огибающей



Зависимость выходной мощности от входной мощности и выходной мощности в пике огибающей от входной мощности в пике огибающей



Зависимость граничной частоты коэффициента передачи от тока эмиттера

А.Ф.Бобровников, Е.И.Гантман, Е.З.Мазель, Ю.А.Кузнецов, Б.Л.Перельман

УДК 621.382.333

КРЕМНИЕВЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР УСИЛИТЕЛЬНЫЙ СВЧ МАЛОШУМЯЩИЙ $n-p-n$ -ТИПА КТ682А-2, КТ682Б-2

Транзистор предназначен для работы в СВЧ малошумящем усилителе с расширенным динамическим диапазоном. Транзистор рассчитан на коэффициенты шума $K_{ш\ min}$ не более 4 дБ на частоте 3,6 ГГц с $P_{к\ max} = 350$ мВт.

Транзистор выполнен в бескорпусном исполнении на кристаллодержателе с ленточными выводами.

Транзистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до $+125^\circ\text{C}$, при вибрационных нагрузках на частоте 1—500 Гц с ускорением до 40g, многократных ударных нагрузках до 150g (длительность 1—5 мс), одиночных ударных нагрузках до 1500g (длительность 0,1—2 мс) и линейных нагрузках до 500g.

Основные характеристики транзистора приведены на рисунках, а электрические параметры при $t_{окр} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

- Обратный ток коллектора, $I_{к}$, при $U_{кб} = 10$ В, мкА, не более 1
- Обратный ток эмиттера, $I_{эб}$, при $U_{эб} = 1$ В, мкА, не более 20
- Статический коэффициент передачи тока, $h_{21э}$, при $U_{кб} = 7$ В; $I_э = 20$ мА 40
- КТ682А 80
- КТ682Б 80
- Минимальный коэффициент шума, $K_{ш\ min}$, дБ, при $U_{кб} = 7$ В; $I_э = 20$ мА, $f = 3,6$ ГГц, не более 4
- Оптимальный коэффициент усиления по мощности, $K_{у\ опт}$, дБ, при $U_{кб} = 7$ В; $I_э = 20$ мА; $f = 3,6$ ГГц, не менее 7
- Емкость коллекторного перехода, $C_{к}$, пФ, при $U_{кб} = 10$ В; $f = 30$ МГц, не более 0,9
- Емкость эмиттерного перехода, $C_{э}$, пФ, при $U_{эб} = 0$; $f = 30$ МГц, не более 4,9
- Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером, $f_{гр}$, ГГц, не менее 4,4
- Порог перегрузки биполярного транзистора, $P_{вых\ min}$, мВт, при $U_{кб} = 6$ В; $I_э = 30$ мА, не более 55
- Минимальный коэффициент шума, $K_{ш\ min}$, дБ, при $f = 65$ МГц, $R_{Г} = R_{и} = 50$ Ом, $U_{кб} = 5$ В; $I_э = 10$ мА, не более 2,0

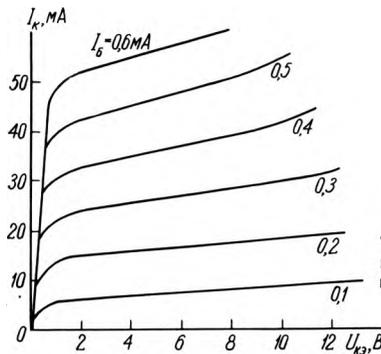
Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур окружающей среды $-60 \dots +125^\circ\text{C}$

- Напряжение, В
 - коллектор—база $U_{кб\ max}$ 10
 - эмиттер—база $U_{эб\ max}$ 1
- Постоянный ток коллектора, $I_{к\ max}$, мА 50
- Постоянная рассеиваемая мощность коллектора, $P_{к\ max}$,* при $t_{кр} = -60 \dots +60^\circ\text{C}$, Вт 0,35
- Постоянная СВЧ мощность, подающая на вход транзистора, $P_{вх\ ср\ max}$, Вт 0,05
- Температура перехода, $t_{п\ max}$, $^\circ\text{C}$ 150

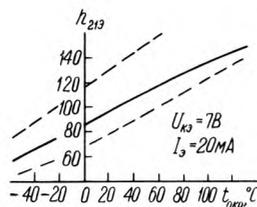
* В диапазоне температур кристаллодержателя $t_{кр}$ от 60 до 125°C максимально допустимая рассеиваемая мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{к\ max} = \frac{t_{п\ max} - t_{кр}}{R_{т\ п-кр}}$$

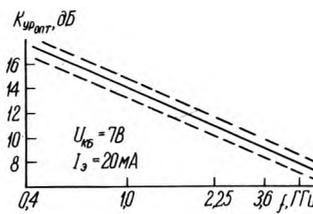
где $R_{т, п-кр}$ — тепловое сопротивление переход—кристаллодержатель, равное $250^\circ\text{C}/\text{Вт}$



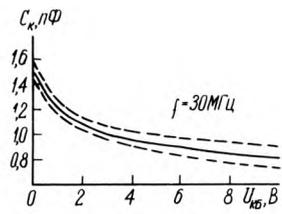
Типовые выходные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



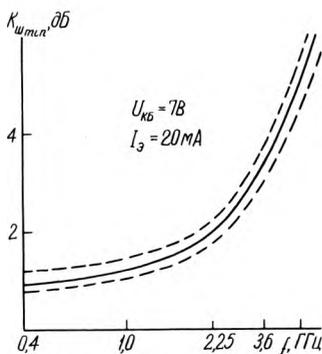
Типовые зависимости коэффициента передачи тока от температуры окружающей среды



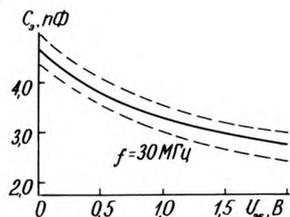
Зависимости оптимального коэффициента усиления по мощности от частоты



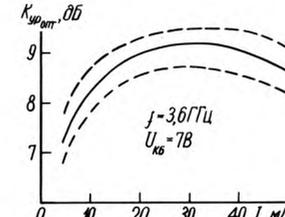
Зависимости емкости коллекторного перехода от напряжения коллектор—база



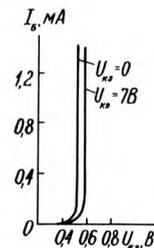
Зависимость минимального коэффициента шума от частоты



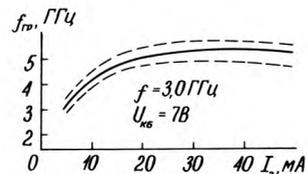
Зависимости емкости эмиттерного перехода от напряжения эмиттер—база



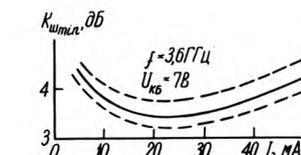
Зависимость оптимального коэффициента усиления по мощности от тока эмиттера



Типовые входные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



Зависимость граничной частоты коэффициента передачи тока от тока эмиттера



Зависимость минимального коэффициента шума от тока эмиттера

И.П. Андрухов, Т.И. Давыдова
Ю.А. Кузнецов, Б.Л. Перельман

УДК

АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫЙ ГЕНЕРАТОРНЫЙ СВЧ ЛАВИННО-ПРОЛЕТНЫЙ С БАРЬЕРОМ ШОТКИ ДИОД ТИПА AA730A-AA730I

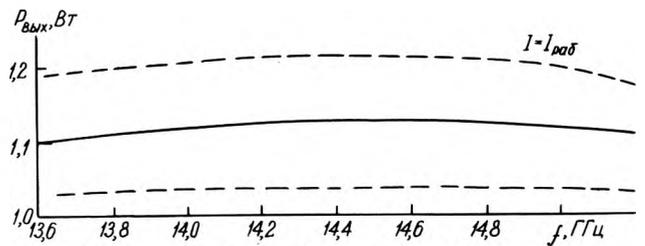
Предназначен для работы в генераторах и усилителях 2—3-сантиметрового диапазона длин волн.

