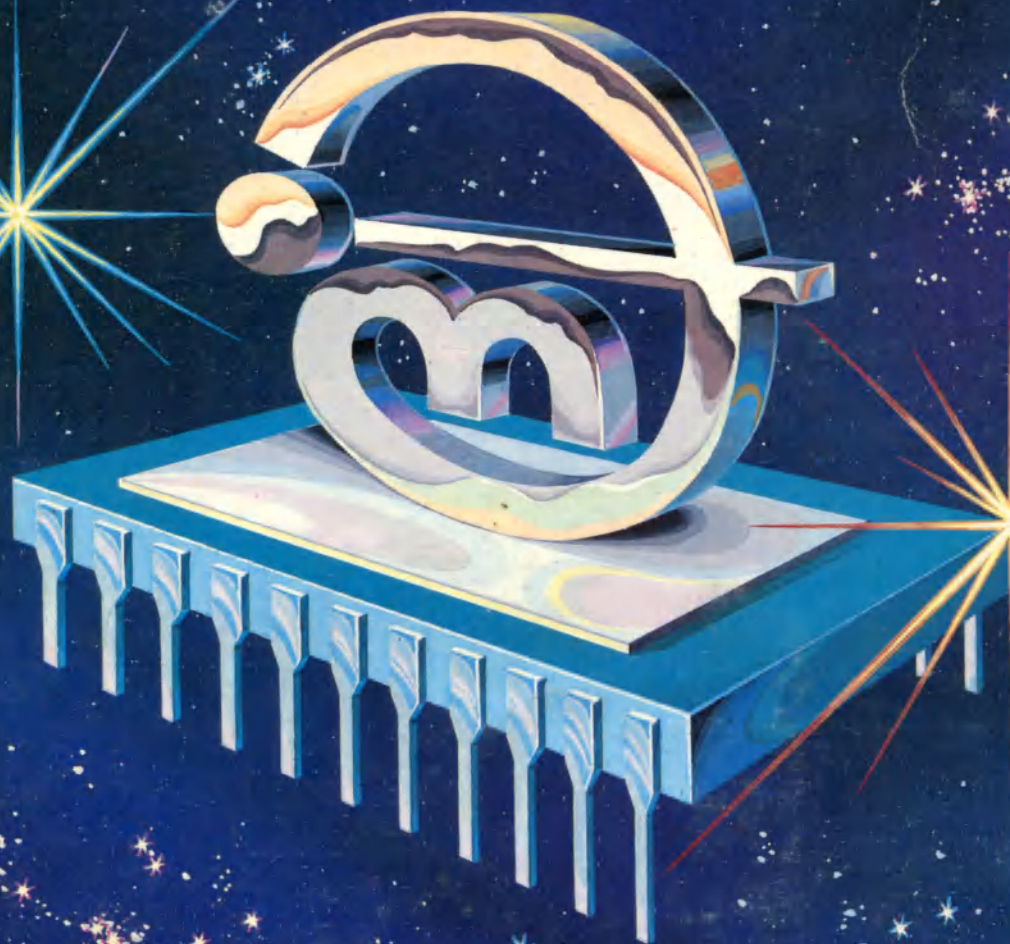


электронная промышленность

ISSN 0207-6357

4-5/94

ЭЛЕКТРОНИКА



ВОРОНЕЖСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ОДИН ИЗ НАИБОЛЕЕ ОПЫТНЫХ И КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ В РОССИИ РАЗРАБОТЧИКОВ ПРОГРЕССИВНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕТ ОПЫТНЫЕ ПАРТИИ ОБРАЗЦОВ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ КМОП, БИПОЛЯРНОЙ (БИП) И БИКМОП ТЕХНОЛОГИЙ:

- * КМОП и БИП универсальные микропроцессоры и микропроцессорные комплекты,
- * КМОП однокристальные микропроцессоры цифровой обработки сигналов,
- * КМОП однокристальные 4-, 8- и 16-разрядные микроЭВМ,
- * КМОП логические ИС широкой номенклатуры,
- * КМОП СБИС цифроаналоговых и аналогово-цифровых преобразователей,
- * КМОП СБИС интегральных фильтров на переключаемых конденсаторах на частоты звукового диапазона,
- * КМОП СБИС базовых матричных кристаллов и матричных ИС на их основе,
- * КМОП программируемые пользователем логические ИС (ППЛИС),
- * мощные биполярные СВЧ линейные, генераторные и импульсные транзисторы на частоты 100 МГц—1 ГГц,
- * элементную базу силовой электроники по БиКМОП технологии;
- * биполярные базовые матричные кристаллы, матричные СБИС на их основе и МП и МПК с предельными показателями устойчивости к внешним воздействующим факторам,
- * широкую номенклатуру КМОП и БИП изделий микроэлектроники в качестве элементной базы видеотехники, телевидения, средств связи, телефонии, автоэлектроники и др.,
- * электронные системы управления бесколлекторными электродвигателями постоянного тока,
- * импульсные источники питания и силовые преобразователи до 1,5 кВт,
- * автоматизированный портативный цифровой измеритель артериального давления крови и пульса человека для использования в медицинских учреждениях и в быту,
- * портативную малогабаритную бытовую аппаратуру магнитной записи в виде кассетных моно- и стереофонических магнитофонов,
- * миниатюрные электретные микрофоны, миниатюрные микрофонные и телефонные капсулы для аппаратуры магнитной записи, спецсвязи, телефонии и слуховых аппаратов,
- * работы по комплексной механизации и автоматизации основного производства полупроводниковых приборов.

НИИЭТ ПРОИЗВОДИТ И ПОСТАВЛЯЕТ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ, ПРОХОДЯЩИЕ ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРОВЕРКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СТАНДАРТОВ. РАСПОЛАГАЯ СОВРЕМЕННЫМИ ПРОГРАММНЫМИ И АППАРАТНЫМИ СРЕДСТВАМИ И БОЛЬШИМ ОПЫТОМ РАБОТЫ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ВЕРИФИКАЦИИ ТОПОЛОГИИ СБИС НА ОСНОВЕ ОРИГИНАЛЬНЫХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ И АРХИТЕКТУРНО-СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НИИЭТ ВЫРАЖАЕТ ГОТОВНОСТЬ К СОТРУДНИЧЕСТВУ В СЛЕДУЮЩИХ ОБЛАСТЯХ:

- * разработка технологии специализации архитектурных ядер однокристальных МП ЦОС с целью реализации конкретных задач потребителей путем внутрикристалльного программирования базовых конструкций на основе оригинальных отечественных архитектурных решений,
- * настройка базовых матричных кристаллов для создания матричных полузаказных СБИС на основе архитектурных решений потребителя,
- * совместная работа по созданию ИЭТ широкой номенклатуры в качестве элементной базы телевидения, средств связи и автоэлектроники на основе схемных решений потребителя,
- * оказание практической технической помощи в применении ИЭТ,
- * представление на взаимно-выгодных условиях конструкторской и технологической документации на разработанные изделия.

электронная промышленность

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ОБОРОННЫМ ОТРАСЛЯМ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Главное управление
электронной промышленности

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г.
г. МОСКВА

Главный редактор
Ю.А. КОЗЛОВ

4-5/1994

OldPC.ru

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

Воронежскому Научно-производственному центру электронной техники — 35 лет. *Мещеряков В.М., Черников А.М.*

Структурная перестройка производства Научно-производственного центра электронной техники. *Мещеряков В.М.*

Перспективы развития микроэлектроники в Научно-производственном центре электронной техники. *Лобов И.Е., Черников А.М.*

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Промышленные технологии

Универсальная базовая технология создания биполярных БИС. *Нисков В.Я.*

Развитие технологии КМОП и БиКМОП СБИС. *Сонов Г.В., Дмитриев Н.В., Исеев Б.Н., Скороходов В.Д., Мещеряков Н.Я.*

Перспективы создания полужаказных УБИС на 1 миллион логических вентилей. *Нисков В.Я.*

Повышение радиационной стойкости МОП-систем. *Сысов Б.И., Безрядин Н.Н., Дронов А.С., Кузьменко Т.А., Проколова Т.В., Сонов Г.В., Сухоруков Н.И.*

Особенности формирования силицидов и полицидов титана и кобальта для СБИС. *Боднарь Д.М., Обединцев Ю.А., Твердохлебов Л.Я., Яценко О.Б.*

Ионная имплантация в производстве МОП БИС. *Медведев Н.М.*

Оптимизация режима ионной имплантации при изготовлении МДП СБИС. *Быкадорова Г.В., Левин А.Ю.*

Методы и средства интегрированной технологии ПЛИС+БМК. *Цыбин С.А., Быстрицкий А.В.*

Улучшение технологических параметров фоторезистов под влиянием ультразвука. *Котова Д.П., Гунина Н.М., Селеменов В.Ф., Преображенский П.В., Хмелева Т.А.*

Пластмассовый корпус — лидер среди упаковок интегрированных схем. *Колбачков А.А.*

Технология сборки БИС в пластмассовые корпуса подтипов 44, 45. *Колбачков А.А., Косоплякина Г.П., Андреевцева В.И.*

Технология сборки ИЭТ в корпусах подтипа 43 для поверхностного монтажа. *Сосина Э.П., Соколова В.М., Строкова И.Н.*

Применение сплава цинк—алюминий—германий при монтаже ИС в керамические корпуса. *Колычев А.И., Зенин В.В., Фролов В.И., Бабушкин М.М.*

Кремниевые многокристалльные модули — приоритетное направление развития быстродействующей РЭА. *Глухов А.С., Кастрюлов А.Н., Микитин В.М., Файзуллаев Б.Н.*

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Изделия электронной техники и их применение

Состояние и перспективы развития однокристалльных цифровых процессоров. *Васильев А.В., Корнев В.Е., Мистюков В.Г., Тонких Н.Н.*

Отладочная микросхема К1868ВЕ1 серии однокристалльных микроЭВМ. *Хорошунев В.С., Рюмшин А.В.*

КМОП БИС номеронабирателя с импульсным и частотным набором номера. *Гвоздев А.И., Медведев Н.Г.*

Высокопроизводительный 16-разрядный однокристалльный микроконтроллер. *Гвоздев А.И., Елисеев В.В., Новосельцева И.В.*

КМОП СБИС однокристалльного контроллера ввода-вывода. *Гвоздев А.И., Елисеев В.В., Новосельцева И.В.*

Универсальный фильтр на переключаемых конденсаторах. *Гарш Б.М., Кузьмин Е.А., Решетняк В.Д., Скворцов В.В.*

Метод построения арифметических функций АЛУ и его реализация в СБИС 4-канального 24-разрядного КМОП АЛУ. *Новосельцева И.В.*

КМОП БИС номеронабирателя с импульсным набором номера. *Гвоздев А.И., Медведев Н.Г.*

Тенденция развития мощных СВЧ транзисторов для применения в радиовещании, телевидении и средствах связи. *Косой А.Я., Асвессоров В.В., Кажеников В.А.*

Разработка аппаратуры магнитной записи в НИИ электронной техники. *Заруцкий В.В., Часовских В.В.*

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Системы автоматизированного проектирования

Унифицированные программно-технические комплексы для САПР ИЭТ и СВТ. *Попатин В.С., Харин В.Н., Мажов В.Е., Горохов А.В., Чевычелов Ю.А.*

Управляющие ЭВМ — одна из визитных карточек НПП электронной техники. *Борисенков В.Д., Попатин В.С.*

Обеспечение параллельного выполнения проектных работ в интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС. *Харин В.Н., Стариков А.В., Удовик А.П., Горохов А.В.*

Система ускоренного проектирования БИС. *Левов Ю.А., Мажов В.Е., Чевычелов Ю.А., Комоныхина Н.А.*

3	61
6	
8	67
	70
11	72
19	73
28	74
	75
35	76
38	77
43	78
45	80
49	
51	
53	90
56	92
58	94
60	96

Программное обеспечение системы ускоренного проектирования БИС. <i>Лопатин В.С., Мажов В.Е., Чавычелов Ю.А., Горохов А.В.</i>	99	Измерение профиля плотности зарядовых состояний на окисленных кремниевых пластинах. <i>Крячко В.В., Бутусов И.Ю., Линник В.Д., Сонов Г.В.</i>	109
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ		Определение чистоты поверхности кремниевых пластин в производстве БИС. <i>Бутусов И.Ю., Крячко В.В., Котов В.В., Сухоруков Н.И.</i>	111
Надежность и контроль качества		Дефекты в зоне пайки – причина разрушения кристаллов БИС. <i>Золотухина О.М., Жучкова В.В.</i>	114
Ускоренные испытания на надежность тонкопленочных структур. <i>Викин Г.А., Числов О.М., Лукин А.Н., Тадеев А.В.</i>	101	Прогнозирование надежности сборки БИС. <i>Золотухина О.М., Жучкова В.В., Колбенков А.А.</i>	117
Измерение потенциала поверхности кремниевых пластин в процессе производства БИС. <i>Бутусов И.Ю., Крячко В.В., Котов В.В., Лобов И.Е.</i>	104	Измерительно-вычислительный комплекс для экспресс-контроля электрофизических параметров и исследования технологии МОП ИС. <i>Бормонтов Е.Н., Головин С.В., Котов В.В.</i>	120
Измерение поперечной проводимости тонких пленок диоксида кремния. <i>Бутусов И.Ю., Котов В.В., Крячко В.В.</i>	106	Методика неразрушающего контроля точности совмещения изолирующих и скрытых областей в ИС. <i>Нисков В.Я.</i>	121
Измерение распределения электрической прочности тонких диэлектрических пленок. <i>Бутусов И.Ю., Крячко В.В., Тонких Н.Н.</i>	108	Влияние электромиграции на надежность металлизации. <i>Склярова С.Н., Боднарь Д.М., Тадеев А.В.</i>	124
		Экспресс-метод определения микронеоднородности поверхностных параметров МДП-структур. <i>Бормонтов Е.Н., Котов С.В., Лукин С.В., Колычев А.И.</i>	127

Редакторы: И.В.Кокорева, В.М.Дмитриев, Е.А.Семина. Подготовка к набору: Н.И.Конonenko
Технический редактор: Л.М.Румянцева
Корректоры: И.П.Зотова, А.В.Смирнова
Главный художник: А.И.Устюхин. Рисунок на обложке по эскизу художника Кочетова В.П.
В подготовке материала участвовала нач.бюро научно-технической информации НИИЭТ Воронова Н.А.

Отпечатано в типографии ЦНИИ "Электроника"
Подписано в печать 4.07.94 г. Уч.-изд.л.21 Индекс 3883 Заказ 98 Тираж 510

Адрес редакции: 117415, Москва, просп. Вернадского, 39
Тел.: 432-92-72, 432-92-27, 432-91-89
© ЦНИИ "Электроника" 1994

Воронежскому Научно-производственному центру электронной техники — 35 лет

В.М.МЕЩЕРЯКОВ канд.техн.наук, А.М.ЧЕРНИКОВ канд.техн.наук

Воронежский Научно-производственный центр электронной техники — один из крупнейших в России. В его состав входят три НИИ, одно СКБ и семь заводов, расположенных в основном в Воронежской области.

За годы становления и развития Центра разработано и серийно выпускалось:

— более 250 типов интегральных схем и 145 типов транзисторов по всем видам технологии на кремнии;

— сложная бытовая аппаратура: видео- и аудиоманитофоны, микрокалькуляторы, электронные игры, управляемые микроконтроллерами на базе однокристалльных микроЭВМ;

— мини- и микроЭВМ, персональные профессиональные ЭВМ для управления сложными технологическими, измерительными комплексами и системы автоматического проектирования;

— специальное технологическое, измерительное, испытательное и стендовое оборудование для производства ИЭТ и РЭА.

Более 300 конкурентоспособных изделий относятся к продукции «Впервые разработанные в стране». Семьдесят пять процентов интегральных схем и транзисторов принадлежат к классу сверхвысоконадежных изделий с интенсивностью отказов λ ниже 10^{-9} в час, что подтверждено потребителем, и с высокой степенью радиационной стойкости.

Создана развитая инфраструктура социальных объектов: Дворец техники и культуры, Дво-

рец спорта, больница, поликлиника, профилакторий, пионерские лагеря, базы отдыха, детсады и большой жилой фонд.

Все эти достижения стали возможны благодаря созданному дружному коллективу ученых, инженеров и рабочих Воронежа. У истоков зарождения коллектива стояли: откомандированные с предприятий Воронежа в 1958 г. специалисты: И.А.Полищук, П.Д.Макаров, В.Г.Колесников, В.И.Царенко, А.А.Куликов, А.Д.Дорофеев, Е.П.Сербин, Н.И.Бутурлин, А.Г.Минаев, И.А.Фурманский, М.И.Дрынева, Н.А.Попов, Н.П.Матвеев и другие, а также молодые выпускники Воронежского государственного университета.

Основной инженерный корпус был скомплектован в 1959 году (директор П.И.Соколов, главный инженер П.Д.Макаров) и в 1960 году (директор Н.И.Горденин, главный инженер В.Г.Колесников) из выпускников воронежских вузов и университета и специалистов предприятий Воронежа. Центром научных разработок и освоения новых приборов стало ОКБ (начальник В.Г.Колесников), созданное в начале 1959 года.

В 1959 г. после реконструкции корпуса швейной фабрики состоялась сдача в эксплуатацию 1140 м² площадей с энергообеспечением, что позволило организовать производство нестандартного оборудования, первых деталей для ИЭТ и сборочный цех. Основной продукцией завода стали сплавные диоды и транзисторы.

18 июня 1959 г. была собрана первая партия кремниевых диодов Д202—205. К 1960—1961 гг. относится освоение выпуска сплавных германиевых диодов Д7, германиевых транзисторов П4, П201-203, П213-215, П216-217, кремниевых диодов Д226. точечных диодов Д604.

С первых дней существования ОКБ начались разработки механизированных линий по сборке ИЭТ. В 1961 г. вводится первая очередь комплексно-механизированной линии сборки диодов Д226, а в 1964 г. все производство диодов переводится на КМЛ (гл. конструктор В.Г.Колесников, зам. главного конструктора Н.В.Кузнецов).

В 1962 г. создается первая ОКР «Разработка и серийное производство тянутого транзистора типа П307-309», что послужило в дальнейшем основой создания полупроводниковой металлургии (главный конструктор А.М.Черников).

Революционным шагом, определяющим впоследствии начало всех разработок, стало создание первого планарного транзистора КТ301 (главный конструктор Б.Л.Толстых) в конце 1962 года. С ввода в эксплуатацию в 1965 году металлургического производства начался перевод кремниевых транзисторов на эпитаксиально-планарную технологию.

1965 год ознаменовался разработкой первой в стране интегральной ДТЛ ИС серии 104 (гл. конструктор В.Г.Колесников, зам. главного конструктора В.И.Никишин) на основе базовой планарной технологии с диэлектрической изоляцией элементов. Созданная базовая технология производства ИС на КСДИ на многие годы определила дальнейшее развитие микроэлектроники в стране. Серийный выпуск ИС серий 104, 106, 134, 582 позволил создать многие системы управления оборудованием, БЦБЭМ с высокими показателями надежности.

В этот же период в Научно-производственном центре происходит мощное развитие специального машиностроения: разрабатываются и быстро осваиваются линии фотолитографии, производства фотошаблонов, шлифовальные и полировальные станки, измерительное, испытательное и стендовое оборудование, оборудование для химической обработки структур, установки проведения газофазных процессов и т.д. (директор НИИПМ К.А.Лаврентьев, начальник ЦКБ В.И.Царенко). НИИПМ становится головной организацией отрасли по разработке СТО и КИО. Повсюду эксплуатируются линии

фотолитографии, химической обработки и отмывки структур, финишной очистки воды и агрессивных жидкостей, комплексы для разбраковки транзисторов и БИС микропроцессорных наборов, стендов тренировки ИЭТ, измерительное оборудование параметров пластин и структур.

В 1967 г. впервые разработаны генераторные СВЧ транзисторы КТ904 (гл. конструктор Ю.В.Хорошков). Созданная базовая эпитаксиально-планарная технология послужила началом крупносерийного производства мощных генераторных, линейных и импульсных транзисторов на частотах до 1 ГГц. Все разработки на период их проведения классифицировались как соответствующие мировому уровню.

В 1970 г. впервые в отрасли создана ЭВМ «Электроника 100» (гл. конструктор И.Л.Талов), а в 1975 г. начат серийный выпуск 16-разрядной мини-ЭВМ «Электроника 100/16И», которые явились основой создания СТО, управляемого ЭВМ. Достижения микроэлектроники позволили в 1976 г. начать выпуск первых микроЭВМ на микропроцессорном наборе БИС серии 581. Организованный в 1979 г. завод «Процессор» (директор И.Л.Талов, гл. инженер Е.Б.Соловей, гл. инженер ОКБ В.В.Плотников) обеспечил выпуск ЭВМ для автоматизации оборудования многих отраслей промышленности.

Разработанная в 1977 г. мини-ЭВМ «Электроника 100-25» и созданная на ее основе интерактивная графическая система САПР ИЭТ «Кулон» заложили основу проектирования ИЭТ на библиотечных элементах заказных и полузаказных БИС. Системы «Кулон 4» на базе мини-ЭВМ «Электроника-82» эксплуатировались в системах САПР на всех предприятиях отрасли. Разработанные микроЭВМ 16- и 32-разрядные «Электроника 102» и «Электроника 104» являются основой автоматизированных рабочих мест. Все разработанные ЭВМ оснащены базовым программным обеспечением.

На базе микропроцессорного набора БИС серии 1804 (гл. конструктор В.М.Мещеряков) в ОКБ завода «Процессор» разработана универсальная бортовая микроЭВМ «Электроника-81», давшая развитие новому направлению в создании высоконадежных бортовых ЭВМ.

В самые напряженные годы развития микроэлектроники (1967 г.) на ВЗПП началось про-

изводство товаров культурно-бытового назначения: радиолюбительские наборы, детские автоматы, брелки, кофеварки. В 1970 г. были собраны первые образцы кассетных магнитофонов «Воронеж-401», послуживших началом целого направления развития и создания в г. Нововоронеже завода «Алиот», выпускающего в настоящее время известные всем магнитофоны «Электроника-327» и «Электроника-332с». На базе разработанных термоэлектрических элементов серийно выпускался автомобильный холодильник.

В истории объединения большую роль сыграла разработка бытового носимого черно-белого катушечного видеоманитофона «Электроника-501-видео» (руководитель работ К.А.Лаврентьев, главный конструктор С.Д.Кретов), открывшая целое направление работ в области точного машиностроения. Высокими темпами проводились и серийно внедрялись новые модели видеоманитофонов. Так, уже в 1975 г. был начат выпуск цветных видеоманитофонов «Электроника-505-видео». Разработка и начало серийного выпуска кассетного цветного видеоманитофона «Электроника-ВМ12» потребовали подключения практически всех отраслей промышленности. Был решен ряд сложнейших проблем: микронные допуски на размеры деталей, соответствие высочайшим требованиям к обрабатываемому оборудованию, совершенно новым материалам, к качеству комплектующих изделий и СБИС, разработка комплексных программ для организации производства сложной бытовой аппаратуры. Быстрая организация серийного выпуска изделий стала возможной благодаря вводу нового производства, созданию НИИБВ и мощного завода.

Созданная в 1973 г. первая отечественная однокристалльная СБИС положила начало выпуску первых отечественных микрокалькуляторов «Электроника БЗ.08» и последующих моделей

арифметических и инженерных микрокалькуляторов. В г. Богучаре Воронежской области введены мощности на заводе «Юпитер» по выпуску микрокалькуляторов, которые продолжают пользоваться большим спросом у населения.

Высокая оценка квалификации специалистов, воспитанных в Воронеже, дорого обошлась объединению. Всей отрасли известны имена ученых и главных конструкторов разработок ряда изделий, ушедших на руководящие работы. Это — В.Г.Колесников, В.И.Никишин, Б.Л.Толстых, С.С.Булгаков, А.В.Голомедов, Ю.И.Борзаков, Л.Н.Цуканов, Ю.А.Кулагин, Н.К.Попов, В.И.Черкашин, Ю.П.Завальский, И.Л.Талов и другие. Многие руководители и высококвалифицированные специалисты — И.Д.Дурнин, Л.П.Ракинин, Н.Д.Попов, Н.Н.Тонких, А.П.Удовик и другие — начинали свой трудовой путь рабочими объединения.

Большой вклад ученых и инженеров в развитии электронной промышленности высоко оценивался Государством. Лауреатами Ленинских и Государственных премий стали многие разработчики ИЭТ и ЭВМ: В.Г.Колесников, В.И.Никишин, С.С.Булгаков, Б.Л.Толстых, И.Л.Талов, В.М.Мещеряков, И.Е.Лобов, В.В.Плотников, В.А.Дыбой, В.Н.Харин, В.Е.Межов, Ю.И.Борзаков, А.Е.Колбешкин, В.Д.Борисенков и др.

Труд большого числа работников оценен высокими правительственными наградами. Среди них много рабочих: А.В.Щеблыкин, М.И.Лаврушина, В.С.Мануковский, А.М.Румянцев, М.И.Савинкова, А.В.Тишунов, М.Ф.Божко, О.М.Толмачев, Б.Г.Бородин, Н.Ф.Решетников, И.Я.Жерегеля, А.В.Мардело, Н.А.Самодурова, А.Е.Колбешкин, Г.И.Смагина, Н.А.Грязев и др.

Коллектив научно-производственного объединения «Электроника» награжден орденами Ленина (1970 г.), Октябрьской Революции (1975 г.), Трудового Красного Знамени (1984 г.).

Структурная перестройка производства Научно-производственного центра электронной техники

В.М.МЕЩЕРЯКОВ *канд.техн.наук*

Центр является головным по разработке однокристалльных СБИС микроЭВМ и микропроцессоров для ЭВМ типа «Электроника», базовых ТТЛШ-матричных кристаллов и МА БИС на их основе, СВЧ транзисторов в диапазоне частот до 1 ГГц, видеомагнитофонов, микро- и мини-ЭВМ для САПР, управления оборудованием, комплексных линий фотолитографии и очистки, измерительных комплексов для СБИС МП, оборудования для заключительных испытаний; комплексов очистки воды, агрессивных сред.

Научно-исследовательские работы, серийное производство изделий электронной техники и оборудования проводились в Центре в рамках довольно жесткой отраслевой специализации на протяжении двух десятилетий.

Головное предприятие — Воронежский завод полупроводниковых приборов, на элементной базе которого развиваются все научные направления объединения, выпускал 70% продукции под заказы для оборонных отраслей промышленности по аттестованной высоконадежной технологии. Производство ИЭТ базировалось на высокоавтоматизированных цехах, оснащенных уникальным сборочным оборудованием, высокоавтоматизированных испытательных центрах и высокоспециализированных научных и производственных кадрах.

Резкое снижение заказов ИЭТ оборонными отраслями промышленности, отсутствие последовательной программы конверсии, перестройка системы управления народным хозяйством и вход его в неорганизованный рынок привели объединение в крайне тяжелое финансово-экономическое положение. Принимаемые коллек-

тивом меры по разработке и срочной организации серийного производства ИЭТ гражданского назначения (был освоен 41 тип БИС и СБИС) не смогли сдержать его спада из-за общего сокращения производства во всех отраслях промышленности.

В основу программы конверсии заложены следующие принципы:

- максимальное использование производственного потенциала предприятия с целью снижения затрат на перепрофилирование производства;
- освоение новой продукции, обеспечивающей большой народнохозяйственный эффект;
- освоение элементной базы, отвечающей мировому уровню и создающей условия для выпуска принципиально новых товаров народного потребления и другой гражданской продукции;
- комплексный выпуск изделий;
- организация производства РЭА на базе достижений микроразработки.

В сфере применения конечной продукции наиболее перспективными с позиции емкости рынка, технических возможностей определены следующие основные направления.

Силовая электроника. Разработка и организация серийного выпуска высоковольтных полупроводниковых транзисторов, интегральных схем управления и на их базе разработка ряда импульсных источников питания телевизоров, видеомагнитофонов, магнитофонов, аппаратуры для медицины; пускорегулирующей аппаратуры для светильников дневного освещения; систем управления для интеллектуальных вентиляционных двига-

телей. Реализация программы позволит на 30% поднять КПД радиотехнических устройств.

Автомобильная электроника. Разработка и организация серийного выпуска микропроцессорного комплекта СБИС и системы управления двигателем автомобиля. По предварительным оценкам, применение СУД позволит сэкономить до 40% бензина; сократить в 5—8 раз вредные выбросы газов; увеличить ресурсы работы двигателя в 3—4 раза. При разработке программы учитывалось, что серийные заводы имеют огромный опыт по выпуску изделий, отвечающих требованиям бортовой аппаратуры. Дальнейшей программой развития предусмотрена разработка и организация серийного производства блоков управления:

- автоблокировки системы тормозов;
- диагностическо-информационной системы о состоянии узлов автоблока и готовности его к эксплуатации, для решения штурманских задач;
- дверной электронной системы, обеспечивающей охранные функции и исполнительские функции стеклоподъемника.

В 1993 г. по договору с АвтоВАЗ программа начала выполняться.

Устройства и системы связи. Разработка и организация серийного выпуска комплекта ИМС для мобильных устройств радиотелефонной, сотовой системы связи, беспроводной охранной сигнализации и телефонии. Для комплексного подхода к созданию РЭА начато серийное производство миниатюрных микрофонов и электроакустических систем.

Информационные системы. В стадии разработки и освоения полный набор СБИС для телевизоров пятого поколения, цветных кассетных видеомагнитофонов и создание на их основе конкурентоспособных телевизоров и видеомагнитофонов.

Товары народного потребления. Вся выпускаемая продукция первоначально разрабатывалась и выпускалась на ВЗПП и НИИПМ. С целью специализации и расширения выпуска товаров

народного потребления сначала создавались цеха, а на их базе вырастали крупные заводы. В настоящее время акционирование осуществляется не объединением, а заводами. Так, завод по выпуску ИЭТ, передавший в специализированные предприятия продукцию, остался предприятием, не выпускающим конечную продукцию. С 1993 г. на нем разрабатывается и осваивается выпуск пультов дистанционного управления телевизорами, универсальных источников питания, электретных микрофонов. Разработана программа, базирующаяся на применении новейших разработок ИЭТ с выходом на выпуск конечной продукции.

Ход реформ всегда начинался в регионах. Наличие в Воронеже большого количества радиоэлектронных предприятий, на которых необходимо проводить структурную перестройку выпускаемой продукции, потребовало объединения общих усилий. Предприятия радиоэлектронного комплекса Воронежской области объединились в АО «Элис» и представили свою программу конверсии на рассмотрение правительства. Региональная программа получила одобрение в Госкомоборонпроме. Микроэлектроника развивается за счет капиталовложений в НИОКР и производство новых изделий. Инвестиции в НИОКР имеют долгосрочный характер и не уменьшаются в развитых странах даже при экономических спадах. Ежегодные капиталовложения ведущих фирм в производство полупроводниковых приборов составляют в среднем 20% от объема продаж или объема производства.

При существующем налогообложении на прибыль даже менее наукоемкие технологии не будут развиваться. При заданных темпах конверсии промышленного производства необходимо срочно пересмотреть налогообложение, выделить из федеральных фондов льготное кредитование и осуществить федеральную поддержку капиталовложениями в производство.

В таких условиях коллектив Центра не потеряет завоеванных достижений и останется на передовых позициях в области разработки и производства ИЭТ.

Перспективы развития микроэлектроники в Научно-производственном центре электронной техники

И.Е.ЛОБОВ канд.физ.-мат.наук, А.М.ЧЕРНИКОВ канд.техн.наук

Уровень индустриального развития России будет определяться степенью развития наукоемких, передовых в технологическом отношении отраслей. Одно из ведущих мест среди этих отраслей занимает радиоэлектронная промышленность, развитие которой, в свою очередь, определяется достижениями в области микроэлектроники.

Микроэлектроника как область науки и техники, опирающаяся на достижения физики твердого тела, вычислительной математики и информатики, развивается по определенным закономерностям, в том числе: переход количества в новое качество (от простого элемента к сложным системам); наличие противоречий между технико-экономическими показателями (степенью интеграции и быстродействием, качеством и стоимостью и т.д.); взаимная обусловленность характеристик изделий от технологической базы.

Важнейшей тенденцией развития микроэлектроники является рост сложности и быстродействия ИС. Рост степени интеграции ИС за последние 20 лет выражался в уменьшении размеров элементов. Тенденция роста интеграции пока не имеет стремления к насыщению. Ограничивающим фактором является отвод тепла от кристалла. Принято считать предельной мощностью ИС в корпусе с жидкостным охлаждением — порядка 20 Вт.

Основными особенностями научных исследований в микроэлектронике являются:

- фундаментальный характер исследований;
- комплексность исследований процессов в материалах на основе последних достижений приборостроения и метрологии;
- возрастающее значение технологических исследований, основанных на изучении физико-химических процессов, использовании материалов особой чистоты, различных видов взаимодействия излучений по средам;
- широкое внедрение математических методов;

— высокая наукоемкость всего жизненного цикла электронных приборов, включая исследования, разработки, производство.

Фундаментальные исследования принято определять как исследования, проводимые на основе открытий, крупных изобретений или радикальных изменений существующих методов. Именно таковы многие исследования в электронной промышленности, связанные с преодолением ограничений, обусловленных природой электромагнитного, теплового или другого характера. Проблемы физических ограничений функционирования активных элементов обостряются в связи с переходом к субмикронной технологии и методам электронной, рентгеновской и ионной литографии.

Научные цели и направление исследований в области технологии микроэлектроники, с точки зрения физики твердого тела, можно охарактеризовать следующим образом:

- получение, сохранение кристаллофизической структуры и свойств атомарно-чистых и атомарно-гладких поверхностей полупроводника;
- определение физико-химической природы, энергетических спектров и механизма формирования поверхностных электронных состояний;
- установление механизма и кинетических особенностей процессов роста полупроводниковых пленок различных кристаллографических ориентаций;
- выявление механизма образования, концентрации и влияния на электрофизические свойства пленок точечных, вакансионных, структурных дефектов;
- определение концентрационных границ содержания и влияния на электрофизические свойства примесных атомов в полупроводниковых, металлических и диэлектрических субмикронных пленках;
- исследование электрофизических свойств выращенных структур в зависимости от природы

легирующих примесей;

— получение особочистых конструкционных материалов.

Ближайшие перспективы развития микроэлектроники резко ужесточают требования к чистоте технологических сред, в которых проводятся промышленные процессы, привносимым дефектам в оборудовании.

Все сказанное говорит о тех больших задачах, которые необходимо решать на переломном этапе качественного перехода от традиционного конструкторско-технологического базиса с минимальной шириной линии 1,5—2 мкм к минимальным размерам 0,5—0,8 мкм и 0,25—0,5 мкм.

В зависимости от проведенных исследований научных основ технологии разрабатывается промышленная технология производства изделия. Доля технологических работ при создании нового изделия микроэлектроники составляет 45—50% всей трудоемкости на разработку. При наличии базового технологического процесса, при развитой системе автоматического проектирования разработки архитектуры СБИС занимают 15—20% трудоемкости разработки.

В Национальную программу развития электронной промышленности России для Воронежского Научно-производственного центра включены следующие основные показатели технического уровня:

	Микроэлектроника	
	1995 г.	2000 г.
Технологический уровень, минимальный размер элемента, мкм	0,5—0,8	0,3—0,5
Базовые матричные кристаллы		
число вентиляей, тыс.шт.	50—100	100—500
время задержки на вентиль, нс	0,5—1	0,5—1
Микропроцессорные СБИС на кремнии для обработки информации		
разрядность, бит	16, 32	32, 64
быстродействие, млн.оп./с	20—30	100—1000
Спецпроцессоры для цифровой обработки сигналов		
разрядность, бит	32	32—64
производительность, млн.оп./с	500—1000	1000
СВЧ мощные транзисторы		
Генераторные		
частота, МГц	200—400	200—400
мощность, Вт	250	350
Импульсные		
частота, МГц	960—1220	960—1220
мощность, Вт	1250	1500
Линейные		
частота, МГц	470—860	470—860
мощность, Вт	200	250

Для достижения такого технического уровня необходим очень высокий технологический уровень производства. Остановимся на тех исследованиях, где проводятся комплексные работы по основным направлениям деятельности Воронежского Научно-производственного центра электронной техники.

1. Поисковые исследования в части разработки методов и оборудования микролитографии. Основные решаемые проблемы — стимулирование физико-химических процессов на поверхности пластин (в т.ч. лазерное) с целью обеспечения минимальных литографических размеров, формирование резистивных пленок на пластинах диаметром 200 мм и более для обеспечения возможности получения пленки резиста с регулированием толщины от 0,3 мкм; низкотемпературная пассивация и межслойная изоляция при создании многослойной коммутации элементов интегральных схем на основе кремнийорганических соединений.

2. Оборудование и технология микронной и субмикронной литографии на пластинах диаметром 200 мм с целью обеспечения выпуска СБИС ДОЗУ информационной емкостью до 64 Мбит с применением рентгеновской, электронной и ионно-лучевой литографии; создание и внедрение безлюдной технологии.

3. Разработка технологии и автоматического оборудования для химической обработки пластин со сниженной на порядок привносимой дефектности; решение экологических проблем (в т.ч. сокращение расхода реагентов, рециркуляция, фильтрация, утилизация отходов).

4. Разработка технологии и комплексов оборудования для получения особочистой воды, отвечающей требованиям производства СБИС ДОЗУ уровня 16—64 Мбит, в т.ч. снижение содержания органики в 6 раз, кремниевой кислоты на порядок, микрочастиц — в 500 раз.

5. Технология и микрофильтрационная техника для очистки агрессивных жидких и газообразных сред для увеличения номенклатуры очищаемых реагентов, повышение температуры фильтрации и снижение на порядок размеров задерживаемых частиц.

6. Межоперационный контроль рабочих полупроводниковых пластин по следующим параметрам:

— контроль дефектности поверхности пластин с обеспечением пороговой чувствительности 0,1 мкм, а в 2000 г. — 0,01 мкм;

— контроль геометрических параметров пластин: толщина, клин, коробление с погрешностью до 0,2 мкм;

— контроль толщины диэлектрических и эпитаксиальных слоев с погрешностью до 1%.

7. Контрольно-измерительные комплексы с программным обеспечением для быстродействующих и сверхбыстродействующих СБИС на частоты 200 МГц и число выводов 513/1024.

Автоматическое оборудование для контроля ИМС при нормальных и крайних температурах.

8. Разработка оборудования для поверхностного монтажа кристаллов на керамические и кремниевые подложки с многослойной разводкой.

В настоящее время на заводе полупроводниковых приборов создаются пилотные линии для серийного производства СБИС с минимальными размерами элементов 0,5—0,8 мкм. Основная проблема для их скорейшего ввода в производство — отсутствие собственных средств на закупку и разработку необходимого оборудования.

В 1995 г. намечено разработать и освоить следующие изделия:

МП для цифровой обработки сигнала

— 16- и 32-разрядные МП для цифровой обработки сигналов с быстродействием 5 и 20 млн.оп./с, соответственно, и 32-разрядные нейроподобные с быстродействием 100 млн.оп./с. СБИС разрабатываются на базовой КМОП-технологии с минимальными размерами элементов 0,8—1,5 мкм. Указанные СБИС необходимы для создания РЭА для гидроакустики, радиолокации, синтеза и распознавания речи, спецсвязи, цифровой видео- и телевизионной техники.

Базовые матричные кристаллы и полужаказные СБИС (МА БИС)

(до 150 типономиналов)

— БМК емкостью 10 тыс.вент./кристалл, время задержки сигнала 0,5 нс/вент. и потребляемой мощностью 1 мВт/вент., в т.ч. со встроенным ОЗУ;

— БМК емкостью 50 тыс.вент./кристалл, время задержки сигнала 2 нс/вент. и потребляемой мощностью до 0,1 мВт/вент.

Указанные БМК разрабатываются на базе технологии «Изопланар П» с щелевой изоляцией с топологическими нормами 0,5—0,8 мкм.

Мощные СВЧ транзисторы

— линейные транзисторы (11 типов) с выходной мощностью 200 Вт на частоте 225 МГц и

мощностью 15, 50, 100, 150 Вт на частоте 860 МГц;

— импульсные транзисторы (7 типов) с выходной мощностью 750—1000 Вт на частоте 720—820 МГц; выходной мощностью 300 Вт в диапазоне частот 370—1005 МГц; выходной мощностью 500—750 Вт в диапазоне частот 400—500 МГц;

— генераторные транзисторы (8 типов) с выходной мощностью 160, 200, 240 и 300 Вт;

— суперлинейные транзисторы с выходной мощностью 10, 15 Вт, интермодуляционные искажения не ниже 58 дБ.

Технология биполярная, максимальный размер элементов 0,3—0,5 мкм.

Начаты работы и идет серийное внедрение СВЧ транзисторов малой мощности в пластмассовых корпусах и низковольтных транзисторов для мобильной аппаратуры. Указанные транзисторы используются для создания носимой и бортовой техники связи, систем наведения, управления, целеуказания, навигации, спутникового телевидения.

Однокристалльные СБИС микроЭВМ и бытовой аппаратуры

Серийно выпускаются и разрабатываются однокристалльные 4-, 8- и 16-разрядные микроЭВМ с объемом памяти до 256 Кбайт по КМОП-технологии.

Разрабатываются 15 типов СБИС для видеоманитофонов с цифровой обработкой звукового и видеосигнала.

Начат серийный выпуск СБИС для телевизоров 4 и 5 поколения.

Для импульсных источников питания и вторичных источников питания, систем интеллектуальных вентильных двигателей серийно выпускаются и разрабатываются мощные МОП-транзисторы, схемы управления с ШИМ модуляцией, схемы коррекции по мощности, схемы защиты МОП-транзисторов.

Коллектив Научно-производственного центра, оснащенный автоматизированным сборочным и испытательным оборудованием, интегрированной системой автоматического проектирования ИЭТ, лучшим исследовательским оборудованием, пилотными линиями в чистых комнатах класса 10, готов сотрудничать по разработке и серийному производству любых СБИС на всех базовых технологиях на кремнии.

Универсальная базовая технология создания биполярных БИС

В.Я.НИСКОВ *канд.техн.наук*

Рассмотрена базовая технология и конструкции основных интегральных компонентов, используемые для разработки нескольких десятков типов заказных и полузаказных БИС с разной схемотехникой (ЭСЛ, ТТЛШ, ИШЛ, ШТЛ), наносекундной задержкой логических вентилей, с различными требованиями по рабочему диапазону температур, надежности и радиационной стойкости, соответствующими жестким условиям военно-космического применения. Широкий набор типов и параметров получаемых компонентов позволяет создавать цифровые и аналоговые схемы с любой, в том числе и комбинированной схемотехникой и совмещенной конструкцией кристаллов, изменять рабочие напряжения приборов.

Биполярные изделия электронной техники имеют ряд преимуществ перед МДП ИЭТ: большее быстродействие и нагрузочную способность, возможность работать при более низких рабочих напряжениях и уровнях сигналов, большую радиационную стойкость, лучшую совместимость с традиционной элементной базой, большую схемотехническую гибкость, меньший уровень шумов и лучшие параметры аналоговых приборов, отсутствие фундаментальных ограничений и проблем при уменьшении (скейлинге) размеров приборных структур.

Для достижения подобных показателей и предотвращения отставания биполярных ИЭТ по степени интеграции и экономическим параметрам разработана базовая технология «ИЗОП» (изоляция окислом и применение поликремния), которая по комплексу характеристик превосходит известные зарубежные и отечественные биполярные технологии [1—4]. Это обеспечивается рациональной структурой базовой технологии (БТ) и сбалансированным использованием передовых и оригинальных конструктивно-технологических решений на всех этапах изготовления кристаллов. К числу таких решений относятся применение сверхтонких эпитаксиальных пленок, малорельефной комбинированной изоляции с самосовмещением активных областей и сильнолегированных p^+ -стоп-каналов, многократного самосовмещения критичных областей активных и пассивных ком-

понентов, формирования приборных областей легированием через пленку поликремния, использование всех компонентов с поликремниевыми контактами, независимой и активной регулировкой параметров в процессе термообработки с применением поликремниевых электродов, формирование сверхмелких поликремниевых эмиттеров с резким градиентом примеси и обеспечением возможности их примыкания к окисной изоляции с сохранением высокой радиационной стойкости, использование нескольких механизмов геттерирования примесей и дефектов и зарядовой стабилизации параметров, использование высокоомных монокремниевых резисторов со стабилизирующим поликремниевым электродом, поликремниевых резисторов и диодов с торцевой конструкцией, тонкопленочных конденсаторов, высокостабильных омических контактов и разновысотных барьеров Шотки на основе силицидов, использование низкоомных полицидных шин как первого уровня трассировки в составе контактнометаллизационной системы (КМС), содержащей до четырех уровней межсоединений (МС). Новые конструктивные и технологические решения БТ защищены авторскими свидетельствами на изобретения.

При разработке базовой технологии ставилась задача обеспечить выполнение ряда принципов и требований. Они сводятся к следующему:

— большое «время жизни» БТ за счет использования передовых конструктивно-технологических решений и идей и возможности независимого совершенствования ее составляющих;

— универсальность БТ и ее способность обеспечивать реализацию заказных и полузаказных логических схем и их блоков с любой биполярной схемотехникой, а также аналоговых и цифро-аналоговых приборов за счет создания широкой номенклатуры компонентов с разными параметрами;

— высокий технический уровень характеристик ИЭТ, достигнутый на основе использования серийного отечественного оборудования, без применения жестких литографических проектных норм (менее 1,5—2,0 мкм), экзотических и сложных конструктивно-технологических решений;

— по надежности создаваемых ИЭТ, диапазону рабочих температур и радиационной стойкости — соответствие условиям военно-космического применения;

— полоса частот интегральных $n-p-n$ -транзисторов — не менее 3—4 ГГц, а фактор качества логических вентилях — не хуже 0,1 пДж;

— возможность создания на основе БТ и конструкции интегральных компонентов высокоэффективной многоуровневой контактно-металлизированной системы для достижения высокой степени интеграции заказных и полузаказных ИЭТ (до 10^5 логических вентилях на $см^2$).

Для выполнения двух первых требований БТ организована в виде блочно-модульной структуры (табл. 1), содержащей четыре крупных блока операций, каждый из которых может включать разное число модулей (циклов) операций.

Блок содержит совокупность операций, необходимых для создания того или иного законченного полуфабриката приборной структуры и контроля его качества (подложек и эпитаксиаль-

ных структур, изоляции компонентов, активных и пассивных компонентов и КМС).

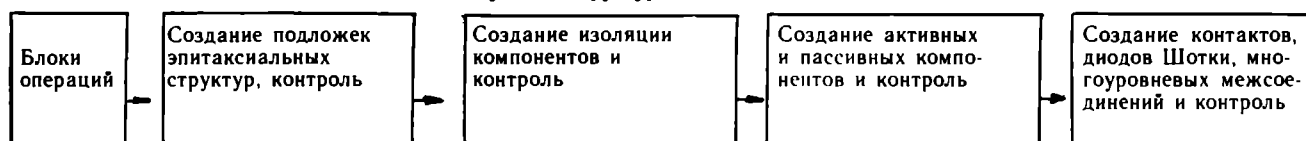
Модуль операций имеет такой их набор, который необходим для создания и изменения характеристик того или иного конструктивно-технологического слоя или элемента (например, скрытого слоя, любой новой области, нового типа изоляции, резисторов, конденсаторов, дополнительных контактов, диодов Шоттки, уровня межсоединений и т.п.). Основной операцией модуля является, как правило, гравировка.

Блочно-модульная организация БТ очень эффективна как при выполнении разработок новых приборов, так и при их серийном производстве. Совершенствование каждого блока можно осуществлять параллельно или независимо от других блоков.

Используя отдельные блоки с разным технологическим уровнем и содержанием (числом модулей), можно, при неизменных других блоках, в широких пределах изменять характеристики и функциональное назначение ИЭТ.

Таблица 1

Блочно-модульная структура базовой технологии ИЗОП



Содержание блоков

А. Основной набор операций базовой технологии (ЭСЛ-маршрут с одноуровневыми МС)

М о д у л и	1. Создание n^+ -скрытых слоев	1. Создание окисной разделительной изоляции (ОРИ) типа «локос» 2. Создание p^+ -стоп каналов	1. Создание глубоких n^+ -областей 2. Создание областей поликремния, p^+ -базы и резисторов 3. Создание активной базы и n^+ -эмиттера 4. Создание p^+ -областей. 4 фотолитографии	1. Создание полицидных областей (без фоторезиста) 2. Создание шин межсоединений 3. Создание защитного диэлектрика 3 фотолитографии
	1 фотолитография	2 фотолитографии	4 фотолитографии	3 фотолитографии

Б. Дополнительный набор операций базовой технологии для реализации цифровых и аналоговых схем с любой схемотехникой и числом МС до 4-х

О п е р а ц и и	1. Создание p^+ -скрытого слоя 2. Создание второго n -скрытого слоя 3. Создание самосовмещенных n^+ - и p^+ -скрытых слоев	1. Создание ОРИ с малым рельефом и боковым уходом 2. Создание щелевой изоляции 3. Создание СОИ	1. Создание высокоомных p -резисторов в монокремнии 2. Создание поликремниевых резисторов 3. Создание тонкопленочных конденсаторов 4. Создание ПК-диодов	1. Создание контактов к полицидным шинам Me 2. Создание межуровневых контактов Me1—Me2 3. Создание шин металла Me2 4. Создание межуровневых контактов Me2—Me3 5. Создание шин металла Me3 6. Создание ДШ1, ДШ2

Параметры основных конструктивно-технологических слоев ИЗОП-технологии

Блочно-модульная структура БТ является основой для организации производственных подразделений (цехов) при экономическом многономенклатурном серийном производстве ИЭТ с высоким качеством.

В качестве ядра БТ «ИЗОП» определен набор операций, необходимых для создания схем с одним уровнем МС, не требующих высокоомных резисторов и диодов Шотки (ЭСЛ, ТПЛ, ТТЛ, НПЛ, и т.п.), содержащий 9 гравировок. Для И²Л, не требующих локальных скрытых слоев и электрической изоляции, необходимо 7 гравировок. Для схем типа ТТЛШ, ИШЛ, ИТТЛ с дополнительными высокоомными монокристаллическими резисторами и диодами Шотки требуется 11 гравировок. Для создания каждого дополнительного уровня МС ядро БТ необходимо дополнить двумя новыми модулями. При необходимости создания таких элементов, как новый скрытый слой, поликремниевые диоды, резисторы, дополнительный полицидный уровень МС, потребуется включить по одному модулю в соответствующий блок маршрута.

Изменение рабочих напряжений ИЭТ в рамках БТ достигается соответствующим изменением толщины (глубины) уровня легирования и режимов формирования некоторых конструктивно-технологических слоев и топологией компонентов, без изменения общей структуры БТ и режимов создания других слоев и компонентов. Так, например, для создания высоковольтных логических и аналоговых схем с рабочими напряжениями до 200—250 В потребуется увеличить толщину и удельное сопротивление эпитаксиальных пленок до 20—25 мкм и 5 Ом·см и ввести в маршрут модуль формирования дополнительного p^+ -скрытого слоя.

Блочно-модульное представление ядра БТ и дополнительных модулей, обеспечивающих создание схем с любой биполярной схемотехникой и функциональным назначением, приведено в табл. 1, а параметры и режимы получения конструктивно-технологических слоев — в табл. 2.

В первом блоке, в подложках КДБ-10(III), проводят гравировку и ионное легирование (ИЛ) сурьмой с последующей термообработкой, формируют n^+ -скрытый слой, методом гидридной эпитаксии наращивают пленку n -типа и контролируют структуры.

Во втором блоке формируют окисно-нитридную маску, закрывающую области будущих компонентов и окружающих их изолирующих p^+ -областей, выполняют первое локальное термокомпрессионное окисление (ТКО₁) кремния, вырабатывая окисел 0,5—0,6 мкм. Фотогравировкой вскрывают изолирующие p^+ -области, селективно стравливают с них нитрид кремния и не снимая маску легируют ионами бора с большой энергией и дозой, снимают фоторезист и выполняют ТКО₂ в том же режиме, что и ТКО₁. Одновременно бор разгоняется до смыкания с p -подложкой и формирования изоляции карманов. Качество ее контролируют после селективного стравливания ос-

Конструктивно-технологический слой	Диапазон параметров конструктивно-технологических слоев
Подложка	ЭКДБ-10(111), 470 мкм
n^+ -скрытый слой	ИЛ Sb, $R_s = 20-40$ Ом/кв. кв., $x_j = 2-4$ мкм
n^- -эпитаксиальная пленка	$\rho = 0,3-10$ Ом·см $\pm 10\%$, $d = 0,8-20$ мкм $\pm 10\%$
ТКО ₁ (локос)	$ds_{SiO_2} = 0,5-0,6$ мкм $\pm 10\%$
ТКО ₂	$ds_{SiO_2} = 0,5-0,6$ мкм $\pm 10\%$
ТКО ₁ + ТКО ₂	$ds_{SiO_2} = 1,0-1,2$ мкм
ТКО ₃	$ds_{SiO_2} = 0,5-0,6$ мкм $\pm 10\%$
n^+ -глубокий	ИЛ P, $R_s < 50$ Ом/кв. кв., $> d_{эп.пл}$
p^+ -пассивная база, резисторы	ИЛ V, $R_s = 200-800$ Ом/кв. кв. $\pm 10\%$
p^+ -активная база	ИЛ V, $R_s = 500-5000$ Ом/кв. кв. $\pm 10\%$, $x_j = 0,1-0,6$ мкм
n^+ -эмиттер и контакты (Si*)	ИЛ As, $R_s = 10-15$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,05-0,3$ мкм
p^+ -эмиттер и контакты (Si*)	ИЛ V, $R_s = 50-150$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,2-0,4$ мкм
p^- -резисторы в монокремнии	ИЛ V, $R_s = 0,5-10$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,2-0,5$ мкм
Поликремниевые резисторы	
n^+ -типа	ИЛ As, $R_s = 100-2000$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,15-0,2$ мкм
p^+ -типа	ИЛ V, $R_s = 300-1000$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,15-0,2$ мкм
p^- или n^- -типа	ИЛ V, P, $R_s = 1000-1000000$ Ом/кв. кв., $x_j = 0,15-0,2$ мкм
Пассивация из Si ₃ N ₄	$ds_{Si_3N_4} = 0,1-0,2$ мкм
Полицидные шины, электроды, плавкие переемычки	Силицид платины — $R_s = 3-10$ Ом/кв. кв. Силицид титана — $R_s = 1,5-3,0$ Ом/кв. кв.
Шины Me1	TiW + Al(Si) — 0,15—0,4 мкм $\pm 10\%$
Межуровневый диэлектрик МД1	PXO + SiO ₂ , $d = 0,8$ мкм $\pm 10\%$
Шины Me2	TiW + Al(Si), $d = 0,15-0,7$ мкм $\pm 10\%$
Межуровневый диэлектрик МД2	PXO + SiO ₂ , $d = 1,0$ мкм $\pm 10\%$
Шины Me3	Al, $d = 1,2-2,0$ мкм $\pm 10\%$
Финишная пассивация	ФСС или ФСС + SiO ₂ или плазмохимический нитрид кремния, $d = 0,6-1,0$ мкм

татков нитридной маски.

Блок активных и пассивных компонентов начинают с формирования глубоких n^+ -областей в контактах к n -пленке (в коллекторах $n-p-n$ -транзисторов), легируя их ионами фосфора с большой энергией и дозой через маску из фоторезиста). Одновременно легируют фосфором поверхность локального окисла, формируя на нем слой ФСС, геттерирующий подвижные ионы.

После снятия фоторезиста и ТО освежают поверхность изолированных областей кремния и осаждают пленку нелегированного поликремния (ПКО), термически окисляют поликремний и наносят пленку нитрида кремния. Создают маску из фоторезиста, закрывающую области эмиттеров, контактов ко всем компонентам, тело высокоомных резисторов в монокремнии, области диодов Шотки и все другие поликремниевые компоненты. Через маску селективно травят нитрид кремния и легируют свободные от маски области ионами бора, проникающими через пленку поликремния и формирующими в монокремнии p^+ -области (пассивной базы $n-p-n$ -транзисторов, резисторов и т.п.). Сняв фоторезист, локально прокисляют пленку поликремния насквозь методом ТКО. При этом все области поликремния, закрытые окисно-нитридной маской, окружаются термическим окислом.

Селективно стравливают нитридную маску и вновь наращивают пленку нитрида кремния на всю поверхность для создания барьера против диффузии подвижных ионов, газов и паров влаги в приборные структуры. Выполнив гравировку, вскрывают в нитридной пленке области эмиттеров и других элементов n^+ -типа и последовательно легируют их в начале ионами бора с большой энергией и малой дозой через пленку поликремния, формируя области активной базы, самосовмещенные с пассивной базой, а затем ионами мышьяка с большой дозой, формируя эмиттер $n-p-n$ -транзистора и все поликремниевые n^+ -области.

При следующей гравировке вскрывают в пленке нитрида кремния области поликремниевых контактов к элементам p^+ -типа и легируют их ионами бора с большой дозой. После снятия ФР выполняют ТО в инертной среде до достижения требуемых характеристик структур, которые контролируют зондовым методом, используя тестовые структуры с поликремниевыми электродами.

В четвертом блоке, выполнив химическое и ионно-плазменное освежение поликремниевых областей, формируют на их поверхности пленку локального полицида платины или титана и создают контактирующие с ними шины межсоединений из пленок барьерного слоя (вольфрам-титана) и проводящего слоя из алюминия-кремния и гравируют шины межсоединений. После ТО шин создают защитное покрытие (ФСС или окисел) и гравируют в нем окна на контактных площадках схемы.

Высокоомные резисторы в монокремнии создают в третьем блоке, легируя через маску их тело ионами бора с большой энергией насквозь через пленку поликремния.

Пленка поликремния над телом резистора в сочетании с нитридом кремния экранирует его от влияния переменных поверхностных зарядов, что обеспечивает очень высокую стабильность и вос-

производительность характеристик резисторов даже при их высоком поверхностном сопротивлении (более 10 кОм/квадрат).

Еще более высокое сопротивление могут иметь тонкопленочные поликремниевые резисторы, расположенные над изолирующим окислом (до 10^5-10^6 Ом/квадрат), для создания которых требуется дополнительная гравировка и легирование любым типом примеси.

Для создания диодов Шотки с помощью гравировки и плазменного травления вытравливают пленку нитрида кремния и поликремния до монокремния и формируют на нем силицид. Пленка ПК эффективно защищает поверхность монокремния в области барьера от загрязнений и играет роль геттера быстродиффундирующих примесей, что позволяет улучшить качество барьеров Шотки в сравнении с традиционной конструкцией. Барьеры Шотки могут иметь p^+ -охраняющие кольца с разной конструкцией и поллицидные электроды, выходящие на изолирующий окисел. Последнее позволяет исключить непосредственный контакт шин межсоединений с областью силицидного барьера и их металлургическое взаимодействие, приводящее к деградации характеристик. Также можно исключить паразитное взаимодействие шин межсоединений и с любыми другими активными областями в монокремнии, что создает предпосылки для повышения надежности приборов.

Конструктивные особенности основных интегральных компонентов показаны на рис. 1,а—д. Конструктивно-технологическими особенностями комбинированной изоляции (см. рис. 1,а) являются: исключение критичных и трудоемких процессов травления изолирующих канавок в монокремнии (как в изопланарных технологиях), двухэтапное локальное окисление, малая высота и крутизна рельефа поверхности, создание областей p^+ -изоляции с высокой поверхностной конструкцией (до 10^{19} см⁻³), самосовмещенных с изолируемыми компонентами. Самосовмещение позволяет уменьшить до 1,5—2,0 мкм расстояние между p^+ -областью и компонентами в монокремнии (при толщине эпитаксиальных пленок не более 1,5 мкм). Без дополнительной гравировки формируется контакт к p -подложке (через p^+ -область). После прокисления пленки поликремния изолирующий окисел утолщается на 0,4—0,5 мкм, что уменьшает паразитные емкости шин межсоединений на подложку почти в 1,5 раза.

Транзисторы $n-p-n$ -типа (см. рис. 1,б) содержат низкоомные n^+ -скрытый слой и глубокий n^+ -слой под коллекторным контактом, что обеспечивает низкое сопротивление цепи коллектор—эмиттер.

Пассивная база самосовмещена с коллектором, активной базой и эмиттером. Она формируется легированием ионами бора в монокремний через пленку поликремния с последующим его прокислением. Специальная обработка поверхности монокремния перед осаждением поликрем-

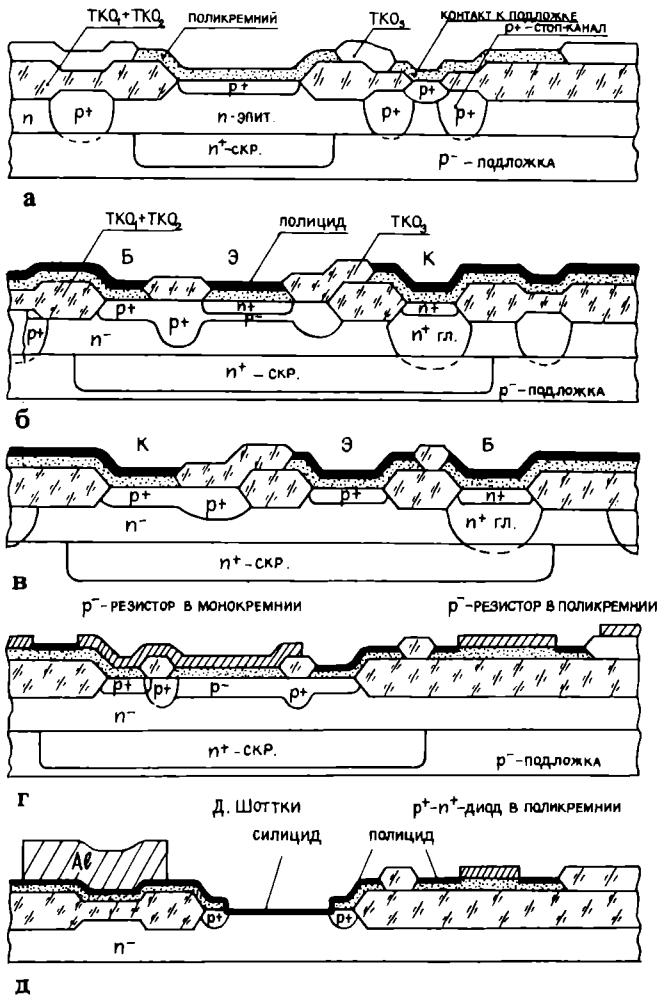


Рис. 1. Поперечные сечения структур основных интегральных компонентов: а — комбинированная изоляция с контактом к p^- -подложке; б — $n-p-n$ -транзистор с полицидными электродами ко всем элементам; в — один из вариантов латорального $p-p-p$ -транзистора; г — высокоомный резистор p^- -типа в монокремнии, пассивированный пленками поликремния и нитрида кремния; поликремниевый высокоомный p^- -резистор; д — силицидный диод Шоттки с охраняемыми p^+ -областями и поликремниевый p^+-n^+ -диод с торцевой конструкцией

ния, исключение загрязнения монокремния продуктами ионного легирования, специальный режим термообработки и прокисление поликремния, исключение значительного окисления монокремния обеспечивают высокое совершенство пассивной базы и воспроизводимость характеристик ее и p^+ -резисторов, формируемых в этом же слое.

Активная база, как и пассивная, создается легированием ионами бора через пленку поликремния, покрывающую эмиттер, в которую затем проводят легирование мышьяком (через ту же маску). Пленка поликремния защищает активную базу от загрязнений при ионном легировании и последующих термообработках, исключает

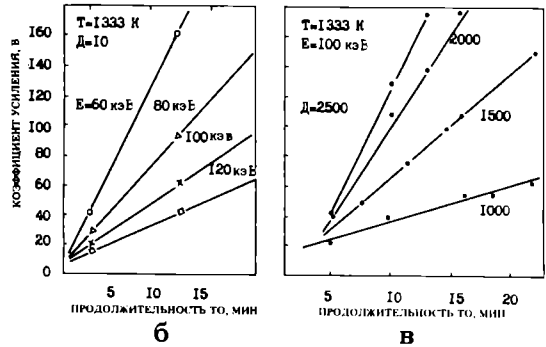
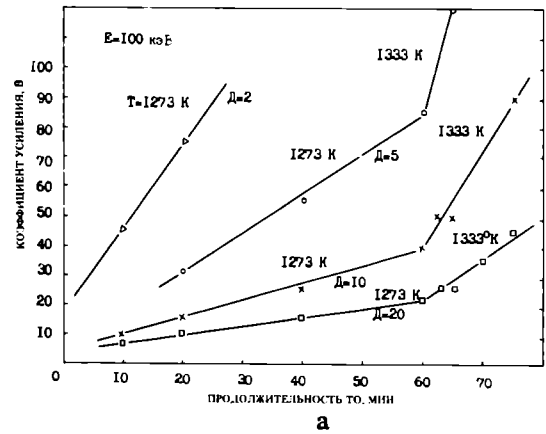


Рис. 2. Зависимости коэффициента усиления (B) $n-p-n$ -транзистора от продолжительности термообработки и режимов ионного легирования активной базы и эмиттера: а — зависимость B при разных дозах ионов бора ($D=2; 5; 10; 20$ мкКл/см²) при $E=100$ кэВ для двух температур ($T_1=1273$ К, $T_2=1333$ К) и дозе ионов мышьяка в эмиттере 2000 мкКл/см²; б — зависимость B при разной энергии ионов бора в активной базе; в — зависимость B при разной дозе ионов мышьяка в эмиттере (1000, 1500, 2000, 2500 мкКл/см²) при легировании активной базы в режиме $D=10$ мкКл/см², $E=100$ кэВ

ет эффекты неконтролируемого каналирования ионов. При большой энергии ионов бора (≥ 60 кэВ) ТО активной базы выполняют одновременно с ТО эмиттеров, при которой атомы бора активируются, а мышьяк диффундирует в активную базу из поликремния. Чем меньше энергия ионов бора и больше доза ионов мышьяка, тем меньше глубина активной базы, больше коэффициент усиления транзисторов и тем быстрее он растет при ТО (рис. 2). При малой энергии ионов бора большая их часть после ионного легирования располагается в пленке поликремния, из которой при ТО они могут диффундировать в монокремний, формируя активную базу с глубиной значительно меньшей, чем при большой энергии ионов (до 0,1 мкм в сравнении с 0,3—0,5 мкм). После диффузии мышьяка из поликремния ширина активной базы составляет 0,1—0,25 мкм (при разных режимах) при глубине эмиттера в монокремнии 0,05—0,25 мкм. Это поз-

воляет получить малые времена пролета носителей через базу и полосу частот транзисторов до 5—10 ГГц. Дальнейшее увеличение полосы частот и диапазона рабочих токов можно обеспечить формированием области скрытого коллектора под активной базой за счет ионного легирования фосфором с большой энергией ионов [6], что позволяет уменьшить ширину активной базы и эффект Кирка при больших плотностях тока.