Диод изготавливается по эпитаксиальной технологии. Диод оформлен в металлокерамическом корпусе КД-110Б.

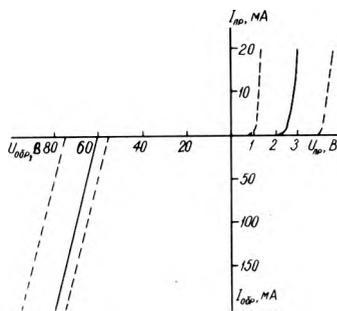
Масса диода не более 0,2 г.

Диод рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до 85°C , при вибраторных нагрузках от 10 до 5000 Гц с ускорением до 40g, многократных ударных нагрузках до 150 g (длительность от 1 до 5 мс), одиночных ударных на-

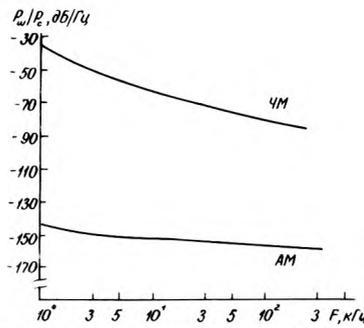
грузках до 1500 g (длительность от 0,1 до 2 мс) и линейных нагрузках до 500 g.



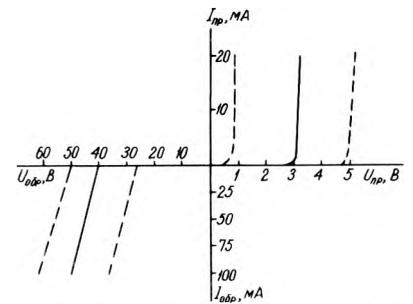
Зависимости выходной мощности от частоты диода AA730Ж



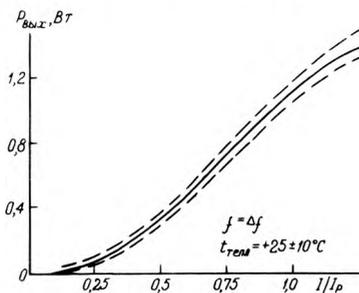
Вольт-амперные характеристики диода AA730A, AA730B, AA730B



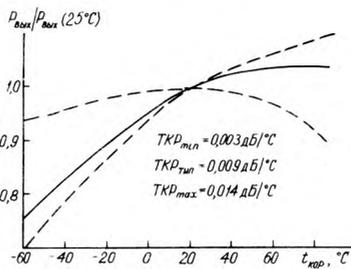
Спектральная плотность AM и ЧМ шума диода AA730A—AA730I



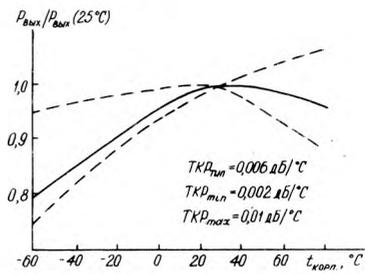
Вольт-амперные характеристики диода, AA730G...AA730I



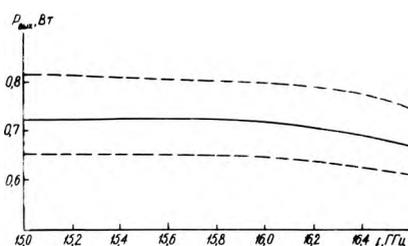
Зависимости выходной мощности от рабочего тока диода AA730D, AA730Ж



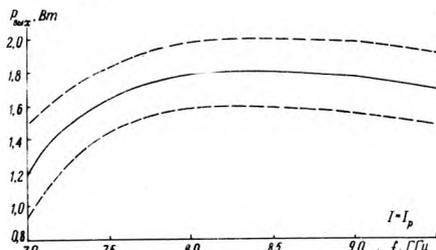
Зависимости выходной мощности от температуры корпуса диода AA730I



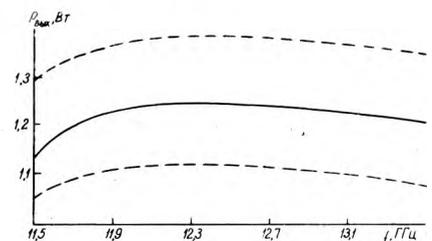
Зависимости выходной мощности от температуры корпуса диода AA730A, AA730B, AA730B



Зависимости выходной мощности от частоты диода AA730I



Зависимости выходной мощности от частоты диода AA730A



Зависимости выходной мощности от частоты диода AA730D

Основные характеристики

Непрерывная выходная мощность в рабочем диапазоне частот при рабочем токе I_p , $P_{вых}$, Вт, не менее	
AA730A, AA730B, AA730B	1,5
AA730Г, AA730E, AA730И	0,5
AA730Д, AA730Ж	1,0
Рабочий диапазон частот, Δf , ГГц	
AA730A	8,0—9,2
AA730B	9,2—10,3
AA730B	10,3—11,5
AA730Г, AA730Д	11,5—13,5
AA730E, AA730Ж	13,5—15,0
AA730И	15,0—16,6
Пробивное напряжение при $I_{обр} = 1$ мА, $U_{проб}$, В	
AA730A	55—80
AA730B	50—70
AA730B	40—55
AA730Г, AA730E	30—50
AA730Д	35—50
AA730Ж	30—45
AA730И	28—42
Коэффициент полезного действия, η , %, не менее	
AA730A—AA730B	10
AA730Г—AA730И	8
Постоянный рабочий ток, I_p , А, не более	
AA730A—AA730B	0,3
AA730Г, AA730E	0,2
AA730Д, AA730И	0,22
AA730Ж	0,25

Рабочее напряжение, $U_{раб}$, В	
AA730A	65—95
AA730B	60—85
AA730B	50—70
AA730Г, AA730Д, AA730E, AA730Ж	35—80
AA730И	33—75
Емкость перехода, $C_{пер}$, пФ, не более	
AA730A—AA730B	1,2
AA730Г—AA730И	0,9
Последовательная индуктивность, L_n , нГн	
AA730B	0,2
Емкость корпуса, $C_{корп}$, пФ	
AA730B	0,55
Спектральная плотность мощности амплитудного модуляционного шума (в диапазоне Δf при I_p), $G_{ам}$, дБ/Гц, не более	
AA730A—AA730B	—145
Спектральная плотность мощности частотного модуляционного шума (в диапазоне Δf при I_p), $G_{чм}$, дБ/Гц, не более	
AA730B	—50,5
Тепловое сопротивление переход—корпус, $R_{т, п-к}$, °С/Вт, не более	
AA730A—AA730B	13
AA730Г, AA730E, AA730И	18
AA730Д, AA730Ж	15
Температура перехода, t_n , °С, не более	
AA730B	225

Примечание. Значения I_p для каждого диода указываются в индивидуальном талоне.

В.М.Вальд-Перлов, Е.И.Гантман, Ю.А.Кузнецов, Б.Л.Перельман, Л.С.Сибирцев, Ю.В.Фомин

УДК 621.382.019.3:536.24

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОРПУС-ТЕПЛОТВОД МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Качество и надежность мощного полупроводникового прибора во многом зависит от его теплового сопротивления. Контакт между корпусом мощного полупроводникового прибора (МПП) и теплоотводом можно улучшить путем уменьшения шероховатости и неплоскостности контактирующих поверхностей, а также за счет мягких теплопроводящих прокладок из индия и его сплавов с оловом, размещенных между контактирующими поверхностями*. Однако индий и его сплавы с оловом имеют довольно низкую температуру плавления, кроме того, возникает прилипание к фланцу, являющееся причиной отбраковки МПП по внешнему виду на этапе заводского контроля. Применение индия и его сплавов в значительном количестве при эксплуатации МПП, выпускаемых крупными сериями, нецелесообразно по экономическим соображениям.

В настоящее время широкое применение находит алюминиевая бытовая фольга, выпускаемая в рулонах толщиной 14—18 мкм (ТУ 48-21-1032-76), обладающая высокими теплопроводностью, температурой плавления, ремонтпригодностью, хорошей деформируемостью, а также широкой доступностью и низкой стоимостью.

Контактное тепловое сопротивление между теплоотводом и корпусом МПП сильно зависит от деформируемости материала прокладки. Для отожженных листов алюминия, применяемых при изготовлении алюминиевой фольги, коэффициент деформируемости (δ) более чем в 5 раз превышает коэффициент для нагартованных лент ($\delta_{отож} \geq 28\%$, $\delta_{нагар} \geq 5\%$) и листов промышленного назначения.

Выбор толщины прокладки определяется размером микронеровностей контактирующих поверхностей фланца МПП и теплоотвода (известные способы обработки поверхности оставляют поверхности неоднородности не менее 7 мкм*). При использовании очень тонкой прокладки будут недостаточно заполняться впадины, при толщинах до 10 мкм с прокладкой трудно манипулировать, а толстая прокладка будет увеличивать тепловое сопротивление, что приведет к дополнительным тепловым потерям.

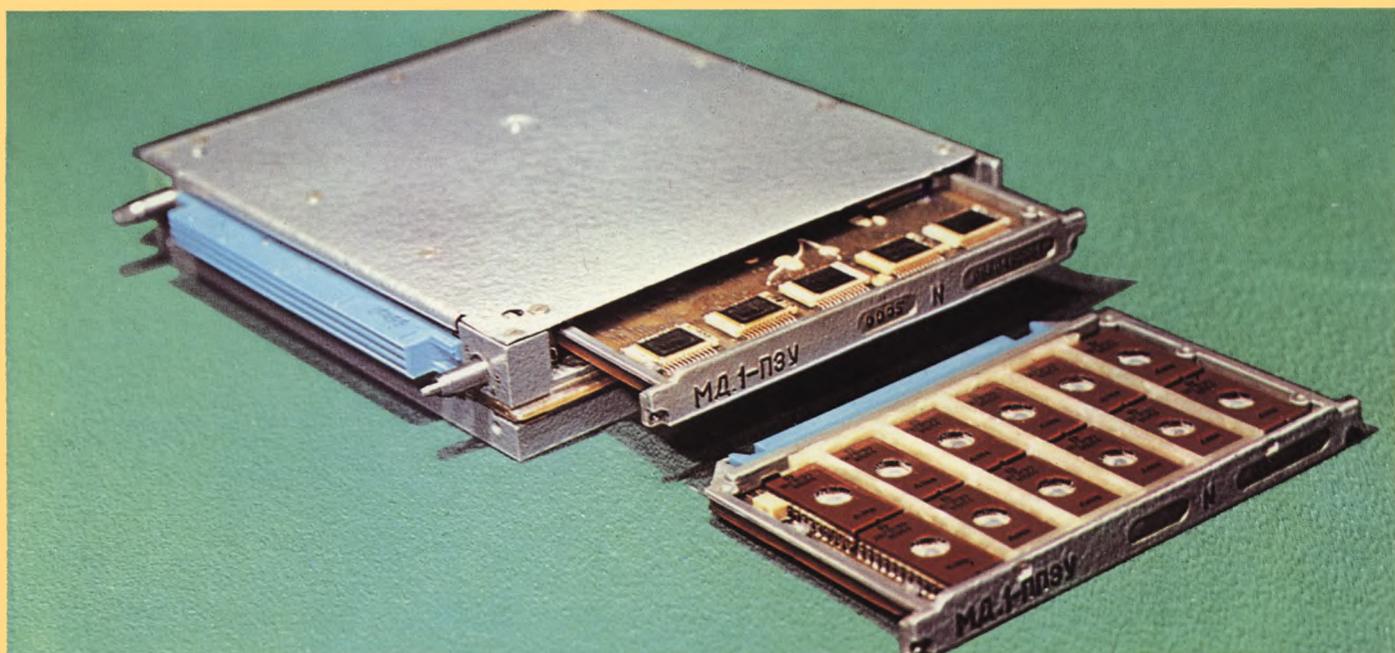
Экспериментально установлено, что для целого класса полевых транзисторов использование прокладок из алюминиевой фольги снижает общее тепловое сопротивление прибора на 6—10%.

* Scholten J. Modeling RF transistors when the Heat's on.—Microwaves and RF, 1984, vol. 23, N 2, p. 97—105.

ВСТРАИВАЕМАЯ ВЫСОКОНАДЕЖНАЯ МИКРОЭВМ

МД.1

ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Техническая характеристика:

Разрядность, бит	16
Система команд	«Электроника-60» (ОСТ11.305.909-82)
Интерфейс	«Электроника-60» (ГОСТ 26765.51-86)
Быстродействие, операций «регистр—регистр»/с, не менее	300000 (при всех условиях эксплуатации)
Объем ОЗУ/ПЗУ, слов	4К/8К
Постоянное запоминающее устройство	съёмное, двух модификаций: МД.1-ППЗУ-пере- программируемое с УФ-стирианием, МД.1-ПЗУ-програ- мируемое изгото- витель микроЭВМ
Потребляемая мощность, Вт, не более	3
Напряжение питания, В	5±0,25
Масса, г, не более	900
Габаритные размеры, мм	180×150×32

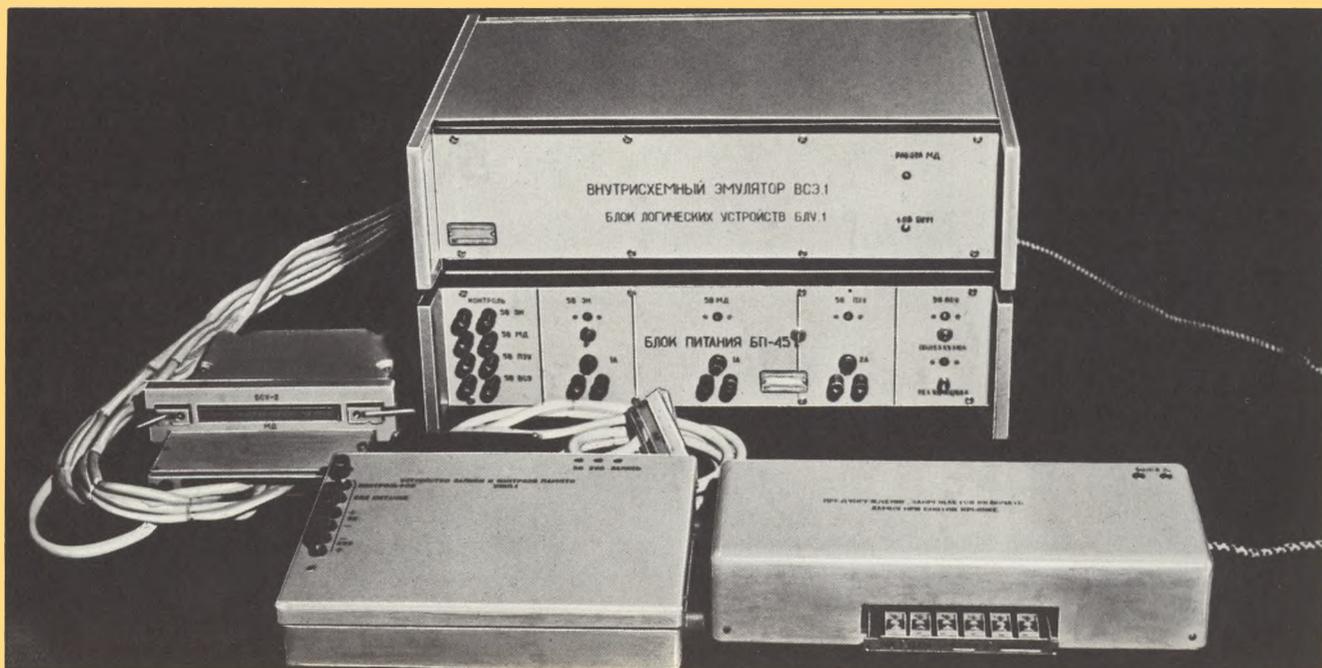
Время непрерывной работы, ч	250
Наработка на отказ, ч, не менее	35000
Условия эксплуатации:	
диапазон рабочих тем- ператур, °С	-60 ÷ +100 (без принудительного охлаждения)
диапазон рабочих дав- лений, кПа	0,66 ÷ 202
линейное ускорение, g	12
Синусоидальная вибрация:	
ускорение, g	5
диапазон частот, Гц	5 ÷ 2000
ускорение виброудара, g	120