Топология эмиттера $n-p-n$ -транзисторов формируется при прокислении пленки поликремния и имеет размеры меньшие, чем окисно-нитридная маска за счет бокового прокисления под ее край, которое можно изменять, меняя толщину окисного подслоя, нитрида кремния и режима прокисления в пределах 0,1—0,4 мкм на сторону. Это позволяет получать эмиттер с шириной, значительно меньшей, чем литографические проектные нормы (ПН). Геометрия эмиттера влияет на коэффициент усиления транзисторов: он уменьшается с шириной эмиттера. Основная причина этого — увеличение вклада краевой области эмиттера, где число Гуммеля в базе возрастает из-за перекрытия примесных профилей активной и пассивной областей базы. Степень этого перекрытия можно эффективно менять, выполняя изотропное подтравливание окисного подслоя под край маски перед TKO_3 . При этом уменьшается перекрытие примесных профилей и ширина эмиттера, снижается зависимость коэффициента усиления от ширины эмиттера, увеличивается пробивное напряжение перехода эмиттер—база, уменьшаются его токи утечки и емкость, увеличивается выход годных схем.

На усилительные характеристики $n-p-n$ -транзисторов влияет также доля периметра эмиттера, примыкающего к пассивной базе или окисной разделительной изоляции: чем больше периметр, примыкающий к этой изоляции, тем больше коэффициент усиления.

Отмеченные закономерности позволяют в рамках одного технологического маршрута в широких пределах менять усилительные, частотные и нагрузочные характеристики транзисторов, изменяя топологию эмиттеров.

В рамках базовой технологии можно реализовать большое количество вариантов $p-n-p$ -транзисторов с вертикальной и латеральной конструкцией (около 10 типов), отличающихся способом изготовления и конструкцией эмиттера и коллектора (см. рис. 1, в) и достигаемыми параметрами.

Резистивные элементы (около 15 типов) могут создаваться на различных конструктивных слоях в моно- и поликремнии (см. рис. 1, г) и их комбинациях с параллельно-последовательным включением, что позволяет регулировать их номинал и температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Величины поверхностных сопротивлений резисторов R_s находятся в диапазоне $10-10^6$ Ом/квadrat, что закрывает потребности

практически всех типов логических и аналоговых приборов.

Используя разные конструктивно-технологические слои, можно создать более 10 типов диодов (см. рис. 1) на основе $p-n$ -переходов с различным обратным напряжением пробоя (3—200 В) и удельной емкостью (250—3000 пФ/мм²), в том числе диэлектрически изолированные диоды в пленке поликремния с торцевой конструкцией, имеющие очень малые удельные емкости и высокие (до 1000 В) напряжения изоляции от подложки.

Важной особенностью рассмотренной базовой технологии и конструкций компонентов является возможность получения приборных структур с предельно малыми глубинами и толщинами слоев и, следовательно, наиболее высокими частотами и импульсными характеристиками. Это обеспечивается сочетанием низкотемпературной гидридной эпитаксии сверхтонких (до 0,8 мкм) n -пленок, отсутствием расходования эпитаксиальной пленки на окисление и подтравливание (в активных областях), возможностью уменьшить глубины активной базы и эмиттера (до 0,1 и 0,05 мкм соответственно) за счет использования пленки поликремния в эмиттерах и контактах, исключения явлений каналирования и мелкого ионного легирования и диффузии примесей, прецизионной ТО с активным контролем и регулированием параметров активных структур.

Рассмотренный конструктивно-технологический базис позволяет создавать широкую номенклатуру компонентов и менять их параметры в больших пределах.

В то же время необходима, особенно в прецизионных аналоговых схемах, высокая точность воспроизведения параметров. Она обеспечивается следующим комплексом мер:

- активным контролем режимов технологических процессов и параметров при создании конструктивно-технологических слоев, при этом используется система спутниковых пластин и тестовые структуры;

- поблочной организацией маршрута с финишным контролем результатов каждого блока и обеспечением возможности оперативной корректировки режимов выполнения критичных операций и исправления брака;

- независимой друг от друга регулировкой основных конструктивно-технологических слоев и элементов приборных структур;

- использованием разработанного унифицированного набора и конструкции тестовых структур для контроля всех типов изделий, создаваемых в рамках базовой технологии, который организован в виде: тестовой полосы шириной 200 мкм, встраиваемой в каждый кристалл с большой площадью (более 15 мм²) вдоль одной или двух сторон кристалла, тестового кристалла, впечатываемого в многокристальный модуль (при малых размерах кристаллов);

— обеспечением возможности оперативного зондового контроля всех основных приборных структур непосредственно после термообработки, формирующей их параметры, на тестовых структурах с поликремниевыми электродами и контактными площадками.

Последняя мера позволяет выбрать режимы термообработки на каждой рабочей пластине с очень высокой точностью и компенсировать влияние разброса технологических параметров предшествующих операций (дозы и энергии ионов, толщины слоев, геометрии областей и т.п.) на основные параметры компонентов (коэффициенты усиления, пробивные напряжения, номиналы резисторов и т.п.). По результатам такого контроля можно выполнить дополнительные процессы ионного легирования, травления, нанесения слоев и термообработки, что позволяет исключить брак по параметрам структур, который мог бы быть выявлен только после формирования металлических межсоединений, когда исправление брака уже невозможно. ПК электроды в тестовых структурах позволяют в очень короткое время и при малой трудоемкости выявить зависимости параметров от основных конструктивно-технологических факторов, что обеспечивает точную и оперативную настройку процессов и поддержание их уровня. Еще одно преимущество тестов с поликремниевыми электродами — возможность зондового контроля структур с неограниченно малыми вертикальными и горизонтальными размерами без их разрушения и загрязнения (создания межсоединений), что невозможно при использовании других конструктивно-технологических базисов и конструкции тестов.

Основными причинами брака приборов являются несоответствие параметров компонентов заданным требованиям и дефекты, возникающие при их изготовлении. Первая причина устраняется комплексом мер, рассмотренных выше. Для уменьшения вероятности появления дефектов, кроме обычных мер, применяемых при любой технологии изготовления и конструкции ИЭТ, в рамках БТ «ИЗОП» используются следующие методы. При создании комбинированной изоляции исключены операции травления монокристаллического кремния, способные внести загрязнения и вызвать появление структурных дефектов. Используется локос-изолирующий окисел с относительно небольшой толщиной и малым уровнем вносимых в структуру термомеханических напряжений и деформаций.

При формировании структур в кремнии отсутствуют операции сквозного травления изолирующих слоев, они формируются методом локального прокисления.

В изолирующем окисле имеется встроенный в него и закрытый сверху пленкой TKO_3 слой ФСС, выполняющий роль геттера подвижных ионов. Внутри кремниевых структур создаются области с сильным легированием, которые вы-

полняют роль геттера рекомбинационных примесей и стока структурных дефектов: n^+ -скрытые слои, p^+ -изолирующий слой, n^+ -глубокий коллектор. Обе поверхности кремниевых пластин покрываются пленкой поликремния, которая также является эффективным геттером примесей и защищает монокремниевые структуры от загрязнений и затравливания в течение всего цикла их изготовления.

Пассивация структур нитридом кремния обеспечивает их защиту от проникновения подвижных ионных загрязнений (щелочных металлов), газов и паров влаги. Использование самосовмещенных и полицидных контактных областей по всем компонентам практически исключает проблему деградации параметров и брака при вскрытии контактов при неограниченно малой глубине структур в монокремнии. В сочетании с использованием тугоплавного барьерного подслоя из вольфрам-титана под первым уровнем межсоединений и возможностью исключения непосредственного контакта шин межсоединений с критичными активными компонентами обеспечивается высокая металлургическая и термотоксовая стабильность контактно-металлизованной системы. Малая высота и крутизна микрорельефа подложек перед созданием этой системы также снижает ее дефектность и повышает надежность.

Формирование первого уровня межсоединений из пленки полицида практически исключает появление в них таких видов дефектов как обрывы и КЗ из-за царапин и размазывания шин. При создании многоуровневой контактно-металлизационной системы используется планизация межуровневого диэлектрика.

Перечисленные конструктивно-технологические решения создают предпосылки для обеспечения высокого выхода годных и надежности приборов. Их высокая стойкость к комплексным радиационным воздействиям также обеспечивается совокупностью мер, которые позволяют решать проблемы устойчивости изоляции и транзисторов $n-p-n$ к ионизирующим излучениям.

В соответствии с рассматриваемой технологией, в отличие от традиционной изопланарной, между изолированными друг от друга компонентами создается p^+ -слой с очень высокой поверхностной концентрацией (более 10^{19} см^{-3}), что исключает возможность образования инверсионных каналов под изолирующим окислом после высоких доз ионизирующего излучения.

Использование сильнолегированных скрытого и глубокого коллекторов в сочетании с тонкой и низкоомной эпитаксиальной пленкой исключает возрастание сопротивления цепи эмиттер—коллектор из-за захвата носителей на ловушки, возникающие в монокремнии при облучении высокоэнергетическими частицами (нейтронами, протонами и т.п.).

Создание транзисторов с очень узкой активной базой (около 0,1 мкм) и мелким эмиттерным переходом (около 0,1 мкм) с резким гра-

OldPC.su

музей компьютеров

диентом примеси обеспечивает очень низкую деградацию коэффициента усиления при больших потоках частиц с высокой энергией.

Высокая концентрация примеси на поверхности пассивной базы, окружающей эмиттера, исключает образование на ней инверсионных каналов между эмиттером и коллектором при ионизирующем облучении.

Высокая радиационная стойкость обеспечивается также при примыкании поликремниевоего эмиттера к краю изолирующего окисла (в отличие от традиционной технологии типа «Изопланар II» [1—5]). Это объясняется конструктивно-технологическими особенностями таких структур, которые позволяют создать специфический профиль распределения примеси в активной базе, примыкающей к изолирующему окислу, радикально отличный от профиля в традиционных изопланарных приборах.

Возможность примыкания полоскового эмиттера к краю изоляции при сохранении высокой термо-полевой стабильности и радиационной стойкости приборов позволяет значительно уменьшить площадь транзисторов при использовании нежестких проектных норм и простой технологии изготовления.

Широкая номенклатура резистивных элементов с малой площадью и возможностью создавать диэлектрически изолированные тонкопленочные резисторы, использование диодов Шотки и контактно-металлизационной системы с высокой металлургической и термотокковой стабильностью обеспечивают устойчивость схем с импульсным ионизирующим воздействием с большой интенсивностью.

Таким образом, разработанные БТ и конструктивные решения обеспечивают высокую надежность и стойкость приборов ко всему комплексу специальных воздействий, что подтверждается многолетним опытом их применения для разработок нескольких десятков БИС с различной, в том числе комбинированной, схемотехникой (ТТЛШ, ЭСЛ, ЭСЛ/ТТЛШ, ИШЛ, ШТЛ, ТТЛШ/ШТЛ). В их число, например, входят серия логических БИС М1804, серия БИС для цифровой обработки сигналов М1838, серия ползуказных схем на базовых матричных кристаллах (БМК) ТТЛШ-типа 1548, БМК ШТЛ-типа и ЭСЛ-типа на 10 тыс. логических вентилях.

По рабочему диапазону температур, надежности и радиационной стойкости все они соответствуют жестким требованиям военно-космического применения.

В настоящее время ведется совершенствование БТ и ее блоков в направлении уменьшения трудоемкости маршрута и увеличения достигаемой степени интеграции за счет уменьшения проектных норм, создания сверхплотной изоляции, использования методов сверхсамосовмещения и конструктивно-функциональной интеграции компонентов, повышения трассирующих возможностей КМС. На этой основе проводятся

разработки БМК на 50,0 и 100,0 тыс. логических вентилях, при использовании проектных норм 2 мкм и исследуются возможности реализации ультрабольших ползуказных «систем на кристалле» со степенью интеграции до 10^6 логических вентилях [7].

Второе направление выполняемых конструктивно-технологических разработок — создание на основе БТ «ИЗОП» еще более универсальной БИКМОП технологии для реализации приборов с любой схемотехникой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р а й с Д. Создание высококачественных цифровых БИС и СБИС по технологии «ИЗОПЛАНАРS». — Электроника, 1979, № 25, с. 35—41.
2. W E N C. KO et al. — A simplified Fully Implanted Bipolar VLSI Technology. — IEEE Trans. on ED, N 3, 1983, p. 236—239.
3. Новый процесс изготовления биполярных СБИС. — Электроника, 1986, № 18, с. 17—22.
4. Г а й д у к Ж.М. и др. Особенности технологии изготовления логических ИС серии 1533. — Электронная промышленность, 1992, вып. 5, с. 23—24.
5. А г а х а н я н Т.М. и др. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Л у к а с е в и ч М.И. и др. Методы совершенствования транзисторной структуры БМК. — Электронная промышленность, 1993, № 1—2, с. 39—40.
7. Н и с к о в В.Я. Перспективы создания ползуказных УБИС на 1 миллион логических вентилях. — Наст. вып., с. 28.

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

ИГРОВОЙ КОМПЛЕКС «ГАММА»

предназначен для использования в качестве домашнего игрового центра, для реализации игровых программ с элементами мультипликации и электронным синтезом звука — от игры с компьютером в шахматы до просмотра компьютерных слайдов; для применения в качестве персонального банка данных, формируемого пользователем;

обеспечивает получение высококачественных многоцветных изображений, позволяет строить графики и рисунки с высокой разрешающей способностью, оформлять и выводить различную текстовую и цифровую информацию в виде многоцветных таблиц.

Технические характеристики

Разрядность	8 бит
Объем ОЗУ	48 Кбайт
Объем ПЗУ	16 Кбайт
Число воспроизводимых цветов	8
Число градаций яркости	2
Количество отображаемых точек на экране	256×192
Языки программирования	БЕЙСИК, ПАСКАЛЬ, ФОРТРАН, АССЕМБЛЕР
Внешние устройства	магнитофон, цветной монитор (телевизор), печатающее устройство с интерфейсом «СТЫК С»
Управление	два манипулятора (джойстика)
Потребляемая мощность	не более 30 Вт

Выпускается с 1983 г.

Заказы на изделия в виде гарантийного письма принимаются по адресу:
394042, г. Воронеж, ул. Мясная, 18, ОКБ при заводе «Процессор».
Консультации по техническим вопросам:
Ткаченко Алексей Михайлович, тел. (0732) 23-79-80.

Развитие технологии КМОП и БиКМОП СВИС

Г.В.СОНОВ *канд.техн.наук*, Н.В.ДМИТРИЕВ, Б.Н.ИСАЕВ, В.Д.СКОРОХОДОВ,
Н.Я.МЕЩЕРЯКОВ

В настоящее время очевидно, что КМОП-технология является ведущей для получения полупроводниковых БИС и СВИС.

Все 1970-е годы прошли под знаком МОП-схем на приборах с одним типом проводимости канала. К первым МОП-приборам относятся *p*-канальные МОП ИС с металлическими, а затем с поликремниевыми затворами, которые были вытеснены *n*-канальными МОП-приборами с поликремниевыми затворами [1]. Эти приборы получили очень широкое распространение благодаря тому, что были достигнуты значительные успехи в повышении плотности упаковки и быстродействия БИС и СВИС.

На рубеже 1970—80-х годов в результате роста сложности и непрерывного увеличения функциональной насыщенности кристаллов стал очевидным переход с *n*-канальной МОП-технологии на КМОП-технологии [2]. Это объясняется следующими факторами: необходимостью уменьшить рассеиваемую мощность и рабочие температуры кристаллов БИС; растущей сложностью технологии изготовления и конструкции *n*-канальных МОП БИС; повышенной помехоустойчивостью КМОП-приборов; меньшей чувствительностью параметров КМОП-приборов к технологическим разбросам.

Несомненно, главную роль здесь играет возможность уменьшения рассеиваемой мощности.

Развитие КМОП-технологии. Разработка и развитие КМОП-технологии в НИИЭТ начались около пятнадцати лет назад. Благодаря достижениям в области фотолитографии и технологии изготовления пластин и переходу от 5-микронных к 3-микронным размерам был разработан КМОП-технологический процесс с *p*-карманом, одним уровнем металлизации и 3-микронными проектными нормами.

Исходным материалом в КМОП-технологии является кремниевая подложка *n*-типа, ориентированная в плоскости (100), в которой создаются карманы *p*-типа имплантацией ионов бора через окна окисной маски и последующей разгонкой примеси при температуре 1200°C в окислительной среде. После удаления исходного окисного слоя фотолитографией формируются активные области обоих типов транзисторов в слое нитрида кремния с помощью плазменного травления и легируются ионами фосфора области изоляции транзисторов в подложке и карманах с целью обеспечения запаса порогового напряжения па-

разитного транзистора *p*-типа. Затем области изоляции в карманах селективно легируются ионами бора, причем величина дозы должна обеспечивать перекомпенсацию донорной примеси и запас порогового напряжения паразитного транзистора *n*-типа. Выращивание толстого изолирующего слоя окисла при 950°C методом термокомпрессионного окисления сопровождается разгонкой примесей из имплантированных слоев. После удаления двухслойного диэлектрика окисел-нитрид создается подзатворный окисел. Пороговые напряжения обоих типов транзисторов определяются исходной концентрацией примеси подложки и кармана. Затем осаждают из газовой фазы при низком давлении слой поликремния, который легируется фосфором для получения высокой электропроводности, а потом формируется из него топологический рисунок затворов и межсоединений плазмохимическим способом.

На следующем этапе для создания областей истока и стока транзисторов обоих типов последовательно формируются фоторезистивные маски с окнами. Эти области легируются ионами мышьяка и бора. После термического отжига, который проводится для активации имплантированной примеси и устранения радиационных нарушений структуры, осаждается фосфоросиликатное стекло (9—10% фосфора) с подслоем пиролитического окисла (диффузия фосфора из фосфоросиликатного стекла в исток-стоковые области *p*-типа исключается). После уплотнения межслойной изоляции при 1000°C вскрываются контактные окна плазмохимическим травлением и формируется алюминиевая металлизация.

На базе этой технологии в НИИЭТ разработан ряд цифровых схем, в том числе 4—8-разрядные однокристалльные микроЭВМ, микропроцессоры и контроллеры, вентильные матрицы на 2—5 тыс. вентиляей.

Применение пропорциональной миниатюризации для *n*-канальных МОП- и КМОП-схем позволило резко повысить быстродействие, хотя в 1980-х годах КМОП-схемы все еще отставали по быстродействию от *n*-канальных МОП-схем, но это было связано с применяемой КМОП-технологией с *p*-карманами и нерешенными проблемами миниатюризации.

Следующим этапом в развитии КМОП-технологии стал переход на 2-микронные проектные нормы на базе технологии быстродействующих *n*-канальных МОП БИС. В результате в конце

1980-х годов в НИИЭТ был разработан высококачественный КМОП-технологический процесс с карманом n -типа, двумя уровнями металлизации и 2-микронными проектными нормами, который предусматривает возможность формирования наиболее ответственных элементов БИС с минимальными размерами 1,8 и даже 1,6 мкм.

При выборе типа проводимости кармана для реализации КМОП-структур с минимальными размерами элементов 2 мкм, а в дальнейшем 1,5 мкм, были приняты во внимание следующие факторы:

- использование «логики домино» при проектировании сложных быстродействующих КМОП-схем [3]. В этом случае как рабочие характеристики, так и необходимое число транзисторов в вентиле определяются параметрами n -канальных транзисторов. При размещении последних вне кармана значительно улучшается их проводимость и уменьшаются паразитные емкости переходов. Повышается также плотность упаковки, поскольку для большинства транзисторов не требуются контакты к карману;

- создание p -канальных транзисторов в карманах n -типа позволяет применить методы уменьшения геометрических размеров, разработанных для n -МОП-структур;

- меньшая склонность к эффекту защелкивания тиристорных структур из-за малого коэффициента усиления паразитного вертикального p — n — p -транзистора и большей емкости подложки p -типа в качестве стока для тока ударной ионизации, который состоит преимущественно из электронов.

Кроме того, в связи с дальнейшей пропорциональной миниатюризацией элементов схем в КМОП-технологии возникает ряд проблем [4]. Наиболее распространенная из них — защелкивание паразитных тиристорных структур. Для снижения вероятности защелкивания рекомендуется снизить сопротивление кармана и подложки, но при этом изменение концентрации примеси в каналах транзисторов имеет ограничение из-за ухудшения характеристик транзисторов. Простое, но дорогое решение этой проблемы предусматривает изготовление КМОП БИС в эпитаксиальных слоях на низкоомной подложке. Такие подложки служат шунтирующей цепью для паразитных токов, способных вызвать прямое смещение соседних переходов и тем самым защелкивание схемы. Однако стоимость эпитаксиальных подложек по сравнению с монокристаллическими значительно выше, а по качеству и наличию структурных дефектов в настоящее время они уступают монокристаллическим и не отвечают современным требованиям производства КМОП БИС и СБИС.

Наиболее разумная перспектива — это изготовление устойчивых к защелкиванию КМОП-схем (по крайней мере, для схем с 2,0- и 1,5-микронными проектными нормами) на обычных подложках p -типа. Для ее реализации нужно

принять несколько не слишком существенных компромиссных решений. В области топологии — это использование во всех входных и выходных каскадах только n -канальных транзисторов, отделение всех входных и выходных каскадов от остальных областей КМОП-кристалла охранными кольцами, использование локальных заземляющих контактов по всей длине транзистора во всех внутренних p -канальных транзисторах, выполняемых в карманах. С точки зрения технологических методов — это создание имплантированных слоев с высокой концентрацией примеси под изолирующим окислом, снижающих сопротивление подложки и кармана; создание качественных переходов область n^+ -подложка с целью снижения эффекта ударной ионизации вблизи стокового перехода и уровня токов в подложке; формирование глубоких охранных колец, самосовмещенных с карманами; оптимизация профиля распределения примеси в канале и параметров p -канальных транзисторов при относительно высоком уровне легирования кармана n -типа.

Другой проблемой, возникающей при разработке КМОП БИС, являются межсоединения. Поскольку для реализации КМОП-структур требуются контакты как к n -, так и к p -областям, традиционные в n -канальной МОП-технологии скрытые контакты, соединяющие поликремниевые области n -типа с областями истока или стока n -типа, оказываются крайне неудобными. Это налагает дополнительные требования на технологию получения контактов и металлизации. В КМОП БИС с высокой плотностью упаковки элементов первый уровень металлизации используется в основном для создания локальных межсоединений между p - и n -канальными транзисторами, а добавление второго уровня металлизации обеспечивает соединение элементов, удаленных друг от друга на большие расстояния, и создание общих линий питания и передачи данных в сложных микропроцессорных БИС. Создание контактных областей в КМОП БИС является более сложной задачей. В n -МОП-технологии использовались легированные фосфором углубленные в подложку контактные области, которые исключали утечки и деградацию переходов даже в случае затравливания кремниевых подложек при вскрытии контактных окон плазмохимическим способом или смещения контакта к краю изолирующего окисла погруженные контактные области. В КМОП БИС для получения аналогичных результатов необходимо использовать усовершенствованные технологические методы формирования надежных контактов.

Основные этапы формирования структур в рамках разработанного КМОП технологического процесса с n -карманом и 2-микронными проектными нормами показаны на рис. 1.

Исходный материал — кремниевая подложка p -типа с высоким удельным сопротивлением, ориентированная в плоскости (100). В ней формируются n -карманы легированием ионами фосфора через тонкий слой окисла в окнах фоторе-

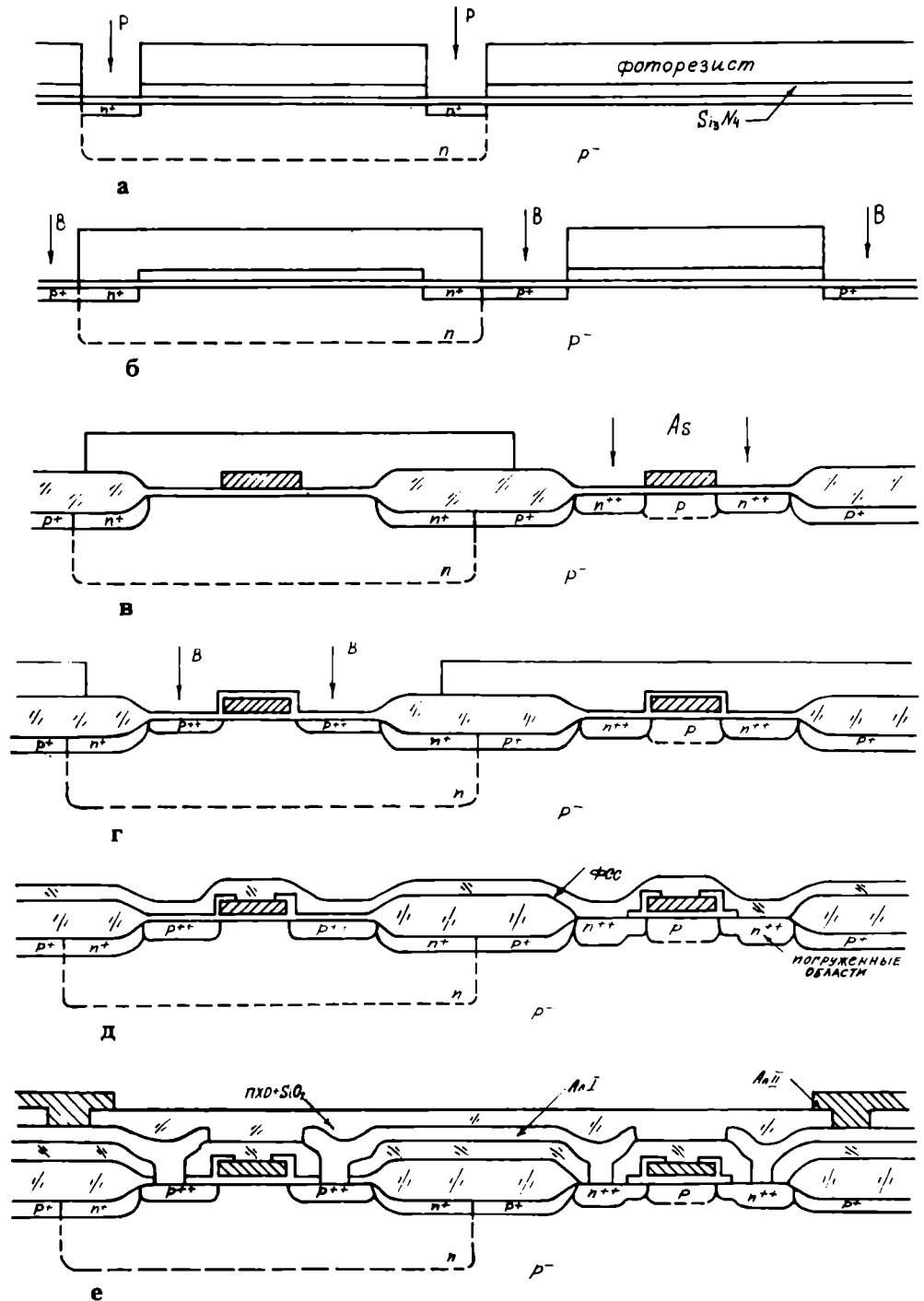


Рис. 1. Основные этапы изготовления КМОП-структур

зистивной маски. После удаления слоев оксида и фоторезиста на областях карманов создают повторно тонкий слой оксида при низкой температуре и разгоняют примесь в карманах на глубину 4,0 мкм при 1200°C в инертной среде. Такой способ формирования карманов обеспечивает высокую воспроизводимость поверхностной концентрации примеси в карманах за счет исключения перераспределения примеси на границе раздела кремний-оксид в процессе высокотемпературной обработки.

После удаления исходного оксида создаются слои оксида и нитрида кремния для проведения ЛОКОС-процесса. С помощью фотолитографии и плазмохимического травления отдельно формируются сначала активные области транзисторов p-типа в карманах и легируются области изоляции этих транзисторов ионами фосфора (фоторезист при этом не удаляется, см. рис. 1,а), а потом активные области транзисторов n-типа в подложке с соответствующим легированием областей изоляции этих транзисторов ионами

бора (см. рис. 1,б). Такой способ формирования активных и охранных областей обоих типов транзисторов позволяет гибко и независимо варьировать дозу и энергию легирования примесями в охранных областях в широких пределах и создавать имплантированные слои с высокой концентрацией под изолирующим окислом. Максимальная концентрация примеси ограничивается требованиями к напряжению пробоя исток-стоковых областей МОП-транзисторов. За счет этого снижается сопротивление тел подложки и кармана, и вероятность защелкивания КМОП-структур. Кроме того, исключается вероятность проникновения ионов примеси в области каналов транзисторов через маску из фоторезиста и нитрида кремния и неконтролируемое изменение концентрации примеси.

Далее перед созданием изолирующего окисла методом термокомпрессионного окисления при 950°C введена предварительная разгонка примеси в охранных областях при 1000°C, которая гарантирует исключение утечек транзисторов *n*-типа на краю окисной изоляции за счет опережения фронтом боковой диффузии примеси бокового распространения окисла под нитридную маску. После формирования окисной изоляции удаляется маска из нитрида и окисла кремния и создается подзатворный окисел при 1000°C в среде сухого кислорода с 5% хлористого водорода. С помощью легирования ионами бора через затворный окисел создается глубокая имплантированная область, которая служит эквивалентом кармана, предотвращая смыкание обедненных областей в транзисторах *n*-типа, и проводится подгонка порогового напряжения обоих типов транзисторов. Необходимые параметры этих транзисторов обеспечиваются оптимизацией профилей распределения примесей в областях кармана и каналов транзисторов. Затем осаждается из газовой фазы слой поликремния, легированный фосфором, из которого формируется топологический рисунок затворов и межсоединений плазмохимическим способом.

На следующем этапе селективно (с использованием фотолитографии) легируются исток-стоковые области транзисторов *n*-типа ионами мышьяка (см. рис. 1,в). Термический отжиг для активации донорной примеси проводится одновременно с созданием термического окисла толщиной 0,2 мкм на исток-стоковых областях *n*-типа и поликремниевых затворах. Затем селективно (с использованием фотолитографии) легируются ионами бора исток-стоковые области транзисторов *p*-типа (см. рис. 1,г). При формировании исток-стоковых областей активация только донорной примеси двухстадийным длительным термическим отжигом полностью устраняет радиационные нарушения структуры, вызванные имплантацией мышьяка, обеспечивает формирование качественных переходов в подложке. За счет этого уменьшается уровень токов в подложку и вероятность защелкивания. В исток-стоковых областях транзисторов *p*-типа акцепторная примесь не подвергается разгонке

при длительной высокотемпературной обработке, что предотвращает смыкание исток-стоковых областей *p*-типа. Благодаря созданию термического окисла на боковых стенках и поверхности поликремниевых затворов снижаются паразитные емкости перекрытия исток-сток затвором для обоих типов транзисторов и повышается надежность межслойной изоляции.

Перед осаждением фосфоросиликатного стекла селективно вскрываются контактные окна в термическом окисле жидкостным методом к активным областям *n*-типа и поликремниевым затворам. Уплотнение межслойной изоляции обеспечивает сглаживание рельефа структур, активацию примеси *p*-типа и диффузию фосфора из фосфоросиликатного стекла в контактные области исток-стоковых областей *n*-типа (см. рис. 1,д). Сформированные таким образом погруженные контактные области *n*-типа исключают утечки и деградацию переходов в местах контактов. Вскрытие контактных окон в межслойной изоляции проводится плазмохимическим способом. После напыления первого слоя алюминия с одним процентом кремния создают топологический рисунок металлизации нижнего уровня. Межуровневая изоляция формируется из двух слоев плазмохимического и пиролитического окислов с планаризацией поверхности структур. Во втором слое алюминия с 1% кремния создают топологический рисунок металлизации верхнего уровня. Формирующий отжиг проводится при 450°C (см. рис. 1,е).

На базе данной технологии в НИИЭТ разработан ряд цифровых схем: цифровые процессоры обработки сигналов, 16-разрядные микропроцессоры и контроллеры широкого назначения, вентиляльные матрицы на 15—30 тыс. вентиляей.

Следующим этапом в развитии КМОП-технологии стал переход к 1994 г. на 1,5-микронные проектные нормы. На базе имеющегося спецтехнологического оборудования и совершенствования фотолитографических и плазмохимических процессов, обеспечивающих формирование топологических слоев с минимальным размером элементов 1,5 мкм, воспроизводимый уход размеров относительно фотшаблона и точность совмещения не более 0,25 мкм, а также с использованием основных методов создания структур в рамках КМОП-технологии с 2-микронными проектными нормами и новых технологических решений к настоящему времени в НИИЭТ разработан КМОП-технологический процесс с *n*-карманом, двумя уровнями металлизации и 1,5-микронными проектными нормами.

Среди технологических усовершенствований при переходе на 1,5-микронные проектные нормы следует отметить:

— использование при формировании изоляции КМОП-структур технологического варианта с двумя самосовмещенными карманами в связи с уменьшением расстояния между транзисторами *n*- и *p*-типа и вероятности защелкивания паразитных структур [5];

— создание исток-стоковых областей транзисторов n -типа методом двойной диффузии (имплантацией ионов фосфора и мышьяка) для предотвращения инжекции горячих электронов в подзатворный окисел и носителей в подложку [6];

— формирование погруженных контактных областей p^+ -типа путем селективной имплантации ионов фосфора после вскрытия контактных окон, активации и разгонки примеси n -типа в этих областях, совместимых с необходимым оплавлением рельефа контактных окон размером 1,5 мкм с целью улучшения качества покрытия ступеньки осаждаемым потом металлом;

— использование антиотражающих покрытий из нитрида титана поверх алюминиевых слоев при формировании двухуровневой металлизации, обеспечивающих качественное формирование топологического рисунка разводки и исключение закороток на рельефе структур при малых зазорах между шинами.

На базе этой технологии планируется разработка ряда высокопроизводительных 16-разрядных микропроцессоров и контроллеров, цифровых процессоров обработки сигналов, вентиляных матриц на 50 тысяч вентилях, программируемых логических интегральных схем.

Комбинированные КМОП-технологии. Современ-

ные высококачественные КМОП-схемы, обладающие малой потребляемой мощностью и высокой помехоустойчивостью, позволяют реализовать в составе одного кристалла аналоговые и цифровые схемные функции. В настоящее время широко используются средства цифровой обработки сигналов и другие подобные цифровые функции, а большинство сигналов датчиков имеют аналоговый вид. В связи с этим КМОП-схемы представляют собой идеальное техническое решение для реализации обоих классов функций.

Для создания КМОП-схем с аналого-цифровыми блоками высокой степени интеграции, в которых кроме КМОП-транзисторных структур необходимо применение высококачественных конденсаторов и высокоомных резисторов для аналоговых элементов, разработан комбинированный технологический процесс изготовления данного класса схем, включающий базовую КМОП-технологии с 2-микронными проектными нормами, карманом n -типа, одним уровнем поликремния и двухуровневой металлизацией и аналоговый технологический модуль. Этот модуль представляет собой группу операций, обеспечивающих добавление второго слоя поликремния для получения верхних обкладок «интерполикремниевых» (с диэлектриком между поликрем-

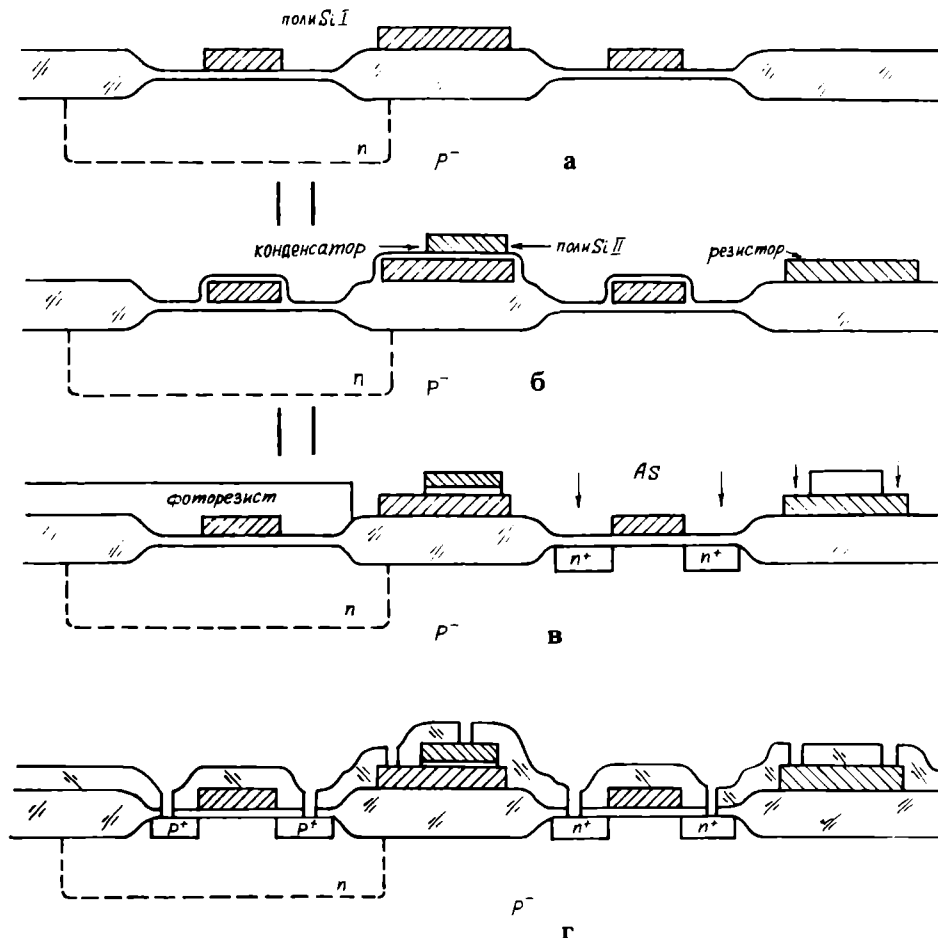


Рис. 2. Основные этапы формирования аналоговых элементов КМОП БИС

ниевыми обкладками) конденсаторов и высокоомных резисторов.

Основные этапы формирования топологических слоев для реализации аналоговых элементов показаны на рис. 2.

В первом слое поликремния формируется топологический рисунок затворов транзисторов и нижних обкладок конденсаторов (см. рис. 2,а). Далее создается изолирующий слой для диэлектрика конденсаторов (оксидный или двухслойный оксидно-нитридный) и осаждается второй слой поликремния, который легируется ионами донорной примеси с дозой, необходимой для формирования высокоомных резисторов с заданными значениями удельного сопротивления и номиналов. В нем формируется топологический рисунок верхних обкладок конденсаторов и резисторов плазмохимическим травлением (см. рис. 2,б). Процесс плазмохимического травления предусматривает после удаления поликремния с горизонтальных участков структур боковой подтрав под фоторезистивную маску на заданную величину, что исключает наличие поликремневых «ниток» на рельефе первого слоя поликремния. При этом затворы транзисторов, в первом слое поликремния, маскируются изолирующим слоем, с которых он селективно стравливается перед удалением фоторезистивной маски.

Далее ионами мышьяка большими дозами легируются (с использованием фотолитографического процесса) исток-стоковые области транзисторов *n*-типа, верхние обкладки конденсаторов и контактные области резисторов (см. рис. 2,в). При этом, кроме активных областей транзисторов *p*-типа, фоторезистом маскируются высокоомные резисторы. При активации донорной примеси с окислением поверхности структур происходит перераспределение примеси по объему резисторов, а окисный слой исключает диффузию фосфора из фосфоросиликатного стекла при создании межслойной изоляции и изменение в них концентрации донорной примеси (см.рис. 2,г)

Такой вариант реализации аналогового технологического модуля является наиболее оптимальным, так как обеспечивает воспроизводимость параметров аналоговых элементов и возможность изменять толщину затворного оксида, не влияя на параметры конденсаторов, размещенных в двух слоях поликремния. Такое независимое варьирование параметров кристалла предоставляет большую гибкость при проектировании сложных схем.

Введение в состав КМОП-схем с аналого-цифровыми блоками стандартных элементов электрически стираемых программируемых постоянных запоминающих устройств (ЭСППЗУ) изменяет подход к созданию заказных БИС. Сочетая на одном КМОП-кристалле энергонезависимое и электрически стираемое ППЗУ, логические схемы с настраиваемой конфигурацией и аналоговые функциональные блоки с подгоняемыми элементами, можно получить широкие и гибкие

возможности реализации самых разнообразных схем.

В связи с этим сейчас ведутся работы по созданию комбинированного технологического процесса изготовления специализированных КМОП БИС с встроенными ЭСППЗУ, включающего разработку технологического модуля памяти и интеграцию его в базовую КМОП-технологию с 2-микронными проектными нормами. Технологический модуль памяти включает в себя группу операций, обеспечивающих создание областей туннельного оксида и формирование из второго слоя поликремния электрически стираемых плавающих затворов и нижних обкладок конденсаторов.

При разработке технологических методов формирования ячеек памяти особое внимание уделяется проблемам создания качественных пленок туннельного оксида толщиной 10 нм, обеспечивающего эффективность туннелирования заряда на плавающий затвор и ресурс элементов ЭСППЗУ более 10000 циклов программирования, и надежной изоляции плавающих затворов.

Перспективы и проблемы субмикронной КМОП-технологии. Дальнейший прогресс в повышении степени интеграции элементов схем и быстродействия, способствующих совершенствованию функциональных способностей КМОП-микропроцессоров, позволяет реализовать на одном кристалле размером до 15×15 мм² схемы, которые содержат 10^6 и более элементов и имеют быстродействие порядка 100 млн. операций в секунду. Для таких схем необходимы элементы с размерами менее 1 мкм.

Реализация КМОП СБИС с субмикронными проектными нормами требует принципиально нового подхода к разработке технологии и решению проблем, возникающих перед технологами-разработчиками. При этом необходимо использовать новые и усовершенствованные технологические процессы. Среди них наиболее эффективны усовершенствованные методы проекционной фотолитографии с масштабом 5:1 и многослойными резистами, гарантирующие высокую разрешающую способность и точность реализации элементов, хорошее перекрытие ступеньки рельефа, и методы плазмохимического и реактивно-ионного травления, обеспечивающие анизотропность процесса и высокую селективность [7]. Кроме того, на первый план при столь малых размерах элементов выходят такие паразитные явления, как зашелкивание, эффекты горячих носителей и ударной ионизации стока, повышенное сопротивление разводки и деградация мелких диффузионных слоев, которые требуют новых технологических методов и приемов [8, 9].

В качестве исходного материала предполагается использование высококачественных эпитаксиальных структур типа $p^- - p^+ - p$, которые формируются путем создания сильнолегированного слоя ионной имплантацией бора большими дозами на поверхности монокристаллических подложек с низкой плотностью дефектов и вы-

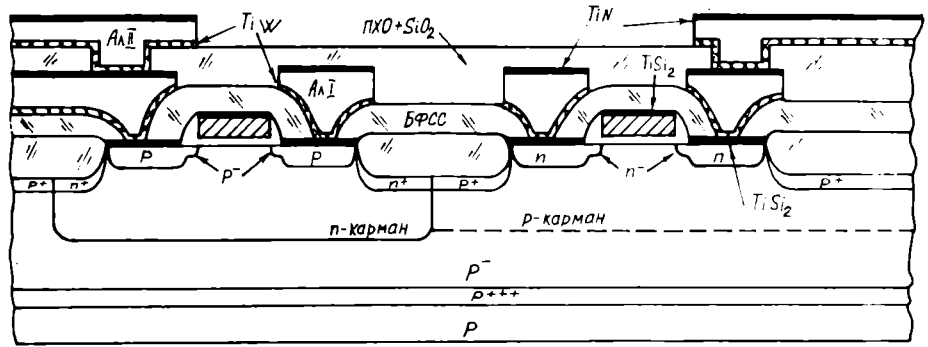


Рис. 3. Структура КМОП СБИС с субмикронными размерами

ращивания тонких высокоомных эпитаксиальных пленок.

Формирование кармана *n*-типа с ретроградным распределением примеси с помощью высокоэнергетической имплантации ионов и самосовмещенного с ним кармана *p*-типа, одновременная их разгонка при 1050°C на глубину 2,0—2,5 мкм позволит значительно уменьшить эффект взаимной боковой диффузии, что существенно для электрической изоляции плотноупакованных КМОП-структур, а в сочетании с тонким эпитаксиальным слоем является одним из основных факторов предотвращения зашелкивания [10]. Толщина эпитаксиального слоя при этом ограничивается, главным образом, суммарным температурным отжигом, который определяется относительно низкотемпературной разгонкой ретроградного кармана *n*-типа.

Данный КМОП-процесс будет обеспечивать получение одинаковых значений порогового напряжения и удовлетворительных характеристик подпороговой области транзисторов благодаря единственной имплантации ионов бора или дифторида бора в каналные области и оптимизации профилей распределения примесей в самосовмещенных карманах [10].

Для создания активных и изолирующих областей транзисторов планируется применить метод раздельного формирования этих областей с использованием усовершенствованного ЛОКОС-процесса и обратного травления полевого окисла.

Эффекты горячих электронов и инжекцию носителей в подложку предлагается устранять путем использования транзисторных структур со слаболегированным стоком [6]. Для этого после формирования топологического рисунка затворов в слое поликремния с вертикальной ступенькой рельефа проводится имплантация донорной примеси для создания слаболегированных областей транзисторов *n*-типа, а потом селективная имплантация акцепторной примеси для создания слаболегированных областей транзисторов *p*-типа с использованием фотолитографического процесса. Далее осаждается слой окисла и с помощью анизотропного реактивно-ионного травления удаляется с горизонтальных участков. После этого на боковых участках затворов остаются участки окисла. Потом осуществляется повтор-

ная имплантация ионов соответствующего типа примеси в исток-стоковые области с использованием фотолитографического процесса. Это существенно, так как при формировании участков окисла на боковых стенках затворов возможно образование нарушенного слоя монокремния и травливания полевого окисла с оголением неимплантированных областей подложки, приводящих к деградации переходов.

Селективное формирование пленок силицида титана с помощью импульсного отжига, самосовмещенных с исток-стоковыми областями и затвором, позволит уменьшить объемное и контактное сопротивление активных областей и затворов [11].

Осаждение боросиликатного стекла с подслоем окисла обеспечит надежную межслойную изоляцию и оплавление ее рельефа при низкой температуре, совмещенного со стабилизирующим отжигом силицида титана и активацией примесей в исток-стоковых областях. Использование силицида титана исключает необходимость легирования этих областей с большими дозами и высокотемпературной обработки для отжига радиационных повреждений.

При формировании двухуровневой металлизации в рамках разработанного процесса дополнительно планируется использовать подслой титана-вольфрама. При этом повышается надежность металлизации и межуровневой изоляции, исключается деградация мелких диффузионных слоев в местах контактов из-за наличия барьерного слоя, препятствующего проникновению алюминия в кремний. Предусматривается также возможность образования в контактных окнах к активным областям слоя нитрида титана и осаждение в межуровневые контакты из газовой фазы вольфрамовых столбиков, обеспечивающих дальнейшее повышение надежности двухуровневой металлизации.

Поперечный разрез предполагаемой структуры субмикронных КМОП СБИС показан на рис. 3.

В настоящее время инженеры-технологи разрабатывают пути перехода в область субмикронных размеров элементов, минуя рубеж с 1,2-микронными проектными нормами. Активно ведутся работы по разработке и оптимизации отдельных технологических модулей на базе имею-

щегося спецтехнологического оборудования. По мере приобретения и запуска нового оборудования с новыми возможностями объем технологических работ расширяется, и к 1997 г. планируется создать базовый КМОП-технологический процесс с 1,0-микронными проектными нормами, на базе которого возможна разработка 32-разрядных цифровых процессоров обработки сигналов и микропроцессоров. Разработка КМОП-схем с 1,2-микронными проектными нормами будет обеспечена при этом путем изменения или упрощения отдельных технологических модулей в рамках базовой технологии изготовления КМОП СБИС с 1-микронными проектными нормами.

В таблице показана эволюция параметров и характеристик технологических процессов изготовления КМОП БИС.

Развитие комбинированной БиКМОП-технологии. Комбинированные технологии изготовления биполярных и МОП-интегральных схем из собственных, долгое время ограничительных сфер применения, выходят на главную магистраль продвижения полупроводниковой техники. Возросший интерес к ним определяется возможностями получения новых характеристик приборов, связывающих быстродействие, рассеиваемую мощность и плотность упаковки элементов интегральных схем в одно целое. Несмотря на некоторые технологические трудности, многие полупроводниковые компании вкладывают крупные средства в разработку и освоение новых технологий, известных под общим названием «БиКМОП-технология», позволяющих сформировать биполярные и МДП-транзисторы в одном технологическом цикле.

За последнее время появилось много специализированных комбинированных технологий, позволяющих решать частные задачи. Это, например, «NiBiMOS-технология», усовершенствованная технология АВС, обеспечивающая получение высокочастотных (3 ГГц) $n-p-n$, $p-n-p$ и И²Л-структур вместе с n - и p -канальными МОП-транзисторами, и ВСД-технология, позволяющая получить на одном кристалле ДМОП-мощные вертикальные транзисторы с элементами БиКМОП-структур.

Интерес к комбинированным технологиям возрос с развитием специализированных аналого-цифровых БИС, высоковольтных интерфейсных БИС и мощных транзисторов, изготовленных со схемами с быстрым переключением. Учитывая общую тенденцию развития электронной техники, в НИИЭТ ведутся работы по разработке комбинированных технологий, которые предусматривают изготовление схем с высокочастотными (670 МГц) биполярными транзисторами и высоковольтными ДМОП-транзисторами на одном кристалле, содержащих биполярные и КМОП-структуры.

Высоковольтная БиКМОП-технология основана на использовании стандартных методов изготовления БИС. Технологический процесс начина-

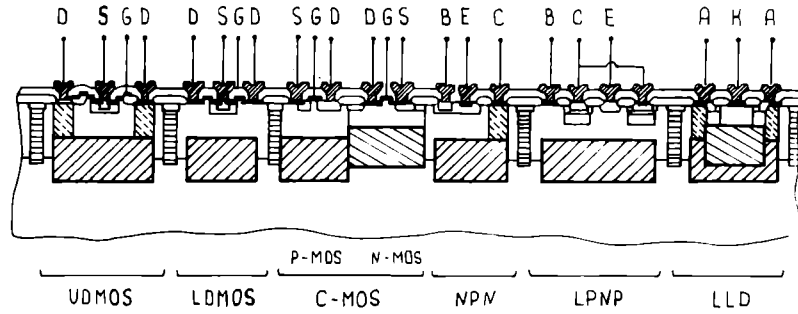
Параметры и характеристики КМОП-техпроцессов

Технологический процесс	Проектные нормы, мкм			
	3,0	2,0	1,5	1,0
Напряжение пробоя исток-стока транзисторов, В	15	12	12	9
Затвор (ширина/зазор), мкм	3,0/3,0	2,0/2,0	1,5/2,0	1,0/1,0
Металл I (ширина/зазор), мкм	4,0/3,0	2,5/2,5	2,5/2,0	2,0/2,0
Металл II (ширина/зазор), мкм	—	4,0/3,5	2,5/3,0	2,0/2,0
Контакты, мкм	3,0×3,0	2,0×2,0	1,8×1,8	1,2×1,2
Напряжение питания, В	5	5	5	5
Тип кармана	p -тип	n -тип	Карманы обих типов	Карманы обих типов
Длина затвора, мкм				
n -МОП	3,0	2,0	1,5	1,0
p -МОП	3,5	2,0	1,7	1,2
Структура стока				
n -МОП	Диффузия As	Диффузия As	Двойная диффузия (As+P)	Слаболегированный сток
p -МОП	Диффузия В	Диффузия В	Диффузия В	Слаболегированный сток
Толщина затворного окисла, нм	500	400	325	225
Толщина изолирующего окисла, нм	850	650	650	450
Глубина переходов, мкм				
n -тип	0,45	0,35	0,3	0,15
p -тип	0,6	0,5	0,4	0,25

ется с создания скрытых n - и p -слоев, наращивания эпитаксиальных слоев и формирования глубоких диффузионных областей, соединяющих эти слои с поверхностью структур. Затем осуществляются операции по созданию вертикальных ДМОП-транзисторов и КМОП-структур и получение биполярных элементов (рис. 4).

Оригинальность данной технологии заключается в создании на одной эпитаксиальной пленке со скрытыми слоями высоковольтных и низковольтных структур. В этом случае при использовании толстых низколегированных пленок для получения высоких пробивных напряжений наблюдается потеря частотных параметров биполярных структур. Некоторое время это представляло сложность в достижении требуемых параметров БИС. Компромисс был найден благодаря использованию сочетания скрытых слоев n - и p -типа, разработке процесса эпитаксиального наращивания и усовершенствования конструкции ДМОП-транзисторов для его лучшей стыковки с биполярными элементами. Конструкцией мощных ДМОП-структур во многом определяется и рас-

Рис. 4. Структура БиКМОП БИС, содержащей высоковольтный ДМОП-транзистор



сеиваемая мощность прибора. Поэтому потери в насыщенном мощном ДМОП-транзисторе могут быть уменьшены за счет увеличения его размеров. Можно найти компромисс между допустимой рассеиваемой мощностью и площадью занимаемой под транзистор на кристалле, и избежать в какой-то степени сильную зависимость от конструкции корпуса и материалов теплоотвода.

Основными элементами разработанных приборов являются высоковольтные биполярные $n-p-n$ -структуры, высоковольтные p -канальные транзисторы, вертикальные ДМОП-мощные транзисторы. Основной архитектуры вертикальных ДМОП-структур с кремниевыми затворами являются нижний затвор, состоящий из высоколегированного поликремния и верхний — из металлизации стока. Такой подход дает возможность создать прибор с коротким каналом, который получается методом двойной диффузии и определяется величиной бокового ухода примесей разного типа в низколегированную подложку. Примесь вводится в одно окно, что позволяет сделать процесс самосовмещенным.

Весь технологический процесс предусматривает 15 фотолитографических операций. При этом на одном кристалле могут быть изготовлены вертикальные и горизонтальные высоковольтные ДМОП-транзисторы, высоковольтные и низковольтные биполярные $n-p-n$ -транзисторы, $p-n-p$ -элементы с горизонтальной структурой, диоды, диоды Шотки, стабилитроны, высокоомные и низкоомные поликремниевые резисторы и резисторы с $p-n$ -переходом, а также конденсаторы с использованием слоя окисла или $p-n$ -перехода.

В настоящее время разработана по высоковольтной технологии схема импульсного источника питания с мощным ДМОП-транзистором с максимальным рабочим напряжением 110 В. В дальнейшем планируется увеличить максимально допустимые напряжения до 250 В, а затем до 400 В и 650 В.

Кроме того, по этой технологии предполагается разработать к концу 1994 года БИС 3-канального усилителя цветности для видео- и телеаппаратуры с максимальным напряжением 220 В.

* * *

КМОП-технология продолжает развиваться быстрыми темпами, и пока ее предельные возможности далеко не достигнуты. Применение некоторых новых методов и требования, предъявляемые схемами, а также продолжающийся процесс пропорциональной миниатюризации транзисторов, приводят к сближению различных вариантов КМОП-технологических процессов. Нововведения делают возможным использование КМОП-технологии с двойным карманом и подложкой p -типа в качестве единой базовой технологии для широкого круга изделий, дополняемой в случае необходимости специальными конструктивными и технологическими элементами.

ЛИТЕРАТУРА

1. A- μ m Process: Linewidth Control Using 10:1 Projection Lithography/ R.Sigusch, K.H.Horninger, W.A.Mueller et al.— IEEE Int. Electron Devices Meet., Wash., D.C., 1980, p. 429.
2. W a n l a s s F.M. Nanowatt logic Using Field-Effect Metal-Oxide Semiconductor Triodes.— IEEE Solid State Circuits Conf., Philadelphia, Pa., 1963, p. 32.
3. K r a m b e c k R.H., L e e C.M., L a w H.F.S. High-Speed Compact Circuits With CMOS.— IEEE J. Solid State Circuits, vol. EC-17, 1982, p. 614.
4. H MOS-CMOS A low-power high-performance technology/K.Yu, R.Chwang, M.T.Bohr et al.— IEEE J. Solid State Circuits, vol. SC-16, Oct. 1981, N 5, p. 454.
5. Twin-Tub CMOS-A Technology for VLSI Circuits/L.C.Parrillo, R.S.Payne, R.E.Davis et al.— IEEE Int. Electron Device Meet., Wash., D.C., 1980, p. 752.
6. B a m p i S., P l u m m e r J.D. A Modified Lightly Doped Drain Structure for VLSI.— IEEE Trans. on Electron Dev., vol. ED-33, Nov. 1986, N 11, p. 1769.
7. Д э й в и д Н.К. У о п г, Д э н М е й д е н. Реактивное ионное травление — способ снижения требований к материалам и размерам элементов СВИС.— Электроника, 1983, № 22, с. 73.
8. S a k a i J., K u d o h O., Y a m a m o t o H. High Speed 1- μ m CMOS Technology.— IEDM Tech. Dig., Dec. 1982, p. 702.
9. Y a m a g u c h i T., M o r i m o t o S., K a w a m o t o G.H. and D e l a c y J.C. Device and circuits performance of 1- μ m channel n-well CMOS, Proc. 1983 Custom Integrated Circuits Cont., May 1983, p. 57.
10. A Seet-Alignect 1- μ m — Channel CMOS Tchnology with Retrograde n-well and Thin Epitaxy/Y.Taur, G.J.Hu, R.H.Dennard, L.M.Terman.— IEEE Trans. on Electron Dev., vol. ED-32, Feb. 1985, N 2, p. 203.
11. Process and Device Performance of Submicrometer-Channel CMOS Devices Using Deep-Trench Isolation and Self-Aligned $TiSi_2$ Technologies/T.Yamaguchi, S.Morimoto, H.K.Park, G.C.Eiden.— IEEE Trans. on Electron Dev., vol. ED-32, Feb. 1985, N 2, p. 184.

Перспективы создания полузаказных УБИС на 1 миллион логических вентилях

В.Я.НИСКОВ *канд.техн.наук*

Увеличение степени интеграции и функциональной производительности полузаказных схем до уровня, позволяющего реализовать «системы на кристалле», содержащие до 10^6 логических вентилях, может быть достигнуто при использовании биполярной технологии и схемотехники за счет сбалансированного применения оптимальных решений во всех составляющих общего технического базиса приборов. К таким решениям относятся: архитектурно-компоновочные, схемотехника, конструктивно-топологические и технологические в сочетании с автоматизированными методами проектирования и верификации схем.

Важнейшими задачами интегральной микроэлектроники являются увеличение степени интеграции и функционального быстродействия схем, а также сокращение сроков и стоимости их разработки и изготовления. Одно из направлений их решения — использование базовых матричных кристаллов (БМК) с большой степенью интеграции и автоматизированного проектирования на их основе так называемых полузаказных схем с требуемыми функциями и параметрами [1—5]. БМК представляет собой матрицу нескоммутированных компонентов, электрические связи между которыми создаются контактно-металлизационной системой (КМС) с помощью заказных (переменных) шаблонов. Из матричных компонентов вначале проектируют библиотеку функциональных элементов (БФЭ), имеющих несколько иерархически связанных уровней функционально-схемотехнической сложности (от единиц до тысяч логических вентилях) и обеспечивающих реализацию всех необходимых логических функций. Параметры и топологию БФЭ вносят в банк данных системы автоматизированного проектирования (САПР) полузаказных схем. Используя САПР и развитую БФЭ, можно на основе одного и того же БМК создавать десятки и сотни полузаказных схем разного назначения в значительно более короткие сроки и при меньших уровнях затрат, чем полностью заказные схемы. Поэтому доля полузаказных схем в общем объеме выпуска изделий микроэлектроники растет и ведутся интенсивные работы по их совершенствованию. Очень актуальным, в частности, является повышение степени их интеграции и функционального быстродействия до уровня, позволяющего разработчикам электронной ап-

паратуры создавать законченные «системы на кристалле», применение которых может дать очень большой технико-экономический эффект. Для этого потребуются решить ряд фундаментальных проблем:

— обеспечить создание на кристалле схем со степенью интеграции около 10^5 логических вентилях (ЛВ) и более;

— уменьшить до приемлемого уровня (≤ 10 Вт) выделяемую в кристалле мощность при высоком быстродействии (добротность ЛВ не хуже 0,1 пДж);

— обеспечить экономически приемлемый выход годных и высокую надежность приборов в возможно более широком диапазоне внешних воздействий;

— обеспечить широкую область функционального применения, т.е. универсализм БМК.

До недавнего времени считалось, что первые две проблемы более успешно решаются при создании полузаказных схем на КМОП-транзисторах [1—5]. Однако установлено, что биполярные приборы, сохраняя свои преимущества по ряду важных характеристик [6], могут преодолеть свое отставание по степени интеграции и обеспечить реализацию полузаказных «систем на кристалле» с двумя уровнями конструктивно-технологической сложности: при использовании серийного отечественного оборудования и литографических проектных норм (ПН) не менее 1,5 мкм создать БМК до 2×10^5 ЛВ на кристалле с площадью не более 10×10 мм (уровень СБИС); при использовании перспективного оборудования и ПН не менее 1,0 мкм возможно создать БМК до 10^6 ЛВ на кристалле не более 15×15 мм (уровень УБИС).

Указанные результаты могут быть достигнуты при сбалансированном использовании оптимальных архитектурно-компоновочных, схемотехнических, топологических и технологических методов, составляющих общий технический базис (ОТБ) приборов.

На основе этого базиса в настоящее время ведется разработка БМК на 50 тыс. ЛВ. Утверждено ТЗ на разработку БМК на 100 тыс. ЛВ и проведены эскизные проработки БМК на 200 тыс. ЛВ и 1 миллион ЛВ, из которых следует, что получение таких БМК реально.

Выбор оптимальной схемотехники базовых матричных ЛВ и логических элементов (ЛЭ) является ключевым моментом, определяющим воз-

возможности реализации полузаказных УБИС, удовлетворяющих приведенным выше требованиям. Эти вопросы рассмотрены в ряде работ [1—9], из анализа которых можно сформулировать общие принципы и критерии, которым должны удовлетворять ЛВ для создания УБИС с высокими характеристиками. Необходимо, чтобы такие ЛВ для уменьшения потребляемой мощности имели возможно меньшее напряжение питания U_n , величину рабочего тока и наименьшую величину логического перепада ΔU_n , обеспечивающие необходимую помехоустойчивость ЛЭ, и содержали в себе наименьшее число компонентов (особенно требующих отдельных электрически изолированных карманов в кремнии). Следует стремиться к тому, чтобы коммутация компонентов в ЛВ содержала наименьшее число контактов и шин межсоединений, логические возможности ЛВ должны быть достаточно широкими и обеспечивать реализацию любых логических функций при минимальном числе используемых ЛВ, а логические и нагрузочные возможности — легко изменяться программными средствами (в переменных слоях, без изменения постоянного конструктива БМК). Для обеспечения высокого быстродействия ЛВ их компоненты должны работать в ненасыщенных режимах (т.е. при отсутствии в них больших зарядов неравновесных неосновных носителей) и иметь минимальные размеры и паразитные емкости, допускать скейлинг и масштабирование размеров без появления фундаментальных ограничений (свойственных, например, КМОП-схемам), ЛВ должны использовать компоненты и электрическую схему, обеспечивающие функционирование ЛВ и ЛЭ в широком диапазоне внешних условий (диапазон температур, статическое и динамическое ионизирующее излучение, термополевые воздействия и т.п.), и иметь совместимость по логическим уровням с периферийными схемами, входом-выходом с традиционной ТТЛШ/ЭСЛ-схемотехникой.

На основе результатов экспериментальных разработок и теоретического анализа проблем создания полузаказных УБИС можно сделать вывод: в наибольшей степени комплексу перечисленных выше требований соответствует ЛВ с ШТЛ-схемотехникой при оптимальной конструкции ЛВ и архитектурно-компоновочных решений матрицы БМК.

Логические схемы и особенности ШТЛ-схемотехники рассматривались в работах [3, 7]. ШТЛ ЛВ представляет собой многовыходной инвентар с одним управляющим входом (рис. 1), подобный по своим логическим возможностям И²Л ЛВ, и содержит всего два изолированных компонента: ключевой $n-p-n$ -транзистор, в коллекторе которого созданы диоды Шотки (ДШ) с двумя разными высотами потенциального барьера (ДШ₁ и ДШ₂), и входной резистор (R), выполняющий роль генератора тока и нагрузки ЛВ, который может находиться в общем кармане со всеми другими резисторами матрицы.

ДШ₁ шунтирует переход коллектор—база транзистора (Т) и предотвращает его насыщение неосновными носителями заряда, обеспечивая высокое быстродействие транзистора в ключевом режиме. Логические функции на выходе ЛВ реализуются с помощью разделительных ДШ₂, которые имеют меньшую высоту потенциального барьера и меньшее прямое падение напряжения $U_{дш}$, чем соответствующие параметры ДШ₁. Величина логического перепада ШТЛ ЛВ равна разности прямых падений напряжения на ДШ₁ и ДШ₂: $\Delta U_n = U_{дш1} - U_{дш2}$, при рабочих токах, и ее можно, в принципе, менять в очень широких пределах (100—500 мВ) конструктивно-технологическими методами. При логическом перепаде 180—200 мВ обеспечивается требуемая помехоустойчивость логических схем внутри матрицы БМК в диапазоне рабочих температур от —60 до 125°C [10], что является наилучшим показателем среди всех биполярных схемотехник, не использующих дифференциальные методы обработки сигналов. Одно из объяснений этого состоит в том, что в широком диапазоне температур прямые падения напряжения на ДШ₁ и ДШ₂ изменяются синхронно, под действием одних и тех же физических механизмов, что обеспечивает стабильность логического перепада.