МикроЭВМ
имеет встроенные средства
программно-аппаратного самоконтроля.
Предусмотрен отдельный канал
обмена по ГОСТ 26765.51-86
для организации многомашинных
вычислительных систем.

Лимитная цена комплекта 5000 руб.
Выпускается серийно.

Разработчик: Уфимское агрегатное конструкторское бюро «Молния».

Справки по адресу: 450052, г. Уфа, УАКБ «Молния».
Тел. 29-25-18



Комплекс средств технического обслуживания микроЭВМ МД.1

- Комплекс содержит:
- ♦ внутрисхемный эмулятор ВСЭ.1 с программным обеспечением,
 - ♦ устройство записи и контроля программ УЗКП.1 с программным обеспечением,
 - ♦ устройство стирания программ УСП.1.

ВСЭ.1 совместно с ЭВМ общего назначения (Д В К, В У М С) обеспечивает: тестирование и диагностику отказов микроЭВМ МД.1, отладку взаимодействия микроЭВМ с аппаратной частью систем применения, отладку рабочих программ, выполняемых микроЭВМ в составе систем, в том числе при отсутствии или неполном составе аппаратной части систем.

Выполняемые функции:
 пуск/останов по сигналам начального пуска,
 вызов аппаратных прерываний,
 эмуляция внутренних и внешних устройств,
 чтение и изменение ячеек памяти и регистров общего назначения в пультовом режиме,
 статический и динамический останов (по условию, безусловный),
 регистрация состояния магистралей,
 измерение временных интервалов,
 покомандное выполнение программы,
 вывод на индикацию содержимого заданных ячеек (по условию и безусловный).

УЗКП.1 совместно с ЭВМ общего назначения (Д В К, В У М С) обеспечивает:

запись информации в запоминающее устройство МД.1-ППЗУ с автоматическим формированием и записью контрольных кодов,
 контроль информации, записанной в запоминающие устройства МД.1-ППЗУ, МД.1-ПЗУ.

УСП.1 обеспечивает стирание информации, записанной в устройствах МД.1-ППЗУ, а также в отдельных микросхемах с УФ стиранием информации (до 24-х микросхем).

Электропитание ВСЭ.1, УСП.1—от промышленной сети 220В, УЗКП.1—от внешних источников постоянного тока.

Цена: ВСЭ.1 — 24 тыс. рублей, УЗКП.1 — 1500 рублей, УСП.1 — 1000 рублей.

Справки по адресу: 450052, г. Уфа, УАКБ «Молния». Тел. 29-25-18

УДК 621.383.92

НОВЫЙ ФЭУ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ В БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Для исследования быстропротекающих процессов, содержащих слабое световое излучение в ближней ИК области спектра (до 900 нм), разработан фотоумножитель ФЭУ — точный аналог фотоумножителя типа F 4141 фирмы ИТТ (США).

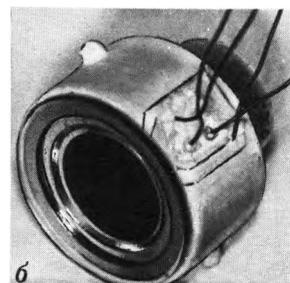
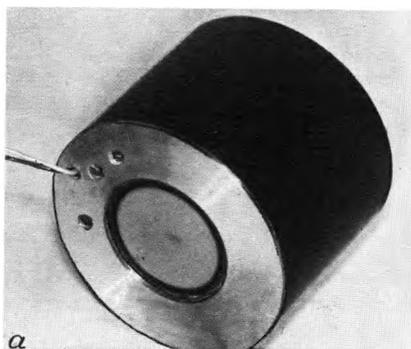
Фотоумножитель содержит торцевой полупрозрачный фотокатод с отрицательным электронным средством на основе полупроводниковой структуры арсенида галлия (GaAs/CsO) и микроканальную пластину (МКП) для умножения фотоэлектронов. Рабочий диаметр фотокатода — 18 мм.

Выпускается два варианта фотоумножителя:

— с встроенным вторичным источником питания (рис. а), обеспечивающим работу фотоумножителя от источника питания 2,5 В при токе не более 15 мА. Прибор имеет диаметр 55 мм и длину 34 мм;

— без вторичного источника питания (рис. б). При этом фотоумножитель должен включаться по схеме с использованием резистивного делителя напряжения. Прибор имеет диаметр 36 мм, длину 33 мм.

Спектральный диапазон фото-



катада 600—900 нм. Квантовый выход на длине волны 840 нм составляет $\sim 12\%$. Коэффициент усиления для ФЭУ второго варианта при напряжении 1900 В порядка $5 \cdot 10^2$ (максимальное значение коэффициента усиления порядка 10^3 при 2000 В).

Среднее значение плотности тока анода $\sim 0,1$ мкА/см². Спектральный эквивалент шума анодного тока от фонового излучения мощностью $1 \cdot 10^{-9}$ Вт при длине волны 840 нм (порог чувствительности) порядка $1,5 \cdot 10^{-13}$ Вт/Гц^{1/2}. Значение выходной емкости (выход МКП-анод) около 5 пФ. Дли-

тельность выходного импульса на полувысоте порядка 0,5 нс, длительность переднего фронта импульса на уровне 0,1—0,9 порядка 0,2 нс.

Цена ФЭУ — по договоренности в зависимости от чувствительности фотокатода и от вида исполнения изделия.

За справками обращаться: Москва, тел. 962-75-11.

В.П.Бегучев, А.М.Мечетин, Ю.Н.Гордиенко, С.А.Богнев, С.А.Белянченко, В.А.Смолицкий, С.Г.Дукор

УДК 621.383.292

НОВЫЙ ФОТОПРИЕМНИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СВЕРХСЛАБОГО СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Для преобразования в электрический сигнал сверхслабого излучения в ближней ИК области спектра излучения в диапазоне длин волн 600—900 нм разработан фотоприемник ФП-1.

Фотоприемник состоит из преобразователя светового излучения в ближней ИК области спектра в излучение с длиной волны порядка 520 нм и фотоумножителя с SbCs фотокатодом. Преобразователь содержит торцевой полупрозрачный фотокатод с отрицательным электронным средством на основе полупроводниковой структуры арсенида галлия (GaAs/CsO).