Рабочее напряжение ШТЛ ЛВ также является наименьшим среди биполярных ЛВ. Подобно И²Л ЛВ, оно может составлять всего 0,8 В (при комнатной температуре).

Минимальное рабочее напряжение — очень ценное качество ШТЛ ЛВ с точки зрения реализации УБИС с комплексом высоких характеристик: оно позволяет обеспечить потребление тока

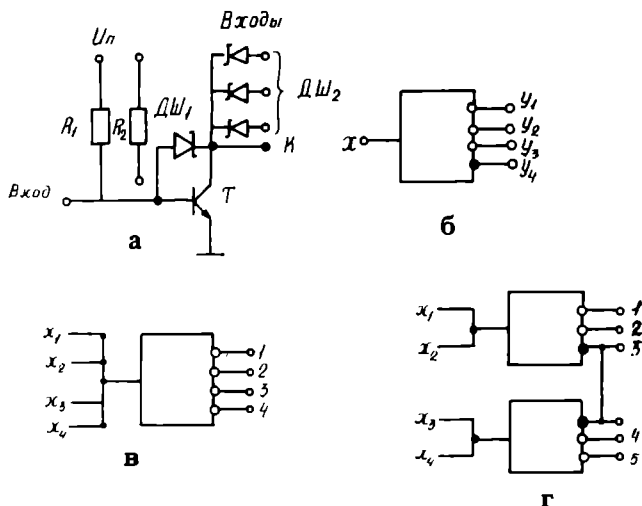


Рис. 1. а — электрическая схема ШТЛ ЛВ с тремя диодными, одним коллекторным выходом и двумя задающими резисторами (R_1 и R_2); б — символическое обозначение ШТЛ ЛВ с тремя диодными и одним коллекторным выходом; в — реализация монтажных функций «И» на входе ШТЛ ЛВ; г — реализация монтажных функций «И-ИЛИ»

в микроамперном диапазоне, используя токозадающие резисторы со сравнительно малыми номиналами, занимающие малую площадь и не требующие больших удельных сопротивлений;

— отсутствие внутри УБИС высоких действующих напряжений и областей с высокой напряженностью поля исключает проявление термодинамических механизмов нестабильности и деградации приборов, снижает требования к характеристикам компонентов, что повышает выход годных и надежность приборов;

— сокращается ширина объемных зарядов изолирующих переходов, что позволяет уменьшить зазоры между ними, фототоки и сквозные токи при импульсных ионизирующих воздействиях, исключить эффекты типа «зашелкивание»;

— в сочетании с минимальным логическим перепадом ΔU_L обеспечивается минимальная работа переключения (добротность Q) ШТЛ ЛВ: $Q = \Delta U_L \cdot U_n \cdot C_{\text{эф}}$, где $C_{\text{эф}}$ — эффективная переключаемая емкость ЛВ, и минимальная задержка сигнала Δt в ЛВ: $\Delta t = \Delta U_L \cdot C_{\text{эф}} / I$, где I — рабочий ток.

ШТЛ ЛВ имеет высокий уровень конструктивно-схемотехнической и функциональной интеграции: все его основные компоненты, кроме R , создаются в одном изолированном кармане. Все ДШ имеют только по одному контакту, так как вторым общим контактом является коллектор транзистора, а токозадающий резистор не требует индивидуальной изоляции. Это позволяет снизить паразитную переключаемую емкость ЛВ ($C_{\text{эф}}$) и число требуемых для коммутации ЛВ контактов и шин МС до минимального уровня.

ШТЛ ЛВ имеет наименьшую среди биполярных ЛВ собственную «логическую глубину» (она равна 1), так как сигнал, проходящий через него, испытывает только одно преобразование — инверсию, требующую переключения транзистора. Это дополнительно повышает быстродействие ШТЛ ЛВ, так же как и отсутствие накопления неосновных носителей заряда в ДШ.

ШТЛ ЛВ «аппаратно» реализует логическую функцию «НЕ» на нескольких выходах ДШ₂, что достаточно для получения любой, даже наиболее сложной логической функции. В таком базисе можно легко реализовать многовыходные логические функции программными средствами за счет объединения на входе ЛВ нескольких выходов с разных ЛВ шинами МС (монтажное «У»), что не требует использования дополнительных ЛВ, так как происходит автоматически при трассировке (см. рис. 1, в, г).

Функциональные возможности ШТЛ ЛВ значительно возрастают при наличии в ЛВ, кроме диодных выходов, выхода типа «открытый коллектор». Это позволяет легко строить монтажные многовыходные комплексные функции, создавать расширители на любое число входов и выходов, конструкции типа «удаленные выходы» (рис. 2) и т.п. Коллекторный выход имеет намного больший логический перепад (на 0,2—0,4 В) и

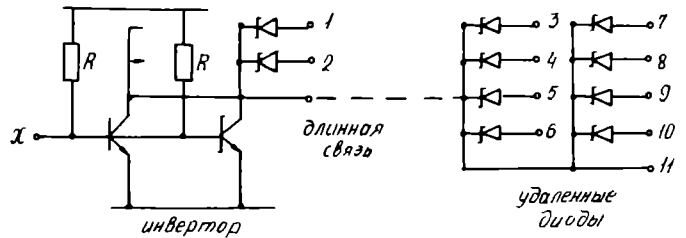


Рис. 2. Реализация конструкции типа «удаленные диоды» в ШТЛ-схемотехнике

помехоустойчивость, чем диодные, что можно использовать для различных целей.

Конструктивно-схемотехнические особенности ШТЛ ЛВ и набор входящих в него компонентов позволяет создавать на их основе такие БФЭ, как ОЗУ на ячейках памяти с диодными связями и ПЗУ диодного типа.

Логические и функциональные возможности ШТЛ-базиса могут быть значительно расширены за счет нетрадиционного использования ЛВ. Так, например, при использовании коллекторного выхода как второго входа один ШТЛ ЛВ реализует на диодных выходах логическую функцию «запрет» для двух переменных (рис. 3, а), а используя эмиттер транзистора как второй вход, можно реализовать функции «импликация» для двух переменных (рис. 3, б) или функцию «И» для одного или нескольких переменных (рис. 3, в).

Схемотехника ШТЛ приборов подобна И²Л-схемам, которые имеют довольно широкое применение, и может быть получена из ТТЛШ и ЭСЛ-схем с помощью соответствующих трансляторов. Причем, для реализации большинства комплексных логических функций и БФЭ, применяемых в микропроцессорах и ЭВМ, в ШТЛ-базисе требуется приблизительно столько же

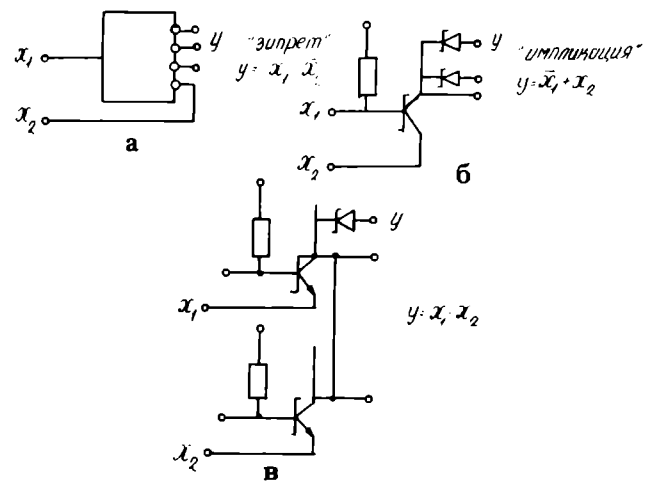


Рис. 3. а — реализация функции «запрет для двух переменных на одном ШТЛ ЛВ; б — реализация функции «импликация» для двух переменных на одном ШТЛ ЛВ; в — реализация функции «И» с использованием эмиттеров как входов

ЛВ, что и в ТТЛШ-базисе. В составе ШТЛ ЛВ нет компонентов, которые имеют повышенную чувствительность к радиационным воздействиям всех видов (например, инверсно включенных и латеральных транзисторов).

Сочетание ненасыщенного режима работы, минимальных логических перепадов, собственной логической глубины и паразитных переключаемых емкостей обеспечивает быстрдействие ШТЛ ЛВ на уровне ЭСЛ ЛВ [7, 9], но при значительно меньшей работе переключения (в 4—5 раз).

Наличие в ШТЛ ЛВ только одной изолированной области позволяет использовать сравнительно простую комбинированную изоляцию компонентов при невысоких требованиях к ПН для создания УБИС. Таким образом, ШТЛ-схемотехника ЛВ создает наилучшие предпосылки для создания полузаказных схем с максимально высокой степенью интеграции и обеспечения их высоких характеристик. Для практической реализации таких схем необходимо решить технологические проблемы, из которых наибольшую значимость и сложность имеют проблемы создания КМС, что объясняется следующими причинами:

— для автоматической трассировки шин МС в полузаказных схемах для размещения МС необходимо предусмотреть большую площадь, чем в полностью заказных (до 80% площади кристалла). Поэтому размеры матричных ЛВ в БМК в большей степени определяются не площадью интегральных компонентов, а числом и шагом шин МС, прокладываемых над каждым ЛВ в обеих координатных направлениях;

— доля задержек логического сигнала в шинах МС в полузаказных схемах больше, чем в заказных схемах, и в большей степени ограничивает их общее быстрдействие и затрудняет решение проблем синхронизации работы блоков;

— создание переменных слоев КМС занимает все больший удельный вес в общей трудоемкости, продолжительности изготовления, материальных затратах, возникающих причинах брака и ненадежности приборов по мере усложнения КМС и уменьшения ПН.

С учетом практического опыта проектирования матричных БИС на ШТЛ БМК 1831 ХМ4 на 10^4 ЛВ для решения проблем КМС с высокими возможностями трассировки в матричных СБИС и УБИС выработана концепция, содержащая следующие положения и принципы:

— число программируемых уровней МС увеличено до трех и все уровни содержат пленки алюминия с низким сопротивлением;

— для экономии количества шин и контактов конструкция матричных ЛВ и БЯ (базовых ячеек) содержит минимальное число компонентов при максимальной степени их конструктивно-функциональной интеграции;

— используется архитектура матрицы «модифицированное море вентиляей», при которой внутри каждой БЯ имеется свободное от компонентов локальное трассировочное пространство

для прохождения внутри БЯ и между ними шин МС первого уровня в обеих координатных направлениях:

— контакты к основным компонентам программируются, и шины МС первого уровня могут проходить над неиспользуемыми контактами;

— критичные компоненты имеют полицидные электроды, что позволяет отказаться от жесткого соответствия шага приборных структур и шин МС по обеим координатам и исключить непосредственный контакт шин МС к критичным компонентам;

— приборные структуры имеют минимальный рельеф перед созданием КМС, а рельеф, возникающий при формировании КМС, планаризуется или сглаживается;

— шины МС всех уровней не имеют уширений в местах контактов между ними и к компонентам;

— используется принцип градации размеров шин и межуровневого диэлектрика: они увеличиваются по мере удаления шин от поверхности структур;

— шины МС всех уровней используются иерархически: в нижнем уровне выполняется преимущественно локальная трассировка, а во втором и третьем — глобальная трассировка и служебные цепи;

— для цепей питание—земля используется минимальное число шин МС и подложка, топология этих цепей может программироваться;

— для уменьшения технологических проблем положение контактов между шинами разных уровней не должны совпадать (если контакты не заполнены столбиками металла);

— САПР должна предусматривать возможность трассировки шин по обеим контактам в каждом уровне, изменения степени перекрытия контактов одиночными шинами МС и их ширины, использования сетки проектирования с разным шагом для разных уровней МС, использования свободных от шин участков площади после локальной трассировки во всех уровнях для глобальной трассировки.

Принципиально важным является вопрос о количестве шин МС, проходящих над каждым ЛВ в обоих направлениях, который должен решаться из условий компромисса между, с одной стороны, трассирующей способностью КМС и степенью интеграции, и, с другой, — параметрами БМК.

Сравнительно подробно этот вопрос рассматривался в литературе [3] в отношении схем с канальной архитектурой и двумя уровнями МС, что не соответствует нашим условиям. Согласно данным работы [4], в ШТЛ БМК с бесканальной архитектурой можно обеспечить почти 100%-ное использование ЛВ матрицы, если в каждом ЛВ после локальной трассировки БФЭ имеются по две свободные трассы в каждом направлении.

Такой же компромиссный подход использован при выборе количества логических вы-

ходов в ЛВ: оптимальным является такое их число, которое близко к среднестатистическому количеству выходов, используемых в реальных БФЭ и схемах. Для ШТЛ схем типа 1831 ВТ1 и 1831 ХМ4 оно близко к 3, что соответствует и литературным данным. Необоснованное увеличение числа выходов, не улучшая логические возможности, ухудшает степень интеграции, параметры и трассировку схем.

С учетом этого было установлено, что в БМК с числом 30 тыс. ЛВ целесообразно иметь в каждом ЛВ четыре диодных и один коллекторный выход, в БМК до 100 ЛВ — использовать одинаковое количество чередующихся ЛВ с числом диодных выходов 4 и 2 и коллекторным выходом в каждом ЛВ, а в БМК большей сложности (до 10^6 ЛВ) — иметь в каждом ЛВ по два диодных и один коллекторный выходы.

Упомянутые принципы и условия были учтены при выборе унифицированной для схем с разной степенью интеграции конструкции базовой ячейки матрицы и ее архитектуры. В каждой БЯ содержится по четыре ЛВ, сгруппированных так, чтобы оптимизировать организацию цепей питания и трассировку при минимальных площадях БЯ. Шины первого уровня могут проходить внутри каждой БЯ по обоим направлениям и проходить насквозь через всю матрицу по локальным каналам внутри БЯ и между ними. Для цепей питания—земля в первом слое используют только короткие участки трех (из 16) и отрезки шести шин, необходимые для подсоединения к ЛВ токозадающих резисторов и связи эмиттеров всех ЛВ с подложкой. Все остальные шины и их свободные участки могут использоваться для локальной и глобальной трассировки. Во втором уровне используют отрезки двух шин (из 12) для подсоединения всех четырех ЛВ в БЯ к цепям питания—земля. Все другие шины и их свободные отрезки используют для трассировки. В третьем уровне используются четыре шины над каждой БЯ для цепей питания—земля объединенных попарно и проходящих через всю матрицу. Остальные шесть шин используют для трассировки схем.

Важной особенностью конструкции БЯ является наличие в каждом ЛВ двух токозадающих резисторов с разным номиналом $R_1=2R_2$, сгруппированных в унифицированные конструкции, содержащие по восемь резисторов с общим контактом от цепи питания. Каждый из резисторов имеет отдельный второй контакт и может использоваться независимо и параллельно с любым количеством резисторов. Это позволяет реализовать методологию проектирования БФЭ и матричных схем, использующую так называемый принцип «квантования». Суть методологии в том, что все БФЭ проектируют и аттестуют при минимальном рабочем токе каждого ЛВ; задаваемом одиночным резистором с максимальным сопротивлением R_1 . Это обеспечивает достаточное быстродействие БФЭ, так как длина связей и паразитные емкости внутри БФЭ, как правило,

малы. Используя эти БФЭ, проектируют блоки схемы и всю схему, размещая оптимальным образом БФЭ и блоки по площади матрицы и соединяя их шинами МС. Определяют методом моделирования критичные связи с наибольшей длиной и емкостью нагрузки и наибольшей задержкой сигнала, уменьшающих общее быстродействие или нарушающих синхронизацию схем. Для уменьшения задержек в таких цепях увеличивают рабочие токи в ЛВ, передающих и принимающих сигнал в начале и конце цепи за счет дискретного, квантованного увеличения числа параллельно подключенных резисторов на входах этих ЛВ. Для этого используют свободные резисторы из любых ЛВ, расположенных в любом месте матрицы, что не ухудшает процент использования этих ЛВ. Квантование рабочих токов можно сочетать с «квантованием», т.е. параллельным соединением ЛВ, выходных ДШ₂ и шин МС, что позволяет в широких пределах менять не только быстродействие, но и помехоустойчивость в критичных цепях. Так как количество критичных цепей сравнительно мало, а их вклад в общее быстродействие велик, то и принцип квантования, лишь незначительно увеличивая мощность схемы, позволяет значительно улучшить ее добротность (достигаемый эффект тем больше, чем больше степень интеграции). Тем самым открываются перспективы преодоления одного из главных физических барьеров на пути повышения степени интеграции быстродействующих схем — «теплового барьера», и создается возможность точной юстировки блоков и цепей по параметрам быстродействия — мощность — помехоустойчивость — нагрузочная способность и синхронизации их работы с использованием только программных средств без изменения постоянного конструктива БМК. Одновременно создается возможность для реализации принципа максимальной однородности элементной базы матричных схем, поскольку любые логические и сервисные устройства, характеризующиеся любой мощностью, можно проектировать, используя минимальное число типов компонентов и ЛВ. Это увеличивает универсализм БМК, расширяет их функциональные возможности и сферы применения, упрощает проектирование и изготовление приборов.

Описанная выше конструкция ЛВ и БЯ используется также в БМК с более высокой степенью интеграции. При этом в БМК на 100 тыс. ЛВ уменьшается шаг межсоединений при сохранении минимальной проектной нормы 2 мкм. В БМК на 200 тыс. ЛВ проектная норма уменьшается до 1,5 мкм, а в БМК на 1 миллион ЛВ ПН уменьшается до 1,0 мкм, а размер кристалла увеличивается до 15×15 мм.

При разработке унифицированной архитектуры матрицы для БМК с числом ЛВ 50 тыс. и более ставились задачи улучшить эквипотенциальность цепей питания—земля и за счет ее симметрии в пределах очень больших матриц обеспечить возможность компенсации или учета не-

эквипотенциальности с использованием конструктивных и программных мер. Это достигается принятой организацией шин питание—земля в третьем уровне МС (в виде длинных шин, идущих через всю матрицу и собирающих ток от подключенных к ним ЛВ) и подключением каждого ЛВ к сравнительно низкоомной подложке, через которую может протекать значительная доля общего тока схемы. По результатам моделирования наличие низкоомных подложки и контактов к ней может в несколько раз уменьшить паразитный потенциал земли (до 15—10 мВ). При очень большом числе ЛВ в матрице, работающих в микрорежиме, можно вообще отказаться от металлических шин МС в цепи «земля» (для УБИС на 10^6 ЛВ). Величина неэквипотенциальности шин «земля» влияет на помехоустойчивость схем с малым логическим перепадом при неблагоприятном подключении ЛВ (когда потенциал земли уменьшает $\Delta U_{л}$. При симметричной неэквипотенциальности цепи «земля», величина которой может быть определена моделированием, такие неблагоприятные случаи можно исключить при проектировании схем. Таким образом можно улучшить помехоустойчивость схем и, снизив их $\Delta U_{л}$, увеличить быстродействие.

Второе достоинство выбранной архитектуры матрицы и организации цепей питание—земля матрицы — возможность независимого питания отдельных участков матрицы, разделенной общими шинами питания на 16 одинаковых (или разных) секторов. Каждый сектор подключен к своему встроенному в кристалл регулируемому вторичному источнику питания, который может менять или полностью отключать ток питания сектора по управляющей команде или от внешнего источника питания. Таким образом, можно реализовать внутрисистемное резервирование и дублирование схем, их работу в ждущем экономическом и в форсированном быстродействующем режиме, снизить эффективную потребляемую мощность в системе, повысить надежность ее работы.

Периферийные схемы, реализующие функции входных и выходных буферов, также имеют высокую степень конструктивной унификации для схем с разной степенью интеграции. Они выполняются по ТТЛШ-схемотехнике и могут реализовать по желанию схему входа или выхода или входа/выхода с тремя состояниями и током нагрузки 10 мА. Для БМК на 50 тыс. ЛВ предусматривается 196 информационных входов или выходов, расположенных с шагом контактных площадок 140 мкм. Число служебных контактных площадок, расположенных симметрично по периметру кристалла,— 46 шт. Для схем на 100 и 200 тыс. ЛВ на кристалле 10×10 мм число сигнальных контактных площадок может увеличиваться до пределов, ограничиваемых возможностями корпусирования и сборки (шагом контактных площадок до 100 мкм).

Унифицированный технологический маршрут создания матричных СБИС и УБИС является

результатом развития базовой технологии «ИЗОП» [11] и применяемых в ней конструктивных решений в направлении уменьшения общей трудоемкости и упрощения маршрута в блоках формирования изоляции, активных структур и КМС.

Изоляция компонентов — модифицированная комбинированная, с локальным окислением подложки, малым микрорельефом и боковым уходом окисла, позволяющая реализовать принцип «базовой маски» и самосовмещение компонентов с r^* -стоп каналов в изоляции.

Транзисторы содержат активную и пассивную базу и поликремниевый мелкий эмиттер, легированный мышьяком. Высокоомные токозадающие резисторы создаются методом ИЛ бором в монокремний для БМК до 200 тыс. ЛВ включительно. Их применение позволяет обеспечить стабильность рабочих токов ШТЛ ЛВ в широком диапазоне температур за счет взаимной компенсации температурных изменений параметров резисторов и перехода эмиттер—база транзистора. Для УБИС на 10^6 ЛВ предусматривается использование поликремниевых резисторов, которые занимают меньшую площадь и имеют меньшую емкость.

В последнем блоке усовершенствована технология создания и конструкция ДШ₁ и ДШ₂ с разными высотами потенциального барьера. В частности, оба ДШ формируются на основе силицидов титана или платины, возможность плавной регулировки разности их потенциальных барьеров и логического перепада обеспечивается за счет прецизионного ионного легирования одного из барьеров без дополнительных гравировок. Это выполняется при создании программируемых слоев, что создает возможность «настройки» схемы по параметрам быстродействие — помехоустойчивость — диапазон рабочих температур уже после получения заказа на разработку схемы с учетом условий ее применения и необходимых параметров.

В целом технологический маршрут создания матричных СБИС с тремя уровнями программируемых межсоединений и двумя типами ДШ требует 14 гравировок. Для УБИС на 10^6 ЛВ требуется четвертый уровень МС для цепей питания, для чего необходимы еще две гравировки.

Результаты моделирования показывают, что ШТЛ ЛВ (в БМК на 50 тыс. ЛВ) обеспечивают субнаносекундный диапазон собственных задержек при рабочем токе не менее 40 мкА. По результатам моделирования, уменьшение размеров компонентов в БМК на 100, 200 тысяч и 1,0 миллион ЛВ позволяет обеспечивать субнаносекундную задержку в ШТЛ ЛВ при уменьшении рабочих токов соответственно до 30, 20 и 10 мкА, что позволяет создавать подавляющее большинство БФЭ и блоков схемы с микромощным потреблением ЛВ и добротностью их на уровне соответственно 0,03, 0,02, 0,01 пДж.

Задержки в цепях с длинными линиями связи и большими нагрузками могут быть снижены

Характеристики семейства ШТЛ БМК

Наименование характеристик БМК	Число ЛВ в матрице БМК (тыс.шт.)				
	30	50	100	200	1000
Средняя площадь ЛВ, мкм	$64 \times 48 =$ =3072	$40 \times 30 =$ =1200	$32 \times 24 =$ =768	$21 \times 18 =$ =378	$15 \times 12 =$ =180
Организация матрицы	Модифицированное море вентиляей				
число строк	136	188	272	416	
число столбцов	189	260	360	480	
Размеры кристалла, мм	10×10	10×10	10×10	10×10	15×15
Минимальная литографическая проектная норма, мкм	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0
Число уровней МС из низ программируемых	3 3	3 3	3 3	4 3	4 3
Шаг МС, мкм					
1-й уровень	8	5	4	3	2
2-й уровень	8	5	4	3	2
3-й уровень	12,8	8	6,4	4,2	2,5
4-й уровень	—	—	—	21	15
Число шин МС на 1 ЛВ					
1-й уровень	8	8	8	7	7,5
2-й уровень	6	6	6	6	6
3-й уровень	5	5	5	5	6
4-й уровень	—	—	—	1	1
Число внешних выводов из низ информационных	208 180	242 190	256 208	256—400 208—354	
Диапазон рабочих температур, °С	−60+125	−60+125	−60+125	−60+125	−60+125
Группа стойкости	2У-3У	2У-3У	2У-3У	2У-3У	2У-3У
Типовой рабочий ток ЛВ, мкА	70	40	30	20	10
Типовая мощность ЛВ, мВт	0,12	0,06	0,040	0,024	0,01
Типовая расчетная задержка ЛВ, нс	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6
Типовая мощность периферийного вентиля, мВт	10	10	8	6	4
Ток нагрузки выходного вентиля, мА	10	10	10	10	10
Общая мощность БМК, Вт	5	5	7	8	10

до приемлемых величин за счет использования описанного выше принципа квантования.

Общая потребляемая кристаллами СБИС и УБИС мощность с учетом использования до 80% ЛВ в матрице может составлять не более 10 Вт, что приемлемо для схем с такими размерами кристаллов и такими большими логическими и вычислительными возможностями.

Характеристики семейства ШТЛ БМК с числом ЛВ от 10^4 до 10^6 приведены в таблице.

Описанные унифицированные конструктивно-технологические, топологические и архитектурно-компоновочные решения позволяют создавать семейства ШТЛ БМК с числом ЛВ до 10^6 с едиными правилами проектирования матричных схем, общей, наращиваемой БФЭ, единой САПР. На этой основе возможно создание законченных полузаказных «систем на кристалле», превосходящих по степени интеграции, системному функциональному быстрдействию и экономичности известные в настоящее время приборы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г р и т ч е н к о В.Н. Перспективы разработки полужаказных и заказных больших и сверхбольших интегральных микросхем.— Итоги науки и техники, ВИНТИ, 1986, т. 18, с. 3—30.
2. П о н о м а р е в М.Ф., К о н о п л е в Б.Г. Базовые матричные кристаллы и программируемые логические матрицы.— М.: Высш. школа, 1987.
3. Ф а й з у л а е в Б.Н. и др. Быстродействующие матричные БИС и СБИС.— М.: Радио и связь, 1989.
4. А д а м о в Ю.Ф., Р о з и н о в В.Л. Полузаказные логические БИС и тенденции их развития.— Зарубежная электронная техника, 1985, № 4, с. 3—64.
5. Электронная промышленность 1993, № 1—2. Тематический выпуск: БМК — общие правила проектирования, изготовления, сборки, контроля.
6. Г р а н д и Д.Л., Б р а ш е с Д.Ж. Биполярная КИД-технология, открывающая перспективы создания матричных

СБИС на 100 тыс. вентилях.— Электроника, 1983, № 14, с. 55—61.

7. Л о х с т р о х Я. Приборы и схемы для (С)БИС на биполярных транзисторах.— ТИИЭР, 1981, т. 69, № 9, с. 47—61.

8. Ш а г у р и И.И. и др. Выбор элементной базы для быстродействующих микропроцессорных БИС.— Микроэлектроника и полупроводниковые приборы, 1977, № 2, с. 65—89.

9. К а з е н о в Г.Г. и др. Оценка степени интеграции матричных БИС на малосигнальных элементах с эмиттерной связью.— Микроэлектроника: сб. статей, 1975, вып. 8, с. 216—229.

10. L o h s t r o n J., P l u t a R.M. Temperature Behavior of the Voltage Swings and the Static Noise Margins of ISL and STL.— IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. SC-17, N 4, August 1982, p. 677—686.

11. Н и с к о в В.Я. Универсальная базовая технология создания высококачественных биполярных БИС.— См. наст. вып., с. 11.

Повышение радиационной стойкости МОП-систем

Б.И.СЫСОЕВ *д-р физ.-мат. наук*, Н.Н.БЕЗРЯДИН *канд. физ.-мат. наук*,
А.С.ДРОНОВ *канд. физ.-мат. наук*, Т.А.КУЗЬМЕНКО, Т.В.ПРОКОПОВА,
Г.В.СОНОВ *канд. техн. наук*, Н.И.СУХОРУКОВ *канд. техн. наук*

В приборах на основе систем типа металл—диэлектрик—полупроводник (МДП) радиационные воздействия вызывают деградацию свойств диэлектрика, границы раздела ДП и приповерхностной области полупроводниковой подложки [1, 2].

Одним из способов повышения радиационной стойкости является снижение дефектности системы диэлектрик—полупроводник в процессе формирования МДП-структуры [1, 2]. В случае систем на основе кремния особое внимание в этом направлении уделяется процессам окисления подложки и последующим высокотемпературным обработкам.

Исследования системы $\text{SiO}_2\text{-Si}$ с окислом, полученным в условиях хлорного окисления, показали, что отжиг при $T \sim 650\text{—}850^\circ\text{C}$ приводит к образованию термодиффектов в приповерхностной области кремния, проявляющихся в по-

вышенной плотности поверхностных электронных состояний [3]. В зависимости от температуры процесса наибольшее значение плотности достигается при $T \sim 850^\circ\text{C}$, соответствующей образованию так называемых «новых» термодиффектов (рис. 1).

Эффективным способом снижения плотности поверхностных электронных состояний, связанных с термическим воздействием, является импульсная фотонная обработка, сопровождающаяся быстрым термическим отжигом. Можно предположить, что при фотонной обработке уменьшается количество термодиффектов, возникающих в результате термического воздействия при окислении. Таким образом, импульсная фотонная обработка обеспечивает повышение качества границы раздела $\text{SiO}_2\text{-Si}$ в системах, полученных в условиях хлорного окисления, однако плотность поверхностных состояний остается на высоком уровне и составляет $\sim 8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}\text{эВ}^{-1}$ [3].

С целью повышения качества границы раздела $\text{SiO}_2\text{-Si}$ и устойчивости МОП-систем к радиационным воздействиям используется также пироженное окисление. Получаемые МОП-структуры имеют плотность поверхностных состояний менее $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}\text{эВ}^{-1}$. Так как регистрация таких значений плотности методами вольт-фарадных (С—V) и вольт-сименных (G—V) характеристик затруднена, то для контроля качества системы $\text{SiO}_2\text{-Si}$, полученной пироженным окисле-

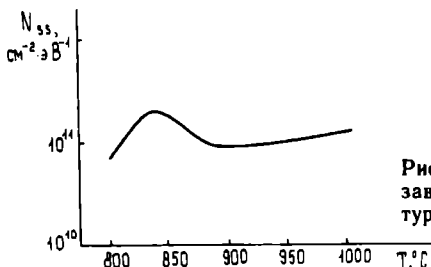


Рис. 1. Плотность ПЭС в зависимости от температуры хлорного окисления

Основные параметры структур Si^{*}-SiO₂-Si до и после рентгеновского облучения с дозой 10⁴ рад

Режим обработки	Тип Si	Доза, рад	V _{FB} , В	ΔV _{FB} , В	V _{inv} , В	V _{br} , В	N _{ss} , эВ ⁻¹ см ⁻²
Сразу после окисления 850°C	p	0 ⁰	0,9	1,25	0,85	18,0	2 · 10 ¹⁰
	p	10 ⁴	0,9	2,0	0,3	4,0	10 ¹¹
	n	0	0,2	—	0,4	27,0	3 · 10 ¹⁰
	n	10 ⁴	0,4	—	0,6	5,0	2 · 10 ¹¹
Отжиг после окисления 850°C, 25 мин в N ₂	p	0	1,25	1,7	1,23	18,0	3,5 · 10 ¹⁰
	p	10 ⁴	1,3	1,9	1,4	17,0	8 · 10 ¹⁰
	n	0	0,4	0,3	0,25	30,0	4 · 10 ¹⁰
	n	10 ⁴	0,3	0,2	0,57	14 ± 8	10 ¹¹
Импульсная фотонная обработка 850°C, 0,5 с	p	0	0,95	—	1,1	23,0	2,5 · 10 ¹⁰
	p	10 ⁴	1,2	—	1,3	22,0	4 · 10 ¹⁰
	n	0	0,39	0,5	0,25	17,0	3 · 10 ¹⁰
	n	10 ⁴	0,35	—	0,35	17,0	5 · 10 ¹⁰
Импульсная фотонная обработка 900°C, 10 с	p	0	0,82	—	0,63	27,0	10 ¹⁰
	p	10 ⁴	0,96	—	0,85	26,0	1,5 · 10 ¹⁰
	n	0	0,16	—	0,23	29,0	2 · 10 ¹⁰
	n	10 ⁴	0,25	—	0,32	28,0	3 · 10 ¹⁰

V_{FB} — напряжение, соответствующее состоянию «плоских» зон в Si.

V_{inv} — напряжение перехода от обеднения к инверсии (минимум на низкочастотной C—V-характеристике).

ΔV_{FB} — разброс по пластине значений V_{FB}.

V_{br} — пробивное напряжение структуры.

N_{ss} — плотность быстрых поверхностных состояний вблизи уровня Ферми при V = V_{FB}.

нием кремния, наряду с измерением C—V и G—V-характеристик, использовалось свойство устойчивости параметров к рентгеновскому облучению.

Подложки кремния с ориентацией <100> n- и p-типов (удельное сопротивление 4,5 и 12 Ом · см, соответственно) отмывались по стандартной технологии и окислялись при температурах 850 и 900 °C. Затем структуры отжигались, после чего формировались затворы из поликремния. Полученные таким образом МОП-структуры исследовались методами C—V и G—V-характеристик в диапазоне частот 20 Гц—1 МГц. Контролировались также пробивные напряжения этих структур. После исследования все структуры подвергались рентгеновскому облучению с дозой 10⁴ рад и вновь исследовались.

Наибольшая радиационная стойкость получена при окислении структур в атмосфере азота при температуре, не превышающей температуру окисления [1]. Быстрый термический отжиг или импульсная фотонная обработка проводились некогерентным излучением ксеноновых ламп. Варьировалось время облучения и достижимая при этом температура кремниевой пластины.

Сразу после окисления параметры структур полностью отвечают требованиям к системе SiO₂-Si, предъявляемым условиями функционирования ИС. Можно отметить только разброс значений напряжений V_{FB} и, соответственно, V_{inv} по пластине (рис. 2, таблица). Рентгенов-

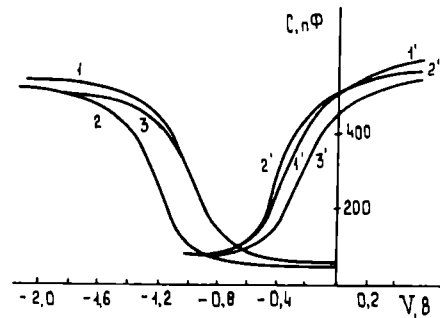


Рис. 2. Вольт-фарядные характеристики при комнатной температуре структур поликристаллический Si^{*}·SiO₂-Si: 1, 2, 3 — Si p-типа, 1', 2', 3' — Si n-типа, 1, 1' — исходные, сразу после окисления; 2, 2' — прошедшие после окисления термический отжиг 850°C, 25 мин в N₂; 3, 3' — подвергнутые сразу после окисления быстрому термическому отжигу — фотонной обработке в течение 0,5 с до достижения предельной температуры 850°C. Частота тестового сигнала f = 10⁵ Гц

ское облучение приводит к увеличению N_{ss} и снижению уровня пробивных напряжений (рис. 3, 4, таблица). После отжига в атмосфере азота сохранялся разброс значений V_{FB} по пластине, а облучение также вызывает увеличение N_{ss} и незначительное снижение V_{br}.

Если пластины подвергались быстрому термическому отжигу, то даже после фотонной обработки величина V_{FB} по пластине практически

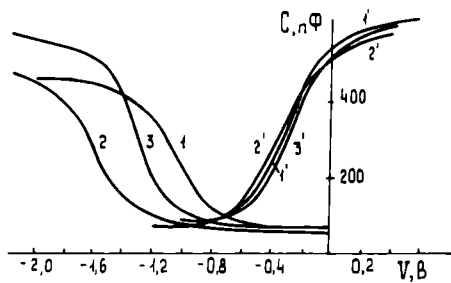


Рис. 3. C—V-характеристики тех же структур, что и на рис. 2, только после рентгеновского облучения с дозой 10^4 рад

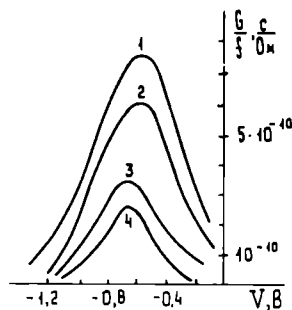


Рис. 4. Зависимость дифференциальной проводимости от внешнего напряжения для структуры $\text{Si}^+-\text{SiO}_2-\text{Si}$ (p -типа) после рентгеновского облучения 10^4 рад. Частота $f=10^3$ Гц. Номера кривых соответствуют нумерации обработки образцов в таблице

не меняется, N_{ss} незначительно превышало измеренное на исходных образцах. Почти все регистрируемые параметры оказались нечувствительными к рентгеновскому облучению. Необходимо отметить, что приведенные в работе значения режимов импульсной обработки оказались оптимальными из серии опробованных: совокупность меньших значений времени и достижимой температуры не обеспечивает наблюдаемые эффекты, а увеличение этих параметров приводит к росту N_{ss} . Последнее может быть обусловлено образованием термодефектов в Si у поверхности с диэлектриком [3].

Таким образом, в работе показано:

1. Импульсная фотонная обработка снижает плотность ПЭС границы раздела SiO_2-Si в МОП-системе, полученной пирогенным окислением.

2. После импульсной фотонной обработки снижается предрасположенность границы раздела SiO_2-Si к образованию радиационных дефектов, проявляющихся как ПЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов/Под ред. П. Антонетти, Д. Антоннадиса, Р. Даттона, У. Оулдхема: Пер. с англ.— М.: Радио и связь, 1988.— 496 с.
2. Derbenvick G.F., Gregory B.I. Process Optimization of radiation-hardened CMOS integrated circuits.— IEEE Jtrans. Nucl. Sci., 1975, NS-22, N 6, p. 2151—2156.
3. Влияние радиационных воздействий на термодоноры в Si системы SiO_2-Si / Б.И. Сысов, Н.Н. Безрядин, Ю.А. Капустин, Т.А. Кузьменко и др.— Физика окисных пленок: Тез. докл. III Всесоюзной научной конференции.— Петрозаводск, 1991, с. 87.

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

Комплект устройств дистанционного управления серии «ЭЛЕКТРОНИКА ДУ»

Предназначены для комплектования телевизоров цветного изображения типа «ВЭЛС 51ТЦ-492».

Конструктивно выполнены в виде набора модулей, встраиваемых в телевизор. Пульт дистанционного управления — автономный.

Основные характеристики

Выполняемые функции:	«Электроника ДУ-01»	«Электроника ДУ-04»	«Электроника ДУ-05»
«Дежурный режим» работы	Имеется	Имеется	Имеется
Выбор номера программы	от 1 до 8	от 0 до 55	от 0 до 90
Вывод информации на экран	—	—	Выполняет
Автоматическая настройка на передающую станцию	—	—	Выполняет
Управление таймером	Выполняет	—	Выполняет
Регулировка параметров изображения и звука	Выполняет	Выполняет	Выполняет
Питание пульта дистанционного управления	3 В, 9 В	3 В	3 В
Начало серийного производства	1992 г.	1993 г.	1994 г.

Заказы на изделия в виде гарантийного письма принимаются по адресу: 394042, г. Воронеж, ул. Минская, 16, ОКБ при заводе «Процессор».

Консультации по техническим вопросам: Новиков Александр Николаевич, тел. (0732) 23-79-60

Особенности формирования силицидов и полицидов титана и кобальта для СБИС

Д.М.БОДНАРЬ *канд.техн.наук*, Ю.А.ОБВИНЦЕВ *канд.техн.наук*,
Л.Я.ТВЕРДОХЛЕБОВА *канд.хим.наук*, О.Б.ЯЦЕНКО *канд.хим.наук*

В последние годы силициды нашли широкое применение в полупроводниковой микроэлектронике при создании низкоомных тонкопленочных межэлементных соединений, омических контактов к мелкозалегающим активным областям СБИС, электродов затворов МОП-приборов, диодов с барьерами Шотки и т.д. К наиболее перспективным материалам относятся силициды титана и кобальта, обладающие наименьшими значениями удельного сопротивления, позволяющие получать низкоомные контакты к кремнию, использовать технологию самосовмещения [1, 2].

Одним из перспективных путей создания высоконадежной металлизации СБИС является формирование самосовмещенных силицидных слоев. Успех применения технологии самосовмещения во многом зависит от качества контроля нежелательных реакций взаимодействия металла с остаточной атмосферой в камере отжига и с окислом, окружающим активные области, а также от контроля боковой диффузии кремния в пленку металла, которая может служить причиной закорачивания близко расположенных межсоединений. Все указанные реакции очень чувствительны к условиям отжига, в результате которого весь металл должен превратиться в силицид. Заметное, а в ряде случаев и определяющее воздействие на процесс силицидообразования в системе металл—кремний, оказывают примеси, присутствующие в зоне реакции [3]. Особо важное значение следует придавать поведению примесей, легирующих кремний при силицидообразовании, поскольку при росте силицидной фазы возникает эффект их перераспределения [3, 4]. Таким образом, поиск оптимальных технологических режимов формирования силицидных слоев методом самосовмещения является важной задачей, решение которой связано с детальным изучением процессов силицидообразования, особенностей их протекания в присутствии примесей и влияния на характеристики приборов.

Значительное сокращение длительности термообработок — применение быстрой термической обработки (БТО) и инфракрасного (ИК) отжига — позволяет свести к минимуму нежелательное воздействие высоких температур на электрофизические и структурные параметры уже созданных активных и пассивных элементов СБИС.

Задача данной работы — исследовать закономерности формирования силицидов в системах Ti—Si и Co—Si, влияния процессов силицидообразования на параметры элементов ИС и возможности создания полицидной металлизации СБИС методами БТО и ИК отжига.

Закономерности силицидообразования в системе Ti—Si. Гетероструктуры поли-Si/моно-Si и поли-Si/SiO₂/моно-Si формировались на пластинах монокристаллического кремния КДБ-10(111). Толщина слоев SiO₂ составляла 300—500 нм, поликремния — 200—270 нм. Легирование кремния ионами As⁺ (100 кэВ, $1,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и BF₂⁺ (20 кэВ, $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) осуществляли в установке «Везувий-5» ($6,6 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$), после чего пластины отжигали при температуре 1060°C в течение 15—20 мин для активации имплантированных примесей. Пленки Ti толщиной 40—60 нм наносили методом магнетронного распыления. Силицид титана формировали в вакууме $6 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ при температурах 600—900°C в течение 15—30 мин.

Исследование процессов, протекающих в гетероструктурах Ti/моно-Si, Ti/поли-Si в условиях вакуумного отжига, проводили с помощью рентгеноструктурного и электроннографического анализа, ВИМС, четырехзондового метода измерения удельного электросопротивления.

Проведенные исследования показали, что во всех исследуемых гетероструктурах с нелегированным и легированным кремнием пленка титана превращается в стабильную фазу C54 TiSi₂ при температурах отжига $\geq 800^\circ\text{C}$. При более низких температурах отжига появляется разница в фазовом составе продуктов взаимодействия Ti с кремнием, легированным мышьяком, с одной стороны, и нелегированным или легированным бором кремнием с другой. Так, в результате отжига при 650°C в первом случае образуется двухфазная система TiSi—Ti₅Si₃ с преимущественным содержанием TiSi, во втором — метастабильная фаза C49 TiSi₂. Полученные данные свидетельствуют о том, что в присутствии As процесс взаимодействия Ti с кремнием и образование TiSi₂ замедляется. В случае легирования кремния бором эффект торможения примесью процесса силицидообразования не наблюдался.

О зависимости процесса роста силицидной фазы от легирующей примеси свидетельствуют также профили распределения Ti, Si, B, As, по-

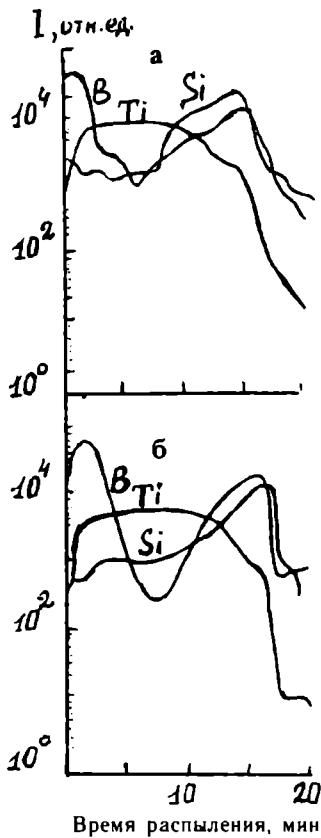


Рис. 1. Профили распределения Ti, Si, B после отжига гетероструктуры Ti/Si(B) при 650°С (а) и 800°С (б), полученные методом ВИМС

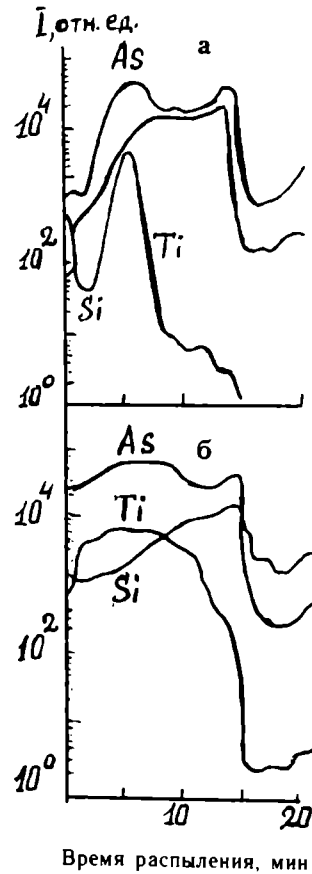


Рис. 2. Профили распределения Ti, Si, As после отжига гетероструктуры Ti/Si(As) при 650°С (а) и 800°С (б), полученные методом ВИМС

лученные методом ВИМС и приведенные на рис. 1, 2. Видно, что для структур с кремнием, легированным В, повышение температуры отжига от 650 до 800°С вносит определенные изменения в распределение Ti и Si. Однако достаточно глубокое превращение в системе Ti—Si происходит уже при 650°С. Этого не наблюдается в структурах с кремнием, легированным As: после отжига при 650°С количество атомов Si в поверхностном слое значительно меньше, чем в случае легирования В.

Наряду с вопросом о влиянии легирующих примесей на рост $TiSi_2$ важным представляется вопрос и о их поведении в ходе процесса силицидообразования.

Как видно из концентрационных профилей (см. рис. 1, 2), при формировании силицида As и В перераспределяются в верхний слой структуры. Для В этот эффект выражен значительно сильнее, чем для As. В результате уже после отжига при 650°С пик концентрации В приходится на поверхность образовавшегося силицидного слоя. Мышьяк после начального отжига локализуется во внутренних слоях структуры вблизи границы раздела силицид—кремний. В составе поверхностного слоя, обогащенного Ti, он, хотя и обнаруживается, но в значительно меньшем количестве. Лишь после полного превращения Ti в стабильную фазу $C54 TiSi_2$ при 800°С концентрация As в этом слое увеличивается, оста-

ваясь, однако, более низкой, чем в области контакта силицид—кремний.

Наблюдаемое различие в поведении As и В можно объяснить, если движение легирующей примеси рассматривать в тесной связи с рассмотренным выше процессом образования силицида, считая при этом, что основной механизм перераспределения примеси состоит в ее перемещении в слой, обогащенный Ti, впереди образующегося силицида. Более легкое протекание процесса силицидообразования в структурах, легированных В, явно способствует быстрому росту концентрации примеси на поверхности.

Из полученных данных следует, что как присутствие легирующей примеси в кремнии влияет на кинетику роста силицида, так и наоборот, процесс силицидообразования влияет на профиль распределения легирующей примеси. Причины выявленных различий в росте силицидной фазы с кремнием, легированным As и В, точно не установлены. Согласно одной из существующих в настоящее время гипотез, реакцию силицидообразования на Si, легированном As, ингибирует более толстый слой естественного окисла [5].

На рис. 3 приведены зависимости поверхностного электросопротивления (R_s) гетероструктур Ti—Si, легированных и нелегированных, от температуры отжига. Сравнение с результатами определения фазового состава образцов после отжига при разных температурах показывает,

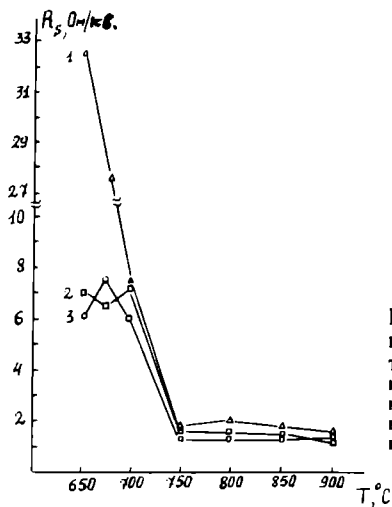


Рис. 3. Зависимость R_s гетероструктур Ti/Si от температуры отжига: 1 — кремний, легированный мышьяком, 2 — нелегированный кремний, 3 — кремний, легированный бором

что самые низкие значения R_s (1—2 Ом/кв.см) соответствуют образованию равновесной фазы C54 TiSi₂. При $T < 700^\circ\text{C}$ более медленное превращение пленки Ti в присутствии As приводит к формированию слоев, фазовый состав которых отличается от фазового состава продуктов взаимодействия Ti с нелегированным или легированным В кремнием. Как следствие этого — высокие значения R_s для образцов, легированных As, в 3—7 раз превышающие R_s образцов, легированных В и нелегированных. Однако уже в результате отжига при 700°C разница в величине сопротивления практически исчезает, что можно объяснить формированием во всех исследуемых структурах монофазной пленки C49 TiSi₂. Отжиг при $T \geq 750^\circ\text{C}$ способствует превращению C49 TiSi₂ в равновесную фазу C54 TiSi₂, приводя тем самым к уменьшению R_s до минимальной величины.

Специально проведенные эксперименты по подбору режимов отжига и селективного травления для удаления с диэлектрического слоя непрореагировавшего Ti показали, что силицидные пленки с низкими значениями R_s могут быть получены методом самосовмещения только в том случае, если первый этап их формирования проведен в оптимальных режимах отжига и травления. Эффективность воздействия травителя на силицидные образования зависит от его фазового состава и условий проведения травления: в двухфазной системе Ti₅Si₃—TiSi обогатенный титаном силицид будет в первую очередь подвергаться разрушению химическими реагентами. С повышением температуры первичного отжига содержание Ti₅Si₃ в образцах уменьшается и, соответственно, увеличивается их химическая стойкость.

Эксперимент показал, что силицидные слои с низкими значениями R_s (1—2 Ом/кв.см) могут быть получены при использовании разных температурных режимов первичного отжига. Однако, чем ниже температура отжига, тем большее значение приобретает выбор травителя, применение которого позволило бы предотвратить возмож-

ные потери материала силицидного слоя. Наиболее мягким действием на силицид обладает травитель состава H₂O₂:NH₄OH (3:1) при комнатной температуре.

Таким образом, установлено, что скорость роста TiSi₂ в тонкопленочной структуре Ti—Si зависит от характера примеси, внедренной в кремний. Сильное легирование кремния As замедляет процесс силицидообразования, что при использовании технологии самосовмещения может привести к неполному переходу пленки Ti в силицид и формированию вследствие этого более тонких, чем в случае нелегированного кремния, слоев TiSi₂.

Ионно-имплантированный бор не оказывает существенного влияния на рост TiSi₂. Тем не менее в ходе данного процесса он, как и мышьяк, перераспределяется из кремния в силицид. Эффект перераспределения приводит к обеднению границы раздела силицид—кремний.

Выявленные закономерности силицидообразования представляют основу для разработки оптимальных режимов получения TiSi₂ для СБИС.

Влияние процесса формирования самосовмещенного TiSi₂ на электрические характеристики элементов ИС. На пластину со сформированными активными и пассивными элементами биполярной структуры методом магнетронного распыления наносили пленку Ti толщиной от 30 до 60 нм. Силицид формировали в ходе трехстадийного процесса, включающего стационарный отжиг в вакууме ($\sim 10^{-4}$ Па) и травление. Первая стадия отжига проводилась при температурах 640—670°C, вторая — при 800—850°C. Время отжига составляло 15—30 мин. После первого отжига непрореагировавший титан удаляли в травителе H₂O₂:NH₄OH (3:1). При формировании контактов к диодам Шотки использовали две системы металлизации: Al(Si)/W—Ti/TiSi₂/Si и Al(Si)/TiSi₂/Si. Толщина слоев W—Ti и Al(Si) составляла 100 и 600 нм, соответственно. Электрические параметры тестовых элементов, измеренные до нанесения титана, после первой и второй стадии отжига приведены в табл. 1.

Различие в процессах силицидообразования на подложках n^+ и p^+ -Si, обнаруженные выше и заключающиеся в более сильной сегрегации бора к поверхности силицида по сравнению с мышьяком, приводит к тому, что p^+ -переходы накладывают определенные ограничения на толщину пленки титана и являются более чувствительными к воздействию силицида по сравнению с n^+ -переходами. При некоторой предельной толщине граница раздела силицид—Si огрубляется и происходит истощение перехода, что может привести к появлению недопустимо высоких токов утечки и повышению контактного электросопротивления.

Из приведенных в табл. 1 результатов измерения электросопротивления силицидных резисторов, сформированных на легированном поликремнии, следует, что в структурах, подвергав-

Электросопротивление силицидных резисторов

Легирующая примесь	Температура отжига, °С		Поверхностное сопротивление, Ом/квадрат
	I	II	
Мышьяк (n^+)	640	800	4,8
	670	800	2,7
Бор (p^+)	640	800	3,9
	670	800	2,3
Фосфор (n^-)	640	800	3,7
	670	800	2,5

шихся первичному отжигу при 640°C, сильнолегированный мышьяком n^+ -полукремний образует более высокоомные силицидные элементы, чем p^+ -полукремний, легированный бором, и n^- -полукремний, легированный фосфором. При повышении температуры отжига до 670°C сопротивление резисторов уменьшается в среднем до 2,5 Ом/квадрат и почти не меняется в зависимости от характера легирования.

Исследование воздействия высокотемпературного отжига на сформированные силицидные резисторы показало, что в результате отжига при 900°C сопротивление резисторов на основе полукремния, легированного As, резко повышается, а поверхностное сопротивление резисторов p^+ - и n^- -типа остается практически неизменным. Наблюдаемый рост R_s (по данным электронномикроскопического анализа) является следствием морфологической деградации, т.е. распада на отдельные островки пленки $TiSi_2$, образованной на n^+ -полукремнии и имеющей, как было показано выше, меньшую толщину.

Результаты контроля параметров биполярных транзисторных структур показали, что процесс образования $TiSi_2$ сопровождается падением коэффициента усиления по току (β_n) в 2,5—4 раза. Отжиг контрольных пластин без титана, проведенный в режиме формирования $TiSi_2$ и приведший к такой же деградации β_n , позволяет сделать вывод о том, что обнаруженное снижение β_n связано с термовакуумным воздействием на транзисторные структуры, а не с процессом силицидообразования. Указанные изменения значений β_n носят обратимый характер и могут быть устранены введением в технологический цикл изготовления биполярных схем дополнительного отжига в азоте при 510°C.

В табл. 2 приведены результаты определения высоты барьера контакта $TiSi_2/n-Si$, проведенного методом вольт-амперной характеристики [6]. Видно, что отжиг приводит к увеличению высоты барьера, которая до отжига была несколько ниже ожидаемой, что можно объяснить радиационными повреждениями поверхности при

Высота барьеров контакта $TiSi_2/n-Si$ (эВ) для диодов Шоттки

Температура отжига, °С	Al(Si)/W—Ti/TiSi ₂ /Si		Al(Si)/TiSi ₂ /Si	
	С охран-ным коль-цом	Без охран-ного коль-ца	С охран-ным коль-цом	Без охран-ного коль-ца
До отжига	0,47	0,43	0,47	0,43
450°C	0,59	0,61	0,62	0,60
510°C	0,58	0,59	0,71	0,68

формировании металлизации. Величины 0,58—0,62 эВ, соответствующие температуре отжига 450°C, согласуются с литературными данными [7]. При повышении температуры отжига высота барьера для контактов со слоем W—Ti практически не меняется, в то время как в образцах без слоя W—Ti, отожженных при 510°C, наблюдается рост высоты барьера до значений, соответствующих высоте барьера для контакта Al/ $n-Si$. По результатам расчетов значения коэффициента неидеальности для всех отожженных образцов близки к 1,0. Следовательно, использование системы металлизации Al(Si)/W—Ti/TiSi₂ позволяет получить диоды Шоттки, стабильные вплоть до температуры 510°C.

В целом исследование влияния трехстадийного процесса формирования самосовмещенного $TiSi_2$ на электрические характеристики основных биполярных структур свидетельствует о возможности успешного применения данного процесса в технологии СБИС.

Формирование дисилицида титана методами БТО и ИК отжига. Дальнейшее уменьшение линейных размеров элементов ИС требует снижения температуры, либо сокращения продолжительности термообработок, необходимых для формирования структур. В то же время стационарный отжиг в вакууме не позволяет значительно уменьшить время термообработки, что повышает опасность латеральной диффузии, способствует деградации тонких слоев силицидов и огрублению их поверхности. Поэтому широкое распространение в последнее время получила импульсная термообработка, в которой сочетается твердофазный характер реализующихся процессов с относительно кратковременным воздействием (секундная длительность). Промежуточным вариантом между стационарной и импульсной термообработками является ИК отжиг в вакууме, обеспечивающий минутную длительность процесса.

Для исследования влияния режимов БТО и ИК отжига на фазовый состав и поверхностное сопротивление силицида и полицида Ti в каче-

стве подложек использовались пластины монокристаллического кремния КДБ-10(111), половина площади которых была покрыта слоем нелегированного поликремния с подслоем SiO_2 . Нанесение слоя Ti толщиной 70—80 нм осуществлялось в установке вакуумного напыления «Оратория-29П», позволяющей в едином цикле осуществлять высокочастотную ионно-плазменную очистку, магнетронное напыление и ИК вжигание. Часть пластин после нанесения Ti подвергалась БТО в течение 4—20 с, другая же часть прошла полный цикл напыления и ИК отжига (2,5 мин). В обоих случаях повышение температуры режимов вжигания и увеличение времени термообработки приводит к первоначальному росту, а затем к снижению R_s систем Ti -моно Si и Ti -поли Si до значений 0,9—1,0 Ом/квadrat для ИК отжига и 1,3—1,4 Ом/квadrat для БТО. Более высокие величины R_s в случае БТО, возможно связаны с влиянием примесей, захваченных пленкой Ti из воздуха при переносе пластин из камеры напыления в камеру вжигания. Электронографические исследования показали, что минимальные значения R_s соответствуют полному переходу титана в стабильную фазу C54 TiSi_2 . По ВАХ диода была определена высота барьера Шотки, сформированного методом ИК отжига на n - Si , составившая $0,6 \pm 0,01$ эВ, что соответствует литературным данным [7].

Полицид титана, обладающий низким удельным электросопротивлением, является перспективным материалом для формирования первого уровня межсоединений ИС. Поэтому было проведено исследование возможности создания полицидной разводки с шагом 2 мкм, соответствующим требованиям технологии СБИС, методами самосовмещения и фотогравировки по полициду. В первом случае на окисленной кремниевой пластине формировались поликремниевые межсоединения с заданным шагом, на которые напыляли слой Ti и проводили первую стадию БТО или ИК вжигания. После химического удаления непрореагировавшего титана осуществляли вторую стадию термообработки. При толщине слоя титана 70—80 нм R_s полицида составило 0,9—1,1 Ом/квadrat для ИК вжигания и 1,3—1,5 Ом/квadrat в случае БТО. Во втором случае полицид титана формировали по всей поверхности пластины в одну стадию, а затем проводили операцию фотогравировки и плазмохимического травления TiSi_2 . В результате были получены межсоединения с минимальным шагом 2 мкм, R_s которых составляло 0,95—1,1 Ом/квadrat для ИК вжигания и 1,4—1,5 Ом/квadrat в случае БТО. Близкие значения R_s пленок TiSi_2 , полученных методом самосовмещения и гравировкой по полициду, свидетельствуют об оптимальном выборе режимов первой стадии вжигания и травления при использовании технологии самосовмещения, т.е. о полном переходе титана в силицид.

Проведенные исследования подтвердили возможность успешного формирования металлизации из полицида Ti с низкими значениями R_s и

малым шагом методами БТО и ИК отжига с использованием технологии самосовмещения или фотогравировки по полициду.

Формирование дисилицида кобальта (CoSi_2)

осуществляли методами БТО и стационарного отжига в вакууме 10^{-3} — 10^{-4} Па после предварительной обработки кремниевых пластин в разбавленном растворе HF и напыления пленки Co толщиной 40—60 нм. Следует отметить, что обработка поверхности имеет более важное значение при получении CoSi_2 , чем в случае TiSi_2 , так как в отличие от титана кобальт не может восстановить SiO_2 в условиях термической обработки.

На рис. 4 приведена зависимость R_s структуры Co — Si от температуры стационарного отжига в течение 30 мин. Сравнение с аналогичной зависимостью для системы Ti — Si (см. рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что минимальные значения R_s ($\leq 1,0$ Ом/квadrat) в данном случае достигаются при более низкой температуре. Комплексное исследование отожженных гетероструктур Co — Si с использованием рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии, ОЭС показало, что CoSi_2 , будучи самой низкоомной фазой в системе, регистрируется в образцах уже после отжига при 600°C , а после отжига при 700 — 800°C является основным продуктом реакции Co с Si . Следовательно, наблюдаемое различие связано с более низкими температурами образования CoSi_2 по сравнению с TiSi_2 . Сформированные в условиях БТО при длительности 15—30 с слои CoSi_2 имели более низкие, чем в случае стационарного отжига, значения R_s . Способность Co образовывать низкоомные силицидные слои была использована в настоящей работе для создания силицидных резисторов на n^+ - и p^+ -кремнии со значениями $R_s \leq 1,0$ Ом/квadrat.

В отличие от системы Ti — Si , где основным диффундирующим компонентом является Si , в системе Co — Si реакция протекает посредством преимущественной диффузии Co , что сводит к минимуму опасность бокового роста силицидной фазы. Поэтому при самосовмещении формирование равновесной фазы CoSi_2 , в отличие от TiSi_2 , можно проводить одностадийным отжигом, что существенно повышает технологичность процесса.

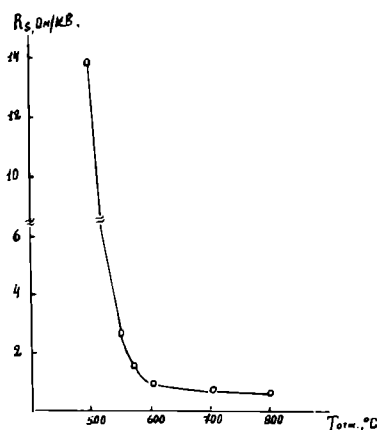


Рис. 4. Зависимость R_s гетероструктуры Co/Si от температуры отжига

Кроме того, соединение CoSi_2 химически более стойко, чем TiSi_2 , что немаловажно при осуществлении травления и химических обработок.

В работе были исследованы возможности применения CoSi_2 в технологии СБИС и дискретных полупроводниковых приборов в качестве омических и Шотки контактов. Диоды Шотки площадью 5 мм^2 формировали на эпитаксиальном $n\text{-Si}$ с удельным электросопротивлением $1,0\text{--}1,4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. В результате были получены приборы с высотой потенциального барьера $0,62\text{--}0,63 \text{ эВ}$, имеющие близкие к 1,0 значения коэффициента неидеальности.

Изменение электросопротивления контактов к $p^+\text{-Si}$ и $n^+\text{-полиSi}$

	$p^+\text{-Si}$	$n^+\text{-Si}$
Дисилицид кобальта	10—70	10—70
Дисилицид титана	90—330	200—550
Силицид платины	150—270	180—280

Омические контакты были созданы к p^+ -областям, легированным В, и к поликремнию, легированному Р. В качестве контактного материала использовали силициды Co , Ti и Pt . Как видно из результатов измерения тестовых структур, приведенных ниже, контактное сопротивление CoSi_2 значительно ниже, чем в случае использования TiSi_2 и PtSi , независимо от типа легирующей примеси.

Ионная имплантация в производстве МОП БИС

Н.М.МЕДВЕДЕВ *канд.техн.наук*

В производстве биполярных, БиКМОП, КМОП и N -МОП БИС с различными уровнями пороговых напряжений в числе многих методов элионной технологии широко используются процессы имплантации, которые являются ключевыми технологическими операциями и в основном определяют главные параметры схем, их работоспособность, надежность и процент выхода годных. И, что очень существенно, могут быть изменены свойства функциональных слоев БИС под воздействием высокоэнергетичных ионов.

Основными проблемами ионной имплантации при создании МОП БИС являются формирование бездефектных ионно-легированных слоев с воспроизводимыми электрофизическими параметрами и получение заранее заданной комбинации различных величин пороговых напряжений при минимальном количестве процессов литографии и имплантации.