Спектральная анодная чувствительность фотокатода на длине волны 840 нм порядка 10^5 А/Вт. Спек-

тральный эквивалент шума анодного тока от фонового излучения мощностью $1 \cdot 10^{-9}$ Вт при длине волны 840 нм (порог чувствительности) порядка $1,5 \cdot 10^{-13}$ Вт/Гц^{1/2}.

Стоимость фотоприемника ФП-1 в зависимости от чувствительности фотокатода и конструктивного исполнения от 5 до 30 тыс. руб.

За справками обращаться: Москва, тел. 962-75-11.

В.П.Бегучев, А.М.Мечетин, С.Г.Дукор, В.А.Смолицкий

УДК 621.385.832.7

ВИДИКОН С КРЕМНИЕВОЙ МИШЕНЬЮ ЛИ479

Видикон ЛИ 479 является новым прибором в ряду дюймовых видиконов с монокристаллическими кремниевыми мишенями. Основными преимуществами по сравнению с первым разработанным аналогичным видиконом ЛИ 446 являются более высокая чувствительность, устойчивость к локальным пересветкам, повышенная долговечность. Повышение чувствительности достигнуто оптимизацией параметров n^+ -слоя на входной стороне мишени и применением просветляющего покрытия из монооксида кремния.

Увеличение устойчивости к локальным пересветкам для 1000 крат от рабочей освещенности и увеличение долговечности до 1000 ч достигнуто применением кремниевой диодно-мозаичной мишени новой конструкции с сеткой n^+ -накалов, разделяющих диоды.

Видикон ЛИ 479 предназначен для работы в любой телевизионной аппаратуре со стандартным режимом разложения 625 строк и 25 кадров в секунду. Прибор имеет магнитную фокусировку и отклонение электронного луча, рабочую площадь мишени $9,5 \times 12,7$ мм², длину 132 мм.

Видикон сохраняет работоспособность при

- температуре от -60 до $+70^\circ\text{C}$;
- относительной влажности воздуха до 98% при температуре 25°C ;
- пониженном атмосферном давлении до 53,3 кПа;
- повышенном давлении до 294 кПа;
- воздействии синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 1 до 1000 Гц с амплитудой ускорения до 100 мс^{-2} (10 g).

Прибор сохраняет работоспособность после воздействия:

- синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 1 до 2000 Гц с амплитудой ускорения до 200 мс^{-2} (20 g);
- механического удара многократного действия с пиковым ударным ускорением до 400 мс^{-2} (40 g) с длительностью воздействия до 10 мс;
- механического удара одиночного действия с пи-



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

Напряжение накала, В	6,3
Ток накала, А	0,08—0,10
Напряжение, В	
первого анода	280—300
второго анода	300—320
сетки	500
сигнальной пластины	5—15
модулятора, запирающее (отрицательное)	100
Освещенность мишени, лк	0,5
Ток сигнала, мкА, не менее	0,3
Разрешающая способность лин, не менее	
в центре	600
в углах	600
Глубина модуляции на отметке 400 лин	
в центре, %, не менее	35
Инерционность спада тока сигнала, через 40 мс после выключения света, %, не менее	8
Неравномерность тока сигнала по полю изображения, %, не более	15
Темновой ток, мкА, не более	0,01
Неравномерность темнового фона, %, не более	5
Распыление изображения пятна диаметром 1 мм при 1000-кратной пересветке сверх уровня насыщения, раз	4
Геометрические искажения, %, не более	2
Емкость между сигнальной пластиной и остальными электродами, соединенными вместе, пФ, не более	6
Время готовности, с, не более	30
Минимальная наработка, ч	1000

ковым ударным ускорением до 1500 мс^{-2} (150 g) с длительностью воздействия до 3 мс;

— смены температур от -60 до $+75^\circ\text{C}$.

Приведенные характеристики показывают возможность использования видикона для работы в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра при освещенности мишени от 0,2 до 1,2 лк.

Е.Е.Левина, И.Н.Петров

Ленинград, 6-15 августа 1990 г.

5-я международная выставка

Современные средства производства
и использования водных биоресурсов

УДК 621.397.13

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ УВЕЛИЧИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Разработанная система обеспечивает формирование полного телевизионного сигнала черно-белого изображения и позволяет получить увеличенное изображение объекта (печатного текста, любых мелких предметов: деталей электронной аппаратуры, часов, семян растений и т.п.) на экране телевизионного приемника или видеоконтрольного устройства.

Система позволяет читать книжный текст со скоростью до 500 знаков в минуту, что превышает скорость чтения с оптическими средствами в 1,3—1,8 раза.

Предмет или текст размещается на рабочем столике, который свободно перемещается по оси X и Y . Для четкого выделения вертикальной колонки текста предусмотрено перемещение столика по оси Y с фиксированным шагом, а при необходимости возможно дополнительное освещение.

Система позволяет на экране телевизионного приемника с диагональю 61 см получить увеличение в 10—15 раз с возможностью его плавной регулировки. Для получения увеличения в 40 раз на рабочий столик устанавливается подставка и при этом поле зрения равно размеру экрана телевизионного приемника.

Система позволяет:

- изменять полярность выходного видеосигнала (позитив—негатив) в расчете на индивидуальные физиологические особенности зрения оператора;

- с помощью электронных шторок выделять необходимое число строк изображения на экране телевизионного приемника для фиксирования внимания оператора на определенном участке раstra.



Основные параметры

Стандарт разложения изображения чересстрочный, с строк	625
полей	50
Амплитуда выходного видеосигнала на нагрузке 75 Ом	не менее 1 В
Разрешающая способность по горизонтали, тел. лин. в центре	не менее 400
в углах	не менее 300
Освещенность в плоскости рабочего стола, лк	не менее 200
Коэффициент искажений, % геометрических	не более 4
нелинейных	не более 10
Потребляемая мощность от сети переменного тока, В·А	не более 55
Напряжение питания от сети переменного тока, В	220 (50 Гц)
Размер экрана, мм	375×481
Перемещение рабочего стола, мм по оси Y	198
по оси X	280
Габаритные размеры, мм	не более 436×466×375
Масса, кг	не более 20

Электронные шторки работают в двух режимах: стационарном и динамическом. Во втором случае они движутся

с регулируемой скоростью сверху вниз по экрану телевизионного приемника, последовательно выделяя участки изображения от 20 до 100%.

время непрерывной работы 8 ч.

Система рассчитана на эксплуатацию в помещении при температуре окружающей среды 10—35°C, атмосферном давлении 100 кПа, относительной влажности до 80%.

Электрическая схема системы телевизионного увеличения выполнена на транзисторах и интегральных микросхемах с применением печатного монтажа.

Система может найти применение для контроля технологических процессов и качества изделий, входного и выходного контроля печатных плат на различных стадиях их производства, сборочных операций при производстве микросхем и других элементов РЭА, в микроэлектронике, медицине, библиотечках и других областях народного хозяйства.

По своим параметрам система находится на уровне зарубежных аналогов.

В.М.Ромашин, Т.Ф.Леонтьев

Донецк, 26 августа—4 сентября 1990 г.

3-я международная выставка

**Оборудование, машины, приборы и средства
автоматизации для угольной промышленности**

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЭТ

Предложены варианты реализации физических методов с использованием акустических, электрических и магнитных полей в производстве ИЭТ.

Развитие электронной техники требует все более высокого качества поверхности деталей, прочности их соединения, надежности, а постоянное увеличение объемов выпуска продукции — повышения производительности технологических операций. Этим требованиям отвечают физические методы, позволяющие повысить интенсивность обработки и качество деталей. Они основаны на применении акустических, электрических и магнитных полей.

Для ультразвуковой сварки пластмассовых деталей разработан автоматизированный пост на базе установки точечной сварки МТУ-1,5, обеспечивающий герметичное соединение изделий из термопластичных материалов со сложнопрофильным сварным швом суммарной длиной до 400 мм на площади до 1600 мм². Пост работает в полуавтоматическом цикле.