Ниже приводятся обобщенные результаты исследований по формированию МОП БИС с многократным использованием процессов имп-

Таким образом, показано, что CoSi_2 , наряду с TiSi_2 , может успешно применяться при формировании активных и пассивных элементов СБИС. Кроме того, дисилицид кобальта имеет ряд преимуществ по сравнению с TiSi_2 : относительно низкую температуру образования, возможность одностадийного процесса самосовмещения, более высокую химическую стойкость, меньшее контактное электросопротивление к кремнию различного типа проводимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы создания высоконадежных многоуровневых соединений СБИС/Валиев К.А., Орликовский А.А., Васильев А.Г., Лукичев В.Ф.— Микроэлектроника, 1990, т. 19, № 2, с. 116—131.
2. The impact of TiSi_2 on shallow junctions/Chen D.C., Cass T.R., Turner J.E. et al.— Electron Device Meet., Washington D.C., 1—4, 1985, Techn. Dig. p. 8.— 1985.— P. 411—414.
3. Васильев С.В., Герасименко Н.Н. Поведение примеси в процессе формирования силицидов металлов.— Поверхность, 1986, № 7, с. 57—62.
4. Dopant redistribution during titanium silicide formation/Amano Jun, Merchant P., Cass T.R., Miller J.N.— J. Appl. Phys., 1986, vol. 59, N 8, p. 2689—2693.
5. The effects of titanium silicide formation on dopant redistribution/Osburn C.M., Brat T., Sharma D. et al.— J. Electrochem. Soc., 1988, vol. 135, N 6, p. 1490—1504.
6. З и С. Физика полупроводниковых приборов.— М.: Мир, 1984, т. 1.— 456 с.
7. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС.— М.: Мир, 1986.— 176 с.

лантации и различных отжигов. При этом для создания сильно легированных n^+ - и p^+ -слоев различных схем исследованы и применяются процессы имплантации ионов As^+ , Sb^+ , P^+ , B^+ большими $(0,1\text{--}2\cdot 10^{16} \text{ см}^{-2})$ дозами. Средние $(2\cdot\cdot\cdot 9\cdot 10^{13} \text{ см}^{-2})$ дозы имплантации используются для создания областей карманов, резисторов, и т.д. в КМОП и БиКМОП БИС, а малые $(0,06\cdot\cdot\cdot 2\cdot 10^{13} \text{ см}^{-2})$ дозы для прецизионной регулировки пороговых напряжений транзисторов.

Как показано ранее [1], процесс перераспределения имплантированных примесей может быть описан моделью диффузии из бесконечно тонкого слоя с постоянным коэффициентом диффузии только в определенных интервалах имплантации и формирующих отжигов. Предельные дозы имплантации, для которых можно использовать эту модель, определяются полуэмпирическим выражением:

$$\Phi_{\text{lim}} \leq 2n_i (\pi D_i t)^{1/2},$$

где Φ_{lim} — предельная доза имплантации, $см^{-2}$; n_i — концентрация собственных носителей в кремнии при температуре отжига, $см^{-3}$; D_i — собственный коэффициент диффузии примеси в кремнии, $см^2 \cdot с^{-1}$; t — время отжига, с.

Если дозы имплантации превышают предельные значения, то при определении диффузионных характеристик необходимо учитывать зависимость коэффициента диффузии от концентрации примеси.

Исследование кристаллографического совершенства ионно-легированных слоев кремния, проведенное на электронном микроскопе ЭВМ-100Л, показывает значительную зависимость типа и плотности дефектов структуры от дозы имплантации, температуры, времени и среды отжига. Основными дефектами структуры являются дислокационные петли, линии дислокаций и дислокационные сетки. Последние образуются при имплантации фосфора и трактуются как сетки дислокаций несоответствия, которые снижают напряжения на границе рекристаллизованного слоя и неповрежденной решетки, возникающие из-за наличия больших градиентов концентрации примеси и несоответствия атомных радиусов фосфора и кремния. Однако при ампульной диффузии мышьяка с высокой концентрацией дислокации не образуются. Образование дислокаций при имплантации мышьяка, атомный радиус которого примерно равен радиусу кремния, связано прежде всего с высокой плотностью радиационных нарушений в ионно-имплантированном слое.

Субструктурные изменения, связанные с ростом дозы имплантации, приводят к аномальному поведению электрофизических параметров легированных слоев. Так, при дозах имплантации больше Φ_{lim} величина поверхностного сопротивления слабо меняется с увеличением дозы. Это связано с переходом примеси в электрически неактивное состояние, что подтверждается образованием дислокационных петель при этих дозах. С ростом температуры или времени отжига происходит перестройка дефектной структуры и уменьшение плотности дефектов, обусловленное увеличением глубины залегания и уменьшением поверхностной концентрации примеси. Эти субструктурные изменения способствуют переходу внедренной примеси в электрически активное состояние и приводят к изменению электрофизических параметров легированных слоев.

Среда отжига также влияет на структуру дефектов. Например, если отжиг кремния, легированного фосфором или мышьяком дозой $\Phi = 2 \cdot 10^{16} см^{-2}$, проводить при 1373 К в течение 30 мин в сухом азоте, то структура характеризуется наличием дислокационных петель, в то время как после отжига в сухом кислороде формируется уже дислокационная сетка. При отжиге в азоте «критическая» доза, необходимая для образования сетки дислокаций, будет выше, чем при отжиге в атмосфере кислорода в случае имплантации фосфора примерно в 3 раза, а мышья-

ка примерно в 20—25 раз.

Уменьшение дефектности легированных слоев наряду с оптимизацией процесса легирования активной примесью достигается имплантацией неактивных примесей, в частности аргона и германия. Ионная имплантация аргона в обратную сторону пластины в интервале доз $\Phi = 3 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{15} см^{-2}$ является эффективным средством подавления дефектов при формировании тонких эпитаксиальных структур со скрытым n^+ -слоем, легированным сурьмой [2]. Имплантация германия дозой $\Phi = 2...8 \cdot 10^{14} см^{-2}$ при создании n^+ -слоя, легированного мышьяком, уменьшает плотность дислокаций на 1,5—2 порядка.

Имплантация малыми дозами является эффективным инструментом получения транзисторов с различным уровнем пороговых напряжений и оптимизации процесса изготовления БИС. При такой имплантации пороговые напряжения транзисторов с индуцированным каналом в зависимости от дозы имплантации ионов бора изменяются по линейному закону, в то время как закон изменения начального тока транзисторов со встроенным каналом $I_o^{встр.}$ более сложен. В частности, если встроенный канал МОП-транзистора n -типа создается имплантацией ионов одного ти-

па проводимости (p^+ или As^+), то $I_o^{встр.}$ зависит от дозы по квадратичному закону. Если же в канал внедряются ионы противоположных типов проводимости ($B^+ + P^+$ или $B^+ + As^+$), то зави-

симость $I_o^{встр.}$ определяется результирующим профилем и характеризуется закономерностью, близкой к линейной. Это позволяет оптимизировать технологию изготовления схемы и сократить число операций. Например, используя две фоторезистивные маски, частично совпадающие друг с другом, и три процесса имплантации, можно получить ячейку из четырех транзисторов с различными уровнями пороговых напряжений.

Высокоэнергетичные ионы оказывают существенное воздействие на структуру отдельных слоев БИС. Например, при имплантации ионов Ar^+ , R^+ , As^+ , Sb^+ дозами $10^{13} - 10^{16} см^{-2}$ скорость окисления легированного кремния увеличивается в 2—4 раза, а при имплантации ионов азота с $\Phi = 10^{15} - 10^{17} см^{-2}$ — уменьшается почти на порядок [3].

Дополнительный способ оптимизации технологии изготовления МОП БИС — проведение имплантации ионов As^+ , Sb^+ , P^+ с $E = 50 - 150 кэВ$ и $\Phi = 1,2 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{16} см^{-2}$ после нанесения межслойного диэлектрика, например слоя фосфорно-силикатного стекла (ФСС). Имплантация ионов ликвидирует кристаллические включения и другие неоднородности на поверхности ФСС, которые являются центрами зарождения холмиков роста на алюминиевом слое металлизации. Кроме того, имплантация ионов As^+ , Sb^+ , P^+ уменьшает температуру оплавления ФСС и увеличивает скорость его травления. Все это способствует сглаживанию острых кромок контактных окон, крутых ступенек рельефа структуры со

сформированными активными областями и создает благоприятные условия для напыления равномерного металлического покрытия на однородный, аморфный слой ФСС.

Таким образом, ионная имплантация являясь уникальным по точности, диапазону и воспроизводимости инструментом легирования кремния различными примесями для создания активных элементов МОП, БиКМОП, биполярных схем и других изделий электронной техники, проникает в различные области технологии, способствуя оптимизации технологического процесса, повышению работоспособности, надежности и процента выхода годных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. М е д в е д е в Н.М. Улучшение характеристик структур биполярных и МДП БИС с помощью ионной имплантации.— Электронная промышленность, 1986, вып. 4, с. 26—29.
2. Б у л г а к о в С.С., М е д в е д е в Н.М., Д о р о ф е е в А.П. Исследование перераспределения внедренной в кремний сурьмы при создании совершенных p^+ -слоев.— Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1984, вып. 2, с. 31—34.
3. Влияние примеси и радиационных дефектов на кинетику термического окисления/Я.А.Угай, И.Я.Миттова, В.И.Емельяненко и др.— Журн. физ. химии, 1983, т. 57, № 10, с. 2491—2493.

Оптимизация режима ионной имплантации при изготовлении МДП СБИС

Г.В.БЫКАДОРОВА *канд.техн.наук*, А.Ю.ЛЕВИН *канд.техн.наук*

Специалисты НИИ электронной техники провели экспериментальное и теоретическое исследование влияния режимов ионной имплантации на выходные параметры комплементарной пары тестовых транзисторов МДП СБИС. Разработанная методика оценки дозы имплантации и ее воспроизводимости по результатам тестового контроля выходных параметров позволяет оптимизировать режимы ионной имплантации.

Элементную базу большинства современных МДП СБИС составляют комплементарные пары МДП-транзисторов обогащенного и обедненного типов [1—3]. Транзисторы обоих типов имеют единый технологический цикл изготовления и только для транзистора обедненного типа проводится дополнительная имплантация при создании встроенного канала.

Одними из основных параметров, по которым осуществляется контроль изделий, являются пороговое напряжение U_0 в транзисторах с индуцированным каналом и ток стока I_c в транзисторах со встроенным каналом при нулевом потенциале истока и затвора и некотором постоянном потенциале стока, обеспечивающем режим насыщения. При изготовлении МДП-транзисторов области каналов формируются с помощью процессов имплантации. Воспроизводимость режимов имплантации и в первую очередь величины дозы внедрения оказывают существенное влияние на воспроизводимость величин U_0 и I_c , а значит и процент выхода годных МДП СБИС.

Взаимосвязь выходных параметров тестовых транзисторов, определяемая совокупностью входных параметров, сложна и специфична для каждой конкретной конструкции и технологии. Однако статистический анализ выходных параметров позволил предположить, что существуют определенные закономерности, характерные для тех изделий, каналные области которых формируются по схеме, представленной на рис. 1.

Исследование взаимосвязи между пороговым напряжением U_0 и током стока I_c МОП-транзисторов такой комплементарной пары проводилось на трех партиях тестовых структур. Формирование встроенного канала осуществлялось в едином процессе на установке «Везувий-3М» ионами бора с энергией 80 кэВ и дозой 0,1 мкКл/см² на

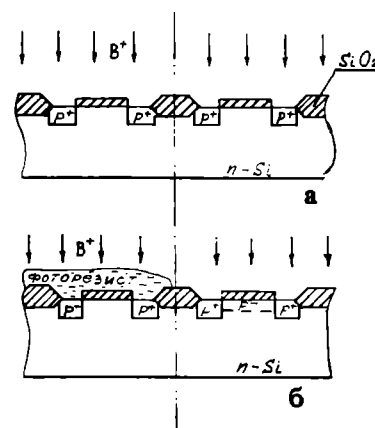


Рис. 1. Схема формирования канальных областей тестовых МДП-транзисторов: а — подлегирование канальных областей; б — создание встроенного канала

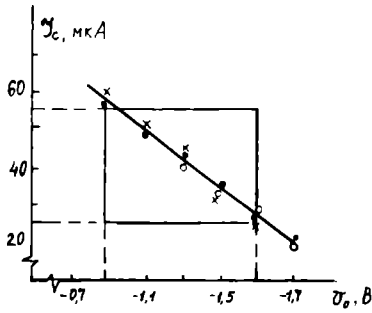


Рис. 2. Зависимость $I_c(U_0)$ для трех партий тест-структур с одинаковой дозой имплантации (X — партия I, ● — партия II, ○ — партия III, — — — теоретическая зависимость)

пластинах кремния марки КЭФ7,5 через слой подзатворного окисла толщиной 0,12 мкм. Выходные контролируемые параметры U_0 и I_c изменяются в диапазоне: $I_c = (25-55)$ мкА, $U_0 = (-0,9-1,7)$ В. Зависимость $I_c(U_0)$ с достаточной степенью точности носит линейный характер (рис. 2), что подтверждается оценкой коэффициента корреляции между I_c и U_0 , который по абсолютной величине в данном случае равен 0,98 [4]. Параметры линейного регрессионного уравнения $I_c = A - B |U_0|$, оцененные по методу наименьших квадратов, соответственно равны $A = 100$ мкА, $B = 44$ мкА/В.

Отмеченный на рис. 2 прямоугольник, обусловленный технологическими нормами допусков на эти параметры, соответствует области допустимых значений I_c и U_0 . Видно, что для фиксированной дозы легирования допустимый интервал по пороговому напряжению не обеспечивает попадания в допустимый интервал по току стока либо сверху, либо снизу. Если уменьшить дозу легирования (а это равносильно параллельному сдвигу прямой вниз по оси ординат) таким образом, что при $U_0 = -0,9$ В ток стока будет равен 55 мкА, тогда появится уход тока стока по нижнему пределу ($I_c < 25$ мкА при $U_0 = -1,7$ В). Следовательно, даже при абсолютной воспроизводимости дозы имплантации возможен брак по току стока и пороговому напряжению при заложенных допусках на эти параметры.

Для полученной экспериментальной зависимости $I_c(U_0)$ (см. рис. 2) может быть дана следующая теоретическая оценка. Пороговое напряжение U_n МОП-структуры с равномерно легированной подложкой рассчитывается по известным формулам [2, 3]. В рассматриваемых структурах с исходной концентрацией в подложке $6,4 \cdot 10^{14}$ см⁻³, концентрацией акцепторной примеси в поликремниевом затворе $5 \cdot 10^{20}$ см⁻³ и плотностью поверхностных состояний $1,3 \cdot 10^{11}$ см⁻² пороговое напряжение равно -2 В.

С помощью двух процессов имплантации формируется сдвиг порогового напряжения в транзисторах обогащенного типа до U_0 , а в транзисторах обедненного типа — до напряжения отсечки $U_{отс}$:

$$U_0 = U_n + \Delta U_n, \quad (1,а)$$

$$U_{отс} = U_0 + \Delta U_{отс}. \quad (1,б)$$

Сдвиг порогового напряжения в общем случае [5] определяется формулой

$$\Delta U = MqD/C, \quad (2)$$

где M — доля имплантированных в область полупроводника ионов; D — доза имплантации; q — заряд электрона; C — удельная емкость окисла.

Формула (2) справедлива в случае, когда ионы, проникшие в полупроводник, находятся в области пространственного заряда, т.е. все ионы обеспечивают сдвиг порогового напряжения. В условиях проведенного эксперимента при 80 кэВ нормальный пробег ионов бора равен $\sim 0,25$ мкм (среднеквадратичное отклонение $\sim 0,07$ мкм) и при толщине подзатворного окисла 0,12 мкм можно считать, что $M \approx 1$.

При легировании ионами бора с энергией 80 кэВ и дозой 0,02 мкКл/см² сдвиг порогового напряжения ΔU_n равен 0,7 В. Окончательное пороговое напряжение U_0 равно $-1,3$ В. Формирование встроенного канала МОП-транзистора обедненного типа реализуется имплантацией бора с энергией 80 кэВ и дозой 0,1 мкКл/см². Напряжение отсечки, определяемое выражением (1,б), в этом случае равно $U_{отс} = 2,2$ В ($\Delta U_{отс} = 3,5$ В).

Далее исследуемую зависимость $I_c(U_0)$ представим в виде $I_c(\Delta U_0)$, где ΔU_0 — отклонение порогового напряжения от среднего значения \bar{U}_0 в пределах норм допусков. Тогда переменное напряжение отсечки можно представить как

$$U'_{отс} = \bar{U}_0 + \Delta U_0 + \Delta U_{отс} = \bar{U}'_{отс} + \Delta U_0. \quad (3)$$

Так как измерения выходных параметров производятся в режиме насыщения [6], то ток стока I_c равен

$$I_c = \frac{Z\mu C}{2L} (U_3 + U'_{отс})^2, \quad (4)$$

где U_3 — напряжение на затворе; Z/L — отношение ширины к длине канала; μ — подвижность носителей в канале.

Учитывая, что на практике при измерении тока стока $U_3 = 0$, а также используя формулу (3), получим

$$I_c = \frac{Z\mu C}{2L} (\bar{U}'_{отс} + \Delta U_0)^2. \quad (5)$$

Поскольку $|\Delta U_0| < |\bar{U}'_{отс}|$, то слагаемое $\Delta U_0^2 \ll |2\bar{U}'_{отс} \Delta U_0|$, и тогда

$$I_c \approx \frac{Z\mu C}{2L} (\bar{U}'_{отс} + 2\bar{U}'_{отс} \Delta U_0). \quad (6)$$

Это уравнение прямой относительно ΔU_0 . Теоретическая зависимость, рассчитанная по формуле (6), для реальных изделий тоже приведена

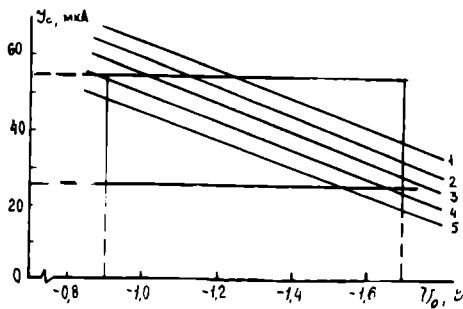


Рис. 3. Теоретический расчет зависимости $I_c(U_0)$ для различных доз имплантации встроенного канала ($I_1 = 0,11$ мкКл/см², $2 = 0,105$, $3 = 0,1$, $4 = 0,095$, $5 = 0,09$)

на рис. 2. При расчетах использовались следующие значения: $\bar{U}_0 = -1,3$ В, $Z/L = 2$, $C = 2,88 \cdot 10^{-8}$ Ф/см², $\mu = 280$ см²/В·с [7], $M = 1$. Из рисунка видно, что расхождение между расчетными данными и экспериментом составляет величину не более 10%.

На основе предложенной модели было рассчитано семейство зависимостей $I_c(U_0)$ при различных дозах имплантации встроенного канала (рис. 3). Результаты показали, что изменение дозы приводит примерно к параллельному сдвигу прямых, и это соответствует экспериментальным данным (рис. 4).

Учитывая все вышесказанное, для оценки воспроизводимости предлагается методика, которая иллюстрируется графиком на рис. 5. Для сравниваемых партий I и II, имеющих значения пороговых напряжений в интервалах $2\Delta U_{01}$ и $2\Delta U_{02}$ и соответствующие токи в интервалах $2\Delta I_{c1}$ и $2\Delta I_{c2}$, строятся зависимости $I_c(U_0)$, а затем полученные зависимости приводятся к одному и тому же пороговому напряжению. Лучшее всего для этого выбирать среднее значение допустимого технологического интервала, т.е. \bar{U}_0 . Получаемые при этом значения I'_{c1} и I'_{c2} характеризуют воспроизводимость дозы имплантации. Если $I'_{c1} > I'_{c2}$, то наблюдается отклонение по воспроизводимости в сторону завышения относительно партии I; если $I'_{c1} < I'_{c2}$, то в сторону занижения. При $I'_{c1} = I'_{c2}$ наблюдается хорошая воспроизводимость по дозе.

Следует отметить, что в серийном производстве часто достаточно знать только качественное направление изменения дозы, чтобы можно было целенаправленно отыскать и устранить неисправность в ИЛУ. Так, например, перелегирование может быть связано с наличием нейтралов в пучке ионов [8]; что в свою очередь связано с ухудшением вакуума. Недолегирование может появиться при обрыве электрода в системе подавления вторичных электронов. Возникновение утечки в различных местах дозиметрической системы может привести как к перелегированию, так и недолегированию, и т.д.

Численную оценку воспроизводимости дозы имплантации можно провести, решив уравнение (6) в точках (\bar{U}_0, I'_{c1}) и (\bar{U}_0, I'_{c2}) относительно доз D_1 и D_2 первой и второй партий. При этом используются формулы (1,6), (2), а $\Delta U_0 = 0$. Тогда оценка сводится к решению системы уравнений

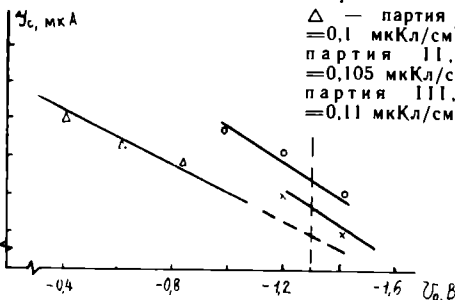


Рис. 4. Зависимость $I_c(U_0)$ для тест-структур с разной дозой формирования встроенного канала: Δ — партия I, $D_1 = 0,1$ мкКл/см²; \times — партия II, $D_2 = 0,105$ мкКл/см²; \odot — партия III, $D_3 = 0,11$ мкКл/см²

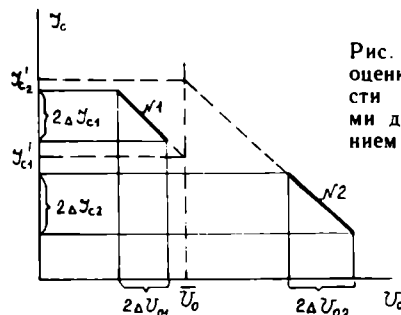


Рис. 5. Качественная оценка воспроизводимости имплантации малыми дозами с использованием зависимости $I_c(U_0)$

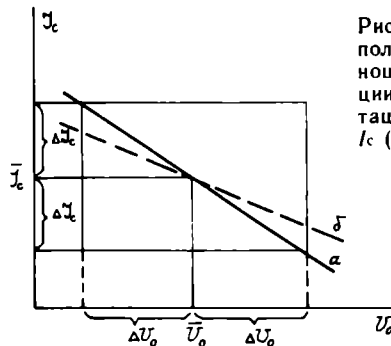


Рис. 6. Графическое дополнение к выводу соотношений для оптимизации процессов имплантации по зависимости $I_c(U_0)$

$$\begin{cases} I'_{c1} = \frac{Z_1 \mu_1 C_1}{2L_1} \left(\bar{U}_0 + \frac{M_1 q D_1}{C_1} \right), \\ I'_{c2} = \frac{Z_2 \mu_2 C_2}{2L_2} \left(\bar{U}_0 + \frac{M_2 q D_2}{C_2} \right), \\ \Delta D = D_2 - D_1, \end{cases} \quad (7)$$

где $Z_1, L_1, \mu_1, C_1, M_1$ — соответственно ширина канала, длина канала, подвижность носителей, емкость и доля внедренных ионов в партии I; $Z_2, L_2, \mu_2, C_2, M_2$ — аналогичные параметры в партии II.

В общем случае различие этих параметров связано с воспроизводимостью фотолитографических процессов и процессов формирования подзатворного диэлектрика заданной толщины.

Для правильного решения оптимизации режимов ионной имплантации малых доз при формировании встроенных каналов необходимо проанализировать графические данные на рис. 6. \bar{U}_0 и \bar{I}_c — средние допустимые значения. Из рисунка видно, что более предпочтительна связь по прямой б, имеющей меньший наклон, чем прямая а, которая совпадает с диагональю прямоугольника допусков ($\alpha\delta < \alpha_a$), т.е.

$$\operatorname{tg} \alpha\delta < \operatorname{tg} \alpha_a; \operatorname{tg} \alpha_a = \Delta I_c / \Delta U_0. \quad (8)$$

Из уравнения прямой (6) и формул (1,6), (2) получим

$$\operatorname{tg} \alpha\delta = \frac{Z}{L} \mu C U_{\text{отс}} = \frac{Z}{L} \mu C \left(\bar{U}_0 + \frac{MqD}{C} \right). \quad (9)$$

Используя формулы (8) и (9), а также проводя несложные преобразования, получим *первое соотношение для оптимизации*, определяющее угол наклона прямой

$$D < \frac{1}{Mq} \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta U_{0\mu}} - \bar{U}_0 C \right). \quad (10)$$

Второе соотношение находится из условия $I_c(\bar{U}_0) = \bar{I}_c$, для чего в уравнении прямой (6) положим $\Delta U_0 = 0$, тогда $\bar{I}_c = \frac{Z\mu}{2L} C U_{\text{отс}}^2$. Используя (1,6) и (2), получим

$$\left(\frac{MqD}{C} + \bar{U}_0 \right)^2 = \frac{2\bar{I}_c L}{Z\mu C}. \quad (11)$$

Это соотношение определяет прохождение прямой через середину прямоугольника допусков.

Соотношения (10) и (11) связывают дозу ионной имплантации с выходными параметрами U_0 , ΔU_0 , I_c , ΔI_c и конструкторско-технологическими Z , L , C , μ , M .

Оптимизация дозы имплантации с помощью приведенных соотношений может достигаться различными способами за счет варьирования всех параметров, входящих в формулы (10) и (11). Однако, при разработке конкретных изделий существуют определенные ограничения на варьируемые параметры, связанные со схемотехническими и конструкторско-технологическими требованиями, которые и определяют пути оптимизации процессов имплантации для данного изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а л и е в К.А., К а р м а з и н с к и й А.Н., К о р о л е в М.А. Цифровые интегральные схемы на МДП-транзисторах.— М.: Сов. радио, 1971.— 384 с.
2. Т и л л У., Л а к с о н Д. Интегральные схемы.— М.: Мир, 1985.— 504 с.
3. Технология СБИС/Пер. с англ. под ред. Зи С. Кн. 2.— М.: Мир, 1986.— 453 с.

4. П у с т ы л ь н и к Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений.— М.: Наука, 1968.— 288 с.
5. Р и с с е л Х., Р у г е И. Ионная имплантация.— М.: Мир, 1983.— 360 с.
6. Б е р е з и н А.С., М о ч а л к и н а О.П. Технология и конструирование интегральных микросхем.— М.: Радио и связь, 1992.— 319 с.
7. Y a m a g u c h i T. Process and device performance of submicrometer-channel CMOS device using deep trench isolation and selfaligned TiSi technologies.— IEEE Trans. Electron Devices, 1985, v. ED-32, p. 184—193.
8. Ч и ч я л и с В.Т. Расчет неравномерности ионного легирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях при групповой обработке кремниевых пластин.— Электронная техника. Сер. 7, 1985, вып. 3, с. 25—29.

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

ФАЙЛОВЫЙ СЕРВЕР ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

(Комплекс вычислительный
«Электроника МС0602» БК0.305.442 ТУ)

Универсальный комплекс для организации вычислительных сетей с ПЭВМ типа IBM PC, микроЭВМ серии «Электроника PDP.VAX».

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Производительность при решении задач оперативного управления, тыс. ком./с, не менее	300
Емкость ОЗУ, Кбайт, не менее	9216
Объем адресуемого пространства, Гбайт	4
Количество каналов связи типа «стык С2»	12
Подсистема внешней памяти на кассетной магнитной ленте емкостью, Мбайт, не менее	94,5
Подсистема внешней памяти на магнитном диске с интерфейсом SCSI емкостью, Мбайт, не менее	600
Мультиплексор восьмиканальный с интерфейсом «стык С2»	
Контроллер локальной вычислительной сети по стандарту IEEE 802.3	
Имеется возможность выхода на сеть:	
типа ETHERNET с длиной сегмента сети, м, не более	500
типа CHEAPERNET с длиной сегмента сети, м, не более	120
Мощность, потребляемая от сети 220 В, 50 Гц ВА, не более	1000
Масса, кг, не более	120
Программное обеспечение:	
— операционная система МС0-32М;	
— сервер NETWARE, позволяющий использовать ПЭВМ IBM PC в качестве рабочих станций, связанных в локальную сеть с помощью NE1000/NE2000/D-LINK 100;	
— комплект диагностического тестового обеспечения.	

Заказы на изделие в виде гарантийного письма принимаются по адресу: 394042, г. Воронеж, ул. Минская, 16 ОКТ при заводе «Процессор»

Консультация по техническим вопросам:
Иванов Анатолий Петрович, тел. (0732) 23-79-73.

Методы и средства интегрированной технологии ПЛИС + БМК

С.А.ЦЫБИН, А.В.БЫСТРИЦКИЙ

По оценкам западных экспертов, опоздание с выходом на рынок новой продукции намного хуже, чем перерасход выделенных на разработку средств. С этой точки зрения большого внимания заслуживают программируемые логические ИС (ПЛИС). Сегодня ПЛИС неуклонно отвоевывают рыночные позиции у своих менее гибких и универсальных «старших братьев» — вентилярных матриц [1]. Главная причина этого — сокращение сроков подготовки производства и выпуска новой продукции. По мере повышения быстродействия, уровня интеграции функциональных возможностей и снижения стоимости, эти всевозможные приборы, обладающие наивысшей функциональной гибкостью, начинают играть все более заметную роль в современных электронных системах благодаря возможности их программирования и репрограммирования в условиях эксплуатации.

ПЛИС — это общее название для нескольких подклассов изделий, которые условно можно разделить на сегментированные ПЛИС типа EPLD (Electric Programmable Logic Device) и вентилярные матрицы, программируемые потребителем (ППВМ), типа FPGA (Field Programmable Gate Array). Общее свойство названных ПЛИС — их гибкость. Если ошибка в конструкции вентилярной матрицы означает задержку освоения продукции на срок до шести недель, то ошибку в ПЛИС можно устранить практически моментально. В настоящее время ПЛИС выпускают более 20 ведущих западных компаний, самые известные — XILINX Inc., ALTERA Corp., ACTEL Corp., AMD Inc., INTEL Corp. [2]. Современные, наиболее плотно упакованные ПЛИС имеют уровень интеграции до 12000 используемых вентилярей (FPF 81188-3 ALTERA Corp.) и могут работать с быстродействием свыше 80 МГц (iFX 780 INTEL Corp.). Однако на сегодня они уступают стандартным вентилярным КМОП-матрицам по таким показателям, как быстродействие, уровень интеграции, а главное — цена. Для КМОП-матриц показатели находятся на уровне примерно 600 нс/вентиль и 100—250 тыс. вентилярей/кристалл, а цена в пересчете на вентиль примерно в 5—20 раз ниже. Кроме того, для достижения схемами ПЛИС такого уровня, при котором они стали бы достойной заменой вентилярным матрицам, необходимо решить ряд проблем, в числе которых уменьшение задержек распространения сигналов на кристалле, повы-

шение гибкости реализации конкретных схем, увеличение количества логических вентилярей, (причем все это без существенного роста потребляемой мощности), а также разработка средств проектирования, позволяющих получить достаточно точно прогнозируемые временные параметры схем.

ПЛИС выгодны, когда речь идет об изготовлении малых партий изделий, но при увеличении объема выпуска они теряют свою конкурентоспособность по сравнению с вентилярными матрицами. Обычно системные компании используют ПЛИС на стадии освоения производства, а затем, когда конструкция отработана и годовой объем продаж начинает превышать 10 тыс.шт., переключается на более дешевые вентилярные матрицы.

Таким образом, на этапах разработки, производства и эксплуатации РЭА отношения между технологиями БМК и ПЛИС складываются следующим образом:

— вытеснение вентилярных матриц на этапах разработки опытных и мелкосерийных изделий благодаря качественному превосходству ПЛИС в сроках и методах проектирования;

— сохранение преимуществ вентилярных матриц для серийного производства и в «жестких» условиях эксплуатации.

Такой подход к использованию технологий подтверждает возможность получения преимуществ от их взаимодействия на различных этапах жизненного цикла изделий — в виде интегрированной технологии ПЛИС + БМК.

В направлении интеграции технологий ПЛИС + БМК за рубежом работы начаты в конце 80-х годов. В настоящее время созданы разнообразные средства для «конвертации» проектов из ПЛИС в БМК и даже специализированные ППВМ-кристаллы на базе статических ячеек памяти (СЗУПВ), предназначенные для макетирования схем, подлежащих реализации на вентилярных матрицах или стандартных элементах, как это делает компания Quickturn Systems Inc. [3]. Подходы западных фирм, поддерживающих интегрированную технологию ПЛИС + БМК, к методам и средствам автоматизированного перевода проектов из одного технологического базиса в другой, различны. Так, фирмы ALTERA, XILINX, ATMEL, AMD предпочитают использовать «плисоподобные» БМК (Hard Wire), специально спроектированные под конкретные типы

выпускаемых ПЛИС. При этом используются стандартные программируемые средства проектирования ПЛИС. Полученные таким образом программируемые с помощью фотошаблона ИС представляют собой полностью эквивалентную замену своих прототипов, что существенно облегчает переход от одних к другим.

Actel осуществляет перевод своих проектов на основе ППВМ в проект на базе стандартных вентиляемых матриц компании LSI Logic с использованием инструментальных программных средств. Идентификация проектов достигается оптимизацией логических схем, добавлением или удалением элементов исходного проекта, при этом сравниваются результаты моделирования обеих реализаций. Другой пример: фирма Plessey создала центр проектирования для пользователей ПЛИС — фирм AMD, ALTERA, XILINX, ACTEL, который позволяет этим фирмам преобразовывать свои проекты в БМК семейства Quick Gate.

Таким образом, существуют три варианта решения этой проблемы:

- создание «плисоподобных» БМК, логическая структура которых идентична ПЛИС, так называемых HardWire (торговая марка XILINX Inc.). В данных кристаллах программирующая логика заменяется программируемым с помощью фотошаблона соединением первого и второго уровней металлизации [4, 5];

- получение БМК, адаптированных по логической емкости, библиотеке и электрическим характеристикам к конкретным прототипам ПЛИС. При этом перенос проекта осуществляется с помощью трансляции списка соединений [6];

- создание специализированных ППВМ-кристаллов, специально предназначенных для макетирования схем, подлежащих реализации на БМК [3].

Кроме того, в настоящее время уже созданы инструментальные пакеты программ типа Retargeter (Viewlogic Systems Inc. [7]), которые позволяют не только переводить схемы, выполненные на базе ППВМ-кристаллов, но и объединять несколько проектных реализаций ПЛИС и стандартных логических ИС, определять выполняемую этой группой приборов логическую функцию, оптимизировать схему и переработать ее в проект на БМК.

Первые два варианта наиболее предпочтительны в отношении интегрированной технологии ПЛИС + БМК в России. Однако проблема выбора осложняется огромным многообразием архитектурных разновидностей кристаллов и вариантов программирования.

По способу программирования современные ПЛИС можно разделить на четыре типа: ПЛИС на базе электрически программируемых элементов памяти с ультрафиолетовым стиранием (УФСПЗУ), электрически стираемых перепрограммируемых элементов памяти (ЭСППЗУ), однократно программируемых прожигаемых пе-

ремычек (antifuse) или однократно программируемых СППЗУ и программируемых структур на базе СЗУПВ. Перепрограммируемые кристаллы, особенно кристаллы на базе СЗУПВ-элементов, требуют больших затрат площади на программирующую логику и программируемые элементы, и кроме того, они характеризуются изначальной избыточностью универсальных логических модулей. Все это учтено специалистами НИИЭТ при разработке средств интегрированной технологии ПЛИС + БМК. В качестве прототипов ПЛИС для решения этой задачи были выбраны изделия компаний XILINX Inc. и ALTERA Corp., которые являются мировыми лидерами в классе FPGA и EPLD изделий [8].

Изделия XC 2064 XILINX Inc. с крупнозернистой архитектурой на базе СЗУПВ реализуемые на базе 1,5-мкм КМОП технологии с двухуровневой металлизацией, логической емкостью 1200 вентилей известны в России. Важнейшей особенностью данного кристалла является возможность его внутрисистемного репрограммирования, т.е. многократного использования. Такая возможность удобна и выгодна для макетных и экспериментальных приложений. Для данного кристалла был разработан «плисоподобный» БМК, аналогичный варианту фирмы XILINX (XC 2318). При этом размер кристалла был уменьшен примерно в 1,8 раза по сравнению с кристаллом ПЛИС. Это было достигнуто путем замены пятитранзисторных элементов ЗУПВ и проходных транзисторов программируемыми с помощью одного фотошаблона соединениями первого и второго уровней металлизации. При этом была сохранена логическая структура макроблока и архитектура кристалла. Замена проходного транзистора программируемым соединением привела к уменьшению задержки распространения сигналов в связях элементов, но за счет подбора размера транзисторов данный эффект был сведен к минимуму. Программирование топологии разработанного БМК осуществляется путем трансляции битового потока данных программирования ПЛИС в управляющую информацию на топологию. Поскольку программирование БМК осуществляется в одном слое на финишной операции изготовления, цикл «проектирование + изготовление БИС», даже в сложившихся в России условиях, не превышает трех-четырех недель. Данный кристалл предназначен для аппаратуры промышленного и военного применения.

Другой популярной ПЛИС является ERM 5128 Altera Corp., имеющая ряд вторых поставщиков. Данная ПЛИС крупноsegmentированного типа позволяет пользователям решать широкий круг задач проектирования цифровых устройств. Архитектура ПЛИС состоит из 128 макроячеек (macrocell), объединенных в 8 логических блоков (Logic Array Block — LAB). ВНИИЭТ разработан БМК, адаптированный по логической емкости и эксплуатационным харак-

теристикам к ЕРМ 5128. Избыточность построения макроячеек ПЛИС, изготовленных по 0,8-мкм технологии, позволяет конвертировать проекты на БМК, изготовленные по 2-мкм технологии, без ухудшения временных параметров.

САПР ПЛИС + БМК транслирует конфигурацию ПЛИС в список межсоединений библиотечных элементов БМК. Адекватность переноса достигается внесением в определенные узлы схемы элементов фиксированной задержки, выравнивающих время распространения сигналов в частях схемы, соответствующих разным LAB. Адекватность переноса проекта контролируется средствами моделирования, обеспечивающими сравнение сигналов в узлах БИС с эталонными сигналами ПЛИС.

Другой возможностью является разработка проекта в базе БМК с последующей эмуляцией и верификацией его на ПЛИС ЕРМ 5128. Экономическая эффективность применения разработанной технологии ПЛИС + БМК на каждом этапе очевидна, поскольку обеспечивает рекордную оперативность, недостижимую в настоящее время при отладке и модификации проектов (снижение сроков более чем на порядок), а также гарантированную приемственность технических характеристик цифрового устройства при замене (rip to rip) ПЛИС на серийные БИС — прото-

типы; создает условия параллельного проведения этапов разработки цифрового устройства и целевой технической системы в целом; позволяет значительно снизить финансовые затраты разработчиков РЭА за счет уменьшения числа модификаций проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. М а к л а у д Д., Д а м ъ я н Ж. Программируемые логические ИС — серьезный конкурент вентиляционных матриц на рынке специализированных ИС.— Электроника, 1991, № 13, с. 55—57.
2. Б ё р с к и Д. Быстродействующие ППВМ-кристаллы с повышенной плотностью упаковки уверенно теснят вентиляционные матрицы.— Электроника, 1993, № 18, с. 44—57.
3. Б ё р с к и Д. Достижения ППВМ-технологии, обеспечивающие повышение быстродействия и расширение функциональных возможностей кристаллов.— Электроника, 1993, № 5—6, с. 43—48.
4. Hard Wire Data Book, Xilinx Inc., 1991.
5. Б ё р с к и Д. Более дешевые программируемые потребителем вентиляционные матрицы с фиксированной топологией.— Электроника, 1991, № 11—12, с. 6—7.
6. М а л и н ъ я к Л. Программы образования проектов специализированных ИС в ППВМ-реализации, предлагаемые полупроводниковыми компаниями.— Электроника, 1993, № 1—2, с. 79—82.
7. М а л и н ъ я к Л. Инструментальный пакет для разработки логических устройств на базе ПЛИС в специализированных ИС.— Электроника, 1991, № 10, с. 51—52.
8. ASIC MARKET TRENDS, STATUS, 1991, p. 4—18.

Улучшение технологических параметров фоторезистов под воздействием ультразвука

Д.Л.КОТОВА, Н.М.ГУНИНА, В.Ф.СЕЛЕМЕНЕВ,
П.В.ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, Т.А.ХМЕЛЕВА

Методами термического анализа, ИК и УФ спектроскопии исследовано влияние добавок и воздействие ультразвука на свойства позитивных фоторезистов. Показано, что применение новых композиций и воздействие ультразвука позволяет получить резисты с улучшенными технологическими параметрами.

Известно [1], что срок хранения ДХН-резистов при комнатной температуре ограничен. Изменение свойств и внешнего вида фоторезиста при хранении могут иметь нежелательные последствия при его использовании в технологическом процессе. Добавление низкотемпературных и полимерных компонентов позволяет скомпенсировать недостаточные адгезию и чувствительность, а также улучшить и другие технологические параметры ДХН-резистов. Влияние добавок (катамина АБ и метилпирролидона (МП)) и воздействие ультразвука на свойства позитивного

фоторезиста ФП-383 изучалось с помощью методов ИК и УФ спектроскопии, термического анализа (дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрии (ДТГ)). ИК спектры снимали на приборе Specord-75TR. Интерпретацию полученных результатов осуществляли по методике, предложенной в работах [2, 3]. Одновременный ДТА и ДТГ анализ фоторезиста и его составляющих проводили на дериватографе «Паулик, Паулик, Эрден». Навеска образца не превышала 150 мг. Чувствительность ДТА — 1/1, ДТГ — 1/10. Эталонном служил прокаленный до 1473 К оксид алюминия. Применение методов термического анализа позволило изучить кинетику удаления растворителя, а также определить соотношение между тепловыми эффектами, протекающими в процессе выделения растворителя, для модифицированных образцов резистов. Графики изменения массы (ТГ) фоторезистов от температуры приведены на рис. 1. В температурном интервале 298—373 К

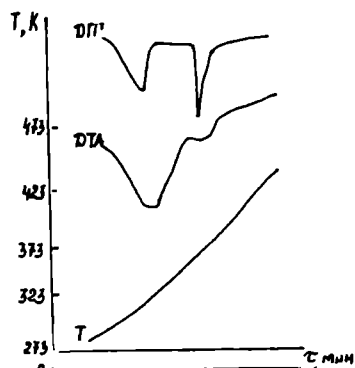


Рис. 1. Дериватограмма фоторезиста ФП-383

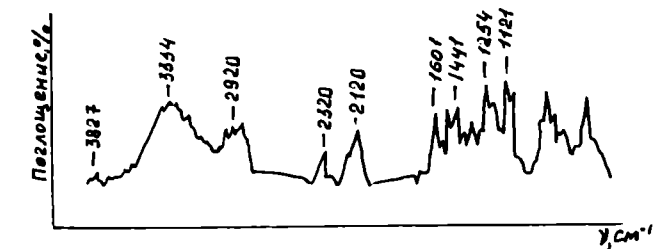


Рис. 2. Инфракрасный спектр фоторезиста ФП-383

наблюдается два участка с разным углом наклона, т.е. растворитель из резиста ФП-383 удаляется в две стадии, различающиеся по скорости. На первой стадии в интервале температур 293—343 К выделяется основная масса растворителя — до 80%. При температуре 323 К скорость испарения растворителя достигнет максимальной величины. Удаление растворителя сопровождается поглощением тепла и в области температур 298—373 К наблюдается эндотермический эффект. Энтальпия растворителя для ФП-383 составила 12 ккал/моль.

После хранения фоторезиста характерно увеличение скорости удаления растворителя на первом этапе. При этом энтальпия испарения уменьшается до 8 ккал/моль. Для этих образцов на ИК спектрах появляются дополнительные полосы поглощения (рис. 2, 3). На образование кислоты указывают полосы поглощения при 1640 см^{-1} — асимметричные колебания и при 1415 см^{-1} — симметричные валентные колебания COO^- -группы. Об образовании в процессе хранения резиста соединений с $\text{R-O-SO}_2\text{-R}$ группировкой свидетельствует появление полосы по-

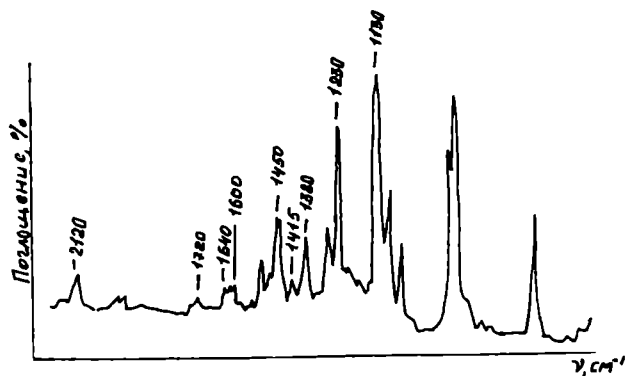


Рис. 3. Инфракрасный спектр фоторезиста ФП-383 после 6 месяцев хранения

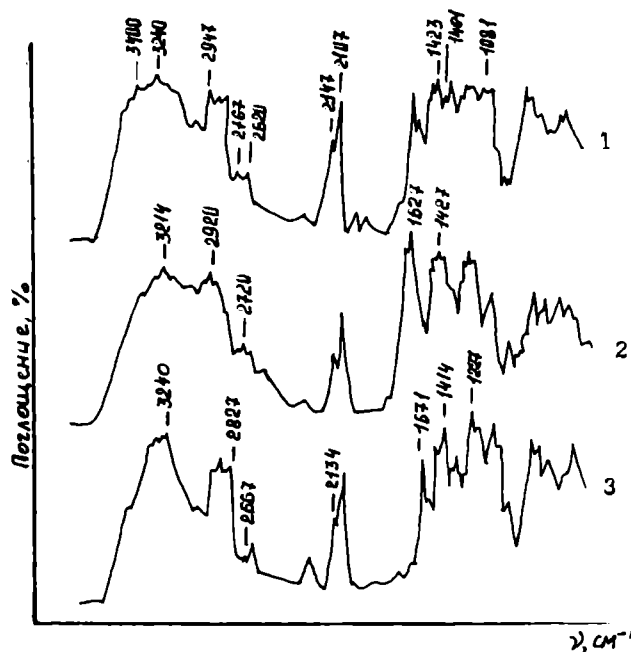


Рис. 4. Инфракрасные спектры фоторезиста ФП-383: 1 — с добавкой катамина АБ, 2 — с добавкой МП; 3 — обработанного ультразвуком

лощения при 1380 см^{-1} . Можно полагать, что при хранении в полимере изменяются энергия теплового движения и взаимодействие между молекулами. В жидком резисте возможно протекание реакций с образованием кислоты и сульфонов.

Введение катамина АБ изменяет свойства фоторезиста. На ИК спектрах (рис. 4) наблюдается уменьшение частоты поглощения диазо-группы и увеличение ее интенсивности, что указывает на появление электронодонорного заместителя в бензольном кольце типа $n\text{-(CH}_3)_2\text{N(C}_6\text{H}_4)_2\text{N}_2$. Дополнительные полосы поглощения в области $1450\text{—}1400\text{ см}^{-1}$ служат доказательством наличия группировки $\text{-CH}_2\text{-N<}$ в соединении.

Присутствие МП в фоторезисте приводит к появлению на ИК спектре полосы «амид I» в

области 1681 см^{-1} . Полоса поглощения, возникающая за счет валентных колебаний ($\text{C}=\text{O}$)-группы, имеет сложный вид — расщепляется на несколько пиков ($1667, 1627 \text{ см}^{-1}$). По-видимому, это обусловлено взаимодействием карбонильной группы с бензольными кольцами или CH_3 -группами. Понижение частот валентных колебаний ($\text{C}=\text{O}$)-группы МП может быть вызвано участием этой группы в химическом взаимодействии через атом кислорода. В интервале частот $3800\text{—}3200 \text{ см}^{-1}$ характерно смещение колебаний ОН-группы в низкочастотную область. Можно полагать, что усиление связи вызвано переходом мономерной ОН-группы в ассоциированную. Возможно межмолекулярное взаимодействие ($\text{C}=\text{O}$)-группы МП и ОН-группы новолачной смолы.

Для партии фоторезиста ФП-383 с истекшим сроком годности введение добавок изменяет кинетику сушки. Уменьшается скорость выделения растворителя на первой стадии. Тепловой эффект испарения равен 13 и 15 ккал/моль соответственно при добавлении в резист водного раствора катамина АБ и МП. Вероятно межмолекулярное взаимодействие в системе приводит к уменьшению свободного объема пор в резисте, а следовательно и изменению кинетики удаления растворителя.

Установлено, что модификация резиста ФП-383 позволила:

— при перепроявлении в 1,5 раза сохранить допуски на размеры элементов в заданных пределах на всех фотогравировках;

— уменьшить клин травления в 1,5 раза с 0,3 мкм до 0,15 мкм;

— устранить игольчатый растрав.

Ультразвуковая обработка резиста ФП-383 с истекшим сроком годности, но забракованным по технологическим параметрам, приводит:

- к снижению уровня кристалличности;
- к улучшению качества фильтрации;
- увеличению срока годности;
- уменьшению дефектности фоторезистивной пленки.

Как следует из данных ИК спектроскопии (рис. 4), ультразвук действует на связи ($-\text{C}=\text{C}-$)-компонентов. В области $1525\text{—}1440 \text{ см}^{-1}$ наблюдается смещение частот колебаний в коротковолновую область спектра. Воздействие ультразвука на гидроксильные группы проявляется в смещении полос поглощения в области $3400\text{—}3000 \text{ см}^{-1}$ в низкочастотную область — $3240, 3280 \text{ см}^{-1}$. Изменение характера взаимодействия в полимере отражается и на кинетических характеристиках удаления растворителя. Воздействие ультразвука приводит к уменьшению скорости выделения растворителя в 1,4 раза. Наблюдается также увеличение теплоты испарения на 5 ккал/моль.

Следует отметить, что обработка ультразвуком несколько увеличивает светочувствительность резиста. Наблюдается увеличение интенсивности полос поглощения при 345 и 405 нм.

Таким образом, введение добавок и воздействие ультразвука способствуют улучшению технологических параметров фоторезиста ФП-383, не пригодного к эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. М о р о У. Микролитография: В 2-х ч. ч. 11: Пер. с англ. М.: Мир, 1990.— 605 с.
2. С и л ь в е р с т е й н Р., Б а с с л е р Г., М о р р и л Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений.— М.: Мир, 1977.— 590 с.
3. Н а к а н и с и К. Инфракрасная спектроскопия и строение органических соединений.— М.: Мир, 1965.— 216 с.

Пластмассовый корпус — лидер среди упаковок интегральных схем

А.А.КОЛБЕНКОВ

Предложен ряд пластмассовых корпусов типа DIP с количеством выводов от 8 до 42, отвечающих современным требованиям автоматизации сборочных процессов. Освоен промышленный выпуск мелких и крупных серий ИС, БИС, СБИС в этих корпусах. Отработаны технологические приемы сокращения драгметаллов без ухудшения качества ИЭТ.

Развитие микроэлектроники вызывает непрерывный рост объемов и номенклатуры выпускаемых БИС различных функциональных назначений. Несмотря на некоторые нерешенные проблемы в области надежности, качества используемых материалов и способов пассивации кристаллов, для изделий массового применения более целесообразны пластмассовые корпуса (ПК),

которые значительно дешевле керамических и легче поддаются автоматизации. В общей структуре потребления пластмассовые корпуса занимают первое место. Это связано с конструктивной простотой, малым содержанием в них золота и, как следствие, невысокой ценой.

Широкое применение ПК стало возможным за счет совершенствования конструкции, технологических процессов сборки, повышения качества используемых материалов. Стойкость к механическим ударам и вибрации, свобода выбора формы корпуса, высокая технологичность и производительность сборочных процессов, экономические преимущества обуславливают предпочтительность пластмассовых корпусов.

Последние 30 лет характеризовались использованием всего нескольких типов упаковок для микросхем. Многие годы популярными были вариации корпуса с двухрядным расположением выводов (dual-in-line package-Dip). Но эпоха стандартного DIP-корпуса почти кончается, и, возможно, в компоновке кристаллов находится ключ к получению значительно более компактных схем. Причина этих изменений состоит в том, что новые конструкции микросхем часто используют до 100 и более выводов. Однако DIP-корпуса, выполненные с таким большим числом выводов, становятся гигантскими и занимают слишком много места на плате, чтобы быть практичными. Более того, становится чрезвычайно сложно рассеивать тепло от таких корпусов и моделировать электрические параметры по мере увеличения размера корпуса.

Для преодоления недостатков DIP-корпусов разрабатывается множество подходов, один из которых — переход к поверхностно монтируемым [1]. Хотя DIP-корпуса были оптимальными в течение многих лет, новые упаковки имеют меньшие размеры, могут размещать микросхемы с гораздо большим числом выводов и минимизируют проблемы рассеивания мощности.

К поверхностно монтируемым корпусам, разработанным НИИЭТ, относятся 16- и 28-выводные корпуса 43 подтипа с шагом 1,27 мм по ГОСТ 17467 «Микросхемы интегральные. Основные размеры», в которых обрабатывается серийность выпуска ИМС различного функционального назначения. К конструктивно более сложным и перспективным относятся разработки 56- и 100-выводных корпусов 44 подтипа с шагом выводов 0,65 мм, 68- и 84-выводных корпусов 45 подтипа с шагом выводов 1,27 мм по ГОСТ 17467. Эти корпуса созданы для применения в технике поверхностного монтажа компонентов.

На рис. 1 представлены пластмассовые корпуса различных конструктивов.

В связи с определенным временным периодом производственного становления техники поверхностного монтажа компонентов, в ближайшие 10 лет популярность схем в корпусах DIP для отечественной промышленности снижаться не будет. Промышленная технология предлагает выпуск ИС, БИС, СБИС в пластмассовых кор-

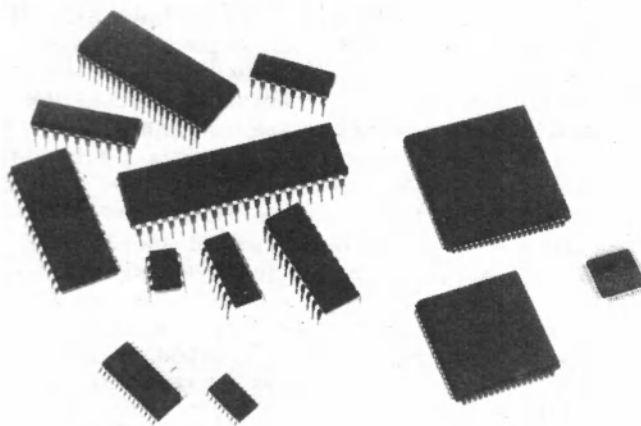


Рис. 1. Пластмассовые корпуса — DIP, SO, QFP, PLCC

пусах типа DIP с количеством выводов от 8 до 42.

Плоские корпуса с двухрядным расположением выводов, направленных вниз, готовы для монтажа в отверстия печатных плат. В корпусе DIP расстояние между выводами в каждом ряду равно 2,5 (2,54) мм и ряды находятся на расстоянии 7,5 (7,6) мм, 10,0 (10,2) мм, 15,0 (15,2) мм в зависимости от числа выводов. Каждые два дополнительных вывода добавляют 2,5 (2,54) мм длины корпуса.

В таблице представлены технические характеристики корпусов типа DIP, разработанных и применяемых НИИЭТ для выпуска изделий электронной техники (см. рис. 2).

Оформление интегральных схем в литые пластмассовые корпуса относится к области высоких технологий, а конструктивное исполнение выводных рамок позволяет достигнуть высокой степени автоматизации сборочных процессов [2]. Автоматизация техпроцессов сборки помогает сни-

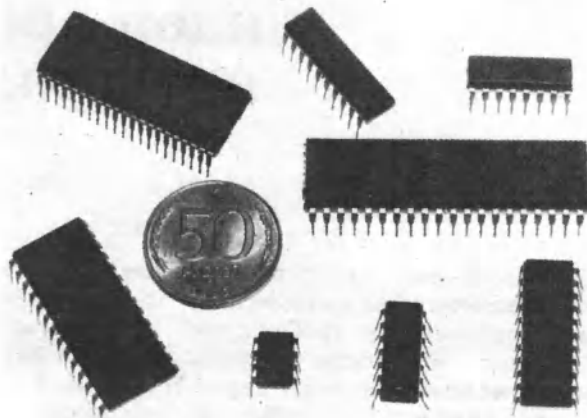


Рис. 2. Семейство корпусов DIP

Характеристики пластмассовых корпусов DIP

Корпус			Рамка выводная	Размеры используемых кристаллов, мм	Применение
Шифр	Междурядье, мм	Шаг, мм			
2101.8-1	7,5	2,5	15 кадров, кристаллодержатель на 2 паразитных траверсах	$(1,5 \times 1,6) \div (2,2 \times 2,9)$	KP 1054, 1102, 1091, 1566, 1033, 1051
2102.14-1	7,5	2,5	То же	$(1,3 \times 1,3) \div (1,45 \times 1,95)$	KP 555
2103.16-1	7,5	2,5	—«—	$(1,9 \times 2,1)$	KP 1054, 555
2103.16-8	7,5	2,5	—«—	$(2,3 \times 4,4) \div (3,4 \times 7,3)$	KP 1066, 1051, 548, 565
2140.20-7	7,5	2,5	10 кадров, кристаллодержатель на 2 паразитных траверсах	$(1,6 \times 2,0) \div (2,84 \times 4,14)$	KP 1804, 531, 1142
2108.22-12	10,0	2,5	9 кадров, кристаллодержатель на 2 паразитных траверсах	$(2,75 \times 1,95)$	KP 1804
2108.22—12.01	10,0	2,5	То же	$(4,9 \times 4,9)$	KP 1804
2121.28-18	15,0	2,5	7 кадров, кристаллодержатель на 4 паразитных траверсах	$(3,5 \times 5,1) \div (4,62 \times 5,71)$	KR 1804, 1857, 1868
2121.28—18.01	15,0	2,5	7 кадров, кристаллодержатель на 2 паразитных траверсах	$(2,4 \times 3,0) \div (2,74 \times 3,58)$	KP 1804, 1566
2121.28—18.02	15,0	2,5	7 кадров, кристаллодержатель на 4 паразитных траверсах	$(4,75 \times 5,6) \div (5,15 \times 5,9)$	KP 1043, 558, 568
2123.40-11	15,0	2,5	7 кадров, кристаллодержатель на 4 паразитных траверсах	$(3,8 \times 4,0) \div (5,5 \times 5,6)$	KP 1054, 1867, 581
2123.40-11.01	15,0	2,5	То же	$(4,75 \times 5,6) \div (6,6 \times 6,7)$	KP 1857, 1803, 1830, 145, 1807, 1816, 1005, 1814, 1858, 1043

зить влияние внешней среды и человеческого фактора, достигнуть стабильного выхода годных. Техническое оснащение производства автоматами для монтажа кристаллов ЭМ4085, а также автоматами для термокомпрессионной сварки проволочных выводов ЭМ4060 позволяет гибко реагировать на заказы потребителей от мелкосерийных до крупносерийных изделий с выходом годных не ниже 94% [3].

На достижение высоких технико-экономических показателей (ТЭП) производства изделий электронной техники в отрезках лент ПК значительное влияние оказывают конструкторско-технологические факторы, заложенные при проектировании изделий (группа А) и выявленные на стадии производства (группа Б) [2].

Факторы группы А, выявленные при разработке базовой технологии сборки изделий в отрезках лент ПК:

— конструкция выводных рамок должна отвечать требованиям унификации (одна рамка

для нескольких типов изделий), автоматизации сборочных техпроцессов, технологичности в изготовлении, прецизионности геометрических размеров;

— размеры кристалла и монтажных площадок, расположение траверс выводных рамок относительно контактных площадок (КП) кристалла должны быть согласованы для получения проволочных перемычек не более 2 мм;

— топология кристаллов — размеры КП, зазоры до активных элементов, расстояние между КП и другое — должны соответствовать требованиям автоматической сборки.

К факторам группы В относятся:

— качество исходных материалов (геометрические размеры, покрытие выводных рамок, золотая микропровода, обратная сторона кристаллов, металлизация контактных площадок, структура контактных площадок);

— объем и номенклатура выпускаемых изделий;

— технический уровень оборудования и оснастки;

— размеры партий изделий;

— качество техпроцессов сборки;

— квалификация обслуживающего персонала.

В условиях рынка СБИС приборы должны снижаться в цене. Обычно это приводит к сокращению или устранению драгметаллов в корпусе и использованию более дешевых пластмассовых корпусов.

В НИИЭТ ведутся работы по сокращению содержания драгметаллов по двум направлениям.

1. Сокращение драгметаллов в деталях пластмассового корпуса (рамка выводная):

— снижение толщины локального золочения зоны монтажа (траверсы выводной рамки и монтажная площадка) с 4—4,5 до 1—1,5 мкм;

— исключение золочения монтажной площадки для посадки кристаллов с сохранением покрытия траверс выводных рамок;

— замена золотого покрытия зоны монтажа на алюминированное (плакировка Al);

— замена золотого покрытия зоны монтажа на алюминированное (локальное покрытие).

2. Сокращение драгметаллов в узлах изделий в пластмассовых корпусах (монтаж кристаллов на выводную рамку):

— посадка кристаллов площадью 12 мм² на Au—Si эвтектику без золотой прокладки за счет использования золотого покрытия выводных рамок;

— перевод монтажа кристаллов с Au—Si эвтектики на клеи марок ТОК-2, ВК 32-200;

— перевод монтажа кристаллов на припойный материал на основе цинка [4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Schroeber W. CHIP packages enter the 21 st century, 1988, p. 137—143.

2. Оптимизация техпроцесса сборки БИС в многокадровых отрезках на этапе серийного освоения.— Отчет по ОКР. Пер. № 8Е00788, НИИЭТ, г. Воронеж, 1989, 113 с.

3. Разработка и внедрение усовершенствованных процессов сборки КР1804 в пластмассовых корпусах на многокадровые отрезки лент. Снижение трудоемкости и повышение выхода годных на 2—3%.— Отчет по ОКР, НИИЭТ, г. Воронеж, 1990, 52 с.

4. Исследование процесса монтажа кристаллов на клеевые композиции применительно к серийному производству.— Отчет по НИР, НИИЭТ, г. Воронеж 1990, 44 с.

5. Исследование прогрессивных, экономичных процессов сборки БИС на многокадровые отрезки лент пластмассовых корпусов с целью исключения золота при изготовлении рамок.— Отчет по НИР, НИИЭТ, г. Воронеж, 1991, 62 с.

Технология сборки БИС в пластмассовые корпуса подтипов 44, 45

А.А.КОЛБЕНКОВ, Г.П.КОСОПЛЕТКИНА, В.И.АНДРЕЕЩЕВА

Разработаны конструкция и технология сборки изделий в 56-, 68-, 84-, 100-выводные корпуса подтипов 44, 45. В условиях опытного производства процент выхода годных не ниже 85%. Изготовлены опытные партии изделий КФ1857, КФ1578.

При разработке базового технологического процесса и конструкции корпусов ИС в поверхностном монтаже (ПМ) особо важным является взаимное соответствие отдельных частей глобального технологического цикла — от кристалла до печатной платы в составе аппаратуры.

Выбранный диапазон изделий ПМ, так называемые "многовыводные БИС", требует принципиально новых технологических способов изготовления выводных рамок, подбора новых материалов, повышенных технических требований к конструкции по сравнению с традиционными корпусами. Была поставлена задача по проектированию и реализации корпусирования многовыводных БИС с количеством выводов 44-100. Наиболее при-

влекательными в плане применения являются плоские пластмассовые корпуса с 4-сторонним расположением выводов типа "j"—PLCC и "крыло чайки"—PQFP, спрос на которые растет. Так, если в 1988 г. доля PLCC и PQFP в совокупности всех потребляемых корпусов составляла 5%, то в 1993 г. — 14%.

Поверхностный монтаж компонентов на плату диктует специфические требования к конструкции: миниатюризация, эффективный теплоотвод, обеспечение автоматического процесса сборки и монтажа на плату, снижение паразитных потерь, улучшение электропараметров, обеспечение надежности. Выполнить такую конструкцию можно на основе многокадровых выводных рамок с последующей их герметизацией пластмассой. Несмотря на то, что по внутренней структуре и используемым материалам кристаллоносители не отличаются принципиально от традиционного и хорошо освоенного корпуса DIP, их разработка и реализация являются задачей нового качественного уровня сборки БИС.

Были разработаны 4 вида многовыводных рамок с количеством выводов 56, 68, 84 и 100. Конструктивной

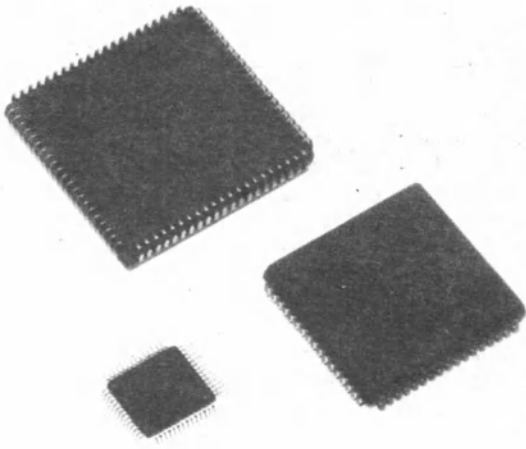


Рис. 1. Внешний вид 56 выводного корпуса типа ОГР и 68,84 выводных корпусов типа ПСС

особенностью разработанных рамок является расположение траверс и внешних выводов по четырем сторонам. Шаг внешних выводов для PLCC—1,27 мм, для PQFP—0,65 мм. Основные параметры конструкции рамок и корпусов приведены в таблице.

Разработана конструкторская документация на рамки: подтип 44 по ГОСТ 17467-88: 56-выводные — И97.323.087, 100-выводные — И97.323.083; подтип 45 по ГОСТ 17467-88 (84-выводные — И97.323.089, 68-выводные — И97.323.090). Анализ конструктивных размеров разработанных рамок показал, что для их изготовления необходимо использовать способ струйного травления, который позволяет достичь нужной скорости травления, уменьшить боковое подтравливание и протравить дорожки шириной 79 мкм.

Контроль качества рамок состоит в визуальном осмотре их поверхности с помощью микроскопа и измерение геометрических размеров (ММИ-2-20*). На годной рамке допускаются следующие дефекты: раковины в количестве до 10 штук диаметром 0,3 мм, максимальной глубиной 0,03 мм; раковины в зоне разварки выводов с максимальным диаметром 0,03 мм; царапины глубиной 0,04 мм, кроме зоны разварки; увеличение ширины внутренних выводов с сохранением минимального расстояния между выводами 0,07 мм; клин травления не должен превышать 0,05 мм. На годных

рамках проводится подготовка поверхности к сборке: отмывка с целью обезжиривания; химическое никелирование толщиной 0,006 мм; локальное золочение в зоне монтажа ~4 мкм.

Серийное производство DIP- корпусов основано на применении сплава 42Н для выводных рамок с локальным золочением рабочей зоны. При изготовлении первых опытных партий 56-, 68-, 84-выводных рамок был выбран этот вариант материалов.

Разработанные конструкции многовыводных рамок представляют собой 2-, 3-, 4-кадровые отрезки, изготовленные из сплава 42Н. Сборка образцов производится групповым методом на автоматическом оборудовании; ЭМ^т4085 — автоматический монтаж кристаллов; ЭМ 4060 — автоматическая разварка выводов, РНМ-160 — пресс групповой герметизации ИС, КД-2322 — прессы просечки, вырубки, формовки выводов.

Разработка оснастки обусловлена геометрическими размерами выводных рамок. Для изготовления оснастки требуется высокоточное расположение фиксаторов в штампах, тонкие пуансоны, тщательное соблюдение всех допусков для исключения смещения.

Разработанный технологический процесс сборки БИС в пластмассовые корпуса подтипов 44, 45 представлен на рис.2.

Для монтажа кристаллов использовали токопроводящий клей ТОК2 с серебряным наполнителем, выдерживающий температуру термокомпрессионной сварки. В лабораторных условиях для опытных партий клей наносился вручную. Сварка золотой микропроволокой диаметром 0,03 мм осуществлялась на автомате ЭМ4060 в полуавтоматическом режиме. Для стабилизации параметров и удаления влаги, адсорбированной в процессе сборки, перед герметизацией проводилась термообработка в режиме 48 часов при температуре 150°С. Для герметизации изделий использовался импортный пресс-материал марки MG-40F, HYSOL, с оптимальными физико-механическими характеристиками, обеспечивающими высокую надежность БИС. Герметизация осуществлялась на 68-трехместной, 84-двухместной пресс-формах на прессе типа ДГ 2430Б или РНМ-100П.

Следует отметить высокую трудоемкость при вырубке и формовке выводов типа "j", так как для окончательной формовки необходимо выполнить 8 операций с использованием разных штампов. Для облуживания выводов использовался способ горячего

Параметры конструкции рамок и корпусов

Корпус				Рамка			
Количество выводов	Шаг, мм	Шифр корпуса	Подтип	Шифр рамок	Количество кадров	Размер монтажного окна	Размер монтажной платы
56	0,65	4404 Ю.56-А	44	И97.323.087	4	6,7×6,5	5,7×5,5
68	1,27	4516 Ю.68-В	45	И97.323.090	3	8,0×8,0	7,0×7,0
84	1,27	4517 Ю.84-В	45	И97.323.089	2	9,3×8,9	8,3×7,9
100	0,65	4403 Ю.100-В	44	И97.323.083	3	10,0×10,0	8,5×8,5

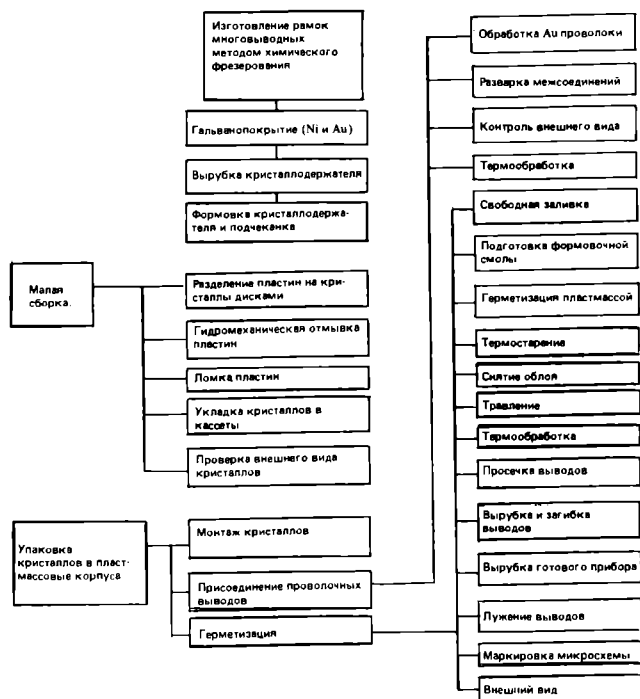


Рис. 2. Блок-схема технологического процесса изготовления ИМС

лужения с погружением выводов в расплавленный припой.

Изготовление многовыводных БИС для ПМ в корпусах подтипа 44, 45 весьма трудоемко, однако допустимо на стадии изготовления опытных партий. Принимая во внимание оригинальность конструкции и принципиально новые методы изготовления микросхем, очевидно, что для серийного выпуска ИМС необходимо усовершенствовать технологические процессы, оборудование и оснастку. На начальном этапе разработки базового технологического процесса корпусирования для поверхностного монтажа оправдано применение традиционного оборудования, но при переходе к серийному массовому выпуску новых изделий для ПМ необходимо применение прогрессивного оборудования – типа AMS FICO (Голландия) для герметизации и вырубки.

Правильный выбор материалов, используемых при изготовлении приборов, определяет и их стоимость. Сборка ИС в пластмассовые корпуса по общепринятой технологии проводится с использованием золота. Однако дороговизна и дефицитность золота требуют его замены другими металлами или сплавами. Поэтому актуальна разработка процессов сборки БИС на многокадровые отрезки лент ПК с целью снижения расхода золота. Предстоит решать проблемы по замене золотого покрытия зоны монтажа на алюминированные или его утонение с 4 до 1,5 мкм и традиционную эвтектику на качественные адгезивные материалы.

Технология сборки ИЭТ в корпусах подтипа 43 для поверхностного монтажа

Э.П.СОСИНА, В.М.СОКОЛОВА, И.Н.СТРОКОВА

Представлен достигнутый технологический уровень сборки ИЭТ в корпусах подтипа 43 для поверхностного монтажа на печатные платы по ГОСТ 17467. Предложена серийноспособная технология сборки ИЭТ в корпусах с 16- и 28-выводами. Отмечены некоторые проблемы перехода от традиционной DIP-технологии к конструктивному ряду корпусов mini-DIP.

Смысл корпусирования состоит в обеспечении взаимосвязи интегральной схемы (ИС) с остальной системой обычно через посредство печатной платы. В настоящее время приоритетным направлением стало создание корпусов, монтируемых не в отверстия, а на поверхность платы, что позволяет более экономно расходовать ее площадь и повышает быстродействие [1]. В мировой практике техника поверхностного монтажа компонентов (ТПМК) применяется с 1975 г. в калькуляторах фирмами Японии, в 80-х годах ТПМК завоевала позиции в видео-, кино-, фото-, телефонной и телевизионной аппаратуре, а в послед-

нее время ее сфера расширяется до автомобильной, промышленной, военной и аэрокосмической электроники.

Учитывая достигнутый отечественный уровень сборки ИЭТ, была поставлена задача создания промышленной технологии сборки БИС в пластмассовые корпуса, пригодные для монтажа на поверхность плат. Переход к освоению пластмассовых корпусов для ПМ обусловлен тем обстоятельством, что на предприятии отлажен и стабильно функционирует технологический комплекс корпусирования ИС, БИС и СБИС в пластмассовые DIP-корпуса (тип 2 по ГОСТ 17467) с 8–40 выводами и шагом выводов 2,5 мм.

Совершенствование электронной технологии приводит к повышению быстродействия и расширению функциональных возможностей интегральных схем без изменения размера кристалла. Однако этот выигрыш в быстродействии может быть потерян при использовании традиционной стратегии сборки в корпуса, монтируемые в отверстия печатных плат. Скорейшее освоение ТПМК решает эти проблемы, позволяя уменьшить габариты, массу корпусов, шаг выводов.

**Сравнительные габаритные размеры конструкций
DIP и mini-DIP**

Количество выводов	Шифр корпуса	Габариты корпуса, мм				
		длина	ширина	толщина	ширина выводов	шаг
16	2103.16-1	19,0	6,1	3,5	0,45	2,5
	4314.16-F	10,5	5,8	2,0	0,5	1,27
28	2121.28-18	35,0	14,0	3,7	0,55	2,5
	4323.28-A	18,1	8,9	2,65	0,5	1,27

Проблемой перехода к корпусам для ПМ является не только создание миниатюрных конструкций, но и обеспечение их пригодности к автоматическому монтажу на платы. При этом качество новых изделий должно быть не хуже достигнутого уровня в корпусах типа DIP.

Была разработана конструкция и технология так называемых mini-DIP-или SO (Small Outline)-корпусов с 16- и 28-выводами, как наиболее употребительных. Шаг выводов – 1,27 мм, конфигурация – “крыло чайки”. Габаритные и присоединительные размеры удовлетворяют ГОСТ 17467, ГОСТ 2039.405-84. Разработанные корпуса позволяют производить сборку интегральных схем средней мощности рассеяния (до 0,5 Вт) с размерами кристаллов до 2,9х3,6 мм (4314 16-F) и 4,1х5,2 мм (4323.28-A) [2].

Сравнение основных параметров DIP-и аналогичных mini-DIP-корпусов приведено в таблице, которая демонстрирует преимущества новых конструктивов.

Основой пластмассовой технологии корпусирования является использование многокадровых отрезков лент выводных рамок, изготавливаемых методом штамповки, автоматизированный монтаж кристаллов и разварка внутренних выводов, герметизация пластмассой и финишные механические операции просечки, формовки, вырубки. Выход годных по циклу сборки составляет не менее 94%, и этот уровень поддерживается при внедрении в серию ИЭТ нового поколения.

Отрезки лент для 16- и 28- выводных корпусов подтипа 43 имеют по 15 кадров, шаг внешних выводов уменьшен по отношению к типу DIP в 2 раза, т.е. составляет 1,27 мм, геометрия зоны монтажа меняется незначительно. Метод штамповки позволяет реализовать такую конструкцию.

Присоединение кристалла к монтажной площадке выводной рамки осуществляется одним из двух способов:

- посредством золото-кремниевой (Au-Si) эвтектики, образующейся в процессе пайки кристалла на основании из сплава 42Н, покрытого слоем золота толщиной 2–4 мкм методом локального золочения;
- посредством клеящего материала – одного из токопроводящих клеев, например ВК-32200 с никелевым наполнителем.

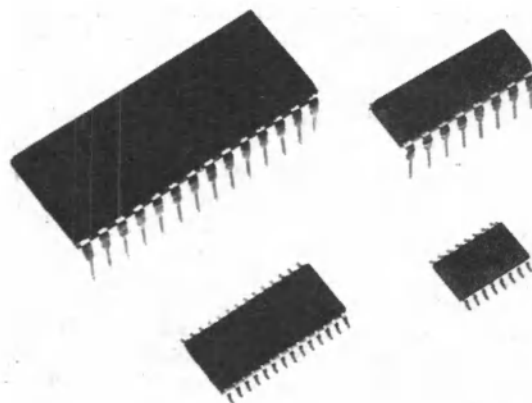
Ранее метод приклейки считался ненадежным из-за опасности химического загрязнения и газовой выделения, нестабильности термических и электрических характе-

ристик клея. В последнее время уровень технологии позволяет создавать клеевые композиции с заданными свойствами. В дальнейшем для удовлетворения требованиям ПМ необходим выбор оптимальной клеевой композиции по электро-, теплопроводности, температурной устойчивости. Операция монтажа кристаллов производится на установке ЭМ-4085. Приварка выводов осуществляется посредством термокомпресии золотой проволокой диаметром 30 мкм (Зл 999,9 ПТ 0,03 ТУ 48-1 353-82) на установке ЭМ-4060. Автоматизация процессов монтажа и приварки обеспечивает воспроизводимость, чистоту и надежность соединений. Собранные микросхемы герметизируются пластмассой трансферным прессованием на прессе РНМ-160 в 120-местной пресс-форме. Выбранный пресс-материал MG-40F (HYSOL Moulding compaund the DEXTER corporation) удовлетворяет требованиям герметизации миниатюрных корпусов SO.

После герметизации и очистки рамок от облоя проводится технологические операции по окончательному формированию конструкции – просечка, вырубка, формовка выводов посредством штамповки. Применяется пресс КД-2322. Просечка закорачивающих перемычек производится в два этапа, через шаг, затем следует обрубка выводной рамки и формовка выводов с одновременной обрубкой паразитных перемычек. Лужение проводится традиционным погружением выводов изделия в расплавленный припой ПОС-61. Для массового выпуска компонентов ПМ применение метода гальванического лужения является более прогрессивным. Сложность технологии изготовления mini-DIP-конструкции обусловлена малым шагом выводов – 1,27 мм, формой внешних выводов, плавно изогнутых в виде “крыла чайки”, меньшей толщиной материала рамки (42Н-0,2х24-200-0,25).

Технология, применяемая для создания корпусов конструкций 4314.16-F, 4323.28-A, позволяет выпускать крупносерийные партии изделий. Проведено опробование для изделий серий КФ 1868, КФ 1066, КФ 548, КФ 1566, КФ 1093 (см.рисунок).

Оформление ИС в пластмассу из-за дешевизны и возможности автоматизации технологического процесса обуславливают широкое применение пластмассовой технологии в создании корпусов для ПМ [3]. Развитие ТПК за рубежом привело к созданию порядка 120 ви-



Изделия в 16- и 28-выводных корпусах типа DIP и SO

дов корпусов для ПМ, среди которых корпус типа SO занимает одно из основных мест [4].

Проблемой перехода к корпусированию в ТПК является поиск и внедрение оптимальных конструкционных материалов для выводных рамок, новых клеевых композиций, герметизирующих смол.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мэнгин Ч.Г., Маккелланд С. Технология поверхностного монтажа. Будущее технологии сборки в элект-

ронике.— М.: Мир, 1990.

2. Разработка базовой технологии сборки ИС в 16- и 28-выводных корпусах подтипа 43 с шагом 1,27 мм для поверхностного монтажа: Отчет по ОКР НИИЭТ.— Воронеж, 1993, 56 с.

3. Джонсон Б., Люти Р.С. Обзор корпусов для ИС/Перевод.— ММТ, 1989, vol. 12, № 1, с. 12—13.

4. Новые проблемы надежности устройств с поверхностным монтажом. Mc. Shane M. New Reliability aspects of SMD. 1987. Anaheim, USA, International Electron Manufacturing Technology Symposium (Proceeding of the IEEE).

Применение сплава цинк-алюминий-германий при монтаже ИС в стеклокерамические корпуса

А.И.КОЛЫЧЕВ *канд.техн.наук*, В.В.ЗЕНИН *канд.техн.наук*,
В.И.ФРОЛОВ, М.М.БАБУШКИН

Наиболее распространенным методом монтажа кристаллов является пайка на эвтектику золото-кремний. При сборке кристаллов больших размеров появляются проблемы, связанные как с увеличением размеров соединения кристалл-корпус, так и невозможностью обеспечить высокое качество и надежность монтажа кристаллов с помощью традиционных процессов присоединения кристаллов.

С целью замены золота при напайке кристаллов проводился поиск других типов припоев. Наиболее перспективными сплавами для контактно-реактивной пайки являются сплавы алюминия с цинком. Механические свойства сплавов на основе цинка с содержанием 10–35% алюминия хорошо согласуются с требованиями к переходному слою кристалл-подложка. Однако при использовании сплавов цинк-алюминий для посадки кремниевых кристаллов требуется металлизация обратной стороны кристалла, например, алюминием. С целью исключения металлизации обратной стороны кремниевых кристаллов разработан сплав цинк-алюминий-германий (ЦАГ).

Применение припоя ЦАГ вместо эвтектики золото-кремний для кристаллов 3,3x7,2 мм позволяет снизить температуру с 450°C до 385–400°C, время пайки с 6–8 до 4–6с и давление инструмента с $7 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ Н/мм². Прочность соединения на сдвиг при испытании кристаллов составляет от 30 до 45 Н/мм² [1, 2]. Металлографические исследования и рентгеноспектральный анализ микрошлифов соединений кристалл-корпус позволили установить отсутствие заметной взаимодиффузии кремния и компонентов ЦАГ. Предполагается, что взаимодействие алюминия с кремнием происходит через кислород, т.е. путем замещения кремния в шенке естественного окисла. Остаточные механические напряжения в кристаллах после монтажа являются сжимающими и возрастают от периферии к центру кристалла.

Проведен комплекс исследований с целью изучения свойств припоев типа ЦАГ, определения степени их применимости для монтажа кристаллов, установления оптимальных режимов напайки кремниевых кристаллов на припой типа ЦАГ. Для этого монтажные площадки корпусов типа "Тир-33", "Тир-32" и "Монтаж 2-24" облуживались припоем типа ЦАГ. В качестве технологического покрытия использовалась двухслойное покрытие: никель блестящий (1 мкм) и никель-бор (1 мкм). Напайка осуществлялась на серийной установке типа ЭМ-4015. Размер напайваемого кристалла 2x2 мм. Наиболее оптимальными являются следующие технологические режимы посадки кристаллов:

температура посадки 420–430°C;

время посадки 0,8–1,0 с;

амплитуда колебаний 0,8–1,2 мм;

давление инструмента $(1-2) \cdot 10^{-1}$ Н.

Особенностью посадки кристаллов на сплав ЦАГ является необходимость создания наименьшего удельного давления кристалла на расплав и выполнение траектории движения инструмента в виде восьмерки для разрушения поверхностной окисной пленки. Соблюдение этих требований особенно необходимо для кристаллов с размерами, превышающими 4x4 мм, так как с ростом площади кристалла увеличивается вероятность непропаев и шлаковых включений. Этим требованиям удовлетворяет автоматическая установка типа ЭМ-4085 (в качестве инструмента бесконтактного монтажа используются присоски на основе эффекта Бернулли).

Для оценки качества напайки были проведены сравнительные испытания на сдвиг кристаллов по методу 115-1 ОСТ11.073.013-83 после посадки кристаллов в корпус и после проведения 100 термоциклов (минус 30°C–125°C).

Проведенные исследования дали следующие результаты.

При напайке кристалла на монтажную площадку

корпуса "Тир-33" (керамика) выход годных составил 90%; "Тир-32" (Ni+Ni-B) — 80%; "Монтаж 2-24" (Ni+Ni-B) — 85%.

Испытания кристаллов на сдвиг после напайки показали, что все кристаллы выдерживают минимальную допустимую нагрузку по ОСТ (25Н). Среднее значение разрушающего усилия было наибольшим (76Н) у кристаллов, напаянных в корпус типа "Монтаж 2-24" (на Ni+Ni-B), наименьшее (55Н) — у кристаллов, напаянных в корпус типа "Тир-33" (керамика). Для сравнения — такие же кристаллы, напаянные на эвтектику золото-кремний в корпус типа "Детрит-13", разрушались при нагрузке 47Н (среднее значение).

После проведения 100 термоциклов испытания кристаллов на сдвиг показали заметное увеличение прочности спая. Для кристаллов, напаянных на керамику (корпус типа "Тир-33") среднее значение разрушающего усилия составило 82Н; для кристаллов, напаянных на Ni+Ni-B (корпус типа "Тир-32"), — 94Н. Прочность крепления кристаллов, напаянных на эвтектику золото-кремний, после 100 термоциклов, наоборот, уменьшилась до 42Н (среднее значение).

На основании результатов проведенных испытаний можно сделать вывод, что сплав ЦАГ обеспечивает надежную напайку кремниевых кристаллов как на керамическую, так и на металлизированную монтажную площадку.

Следовательно, путем замены эвтектики золото-кремний на припой типа ЦАГ в конструкциях интегральных микросхем возможно повышение их надежности при эксплуатации в составе изделий электронной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике «Физико-механические свойства припоев для низкотемпературной пайки полупроводниковых приборов, интегральных и гибридных микросхем»/ Г.А.Яковлев, 1991, вып. 11.

2. Монтаж кристаллов БИС с использованием припоя на основе цинка/К.В.Маслова, С.О.Мохте, О.В.Панкратов и др.— Электронная промышленность, 1989, вып. 6.

Кремниевые многокристалльные модули — приоритетное направление развития быстродействующей РЭА

А.С.ГЛУХОВ, А.Н.КАСТРЮЛЕВ *канд.техн.наук*, В.М.МИКИТИН *канд.техн.наук*,
Б.Н.ФАЙЗУЛАЕВ *д-р техн.наук, проф.*

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) реализуется чаще всего на печатных платах, служащих системами межсоединений между ИС в индивидуальных корпусах, дискретными приборами и пассивными компонентами. Однако, несмотря на успехи в области создания многослойных печатных плат, миниатюрных корпусов для ИС и развития технологии поверхностного монтажа, корпуса для однокристалльных ИС и печатные платы стали главным фактором, сдерживающим повышение плотности упаковки и быстродействия РЭА.

Из-за сравнительно больших размеров корпуса однокристалльных ИС занимают на плате площадь, во много раз превышающую площадь, занятую кристаллом ИС. Более того, большие расстояния между кристаллами ИС приводят к увеличению времени задержки распространения сигнала и ограничивают быстродействие системы. Эти проблемы могут быть разрешены путем создания гибридных интегральных схем, так как в них, как правило, используются бескорпусные ИС, что позволяет повысить плотность упаковки и быстродействие системы. В гибридных схемах первых поколений плотность межсоединений на подложках, выполненных по толсто пленочной технологии, оставалась на уровне печатных плат. Переход к использованию в гибридных схемах тонкопленочной технологии позволил значитель-

но повысить плотность межсоединений и привел к появлению многокристалльных модулей (МКМ), являющихся, по существу, гибридными интегральными схемами нового поколения.

Тонкопленочные МКМ могут быть реализованы на различных подложках — керамических, металлических, кремниевых и т.д., однако наиболее перспективными многие специалисты считают кремниевые подложки [1-4], на которых методами полупроводниковой технологии может быть создана многослойная система межсоединений. Тонкопленочная технология на кремнии хорошо отработана, совместима с технологическим оборудованием производства кристаллов ИС и позволяет получать плотности межсоединений, сравнимые с плотностью межсоединений на кристаллах ИС [1,2]. Другим важным преимуществом кремния как материала подложки МКМ является его полное согласование по ТКЛР с кремниевыми кристаллами, монтируемыми на подложку. Наконец, кремний обладает достаточно высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно отводить тепло от кристаллов.

Эффективность упаковки, т.е. отношение площади, занимаемой компонентами, к общей площади подложки, получаемая при использовании кремниевых МКМ, значительно выше, чем при других методах сборки (см.таблицу). Благодаря высокой эффективности

Сравнение различных технологий сборки

Технология сборки	Размеры линий и зазоров, мкм	Эффективность упаковки, %	Типичное количество ИС на кв. дюйм
Интегральные схемы	0,3—3	100	—
Кремниевые МКМ	10—50	30—60	8—20
Кристалл на плате	100—200	15—30	5—9
Гибридные толстопленочные схемы	125—250	10—30	3—8
Поверхностный монтаж на печатной плате	125—250	6—14	2—4
Многовыводные корпуса на печатной плате	100—200	5	0,3—1
Корпуса DIP на печатной плате	200—300	1—3	1—2

упаковки кремниевых МКМ размеры электронного блока могут быть уменьшены в несколько раз по сравнению с размерами блока, изготовленного по технологии поверхностного монтажа [1]. Так, компьютерный кремниевый МКМ фирмы Texas Instruments, содержащий бескорпусные ИС и БИС, собранные на гибком носителе и смонтированные на кремниевую подложку "лицевой поверхностью вниз", имеет размеры 51x76 мм. Такой же модуль, но выполненный по технологии двустороннего поверхностного монтажа на печатной плате, содержащий те же ИС и БИС в миниатюрных корпусах с шагом выводов 0,635 мм и 1,27 мм, имеет размеры 152x152 мм, то есть по площади в шесть раз больше МКМ [5].

Благодаря очень высокой плотности размещения проводников в кремниевой подложке число сигнальных слоев может быть значительно уменьшено по сравнению с печатными платами такой же сложности. Кремниевая подложка всего с двумя слоями разводки может заменить печатную плату с 30—40 слоями [2].

При построении электронной системы в виде набора МКМ для соединения МКМ друг с другом могут быть использованы сравнительно простые печатные платы, т.к. основная доля межсоединений системы, обычно обеспечиваемых печатными платами и соединителями, может быть размещена на подложках МКМ. Такой подход позволяет перенести межсоединения наибольшей плотности на уровень подложек МКМ и разгрузить уровень межсоединений на печатной плате [2].

В кремниевых МКМ минимальное расстояние между соседними кристаллами может составлять (0,5÷1,25) мм [6]. Благодаря этому значительно сокращается задержка сигнала, снижаются паразитные индуктивности и емкости проводников, т.е. появляется возможность получить высокое быстродействие. Центральный процессор фирмы Rockwell International Corp., выполненный в виде кремниевого МКМ, функционирует на частотах до 40 МГц, тогда как аналогичный набор корпусных интегральных схем на печатной плате — только до 20 МГц [7]. Уменьшение длины межсоединений может привести и к снижению мощности, потребляе-

мой электронным блоком. В кристаллах ИС используются мощные выходные транзисторы, располагаемые по периметру кристалла и "лужащие" для управления нагрузками на длинных сигнальных линиях, соединяющих между собой кристаллы ИС в корпусе на печатной плате. В МКМ благодаря малой протяженности сигнальных линий мощные выходные транзисторы не требуются. Поэтому кристаллы ИС, используемые в МКМ, обладают меньшей мощностью потребления и тем самым снижают общий уровень потребления блока [1].

Перепроектирование кристаллов ИС специально для кремниевых МКМ может оказаться целесообразным и в других случаях. Можно перевести часть схемных элементов с кристалла ИС в кремниевую подложку, например, схемы защиты от электростатических разрядов и выбросов напряжения, а также схемы питания. В этом случае кремниевая подложка МКМ становится активной.

Электронные блоки в виде кремниевых МКМ более надежны, чем их аналоги на печатных платах. В обычной конструкции электронного блока с применением однокристалльных корпусов и технологии поверхностного монтажа, каждый сигнал между кристаллами ИС должен пройти путь, состоящий из 11 участков: кристалл — проволочное соединение — корпус — вывод — паяное соединение — проводник печатной платы — паяное соединение — вывод — корпус — проволочное соединение — кристалл. При этом выводы корпуса, паяные соединения, проводники печатной платы подвержены воздействию окружающей среды. В МКМ при использовании кристаллов на гибком носителе путь сигнала следующий: кристалл-гибкий носитель — проводник кремниевой подложки-гибкий носитель-кристалл, т.е. шесть участков из 11 исключаются. Это повышает надежность блока. Кроме того, многослойную печатную плату со сравнительно ненадежными межслойными переходами заменяет кремниевая подложка с меньшим количеством слоев и межслойных переходов, которые к тому же более надежны.

Благодаря значительному уменьшению размера электронного блока при переходе на МКМ появляется возможность на освободившейся площади разместить схемы резервирования, датчики состояния окружающей среды, схемы с самотестированием, что еще больше повышает надежность системы [1].

С ростом степени интеграции и функциональной сложности ИС резко увеличивается число внешних связей кристалла. Ожидается, что в ближайшем будущем число выводов СБИС достигнет 1000 [8]. Многие специалисты по сборке считают, что единственной "экологической нишей" для таких СБИС станут именно МКМ, поскольку существуют серьезные проблемы с созданием супермноговыводных корпусов и их монтажом на печатные платы [9].

Таким образом, метод сборки электронных систем в виде кремниевых многокристалльных модулей позволяет резко улучшить массогабаритные показатели, повысить быстродействие системы и ее надежность, снизить мощность потребления, обеспечить сборку супермноговыводных СБИС. Этим объясняется резкое возрастание интереса разработчиков электронных систем к новому методу сборки. В настоящее время десятки, если не сотни, компаний из разных стран мира включились в исследование и разработки МКМ и систем на их основе, причем список таких компаний с каждым годом растет [1,3,10]. Широкомасштабность предпринимаемых усилий не оставляет сомнений в том, что

технология МКМ является новым важным этапом в области сборки РЭА.

У отечественной электронной промышленности для успешного развития этого направления имеется хорошая технологическая база. Существующая технология изготовления кремниевых кристаллов БИС и СБИС с несколькими слоями металлической разводки на кремниевых пластинах диаметром не менее 100 мм позволяет изготовить крупноформатные кремниевые подложки МКМ с высокой плотностью межсоединений, а технология сборки гибридных интегральных схем и микросборок с использованием бескорпусных кристаллов — осуществить сборку МКМ с высокой плотностью размещения кристаллов. При этом может быть использовано унифицированное оборудование, предназначенное для изготовления кремниевых кристаллов, сборки бескорпусных ИС и их монтажа на подложку.

Для оценки технологических возможностей создания кремниевых МКМ был разработан 364-выводной тестовый МКМ на четырехуровневой кремниевой подложке размером 60x60 мм, содержащий 16 одинаковых 124-выводных тестовых кристаллов.

В кремниевых подложках МКМ в качестве материала диэлектрика, разделяющего слои металлизации, используют оксид кремния или полиимиды, а в качестве материала межсоединений — алюминий или медь [2,3].

Полиимид — наиболее широко используемый в МКМ диэлектрик. Он легко наносится на поверхность кремниевой пластины, отличается низкой дефектностью слоев, легкостью травления при микрообработке. Границу раздела медь-полиимид необходимо защищать барьерными слоями, чтобы исключить диффузию меди в полиимид. Поэтому предпочтение отдается более простой технологии создания системы алюминий-полиимид [2].

Кремниевые подложки тестового МКМ изготавливались на кремниевых пластинах диаметром 100 мм по базовой технологии формирования многоуровневых алюминиевых соединений с полиимидной изоляцией, используемой при изготовлении кремниевых кристаллов ИС. Металлические проводники состава Al-Ni (1%) имеют толщину 2 мкм, ширину 20 мкм и размещены с шагом 50 мкм. Толщина слоев полиимида — 2 мкм. Размер межслойных контактов — 12x12 мкм.

На кремниевой подложке созданы 1984 внутренних контактных площадки, расположенные с шагом 0,25 мм предназначенные для присоединения выводов тестовых кристаллов. По периметру кремниевой подложки с шагом 0,5 мм размещены 364 внешние контактные площадки (91 на одну сторону), предназначенные для внешних соединений подложки. В конструкции тестовой кремниевой подложки предусмотрены тестовые элементы для контроля целостности и сопротивления проводников, сопротивления изоляции и напряженности поля пробоя межуровневого диэлектрика, уровня дефектности диэлектрика, сопротивления межуровневых контактов.

Тестовые кристаллы (8,75x8,75 мм) имеют по 124 контактные площадки, равномерно расположенные по периметру кристаллов с шагом 0,25 мм. На кристаллах созданы тестовые элементы для контроля целостности электрических контактов сварных соединений на кристаллах и подложке. Тестовые кристаллы размещены на кремниевой подложке с шагом 12 мм при расстоянии между кристаллами 3,25 мм.

Бескорпусные кристаллы могут монтироваться на кремниевую подложку МКМ одним из трех методов:

приваркой проволочных перемычек, методом перевернутого кристалла и методом сборки на гибком носителе.

Наиболее перспективным методом монтажа бескорпусных кристаллов ИС в МКМ многие специалисты считают метод сборки на гибком носителе [11–15]. Основным преимуществом этого метода является возможность проведения всесторонних испытаний кристаллов ИС до их монтажа на подложку МКМ, что особенно важно при большом количестве кристаллов, собираемых в МКМ. Так как в этом случае на подложку монтируются только проверенные приборы, выход годных сложных МКМ будет значительно выше, чем при использовании других методов монтажа. Для сборки тестовых кристаллов была использована базовая технология сборки бескорпусных ИС на гибком носителе типа алюминий-полиимид. Поскольку контактные площадки на кристалле и кремниевой подложке размещены с одинаковым шагом 0,25 мм, гибкий носитель представляет собой объединенную систему из параллельных проводников с шагом 0,25 мм, расположенных с каждой из четырех сторон кристалла по 31 на сторону. Длина выводов гибкого носителя 1 мм, ширина — 100 мкм.

Монтаж кристаллов, собранных на гибком носителе, на подложку МКМ может осуществляться "лицевой поверхностью вверх" или "лицевой поверхностью вниз". Монтаж кристаллов по первому варианту требует рискованной операции формовки выводов в виде "крыла чайки", что может привести к возникновению недопустимых напряжений в местах приварки выводов носителя к кристаллу. Необходимость в формовке выводов приводит также к увеличению их длины и площади, занимаемой ИС на подложке. Монтаж кристаллов "лицевой поверхностью вниз" не требует формовки выводов, их длина может быть уменьшена, а ИС занимают меньше места на подложке.

Тестовые кристаллы, собранные на гибком носителе и защищенные полиимидным лаком, после контроля целостности электрического контакта сварных соединений на кристалле монтировались "лицевой поверхностью вниз" на кремниевую подложку методом приклейки. Присоединение алюминиевых внешних выводов гибкого носителя к алюминиевым контактным площадкам на кремниевой подложке осуществлялось ультразвуковой сваркой аналогично присоединению внутренних выводов носителя к контактным площадкам тестового кристалла. Внешний вид тестового кристалла на гибком носителе, смонтированного "лицевой поверхностью вниз" на кремниевой подложке, и мест приварки выводов гибкого носителя к контактным площадкам подложки показаны на рис.1.

В зависимости от условий эксплуатации модуля МКМ может собираться в герметичные или негерметичные корпуса [1].

Герметичные корпуса для МКМ по своей конструкции принципиально не отличаются от обычных металло-керамических корпусов однокристалльных СБИС, только имеют увеличенные размеры и увеличенный внутренний объем для размещения подложки с кристаллами. Наиболее перспективным материалом основания корпуса МКМ является керамика из нитрида алюминия или карбида кремния, имеющая значительно более высокую теплопроводность и обеспечивающая лучшее согласование по ТКЛР с кремнием в широком диапазоне температур, чем обычная алюмооксидная керамика [1].

Основания негерметичных корпусов МКМ могут быть изготовлены из керамики, материала печатных

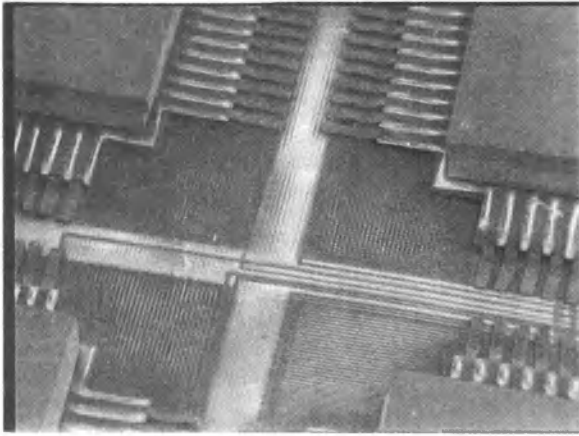


Рис. 1. Тестовый кристалл на гибком носителе, смонтированный «лицевой поверхностью вниз» на кремниевой подложке многокристального модуля

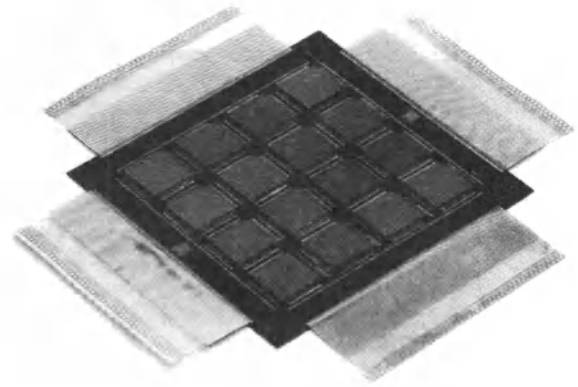


Рис. 2. Тестовый 364-выводной кремниевый многокристальный модуль

плат, пластмассы и других материалов, обеспечивающих согласование по ТКЛР с кремнием и отвод тепла от кристаллов [1]. Кристаллы в этом случае обязательно защищаются компаундом.

Фирма IBM осуществляет сборку 684-выводного МКМ вообще без корпуса, так как по мнению ее специалистов, корпус для такого многовыводного МКМ будет слишком дорогим [16]. С печатной платой МКМ соединяется с помощью гибких шлейфов, присоединенных к каждой из четырех его сторон. Модуль закрывается алюминиевой крышкой, монтируемой прямо на кремниевую подложку.

Гибкие шлейфы в качестве внешних соединителей МКМ используют и другие фирмы, например, Hughes Interconnect Systems [17] и Digital Equipment Corp. [18]. Использование в МКМ гибких шлейфов является перспективным, поскольку они могут быть спроектированы с заданным волновым сопротивлением выводов, что особенно важно для СВЧ модулей.

В тестовом МКМ в качестве внешних соединителей использованы четыре гибких шлейфа, по одному с каждой стороны подложки. Каждый гибкий шлейф представляет собой систему из 91 параллельного проводника с шагом 0,5 мм. На концах выводов шлейфа созданы контактные площадки для измерения тестовых параметров МКМ.

Также как и гибкие носители кристаллов гибкие шлейфы состоят из слоя полимида и алюминиевых проводников и изготавливались по базовой технологии. Присоединение выводов гибких шлейфов к алюминиевым внешним контактным площадкам кремниевой подложки осуществлялось ультразвуковой сваркой. Внешний вид МКМ с гибкими шлейфами показан на рис.2.

Для проведения измерений параметров тестовый МКМ помещается в негерметичный корпус, служащий защитой кристаллов и подложки от механических повреждений. Основание и крышка корпуса изготовлены из нитридоалюминиевой керамики. Крышка приклеена непосредственно к кремниевой подложке между внешними контактными площадками и тестовыми кристаллами.

После сборки модулей были проведены измерения параметров тестовых элементов. Поверхностное сопротивление алюминиевых проводников составляло 0,025 Ом/квadrat.

Сопротивление изоляции составляло не менее 10^6 Ом, а напряжение поля пробоя межслойного диэлектрика — не ниже 10^6 В/см. Дефектность межслойного диэлектрика — не более $0,1 \text{ см}^{-2}$.

Измерения целостности электрического контакта сварных соединений на подложке показали наличие 3–5 дефектных сварных соединений на подложке. Размеры контактных площадок на подложке позволяют осуществлять приварку каждого вывода двумя сварными точками. При двухточечной разварке дефектных сварных соединений не наблюдалось.

Основной проблемой при изготовлении крупноформатных многослойных кремниевых подложек является необходимость снижения уровня привнесенной дефектности. Хотя размеры минимальных элементов на кремниевой подложке МКМ и кристаллах современных СБИС отличаются на порядок, однако по площади кремниевая подложка в десятки раз превосходит самые большие из современных кристаллов СБИС. Поэтому для обеспечения приемлемого выхода годных для производства крупноформатных многослойных кремниевых подложек МКМ, так же как и для СБИС, требуются технологические помещения с классом чистоты не ниже 10.

Для создания более сложных МКМ потребуются более высокие плотности межсоединений и подложки более крупного формата. Это приведет к уменьшению ширины и увеличению длины проводников на подложке. Чтобы обеспечить необходимые значения сопротивления металлических дорожек потребуется вместо алюминиевой металлизации использовать технологически более сложную медную металлизацию. Для увеличения формата подложек МКМ потребуется кремниевые пластины диаметром 125 мм и более.

Серьезной проблемой является тестирование сложных кремниевых подложек. Механические контактные устройства, используемые для тестирования кристаллов ИС, могут оказаться непригодными и потребуется бесконтактный метод тестирования. Консорциум Microelectronics and Computer Technology Corp. разработал метод электронно-лучевого зондирования, позволяющий бесконтактным способом проверять подложки МКМ на отсутствие обрывов и коротких замыканий [2].

Серьезной задачей является и создание оборудования для монтажа бескорпусных ИС с шагом выводов (0,1–0,25) мм на кремниевую подложку. Для достижения приемлемого выхода годных МКМ может оказаться необходимой замена отказавших ИС в составе МКМ, содержащем десятки ИС. Возможность ремонта должна быть предусмотрена уже при проектировании кремниевой подложки. Кроме того, необходимо специализированное высокопрецизионное оборудование, позволяющее демонтировать и вновь монтировать бескорпусные ИС, размещенные на подложке чрезвычайно близко друг к другу.

В РЭА наряду с ИС широко используются пассивные компоненты, например, резисторы и конденсаторы. В МКМ могут быть использованы миниатюрные пассивные чип-компоненты для поверхностного монтажа. Пассивные чип-компоненты могут быть организованы в виде матрицы и смонтированы на общий гибкий носитель. Затем матрица пассивных компонентов как единое целое может быть смонтирована на кремниевую подложку МКМ.

МКМ планарной конструкции вместе с смонтированными на подложке кристаллами обладают ограниченной степенью интеграции даже при эффективности упаковки, приближающейся к 100%. Для достижения еще более высокой степени интеграции потребуется создание 3-х мерных МКМ. В трехмерных МКМ кристаллы ИС набираются в "этажерку", а затем монтируются на поверхность подложки [5,6]. Если удастся решить проблему отвода тепла трехмерная сборка обещает повысить плотность упаковки в 250–300 раз по сравнению с блоком на печатной плате, использующим ИС в корпусах DIP [5].

Важной задачей является отвод тепла от десятков кристаллов, работающих на высоких частотах внутри сравнительно небольшого объема МКМ. МКМ с кристаллами ИС, смонтированными непосредственно на кремниевую подложку, и помещенный в корпус из нитрида алюминия, обладает отличными тепловыми характеристиками. Благодаря высокой теплопроводности кремния и нитрида алюминия поверхность МКМ становится почти изотермической, что обеспечивает эффективный отвод тепла от кристаллов ИС [1]. Главной задачей становится при этом отвод тепла от корпуса МКМ. Поэтому для каждого мощного МКМ должен быть разработан свой радиатор, являющийся неотъемлемой частью его конструкции. В МКМ фирмы Digital Equipment Corp. мощностью 300 Вт подложка смонтирована непосредственно на радиатор игольчатого типа, обеспечивающий воздушное охлаждение модуля [18]. Еще большую мощность могут рассеять радиаторы с жидкостным охлаждением [19].

Для создания соединений между высокоскоростным МКМ и следующим уровнем сборки перспективно использование гибких шлейфов в виде микрополосковых линий или копланарных волноводов с определенным волновым сопротивлением. Для МКМ со сравнительно большим шагом внешних контактов более приемлемым выглядит создание гибких шлейфов в виде копланарных волноводов, поскольку такие гибкие шлейфы содержат всего один слой металлической разводки и технология их изготовления принципиально не отличается от базовой технологии изготовления гибких носителей бескорпусных ИС.

Проведенная работа позволила установить принципиальную возможность создания довольно сложного 364-выводного многокристального модуля, содержа-

щего 16 124-выводных кристаллов, собранных на гибком носителе и смонтированных на кремниевую подложку размером 60х60 мм с четырьмя слоями металлической разводки с шагом проводников 50 мкм, при использовании базовых технологий, серийно выпускаемых материалов и унифицированного отечественного оборудования.

Дальнейшие исследования и разработки в области кремниевых многокристальных модулей должны проводиться в следующих направлениях:

- обеспечение минимального уровня привносимой дефектности при изготовлении сложных крупноформатных кремниевых подложек;
- создание технологии медных межсоединений с полиимидной изоляцией на кремниевой подложке;
- разработка методики и оборудования для тестирования сложных кремниевых подложек;
- создание высокопрецизионного оборудования для монтажа на кремниевую подложку бескорпусных ИС с шагом выводов (0,1–0,25) мм, а также для замены отказавших ИС;
- разработка технологии монтажа на кремниевую подложку пассивных компонентов;
- создание модулей трехмерной конструкции;
- разработка корпусов и радиаторов, обеспечивающих отвод тепла от мощных модулей;
- разработка гибких шлейфов, обладающих заданным волновым сопротивлением.

Ведущие зарубежные специалисты пришли к выводу, что технология кремниевых многокристальных модулей является серьезным шагом в развитии всей электронной техники и технологии. По важности достигаемого результата направление кремниевых многокристальных модулей стоит в одном ряду с такими перспективными направлениями как субмикронная технология и нанотехнология. При этом задачи, которые необходимо решить выглядят более простыми, затраты гораздо более низкими, чем у указанных направлений.

Поэтому технология кремниевых многокристальных модулей должна стать одним из приоритетных направлений в развитии отечественной электронной техники. В этом случае у отечественной электронной промышленности появятся неплохие шансы выйти на мировой уровень создания высокоскоростной и плотноупакованной радиоэлектронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. H a g g e J.K. Ultra-reliable packaging for silicon-on-silicon WSI.— 38th Electron. Compon. Conf., Los Angeles, Calif., May 9–11, 1988, Proc., 1988, 282–292.
2. У э б е р С. Многокристальные модули — перспективное направление в области СБИС.— Электроника, 1989, № 7, с. 63–71.
3. Б е р а р д и н с Л. Новый этап в области сборки.— Электроника, 1991, № 8, с. 45–53.
4. Б о г а т и н Э. Усовершенствование сборки позволяет повысить быстродействие систем и увеличить плотность монтажа.— Электроника, 1992, № 5–6, с. 80–86.
5. В u s h b o m M.L. Multi-chip modules help sidestep costly fine pitch problems.— Hybrid Circuit Technology, Jan., 1990, p. 6–10.
6. М а л и н ь я к Д. Достижения в области конструирования новых корпусов в значительной мере будут определяться материалами.— Электроника, 1992, № 9–10, с. 45–55.
7. Л а й м е н Дж. Многокристальные модули — высокоэффективное средство сборки новых поколений СБИС.— Электроника, 1989, № 6, с. 10–13.
8. Л е о н а р д М. Прикладные технологии — главная тематика докладов конференции Wescon-91.— Электроника 1992, № 5–6, с. 58–63.

9. Messner G.— Electronic Packaging and Production, 1988, vol. 28, N 12, p. 63.

10. Вольф Х. Перспективы развития многокристалльных модулей.— Электроника, 1991, № 6, с. 4—6.

11. Skidmore K. Package trends for VLSI devices. Semiconductor International, 1988, vol. 11, June, p. 61—65.

12. Reichl H. Packaging of VLSI devices.— VLSI and Comput. Peripherals, Hamburg, May 8—12, Proc., 1989, 5/63—5/67.

13. Арнольд Дж. Н. Тенденция к повышению плотности выводов при одновременном стремлении к снижению стоимости.— Электроника, 1991, № 1, с. 87—88.

14. Малиньяк Д. Усовершенствование технологии сборки ИС с ленты-носителя.— Электроника, 1992, № 15—16, с. 128—129.

15. Мэнги Ч.-Г., Макклелланд С. Технология поверхностного монтажа.— М.: Мир, 1990.— 276 с.

16. Малиньяк Д. Использование многокристалльных модулей в опытных образцах настольных компьютеров фирмы IBM. Электроника, 1991, № 15, с. 6—8.

17. Малиньяк Д. Использование гибких схем в носителях для многокристалльных модулей.— Электроника, 1993, № 7—8, с. 108.

18. Данбек П. Многокристалльный модуль компании Digital: конструктив, решающий проблему построения компьютеров высокого быстродействия.— Электроника, 1990, № 16, с. 32—35.

19. Kishimoto T., Ohsaki T. VLSI packaging technique using liquid-cooled channels.— IEEE Trans. Compon. Hybrids, and Manuf. Technol., 1986, vol. 9, N 4, p. 328—335.

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

КОМПЛЕКС ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ

(полностью совместимый с MICRO VAX-11)

Предназначен для использования в автоматизированных системах управления производством и технологическими процессами; автоматизированных контрольно-измерительных комплексах в реальном масштабе времени. Для работы в составе инженерных рабочих станций. Информационно-поисковых и обучающих систем повышенной сложности.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Разрядность, бит	32
Тактовая частота, МГц	40
Область виртуальных адресов, Гбайт	4
Область физических адресов, мБайт	16
Емкость локальной оперативной памяти, Мбайт	до 9
Емкость НГМД, Кбайт	800
Емкость НМД, Мбайт	70—80
	с возможностью расширения
Количество последовательных линий связи «стык С2»	5 с возможностью наращивания по требованию потребителя до 17
Тип системного интерфейса	МПИ (Q-BUS)
Магистраль локальной оперативной памяти	
питающее напряжение, В	220
Потребляемая мощность, Вт	450
Габаритные размеры, мм	730×260×630
Масса (без дисплея), кг	42

СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Центральный процессор M10	1
ОЗУ 4 Мбайта П11	1, 2
Блок НГМД	1
НМД	1 с возможностью расширения
Совмещенный контроллер НМД, НГМД	1
4-канальный мультиплексор И19	1 с возможностью установки дополнительных модулей
Дисплей цветной знакографический МС7105	1 с возможностью установки дополнительных дисплеев
Питающее устройство	1 (дополнительно)
Накопитель на магнитной ленте МС5202	1 (дополнительно)
Состав технических средств может расширяться и дополняться по желанию пользователя.	

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Тестовое программное обеспечение
Операционная система МОС 32М версии 5.0 с сетевым пакетом ETHERNET
Язык программирования Фортран, Паскаль, СИ, БЛИСС 32
Подсистема разработки автономных программных продуктов (САПП)
МОС 32М СУБД КАРАД/МОС 32М
Электронный лист/МОС 32М
Пакет логического моделирования и автоматизированной генерации тестов «ПРАЦИС ТМ»
Пакет автоматического проектирования топологии многослойных печатных плат «СИАТ-ИНГРЕД»
Пакет иерархического моделирования «ПРИАМ»
Графическая корневая система
Пакет проектирования топологии коммутационных слоев МАБИС на биполярных БМК «ТОПЕНАНТ»
Пакет проектирования топологии коммутационных слоев МАБИС на биполярных БМК сложностью до 10000 вентилях «ТРЮМ»
Пакет проектирования топологии коммутационных слоев МАБИС на КМОП БМК «ТЕРЕК»
Система автоматизированной подготовки таблично-текстовой документации (САПТТКД)
Универсальная графическая интерактивная система (УГИС)

Выпуск КВИ осуществляется с 1 января 1993 г. Заказы на изделие в виде гарантийного письма принимаются по адресу: 394042, г. Воронеж, ул. Минская, 16. ОКБ при з-де «Процессор».

Разработчик Шекин Михаил Борисович, тел. (0732) 23-79-60.

Состояние и перспективы развития однокристальных цифровых процессоров

А.В.ВАСИЛЬЕВ, В.Е.КОРНЕВ, В.Г.МИСТЮКОВ, Н.Н.ТОНКИХ

Рассматриваются вопросы, связанные с появлением в России новой элементной базы цифровой обработки сигналов — однокристальных ЦПС серии 1867. Обсуждаются современные и перспективные тенденции совершенствования однокристальных ЦПС.

Успехи в области современных информационных технологий невозможно представить без цифровой обработки сигналов. Гибкость, программируемость и высокая производительность, органично присущие цифровым системам обработки сигналов, позволяют удовлетворять все возрастающим требованиям широкого спектра практических приложений в области приема, передачи и обработки информации. Прогресс цифровой обработки сигналов вызвал появление целого ряда новых применений, реализация которых невозможна аналоговыми средствами.

Первоначально цифровая обработка сигналов осуществлялась с помощью больших универсальных ЭВМ. Однако их быстродействие, как правило, не позволяло осуществлять обработку в реальном масштабе времени. Затем появились матричные процессоры (например, "Электроника МТ-70"), которые благодаря гибкости и быстродействию, нашли не только лабораторное, но и промышленное применение. Совершенствование технологии производства интегральных микросхем привело к появлению универсальных разрядно-модульных микропроцессоров (серии К1804), применение которых существенно улучшило функциональные характеристики матричных процессоров ("Электроника МТ-70М"), а впоследствии — к созданию специализированного комплекса схем цифровой обработки сигналов серии 1838.

Значительным достижением российской микроэлектроники в области создания интегральных средств обработки сигнала стала разработка в конце 1992 года первого отечественного однокристального процессора обработки сигналов 1867ВМ1, открывшего серию однокристальных ЦПС 1867. Появление отечественных приборов такого класса сделало возможным серийный выпуск ранее разработанных систем ЦОС на функциональных

аналогах и стимулировало новые разработки и исследования в этой области.

Цифровой процессор сигналов (ЦПС) — это однокристальная микроЭВМ, архитектура и система команд которой оптимизированы под задачи цифровой обработки сигналов. Под такой оптимизацией подразумевается прежде всего аппаратная реализация ряда функций, выполняемых в стандартных микропроцессорах программным способом. Речь идет об одноцикловом умножителе; о параллельном сдвигателе данных, передаваемых в АЛУ; реализации индексных регистров косвенной адресации операндов, позволяющих осуществлять выборку из ОЗУ с автоинкрементом или автодекрементом без участия в операциях вычисления адресов центрального арифметического устройства; об аппаратной функции сдвига данных во внутрикристалльном ОЗУ и т.д. В последнее время однокристальные ЦПС все чаще содержат специализированные интерфейсные устройства, обеспечивающие прием и выдачу информации в аналоговом виде, сжатие информации, поддержку контроллерных функций и т.п.

Однокристальный ЦПС 1867ВМ1 — универсальный 16-разрядный цифровой процессор обработки сигналов с фиксированной запятой предназначен для использования в широком диапазоне быстродействующих систем связи и управления. ЦПС обеспечивает сочетание гибкости быстродействующих контроллеров с цифровыми возможностями матричного процессора и функционально заменяет многокристальные секционированные микропроцессорные наборы, быстродействие ЦПС пять миллионов операций в секунду (5 MIPS). Такая высокая производительность является результатом сочетания гибкости и эффективности архитектуры с мощной системой команд. Специальные команды в сочетании с высокой скоростью их выполнения обеспечивают оптимальную реализацию алгоритмов цифровой обработки сигнала. Кроме того, процессор 1867ВМ1 обеспечивает реализацию множества функций для специализированных случаев применения. Эти процессоры могут одинаково успешно применяться для синтеза и распознава-

ния речи, локационных или оптических датчиков, промышленных роботов, а также для цифрового управления серводвигателями. Основные технические данные ЦПС 1867ВМ1 приведены ниже.

	ВМ1	ВМ2
Длительность командного цикла, нс	200	100
Быстродействие/(MIPS)	5	10
БПФ на 1024 точки по основанию 4, мс	42	5,6
Количество инструкций	60	133
Разрядность слова команд/данных, бит	16	16
Память на кристалле, слов ОЗУ (данных)	144	288
ОЗУ (данных/программ)	—	256
ПЗУ (программ)	1536	4096
Внешняя память, К слов программ	4	64
данных	—	96
Разрядность АЛУ/аккумулятора, бит	32	32
Глубина аппаратного стека, число уровней	4	8
Параллельные порты ввода/вывода	8	16
Последовательные порты	—	1
Количество прерываний внешних	1	3
внутренних	—	3
Технология нормы, мкм	2	1,8
тип	КМОП	КМОП
Напряжение питания, В	5	5
Максимальная потребляемая мощность, мВт	165	900
Корпус		
количество выводов	40	68
тип	DIP	PGA

Институт электронной техники осуществляет серийные поставки промышленного варианта этого процессора. Разработана и опробована технология прошивки внутрикристалльного масочного ПЗУ программными кодами заказчика, позволяющая снизить внешние аппаратные затраты и обеспечить эффективную защиту пользовательских алгоритмов. Ведутся работы по уменьшению времени командного цикла с 200 нс. до 160 нс., и по созданию варианта этого процессора с однократно электрически программируемым ПЗУ.

В настоящее время в НИИ электронной техники получены экспериментальные образцы процессора 1867ВМ16, являющегося расширением ВМ1 в части внутрикристалльных ОЗУ (до 256 слов), масочного ПЗУ (до 4К слов) и общего адресного пространства до 64К слов. Однако, главное отличие этого процессора от ВМ1 заключается в наличии полнодуплексного полностью статического последовательного порта с двойной буфе-

ризацией данных и многоуровневой системы внешних и внутренних прерываний.

Следующим шагом в развитии и совершенствовании элементной базы ЦОС стало создание процессора 1867ВМ2. Этот процессор совместим по исходным кодам программирования со схемой 1867ВМ1. Имея в два раза более высокую тактовую частоту, 1867ВМ2 обеспечивает реальную производительность в 6—8 раз выше по сравнению в ВМ1 за счет более развитой архитектуры и более мощной системы команд.

Ключевое преимущество ЦПС 1867ВМ2 перед ВМ1 заключается в возможности одинаково быстро работать как с внутренней так и с внешней памятью данных, объем которой может достигать 64К слов (а с использованием виртуальной адресации — до 96К слов). Для обеспечения обмена с медленной внешней памятью программ и данных в ЦПС предусмотрен аппарат выработки состояний ожидания, обеспечивающий требуемое время доступа от одного до нескольких машинных циклов процессора. Половина внутреннего ОЗУ процессора (256 слов из 544) может быть сконфигурирована как для хранения данных, так и для хранения наиболее критичной по времени исполнения части алгоритма. При этом в качестве основного внешнего ЗУ программ могут использоваться достаточно медленные и дешевые чипы памяти. В ЦПС 1867ВМ2 существенно возросли возможности адресации данных. Это обусловлено увеличением количества индексных регистров до 8 и использованием специального арифметического устройства, которое работает независимо и параллельно с центральным АЛУ и позволяет наряду с простым инкрементированием и декрементированием организовать адресацию данных с прореживанием и с реверсивным распространением переноса (для реализации БПФ). ЦПС 1867ВМ2 хорошо адаптирован для применения в многопроцессорных системах. Имеется три варианта межпроцессорного обмена: через последовательный порт, через арбитражный доступ в глобальную память и через механизм прямого доступа к памяти (ПДП). Возможны два режима ПДП. В первом режиме работа процессора приостанавливается за время доступа к его внешней памяти со стороны другого процессора. Во втором режиме процессор продолжает выполнять свою программу, если ему для этого необходимы только внутренние ресурсы. Такой подход значительно увеличивает производительность в задачах с большими потоками данных. Оба режима ПДП характеризуются пониженным (приблизительно в два раза) потреблением мощности. ЦПС имеет вход синхронизации тактового генератора, предназначенный для организации тактирования в многопроцессорных системах. Большинство команд 1867ВМ2 выполняется за один машинный цикл. В этом ЦПС существует возможность аппаратного повторения инструкции до 256 раз. Поскольку при этом выборка и декодирование команды осуществляются только один раз, то многоцикловые команды становятся в режиме повторения эффективно одноцикловыми. Это дает существенный выигрыш в производительности особенно для команд умножения с накоплением, блочного перемещения данных и операций ввода/вывода. В систему команд добавлены также инструкции для выполнения арифметических операций с повышенной точностью.

Дальнейшее развитие интегральной элементной базы систем ЦОС осуществляется по двум основным направлениям. Первое — создание новых более мощных и быстродействующих универсальных ЦПС. Приоритетные тенденции этого направления заключаются в увеличении

степени интеграции кристалла, и повышении производительности как за счет уменьшения длительности цикла, так и за счет совершенствования архитектуры и оптимизации системы команд. Далее приводятся некоторые качественные характеристики будущего однокристального 16-разрядного ЦПС высокой производительности. Архитектура разрабатываемого ЦПС базируется на архитектуре 1867BM2. Будет обеспечена преемственность в части совместимости системы команд на уровне исходного программного кода. Предусматривается больший, чем у BM2, объем внутрикристалльной памяти (данных, программ и реконфигурируемой). Будут расширены возможности адресации данных, включая кольцевую и циклическую адресацию. Управление программным потоком усовершенствовано в части реализации повторения не только отдельных инструкций, но и целых программных блоков (аппаратные циклы). Переход к обработке прерываний и возврат из них будет происходить мгновенно благодаря аппаратному сохранению (восстановлению) контекста в теневых регистрах.

Более мощная и разветвленная система двигателей позволит в течение одного такта совмещать операции сдвига с другими операциями. Для минимизации внешнего аппаратного интерфейса при организации обмена с медленными внешними устройствами предусмотрены программно-управляемые генераторы состояний ожидания. С их помощью, зная конкретную конфигурацию системы, можно индивидуально запрограммировать соответствующее время доступа к каждому банку памяти и порту ввода/вывода. Увеличено до 64К количество параллельных портов ввода/вывода, причем 16 из них картированы в памяти. Благодаря этому любые арифметические и логические операции могут производиться непосредственно над значением, принятым с внешнего устройства, без необходимости его предварительной перезаписи в память процессора.

Для организации более эффективного взаимодействия ЦПС в многопроцессорных конфигурациях, наряду со стандартным последовательным портом (подобным порту процессора BM2), предусмотрен последовательный порт множественного доступа с временным мультиплексированием каналов. Значительное внимание при проектировании нового ЦПС будет уделено вопросам организации режимов работы снижающих потребляемую мощность.

Второе направление развития элементной базы ЦОС заключается в создании заказных однокристальных интегральных систем, построенных на основе ядер стандартных универсальных ЦПС. При этом переход от универсальных процессоров к специализированным устройствам осуществляется с существенным повышением уровня интеграции систем ЦОС. К такому решению разработчики систем ЦОС неизбежно приходят в процессе улучшения характеристик уже созданных или при проектировании новых устройств. Применение заказных БИС — очевидно. В этом случае есть два способа создания требуемой конфигурации системы цифровой обработки сигналов. Первый — это "классический" способ, основанный на применении заказных БИС типа БМК (или БИС на стандартных элементах), микросхем памяти, ЦАП/АЦП и ИС универсального процессора ЦПС. Второй — это интеграция на одном кристалле заказной логики, памяти ОЗУ (и/или ПЗУ), ЦАП/АЦП и процессорного ядра стандартного ЦПС. Этот способ более оптимален не только с точки зрения увеличения степени интеграции системы, как было сказано выше, но и с точки зрения сокращения времени

проектирования и стоимости устройства в целом. Реализация проекта такого однокристального специализированного устройства, не требует значительных затрат, неизбежных при разработке полностью заказной микросхемы, и сравнима с циклом проектирования БИС на основе БМК или на стандартных элементах.

Переход от систем, базирующихся на отдельных микросхемах процессоров серии 1867 и схемах малой и средней степени интеграции, к системам, построенным с использованием заказных СБИС на основе процессорных ядер стандартных ЦПС, не так труден, как кажется. Применяя такие СБИС, разработчики систем ЦОС по-прежнему остаются в рамках серии 1867 и могут без каких-либо доработок использовать как собственные (разработанные ранее) алгоритмы, так и библиотеки стандартных подпрограмм и функций.

Применение интегральных систем на основе процессорных ядер стандартных ЦПС в устройствах цифровой обработки сигналов позволит:

- повысить производительность;
- снизить потребляемую мощность;
- уменьшить размеры печатных плат;
- повысить надежность

Использование в качестве процессорных ядер ЦПС серии 1867 это:

— популярная архитектура систем ЦОС на базе процессоров серии 1867, позволяющая избежать необходимости создания новых сложных функциональных устройств для ЦОС;

— программная и функциональная совместимость с чипами ЦПС семейства TMS320 фирмы Texas Instruments;

— разработка матобеспечения и отладка систем с помощью стандартных средств, поставляемых для семейства TMS320 отечественными и зарубежными фирмами (ассемблеры, трансляторы с языка СИ, аппаратные отладчики, внутрисхемные эмуляторы и т.д.);

— возможность разработки и отладки программного обеспечения системы ЦОС до ее интеграции в отдельную заказную микросхему.

Маршрут проектирования интегральных систем ЦОС разработан в среде кремниевого компилятора GDT Designer версии 5.3 фирмы Mentor Graphics. Кристаллы проектируются по 2-х микронной КМОП-технологии с одним или двумя уровнями металлизации и однополярным питанием +5 В. Оптимальная компоновка и размер кристалла зависят от конкретных архитектурных решений, предложенных заказчиком микросхемы. Эти решения определяют объемы ОЗУ и ПЗУ, заказной логики, тип процессорного ядра, наличие блоков ЦАП/АЦП и количество внешних выводов. В качестве "строительных" блоков, применяемых для реализации интегральной системы ЦОС, могут использоваться:

1. Процессорные ядра 16-разрядных процессоров обработки сигналов в формате данных с фиксированной запятой (1867BM1, 1867BM16 и 1867BM2) с приведенными ранее характеристиками. В САПР включена топология и модели ядер на М-языке, поддерживающие описание характеристик системного и электрического уровня.

2. Блоки памяти, созданные собственными программами компиляции: ОЗУ объемом до 32К бит и ПЗУ объемом до 64К бит.

3. Заказная логика в виде блоков, построенных методом стандартных элементов. Реализация топологии выполняется по функциональным спецификациям заказчика или по разработанной заказчиком логической схеме, представленной в формате описания межсоедине-

ний SDL. Файлы формата SDL могут быть получены в различных системах ввода и моделирования логических схем, например SL2000 (VAX/VMS) или P-CAD (MS-DOS). Для системы P-CAD создана библиотека логических элементов совместимая с набором стандартных элементов, использующихся для компиляции топологии в GDT Designer. Библиотека включает более 100 логических элементов, таких как инверторы, защелки, триггеры, мультиплексоры, элементы И, И-НЕ, И-ИЛИ-НЕ и т.д. Параметры элементов рассчитаны с учетом электрических характеристик 2-х микронной КМОП-технологии и включают в себя: емкость входов, задержку распространения сигнала через элемент, коэффициент влияния емкости нагрузки. Среднее время задержки элементов библиотеки при напряжении питания +4,75 В, температуре 70°C и наихудших условиях электрического моделирования составляет 1,5 нс на вентиль.

4. Блоки 8/14/16-разрядных ЦАП/АЦП. В САПР включены модели на М-языке, поддерживающие описание характеристик системного уровня. В настоящее время ведутся работы по созданию электрических схем и топологии блоков ЦАП/АЦП.

Таким образом, создание новых высокопроизводительных универсальных ЦПС и внедрение технологии создания заказных КМОП СБИС ЦОС на основе процессорных ядер стандартных ЦПС, значительно расширит номенклатуру отечественных интегральных схем цифровой обработки сигналов.