Пост ультразвуковой сварки имеет две отличительные особенности. Во-первых, для эффективного ввода акустической энергии разработан комплект инструментов, позволяющий изменять зону преимущественной концентрации амплитуды колебаний по торцу инструмента в зависимости от конфигурации сварного шва. Например, при сварке деталей большой длиной, когда вся ультразвуковая энергия выделяется по наружному диаметру рабочего торца, применяется инструмент с эллиптической внутренней полостью [1], фокусы которой лежат на образующей наружной поверхности в точках пересечения ее с плоскостью торцов цилиндрического инструмента. Для концентрации энергии колебаний в центре торца инструмент выполняется в виде усеченного в фокусах эллипсоида вращения [2] (сумма длин фокальных радиусов кратна длине полуволны распространяющихся в нем колебаний).

Во-вторых, для стабильного получения герметичных соединений деталей из жестких термопластов типа «поликарбонат» применяется дополнительный нагрев сварочной опоры до 160—170°C.

Разработанный пост можно использовать для сварки самых разнообразных изделий из пластмасс.

Для повышения качества и точности токарной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, например титана, разработаны инструменты, позволяющие осуществлять ввод в зону резания колебаний различного типа. В этих устройствах используется генератор УРСК-7Н-18 с магнитоэлектрическим преобразователем.

Известно, что максимальная эффективность процесса вибрационного резания достигается при сообщении инструменту ультразвуковых колебаний в направлении вектора скорости резания (тангенциальных колебаний). Для этого на боковой поверхности инструмента [3] выполняют петлю, один конец которой расположен в узле продольных колебаний, а другой — у рабочего торца инструмента, при этом длина петли равна нечетному числу четвертей длины волны продольных колебаний.

Для увеличения амплитуды в зоне резания исполь-

ТЕХНОЛОГИЯ

зованы составные волноводы с втулкой, закрепленной одним концом на торце концентратора, а другим — в пучности колебаний инструмента [4], а также волноводы с саморегулированием амплитуды [5].

Применение описанных волноводов позволило за счет снижения шероховатости поверхности снизить трудозатраты при последующих доводочных операциях на 40—60% по сравнению с токарной обработкой без ультразвука.

Для финишной обработки деталей из токопроводящих материалов разработан способ [6], по которому электрохимическое полирование проводят в однородном магнитном поле, которое, накладываясь на радиальное электрическое поле, создает усилие, закручивающее ионы по дуговым траекториям. При этом возможно дополнительно интенсифицировать процесс обработки за счет введения в раствор частиц абразива.

Технологические остаточные напряжения в деталях изделий электронной техники и элементах конструкций в большинстве случаев оказывают существенное влияние на физико-механические свойства материалов и в первую очередь на его прочностные и эксплуатационные характеристики. Поэтому в случае превышения критического уровня механических напряжений применяют способы их снятия или снижения. Если термическое воздействие нежелательно или невозможно, весьма эффективным является снятие остаточных напряжений путем приложения к изделиям вибраций на основной частоте механического резонанса.

Для снятия напряжений в металлических малогабаритных деталях сложной геометрической формы разработан способ, включающий размещение деталей в зонах пучностей колебаний в расплавленном слое легкоплавкого материала, кристаллизацию легкоплавкого материала, возбуждение вибраций на резонансной частоте и извлечение деталей из расплава по завершении процесса снятия напряжений. Используя данный способ, удается эффективно снижать напряжение в малогабаритных деталях сложной формы без их разрушения и деформации.

Для снятия напряжений в элементах конструкций преимущественно с концентраторами напряжений разработан способ виброобработки, включающий создание на участках детали перед вибрацией статических напряжений, противоположных рабочим и не превышающих их по абсолютной величине. Таким образом удается повысить равномерность снятия напряжений.

Для реализации описанных выше физических методов разработана конструкторская и технологическая документация.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. № 1049058 (СССР). Ультразвуковой инструмент/ А.М.Григорьев, Е.А.Клецков, В.Г.Крючок, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1983, № 39.
2. А. с. № 575189 (СССР). Инструмент для ультразвуковой сварки/ А.М.Григорьев, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1977, № 37.
3. А. с. № 554973 (СССР). Устройство для ультразвуковой сварки/ С.А.Довнар, А.М.Григорьев, Е.А.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1977, № 15.
4. А. с. № 583892 (СССР). Устройство для ультразвуковой обработки материалов/ С.А.Довнар, А.М.Григорьев, Е.А.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1977, № 46.
5. А. с. № 591286 (СССР). Устройство для ультразвуковой сварки/ С.А.Довнар, А.М.Григорьев, Е.А.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1978, № 5.
6. А. с. № 666059 (СССР). Способ магнитно-абразивной обработки изделий/ С.А.Довнар, А.М.Григорьев, Е.А.Клецков, И.П.Янович.— Оpubл. в Б.И., 1979, № 21.

Г.И.Кузьмичев, А.М.Григорьев, Е.А.Клецков

Комплекс оборудования для обеспечения промышленной чистоты

состоит из передвижных стенов нового поколения СОГ для тонкой очистки жидкостей, приборов ПКЖ для контроля чистоты жидкости и ПКЗВ для контроля запыленности воздуха.

Стенды СОГ-913К и СОГ-914 предназначены для очистки гидравлических жидкостей и масел от механических загрязнений и воды.

По сравнению с предшествующими модификациями стенды имеют производительность на 20—40% выше, габариты и массу меньше в 2—3 раза, в результате чего стоимость очистки тонны жидкости снижена в 3—5 раз.

Производство стенов СОГ нового поколения освоено на Саратовском заводе нефтяного машиностроения и в Саратовском электроагрегатном производственном объединении.

Техническая характеристика стенов СОГ	СОГ-913К	СОГ-914
Производительность, л/мин	до 35	до 35
Вязкость очищаемых жидкостей, мПа·с	5—300	1—300
Степень очистки от абразивных загрязнений, класс чистоты по ГОСТ 17216-71	5—7	3—5
Тонкость очистки от абразивных загрязнений, мкм	1—5	1—5
Грязеемкость, кг		
центрифуги	до 2	до 1
стенда	до 10	до 10
Потребляемая мощность, кВт	3,0	3,0
Габаритные размеры, мм	815×420×970	620×380×540
Масса, кг	120	70
Цена, руб.	6100	4500

(ориентировочно)

СОГ-913К



СОГ-914



Приборы ПКЖ и ПКЗВ (базовые модели ПКЖ-904А, ПКЖ-904В, ПКЗВ-906) предназначены:

ПКЖ — для гранулометрического анализа загрязнений в жидкости как непосредственно в потоке, так и отдельными пробами в цеховых и лабораторных условиях (ПКЖ-904В может устанавливаться во взрывоопасных зонах всех категорий);

ПКЗВ — для оперативного, объективного контроля и измерения запыленности атмосферы помещений, измерения концентрации аэрозолей и контроля фильтров.

Техническая характеристика приборов ПКЖ и ПКЗВ

Число размерных диапазонов контролируемых частиц размерами	ПКЖ-904А	ПКЖ-904В	ПКЗВ-906
5—300 мкм	6	6	—
0,3—100 мкм	—	—	7
Предел измерения числа частиц в 100 см ³ жидкости	от 1,5 · 10 ⁵ до 5 · 10 ⁶	от 1,5 · 10 ⁵ до 5 · 10 ⁶	—
в 1000 см ³ воздуха	—	—	10 ⁵
Цена, руб.	3885	5000 (ориентировочно)	поставка по ХД



ПКЖ-904А



ПКЗВ-906

УДК 621.317.799

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ МИКРОСХЕМ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ И ВИДЕОТЕХНИКИ

Разработанная система имеет параметрическую избыточность с возможностью оптимизации ее структуры для конкретного класса изделий, обеспечивает контроль статических и динамических параметров микросхем и радиоканала видеомагнитофонов. В соответствии с функциональным назначением система бывает трех типов:

- для задания сигналов и контроля параметров линейных радиочастотных микросхем,
- для линейно-импульсных телевизионных микросхем,
- для контроля параметров радиоканала видеомагнитофонов.

Модификация системы для контроля того или иного класса обеспечивается модульностью конструкции и применением стандартных интерфейсов.

Сравнительные характеристики предлагаемой системы и выпускаемой отечественной промышленностью системы "Лири" приведены в таблице.

Параметр	«Лири»	Разрабатываемая система
<i>Параметры НЧ-задающей части</i>		
Рабочий диапазон частот, кГц	0,05—100	0,02—200
Дискретность установки частоты, %	±0,5	±0,05
Максимальный уровень выходного синусоидального напряжения (нагрузка), В	5 (75 Ом)	5 (50 Ом)
Диапазон изменения напряжения, дБ	0—60	0—90
Кoeffициент нелинейных искажений выходного сигнала, %, в диапазоне частот		
0,02—80 кГц	—	±0,05
80—200 кГц	—	±0,1
Неравномерность АЧХ, дБ в диапазоне частот		
1 кГц	—	±0,2
1—200 кГц	—	±0,1
<i>Параметры ВЧ-задающей части</i>		
Рабочий диапазон частот, МГц	0,1—10,7	0,2—50
Дискретность установки частоты, %	±0,05	±0,05
Режимы	«НГ», «АМ», «ЧМ»	«НГ», «АМ», «ЧМ»
Максимальный уровень выходного напряжения (нагрузка), В, в диапазоне частот		
0,1—10,7	1 (75 Ом)	2 (50 Ом)
0,2—10	—	—
10—50	—	1 (50 Ом)
Диапазон изменения напряжения, дБ	0—60	0—90
Отношение амплитуды спектральных составляющих к амплитуде 1-й гармоники, %	—	3

Параметр	«Лири»	Разрабатываемая система
Неравномерность АЧХ, дБ при частотах		
0,2—10 МГц	—	±1
10—50 МГц	—	±1,5
Режим «АМ»		
частота огибающих АМ сигнала, кГц	—	0,4; 1,4
глубина АМ в диапазоне, %	—	1—90
коэффициент нелинейных искажений огибающей в диапазонах несущих 0,2—50 МГц, %	—	2
Режим «ЧМ»		
диапазон несущих частот, МГц	—	1—30
частота огибающей, кГц	—	1
величина девиации, кГц	—	50
быстродействие, мс	—	30
<i>Измеритель переменного напряжения НЧ</i>		
Частотный диапазон, кГц	0,05—100	0,02—200
Пределы измеряемых напряжений, В	0,0005—5	0,0001—5
Быстродействие, с, при частотах		
0,02—1 кГц	—	0,2
1—200 кГц	—	0,1
Тип преобразования		среднеквадратическое детектирование
<i>Измеритель переменного напряжения ВЧ</i>		
Частотный диапазон, МГц	0,1—10,7	0,2—50
Пределы измеряемого напряжения, В	0,0005—5	0,001—5
Быстродействие, с	—	0,1
<i>Измеритель коэффициента гармоник</i>		
Частоты измерения, кГц	0,03; 1; 12,5; 100	
Диапазон измеряемого напряжения, В	—	0,2—5
<i>Генератор ТВ-сигнала</i>		
Задание полного телевизионного сигнала	—	Согласно ГОСТ 7845-79
<i>Генератор радиосигнала</i>		
Задание параметров выходного радиосигнала изображения	—	Согласно ГОСТ 20532-83
Уровни	—	Согласно ГОСТ 7845-83

Предполагается расширять функциональные возможности системы как за счет новых блоков мультиметра — измерителя постоянного напряжения, тока и сопротивления, частотомера, так и улучшения всех показателей системы по расширению частотного диапазона, быстродействию, точности всех устройств.

Для измерения параметров микросхем телевизионной серии кроме блоков для задания сигналов и контроля параметров линейных радиочастотных микросхем необходимо применение блоков для задания и измерения параметров полного телевизионного сигнала. При этом в состав измерителя должны войти устройства для предварительной обработки сигналов синхронизации. В качестве источника сигнала возможно использование генератора Г6-35.

Для контроля параметров радиоканала видеоманитового необходимо наличие блоков всех трех основных групп системы, включающих в себя тест-генератор с набором специальных сигналов и измеритель с устройствами синхронизации и обработки сигналов.

Особые требования предъявляются к архитектуре системы. Вопросы применения унифицированного системного интерфейса для пассивных устройств системы, выбора стандартных интерфейсов для активных блоков, связи с ЦЭВМ должны быть решены в ходе разработки.

Перспективность управляющих средств ЦЭВМ и активных блоков системы, выбор унифицированных каналов управления зависит от средств вычислительной техники и БИС микропроцессорных наборов.

Система предварительной обработки должна содержать программы: проверки и подготовки аппаратуры, управления, сервисные программы, контроля изделий,

статистической обработки результатов контроля. В состав программы проверки и подготовки аппаратуры войдут программы метрологической аттестации и автокалибровки измерителей. Результаты контроля выводятся на дисплей или печатающее устройство в виде протоколов испытаний и на терминал оператора с разбраковкой по группам. Предварительная обработка должна осуществлять расчет погрешностей, возможность подготовки массива корректирующих коэффициентов для программ метрологической аттестации и испытательных программ на изделия. Обеспечивается возможность настройки рабочего режима изделий на оптимальный.

Таким образом, так как система является сложной, то в рамках одной модификации желательно провести разработку:

- системы с использованием группы устройств задания сигналов и контроля параметров линейных радиочастотных микросхем с возможностью ее расширения,
- перспективной модели блоков для диапазона частот 100—1000 МГц,
- модификации перспективной модели модульной системы.

Таким образом, с помощью описанной системы можно разработать универсальное системное контрольно-измерительное оборудование для различных типов изделий с использованием его как на операциях настройки, так и на этапе выходного контроля.

Г.И.Ларионова, В.А.Маслова, В.П.Ерлашов

УДК 621.317.799-52:621.3.049.77.037.33/.372

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МИКРОСХЕМ АНАЛОГОВЫХ И АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ВИДЕОПРОЦЕССОРОВ И ПРОЦЕССОРОВ СИГНАЛОВ ЦВЕТНОСТИ

Многостовая, мультипрограммная, микропроцессорная контрольно-измерительная система телевизионных БИС 4-го и 5-го поколения обеспечивает возможность коллективного пользования системой, заключающейся в одновременном и независимом контроле трех микросхем по различным программам и в различных режимах в условиях массового производства.

В состав измерительного поста системы входит генератор телевизионных сигналов, измеритель и адаптер микросхемы.

Генератор телевизионных сигналов выдает полные цветные сигналы в системах цветного телевидения НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ, а также полные сигналы в системе черно-белого телевидения.

Генератор обеспечивает программное формирование всех составляющих полного телевизионного сигнала, а также различных телевизионных испытательных сигналов.

Генератор позволяет отображать на экране телевизионного приемника буквенно-цифровую и графическую информацию 8-ми цветов. Количество изображаемых символов — 77. Количество символов в ряду — 45. Количество рядов в поле кадра — 24.

Емкость ППЗУ для хранения библиотеки видеосигналов — 16 байт.