Телефон для получения консультаций и информационных материалов:
(0732)-23-55-91

Отладочная микросхема К1868ВЕ1 серии однокристальных микроЭВМ

В.С.ХОРОШУНОВ, А.В.РЮМШИН

Микросхема К1868ВЕ1 представляет собой однокристальную 4/8-разрядную микроЭВМ с шиной адресов и данных для подключения внешнего ПЗУ емкостью до 8 Кбайт и возможностью расширения портов ввода-вывода до архитектурного максимума 16×4.

МикроЭВМ обеспечивает отладку управляющих программ заказных микросхем серии К1868 «Тубус», а также может использоваться совместно с внешним ПЗУ в качестве управляющей микроЭВМ.

Микросхемы выполнены на основе современной КМОП-технологии. Система команд микроЭВМ ориентирована на универсальное применение. Гибкая структура и КМОП-технология определяют высокие технические характеристики микросхем. С целью реализации энергосберегающих режимов работы предусмотрена возможность программной остановки или ожидания. Возврат в рабочий режим осуществляется с помощью внешних или внутренних сигналов прерываний. При этом гарантируется сохранность информации как ОЗУ, так и всех внутренних регистров.

Отладочная микросхема имеет широкое назначение:

- отладка управляющих программ с возможностью выбора требуемых объемов памяти и нужного состава портов ввода-вывода и дополнительных устройств и формирование технических требований на разработку заказных микросхем, где управляющая программа, нужная конфигурация портов ввода-вывода и дополнительные устройства будут реализованы в составе однокристальной микроЭВМ.

- отладка управляющих программ для последующего размещения в ПЗУ одного из вариантов базовых кристаллов;

- использование микросхемы в качестве управляющей микроЭВМ совместно с внешним ПЗУ и при необходимости с дополнительными портами ввода-вывода при оптимальном и мелкосерийном производстве.

Области применения микросхемы:

- построение на ее основе отладочных устройств и отладка управляющих программ;

- использование в бытовой технике и технологическом оборудовании промышленного назначения в качестве управляющей микроЭВМ.

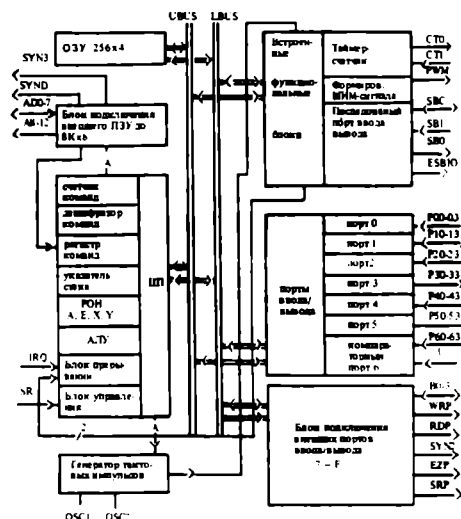
Конструктивно микросхема выполнена в 68-выводном пластмассовом корпусе типа PLCC с шагом 1,27 мм или штырьковом типа PGA.

МикроЭВМ построена по типовой архитектуре с общей шиной данных и содержит в своем составе все узлы и блоки, необходимые для построения функционально законченного микроконтроллера. Для обеспечения возможности разработки и отладки управляющих программ используется внешнее ПЗУ, для работы с которым имеется шина адресов/данных и сигналы синхронизации. Две 4-разрядные шины данных UBUS и LBUS позволяют за один машинный цикл осуществлять передачу 8-разрядных данных и выполнение 4-разрядных логических и арифметических операций. Блок-схема микроЭВМ К1868ВЕ1 приведена на рисунке.

Режимы работы микроЭВМ

Режим начальной установки (RESET). Длительность сигнала RESET должна составлять не менее двух машинных циклов микроЭВМ. (При рабочей частоте $f=4,0$ МГц длительность машинного цикла составляет 2,0 мкс).

Рабочий (программный) режим. В рабочем режиме все узлы и блоки микроЭВМ функционируют в соответствии с управляющей программой.



Режим «Ожидание» (HALT) и его отмена. Вводится с целью экономии мощности, потребляемой от источника питания во время ожидания программного режима. При этом прекращается генерация системных синхрипульсов S0-S3, формируются только сигналы синхронизации, обеспечивающие работу встроенных функциональных блоков (таймера и ШИМ), а содержимое всех внутренних регистров и памяти данных ОЗУ сохраняется. Выход из режима HALT возможен либо по любому из незамаскированных прерываний.

Режим «Останов» (STOP) и его отмена. Вводится с целью существенного снижения потребляемой электроэнергии от источника питания во время ожидания программного режима, то есть до появления сигналов прерывания от работающих с внешней синхронизацией встроенных функциональных блоков или внешнего сигнала прерывания. Как и в случае режима HALT, в режиме STOP обеспечивается сохранность информации всех внутренних регистров и ОЗУ.

Функциональные блоки микроЭВМ

Генератор тактовых импульсов (ГТИ) при подключенном внешнем кварцевом резонаторе или подаче внешнего тактового сигнала обеспечивает формирование системных синхрипульсов S0-S3 и импульсов внутренней синхронизации для встроенных функциональных блоков.

Системные синхросигналы S0-S3 представляют собой серию из 4-х неперекрывающихся во времени тактовых сигналов. При рабочей частоте 4,0 МГц период тактового сигнала на внешнем выводе OSC1 равен $t_c = 250$ нс.

Длительность каждого внутреннего системного синхросигнала S0-S3 равна $t_w = 500$ нс, а период их следования, соответственно и длительность машинного цикла: $T_c = 2,0$ мкс.

Тип синхронизации (автономная кварцевая или внешняя) и рабочая частота определяются конкретными условиями применения микроЭВМ, при этом необходимо учитывать, что мощность, потребляемая микроЭВМ от источника питания в рабочем режиме практически прямо пропорциональна тактовой частоте.

Имеется возможность программно-го управления режимом работы ГТИ.

Счетчик команд PC и триггер банка памяти BS предназначены для формирования адресов программной памяти и представляют собой управляемый двойный счетчик, формирующий 13 разрядов адреса программ, что обеспечивает адресацию к внешнему ПЗУ объемом до 8 Кбайт.

Адресуемое пространство условно делится на два банка памяти объемом по 4 Кбайт каждый — младший банк памяти (содержимое BS равно 0) и старший банк памяти (содержимое BS равно 1). Младшие разряды счетчика команд PC3-PC0 образуют младшую часть адреса I каждого банка памяти, средние разряды счетчика

PC7-PC4 образуют среднюю часть адреса *m*, а разряды PC11-PC8 счетчика команд образуют старшую часть адреса *n* каждого банка памяти.

Дешифратор команд обеспечивает расшифровку команд, поступающих из регистра команд и выработку соответствующих управляющих сигналов, обеспечивающих их выполнение. Общее число дешифрируемых команд — 102.

Регистр команд (PK) осуществляет прием очередной команды, поступающей из блока подключения внешнего ПЗУ, хранение ее и выдачу для расшифровки на дешифратор команд.

При начальной установке (RESET) в регистр команд поступает команда, записанная по адресу 0000 внешнего ПЗУ. Прием команды осуществляется во время действия высокого уровня напряжения по выводу синхронизации SYND и защелкивается по его заднему фронту.

Указатель стека (SP) предназначен для организации адресации к стековой памяти магазинного типа при обработке прерываний, командах перехода и командах, использующих стековую адресацию.

Функционально представляет собой 8-разрядный регистр, хранящий адрес занятой последней (верхней) ячейки памяти стека.

Адреса стековой памяти, формируемые указателем стека, являются четными и расположены в диапазоне FF-C0, таким образом, объем стековой памяти составляет 32 восьмиразрядных числа. При начальной установке (режим RESET) в указателе стека устанавливается адрес C0.

Предусмотрена возможность программной загрузки указателя стека с помощью команды WTSP, при этом в указателе стека заносится содержимое регистров общего назначения E и A.

Регистры общего назначения (POH). В составе микроЭВМ имеется четыре 4-разрядных регистра A, E, X и Y, которые являются универсальными, программно-доступными и используются при выполнении операций над данными. При начальной установке регистры обнуляются.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) обеспечивает обработку всех логических и арифметических операций, формирование и хранение соответствующих признаков (флагов) — нулевого результата ZF, переноса CF, непосредственной загрузки LIFF и имеет 4-разрядную структуру.

Информация, подлежащая обработке, поступает параллельно по четырехразрядным шинам UBUS и LBUS, результат заносится в POH A при работе с четырехразрядными данными, в POHы A и E при работе с восьмиразрядными данными.

Флаг непосредственной загрузки LIFF устанавливается в случае, если в программе следуют друг за другом две или более команды непосредственной загрузки четырехразрядных данных в POH A (команда LI) и сбрасывается при всех других ситуациях.

Флаги ZF и CF программно-доступны, то есть имеют команды про-

Электрические параметры

Ток потребления, мА	2...10
Ток потребления в режиме HALT, мА	0,3...1,0
Ток потребления в режиме STOP, мкА	1...10
Выходное напряжение высокого уровня, В	$U_{cc} - 0,4$ (при $U_{cc} = 4,5$ В; $I_{oh} = -0,4$ мА)
Выходное напряжение низкого уровня, В	0,4 (при $U_{cc} = 4,5$ В; $I_{ol} = 1,6$ мА)
Напряжение питания, В	4,5...5,5
Входное напряжение низкого уровня, В	0,8
Входное напряжение высокого уровня, В	3,3
Входное напряжение низкого уровня по выводам порта P6, В	$U - 0,02$
Входное напряжение высокого уровня по выводам порта P6, В	$U + 0,02$
Диапазон значений опорного напряжения U, В	от 1,5 до $U_{cc} - 1,5$
Входное напряжение низкого уровня по выводам IRQ, SR, В	0,5
Тактовая частота, МГц	0,01...4,0

граммной установки и сброса этих флагов.

Блок прерываний. Предназначен для организации приостановки выполнения текущей программы с целью обработки другой, более срочной программы (подпрограммы обработки прерывания), с последующим возвращением к выполнению прерванной программы, а также для обеспечения режимов работы HALT и STOP.

МикроЭВМ имеет три уровня прерываний:

- внешнее прерывание IRQ;
- внутреннее прерывание от таймера-счетчика TCIRQ,
- внутреннее прерывание от последовательного порта SBIRQ.

Все три прерывания имеют разный приоритет и определенные адреса подпрограмм обработки. Кроме того, все прерывания являются программно доступными, то есть регистр разрешения прерываний устанавливается или сбрасывается программными средствами с помощью команды EDI.

Внешний вход IRQ выполнен по схеме с внутренней нагрузкой относительно шины +Епит. Поэтому для формирования сигнала прерывания можно использовать внешнюю схему с «открытым коллектором», формирующую только низкий уровень напряжения.

Память данных (ОЗУ 256×4) и типы адресации

Память данных предназначена для хранения и выдачи данных и представляет собой оперативное запоминающее устройство произвольной емкости 256×4.

Имеется возможность ввода и вывода как 4-разрядных данных, так и 8-разрядных слов (байтов) при выполнении команд обработки 8-разрядных данных.

Блок подключения внешнего ПЗУ

Блок подключения внешнего ПЗУ предназначен для организации совместной работы с внешним ПЗУ в качестве программной памяти.

Выводы А/D07-00 являются совмещенной шиной «Адрес/команда», мультиплексированной во времени. Содержимое счетчика команд PChnl и триггера банка памяти BS во время действия высокого уровня напряжения на выводе синхронизации SYN3 в каждом машинном цикле через буферы выводится на соответствующие выводы микросхемы А/D07-00 и А12-08.

Встроенные порты ввода-вывода

МикроЭВМ К1868ВЕ1 имеет 7 встроенных параллельных 4-разрядных портов ввода-вывода, предназначенных для связи с внешними устройствами, при этом каждому порту присвоен условный номер Р.

Таким образом, имеются порты с номерами от 0 до 6. Доступ к портам реализован двумя методами:

1. Прямой адрес порта Р указывается в литеральной части команды работы с портами. Эти команды выполняются за два машинных цикла и реализуют ввод-вывод четырехразрядных данных.

2. Адрес порта в неявном виде содержится в коде команды.

Эти команды выполняются за один машинный цикл, номер порта аппаратно задается кодом команды.

Реализованы следующие типы портов ввода-вывода: 4-разрядные порты ввода данных Р2, Р4; 4-разрядные порты вывода данных Р3, Р5; 4-

разрядные порты ввода/вывода данных — Р0, Р1; 4-разрядный компараторный порт с общим опорным напряжением Р6.

Блок подключения внешних портов ввода-вывода

Блок подключения внешних портов ввода-вывода предназначен для расширения системы ввода-вывода до архитектурного максимума — до 16×4 портов ввода-вывода и формирования сигналов синхронизации для управления внешними портами.

Программные адреса 0...6 присвоены встроенным портам ввода-вывода, для внешних портов отводятся программные адреса 7...F, таким образом, может быть организовано 9 внешних четырехразрядных портов ввода-вывода.

В составе микроЭВМ К1868ВЕ1 имеются встроенные, функционально законченные устройства, управление которыми осуществляется с помощью программы: таймер-счетчик, последовательный порт-ввода-вывода, формирователь ШИМ-сигнала.

Таймер-счетчик представляет собой программно управляемый двоичный счетчик с переменной разрядностью — от 8 до 15. В его старшие 8 разрядов (блок ВС) загружается исходное значение числа, начиная с которого счетчик будет считать до перехода из состояния FF в состояние 00, после чего вырабатывается сигнал требования прерывания по таймеру-счетчику TCIRQ, устанавливается выходной триггер и на выходной клемме ТСО формируется высокий уровень напряжения. Таймер-счетчик может работать как в рабочем режиме ра-

боты микроЭВМ, так и в режиме работы «HALT» (для снижения энергопотребления) с выходом из этого режима по прерыванию TCIRQ.

Формирователь ШИМ-сигнала предназначен для формирования периодической последовательности прямоугольных импульсов с программно устанавливаемой скважностью.

Формирователь ШИМ-сигнала может работать как в рабочем режиме работы микроЭВМ, так и в режиме «HALT».

В режиме работы «STOP» формирователь останавливается на текущем состоянии, при выходе из этого режима начинает работу с прерванного состояния.

Необходимо заметить, что при необходимости регистр формирователя PWM можно использовать для организации дополнительного 8-разрядного регистра.

Последовательный порт ввода-вывода. Предназначен для организации последовательного ввода и вывода данных.

Общее число реализуемых команд 102, по формату они подразделяются на однобайтовые и двухбайтовые.

Поставка заказных микросхем серии 1868 возможна в диапазоне питающего напряжения от 2,0 до 7,0 В.

Дополнительную информацию можно получить по адресу:
394042, Воронеж, Ленинский пр., 119а,
НИИЭТ (НИИ электронной техники).
Телефоны: (073-2) 229-966 —
Хорошунев Василий Сергеевич,
229-085 — Рюшин
Александр Викторович.

КМОП БИС номерабираетеля с импульсным и частотным набором номера

КМОП БИС номерабираетеля предназначена для использования в телефонных аппаратах, подключаемых к стандартной телефонной сети.

Ближайшим функциональным аналогом КФ1091ВЖ1 является микросхема UM91260С, а БИС КМ1091ВЖ2 — микросхема UM91261 (фирма UMC, Тайвань).

Микросхема выполнена на базе стандартной КМОП-технологии с полупроводниковыми затворами и оформлена в 18-выводном корпусе 2104.18-8.02 (КФ1091ВЖ1) или в 22-выводном 2108.22-1.НБ (КМ1091ВЖ2). Число элементов — 9800, плотность упаковки 950 элементов/мм².

БИС номерабираетеля с импульсным/частотным набором номера и памятью на 10 номеров позволяет набирать телефонный номер до 32 знаков (цифр и пауз) в импульсном режиме, до 31 знака в частотном режиме, на-

Техническая характеристика

Напряжение питания	2,0—6,0 В
Тактовая частота	480 кГц
Число цифр в запоминаемых номерах для импульсного режима	16
для частотного режима	15
Автоматически вводимая пауза при переходе из одного режима набора номера в другой	4,1 с
Произвольно вводимая пауза	4,1 с
Скорость набора для импульсного режима КФ1091ВЖ1	10 имп./с (t=10 мс)
КМ1091ВЖ2	20 имп./с (t=50 мс)
Время отправки сигнала частотного набора номера	107 мс
Межсигнальная пауза	106 мс
Минимальное время нажатия клавиши	22 мс
Ток потребления (типовой) в режиме импульсного набора	150 мкА
в режиме частотного набора	300 мкА
в режиме хранения номера	0,1 мкА

бирать первую и вторую части номера в разных режимах. Микросхема запоминает последний набранный номер

для выполнения повторного набора. Возможен ввод паузы, выбор скважности и межсерийной паузы. Число запоминаемых и воспроизводимых номеров — 10.

БИС имеет два конструктивных варианта: 18-выводной (КФ1091ВЖ1) и 22-выводной (КМ1091ВЖ2). Последний вариант дополнительно имеет вывод выбора скорости набора номера (DRS) и вывод для звуковой индикации правильно нажатой клавиши (KEY TONE).

Условия эксплуатации

Температура окружающей среды	45...70°C
Температура хранения	-60...125°C
Относительная влажность воздуха при температуре 25°C	98%
Вибрационные нагрузки с ускорением в диапазоне частот от 1 до 2000 Гц	20 г
Линейные ускорения	500 г
Многочисленные удары с ускорением	150 г
Максимальная наработка	60000 ч
Срок хранения	6 лет

394042, г. Воронеж, НИИЭТ,
тел. (0732) 22-90-85

А. И. ГВОЗДЕВ, Н. Г. МЕДВЕДЕВ

Высокопроизводительный 16-разрядный однокристалльный микроконтроллер

А.И.ГВОЗДЕВ, В.В.ЕЛИСЕЕВ, И.В.НОВОСЕЛЬЦЕВА

Универсальный микроконтроллер предназначен для применения в автомобильной электронике. Может также применяться и в системах автоматизации технологических процессов, системах управления асинхронными, серво- и шаговыми двигателями, системах управления кондиционированием воздуха, вычислительной технике (контроллеры принтеров, фотокопируемых устройств, накопителей на жестких магнитных дисках), связи (модемы), в контрольно-измерительном и медицинском оборудовании.

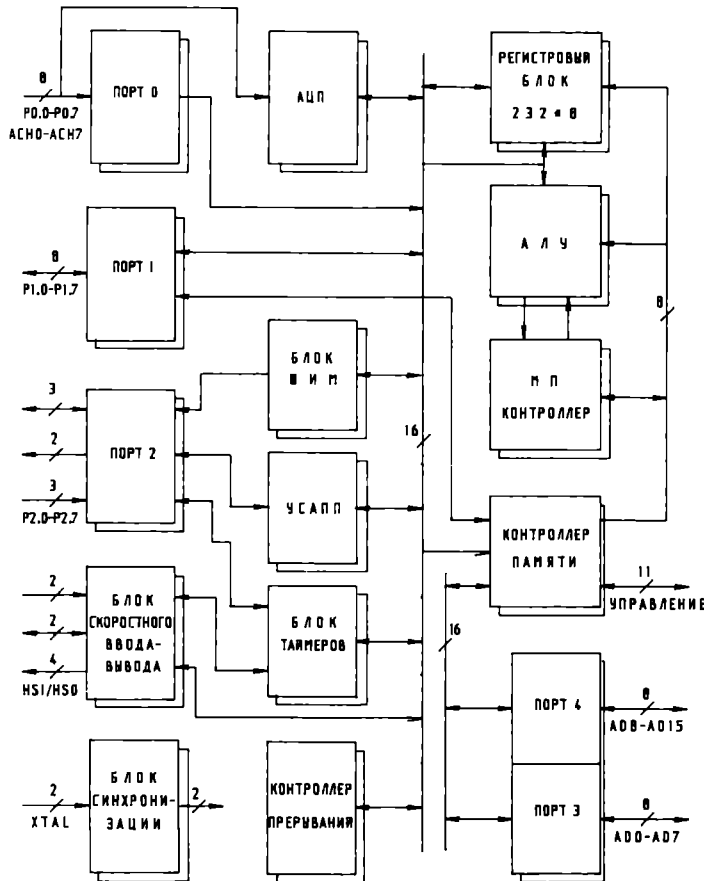
Структурная схема микроконтроллера приведена на рисунке. Микросхема содержит: регистровый блок (232x8); арифметико-логическое устройство (АЛУ); микропрограммный контроллер (МПК); контроллер памяти; контроллер прерываний; аналого-цифровой преобразователь (АЦП); блок широтно-импульсной модуляции (ШИМ); универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик (УСАПП); блок таймеров; блок скоростного ввода-вывода; блок синхронизации; пять портов ввода-вывода общего назначения.

Подключение к выводам XTAL1, XTAL2 блока синхронизации кварцевого резонатора с рабочей частотой 12 МГц или задание на вывод XTAL1 внешнего тактового сигнала частотой 12 МГц обеспечивает рабочую частоту центрального процессора (ЦП) — 6 МГц. Машинный цикл ЦП составляет 167 нс.

В состав ЦП микроконтроллера входят: регистровый блок с реконфигурируемой структурой (232x8, 116x16, 58x32); 26 регистров специальных функций (РСФ) с байтовой организацией; микропрограммный контроллер; 17-разрядное АЛУ. Обмен данными с периферийными устройствами осуществляется под управлением РСФ (за исключением портов ввода-вывода 3 и 4). АЛУ выполняет операции непосредственно в 256-байтовом адресном пространстве, включающем регистровый блок и регистры специальных функций; благодаря этому достигается эффективное управление контекстными переключениями и операциями ввода-вывода. Система команд ЦП содержит полный набор арифметических и логических опера-

ций над 8, 16 и 32-разрядными типами данных, включая операции умножения 16x16 бит и деления 32/16 бит. Доступ к операндам осуществляется с использованием шести базовых методов адресации. Среднее время выполнения 75% команд, при методах адресации использующих регистровый блок и РСФ, составляет от 0,5 мкс до 1,5 мкс.

Адресацию внешней памяти, управление очередью команд и шиной адреса/данных, а также поддержку мультипроцессорного протокола обмена, осуществляет контроллер памяти. Большая часть объема адресуемой памяти микроконтроллера (64 Кбайт) доступна пользователю. 16-разрядный регистр указателя стека инициализируется программой пользователя и позволяет разместить стек в любой области памяти. Шина адреса/данных совмещена с выводами портов 3 и 4. Контроллер памяти предусматривает работу как с 8-, так и с 16-разрядной мультиплексной шиной и реализует несколько различных вариантов сигналов управления для каждой конфигурации. Кроме того, благодаря специальному регистру конфигурации кристалла и внешнему контакту разрядности шины, возможно динамическое переключение из одного режима в другой в рамках выполнения одной и той же прикладной задачи.



Структурная схема микроконтроллера

Основные технические характеристики

Тактовая частота, МГц	12
Разрядность	16
Объем адресуемой памяти, Кбайт	64
Количество команд	105
Деление 32/16, мкс	4.0
Умножение 16/16, мкс	2,3
Напряжение питания, В	5+/-10%
Потребляемая мощность (типовая): рабочий режим, Вт	0.22
режим пониженного потребления, Вт	0,055
режим хранения, Вт	0,0003
Диапазон рабочих температур, °С	минус 45 — плюс 100
Число выводов корпуса	68

ра 2, установка четырех программных флагов, переключение шести выходных линий (HSO.0 – HSO.5). Тип события программируется записью в регистр HSO COMMAND, время совершения события записывается в регистр HSO TIME; содержимое обоих регистров переносится в ассоциативную память (8x24). Совершение событий может синхронизироваться таймером 1 или таймером 2. Устройство быстрого вывода позволяет также формировать ШИМ процесса на HSO выводах.

Измеритель частоты сигналов осуществляет счет событий и записывает

время совершения последнего события по каждому из HSI входов по отношению к таймеру 3. Частота совершения событий вычисляется микроконтроллером, который должен дважды произвести считывание числа событий и времени их совершения.

Контроллер прерываний обрабатывает прерывания, поступающие от внутренних устройств (переполнение таймеров, установка HSO-выходов, завершение АЦП и др.) и внешнего входа EXTINT. Задержанные прерывания запоминаются в 8-разрядном адресуемом регистре INT-PEND. При наличии неза-

маскированного прерывания вырабатывается сигнал INT.

Аналогово-цифровой преобразователь выполняет преобразование на одном из 8 каналов, номер канала программируется записью в регистр AD COMMAND. АЦП использует алгоритм последовательного приближения. Для сравнения формируются 1024 напряжения, что позволяет создавать 5-милливольтовые ступени. 10-битный результат преобразования загружается в регистры AD RESULT (H0) и AD RESULT (H1). АЦ-преобразование выполняется за 26,3 мкс.

Универсальный фильтр на переключаемых конденсаторах

Двухсекционный универсальный фильтр на переключаемых конденсаторах, изготовленный по КМОП-технологии, предназначен для применения в радиосвязи и телефонии. Каждая секция ИС обеспечивает возможность создания фильтров нижних, верхних частот, полосовых, фазных с различными амплитудно-частотными характеристиками. Диапазон частот среза 0,001...50 кГц.

Интегральные фильтры на переключаемых конденсаторах (ФПК) появились за рубежом почти два десятилетия назад и практически вытеснили пассивные LC-фильтры аналогичного назначения. Широкое распространение ФПК объясняется рядом их достоинств наиболее значительные из которых следующие:

- частота среза определяется частотой тактовых импульсов, что позволяет получить высокую точность при использовании кварцевых резонаторов;

- одна и та же ИС может выполнять функции фильтров НЧ, ВЧ, полосового, режекторного. Фильтру можно придать различные виды АЧХ;

- ФПК не нуждается в дискретных конденсаторах, индуктивностях, что устраняет перегруженность схемы навесными элементами;

- простота регулировки и настройки на заданную частоту, высокая добротность и возможность получения АЧХ различных форм.

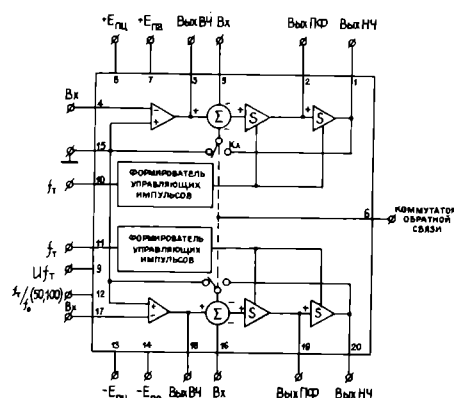
Разработанная отечественная ИС универсального ФПК по своим функциональным возможностям аналогична микросхеме MF10 (фирмы Motorola), но отличается от нее повышенной частотой среза. Схема предназначена для реализации фильтров всех типов — полосовых, режекторных, нижних и верхних частот. Построена на основе метода переменных состояний*. Состоит из двух секций, каждая из которых включает два интегратора на переключаемых конденсаторах, сумма-

тор и операционный усилитель. На базе одной секции с помощью подключения внешних резисторов и тактового генератора может быть реализован фильтр второго порядка, эквивалентный обычной LC-контуре. Снятая сигнал с одного из трех выходов, можно получить АЧ-характеристику необходимого ФНЧ, ФВЧ, РФ или ПФ. Используя обе секции вместе (соединение каскадное), можно построить более избирательный фильтр (четвертого порядка) с любой АЧХ как полиномиального типа (Бессель, Чебышев), так и с нулями передачи на конечных частотах (Кауэр, Золоторев).

Для задания частоты среза f_{cp} или центральной частоты фильтра f_0 используется тактовый сигнал, подаваемый на вход ИС от внешнего генератора. Обычно центральная частота f_0 устанавливается в 50 или 100 раз меньше тактовой частоты f_T . Выбранное соотношение f_0/f_T устанавливается подключением вывода ИС к источнику питания (+Eп) или земле. Точность и стабильность частоты среза определяется тактовым генератором. Различные частоты среза можно обеспечить за счет соответствующего выбора сопротивлений внешних резисторов. Отношение, равное 100, более предпочтительно — при этом шумы тактового генератора оказываются расположенными на октаву выше. В связи с тем, что в ФПК происходит дискретизация входного сигнала тактовой частотой, выходной сигнал имеет импульсную помеху. Данный эффект обычно успешно устраняется с помощью простого двухполосного аналогового фильтра на операционном усилителе или обычного RC-фильтра. Основные технические характеристики ФПК следующие:

- частота среза от 0,001 до 50 кГц;
- максимальное амплитудное напряжение на выходах $\pm 3,8$ В;
- максимальный ток потребления 12 мА;
- уровень шумов, приведенный ко входу, не более 300 мкВ;
- коммутационная помеха не более 30 мВ;
- постоянная составляющая на выходе фильтра не более 300 мВ.

На рисунке приведен вариант включения универсального фильтра Чебышева с обозначением номиналов пассивных элементов. Данная схема вклю-



чения позволяет одновременно реализовать полосовой, высокой и низкой частоты фильтра. При тактовой частоте 100 кГц, центральная частота f_0 составляет 1 кГц, которая рассчитывается из выражения

$$f_0 = \frac{f_T}{100} \sqrt{\frac{R_2}{R_4}}$$

Добротность фильтра определяется внешними резисторами из выражения $Q = \sqrt{\frac{R_2}{R_4}} \frac{R_3}{R_2}$ и для данного варианта равняется единице. Коэффициенты передачи для выходов НЧ, ВЧ и ПФ определяются соответственно из отношений резисторов:

$$K_{нч} = -\frac{R_4}{R_1}; K_{вч} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{и } K_{пф} = -\frac{R_3}{R_1}$$

и в данном варианте равняется минус единице (знак «минус» обозначает инверсию). Крутизна АЧХ каждой секции 12 дБ/окт. Расчет потребителем номиналов внешних элементов под заданные характеристики фильтра может быть значительно упрощен, если использовать специальные машинные программы расчета.

Микросхема выполнена в 20-выводном пластмассовом корпусе типа 2140.20-7.

Б.М.ГЕРШ, Е.А.КУЗЬМИН,
В.Д.РЕШЕТНЯК, В.В.СКВОРЦОВ

* Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. — М.: Мир, 1993, с. 292—323.

Метод построения арифметических функций АЛУ и его реализация в СБИС 4-канального 24-разрядного КМОП АЛУ

И.В.НОВОСЕЛЬЦЕВА

При проектировании микросхемы 4-канального 24-разрядного КМОП АЛУ использован аналитический метод получения выражений для арифметических функций. Сформулированы ограничения, которые вносит в набор реализуемых арифметических функций использование «манчестерской цепочки» в схеме формирования ускоренного переноса.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) является основным блоком операционных устройств большинства современных цифровых систем. В ИС часто используются АЛУ, имеющие структуру, изображенную на рис. 1. Операция производится над n -разрядными операндами A и B ; выбор операции определяется комбинацией сигналов на управляющих входах $INS_0 \dots INS_{n-1}$. На вход 0 разряда поступает перенос C_0 .

Данная структура отличается от общей структуры АЛУ [1] тем, что арифметические функции F_L реализуются на базе логических функций F_{Li} , и в схеме формирования переноса в качестве вспомогательной функции также используются логические функции F_{Li} .

Арифметические функции реализуются в соответствии с выражением:

$$F_{Ai} = F_{Li} \oplus C_i \quad (1)$$

где F_{Ai} , F_{Li} — арифметические и логические функции, выполняемые над i -ми разрядами; C_i — арифметический перенос из $i-1$ разряда.

В качестве схемы формирования переноса применяется «манчестерская цепочка» [2], i -й разряд которой изображен на рис. 2. Перенос из i -го разряда формируется в соответствии с выражением:

$$C_{i+1} = P_i \vee F_{Li} C_i \quad (2)$$

Для реализации на АЛУ логических функций должна быть

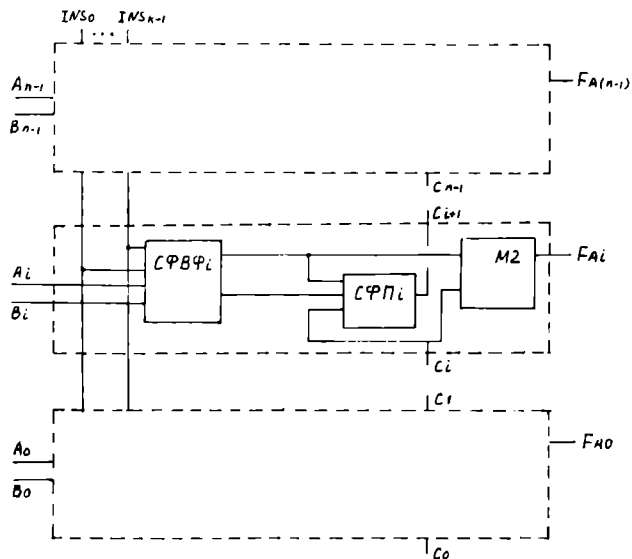


Рис. 1. Структура АЛУ: СФВФ — схема формирования вспомогательных функций; СФП — схема формирования переноса

сформирована вспомогательная функция поразрядного переноса $P=0$ и $C_0=0$, при этом $F_{Li} = F_{Li}$. Другой вариант — использование дополнительного управляющего входа, устанавливающего все $C_i=0$. В общем случае на СФВФ может быть реализован полный набор логических функций двух переменных A и B : 16 для каждой из вспомогательных функций F_L и P .

В результате могут быть получены 256 вариантов арифметических функций. Однако, использование схемы формирования переноса, изображенной на рис. 2, накладывает ограничения на допустимый набор вспомогательных функций. Цепочка распространения переноса симметрична относительно входа C_i и выхода C_{i+1} . Для того, чтобы исключить распространение переноса в «обратном» направлении, т.е. от старших разрядов к младшим, в каждом разряде цепочки не должны быть открыты одновременно транзисторы, управляемые P_i и F_{Li} . Это достигается при выполнении условия

$$F_{Li} P_i \neq 1, \quad (3)$$

которое должно выполняться для всех возможных операндов A и B . Например, нельзя использовать $F=A$, $P=AB$, т.к. равенство $AAB=0$ не выполняется при всех A и B ; разрешенным сочетанием является, к примеру $F=B$, $P=AB$.

Условие (3) может быть легко проверено, при его соблюдении из 256 возможных вариантов арифметических функций остаются лишь 96. (Разрешенными являются и 16 вариантов при $P=1$ и $C_0=1$, в этом случае перенос формируется в каждом разряде и не может быть ложного его распространения).

Из (1) и (2) можно получить следующее выражение для поразрядной арифметической функции:

$$F_{Ai} = F_{Li} \oplus (P_{i-1} \vee F_{L(i-1)} C_{i-1}). \quad (4)$$

Операция «плюс», выполняемая над многоразрядными операндами, включает в себя распространение переноса, которое описывается членом $F_{L(i-1)} C_{i-1}$ в (4). Таким образом, при переходе к арифметической операции над многоразрядными операндами, необходимо просто сложить логическую функцию и поразрядный перенос. Но логическая функция i -го разряда F_{Li} складывается с поразрядным переносом $i-1$ разряда P_{i-1} . Это эквивалентно сдвигу многоразрядного P на 1 разряд влево или умножению его на 2. Кроме того, необходимо учесть перенос в нулевой разряд C_0 . В результате получаем:

$$F_L = F_L + 2P + C_0. \quad (5)$$

Пользуясь этой формулой, можно вычислить выражения для арифметических функций, реализуемых при различных F_L и P . Для упрощения полученных выражений, кроме зако-

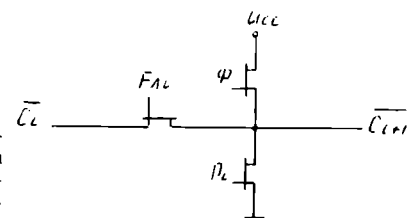


Рис. 2. Схема распространения переноса (i — разряд; Φ — тактирование предзаряда)

нов булевой алгебры, используются также следующие арифметико-логические соотношения:

1. $AVB = AV\bar{A}B = \bar{A} + \bar{A}B$
2. $A\bar{B}V\bar{A}B = \bar{A}B + \bar{A}B$
3. $ABV\bar{A}B = AB + \bar{A}B$
4. $AVB + AVC = AV(B+C)$ — при условии $BC \neq 1$
например: $AVB + AV\bar{B} = AV(B+\bar{B}) = A$
5. $A + \bar{A} = 1 \dots 1$
6. $A(1 \dots 1) = A$
7. $A + 1 \dots 1 = A - 1$

Справедливость этих соотношений может быть легко проверена. Соотношения (1)–(4) позволяют перейти от логической операции «ИЛИ» к арифметическому «плюсу» и наоборот. Операнды в этих выражениях таковы, что сложение производится без переноса. При этом несовпадающий в операциях «ИЛИ» ($1V1=1$) и «плюс» ($1+1=0$, перенос=1) вариант никогда не осуществляется.

Для примера вычислим арифметическую функцию при $F_A = A\bar{B}V\bar{A}B$ и $P = AB$.

$$F_A = (A\bar{B}V\bar{A}B) + AB + AB + C_0 = \bar{A}B + \bar{A}B + AB + AB + C_0 = A(B + \bar{B}) + B(A + \bar{A}) + C_0 = A + B + C_0,$$

т.е. при этих F_A и P осуществляется операция сложения.

В результате аналогичных преобразований могут быть вычислены выражения для всех 96 разрешенных на данном АЛУ арифметических функций и сведены в единую таблицу. При проектировании АЛУ для реализации необходимых арифметических функций можно выбрать из таблицы соответствующие значения вспомогательных функций F_A и P .

Описанный выше подход был использован при проектировании заказной микросхемы 4-канального 24-разрядного КМОП АЛУ. Микросхема предназначена для использования в кадровых телевизионных запоминающих устройствах для формирования независимых последовательностей адресов при вводе, обработке и выводе изображений. Микросхема имеет следующие основные технические характеристики:

Разрядность шины данных	24
Разрядность шины инструкций	5
Объем регистрового ЗУ, бит	32×5
Тактовая частота, МГц	54
Напряжение питания, В	5

Один из разрядов инструкции является переносом в нулевой разряд C_0 .

В таблице приведены выполняемые СБИС 24-разрядного АЛУ арифметические операции и необходимые для их реализации вспомогательные функции.

№ пп.	Инструкция INS_{io}	F_A	P	Операция АЛУ
1	0	A	0	$A + C_0$
2	1	AVB	0	$AVB + C_0$
3	2	AV \bar{B}	0	$AV\bar{B} + C_0$
4	3	11...1	0	$11...1 + C_0$
5	4	AB	$A\bar{B}$	$A + A\bar{B} + C_0$
6	5	B	$A\bar{B}$	$AVB + A\bar{B} + C_0$
7	6	$ABV\bar{A}B$	$A\bar{B}$	$A - B - 1 + C_0$
8	7	$\bar{A}VB$	$A\bar{B}$	$A\bar{B} - 1 + C_0$
9	8	$A\bar{B}$	AB	$A + AB + C_0$
10	9	$A\bar{B}V\bar{A}B$	AB	$A + B$
11	A	\bar{B}	AB	$AV\bar{B} + AB + C_0$
12	B	$\bar{A}B$	AB	$AB - 1 + C_0$
13	C	0	A	$A + A + C_0$
14	D	$\bar{A}B$	A	$(AVB) + A + C_0$
15	E	$\bar{A}\bar{B}$	A	$(AV\bar{B}) + A + C_0$
16	F	\bar{A}	A	$A - 1 + C_0$

Для других возможных применений микросхемы АЛУ набор реализуемых функций может быть изменен путем перепрограммирования блока, формирующего вспомогательные функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.Г., Шагурин Н.И. Микросхемотехника. М.: Радио и связь, 1990.
2. Мид К., Конвей Л. Введение в СБИС-системы: Перевод/Институт электронных управляющих машин, 1985.

КМОП БИС номерабираетеля с импульсным набором номера

БИС номерабираетеля с импульсным набором номера (КС1008ВЖ12) позволяет набирать телефонный номер до 22 знаков (цифр и пауз), делать повторный набор номера, хранить последний набранный номер, вводить паузу, выбирать скважность и межсерийную паузу.

Напряжение питания 1,5–12 В, ток потребления в режиме хранения номера при напряжении питания 1,5 В составляет 2 мкА.

Условия эксплуатации

Температура окружающей среды	–45...70°C
Температура хранения	–60...125°C
Относительная влажность воздуха при температуре 25°C	98%
Вибрационные нагрузки с ускорением в диапазоне частот от 1 до 2000 Гц	20 г
Линейные ускорения	500 г
Многочастотные удары с ускорением	150 г
Максимальная наработка	60000 ч
Срок хранения	6 лет

Предназначена для использования в телефонных аппаратах, подключаемых к стандартной телефонной сети.

Число выводов	18
Число элементов	4000
Плотность упаковок	330 элементов/мм ²
Масса	5 г

заменяя механический номерабираетель.

Микросхема выполнена на базе стандартной КМОП-технологии с поликремниевыми затворами и оформлена в 18-выводном стеклокерамическом корпусе 2104.18-8.01.

394042, г. Воронеж, НИИЭТ,
тел. (0732)22-90-85.

А.И.ГВОЗДЕВ, Н.Г.МЕДВЕДЕВ

Тенденция развития мощных СВЧ транзисторов для применения в радиовещании, телевидении и средствах связи

А.Я.КОСОЙ, В.В.АСЕССОРОВ, В.А.КОЖЕВНИКОВ

В последние годы существенно возросли требования к надежности и технико-экономическим показателям мощной передающей аппаратуры. При создании современных конкурентоспособных передатчиков мощностью до 5 кВт для радиовещания и телевидения отечественные и зарубежные фирмы, такие как Thomson (Франция), NEC (Япония), Harris (США), Telefunken (Германия), вынуждены переходить на твердотельную элементную базу. Преимущество твердотельных передатчиков по сравнению с ламповыми обусловлено такими факторами, как габариты и потребляемая мощность, надежность и высокие эксплуатационные характеристики, а также безопасность за счет использования низкого напряжения питания. Основной причиной, сдерживающей разработки твердотельных передатчиков, долгое время было отсутствие мощных СВЧ линейных транзисторов для построения схем оконечных каскадов станций. Таким образом, разработка мощных СВЧ транзисторов для аппаратуры радиовещания, телевидения и телекоммуникаций становится актуальной и приоритетной задачей.

Начиная с 1980 года Воронежский НИИ электронной техники является головным предприятием в отрасли, ответственным за выполнение государственных программ по созданию кремниевых СВЧ линейных транзисторов для применения в метровом и дециметровом диапазонах волн. НИИЭТ разработана целая серия приборов данного класса. Основные технические характеристики приборов для применения в телевизионных и радиовещательных передатчиках, ретрансляторах, а также базовых станций сотовой системы связи приведены в табл. 1 и 2.

В настоящее время создана широкая номенклатура мощных СВЧ транзисторов для применения в телевизионных устройствах, например телевизионных ретрансляторах с совместным усилением сигналов звука и изображения.

К данному классу приборов предъявляются чрезвычайно жесткие требования к линейности: коэффициент комбинационных составляющих м-диапазона при измерении трехтоновым методом должен составлять —53...—60 дБ. Поэтому класс СВЧ транзисторов с жесткой регламентацией к подавлению уровня комбинационных составляющих за рубежом получил название суперлинейных транзисторов. Такой высокий уровень линейности, как правило, реализуется только в режиме класса А, где можно максимально провести режимную линеаризацию передаточной характеристики.

В метровом диапазоне, как видно из данных табл. 2, имеется транзисторная линейка, представленная приборами типа КТ9116А,Б, КТ9133А и КТ9173А, с выходной мощностью в пике огибающей соответственно 5, 15, 30 и 50 Вт. В дециметровом диапазоне волн аналогичная линейка представлена приборами типа КТ983А,Б,В и КТ9150А с выходной мощностью соответственно 0,5, 1,0, 3,5 и 8 Вт. Ведется разработка суперлинейного транзистора с рекордной выходной мощностью в пике огибающей 25 Вт в ДМВ диапазоне.

Для создания современных телевизионных мощных передатчиков в оконечных каскадах требуются линейные транзисторы с выходной мощностью не менее 100—200 Вт. Разработчики аппаратуры при создании мощных телевизионных передатчиков добиваются одновременного обеспечения большого уровня выходного сигнала и приемлемых нелинейных искажений схемным путем, с разделением усилением звука и изображения в более энергетически выгодном режиме работы транзистора — в режиме класса АВ. Таким образом, возникла самостоятельная техническая задача создания мощных линейных СВЧ транзисторов для работы в режиме класса АВ с максимально возможной верхней границей линейного динамического диапазона. Линей-

Таблица 1

Линейные ТВ-транзисторы для работы в режиме класса АВ

Тип транзистора	Корпус	Схема включения	Диапазон рабочих частот, МГц	$P_{вых}$, Вт	$U_{пит}$, В	I_k , А	$K_{лн}$, раз	$K_{нр}$, раз	КПД, %
КТ9151АС	КТ-82	ОЭ	48—230	200	28	$2 \times 0,15$	1,25	5,0	55
КТ9174А	КТ-82	ОЭ	50—230	300	28	$2 \times 0,15$	1,25	4,0	55
2Т9155А	КТ-44	ОЭ	150—860	15	28	$2 \times 0,1$	1,25	4,5	35
2Т9155Б	КТ-44	ОЭ	150—860	50	28	$2 \times 0,1$	1,25	4,2	40
2Т9155В	КТ-82	ОЭ	150—860	100	28	$2 \times 0,1$	1,25	3,0	45
КТ9142А	КТ-44	ОЭ	470—860	50	28	$2 \times 0,15$	1,25	4,2	40
КТ9152А	КТ-82	ОЭ	470—860	100	28	$2 \times 0,1$	1,25	4,0	45
Г101А*	КТ-82	ОЭ	470—860	150	28	$2 \times 0,1$	1,25	5,0	50
КТ9172А	КТ-82	ОЭ	470—860	200	28	$2 \times 0,1$	1,25	4,0	45
2Т9156АС	КТ-44	ОЭ	650—1000**	15	28	$2 \times 0,05$	1,25	5,0	40
2Т9156БС	КТ-44	ОЭ	650—1000**	50	28	$2 \times 0,1$	1,25	4,0	50

* — внутрифирменный шифр (прибор находится на стадии разработки);

** — полоса частот.

Суперлинейные ТВ-транзисторы для работы в режиме класса А

Тип транзистора	Корпус	Схема включения	Диапазон рабочих частот, МГц	$P_{\text{вых}}$ в пике огибающей, Вт	$U_{\text{пит}}$, В	I_b , А	M , дБ	$K_{\text{ур}}$, раз
КТ9116А	КТ-56	ОЭ	170—230	5	28	1,2	58	25
КТ9116Б	КТ-56	ОЭ	170—230	15	28	2,6	—55	10
КТ9133А	КТ-56	ОЭ	170—230	30	28	3,5	—53	5,6
КТ9173А	КТ-45	ОЭ	170—230	50	28	2×2,3	—45	10
2Т983А	КТ-17	ОЭ	470—860	0,5	25	0,2	60	4
2Т983Б	КТ-17	ОЭ	470—860	1	25	0,35	60	3,6
2Т983В	КТ-17	ОЭ	470—860	3,5	25	0,8	—60	3,2
КТ9150А	КТ-81	ОЭ	470—860	8	25	2×0,9	—58	7,1
Г103*	КТ-44	ОЭ	470—860	25	25	2×1,6	45	6

* — внутрифирменный шифр (прибор находится на стадии разработки).

Таблица 3

Мощные СВЧ генераторные транзисторы

Тип транзистора	Корпус	Схема включения	Класс работы	Диапазон рабочих частот, МГц	P , Вт	$U_{\text{пит}}$, В	$K_{\text{ур}}$, раз	КПД, %
2Т9128АС	КТ-45	ОЭ	С	100—200	200	28	5,5	60
2Т9147АС	КТ-82	ОЭ	С	200—400	160	28	6,0	50
2Т9132АС	КТ-44	ОЭ	С	350—700*	140	30	3,5	55
2Т9153АС	КТ-44	ОЭ	АВ	390—840*	15	28	6,0	40
2Т9153БС	КТ-44	ОЭ	АВ	390—840*	50	28	5,1	50

* — полоса частот.

Таблица 4

Мощные СВЧ низковольтные транзисторы для мобильных средств связи

Тип транзистора	Корпус	Схема включения	Класс работы	Диапазон рабочих частот, МГц	$P_{\text{вых}}$, Вт	$U_{\text{пит}}$, В	$K_{\text{ур}}$, раз	КПД, %
2Т9175А	**	ОЭ	С	100—500	0,5	7,5	10	55
2Т9175Б	**	ОЭ	С	100—500	2	7,5	6,0	55
2Т9175В	**	ОЭ	С	100—500	5	7,5	4,0	55
Г117А*	**	ОБ	С	800—960	2	12,6	5,0	50
Г117Б*	**	ОБ	С	800—960	7	12,6	4,0	50
Г117В*	**	ОБ	С	800—960	15	12,6	3,2	50

* — внутрифирменный шифр (прибор находится на стадии разработки);
** — корпус типа «Подвиж» (новая разработка).

ность для такого класса приборов по аналогии с зарубежной терминологией оценивается по уровню компрессии (сжатия) коэффициента усиления по мощности на 1 дБ. В метровом диапазоне волн для применения в классе

АВ имеется транзистор КТ9151А с выходной мощностью 200 Вт. В разработке находится транзистор с $P_{\text{вых}}=300$ Вт в классе АВ. В дециметровом диапазоне волн разработана линейка транзисторов 2Т9155А, 2Т9155Б (КТ9142А).

2Т9155В (КТ9152А) с выходной мощностью соответственно 15, 50 и 100 Вт. Ведется разработка линейного транзистора с рекордным уровнем выходной мощности 200 Вт в ДМВ диапазоне.

На основе суперлинейных транзисторов типа КТ9116А,Б и КТ9150А Московский научно-исследовательский телевизионный институт разработал серию современных телевизионных ретрансляторов типа «Рутан» в метровом и дециметровом диапазонах волн. В свое время разработка мощных СВЧ линейных транзисторов типа КТ9142А, КТ9152А КТ9151А была проведена в рамках общегосударственной программы по созданию пяти киловаттных телевизионных передатчиков типа АТРС-5/0,5, «Рица» и «Лама». Передатчики разрабатывались в Российском институте мощного радиостроения (г. Санкт-Петербург).

Мощные линейные СВЧ транзисторы помимо специального использования в телевизионных системах в последнее время начинают широко применяться при построении базовых станций сотовой системы связи. Обобщая сказанное, можно заключить, что по своему техническому уровню разработанные мощные СВЧ линейные транзисторы находятся, а в некоторых случаях превышают достижения ведущих зарубежных фирм в аналогичном классе приборов.

Новые современные тактико-технические требования к разрабатываемой РЭА определяют необходимость развития соответствующей элементной базы даже в таком традиционном направлении, как создание мощных СВЧ генераторных транзисторов для связной аппаратуры. Как видно из данных табл. 3 и 4 для стационарных и бортовых станций для каждого из связных поддиапазонов созданы широкополосные СВЧ транзисторы с рекордным уровнем мощности: в диапазоне частот 100—200 МГц — $P_{\text{вых}} = 200$ Вт; в диапазоне частот 200—400 МГц — $P_{\text{вых}} = 160$ Вт (в разработке находится прибор с $P_{\text{вых}} = 250$ Вт); в диапазоне частот 350—700 МГц — $P_{\text{вых}} = 140$ Вт. С использованием

данной элементной базы могут быть созданы самые мощные конкурентоспособные передатчики.

Для мобильных и носимых портативных средств связи ведущими зарубежными фирмами уже создана и продолжает создаваться весьма широкая номенклатура СВЧ транзисторов. В НИИЭТ в развитие данного класса приборов имеются соответствующие разработки. Так, для диапазона 100—500 МГц разработана серия транзисторов с выходной мощностью 0,5, 2 и 5 Вт при напряжении питания 7,5 В (КТ9175А,Б,В). В дециметровом диапазоне частот разработана серия транзисторов в диапазоне частот 800—960 МГц с выходной мощностью 2, 7, 15 Вт при напряжении питания 12,6 В.

В настоящее время с целью удешевления портативной и мобильной аппаратуры проводятся работы по созданию мощных СВЧ транзисторов в пластмассовых корпусах типа ТО-220 в диапазоне частот до 400 МГц и выходной мощностью до 40 Вт. Разрабатываемые мощные СВЧ транзисторы, вероятно, смогут заменить приборы таких массовых серий, как КТ920, КТ925, КТ922, КТ606, КТ907 и т.д.

При положительных результатах экономическая выгода несомненна и приборы в пластмассовых корпусах найдут широкое применение в народнохозяйственной радиоаппаратуре.

Проводимый в данной статье краткий обзор по развитию некоторых приоритетных направлений разработки мощных СВЧ транзисторов показывает, что все созданные транзисторы отвечают самым высоким техническим требованиям и могут быть использованы в качестве элементной базы для создания современной радиовещательной, телевизионной и другой народнохозяйственной аппаратуры.

Коллектив разработчиков НИИЭТ готов рассмотреть предложения заинтересованных предприятий и лиц по совершенствованию и развитию данного направления. Наш контактный телефон (0732) 23-78-73.

Разработка аппаратуры магнитной записи в НИИ электронной техники

В.В.ЗАРУЦКИЙ, В.В.ЧАСОВСКИХ

Стремительное насыщение отечественного рынка бытовой аппаратуры магнитной записи (БМЗ) изделиями зарубежных производителей практически любых классов и по сопоставимым ценам ставят разработчиков перед необходимостью оперативного реагирования как в плане создания изделий с наиболее современными функциональными возможностями и скорейшей модернизации выпускаемой продукции, так и разработки принципиально новых изделий.

Научно-исследовательские работы по созданию каскадной БМЗ коллектив института проводит с 1970 г. по настоящее время. Несмотря на быстро меняющуюся конъюнктуру рынка, главным потребителем нашей аппаратуры является молодежь. Поэтому основная задача разработчиков — создание простой, надежной и относительно дешевой аппаратуры.

Серийно выпускаемые магнитофоны "Электроника" в сравнении с аналогичными изделиями других фирм имеют малые массогабаритные характеристики, минимальное количество радиоэлементов, расширен-

ные потребительские функции. В целях сокращения сроков внедрения в серийное производство новых видов БМЗ сначала проводится разработка базовой модели с максимальным набором необходимых потребительских функций, что позволяет получить семейство различных магнитофонов, упрощая изделие или дополняя базовую модель другими функциональными блоками и устройствами и достаточно быстро реагировать на конъюнктуру рынка. В связи с этим особое значение приобретает создание таких базовых узлов, как ЛПМ и электронных блоков, позволяющих осуществлять выбор функционального набора возможностей и значений основных параметров без изменения технологии производства и основной инструментальной оснастки.

Так, разработано семейство малогабаритных переносных каскадных магнитофонов, обладающих достаточной конкурентоспособностью в своем классе. Их технические характеристики см. в таблице, а внешний вид показан на рис.1—5.

Ведутся работы по созданию и отладке опытных

Техниче-ские харак-теристики	Модели БМЗ «Электроника»				
	М327	М332С	PM340	М334С	П401С
АРУЗ	*	*	*	*	—
Встроенный электретный микрофон		*	*	*	—
Ручной поиск фонограмм с механическим управлением и контролем на слух				*	—
Автостоп	*			*	*
Режим «Пауза»	*				—
Индикация режима «Запись»					—
Индикация разряда батарей			—		—
Переключатель типа ленты	*				—
Скорость движения ленты	4,76	4,76/2,38	4,76	4,76/2,38	4,76
Питание: — от сети переменного тока 220 В	*	—		—	—
— от бортовой сети автомобиля 12 В	*	*		*	—

Техниче-ские харак-теристики	Модели БМЗ «Электроника»				
	М327	М332С	PM340	М334С	П401С
— от бата-рей	6 шт. А343	4 шт. А316	6 шт. А343	6 шт. А343	4 шт. А316
— от сетево-го адаптера	—	6В	—	—	6В
Максимальная выходная мощность, Вт	2	0,03, 0,2, 0,8	2,5	2×2	0,03
Воспроизведение на наушники	—	*	*		*
Возможность подключения 2-х пар наушников	—	*	—		*
Встроенный громкоговоритель	*		*	*	*
Выносная акустическая система	—	—	*	—	—
Выносная активная акустическая система	—	*	—	—	—
Эквалайзер	—	—	3-; полосн.	4-х полосн.	—
Радиоприемник СВ и/или УКВ	—	—	*	—	УКВ
Габариты, мм	330×157×88	161×103×43	340×145×76	422×133×132	145×100×38
Масса, кг	2,1	0,48	1,8	2,6	0,3

образцов мини-ЛПМ нового поколения с электронно-логическим управлением. Его габаритные размеры 128х63,5х21,5 мм. На базе этого ЛПМ появляется возможность создания групп новых изделий, обладающих самыми современными функциями. Так, например, прорабатывается возможность разработки телефонного автоответчика, обладающего такими функциями, как: пересылка поступающих сообщений на другой телефон; дистанционный опрос автоответчика с другого телефона при помощи карманного кодового устройства; дистанционное изменение речевого сообщения; опрос последних сообщений; дистанционное отключение или подключение прибора и др.

ЛПМ будет применен в разрабатываемой мини-магнитоле "Электроника РМ-350", работающей в УКВ-диапазоне. Высокая плотность ее компоновки (габаритные размеры 130х90х35 мм) определяется также выполнением схемотехники на новой элементной базе с применением поверхностного монтажа, интегральных и гибридных микросхем в ЧИП-исполнении.

Модель обладает следующими функциями:

- автоматическая регулировка уровня записи;
- напряжение питания от автономных и внешних источников питания 3 В;
- автостоп;
- встроенный электретный микрофон;
- квазисенсорное управление;
- индикатор режима "Запись";
- режим "Пауза";
- ручной поиск фонограмм с контролем на слух.

Перспективные технические характеристики упомянутого ЛПМ определяют использование его и в других новых разработках. Так, создается семейство минидиктофонов, а один из которых, "Электроника ДФ-301", закладываются следующие показатели и характеристики:

- габаритные размеры 164х88х26 мм;
- запись на кассету МК-90 до 6 ч;
- наличие выносного шумозащищенного микрофона;



Рис. 1. Монофонический магнитофон «Электроника М327»



Рис. 4. Блочный стереокомплекс «Электроника М334С»



Рис. 2. Стерефонический мини-магнитофон «Электроника М332С»



Рис. 5. Стерефонический плейер «Электроника П401С»



Рис. 3. Монофоническая магнитола «Электроника PM340»

- наличие часов, таймера;
- УКВ-радиоприемник;
- номинальная скорость движения магнитной ленты 2,38 см/с;
- дополнительная номинальная скорость движения ленты 1,2 см/с;
- полный эффективный частотный диапазон 250–5000 Гц;
- номинальное напряжение питания 3 В;
- индикация наличия записываемого сигнала;
- автоматическое включение и выключение режима "Запись" в заданное время;
- автоматическое включение и выключение диктофона в режиме "Запись" по наличию звукового сигнала от микрофона.

Кроме этого диктофон комплектуется: блоком с дополнительным автономным источником питания; блоком питания от бортовой сети автомобиля; блоком питания от сети переменного тока; блоком радиомикрофона.

Данная серия разработок потребовала как новой элементной базы, так и новых сопутствующих компонентов, таких как капсульные электретные микрофоны. К ним относятся: МКЭ-332 – односторонне направленный микрофон с характеристикой направленности, близкой к кардиоиде, и МКЭ-333 – ненаправленный микрофон с характеристикой, близкой к круговой. С использованием этих капсул могут быть созданы микрофоны: моно и стерео, петличные, репортерские и т.д. Их технические характеристики:

- номинальный диапазон частот 50–1500 Гц;
- чувствительность по свободному полю на частоте 1000 Гц не менее 3 мВ/Па;
- модуль полного сопротивления переменному току на частоте 1000 Гц 600 ± 120 Ом;
- средний перепад уровней чувствительности "фронт-тыл":
- у микрофона МКЭ-333 не более 3 дБ;
- у микрофона МКЭ-332 не менее 12 дБ;
- напряжение питания 1,5 – 9 В;
- габаритные размеры 10,5х6,5 мм;
- масса 1 г.

Микрофон конденсаторный электретный МФЭ-335 (в комплекте с согласующим устройством и источником автономного питания):

- номинальный диапазон частот 50–15000 Гц;
- уровень среднего звукового давления, обусловленный собственным шумом микрофона, относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па (по кривой А) – не более 35 дБ;
- полное электрическое сопротивление на частоте 1000 Гц – 600 ± 120 Ом;
- чувствительность по свободному полю на частоте 1000 Гц – не менее 3,0 мВ/Па;
- масса микрофона с согласующим устройством не более 55 г.

Микрофон капсульный электретный МКЭ-321, предназначенный для телефонных аппаратов общего применения, по сравнению с угольными микрофонами имеет значительно лучший уровень собственных шумов, позволяющий улучшить качество телефонной связи. Кроме того, при небольшой его доработке появляется возможность добиться несопоставимого с традиционными микрофонами уровня помехозащищенности, причем данный параметр можно по заказу делать отключаемым, т.е. в режиме телефонного разговора слышен только голос абонента, без прослушивания других звуков и шумов в помещении, а в режиме, например, охраны (про-

слушивание помещения с другого телефона с помощью кодового устройства) слышны все звуки и шумы без ограничения. Применение данного микрофона с высокой помехозащищенностью особенно важно для мобильных средств связи, работающих в условиях больших окружающих помех (движущийся автомобиль, самолет и т.п.).

Ведутся подготовительные работы по созданию комплекта радиомикрофона МКЭ-336, позволяющего делать, например, дистанционную запись на диктофон или использоваться им при выступлении на сцене, без мешающего микрофонного шнура. Его характеристики:

- выходная мощность передатчика около 10 мВт, что обеспечивает дальность действия на открытом пространстве не менее 50 м;
- отношение сигнал/шум на выходе приемника не менее 40 дБ;
- рабочая частота передатчика и приемника 58 или 59 мГц.

С целью получения перспективного задела по разработке семейства малогабаритной аппаратуры магнитной записи выполняется комплекс работ по созданию базовых конструкций функциональных модулей, узлов и блоков с применением новой элементной базы и высокими техническими параметрами. К ним относятся: усилители воспроизведения, усилители записи, усилители мощности, генераторы стирания и подмагничивания, системы шумопонижения, усилители записи-воспроизведения, всеволновый блок радиоприемника. Они имеют следующие технические параметры:

Усилитель воспроизведения (УВ)

	УВ1	УВ2
номинальное напряжение питания, В	3,0	$\pm 15,0$
коэффициент гармоник, %, не более	1,0	0,5
полное взвешенное отношение сигнал/шум, дБ, не менее	50	60
диапазон рабочих частот при воспроизведении магнитной головкой типа ЗД24.810, Гц, не менее:		
с магнитной лентой Fe МЭК I	40–12500	31,5–16000
с магнитной лентой Cr МЭК II	40–14000	31,5–18000

Усилитель записи (УЗ)

	УЗ1	УЗ2	УЗ3
номинальное напряжение питания, В	3,0	6,0	$\pm 15,0$
диапазон рабочих частот при записи магнитной головкой ЗД24.810, Гц, не менее:			
с магнитной лентой Fe МЭК I	40–10000	40–12500	31,5–14000
с магнитной лентой Cr МЭК II	40–12500	40–14000	31,5–16000

Усилитель мощности (УМ)

	УМ1	УМ2	УМ3
номинальное напряжение питания, В	9	12	12
максимальная выходная мощность, ограниченная искажениями 1%, Вт, не менее	2,0	4	15
эффективный частотный диапазон, Гц, не уже	31,5—16000	20—20000	20—22000

Генератор стирания и подмагничивания (ГСП)

	ГСП1	ГСП2	ГСП3
номинальное напряжение питания, В	3,0	6,0	±15,0
напряжение высокочастотного подмагничивания, В, не менее	20	22	25
регулировка тока подмагничивания	ручная	ручная	автоматическая

Система шумопонижения (ШП)

	ШП1	ШП2
номинальное напряжение питания, В	9	±15,0
уменьшение уровня шумов на частоте 10000 Гц, дБ, не менее	10	20

Усилитель записи-воспроизведения (УЗВ)

	УЗВ1	УЗВ2
номинальное напряжение питания, В	6	±15,0
полное взвешенное отношение сигнал/шум, дБ, не менее	56	60
диапазон рабочих частот записи—воспроизведения, Гц, не менее:		
с магнитной лентой Fe МЭК I	40—12500	31,5—14000
с магнитной лентой Сг МЭК II	31,5—14000	31,5—16000
регулировка тока подмагничивания	ручная	автоматическая

Блок радиоприемника

Диапазон принимаемых частот, МГц:	
ДВ	0,144—0,297
СВ	0,522—1,647
КВ	5,850—6,300
	7,000—7,400
	9,450—9,900
УКВ1	65,800—74,020
УКВ2	87,500—108,000
Чувствительность тракта АМ, ограниченная шумами при отношении сигнал/шум	

не менее 20 дБ, по напряжению со входа для внешней антенны, мкВ, не хуже, в диапазонах:

ДВ	200
СВ	100
КВ	100

Чувствительность тракта ЧМ, ограниченная шумами в монорежиме при отношении сигнал/шум не менее 26 дБ по напряжению со входа для внешней антенны, мкВ, не хуже — поиск радиостанций (обзор) автоматический

Помимо данных электронных блоков к этой же гамме функциональных модулей относится и создаваемый лентопротяжный механизм со следующими параметрами и функциями:

- взвешенное значение детонации, %, не более ±0,15;
- скорость движения магнитной ленты, см/с 4,76;
- дополнительная скорость движения ленты, см/с 9,53;
- квазисенсорное управление режимами работы ЛПМ;
- электронная защита записи;
- автоматический останов по окончании ленты;
- электронный счетчик расхода ленты;
- таймерное включение;
- ручной поиск фонограмм с контролем на слух;
- программируемый автоматический поиск фонограмм по паузам между ними с включением режима "Воспроизведение".
- автоматический обзор,
- откат после записи с контролем на слух и с включением режима "Воспроизведение",
- режим "Возврат" (переход из режима "Автостоп" по окончании ленты в кассете в режим перемотки назад и через "Автостоп" в режим "Воспроизведение",
- возможность использования дистанционного управления режимами ЛПМ.