Измеритель производит:

- выдачу 8 программируемых опорных напряже-

ний в диапазоне ± 10 В, 2 программируемых напряжений питания в диапазоне ± 20 В с токами нагрузки до 300 мА;

— измерение уровней постоянных и размахов переменных напряжений (стробируемое) в диапазоне 0—20 В (на 3 поддиапазонах), в полосе частот 0—6 МГц;

— измерение частоты сигналов в диапазоне 10^2 — $2 \cdot 10^4$ кГц;

— измерение длительности и периода сигналов в диапазоне 1 — 10^5 мкс.

Адаптер микросхемы производит подачу электрических режимов и сигналов на выводы микросхемы, подключение к ее выводам элементов схемы измерения, а также согласование входных и выходных цепей с генератором и измерителем.

Составление и отладка испытательных программ производится на проблемно-ориентированном языке ПОЯС.

В составе системы программирования ОС 1800 разработаны компоненты операционной системы (редактор, транслятор, отладчик, блок выполнения программ, блок статобработки), обеспечивающие дополнительные возможности самоконтроля, диагностики неисправностей, автоматической калибровки, а также метрологической поверки.

С.Л.Ковман

Новая модель электронной игры со сменными кассетами

ЭЛЕКТРОНИКА ИМ-12

Красочный цветной дисплей, на котором разворачиваются сюжеты игр, записанных на сменных кассетах, ведет играющего в мир увлекательных путешествий, сделает его участником веселых и опасных приключений, научит принимать единственно правильное решение, чтобы выйти победителем. Соперником игрока — а это в основном ребенок 7—16 лет — выступает микропроцессор с программным управлением.

Игра развивает внимание, быстроту реакции, способствует развитию логического мышления. Кроме того, она будет служить часами и будильником, поможет планировать занятия и соблюдать режим дня.



Действие одной из записанных на кассете игр — «Сказка» — происходит в саду, куда за яблоками для царя отправляются трое смелых братьев. Яблоню охраняет трехглавый огнедышащий дракон. Если кто-то из братьев не сумеет уклониться от языка пламени, извергаемого пастью дракона, то окажется заколдованным и попадет в плен.

Задача братьев — а ими управляет играющий — избежать смертоносного огня, набрать как можно больше яблок и покинуть с ними сад, выход из которого «с пустыми руками» не разрешен. Каждое яблоко — победное очко, а за пятьсот очков можно расколдовать и освободить попавшего в плен брата.

О текущем времени будет напоминать будильник — прерывистый крик сказочной птицы, сидящей на дереве.

Другая игра — «Винни-Пух» — перенесет нас в лес, где живут хорошо знакомый нам медвежонок Винни-Пух, поросенок Пятачок и Кролик. Медвежонку нужно достать мед из дупла заветного дерева. Но при этом он должен всячески отбиваться и спасаться от разгневанных пчел. Винни-Пух бросает в них яблоки — иногда удачно, иногда безуспешно. Часто ему приходится падать с дерева, и если он при этом не успеет ухватиться за зонтик или за воздушный шарик, то нырнет в пруд. Любое его неуклюжее движение около дупла грозит тем, что горшок с добытым медом окажется в воде, и придется все начинать сначала... Каждой победе медвежонка, приносящей одно очко, радуется не только играющий, но и весело прыгающий под деревом Пятачок.

За текущим временем и подачей звонка будильника следит Кролик.

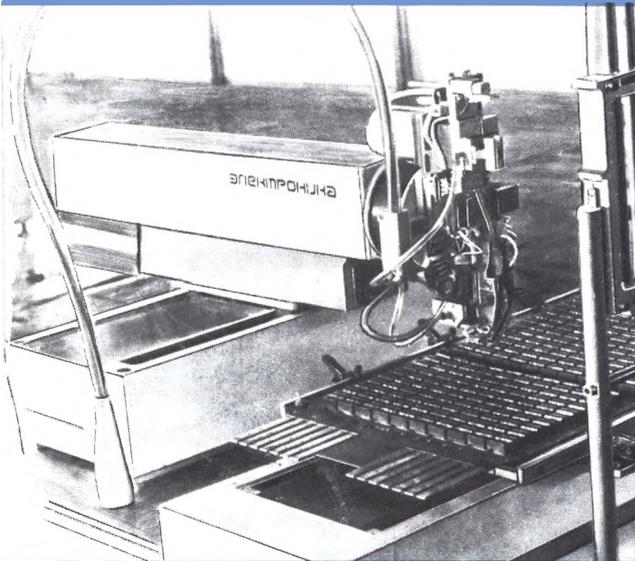
Герой третьей кассеты — игры «Стройка» — рабочий Шурик решил остаться в обеденный перерыв на своем строительном участке и выполнить план по отгрузке раствора. Передвигаясь бегом по площадке, Шурик сливает раствор из верхних резервуаров в нижние, а оттуда — в автомашины. Он должен успеть вовремя открыть или закрыть заслонки, всколотить в непрерывно движущийся лифт и выйти из него. Если чуть промедлил — вся порция раствора переливается через край резервуара и обрушивается на водителя, ожидающего загрузки своей машины...

Во время работы будильника шофер одной из машин бьет в колокол, и звучит мелодичный звон.

Во всех играх предусмотрены два уровня сложности. На цифровом табло часов отображается текущее время в часах (от 00 до 12) и минутах с указанием времени суток (ДП — до полудня, ПП — после полудня). Продолжительность сигнала будильника — одна минута.

Конструкция игры предусматривает просмотр отраженного изображения в зеркале, установленном в корпусе игры под углом, обеспечивающим наиболее удобное положение играющего.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ «ЭЛЕКТРОНИКА РС.Э-0,05-009»



Предназначен для быстрых, точных перемещений в прямоугольной системе координат при выполнении ответственных работ на операциях сборки ИЭТ и РЭА (время установки одной ИС составляет 1,7 с). Характеризуется оптимальным сочетанием скорости, точности, размеров рабочей зоны и полезной грузоподъемности, а также высокой жесткостью, простотой модульной конструкции и системы управления, высокой надежностью и малыми габаритами аппаратных средств на базе микроЭВМ «Электроника».

Техническая характеристика

	«Электроника РС.Э»
Номинальная грузоподъемность, кг	2,5
Число степеней подвижности	3
Тип привода	электрический
Устройство управления	позиционное
Способ программирования	обучение
Погрешность позиционирования, мм ...	0,05
Линейные перемещения, мм	
(скорость, м/с)	300 (0,3)
	300 (0,3)
	50 (0,3)
Система управления	микроЭВМ
Габаритные размеры, мм	
манипуляторов	750×765×
	×435
стойки управления	600×560×
	×1100
Масса, кг	
манипулятора	50
стойки управления	130
Ориентировочная цена, руб.	30000

Процесс программирования робота доступен неспециалисту, изучившему курс информатики средней школы, поскольку программирование ведется на расширенной функциями управления версии языка BASIC, что позволяет применять робот в учебном процессе в школах и в вузах для развития навыков программирования.

Манипулируя массой 2,5 кг, робот обслуживает рабочую зону размерами 300×300×50 мм со скоростью 0,25 м/с, обеспечивая при этом точность позиционирования 0,05 мм.

Промышленный робот «Электроника РС.Э-0,05-009» выпускается серийно.

Применяется автономно, в составе линий и автоматизированных комплексов.

Для более гибкого использования могут быть разработаны специальные разновидности робота, с модификацией технических параметров. Кроме того, на базе робота «Электроника РС.Э» может быть разработано оборудование для загрузки, тестирования и разгрузки ИС, приспособления и сервисные устройства для специальных задач автоматизированной сборки.

Обращаться по адресу: 238100, г. Черняховск
Калининградской обл., ул. Прапорщика Горохова, 5,
ОКБР. Телефоны: 68-81; 68-82.