К другим сопутствующим компонентам, разработка которых находится в стадии отработки и испытаний опытных образцов, можно отнести создание изодинамических головных телефонов (наушников), имеющих следующие основные технические характеристики:

Диапазон воспроизводимых частот, Гц	20—20000
Отдача средняя, дБ/мВт	91
Неравномерность частотной характеристики по звуковому давлению в диапазоне воспроизводимых частот, дБ, не более	25
Номинальное электрическое сопротивление каждого наушника, Ом	70

С целью дальнейшего расширения номенклатуры товаров народного потребления прорабатывается вариант конструкции данных наушников, позволяющих не только прослушивать музыкальные и речевые программы от бытовой стереофонической звуковоспроизводящей аппаратуры, но и радиопрограммы УКВ в монофоническом режиме. Такие наушники имеют регулятор громкости и переключатель диапазонов УКВ 1 и УКВ 2 (частоты 65,8—74,0 и 87,5—108,0 мГц). Чувствительность их со входа антенны, при отношении сигнал/шум 26 дБ, не хуже 25 мкВ.

Проводимые разработки при интенсивной их производственной поддержке позволяет начать эффективное наполнение рынка бытовых звукозаписывающих и воспроизводящих устройств конкурентноспособными товарами.

ПРЕДЛАГАЕТ

**Базовые матричные кристаллы высокой емкости
К1548ХМ4 (ТРАП-1) и ТРАП-50**

ПРИМЕНЯЮТСЯ В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУЗАКАЗНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАТРИЧНЫХ БИС (БИСМ) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ ПОТРЕБИТЕЛЯ.

В БМК обеспечены: полная совместимость по уровням вход-выход с ТТЛ ИС; высокая нагрузочная способность: $T_n = 10$ мА, $C_n = 50$ пФ; повышенная стойкость БИСМ к внешним воздействующим факторам.

Исполнение — планарный металлокерамический корпус с четырехсторонним расположением выводов: К1548ХМ4 — 208-выводной, ТРАП-50 — 256-выводной; шаг выводов 0,625 мм.

Порядок разработки — в соответствии с требованиями ГОСТ 27394-87. Возможны уточнения по согласованию с заказчиком.

Микросхему двухтональный генератор КР1091ГП1

ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХТОНАЛЬНОГО СИГНАЛА ПО ВЫЗОВУ АТС

Напряжение питания формируется из сигнала вызова АТС. Исполнение — 8-выводной пластмассовый ДИП корпус типа 2101.8-1.

Низкое потребление тока допускает параллельную работу четырех приборов. Встроенный мостовой выпрямитель и схема с диодами Зенера обеспечивают защиту микросхемы от перенапряжений в линии. Обеспечено минимальное количество внешних навесных элементов. Тональная частота и частота манипуляции регулируются внешними элементами. Гистерезис включения/выключения определяется входным напряжением.

Диапазон рабочих температур — от -10 до 70°C .

Максимальное переменное напряжение вызова при отношении времени сигналов вызов/пауза не более 1/2 **200 В**
Непрерывное переменное напряжение вызова **120 В**
Выходные частоты, генерируемые микросхемой (тональная манипуляция)

f_1 **2,29...2,8 кГц**
 f_2 **1,69...2,1 кГц**
Частота манипуляции **5,25...9,75 Гц**
(типичная 7,5 Гц)

	К1548ХМ4 (ТРАП-1)	ТРАП-50
Число матричных вентиляей	10000	50000
Число периферийных вентиляей	176	196
Напряжение питания вентиляей, В		
матричных	$2,0 \pm 10\%$	$1,5 \pm 10\%$
периферийных	$5,0 \pm 10\%$	$5,0 \pm 10\%$
Мощность потребления матричного вентиляей, тип., мВт	0,2	0,1
	(мощный),	(мощный),
	0,12 (мало-мощный)	0,05 (мало-мощный)
Время задержки переключения матричного вентиляей, тип., нс	1,5	1,0
	(мощный),	(мощный),
	3,0 (мало-мощный)	2,5 (мало-мощный)
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$-60...125$	$-60...125$

Микросхему К1176АП1 для защиты полевого транзистора

ДЛЯ ЗАЩИТЫ МОП-ТРАНЗИСТОРА ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЗ-ЗА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТВОРОМ

Обеспечивает активное выключение транзистора. Исполнение — трехвыводной пластмассовый корпус типа ТО-92. Характеризуется отсутствием навесных элементов. Диапазон рабочих температур — от -10 до 70°C .

Входное напряжение **5...10 В**
Выходной заряжающий ток **не более 50 мА**
Выходное напряжение **не более 13 В**
Время разряда конденсатора, $U_{вх} = (9-1) В$
емкостью 1000 пФ **не более 15 нс**
емкостью 1 мкФ **не более 250 нс**

Микросхема найдет широкое применение в устройствах управления вентиляльными двигателями, в импульсных источниках питания и в других устройствах промышленного и бытового назначения.

Поставки по согласованным ценам.
Адрес: 394042, г. Воронеж, Ленинский проспект, 119А.
Телефон: (0732) 22-92-05 В.Н.Аверин.

ПРЕДЛАГАЕТ

Микросхему «Трель»

*БИПОЛЯРНЫЙ ОДНОКРИСТАЛЛЬНЫЙ МАЛО-
ПОТРЕБЛЯЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК
ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДИОВЫЗОВА*

Служит для приема частотно-манипулированного сигнала с несущей частотой 30—174 МГц. Предназначен для создания малогабаритных персональных приемников радиовызова с питанием от батареек.

Микросхема содержит:

гетеродин с внешним кварцевым резонатором и утроителем частоты; частота кварца в три раза ниже частоты принимаемой несущей и составляет 10—58 МГц в зависимости от канала;

смеситель с предварительным усилением промежуточной частоты, составляющей 2 кГц;

четырёхкаскадный усилитель промежуточной частоты с выходным амплитудным ограничителем, схему автоподстройки частоты гетеродина, частотный детектор, выходной ключевой каскад, обеспечивающий размах выходных импульсов не менее 0,8 В;

схему индикации разряда батареек.

Чувствительность приемника по входу	0,3 мкВ
Частота появления ошибок на выходе при входном сигнале 1 мкВ	0,001 1/бит
Время переключения на выходе	50 мкс
Напряжение срабатывания схемы индикации разряда батареек	2,035—2,235 В
Напряжение источника питания	2—3,5 В
Потребляемый ток	
в режиме приема	не более 3,3 мА
в режиме «выключено»	1,0 мкА

Микросхема требует минимального количества внешних R, L, C элементов. Исполнение — малогабаритный 28-выводной пластмассовый корпус типа 4323.28-А.

**Высокопроизводительную
8-разрядную
однокристалльную микроЭВМ
КР1830ВЕ51(31)**

ИЗГОТОВЛЕННУЮ ПО КМОП-ТЕХНОЛОГИИ

Применяется в составе широкого класса вычислительных и управляющих устройств для различных отраслей народного хозяйства.

Отличительные особенности:

высокое быстродействие — длительность одного цикла выполнения команды 1 мкс при частоте тактового генератора 12 МГц;

масочно-программируемое по заказу пользователя ПЗУ 4096 байт;

встроенная память данных емкостью 128 байт;

четыре порта ввода/вывода; два 16-разрядных таймера/счетчика;

двухуровневая система прерываний; стек глубиной 128 байт;

возможность обращения к внешнему ПЗУ программ до 64 Кбайт;

выполнение 111 команд, обеспечивающих прямую побайтовую и побитовую адресацию, двоичную и двоично-десятичную арифметику, индикацию переполнения и определение четности/нечетности, возможность реализации логического процессора;

пластмассовый 40-выводной корпус типа 2123.40-11 (источника «1»), 48-выводной корпус типа Н16.48-2В (приемка «5»);

работа одного источника питания 5 В при типовой потребляемой мощности 120 мВт и частоте тактового генератора 12 МГц;

полная совместимость с КМОП и ТТЛ микросхемами.

Выпускаются с приемкой «1» и «5». Принимаются заказы на программирование встроенного ПЗУ программ.

Адрес: 394042, Воронеж, Ленинский проспект, 119А.
Телетайп: 153154 ТАИМ.
Телефакс: (0732) 22-59-93.
Телефон (0732) 23-42-75 — Крюков Валерий Петрович, Никифоровский Владимир Тимофеевич.

ПРЕДЛАГАЕТ

**Микросхему двухканального
усилителя низкой
частоты КР1054УН1**

ДЛЯ УСИЛЕНИЯ МОНО-И СТЕРЕОЗВУКОВЫХ
СИГНАЛОВ

Применяется в качестве усилителя мощности низкой частоты в составе переносных радиоприемников, моно- и стереомагнитофонов, другой аппаратуры с питанием от батареи и выходом сигнала на головные телефоны. Не требует внешних дополнительных элементов.

Выполнена в 8-выводном пластмассовом корпусе типа 2101.3-1, ГОСТ 17467-88.

Полоса воспроизводимых частот 31,5 Гц — 20 кГц при неравномерности АЧХ ± 2 дБ.

Адрес: 394042, Воронеж, Ленинский проспект, 119А.
Телетайп: 153154 ТАИМ.
Телефакс: (0732) 22-59-93.
Телефон (0732) 23-42-75 — Крюков Валерий Петрович, Никифоровский Владимир Тимофеевич.

Основные электрические параметры

Наименование параметра	Значение параметра			Режим измерения
	мин.	тип.	макс.	
Ток потребления микросхемы в состоянии покоя, мА		3,2	4,0	$V_{cc} = 3$ В
Выходная мощность в режиме «моно», мВт	—	150	—	$V_{cc} = 4,5$ В $f = 1$ кГц $R_L = 64$ Ом
Выходная мощность в режиме «стерео», мВт	—	75	—	$V_{cc} = 3$ В $f = 1$ кГц $R_L = 32$ Ом
Коэффициент усиления по напряжению в режиме «моно», дБ	—	32	—	$V_{cc} = 3$ В $f = 1$ кГц $R_L = 32$ Ом
Коэффициент усиления по напряжению в режиме «стерео», дБ	24,5	26	27,5	$V_{cc} = 3$ В $f = 1$ кГц $R_L = 32$ Ом

Поставка — по согласованным ценам.

Силовые диоды Шотки КД268...КД273

Диоды Шотки и диодные сборки с общим катодом предназначены для работы во вторичных цепях импульсных источников питания.

Прямой средний ток	
КД268	3А
КД269	5А
КД270	7,5 А
КД271	10 А
КД272	15 А
КД273	20 А
Постоянное обратное напряжение	—25...400 В
Постоянное прямое напряжение	0,65...1,1 В
Время обратного восстановления	10...60 нс

Конструктивно диоды Шотки и диодные сборки выполнены в пластмассовом корпусе КТ-28 (ТО-220).

394042, Воронеж, Ленинский проспект, 119А, НИИ электронной техники.
Тел. (0732) 22-99-11, 22-92-05.

ПРЕДЛАГАЕТ

Однослойные эпитаксиальные
кремниевые структуры
 pn^+ , pn^+n^- -типов для БИС,
СБИС и СВЧ транзисторов

Наименование параметра	Значение параметра	Примечание
Легирующий элемент эпитаксиального слоя	As	
Удельное сопротивление эпитаксиального слоя, Ом·см	0,2—4,5	Допустимое отклонение от номинала $\pm 20\%$
Толщина эпитаксиального слоя, мкм	1,0—8,0	Допустимое отклонение от номинала $\pm 10\%$ при уровне доверительной вероятности 0,95 (при 100% контроле рабочих пластин бесконтактным методом)
Легирующий элемент подложки	Sb, As, P	
Удельное сопротивление подложки, Ом·см	0,01 4,5—20 0,003	для подложки ЭКЭС для подложки КЭФ для подложки КЭМ
Ориентация подложки	1. (111) с разориентацией 4° 2. (100)	
Диаметр пластин, мм	76, 100 100	для pn^+ -структур для pn^+n^- -структур

Примечание: для pn^+n^- -структур n^+ -слой легирован сурьмой $R_s = 20 \div 50$ Ом/кв.кв.

394042, Воронеж, Ленинский проспект, 119А.

Телефоны: (0732) 22-92-20, 22-95-38

Яценко Николай Григорьевич.

Телетайп 153-154 «ТАЙМ».

Телефакс (0732) 22-59-93.

Эпитаксиальные структуры кремния со
скрытыми слоями n^+ и p^+ -типов для
БИС и СБИС

Наименование параметра	Значение параметра	Примечание
Легирующий элемент эпитаксиального слоя	As	
Удельное сопротивление эпитаксиального слоя, Ом·см	0,2—4,5	Допустимое отклонение от номинала $\pm 20\%$
Толщина эпитаксиального слоя, мкм	1,0—8,0	Допустимое отклонение от номинала $\pm 10\%$ при уровне доверительной вероятности 0,95 (при 100%-ном контроле рабочих пластин бесконтактным методом)
Легирующий элемент скрытого слоя	Sb, B	
Поверхностное сопротивление скрытого n^+ -слоя, Ом/кв.кв.	24, 17	
Толщина скрытого n^+ -слоя, мкм	2,0—3,6	
Поверхностное сопротивление скрытого p^+ -слоя, Ом/кв.кв.	100—1500	
Относительное смещение контуров фотолитографического рельефа скрытых слоев	на ЭСС (111) не более 15%; на ЭСС (100) нет	
Ориентация подложки	1. (100) 2. (111) с разориентацией 4° ; 8° по направлению [112] к ближайшей плоскости (110)	
Диаметр пластин	1. 76, 100 2. 100	для ориентации (111) для ориентации (100)

ПРЕДЛАГАЕТ

Интегрированную технологию ПЛИС+БМК

Использование ПЛИС XC2064 (Xilinx Inc.) в разработках обеспечивает получение в течение четырех недель БИС-прототипов на БМК с приемкой «5».

Возможна разработка и поставка проектов на ПЛИС XC2064 Xilinx Inc. (1200 вентиляей); перенос (контакт в контакт) отлаженных проектов на «плисоподобный» базовый матричный кристалл; тиражирование проектов на БМК.

Технологические идеи заказчика реализуются на БИС, надежно работающих в жестких условиях эксплуатации.

Выполняется:

разработка проектов по интегрированной технологии ПЛИС+БМК; стоимость 500—900 долл.; разработка, изготовление и поставка БМК

версии цифровых устройств на ПЛИС XC2064 для замены контакт в контакт. Цена одного кристалла при минимальном заказе 2 тыс.шт. 6—10 долл.;

поставка и сопровождение инструментальных средств разработки радиоэлектронной аппаратуры — САПР ПЛИС+БМК.

САПР обеспечивает:

проектирование на ПЛИС XC2064;
программирование и тестирование XC2064;
перенос отлаженного проекта ПЛИС на БМК.

Предлагаются консультирование и информационные услуги. Оплата — в рублях по курсу ММВБ.

Семейство базовых матричных кристаллов «Титул»

ПРИМЕНЯЮТСЯ В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУЗАКАЗНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ БИС ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ ПОТРЕБИТЕЛЯ.

Семейство БМК состоит из четырех вентиляемых матриц — «Титул 4», «Титул 16», «Титул 22» «Титул 30», изготовленных по 2-микронной КМОП технологии с поликремниевыми затворами и двухуровневой металлизацией. Архитектура матрицы — бесканальная, типа «море вентиляей». Тип базового вентиля — КМОП, непрерывный ряд транзисторов с принципом «затворной изоляции». Тип переферийного вентиля — КМОП, обеспечивает совместимость по уровням входных-выходных сигналов с ТТЛ и КМОП ИС, управление скоростью выходного сигнала.

Метод проектирования полузаказных СБИС — символьный, на основе библиотеки функциональных элементов БМК, с использованием САПР. Библиотека содержит 65 логических элементов, 9 макрофрагментов и более 10 переферийных элементов.

Используются корпуса с матричным расположением выводов (68—145) и пластмассовые типа FP.

Поставка полузаказных СБИС — по согласованным ценам. Порядок разработки — в соответствии с требованиями ГОСТ 27394-87, возможны уточнения по требованию заказчика.

Основные характеристики семейства БМК «Титул»

Параметр	Титул 4	Титул 16	Титул 22	Титул 30
Число базовых вентиляей	4464	16000	22000	30000
Общее число контактных площадок	88	154	188	202
из них для подключения				
общей шины	8	8	12	12
шины питания	4	4	8	8
сигнальных шин	66	142	168	182
Размер кристалла, мм	4,9×4,6	7,7×7,9	8,7×8,7	10,2×10,2

Напряжение питания 5±0,25 В

Время задержки распространения сигнала для базового вентиля при коэффициенте разветвления 2 и длине связи

1 мм, не более 2,0 нс/вент.

Потребляемая мощность базового вентиля

в статическом режиме, не более 100 нВт/вент.

в динамическом режиме на частоте

1 МГц, не более 15 мкВт/вент./МГц

С.А.Цыбин, Воронеж, тел. (0732) 22-90-80.

Унифицированные программно-технические комплексы для САПР ИЭТ и СВТ

В.С.ЛОПАТИН *канд.техн.наук.*, В.Н.ХАРИН *д-р техн.наук, проф.*,
В.Е.МЕЖОВ *д-р техн.наук, проф.*, А.В.ГОРОХОВ, Ю.А.ЧЕВЫЧЕЛОВ *канд.техн.наук*

С целью оснащения предприятий соответствующими программно-техническими средствами в НПО «Электроника» в рамках отраслевой комплексно-целевой программы развития САПР были разработаны и серийно выпускались интерактивные графические системы семейства «Кулон», а в дальнейшем — АРМ на базе микроЭВМ.

Быстрый рост уровня сложности и номенклатуры изделий, разрабатываемых и выпускаемых в объединении «Электроника», определил необходимость сквозной автоматизации процесса проектирования, САПР в объединении начиналась с разработки в Центральном конструкторском бюро (ЦКБ) программных средств автоматизированного ввода графической информации о топологии интегральных схем и компоновки топологии ИС с автоматическим контролем конструкторско-технологических требований и допусков. При этом использовались имеющиеся в объединении разрозненные технические средства, такие, как ЭВМ «БЭСМ-6», «Электроника-100И», цифровые пульты собственной разработки.

Внедрение этих средств автоматизации позволило сократить время выполнения различных рутинных операций и значительно снизить количество ошибок в фотошаблонах проектируемых ИС. Параллельно в ЦКБ формировалось подразделение САПР, на базе которого в дальнейшем возникли и развиваются в настоящее время службы САПР объединения.

Со временем стало ясно, что сильная разнородность технических средств в объединении и на предприятиях отрасли приводит к увеличению накладных расходов в разработке САПР за счет вынужденного дублирования разработок, неэффективного использования технических средств и потенциала специалистов, не имеющих возможности заимствовать результаты работы смежных предприятий. Поэтому определяющую роль в развитии САПР сыграло решение руководства отрасли о создании отраслевой унифицированной САПР, это решение было подкреплено образованием совета главных конструкторов САПР отрасли, разработавшего соответствующую программу. Руководство отрасли выделяло ресурсы на ее реализацию и жестко контролировало исполнение.

В рамках программы объединения «Электроника» поручалась разработка и выпуск технических и базовых

программных средств, предназначенных для создания на их основе интегрированных систем, обеспечивающих сквозное проектирование изделий микроэлектроники и средств вычислительной техники. Для отраслевых САПР в объединении «Электроника» было разработано, освоено в серийном производстве и внедрено семейство интерактивных графических систем (ИГС) и АРМ на мини- и микроЭВМ семейства «Электроника». Первым был серийно освоен унифицированный программно-технический комплекс автоматизированного проектирования 15УТ-4-017, получивший название ИГС «Кулон-1». Комплекс предназначался для автоматизации процессов ввода и обработки информации о топологии ИС, а также для автоматической подготовки управляющей информации для генераторов изображений.

Двухпостовая ИГС «Кулон-1» построена на базе 16-разрядной мини-ЭВМ «Электроника-100/25» с объемом ОЗУ до 128 К слов, быстродействием 800 тыс. операций в секунду, ВЗУ на дисковых накопителях 10 Мбайт и НМЛ емкостью 8 Мбайт.

Каждое из двух рабочих мест ИГС состоит из алфавитно-цифрового дисплея, запоминающего графического дисплея с размером экрана 160x210 мм, указателя координат планшетного типа и кодировщика графической информации с размером поля 800x1200 мм. В состав системы входит рулонный графопостроитель.

Система «Кулон-1» обеспечивала проектирование топологии ИС сложностью до 30 тыс. элементов и на несколько лет стала фактическим стандартом САПР микроэлектроники в отрасли, способствуя консолидации усилий разработчиков САПР. Впервые появилась возможность оснастить предприятия отрасли унифицированными средствами автоматизации проектирования топологии фотошаблонов.

С учетом опыта разработки и эксплуатации ИГС «Кулон-1» были сформулированы принципы, положенные в основу разработки базовых технических средств и программно-технических комплексов:

- модульное построение САПР с использованием типовых проектных решений;
- построение специализированных АРМ на базе мини- и микроЭВМ, обладающих высокой удельной мощностью;
- автономность и различная производительность

АРМ для решения различных задач САПР;

- унификация базовых программных и технических средств;

- использование высокопроизводительных вычислителей для решения расчетных задач;

- организация обмена информацией между АРМ и вычислителями на первом этапе через магнитные носители, а в дальнейшем – через быстродействующие средства.

Следующей этапной ИГС была система 15УТ-8-060, известная под названием ИГС "Кулон-3". В качестве центрального вычислителя в системе использовалась быстродействующая 16-разрядная мини-ЭВМ "Электроника-79", имеющая объем ОЗУ до 2 Мбайт, ВЗУ на НМД – 200 Мбайт, ВЗУ на НМЛ – 40 Мбайт, быстродействие – 3 млн. операций в секунду.

Применение в системе интеллектуальных рабочих мест 15УТ-1-061 и ВУМС-124, позволило разгрузить центральный вычислитель системы от управления оборудованием рабочих мест, высвободив его ресурсы для решения расчетных задач. Более совершенное рабочее место ВУМС-124 содержит микроЭВМ "Электроника-1212", широкоформатный графический дисплей УВВК-51-018 с размером экрана 270х340 мм и НМЛ емкостью 8 Мбайт. Связь в центральной ЭВМ "Электроника-79" осуществляется с помощью многоканального устройства ввода-вывода со скоростью 2,5 млн. бод.

В ИГС "Кулон-3" ввод и предварительная обработка топологической информации осуществляются на рабочих местах (до 8 рабочих мест в системе), а сложные расчетные задачи решаются на центральной ЭВМ. По производительности ИГС "Кулон-3" в несколько раз превосходит ИГС "Кулон-1" и поддерживает режим эскизного проектирования ИС.

ИГС следующего поколения УВК-8000-006 ("Кулон-4") выполнена на базе 32-разрядной мини-ЭВМ "Электроника-82", с объемом ОЗУ – 8 Мбайт, ВЗУ на НМД – 400 Мбайт, ВЗУ на НМЛ – 80 Мбайт. Эффективная производительность ЭВМ "Электроника-82" в 3–5 раз выше производительности ЭВМ "Электроника-79". Система виртуальной адресации позволяет обращаться к адресному пространству до 4 Гбайт.

ИГС "Кулон-4" – многотерминальная система, допускающая подключение до 4 графических терминалов УВВК-51-018 и до 4 алфавитно-цифровых дисплеев. В дальнейшем в состав системы "Кулон-4" были включены цветные растровые дисплеи МС7106, что существенно увеличило информативность изображения. Эта система обеспечила решение большинства задач логико-функционального и конструкторского проектирования СБИС и СВТ, стоявших перед разработчиками отрасли. Тиражирование системы "Кулон-4" для нужд отрасли производилось заводом "Процессор". Документация на ИГС "Кулон-4" была также передана для тиражирования в ряд отраслей народного хозяйства.

Для решения специализированных задач системы логического моделирования разработан аппаратный ускоритель, обеспечивающий повышение производительности в 500–1000 раз в сравнении с выполнением этих расчетов на унифицированной ЭВМ комплекса "Кулон-4".

Разработанная в объединении 32-разрядная микро-ЭВМ "Электроника МС0104" послужила базой для создания АРМ "Электроника МС0303" с внешними устройствами: цветным растровым дисплеем "Электроника МС7106", графопостроителем "Электроника МС6503", печатающим устройством и символьным дисплеем на консоли.

Следующая модель 32-разрядного АРМ – "Электроника МС0304" – была разработана как модификация АРМ "Электроника МС0303" на базе более совершенной микроЭВМ "Электроника МС0107" и цветного растрового дисплея с прямым доступом к памяти "Электроника МС7108". Эти АРМ предназначались для применения в качестве целевых с использованием соответствующего проблемно-ориентированного программного обеспечения как автономно, так и совместно с модификацией ИГС "Кулон-4" – вычислительным комплексом УВК-8000-007.

Параллельно с разработкой и постановкой на производство перечисленных технических средств САПР выполнялась разработка базового и прикладного программного обеспечения. Для системы "Кулон-1" в короткие сроки в основном силами специалистов объединения "Электроника" был разработан полный комплекс программного обеспечения, включающего специализированную операционную систему, комплекс сервисных программ работы с файлами и прикладные программы обработки графической информации о топологии БИС от ввода до получения управляющей программы для генератора изображения.

Учитывая возросшие объемы и специализацию программного обеспечения направлений САПР в следующих моделях ИГС и АРМ специалисты объединения были ориентированы на разработку базового программного обеспечения, состоящего из операционной системы общего назначения, дополненной мониторной и информационной подсистемами для мощных ИГС или компонентами мониторной и информационной подсистем для АРМ.

Кроме того развивалось прикладное программное обеспечение схемотехнического и логического моделирования, проектирования топологии матричных БИС и многослойных печатных плат на всех типах ИГС и АРМ. К настоящему времени разработанные пакеты программ обеспечивают на 32-разрядных ИГС и АРМ выполнение сквозного проектирования с оптимизацией параметров матричных БИС на биполярных и КМОП БМК канальной и бесканальной архитектуры сложностью до 50–100 тыс. вентиляей, а также многослойных печатных плат размером до 500х1250 мм, содержащих до 20 сигнальных слоев и до 1000 компонентов.

В процессе выполнения представленного комплекса работ в объединении сформировались коллективы разработчиков и пользователей системы сквозного проектирования БИС и СВТ, разрабатываемых и выпускаемых в НПО "Электроника".

Управляющие ЭВМ — одна из визитных карточек НПО электронной техники

В.Д.БОРИСЕНКОВ *канд.техн.наук*, В.С.ЛОПАТИН *канд.техн.наук*

С 1970 г. в воронежском НПО «Электроника» начался выпуск первой управляющей мини-ЭВМ «Электроника-100». Так возникло семейство популярных мини- и микроЭВМ, применение которых в АСУТП и САПР оказало заметное влияние на развитие электронной промышленности и ряда других отраслей народного хозяйства.

На рубеже 60-х и 70-х годов произошли качественные изменения в развитии отечественной электронной промышленности. Наряду с увеличением количества и номенклатуры выпускаемых транзисторов начался выпуск интегральных микросхем. Возникла острая необходимость в создании средств автоматизации, в первую очередь на основе цифровой вычислительной техники, как наиболее пригодной для адаптации к широкому спектру характеристик изготавливаемых приборов. С 1970 г. в НПО «Электроника» начался выпуск первой управляющей 12-разрядной мини-ЭВМ «Электроника 100», положившей начало семейству популярных мини- и микроЭВМ. От существующих тогда ЭВМ она выгодно отличалась малыми размерами, что позволяло устанавливать ее в производственных помещениях рядом с управляемым оборудованием, не требовала специальных условий эксплуатации (внешних систем охлаждения и питания) и обширного обслуживающего персонала — один специалист мог одновременно обслуживать несколько ЭВМ. «Электроника 100» обладала простой, но достаточно развитой системой команд и имела гибкие и удобные аппаратные средства управления внешними устройствами и оборудованием. Она с успехом применялась для автоматизации работ на различных этапах разработки и изготовления изделий электронной техники (ИЭТ) и разнообразных устройств на их основе, в том числе и самих ЭВМ. Компактные, рассчитанные на использование небольшой по емкости оперативной памяти на магнитных сердечниках (в основном 4–8 Кслов), но функционально развитые инструментальные и управляющие средства программного обеспечения, достаточно надежные устройства ввода–вывода с использованием перфоленты и пишущей машинки позволяли создавать и выполнять эффективные прикладные программы.

Одним из практических применений созданных средств явилась разработка комплекта интегральных схем, позволившая вскоре заменить транзисторную ЭВМ «Электроника 100» на ее интегральный вариант — «Электроника 100/И». Эти две первые мини-ЭВМ сыграли большую роль в изменении психологии разработчиков и производственников, показали преимущества использования цифровой техники в КБ и на заво-

дах, открыли широкие перспективы развития средств автоматизации. Разработка и производство средств вычислительной техники стали одним из важнейших направлений деятельности объединения. Ряд изделий передавался для выпуска на других производственных предприятиях отрасли и за ее пределами.

От 12-разрядных ЭВМ постепенно был осуществлен переход к более перспективным, 16-разрядным, развитие которых в дальнейшем осуществлялось по двум направлениям: мини-ЭВМ и микроЭВМ. Они объединялись одной архитектурой, совместимой с архитектурой PDP-11 американской фирмы DIGITAL EQUIPMENT. Основные ее отличия и в то же время достоинства:

- обширное адресное пространство, увеличиваемое с помощью диспетчера памяти до 256 Кбайт;
- модульная структура с объединением отдельных устройств (модулей) ЭВМ унифицированной магистралью обмена информацией;
- единый принцип управления памятью и внешними устройствами;
- развитая система команд, ориентированная на работу с внутренними регистрами и множеством способов адресации, обработку байтов, слов и двойных слов;
- развитая система внешних и внутренних векторных прерываний программы с использованием стековой памяти;
- режим прямого доступа к памяти.

Эти ЭВМ, некоторые модели которых эксплуатируются и в настоящее время, постепенно снабжались богатым программным обеспечением, как поставляемым изготовителями, так и наработанным пользователями.

Мини-ЭВМ, наиболее известными моделями которых являются «Электроника 100-25» и «Электроника 79», имели более развитую «периферию» и богатые вычислительные ресурсы и, соответственно, большие размеры, потребляемую мощность и стоимость. Основное применение они нашли в семействе САПР ИЭТ «Кулон», интерактивно-графических систем для логикосхемотехнического и конструкторско-топологического проектирования интегральных микросхем.

Наибольшее распространение среди пользователей получили микроЭВМ, выпускаемые в объединении с 1976 г. Это объясняется их относительно низкой стоимостью, малыми размерами, массой и потребляемой мощностью, возможностью встраивать и в управляемое оборудование и создавать на их основе вычислительные и управляющие системы различного назначения. Первая и наиболее популярная микроЭВМ, «Электроника 60», была построена на основе разработанного и выпускаемого в объединении микропроцессорного набора БИС серии К581, изготавливаемого по N -канальной МДП-

технологии. Со временем было разработано несколько вариантов исполнения микроЭВМ в зависимости от конструктивного исполнения (от небольшой "корзинки" с модулями до стоечной системы), характеристик центрального процессора, состава и характеристик дополнительных модулей и периферийных устройств. Десятки тысяч микроЭВМ, быстродействие которых на коротких операциях типа "регистр-регистр" в 250 тысяч операций в секунду представлялось в свое время достаточно внушительным, нашли применение в АСУТП, контрольно-измерительном оборудовании, станках с числовым программным управлением, оборудовании для научных экспериментов и т.д. Для их выпуска был построен специализированный завод "Процессор".

Последующие модели 16-разрядных микроЭВМ, наиболее известными из которых являются "Электроника МС1213" и по-прежнему выпускаемые "Электроника МС0108" и "Электроника МС0109", имеют несравнимо более высокие, чем у "Электроники 60", эксплуатационные характеристики. Последняя из них — это мощная, не уступающая мини-ЭВМ система, заключенная в удобный пластмассовый корпус с большими объемами встроенной оперативной (до 4 Мбайт) и дисковой (до 160 Мбайт) памяти и быстродействием на коротких операциях свыше 3 млн. операций в секунду. Программное обеспечение включает операционные системы, позволяющие организовать управление в реальном масштабе времени или многопользовательский режим работы, инструментальные средства с широким набором языков программирования удовлетворяют любым требованиям разработчиков программ.

Наиболее высокие характеристики обработки информации и управления периферийными устройствами были получены в 32-разрядных ЭВМ; мини-ЭВМ "Электроника 82" и микроЭВМ "Электроника МС0107". Первая, имея более мощные средства управления дисковой памятью, была применена в САПР "Кулон 4", а вторая, практически не уступая ей в производительности, обладает всеми свойствами ее класса преимуществами. Ее 32-разрядная архитектура, совместимая с популярной архитектурой VAX, обеспечивает расширение виртуального адресного пространства до 4 Гбайт, увеличение разрядности обрабатываемых данных, поддержку большого количества форматов обрабатываемых данных, богатую симметричную систему команд с расширенными возможностями адресации операндов. Программное обеспечение, включающее мощную многопользовательскую систему МОС-32М и ее вариант для режима реального времени, удовлетворяет всем современным требованиям.

Заводом "Процессор" был также освоен выпуск созданных в объединении ЭВМ класса персональных: вычислительный комплекс "Электроника МС0585", более известный как "Электроника 85", и учебно-бытовой персональный компьютер "Электроника УБК". "Электроника 85" была, пожалуй, первой массовой отечественной персональной ЭВМ, рассчитанной на пользователя, не имеющего специальных знаний в области вычислительной техники, и сыграла определенную роль в подготовке наших соотечественников к работе с такими теперь привычными "персоналками". К сожалению, наплыв зарубежных, совместимых с IBM

РС, персональных ЭВМ помешал развитию этого направления, однако, и сейчас "Электроника 85" помогает решать многие рутинные задачи. На базе УБК созданы средства автоматизации выполнения банковских операций, и сейчас во многих отделениях Сбербанка Воронежа и других городов на столах операторов можно увидеть эти внешне привлекательные и эффективные системы.

В заключение можно сказать, что с выпуском в НПО "Электроника" первой мини-ЭВМ "Электроника 100" началась широкая автоматизация на основе цифровой управляющей техники. С целью построения ЭВМ в отрасли разработана и выпускается широкая номенклатура ИС, БИС и СБИС, которая может быть использована и для создания более широкого класса аппаратуры. Средства вычислительной и управляющей техники используются теперь везде, где возникает потребность в обработке информации и повышении эффективности работы управляемого оборудования.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПРЕДЛАГАЕТ

32-разрядный двунаправленный многорежимный приемопередатчик с защелкой информации BUF-32

Новая оригинальная БИС, не имеющая отечественных и зарубежных аналогов, предназначена для буферизации, усиления и развязки шин в микропроцессорных системах.

Имеет несколько режимов использования, что позволяет строить буферные подсистемы различного назначения, например:

буфер шины, не имеющий контроля по четности;

буфер шины, имеющий один контрольный разряд на байт;

буфер, генерирующий контрольный разряд для каждого байта;

буфер, обнаруживающий ошибку четности в каждом байте шины;

адресный мультиплексор для систем динамической памяти;

36×9; 36×18 или два 18×9 буферов-мультиплексоров или другие комбинации мультиплексоров.

BUF-32 выполнена по КМОП-технологии, совместима с ТТЛ ИС. Ток нагрузки до 24 мА; статический ток потребления до 10 мА; задержка распространения сигнала от шины к шине — не более 10—15 нс.

Конструктивно выполнена в 145-выводном металлокерамическом корпусе с матричным расположением выводов.

Цена одного изделия 7—10 долл. в зависимости от объема поставки.

С.А.Цыбин, Воронеж, тел. (0732) 22-90-80.

Обеспечение параллельного выполнения проектных работ в интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС

В.Н.ХАРИН *д-р техн.наук, проф.*, А.В.СТАРИКОВ,
А.П.УДОВИК *канд.техн.наук.* А.В.ГОРОХОВ

Предложена динамическая модель процесса проектирования как суперпозиция статических моделей, существующих в течение «кванта» времени условной работы проектной процедуры. Программные средства обеспечивают параллельное выполнение проектных работ в рамках интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС. Их можно использовать в качестве инвариантной «платформы» для построения интегрированных САПР различных типов.

Одним из методов сокращения сроков (и соответственно стоимости) разработки СБИС, наряду с повышением производительности аппаратных и программных средств проектирования, является организация параллельного выполнения проектных работ. При проектировании объектов такой сложности как СБИС организация параллельных работ в системах автоматизированного проектирования (САПР) становится нетривиальной задачей, требующей использования специальных методов и средств системной и информационной поддержки процесса проектирования.

В современных САПР сквозного проектирования СБИС можно выделить три уровня параллельности при выполнении проектных работ, а именно:

- одновременное выполнение в САПР нескольких различных проектов;
- одновременное выполнение ряда проектных процедур одного и того же проекта;
- параллельная обработка различных частей одного и того же проекта.

В наиболее полной мере задача организации параллельных работ может быть решена в рамках интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС. Однако, при этом следует учитывать специфические факторы, определяющие состояние и функционирование конкретных САПР. К числу таких факторов относятся:

- наличие разнородной техники, составляющей информационно-вычислительную инфраструктуру интегрированных САПР;
- наличие программных средств проектирования, которые разрабатывались в разное время и, как правило, вне рамок единой концепции;
- наличие разнородных баз данных, используемых проектными процедурами (применительно к нашему случаю – проектирующими подсистемами САПР);

– высокая информационная сложность объекта проектирования, не позволяющая обрабатывать объект целиком (возникает необходимость декомпозиции объекта с последующим «сшиванием» частей);

– наличие локальных и глобальных критериев оценки качества проектных решений, используемых проектными процедурами;

– специализация технических и программных средств, направленная на выполнение проектных процедур разных видов;

– выполнение ряда работ в условиях частичной неопределенности в отношении корректности и достаточности исходной информации для отдельно взятой проектной процедуры;

– частое отсутствие однозначных формализованных стратегий проектирования, гарантирующих получение заданного результата;

– использование эвристических алгоритмов для получения приближенных решений;

– наличие достаточно большого числа интерактивных процедур (имеется в виду вмешательство человека в автоматизированный процесс проектирования) в силу невозможности получения приемлемого проектного решения иным способом;

– наличие большого количества ошибок в проектных решениях, связанных с использованием интерактивных процедур.

Перечисленные выше факторы предъявляют особые требования к организации процесса проектирования. При больших объемах информации и заданных жестких сроках выполнения проектных работ становится целесообразным начинать последующие (по технологическому маршруту) проектные процедуры с момента достижения корректных (с определенной вероятностью) результатов предыдущих проектных процедур. В большинстве случаев выявляемые на более поздних этапах проектирования ошибки в локальных проектных решениях приводят к необходимости внесения локальных изменений в ранее полученное проектное решение. Если в ходе работы над проектом выясняется необходимость внесения глобальных изменений в проект, то приходится переделывать значительную часть проектных решений. Но эта необходимость, как правило, была очевидна на начальных этапах проектирования и, следовательно, для ее выявления все равно потребовались бы затраты, сопоставимые с теми, которые привели к обнаружению данной ошибки указанным путем.

Таким образом, процесс проектирования имеет явно выраженный итерационный характер и достижение заданного результата ведется методом последовательных уточнений полученных проектных решений. В качестве концептуальной модели такого процесса проектирования предложен асинхронный последовательно-параллельный конвейер с обратными связями [1]. Формализацией этой модели является ориентированный граф (орграф) $G(V, R)$, где V – множество вершин, соотнесенных с проектными процедурами интегрированной САПР, а R – множество ребер (дуг), соотнесенных со связями проектных процедур в технологическом маршруте проектирования. Ориентация дуг орграфа определяет последовательность выполнения проектных процедур в маршруте проектирования.

Совокупность объектов проектирования и их частей представляет модель проекта (проектов) P , наложенных на граф $G(V, R)$ во времени T , для которых ищутся приемлемые проектные решения в предметно-временной области допустимых результатов. Динамическая модель процесса проектирования представлена суперпозицией статических моделей, существующих в течение "кванта" времени условной работы проектных процедур (под условной работой понимается работа, выполняемая проектной процедурой для получения приемлемого проектного решения). Таким образом, для каждой статической модели можно составить сетевой график выполнения работ, находящихся в одном "кванте" времени. По результатам, полученным в пределах кванта времени, принимается решение о корректировке модели процесса проектирования для составления следующего сетевого графика и так далее до получения заданных результатов.

Инструментальные программные средства, поддерживающие иерархическую структуру проекта, сетевое планирование и оценку получаемых результатов с использованием динамической модели процесса проектирования, представлены в мониторной и информационной подсистемах интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС. Эти две подсистемы инвариантны по отношению к другим (проектирующим) подсистемам САПР и представляют своего рода "платформу" для построения интегрированных САПР различного назначения.

Информационный обмен между проектирующими подсистемами в интегрированной САПР выполняется унифицированным способом, в основе которого лежит понятие контейнера [2]. По завершении проектной процедуры, выработанное этой процедурой проектное решение помещается с помощью мониторной системы (МС) в специальную информационную структуру (контейнер). Затем этот контейнер передается информационной системе (ИС) для размещения его в хранилище контейнеров. Из хранилища этот контейнер может быть затребован следующей проектной процедурой в технологическом маршруте проектирования. Свое требование проектная процедура адресует МС, которая, в свою очередь, формирует запрос к ИС. Такой четко регламентированный характер информационного обмена в интегрированной САПР позволяет существенно снизить вероятность потери информации при передаче ее между подсистемами

и искажения информации (или ее замены) в результате запрещенных действий со стороны лиц-участников процесса проектирования.

Для описания иерархической схемы проекта, имеющей древовидную структуру, разработан язык описания проекта (ЯОП), который позволяет специфицировать:

- имя проекта;
- перечень имен и иерархию проектируемых узлов;
- перечень типов проектных решений, вырабатываемых для каждого проектируемого узла;
- перечень проектных процедур, имеющих доступ к проектному решению каждого типа для каждого узла;
- перечень проектных процедур, требующих уведомления об изменении проектного решения для каждого типа проектного решения каждого узла.

Исходное описание проекта, составленное на ЯОП, обрабатывается затем с помощью транслятора ЯОП, который выполняет лексический и синтаксический анализ описания и генерирует информационную модель проекта. Информационная модель проекта представляет собой систему словарей-справочников данных, отражающую иерархическую структуру проектируемого объекта, типы проектных решений, вырабатываемых для каждого узла, права доступа проектных процедур (подсистем САПР) к проектным решениям каждого типа для каждого узла, перечень проектных процедур, которым необходимо послать уведомление в случае изменения проектных решений и т.д. После того, как информационная модель проекта сгенерирована, ее можно корректировать в диалоговом режиме. По результатам каждой корректировки модели проекта происходит автоматическое внесение изменений в исходное описание модели проекта; при этом в журнал регистрации изменений модели проекта заносится соответствующая запись.

Для описания технологического маршрута проектирования в рамках модели последовательно-параллельного конвейера разработан язык описания маршрута (ЯОМ), который позволяет специфицировать:

- имя проекта, определенное при создании информационной модели проекта;
- имена проектных процедур, использующихся в технологическом маршруте проектирования.

Кроме того, для каждой проектной процедуры задаются:

- имя проектируемого узла, определенное при создании информационной модели проекта;
- тип проектного решения, вырабатываемого данной проектной процедурой (перечень типов проектных решений задается в информационной модели проекта);
- фамилия и инициалы отечественного исполнителя данной проектной процедуры;
- название подразделения, выполняющего проектные работы в рамках данной проектной процедуры;
- плановые даты начала и окончания проектных работ по данной проектной процедуре для указанного проектируемого узла;
- перечень проектных процедур, вырабатывающих проектные решения, которые используются данной процедурой.

Исходное описание маршрута проектирования, составленное на ЯОМ, обрабатывается затем с помощью транслятора ЯОМ, который выполняет лексический, синтаксический и семантический анализ описания и генерирует модель технологического маршрута проектиро-

вания. Модель маршрута проектирования представляет собой многоключевой индексный файл, каждая запись которого помимо перечисленных выше элементов модели содержит также поля для хранения следующей информации:

— фактические даты начала и окончания проектных работ по данной проектной процедуре для указанного проектируемого узла;

— текущее состояние данной проектной процедуры (пассивное, ожидания, активное, приостановлена, завершена локально, завершена глобально);

— перечень проектных процедур, которые используют проектное решение, вырабатываемое данной процедурой.

После того, как модель технологического маршрута проектирования сгенерирована, ее можно корректировать в диалоговом режиме. По результатам каждой корректировки модели маршрута проектирования происходит автоматическое внесение изменений в исходное описание модели; при этом в журнал регистрации изменений модели маршрута проектирования заносится соответствующая запись.

Разработанные для семейства 32-разрядных мини- и микроЭВМ "Электроника" инструментальные средства,

входящие в состав информационно-лингвистического обеспечения интегрированной САПР сквозного проектирования СБИС, позволяют успешно решать задачу управления процессом проектирования в мультипроектном режиме работ. Они позволяют руководителю проекта (проектов) осуществлять контроль за ходом параллельно выполняемых проектных работ, выдавая разнообразную статистическую информацию о состоянии дел по любому из проектов, и оперативно управлять процессом проектирования путем изменения самих проектов, технологических маршрутов и корректировки сетевых графиков в статическом и динамическом режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харин В.Н. Базовое программное обеспечение типовых САПР изделий микроэлектроники. — Электронная промышленность, 1987, вып. 5, с. 58—60.

2. Харин В.Н., Горохов А.В. Информационное представление аттестованных библиотечных элементов полужаказных БИС. — Электронная промышленность, 1990, вып. 12 с. 61—62.

Система ускоренного проектирования БИС

Ю.А.ЛЕВОВ, В.Е.МЕЖОВ *д-р техн.наук, проф.*, Ю.А.ЧЕВЫЧЕЛОВ *канд.техн.наук*,
Н.А.КОНОНЫХИНА

Система ускоренного проектирования БИС на базе мини-ЭВМ «Электроника МС0107» и аппаратного ускорителя логического моделирования обеспечивает сквозное конструирование цифровых БИС различных типов сложности до 10^6 элементов, в том числе и МАБИС. Она включает в себя подсистемы многоуровневого и смешанного моделирования, экспресс-анализа схем на тестопригодность, подготовку тестов, автоматического и автоинтерактивного проектирования топологии, временной верификации БИС. Система позволяет осуществлять проектирование МАБИС, выполненных на различных конструктивно-технологических типах базовых матричных кристаллов.

Моделирование характеристик схем, подготовка тестов, временная верификация, требующие очень больших вычислительных затрат, осуществляются с использованием аппаратного ускорителя, который позволяет снизить вычислительные затраты на данных этапах проектирования на три-четыре порядка. Важнейшим элементом системы проектирования является возможность проверки правильности функционирования изготовленной МАБИС за счет введения в систему специального аппаратного блока физических моделей. Структурная схема технического обеспечения системы приве-

дена на рис.1. Она построена на основе современной высокопроизводительной супермини-ЭВМ "Электроника МС0107" (может также использоваться мини-ЭВМ "Электроника 82", "Электроника МС0104", а также ЭВМ, совместимые с ними). В состав системы входит устройство логического моделирования (УЛМ). Мини-ЭВМ "Электроника МС0107", которая используется как управляющая, связывается с УЛМ через стандартный интерфейс прямого доступа к памяти ЭВМ, выполненный в виде электронного блока на многослойной печатной плате, встроенного в ЭВМ.

Ускоритель логического моделирования представляет собой специализированную многопроцессорную систему, включающую в себя процессор обмена (ПРО), до 16 процессоров логического моделирования (ПЛМ), процессор моделирования памяти (ПМП), объединенных синхронным разделяемым каналом.

Ускоритель логического моделирования позволяет осуществлять моделирование цифровых схем на смешанном (вентильно-транзисторном) уровне описания с учетом реальных задержек элементов, что расширяет функциональные возможности таких устройств и позволяет моделировать как синхронные, так и асинхронные схемы с достаточно высокой скоростью.

В основу построения архитектуры УЛМ заложен принцип аппаратной конвейерной реализации алгоритма

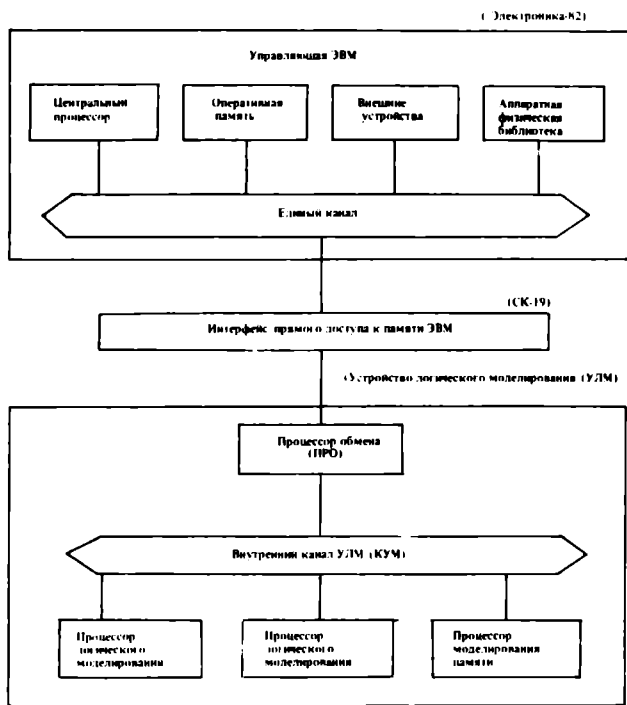


Рис. 1. Структурная схема комплекса логического моделирования

событийного моделирования, который заключается в том, что последовательность операций обработки одного события разделяется на некоторое число этапов, каждый из которых выполняется специализированными аппаратными средствами, образующими отдельный обрабатывающий узел (ступень конвейера). События поступают на вход конвейера и каждое из них последовательно проходит его ступени. Интервал между любыми двумя поступающими событиями существенно меньше цикла прохождения и по всем ступеням, в итоге обработка многих событий совмещается по времени. Поэтому ПЛМ и ПМП представляют собой четырехстадийные двухфазные синхронные конвейеры с функционально-ориентированной памятью, в которой операции на каждой ступени выполняются за один такт общей синхронизации, а передача данных с одной ступени на другую производится через обычные регистры (фиксаторы) в конце такта одновременно по всем ступеням.

В ПЛМ аппаратно реализован двухпроходный событийный алгоритм моделирования с использованием 12-значной логики. Логические значения 0,1, X и четыре уровня силы сигнала: мощный, сильный, средний (или резистивный) и слабый, соответствующий высокоимпедансному состоянию. Каждый процессор логического моделирования обеспечивает моделирование схем, размером до 32000 базовых элементов (имеющих 4 входа и 1 выход), а каждый процессор моделирования запоминающей среды — до 2000 базовых элементов памяти (26 входов, 1 выход).

В УЛМ аппаратно реализованы 16 примитивов в виде таблиц истинности. Логические примитивы имеют 4 входа и 1 выход. Примитивы с силовыми входами имеют

3 входа и 1 выход. Поэтому элементы с одним выходом должны преобразовываться в структуры 4(3) входа и 1 выход, многовыходные элементы должны заменяться на соответствующие структуры, сформированные на базе УЛМ. При этом максимальная задержка примитива не должна превышать 31 такта моделируемого времени. (Для примитива памяти максимальная задержка 1023 такта).

ПЛМ аппаратно обеспечивает три режима моделирования: моделирование с фиксированной задержкой с отсечкой, без отсечки и моделирование без отсечки с безинерционным показом ожидаемых значений. Любой из трех режимов моделирования может быть задан как для всей схемы, так и для каждого элемента схемы в отдельности.

Блок аппаратной физической библиотеки реализован как электронный узел на отдельной стандартной многослойной печатной плате. Он предназначен для организации обменов между каналом ЭВМ и микросхемами, вставляемыми в набор колодок, расположенных на плате. Микросхемы рассматриваются как внешние объекты. Плата имеет дополнительный разъем, к которому могут подключаться дополнительные платы с микросхемами, так называемые сменные платы с библиотекой пользователя. Взаимодействие пакета логического моделирования и физической библиотеки осуществляется с помощью специального драйвера. Блок аппаратной физической библиотеки позволяет осуществлять проверку функционирования микросхем, в том числе и разработанных с помощью данной системы; написание тестов с использованием заведомо годных микросхем; чтение и контроль ПЗУ, ОЗУ; программирование ПЗУ; отладку микропрограмм для микропроцессоров и другое.

Ускоритель логического моделирования, аппаратная физическая библиотека работают под управлением мини-ЭВМ "Электроника 0107", которая с помощью прикладного пакета обеспечивает: формирование базы данных проекта; подготовку текстовых и графических данных о модели схемы и входных воздействиях; управление процессом моделирования, причем и обработку результатов моделирования.

Процесс подготовки схемы к моделированию разбивается на три этапа: подготовка исходного описания модели схемы; трансляция исходного описания во внутреннее описание; формирование загрузочного описания модели.

Исходное описание модели схемы содержит описание структуры схемы и входных воздействий, определяющих процесс моделирования. В качестве языка описания используется язык модульного описания схемы "МОС" пакета логического моделирования "ПРАЦИС-ТМ".

Файл входных воздействий содержит задание на моделирование, формируется в виде текстового файла, строка которого представляет собой тестовый набор для заданного списка внешних входов схемы в заданный такт моделирования. В файл входных воздействий включаются синхронные команды управления моделированием, которые реализуются на уровне микропрограмм процессора обмена (ПРО) УЛМ.

База данных УЛМ содержит внутреннее и загрузочное описание модели схемы или проекта. Внутренним считается описание схемы и входных воздействий, полученное в результате трансляции исходной модели схемы. В процессе трансляции выполняется программная модификация структуры схемы, учитывающая требования аппаратной реализации УЛМ. Множество базовых примитивов УЛМ составляют 16 примитивов, реализованных в виде таблиц истинности в ПЗУ процессоров моделирования.

Примитивы УЛМ делятся на 2 группы: логические примитивы и примитивы с силовыми входами. Логические примитивы имеют 4 входа/1 выход, примитивы с силовыми входами имеют 3 входа/1 выход. В процессе трансляции примитивы с одним выходом преобразуются в структуры 4(3) входа/1 выход, многовыходовые примитивы заменяются на соответствующие структуры из библиотеки шаблонов, сформированных в базе УЛМ. По завершении структурного преобразования многовыходовых или многовыходовых примитивов выполняется разложение задержек элементов схемы. Элементы, задержка которых превышает 31 временной такт, заменяются эквивалентной цепочкой примитивов с допустимыми величинами задержки. Для примитивов памяти допустимая величина задержки равна 1023 тактам моделирования. Внутреннее описание модели схемы включается в библиотеку моделей MODUL.ULM.

Формирование базы данных проекта завершается компиляцией внутреннего описания в загрузочное, соответствующее форматам ЗУ ПЛМ, ПРО и ПМП. Наиболее важным этапом компиляции является разбиение модели схемы на подсхемы или фрагменты с целью параллелизации процесса моделирования. Каждому из процессоров моделирования системы назначается своя подсхема. Информационный обмен между процессорами осуществляется через единый канал устройства моделирования (КУМ). Очевидно, что возникновение конфликтных межпроцессорных запросов снижает производительность системы моделирования, поэтому с целью уменьшения числа межфрагментных связей разработан алгоритм продольного разбиения схемы. Сущность алгоритма состоит в выделении линейных цепочек элементов от внешних входов к внешним выходам. Критерием разбиения служит критический вес фрагмента, определяющий максимально возможное число примитивов во фрагменте. Кроме того, для обеспечения сбалансированной загрузки "колеса времени" каждого из синхронных процессов моделирования, выполняется перераспределение примитивов между процессорами с учетом значений их задержек.

В процессе компиляции файла входных воздействий формируется файл заданий на моделирование, содержа-

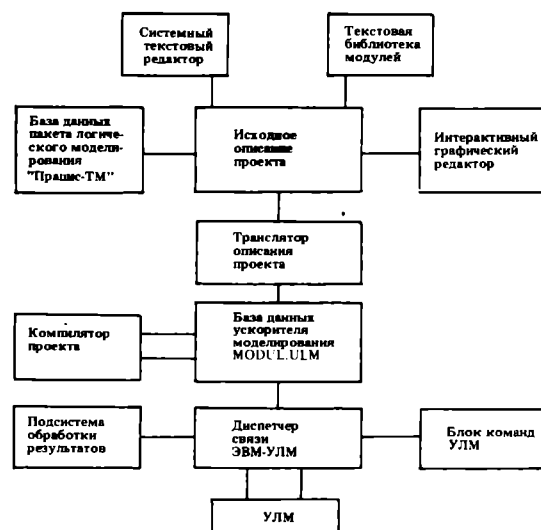


Рис. 2. Структура программно-аппаратной системы ускоренного моделирования

щий тестовые наборы и синхронные команды в формате ЗУ входных воздействий ПРО.

Управление процессором моделирования осуществляется через диспетчер связи ЭВМ-УЛМ. Его основные функции:

- загрузка структуры схемы в ЗУ указателей списков приемников, в ЗУ характеристик и ЗУ состояний приемников процессоров моделирования;
- загрузка и подкачка входных воздействий в ЗУ входных контактов и ЗУ входных воздействий ПРО;
- управление процессом моделирования с помощью синхронных и асинхронных команд;
- прием из ПРО и обработка результатов моделирования.

Текстовое или графическое отображение результатов моделирования выполняется подсистемой вывода результатов. Структура программно-аппаратной системы ускоренного моделирования приведена на рис.2.

Применение специального ускорителя в системе проектирования позволяет сократить вычислительные затраты более чем на три порядка при решении самых трудоемких задач процесса проектирования.

Экспериментальный образец УЛМ обеспечивает скорость моделирования на уровне $(5-8) \cdot 10^3$ VUP. За единицу сравнения VUP (VAX unit performance) взята эквивалентная работа, выполненная на ЭВМ типа VAX 11/870.

Программное обеспечение системы ускоренного проектирования БИС

В.С.ЛОПАТИН *канд.техн.наук*, В.Е.МЕЖОВ *д-р техн.наук, проф.*,
Ю.А.ЧЕВЫЧЕЛОВ *канд.техн.наук*, А.В.ГОРОХОВ

Программные модули системы ускоренного проектирования БИС на базе мини-ЭВМ «Электроника-0107» и ускорителя логического моделирования ориентированы на проектирование сложных цифровых БИС, содержащих до 10^7 вентилях на кристалле и реализованных по различной технологии, в том числе и БИС на основе базовых матричных кристаллов. Система обеспечивает сквозное проектирование БИС. Процесс проектирования организуется с автоматической настройкой средств с учетом особенностей характеристик объекта проектирования и требований заказчика.

Повышение эффективности средств автоматизации проектирования сложных БИС осуществляется как по линии создания специальных аппаратных ускорителей, так и развития прикладных программных комплексов. Особенности реализации специализированных аппаратных средств ускоренного проектирования рассмотрены в [1]. Ниже будут рассмотрены особенности построения прикладных программных средств этой системы.

Программный комплекс включает все необходимые модули, обеспечивающие сквозной цикл проектирования БИС. Его характерными особенностями являются адаптируемость, универсальность и высокая эффективность как за счет оптимизации математического и алгоритмического обеспечения, так и применения специального аппаратного ускорителя. Ядром системы является пакет программ логического моделирования "ПРАЦИС-ТМС", который совместно с аппаратным ускорителем обеспечивает смешанное моделирование цифровых схем на транзисторно-вентильном уровне со скоростью до 8 млн. событий в секунду. Данные средства, используемые для решения наиболее трудоемких задач моделирования неисправностей, верификации топологического варианта проекта, генерации теста, являются важнейшим инструментом резкого снижения вычислительных затрат. Развитие библиотеки, включающие как типовые элементы БИС, так и БИС различных типов, делают пакет универсальным средством систем проектирования изделий электронной и вычислительной техники.

Пакет "ПРАЦИС-ТМС" является дальнейшим развитием пакета "ПРАЦИС-ТМ" [2], которое осуществляется как за счет создания программных средств поддержки работы совместно с ускорителем, так и тщательной переработки алгоритмического обеспечения с целью повышения эффективности его автономного использования и расширения области его применения. Пакет реализован на языке С с возможностями работы под уп-

равлением операционных систем МВС (типа VAX/VMS) и ЮНИКС на ЭВМ типа "Электроника-82" и IBM PC и совместимых с ними.

В пакете применен модифицированный конкурентный алгоритм моделирования неисправностей. Для быстрого получения оценочных результатов о качестве теста, разработан и реализован способ ускоренного моделирования неисправностей, который заключается в определении параметров наблюдаемости линий схемы по результатам исправного моделирования анализируемого тест-вектора и диагностирования выявленных неисправностей по рассчитанным параметрам. Для расширения класса анализируемых схем (комбинационных и последовательностных) и повышения точности оценки полноты теста в процессе исправного моделирования осуществляется "кусочно-непрерывный" подсчет параметров наблюдаемости по комбинационной части схемы с формированием привязанных к линиям внешних обратных связей, линиям-выходам элементов с памятью и линиям-входам стоков (псп), списков неисправностей и моделирования списков на элементах-последователях указанных линий.

Метод лег в основу программного модуля "УВЕРТ" (ускоренная верификация тестов), решающего задачу одновременного моделирования всех константных неисправностей логической схемы. Эксплуатация модуля "УВЕРТ" на синхронных и асинхронных БИС с получением точных оценок плотности теста для комбинационных схем и, с точностью 6%, — для последовательностных схем показывает 20–50-кратное уменьшение времени верификации теста в сравнении с конкурентным алгоритмом.

Важным элементом пакета является модуль экспресс-анализа схем на тестопригодность БИС на начальной стадии ее проектирования. В качестве меры контролепригодности приняты такие параметры как управляемость, наблюдаемость, тест-наблюдаемость и дополнительно введенная мера 1/0-тестируемость, которые соотносятся с работой исправной схемы. Однако при генерации тестов возникает задача обеспечения наблюдения неисправной линии на выходе, что и обеспечивает параметр тест-наблюдаемость. Введение меры 1/0-тестируемости непосредственно отражает сложность построения теста на константных неисправностях и дает наиболее полное представление о тестируемости схемы в целом. Значение параметров тестируемости дает качественную оценку сложности тестирования и выявляет линии, параметры тестируемости, которых могут быть улучшены путем введения контрольных точек, либо схемным решением, вводя сдвиговые регистры и т.п.

С ядром системы взаимодействуют пакеты про-

грамм и поведенческого моделирования — ПРИАМ; автоматического и автоинтерактивного конструирования топологии МАБИС-ТРЮМ, ТРАП и многослойных печатных плат СИАТ-ИНГРЕД, мощные модули подготовки исходной информации и обработки результатов проектирования и их архивирования. Специальный программный модуль обеспечивает связь с зарубежными системами проектирования заказных и полужаказных БИС и позволяет использовать их программные модули в процессе проектирования.

В систему входит блок программ иерархического моделирования "ПРИАМ", который позволяет решать задачи разработки сложных схем. При этом решающим является возможность иерархического движения проектирования, а также полная его база в представлении потока данных. В пакет ПРИАМ включены три программы: регистровая, сетевых операторов и случайных чисел, что позволяет реализовать регистровые функции и работать с последовательностями случайных чисел с разнообразным распределением. Наличие сетевых операторов дает возможность представлять модели в терминах этих операторов, что сокращает трудоемкость разработки моделей новых объектов проектирования, снижает количество ошибок при описании систем, а также включать в модели абстрактные конструкции, такие как ресурсы, очереди за ресурсами и т.п. Широкий спектр возможностей пакета, предусматривает возможности замены ключевых слов языка на любые другие, определенные пользователем. В пакете ПРИАМ реализован модифицированный событийный алгоритм.

Пакеты прикладных программ ТРЮМ и ТРАП [5] обеспечивают полный цикл проектирования топологии матричных БИС как канальной, так и безканальной архитектуры. С учетом фрагментации проекта обеспечивается проектирование топологии МАБИС с 2–3-слойной металлизацией размерностью до 100 тысяч вентилях. В основу методологии проектирования положен иерархический подход с использованием заранее отработанных и аттестованных макроэлементов высокой сложности. Программные средства обеспечивают учет существующего на предприятии-поставщика БМК маршрута изготовления МАБИС и настройку на заданный тип БМК. Программы размещения базируются на алгоритмах случайного и последовательного размещений по связности с оптимизацией по алгоритму парных перестановок с оценкой сумм гипотетических длин межсоединений и количества трасс в сечениях. Программы автотрассировки базируются на алгоритмах линейного и лабиринтного поиска. Программы ТРЮМ и ТРАП включают развитые средства интерактивного проектирования и верификации проекта топологии.

Пакет СИАТ-ИНГРЕД [6] предназначен для автоматизированного проектирования топологии крупногабаритных многослойных печатных плат, изготавливаемых по технологии металлизации сквозных отверстий.

Для ввода информации в системе используется язык иерархического описания схем, который позволяет описывать БИС на различных уровнях иерархии: системном, архитектурном и вентиляльно-транзисторном. Для упрощения описания проекта БИС на каждом уровне дополнительно введены подмножества языка с характерными для каждого уровня понятиями и процеду-

рами. Эти подмножества доводят описание проекта до нужного уровня детализации и делают его понятным и наглядным. База данных проекта содержит информацию о системных, регистровых, функционально-логических, физических, электрических и конструктивных характеристиках элементов, блоков и самого объекта в целом в виде библиотечных файлов ассоциативной кольцевой структуры, которые легко модифицируются и расширяются. Система имеет графическую поддержку [4] (модуль ИГРА — пакет программ интерактивной графики). Модуль ИГРА широко использует средства машинной графики в процессе подготовки исходной информации и при выводе результатов проектирования. При этом обеспечивается графическое формирование изображения библиотечных элементов и структуры проекта на любом уровне иерархии. Пакет ИГРА ориентирован на совместное использование с программными пакетами ПРИАМ, ТРЮМ, ТРАП, СИАТ-ИНГРЕД. Он может использоваться любыми пакетами моделирования и проектирования БИС и печатных плат, функционирующих в операционных средах МВС/VAX/VMS, МС-32, благодаря тому, что внутренняя структура данных легко расширяется и модифицируется. Программное обеспечение пакета функционирует на векторных и растровых графических дисплеях системы "Кулон-4". Достаточно гибкая организация программного обеспечения пакета ИГРА допускает включение дополнительных интерфейсов на различные типы графических терминалов.

Статистические данные, полученные при использовании системы ускоренного проектирования для конструирования МАБИС, позволяют утверждать, что она по эффективности не уступает лучшим зарубежным аналогам. Цикл проектирования МАБИС, составляет несколько дней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левов Ю.А., Межов В.Е., Чевычелов Ю.А. Система ускоренного проектирования БИС.— Наст. вып. с.
2. Лобов И.Е., Межов В.Е., Чевычелов Ю.А. Логическое моделирование и генерация тестов цифровых схем в системе «Кулон». — Школа-семинар молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы создания интеллектуальных САПР РЭА и СБИС»: Тезисы докладов, май, 1989.
3. Межов В.Е., Лопатин В.С., Медведков А.И. Реализация иерархического моделирования в пакете «ПРИАМ». Автометрия, 1990, № 4.
4. Кононыхина Н.А., Лапшина М.А., Межов А.В., Рындин А.А. Пакет «ИГРА» — интерактивная графическая среда процесса сквозного проектирования цифровой аппаратуры/Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: Межвузовский сборник, Воронеж, 1992.
5. Горохов А.В., Скляр В.В., Устинов В.С. Пакет проектирования топологии коммутационных слоев матричных БИС.— В кн.: Всесоюзное совещание-семинар молодых ученых и специалистов. Разработка и оптимизация САПР и ГАП изделий электронной техники на базе высокопроизводительных мини- и микроЭВМ; сентябрь 1989 г.: Тезисы докладов.
6. Власов В.Ф., Горохов А.В., Харин В.Н. Пакет программ автоматизированного проектирования МПП.— В кн.: Всесоюзный научно-технический семинар «Создание интеллектуальных САПР СБИС и электронных средств». Сентябрь 1990 г.: Тезисы докладов.

Ускоренные испытания на надежность тонкопленочных структур

Г.А.ВИКИН, О.М.ЧИСЛОВ, А.Н.ЛУКИН, А.В.ТАДЕЕВ

Разработана методика ускоренных испытаний тонкопленочных структур изделий электронной техники на надежность. Использование стандартного оборудования — контрольно-вычислительного комплекса КВК.СИЦ.Э 500-01 и микроЭВМ позволило автоматизировать процесс испытаний. Предложенная тестовая структура позволяет исследовать различные виды отказов: электромиграционные, термодиффузионные, отказы, обусловленные переключением эмиттерных стабилизирующих резисторов. Проведенные исследования показывают возможность значительного сокращения времени испытания (1 рабочая смена и менее) при сохранении механизма деградации неизменным. Применение отдельных элементов тестовой структуры на полупроводниковой пластине позволяет использовать данную методику в условиях массового производства ИЭТ на этапе отбраковочного контроля до сборки приборов в корпуса.

Обеспечение долговременной надежности изделий микроэлектроники связаны с изучением свойств материалов, входящих в их конструкцию. В методическом плане изучение свойств материалов целесообразно проводить в режимах и условиях максимально приближенных к реальным. Однако обеспечение таких условий связано часто с большими техническими трудностями. Например, при испытаниях мощных полупроводниковых приборов для получения больших плотностей тока и высоких температур необходима разработка специальных сильноточных источников питания.

Более того, для сложных композиционных тонких пленок измерения среднего времени наработки до отказа стандартными методами часто приводят к неоправданно завышенным значениям, так как тонкие пленки еще долго могут сохранять электрическую целостность после разрушения алюминия за счет протекания тока по тугоплавкому подслою. При этом, сопротивление такого участка металлизации увеличивается на 50% и более, что необходимо считать отказом. Поэтому можно сказать, что реализация усло-

вий, близких к эксплуатационным на отдельных тестовых структурах, технически обоснована.

Ускоренные методы испытаний на надежность разработаны на примере многослойной алюминиевой металлизации. В этом случае одновременно с измерением среднего времени наработки до отказа (MTF) контролируется и сопротивление тонкопленочной структуры.

Контроль за сопротивлением исследуемого образца также необходимо проводить и для учета Джоулева тепла, выделяемого при прохождении тока [2]:

$$T = \frac{R_T I^2 R_0}{1 - R_T I^2 R_0 \alpha} \quad (1)$$

где T — перегрев тонкой пленки относительно температуры испытаний, °С; R_T — тепловое сопротивление тонкая пленка—подложка, °С/Вт; R_0 — начальное сопротивление пленки, Ом; I — ток, А; α — температурный коэффициент удельного сопротивления, 1/°С.

Деградация тонкой пленки и соответствующий рост сопротивления в процессе испытаний приведет к увеличению Джоулева тепла, которое необходимо скомпенсировать внешним нагревательным элементом с целью поддержания температуры эксперимента постоянной. В этом случае (т.е. когда постоянен во времени коэффициент ускорения) применима формула Блэка с коэффициентом n , лежащем в узком диапазоне [3]:

$$MTF = AWdJ^{-n} \exp(E_a/kT), \quad (2)$$

где MTF — среднее время наработки до отказа, A — постоянная электромиграции, W — ширина испытываемого образца, d — высота испытываемого образца, T — абсолютная температура испытаний, J — плотность тока, E_a — энергия активации процесса электромиграции, k — постоянная Больцмана, n — показатель степени.

Таким образом, с самого начала предполагается проведение ускоренных испытаний с коэффициентом ускорения, полученным из (2):

$$K_y = \frac{MTF_n}{MTF_y} = \frac{(J_y)^n}{(J_n)^n} \exp(E_a/k [1/T_n - 1/T_y]), \quad (3)$$

где индексы n, y соответствуют нормальному и ускоренному режимам испытаний. Выбирая соответствующий режим ускоренных испытаний (температура и плотность тока) можно сократить время испытаний до нескольких часов при сохранении соответствия физических процессов, имеющих место при ускоренных испытаниях, процессам при нормальном режиме, т.е. механизм деградации тонкой пленки не изменялся. Соответствие процессов будет наблюдаться до тех пор, пока энергия активации процесса электромиграции будет постоянной, что соответствует определенному значению тангенса угла наклона прямолинейной зависимости в координатах $\ln(MTF)$ и $1/kT$ (рис. 1).

Для поликристаллических тонких пленок E_1 соответствует энергии активации процесса электромиграции по границам зерен, а E_2 — по объему тонкой пленки. При выборе нагрузочного режима необходимо учитывать, что для алюминиевой металлизации выше температуры 350°C преобладающим механизмом массопереноса будет являться диффузия по объему веществ [1].

Ускоренные испытания осуществляются на базе контрольно-вычислительного комплекса «Истина» (КВК.СИЦ.Э 500-001). Разработанная тестовая структура (рис. 2) имеет 28 полосок и позволяет исследовать следующие виды отказов: собственную электромиграцию; электромиграцию в условиях температурных градиентов; электромиграцию на контакте двух металлов. Измерительный комплекс содержит 16 программируемых источников напряжения и тока, что позволяет одновременно исследовать такое же количество образцов. Для программирования используется специально разработанный язык «АЯКС» (алгоритмический язык контроля статпараметров) для операционной системы «Рафос», который по структуре программ и возможностям близок к «Бейсику». Комплекс программ для статистической и графической обработки измерений выполнен на языке Turbo Pascal для IBM совместимых компьютеров. Блок-схема основной программы испытаний (рис. 3) позволяет:

— задавать условия испытаний каждого из 16 образцов ($U=20$ В, $I=800$ мА на образец)

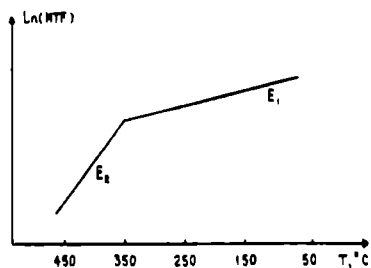


Рис. 1. Изменение механизма массопереноса при тепловой нагрузке: E_1 — энергия активации процесса электромиграции по границам зерен; E_2 — энергия активации при электромиграции по объему вещества

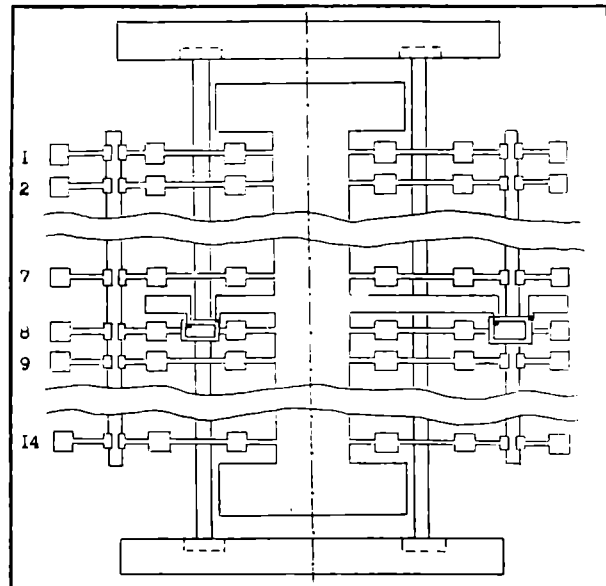


Рис. 2. Схема тестовой структуры: 1, 2, ..., 14 — испытываемые полоски металлизации

— контролировать сопротивление испытываемых структур и длительность тестирования от встроенного таймера ЭВМ;

— фиксировать измеряемую информацию и время наработки до отказа каждой из структур на магнитный носитель данных с возможностью дальнейшей обработки.

С помощью обратной связи, реализуемой блоком регулировки температуры, поддерживаются постоянные температурные условия эксперимента (Джоулево тепло + температура нагревателя). При этом сопротивление тонкой пленки используется в качестве датчика температуры.

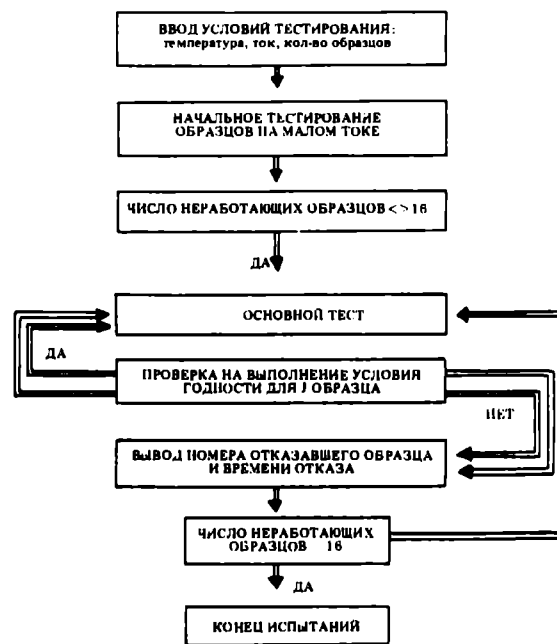


Рис. 3. Блок-схема программы испытаний

По предложенной методике проведены ускоренные испытания алюминиевой металлизации нескольких типов:

- I. Al(0,1%Ni), толщиной 0,85 мкм;
- II. Al—Si(1%)—Cu(3%)/Al—0,1%Ni, суммарной толщиной $0,6+0,6=1,2$ мкм;
- III. Al—Si(1%)—Cu(3%)/Al—0,1%Ni, суммарной толщиной $0,6+1,05=1,65$ мкм.

Образцы изготавливались в виде тестовой структуры (см. рис. 2) на слое SiO₂ и пассивировались слоем SiO₂. Полученные структуры подвергались температурной и токовой нагрузке. Сопротивление полосок автоматически контролировалось каждые 30 с. Режимы испытаний, величины Джоулевого перегрева полосок, времена наработки до отказа представлены в таблице. Характерное изменение относительного сопротивления пленок в процессе испытаний по ускоренной методике представлено на рис. 4. Для всех образцов металлизаций наблюдался катастрофический вид отказа без заметной деградации сопротивления во времени (не более 10%), что связывается с температурной неустойчивостью образцов на слое SiO₂. Линейный вид зависимости времени отказа от совокупности процента отказов (рис. 5) свидетельствует о логарифмически нормальном распределении времен отказов, что характерно для электромиграционных разрушений. Температурная зависимость медианного времени наработки до отказа позволила определить энергию активации процесса электромиграции для исследуемых металлизаций (см. таблицу). Полученные значения энергии активации согласуются с известными литературными данными [1]. Экстраполяцией результатов ускоренных испытаний к нормальному режиму работы ИЭТ ($J=2 \cdot 10^5$ А/см², $T=150^\circ\text{C}$) получено увеличение времени наработки на отказ в 2 раза при использовании металлизации типа N2(N3) по сравнению с N1. Существенной разницы во временах наработки до отказа для металлизаций типа N2 и N3 не обнаружено. Ана-

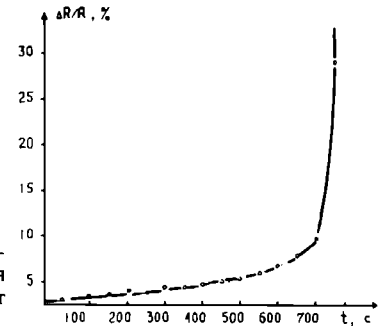


Рис. 4. Зависимость относительного изменения сопротивления образца от времени

Накопленный процент отказов

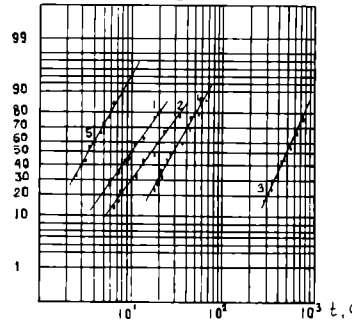


Рис. 5. Взаимосвязь времени отказов и накопленных процентов отказов для образцов типа:
 1 — Al—Si—Cu/Al—Ni, $h=1,2$ мкм, режим: $J=3,47 \cdot 10^6$ А/см², $T=180^\circ\text{C}$
 2 — Al—Si—Cu/Al—Ni, $h=1,65$ мкм, режим: $J=2,52 \cdot 10^6$ А/см², $T=180^\circ\text{C}$
 3 — Al—Ni, режим: $J=1,25 \cdot 10^6$ А/см², $T=119^\circ\text{C}$
 4 — Al—Ni, режим: $J=1,6 \cdot 10^6$ А/см², $T=175^\circ\text{C}$
 5 — Al—Ni, режим: $J=1,92 \cdot 10^6$ А/см², $T=224^\circ\text{C}$

лиз видов отказов на растровом электронном микроскопе подтверждает электромиграционный механизм деградации образцов, что говорит о возможности использования больших плотностей тока для ускоренных испытаний.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают работоспособность разработанной методики ускоренных испытаний и ее преимущества перед известными методами тестирования

- сокращение времени испытаний с 40 календарных дней до 1 рабочей смены;
- получение представительной статистики при проведении единичного испытания на разработанной тестовой структуре;
- проведение испытаний в автоматическом режиме, использование современного математического аппарата для статистической обработки результатов;
- применение зондового оборудования позволяет использовать данный метод в условиях массового производства при контроле за надежностью тонкопленочных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции./ Под ред. Дж.Поута и др.— М.: Мир, 1982.
2. L u b y S., N o v a k I., R o m a n P. The influence of the SiO underlayer on the Joule heating of Al—Cu—Si metallisation of silicon devices.— Acta phys. slov., 1989, vol. 39, N 1, p. 38—48.
3. J a m e s A. S c h w a r z. Electromigration in interconnects and Contacts.— ULSI electronics microstructure science, 1987, vol. 15, p. 345—392.

Тип металлизации	Условия эксперимента		Среднее время наработки до отказа, мин	Дисперсия времен отказов, мин	Энергия активации, эВ
	плотность тока, А/см ²	температура внешняя + Дж.тепло, °С			
I	$1,25 \cdot 10^6$	22+97	556	212	0,58
I	$1,25 \cdot 10^6$	81+178	35	21	0,58
I	$1,6 \cdot 10^6$	22+153	42	29	0,58
I	$1,92 \cdot 10^6$	22+202	6	2	0,58
II	$3,47 \cdot 10^6$	150+30	17	6	0,67
III	$2,52 \cdot 10^6$	150+30	24	10	0,67
III	$2,52 \cdot 10^6$	0+110	2690	1358	0,67

Измерение потенциала поверхности кремниевых пластин в процессе производства БИС

И.Ю.БУТУСОВ, В.В.КРЯЧКО *канд.физ.-мат.наук*, В.В.КОТОВ,
И.Е.ЛОБОВ *канд.техн.наук*

Прибор ИПП-006 позволяет исследовать параметры чистой и окисленной поверхности кремния, МП-, ДМ-, ДП-, МДП-структур после различных технологических процессов. Диапазон измеряемых потенциалов — ± 10 В (± 120 В — в неавтоматическом режиме). Чувствительность — 5 мВ, диаметр измеряемых пластин 100 или 150 мм. Измерители ИПП-006 используются для контроля и оптимизации технологических процессов в производстве БИС на НПО «Электроника».

Известно, что для контроля зарядовых характеристик МДП-структур широко используется метод CV-метрии. В этом случае на поверхность окисла наносятся металлические контакты, что создает ряд трудностей при применении этих методов для контроля технологических процессов при производстве БИС. Возможно использование для контроля характеристических параметров ДП-, МДП-структур бесконтактного компенсационного измерителя потенциала поверхности с зондом Кельвина. С помощью прибора измеряется разность потенциалов (U_k) между торцом платинового зонда диаметром 0,1—0,5 мм и кремниевой пластиной. Более точно U_k представляет собой напряжение компенсации, т.е. сумму напряжений на диэлектрической пленке и на области пространственного заряда полупроводника, сложенную с контактной разностью потенциалов платина-кремний.

Кремниевая пластина помещается в измеритель и перемещается под зондом вдоль ее диаметра. При движении вперед в темноте измеряется $U_{кт}$, при движении назад по той же траектории поверхность пластины освещается светом и при этом измеряется $U_{кс}$.

Исходные зависимости $U_{кт} = U_{кт}(x)$ и $U_{кс} = U_{кс}(x)$ позволяют вычислять и фиксировать распределение характеристических параметров вдоль диаметра пластины и их среднее значение на траектории зонда [1].

Измерение U_k осуществляется по методу Кельвина—Зисмана с автоматической обратной связью [2] и автоматическим сохранением расстояния Δ между торцом зонда и поверхностью исследуемой пластины.

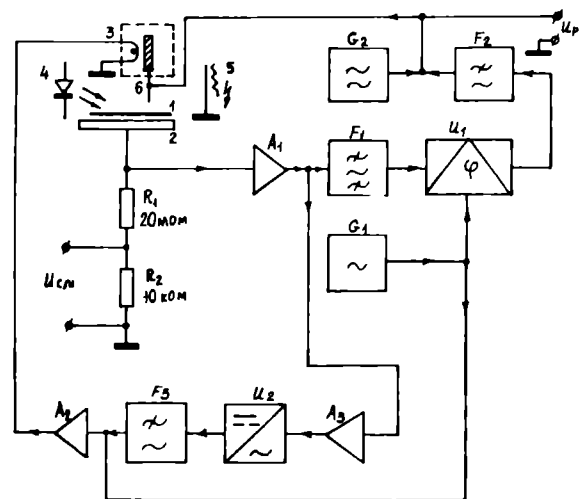
Прибор ИПП-006 состоит из следующих блоков: измерителя U_p , клавиатуры, автоматики,

АЦП, источника $U_{см}$, источника высокого напряжения и связи с ЭВМ. Основной блок — измеритель U_p (см. рисунок). Измеритель U_p работает следующим образом.

С задающего генератора G_1 колебания частотой 820 Гц подаются на усилитель мощности A_2 и с него на катушку зондовой головки прибора. Зондовая головка [3] представляет собой электромагнитный вибратор, состоящий из подвижного цилиндра на растяжках, на котором намотана катушка, к концу которого прикреплен зонд. Измерительный зонд изготовлен из цилиндрической платины диаметром 0,1—0,5 мм. Торец зонда отполирован, протравлен в азотной кислоте и отожжен. Этим достигается стабильность во времени работы выхода зонда. Катушка укреплена в корпусе с магнитной системой.

При возбуждении вибратора торец зонда колеблется перпендикулярно плоскости пластины на расстоянии 15—50 мкм от ее поверхности с амплитудой 1,5—10 мкм. Если в зазоре торец зонда — пластина напряженность электрического поля не равна нулю, то через зазор будет протекать ток смещения I_{\sim} :

$$I_{\sim} = (U_k - U_p + U_{см}) dC_3 / dt,$$



Блок-схема измерителя U_p : 1 — исследуемая пластина, 2 — стол для пластины, 3 — зондовая головка, 4 — источник инфракрасного света, 5 — коротрон, 6 — зонд

где U_k — разность потенциалов между пластиной и локальной поверхностью пластины под зондом, C_2 — емкость между торцом зонда и пластиной, смысл U_p и U_{cm} ясен из рисунка.

После несложных математических и физических вычислений имеем следующее.

Напряжение на выходе полосового фильтра F1 ($f_p = 820$ Гц) будет:

$$U_{выхF1} = I_{1\sim} (R_1 + R_2) \cdot k,$$

где k — коэффициент усиления F1.

Следовательно, если $U_k = U_p$ и $U_{cm} = 0$, то сигнал на выходе F1 отсутствует. В противном случае сигнал подается на фазовый детектор U1, к которому также приходит опорный сигнал с G1. С выхода фазового детектора на вход интегратора F2 поступает обработанный сигнал такой, что F2 стремится так изменить U_p , чтобы ток $I_{1\sim}$ был наименьшим.

Предварительный усилитель A1 служит для усиления сигнала на R_1 и R_2 по току.

Для автоматического поддержания расстояния между зондом и поверхностью служат высокочастотный генератор G2 (500 кГц), сравнивающий интегратор F3, усилитель A3 и амплитудный детектор U2. Сигнал с G2 через емкость C_2 поступает на вход A1, при этом его величина прямо пропорциональна C_2 . Далее сигнал усиливается A3 и детектируется U2. В зависимости от уровня сигнала, F3 подает медленно меняющееся смещение на A2, которое способствует поддержанию расстояния зонд—поверхность пластины с помощью следящей системы с точностью до 1%. Как было выяснено, это позволяет уменьшить ошибку в определении U_k до 5 мВ.

Блок клавиатуры служит для подачи команд. Блок автоматики управляет включением светодиодов, двигателем горизонтального перемещения пластины при сканировании U_k вдоль диаметра пластины, двигателем вертикального перемещения зонда для грубой подстройки расстояния зонд—пластина.

Блок АЦП преобразует величину U_p или U_{cm} в цифровой код, который затем поступает на цифровой индикатор и блок связи с ЭВМ.

Блок связи с ЭВМ преобразует данные с блока автоматики и АЦП, передает их на ЭВМ. Формат обмена — RS-232. Возможно подключение к ЭВМ «Электроника-85» (порт «стык С2») и IBM PC (порты «COM1» и «COM2»).

Такая схема прибора позволяет измерять зарядовые характеристические параметры структуры SiO₂—Si: Q_n — заряд на внешней поверхности окисла, Q_{sc} — заряд области пространственного заряда, $Q_{эфф}$ — эффективный заряд на внутренней границе окисла, а также однородность этих параметров вдоль диаметра пластины.

Для измерения электрической прочности и проводимости диэлектрических пленок на кремнии в прибор включены дополнительные блоки — источник высокого напряжения для питания ис-

точника ионов (коротрона) и регулируемый источник напряжения компенсации U_{cm} (110 В). В коротроне генерация ионов осуществляется электрическим полем между вольфрамовой проволокой и корпусом прибора. Блок источника U_{cm} служит для расширения диапазона измеряемого напряжения компенсации U_k до ± 120 В (при $U_{cm} = 0$ — ± 110 В). Без дополнительного компенсатора прибор ИПП-006 позволяет измерить U_k в диапазоне ± 10 В.

Оценка электрической прочности и проводимости диэлектрических пленок производится следующим образом: на пластину коротроном осаждается заряд, а затем измеряется U_k вдоль диаметра пластины в начальный момент времени (U_{k0}) и через определенные промежутки времени (U_{k1}, \dots, U_{kn}). По величине U_{k0} и толщине диэлектрика h вычисляется электрическая прочность [5], а по U_{k1}, \dots, U_{kn} — зависимость проводимости диэлектрической пленки от напряженности поля [6]

Технические характеристики прибора ИПП-006

Диаметр измеряемых пластин	100 или 150 мм
Длина траектории сканирования	90 или 140 мм
Диапазон измеряемой U_k	
в автоматическом режиме	± 10 В
в полуавтоматическом режиме	± 120 В
Погрешность измерения U_k	
случайная	5 мВ
систематическая	50 мВ
Среднее время измерения U_k в точке	0,1 с
Скорость сканирования	1...3 мм/с

Описанный прибор ИПП-006 имеет меньшую точность по сравнению с приборами, основанными на C-V-методах, но преимуществом его является то, что он позволяет измерять распределение электрических характеристик окисленных и чистых полупроводников и металлов или ДМ, ДП, МДМ, МДП-структур неразрушающим компенсационным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесконтактный экспресс-метод измерения плотности зарядовых состояний на окисленных кремниевых пластинах в производстве БИС/В.В.Крячко, И.Ю.Бутусов, В.Д.Линник, Г.В.Сонов. — См. наст. вып.
2. А.с. 77256 СССР МКИ 01 29/12 Устройство для измерения контактной разности потенциалов/В.В.Крячко, А.И.Глазнев, А.В.Мажулин, И.Г.Проценко.
3. Белов А.К., Крячко В.В., Мажулин А.В. Вибратор для измерителя контактной разности потенциалов с зондом малого диаметра. — Приборы и техника эксперимента, 1988, № 1.
4. Ветров А.П. Об измерении контактной разности потенциалов. — Полупроводниковая техника и микроэлектроника. — Киев, 1972, вып. 7.
5. Бутусов И.Ю., Крячко В.В., Тонких Н.Н. Методика бесконтактного измерения распределения электрической прочности тонких диэлектрических пленок на кремниевых пластинах. — См. наст. вып.
6. Бутусов И.Ю., Котов В.В., Крячко В.В. Методика бесконтактного измерения поперечной проводимости тонких пленок диоксида кремния на кремнии. — См. наст. вып.

Измерение поперечной проводимости тонких пленок диоксида кремния

И.Ю.БУТУСОВ, В.В.КОТОВ, В.В.КРЯЧКО *канд.физ.-мат.наук*

Разработана методика бесконтактного измерения одной из важных характеристик диэлектрических слоев — поперечной проводимости. Измерения осуществляются с помощью прибора ИПП-008 (зонд Кельвина). Толщина измеряемых пленок диоксида кремния 5–150 нм, проводимость — 10^{-12} – 10^{-17} (Ом·м)⁻¹, ошибка измерений — 30%, полное время измерения на одной пластине — 60 мин. В результате измерений получается зависимость поперечной проводимости пленки от напряженности поля как в одной точке, так и по поверхности пластины. Метод используется для контроля качества подзатворного окисла полевых транзисторов, при оптимизации технологии производства БИС.

Предлагаемый способ бесконтактного измерения проводимости с помощью измерителя потенциала поверхности методом Кельвина—Зисмана относится к группе способов с использованием процессов заряда или разряда конденсатора.

Методика измерения поперечной проводимости диэлектрической пленки (ДП) на кремниевой пластине заключается в следующем. После установки пластины на ее поверхность из коронного разряда осаждаются ионы, а затем измеряется и фиксируется спад потенциала поверхности ДП пластины во времени [1].

Предполагается, что можно представить поверхность диэлектрика как конденсатор емкостью C , разряжающийся через сопротивление R . При этом:

$$C = \frac{\epsilon_d \epsilon_0}{d} \cdot S, R = \frac{d}{S\sigma}, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, ϵ_d — диэлектрическая проницаемость ДП, d — толщина ДП, S — площадь ДП под измерительным зондом, σ — проводимость ДП.

Величину σ можно рассчитать несколькими способами. В данном случае наиболее приемлемы следующие два.

1 способ. Предположим, что величина σ слабо зависит или не зависит от среднего электрического поля E в диэлектрической пленке (омическая проводимость).

Имеем

$$E = U/d.$$

Тогда:

$$d/dt(CU) = -CU/RC$$

или

$$1/RC = \frac{d}{dt} \ln U.$$

Учитывая выражение (1), получаем:

$$\sigma = \epsilon_d \epsilon_0 \frac{d}{dt} (-\ln U). \quad (2)$$

Для конечных интервалов времени $\Delta t = t_2 - t_1$ и соответствующих им изменений напряжения $\Delta U = U_2 - U_1$ из (5) можно получить проводимость σ для малых изменений U :

$$\sigma_0 = \frac{\epsilon_d \epsilon_0}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{U_1}{U_2}. \quad (3)$$

Однако такой способ определения проводимости дает большую ошибку, если она сильно зависит от E .

II способ. Известно, что при больших величинах E в пленках SiO₂ преобладает туннельный ток и плотность его определяется формулой Фаулера—Нордгейма [2]:

$$j = \alpha E^2 \exp(-\beta/E),$$

где $\alpha = q^3 / (8\pi \cdot h \varphi_b)$, $\beta = 8\pi (2m^*)^{1/2} \varphi_b^{3/2} / (3qh)$, h — постоянная Планка, m^* и q — эффективная масса и заряд электрона, φ_b — высота потенциального барьера на границе катод-ДП. В этом случае можно написать:

$$-\epsilon_d \epsilon_0 \frac{dE}{dt} = \alpha \cdot E^2 \exp(-\beta/E).$$

В результате интегрирования этого выражения с начальными условиями t_0 , U_0 имеем:

$$\frac{1}{E} = k \ln(t + t_\lambda) + l, \quad (4)$$

где

$$k = \frac{1}{\beta}, \quad l = \frac{\ln A}{\beta}, \quad A = \frac{\alpha \cdot \beta}{\epsilon_d \epsilon_0},$$

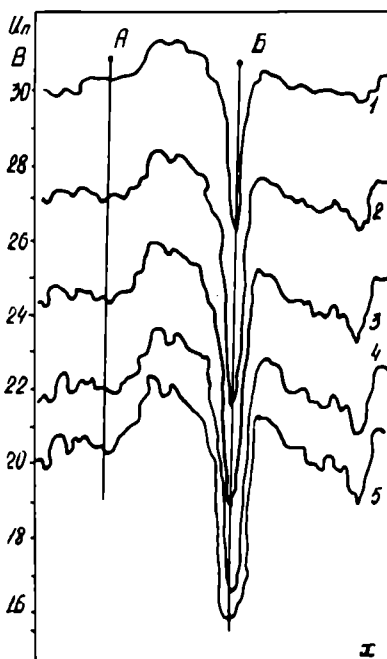
$$t_\lambda = \frac{\exp(\beta/E_0)}{A} - t_0.$$

Параметры k , l , t_λ определяются из системы трех уравнений типа (4) после подстановки в них трех экспериментальных точек $t_1, U_1; t_2, U_2; t_3, U_3$. Подробное изложение этой методики расчетов дано в [3]. В результате величина σ для данной величины E определяется по формуле:

$$\sigma_T = \epsilon_d \cdot \epsilon_0 \cdot \exp[(l - 1/E)/k] \cdot (1 + 2kE). \quad (5)$$

Контроль измерения величины U во времени осуществляется самопишущим милливольтметром или с помощью ЭВМ, подключенной к прибору ИПП-006. Данной методикой можно измерять проводимость в одной точке пластины кремния.

Для примера можно привести результаты измерений на пленке толщиной $d=11,6$ нм. Расчеты показали, что при $U=8,3$ В $\sigma_0 = 3,54 \times 10^{-14}$ (Ом·м) $^{-1}$, $\sigma_T = 8,2 \cdot 10^{-11}$ (Ом·м) $^{-1}$; при $U=8,2$ В $\sigma_0 = 2,31 \cdot 10^{-11}$ (Ом·м) $^{-1}$, $\sigma_T = 6,15 \times 10^{-11}$ (Ом·м) $^{-1}$. Таким образом, результаты, полученные исходя из омической проводимости и туннельного тока, различаются.



Профиль напряжения на ДП в зависимости от времени: 1 — 0 мин, 2 — 2,5 мин, 3 — 5 мин, 4 — 10 мин, 5 — 20 мин

Преимущество предложенной методики заключается не только в том, что она является бесконтактной и неразрушающей, но и в том, что она позволяет за 30—40 мин получить распределение величины σ вдоль диаметра пластины.

Для этого фиксируется распределение величины U вдоль диаметра пластины через определенные промежутки времени, а затем для выбранных точек на диаметре вычисляется σ . На рисунке приведены графики распределения U вдоль диаметра пластины с ДП (толщина пленки $d=45$ нм), снятые сразу после осаждения ионов (0 мин), через 2,5 мин, 5 мин, 10 мин и 20 мин. Исходя из омической проводимости рассчитаны величины для двух точек на диаметре пластины: А— σ_0 (27 В) $= 2,4 \cdot 10^{-14}$ (Ом·м) $^{-1}$, Б— σ_0 (22 В) $= 2,9 \cdot 10^{-13}$ (Ом·м) $^{-1}$.

Следует заметить, что расчет распределения проводимости вручную представляет большие трудности, однако на современных ЭВМ при соответствующем программном обеспечении возможно получить трехмерную картину зависимости распределения проводимости вдоль диаметра пластины от величины напряжения U .

На основании проведенных исследований было установлено, что величина проводимости и ее распределение по диаметру пластины различаются в зависимости от способа получения диоксида кремния. Наименьшую среднюю величину проводимости и наименьшее изменение ее по диаметру пластины имеют пленки SiO₂, полученные пирогенным окислением, по сравнению с пленками, полученными окислением в сухом кислороде. При одинаковом способе окисления увеличение средней величины проводимости и увеличение разброса величины проводимости по диаметру объясняется, по-видимому, загрязнением поверхности пластины перед окислением или в его процессе.

Вышеописанная методика используется на НПО «Электроника» для контроля и оптимизации процессов окисления кремниевых пластин в производстве БИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерение потенциала поверхности кремниевых пластин в процессе производства БИС/И.Ю.Бутусов, В.В.Крячко, В.В.Котов, И.Е.Лобов.— См. наст. вып. с. 104.
2. Свойства структур металл—диэлектрик—полупроводник/Под ред. А.В.Ржанова.— М.: Наука, 1976.— 279 с.
3. Измерение проводимости диэлектрических пленок на проводящей подложке бесконтактным способом/В.В.Крячко, И.Ю.Бутусов, В.В.Котов, В.А.Олейничко.— Воронеж: Деп. в ВИНТИ, № 3352-В92 от 25.11.92.

Измерение распределения электрической прочности тонких диэлектрических пленок

И.Ю.БУТУСОВ, В.В.КРЯЧКО *канд.физ.-мат.наук*, Н.Н.ТОНКИХ

В процессе измерений фиксируется максимальное напряжение на пленке, не разрушающее ее, и распределение этого напряжения по поверхности пленки. Толщина измеряемых пленок 5—150 нм, электрическая прочность до 1 В/нм, ошибка измерения не превышает 10%. Максимальное время измерения одной пластины — 15 мин.

Бесконтактное измерение электрической прочности имеет преимущество перед контактным, так как не требует создания контактов к пленке. Кроме того, бесконтактным методом возможно исследовать распределение электрической прочности вдоль диаметра одной пластины за 10—15 мин.

Для измерения электрической прочности на поверхность пленки из коронного разряда осаждались ионы. Поток ионов прекращался, когда на внешней поверхности пленки создавался предельный заряд, равный:

$$Q_m = \epsilon \epsilon_0 \frac{U_m}{d} S = \epsilon \epsilon_0 E_m S,$$

где E_m — максимальная напряженность поля, U_m — создающее E_m напряжение, d — толщина диэлектрической пленки.

Измерив прибором ИПП-006 U_m в локальной точке или его распределение вдоль диаметра пластины, при известной толщине ДП можно определить соответствующие E_m .

Величина E_m сравнивалась на одних и тех же пленках со значениями напряженности, полученными контактным методом (E_{mk}) — специальным измерителем-классификатором (контакт к поверхности пленки создавался каплей ртути). Классификатор имел генератор пилообразного напряжения, которое подавалось на пленку и выключалось при некотором U_{mk} тогда, когда ток через ДП достигал некоторой заданной величины $j_{по}$ (10^{-3} — 10^{-4} А/м²). Как показали измерения, различие величин U_{mk} и U_m статистически не превышало 10%.

Исследуемые пленки диоксида кремния получали двумя способами — термическим окислением кремния в сухом кислороде с примесью хлористого водорода при температуре реактора 1100°C (метод А) и пироженным окислением в установке «Оксид 3д» при температуре реактора

1100°C (метод Б). Толщина пленки составляла 40 ± 50 нм.

Зависимость $U_m = U_m(x)$, где x — координата точки измерения U_m вдоль диаметра пластины кремния, условно назовем графопотом U_m .

На рис. 1 приведены графопоты U_m для диоксида кремния, различающихся однородностью ЭП вдоль диаметра пластины (рис. 1,а соответствует однородному распределению прочности, рис. 1,б — неоднородному).

Электрическая прочность пленок диоксида кремния, полученных методами А и Б, в большинстве случаев не превышала 720 МВ/м.

Следует ожидать, что максимально возможная прочность диоксида кремния не выше, чем у кварца и кварцевого стекла [2] и для совершенных пленок приближается к 1400 МВ/м.

Путем измерений выяснено, что пленки диоксида кремния, полученные методом Б, имеют большую электрическую прочность и большую однородность распределения вдоль диаметра пластины, чем пластины, полученные методом А.

На рис. 2 показано для сравнения E_m для 25 пластин, полученных методом А, и для 15 пластин, полученных методом Б. Из рис. 2 видно,

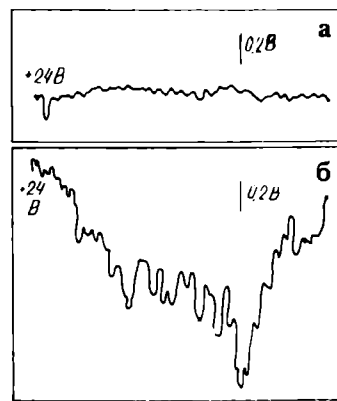


Рис. 1. Изменение напряжения вдоль диаметра пластины на поверхности пленки диоксида кремния после заряда в коронном разряде

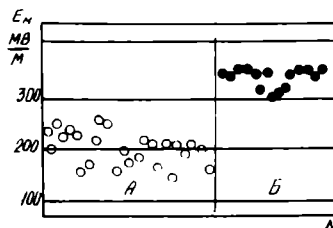


Рис. 2. Электрическая прочность пленки диоксида кремния на кремниевых пластинах (А — сухое термоокисление, Б — пироженное окисление)

что ЭП пленок диоксида кремния, полученных по методу Б, выше на 50%, чем у пленок, полученных методом А.

Необходимо отметить, что электрическая прочность диэлектрических пленок и ее однородность вдоль диаметра пластины не коррелируют. Видимо, однородность электрической прочности определяется локальными нарушениями поверхности перед окислением или возникающими в процессе окисления кремния (например, кремниевая пыль), а величина электрической прочности — составом газовой среды при окислении.

Экспериментально установлено, что электрическая прочность пленок диоксида кремния изменяется незначительно в зависимости от «загрязнения» трубы в процессе эксплуатации.

Увеличение концентрации хлористого водорода в составе потока кислорода приводит к увеличению среднего значения величины ЭП. При расходе хлористого водорода 40 л/час достига-

ется ЭП (700 МВ/м), превышающая ЭП при расходе 20 л/час (620 МВ/м). При расходе хлористого водорода 60 л/час достигается электрическая прочность 755 МВ/м.

Приведенные выше результаты измерения ЭП ДП бесконтактным измерителем ИПП-006 показывают, что измеритель может эффективно использоваться для оптимизации и контроля технологических процессов получения диэлектрических пленок с высокой электрической прочностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерение потенциала поверхности кремниевых пластин в процессе производства БИС/И.Ю.Бутусов, В.В.Крычко, В.В.Котов, И.Е.Лобов. — См. наст. вып. с. 104.
2. Полевые транзисторы. Физика, технология и применение/Пер. с англ. под ред. Майорова С.А. — М.: Советское радио, 1971. — 376 с.

Измерение профиля плотности зарядовых состояний на окисленных кремниевых пластинах

В.В.КРЯЧКО *канд. физ.-мат. наук*, И.Ю.БУТУСОВ, В.Д.ЛИННИК *канд. физ.-мат. наук*, Г.В.СОНОВ

Для экспрессного бесконтактного измерения профиля зарядовых состояний на поверхности окисленных пластин кремния применяется измеритель ИПП-006 с зондом Кельвина. Время регистрации профиля зарядовых состояний (Q_n , Q_{sc} , Q_{ss}) вдоль диаметра пластин — 2 мин. Чувствительность по заряду — $1 \cdot 10^{10}$ е/см², ошибка измерения не превышает 17%.

Оптимизация технологических процессов получения тонких диэлектрических пленок на кремнии или контроль стартовой готовности оборудования для окисления кремния невозможны без оперативного измерения зарядовых характеристик диэлектрических пленок. Если измерения выполняются С—V-методом, то в этом случае необходим проводящий контакт (металл, поликремний, ртуть, индий) к внешней поверхности пленки. К сожалению, при таких измерениях нарушается состояние поверхности и возникает затруднение при просмотре зарядовых состояний вдоль диаметра пластины. Кроме этого, при формировании диэлектрических пленок кроме заряда Q_{fo} возникает заряд на внешней поверхности ДП — Q_n , измерить который С—V-методом затруднено.

Бесконтактный компенсационный метод измерения зарядовых состояний зондом Кельвина основан на измерении потенциала поверхности твердых тел методом Кельвина—Зисмана. Модернизированный измеритель потенциала поверхности (ИПП) [1, 2, 3] позволяет измерять потенциал поверхности V_k полупроводниковых пластин вдоль диаметра в 300—500 точках. Диаметр зонда $3 \cdot 10^{-4}$ м, перемещение пластины под зондом — автоматическое, расстояние торца зонда над поверхностью пластины — 3—2 мкм. Сканирование зонда над пластиной может осуществляться в темноте и вдоль этой же траектории при непрерывном освещении поверхности под зондом светом, создающим состояние поверхности с предельным уровнем фотонинжекции. При сканировании прибором ИПП измеряется напряжение компенсации в темноте $V_{кт}$ и на свету $V_{кс}$. Напряжение $V_{кт}$ представляет собой сумму напряжений на окисле V_d , на области пространственного заряда (ОПЗ) кремния φ_s и контактной разности потенциалов кремний-платина — U_k

$$V_{кт} = V_d + \varphi_s + U_k. \quad (1)$$

Поверхностный заряд Q_n можно представить

в виде:

$$Q_n = \frac{V_d}{h} \epsilon_d \epsilon_0 = \frac{F_d \epsilon_0}{h} (V_{кт} - \varphi_s - U_k). \quad (2)$$

Тогда условие предельной фотоинжекции позволяет определять изгиб зон

$$\varphi_s = V_{кт} - V_{кc}. \quad (3)$$

Следует отметить, что ошибка определения φ_s этим методом составляет 17%.

Заряд области пространственного заряда Q_{sc} рассчитывается по уравнению Гарета—Браттейна по измеренной величине φ_s , т.е.

$$Q_{sc} = Q_{sc}(\varphi_s). \quad (4)$$

Учитывая, что Q_{sc} рассчитывается только в состоянии истощения из (2) и (4) можно оценить эффективный заряд в диэлектрике:

$$Q_{ssz} = Q_n - Q_{sc}. \quad (5)$$

Корректность измерения таким образом Q_{ssz} проверялась сравнением Q_{ssz}^0 , измеренных С—V, и Q_{ssz} , измеренных ИПП при модуляции Q_{io} рентгеновским излучением. При сравнении была получена корреляция $Q_{ssz}^0 = kQ_{ssz}$ при $k=0,95$.

Описанная процедура измерения $V_{кт}$, $V_{кc}$ позволяла получать характеристические зарядовые параметры (ХП) — Q_n , Q_{sc} , Q_{ssz} и их распределение по диаметру пластины. Заметим, что для качественной оценки зарядовых состояний диэлектрической пленки можно пользоваться и исходными параметрами $V_{кт}$, $V_{кc}$, φ_s и их распределением по диаметру пластины. Для сокращения зависимости $V_{кт} = V_{кт}(x)$, $V_{кc} = V_{кc}(x)$ будем называть графопотами $V_{кт}$, $V_{кc}$.

Несомненным достоинством этой методики является, то, что с помощью ИПП можно получать графопоты $V_{кт}$, $V_{кc}$ МДП-структур с гравированными контактами на внешней поверхности пленки диэлектрика. Размер контактов l и окон l_1 вдоль движения зонда должен быть $l_1, l > 2d$ — здесь d — диаметр торца зонда. В этом случае можно получить на одной пластине зарядовые характеристики, как диэлектрических пленок, так и МДП-структур.

Получаемые таким образом характеристики позволяли анализировать состояние диэлектрика при различных способах его формирования. В качестве примера ниже рассмотрены характеристики пленок, получаемых термическим окислением кремния в сухом кислороде при $T = 1000^\circ\text{C}$ с добавлением хлористого водорода (А), пирогенным окислением на установке «Оксид 3д» (В) и варианты процесса А при изменении концентрации хлористого водорода в пото-

ке кислорода 0, 40, 60 л/ч, что соответствует вариантам А-0, А-40, А-60 и варианты процесса А при различных методах очистки поверхности кремния перед окислением. Очистка кремния осуществлялась отмывкой в ваннах растворами КАРО-ПАС (А-К) и травлением поверхности кремния в потоке хлористого водорода при $T = 1100^\circ\text{C}$ (А-Х). Во всех случаях окисел выращивался на кремнии КДБ-12 <100>. Толщина окисла поддерживалась в пределах $(400-450) \cdot 10^{-10}$ м.

На рис. 1 показаны графопоты $V_{кт}$, $V_{кc}$ для диэлектрической пленки, полученной процессом А и В. Графопоты 1,2 различаются $V_{кт}$, φ_s и имеют хорошее равномерное распределение зарядов Q_n и Q_{sc} по диаметру пластины. Графопот 1 получен на пластине, окисленной в процессе В, графопот 2 получен на пластине, окисленной в процессе А. Графопоты 3,4 получены на пластинах кремния, окисленных в процессе А при нарушении технологии окисления. Уменьшение φ_s в

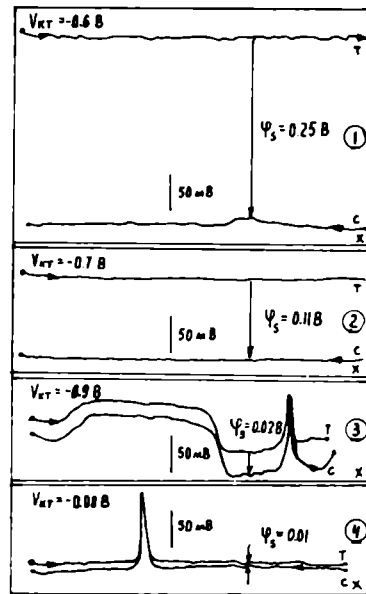


Рис. 1. Изменение напряжения компенсации $V_{кт}$ и $V_{кc}$ вдоль диаметра пластины — $\times (10 \div 80)$ мм. Пластина окислена: 1 — пирогенным способом, 2 — термоокислением, без нарушения технологии, 3, 4 — термоокислением, с нарушением технологии



Рис. 2. Поведение плотности поверхностного заряда Q_n и заряда области пространственного заряда кремния Q_{sc} в зависимости от технологии окисления и очистки поверхности перед окислением: 1 — термоокисление в сухом кислороде без хлористого водорода, 2 — термоокисление в сухом кислороде с добавкой 40 л/ч хлористого водорода, 3 — тоже с добавкой 60 л/ч хлористого водорода, 4 — поверхность перед окислением зачищена хлором, 5 — перед окислением поверхность зачищена КАРО-ПАС

графопоте 2, по-видимому, вызвано пониженной концентрацией хлористого водорода в потоке кислорода. Изменение поверхностного заряда Q_n на траектории движения зонда хорошо видно на графопотах 3,4. На пластине кремния (графопот 4) на первой четверти траектории имеется участок с завышенной концентрацией Q_n в окисле. Неожиданным во всех проведенных измерениях является присутствие на диэлектрических пленках, полученных в процессах А, В, отрицательного напряжения компенсации и Q_n .

Виды графопотов связаны с методикой получения диэлектрической пленки. Если пленки получены в процессе А, то имеют место графопоты вида 3,4, а в случае процесса В с большой вероятностью наблюдаются графопоты вида 1. Вид графопотов изменяется с методикой подготовки поверхности перед окислением и с ее нарушением. На рис. 2 показано изменение Q_n , Q_{sc} при получении диэлектрической пленки в процессе А-0, А-40, А-60, А-Х, А-К. При увеличении концентрации хлористого водорода до 40 л/час Q_n уменьшается и одновременно уменьшается Q_{sc} , при увеличении же концентрации хлористого водорода до 60 л/час происходит увеличение Q_n и снижение $Q_{sc} = 0$ (состояние с плоскими зонами). Зачистка поверхности хлором процесс А-Х

уменьшает Q_n и соответственно увеличивает Q_{sc} . Таким образом, по форме графопота и величине $V_{кр}$, $V_{кс}$, φ_s можно судить о Q_n , Q_{sc} и составить представление о нарушениях технологии получения диэлектрика. При получении диэлектрической пленки в процессе А и очистке поверхности перед окислением в химических растворах КАРО-ПАС наблюдаются повышенные значения Q_n и Q_{sc} и большой разброс их значений даже в том случае, если ДП получены в одном цикле.

Таким образом, показано, что измерителем потенциала поверхности типа ИПП-006 можно качественно контролировать профиль зарядовых состояний на окисленных пластинах кремния и использовать его для оперативного цехового контроля при получении диэлектрической пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 776256, 6.6.1978 г. Устройство для измерения контактной разности потенциалов/Глазнев А.Н., Крячко В.В., Мажулин А.В., Проценко И.Г.
2. Крячко В.В., Мажулин А.В., Седов А.Н.— Электронная промышленность, 1989, № 1, с. 15—17.
3. А.с. № 820411, 31.5.1979 г. Способ определения заряда диэлектрика в структуре диэлектрик—полупроводник/Глазнев А.Н., Крячко В.В., Мажулин А.В., Сухоруков Н.И.

Определение чистоты поверхности кремниевых пластин в производстве БИС

И.Ю.БУТУСОВ, В.В.КРЯЧКО *канд. физ.-мат. наук*, В.В.КОТОВ,
Н.И.СУХОРУКОВ *канд. техн. наук*

Разработанный и внедренный в производственную практику экспресс-метод определения чистоты поверхности полупроводниковых приборов пластин после их очистки основан на регистрации созданных ионными загрязнениями профиля плотности заряда вдоль диаметра пластины. Полученный профиль сравнивается с эталонным профилем поверхности эпитаксиальной пластины. Измерение профиля плотности заряда проводится измерителем ИПП-002 с зондом Кельвина. Диаметр анализируемых пластин 100—150 мм. Время измерения пластины 120 с. Чувствительность измерителя по заряду — $5 \cdot 10^{13}$ е/см². На окисленных пластинах чувствительность $\approx 1 \cdot 10^{10}$ е/см².

Известно [1], что высококачественный диоксид кремния на кремнии может быть выращен на аморфизированной поверхности, не содержащей ионов тяжелых и электроположительных металлов. При выращивании диоксида кремния на поверхности, содержащей ионы тяжелых и электро-

положительных металлов, создаются условия к появлению на границе раздела диоксид кремния-кремний поверхностных состояний и проводящих каналов в окисле. Поэтому необходима тщательная очистка поверхности от этих ионов.

Уменьшение концентрации поверхностных состояний, связанных с хемисорбированными атомами металлов, наиболее эффективно осуществляется очисткой поверхности химическими растворами в объемных и аэрозольных системах отмывки.

Для очистки поверхности кремния от ионов тяжелых металлов используются химические растворы комплексонов, которые при очистке образуют устойчивые растворимые водой комплексные соединения тяжелых металлов. Известно, что в качестве комплексонов широко используется аммиак и другие поверхностно-активные вещества. Эффективность действия этих растворов зависит от концентрации компонентов и от технологии. Если учесть, что повторная очистка не желательна, то очевидна необходимость введения контроля чистоты химических раство-

ров и готовности оборудования перед началом процесса очистки большого массива пластин.

Концентрация ионов на поверхности кремния, как известно, может быть определена высокоточными масспектрометрическими, электронографическими и другими методами.

Однако применение этих методов в цеховых условиях затруднено, поэтому предлагается использовать более мобильные способы оценки чистоты поверхности, хотя они и не отличаются высокой точностью. Один из таких методов — измерение концентрации загрязняющих поверхность ионов Q_n и сравнение ее с концентрацией ионов на свежеприготовленной эпитаксиальной поверхности кремния Q_n^0 , помещенной в условия «чистой» комнаты. Чистоту эпитаксиальной поверхности и Q_n^0 примем за эталон технологически предельно чистой поверхности (ТПЧП).

Для измерения Q_n^0 была разработана аппаратура и методика измерения [2, 3]. Величина Q_n^0 определяется бесконтактным способом Кельвина Зисмана, потенциал поверхности V_k измеряется с помощью вибрирующего над поверхностью зонда Кельвина. Совершенствование этой методики [2] позволило увеличить точность измерения при движении исследуемой пластины под зондом. В приборе для измерения потенциала поверхности ИПП одновременно с измерением $V_{кт}$ фотоинжекционным методом оценивался изгиб зон на поверхности φ_s . Для этого поверхность под зондом в процессе измерения V_k освещалась сильно поглощающимся в кремнии светом. В результате этого создавалось состояние «сильной» фотоинжекции. При этом на поверхности предельно уменьшался изгиб зон. Разница напряжения компенсации в темноте $V_{кт}$ и на свету $V_{кс}$ позволяла оценивать изгиб зон φ_s . Измерениями было выяснено, что ошибка измерения φ_s этим способом составляет 17%.

При анализе напряжения компенсации $V_{кт}$ было установлено, что

$$V_{кт} = \varphi_s + V_d + U_k, \quad (1)$$

где φ_s — падение напряжения на области ПЗ; V_d — напряжение на окисле; U_k — разность потенциалов зонд-кремний.

Учитывая, что

$$Q_n = \epsilon_0 \epsilon_d \cdot \frac{V_d}{h}, \quad (2)$$

где h — толщина окисла, из (1) и (2) получим:

$$Q_n = \frac{\epsilon_0 \epsilon_d}{h} (V_{кт} - \varphi_s - U_k). \quad (3)$$

Приняв, что $h = 10 \cdot 10^{-10}$ м, и $U_k = 0,1$ В, из (3) можно рассчитать Q_n для каждой точки траектории. Измеряемое φ_s позволяет рассчитать по формуле Гаррета—Браттейна заряд ОПЗ

$$Q_{sc} = Q_{sc}(\varphi_s).$$

Таким образом, для оценки чистоты поверхности кремния [4] сравнивались среднестатистические значения плотности поверхностного заряда \bar{Q}_n^0 , плотности поверхностного заряда ОПЗ — \bar{Q}_{sc}^0 и дисперсии этих величин $\bar{\sigma}^0(Q_n)$ и $\bar{\sigma}^0(Q_{sc})$ эпитаксиальной поверхности с аналогичными параметрами исследуемой поверхности — \bar{Q}_n , \bar{Q}_{sc} , $\bar{\sigma}(Q_n)$, $\bar{\sigma}(Q_{sc})$. По различию этих параметров оценивалась степень загрязнения ионами исследуемой пластины и равномерность их распределения по поверхности.

Многочисленными измерениями на свежеприготовленных эпитаксиальных поверхностях КДБ-10 были установлены предельные параметры чистой поверхности (ТПЧП):

$$\begin{aligned} \bar{Q}_n^0 &= \pm 10^{12} \text{ е/см}^2, \quad \bar{Q}_{sc}^0 = -(3 \div 5) \cdot 10^{10} \text{ е/см}^2, \\ \bar{\sigma}^0(Q_n) &= 2 \cdot 10^{11} \text{ е/см}^2, \quad \bar{\sigma}^0(Q_{sc}) = 0,25 \cdot 10^{10} \text{ е/см}^2, \\ V_{кт}^0 &= +(10 \div 50) \cdot 10^{-3} \text{ В}, \\ \varphi_s^0 &= +(100 \div 200) \cdot 10^{-3} \text{ В}, \quad \sigma^0(V_{кт}) \leq 10 \cdot 10^{-3} \text{ В}. \end{aligned}$$

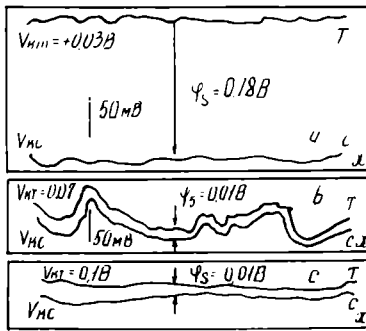
При практическом использовании параметров ТПЧП было установлено, что чистоту поверхности кремния можно оценивать и по отклонению исходных параметров $\bar{V}_{кт}^0$, $\bar{V}_{кс}^0$, $\bar{\sigma}^0(V_{кт})$, $\bar{\sigma}^0(V_{кс})$ от аналогичных параметров для исследуемой поверхности. Для сокращения условий называть зависимости $V_{кт} = V_{кт}(x)$, $V_{кс} = V_{кс}(x)$, $Q_n = Q_n(x)$, $Q_{sc} = Q_{sc}(x)$ графопотами $V_{кт}$, $V_{кс}$, Q_n , Q_{sc} .

Известно, что в практике используются очистка поверхности в ваннах с проточной водой и устройства с аэрозольной очисткой поверхности конденсатом. Условимся называть их ОВ, АЭ очистки.

Чистота поверхности пластин кремния, очищенных в ОВ и АЭ системах, оценивалась прибором ИПП по величине изгиба зон. Измерения проводились на очищенных пластинах КДБ-12(100): за 100 с на ЭВМ фиксировались графопоты $V_{кт}$, $V_{кс}$, Q_n , Q_{sc} и рассчитывались $V_{кт}$, φ_s , Q_n , Q_{sc} , которые сравнивались с эталонными.

При очистке КДБ-12 в растворах КАРО-Н₂O на поверхности формировался положительный заряженный равномерно расположенный слой. По-видимому, такой слой создается ионами кремнекислоты (см. рисунок, а). Низкие значения дисперсии $V_{кт}$, $V_{кс}$ (не превышают $10 \cdot 10^{-3}$ В) свидетельствуют о равномерном распределении заряда на поверхности.

Измерения \bar{Q}_n после ОВ очистки пластин КДБ-12 растворами КАРО показали, что имеются пластины с $Q_n > 0$ и $Q_n < 0$. Положительный заряд поверхности Q_n в этом случае создает в ОПЗ состояние истощения. Это подтверждается высокой фоточувствительностью поверхности и, следовательно, большим φ_s . Таким образом, на поверхности КДБ-12 в растворах КАРО-Н₂O формируется положительно заряженный слой



Зависимость напряжения компенсации в темноте $V_{кт}$ и на свету $V_{кс}$ от положения зонда на диаметре пластины кремния $x = (10 \div 80)$ мм: а — для чистой поверхности, б, с — для загрязненной поверхности

$$-2 \cdot 10^{12} \text{ e/cm}^2 < Q_n < +2 \cdot 10^{12} \text{ e/cm}^2.$$

После очистки поверхности кремния р- и n-типа в растворах ПАС на поверхности формируется отрицательно заряженный слой. По-видимому, такой слой образуется сложными силикатными ионами и располагается на поверхности неравномерно. На рис. в, с показаны графопоты $V_{кт}$, $V_{кс}$ для такой поверхности. Видно, что изгиб зон ϕ_s мал, а дисперсия $V_{кт}$, $V_{кс}$ велика и превышает $50 \cdot 10^{-3}$ В. Это свидетельствует о «пятнистом» расположении ионов на поверхности.

Распределение Q_n для пластин КДБ-12, поверхность которых была очищена растворами ПАС имеет большой разброс по величине, отрицательный заряд Q_n после такой очистки создает в объеме КДБ-12 состояние с плоскими зонами.

Поверхность КДБ-12 после очистки в растворах ПАС-Н₂O не может быть отнесена к ТПЧП.

При очистке пластин КДБ-12 в ОБ системах растворами КАРО-ПАС в большом числе случаев формируется поверхность, заряд которой Q_n хорошо воспроизводится. Типичный графопот $V_{кт}$, $V_{кс}$ показан на рис. а. Поверхность, очищенная этим способом, близка к ТПЧП.

Результаты анализа очистки поверхности кремния КДБ-12 в растворах КАРО-ПАС позволили установить, что состояние поверхности после очистки определяется концентрацией Н₂O₂ в ПАС. При концентрации Н₂O₂ в ПАС выше 45% на поверхности КДБ-12 формируется $Q_n > 0$ и $\phi_s > 0$. При концентрации Н₂O₂ в ПАС меньше 45% формируется $Q_n < 0$ и $\phi_s = 0$. Наибольшие нарушения концентрации Н₂O₂ в ПАС встречаются в ОБ очистке.

Таким образом, очистка пластин КДБ-12 растворами КАРО-ПАС позволяет получить однородную по ионным загрязнениям поверхность близкую к характеристикам ТПЧП при сохранении концентрации Н₂O₂ в ПАС выше 45%.

Показано, что бесконтактный измеритель потенциала поверхности ИПП-002 позволяет бесконтактно оценивать зарядовое состояние поверхности кремния после различных видов очистки и определять стартовую готовность растворов и оборудования перед запуском в очистку больших массивов пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин В.З. Кинетика и механизм термического окисления кремния.— Воронеж, 1983, с. 1—17.
2. Крячко В.В., Мажулин А.В., Седов А.Н. Контроль чистоты поверхности кремниевых пластин методом Кельвина.— Электронная промышленность, 1989, № 1, с. 15—17.
3. А.с. 77256 СССР МКИ 01 29/12. Устройство для измерения контактной разности потенциалов: Крячко В.В., Глазнев А.Н., Мажулин А.В., Проценко И.Г.
4. А.с. 4923696/25/27533. 1.4.1991 г. Способ бесконтактного контроля чистоты поверхности полупроводниковых пластин/Крячко В.В., Котов В.В., Олейниченко В.А.
5. Литовченко В.Г. Основы физики полупроводниковых слоистых систем.— Киев: Наукова думка, 1980, с. 97.

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

УСТАНОВКА АЭРОФИТОГЕНЕРАТОР

Предназначена для проведения групповых ингаляционных лечебно-оздоровительных и профилактических процедур путем создания особого микроклимата в помещениях испарением жидкого препарата, приготовленного из лекарственных трав. Необходимая концентрация вещества в воздушной среде закрытого помещения достигается заданием с пульта управления параметров дозировки, температуры и скорости воздушного потока, определяющих интенсивность процесса испарения лекарственного вещества.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Температурный диапазон регулировки воздушного потока	25—65°C
Погрешность установки температуры	±2°C
Скорость воздушного потока	4 ступени
Интервал времени между дозами	5—20 мин
Объем единичной дозы	0,05—4,95 мл
Количество задаваемых доз	1—99
Программирование и управление аэрофитогенератором	с пульта
Габаритные размеры	450×350×140 мм
Масса, не более	15 кг
Питание, сеть переменного тока 50 Гц	220 В
Потребляемая мощность, не более	500 Вт

Выпускается со второго квартала 1994 г.

Заказы на изделия в виде гарантийного письма принимаются по адресу:
394042, г. Воронеж, ул. Минская, 16, ОКБ при заводе «Процессор».

Консультации по техническим вопросам: Ткаченко Алексей Михайлович, тел. (0732) 23-79-60.

Дефекты в зоне пайки — причина разрушения кристаллов БИС

О.М.ЗОЛОТУХИНА *канд.техн.наук*, В.В.ЖУЧКОВА *канд.мат.наук*

С переходом на большие и сверхбольшие кремниевые интегральные схемы (БИС) наблюдается увеличение доли катастрофических отказов изделий из-за появления трещин в кристаллах БИС, связанных с их механической прочностью.

Исследования отказов этого вида, выполненные с помощью оптических средств и тензометрии, позволили установить, что причины разрушений вызваны разного рода пустотами в зоне соединения кристалла с подложкой корпуса. Разрушение кристаллов всегда начинается на обратной стороне у границ пропаянной части кристалла с участком пустоты (у края пустот), а затем трещины, как правило, выходят на грани кристаллов, где и обнаруживаются. Наличие пустот резко снижает прочность кристаллов и вызывает их разрушение при напряжениях значительно ниже расчетных [1].

Анализ мест разрушений БИС показал, что причиной разломов кристаллов, как правило, являются пустоты двух видов: краевые (в 95—98% случаев разрушений) и эллиптической формы (2—5%), причем, чем больше размер пустот, тем ниже значения механических напряжений, способных привести кристалл к разрушению. На рис. 1, 2 и 3 представлены примеры разрушений БИС от пустот различной формы.

В настоящей работе на основании законов линейной механики разрушения рассматривается влияние размеров краевых пустот на напряженное состояние, возникающее в кристаллах БИС.

Задача определения критических размеров пустот решается в два этапа: сначала определяется напряженное состояние бездефектной многослойной пластины, а затем переходят непосредственно к задаче определения напряжения разрушения этой пластины с краевым дефектом.

Математическая модель механических напряжений, возникающих в бездефектном кристалле, напаянном на керамическое основание, выводится на примере многослойной пластины, находящейся под действием температурного поля и статических нагрузок. Полагается, что механические и температурные свойства материала для каждого слоя постоянны. Материал слоев трансверсально изотропный, т.е. в каждой точке тела существует плоскость, в которой все направления эквивалентны с точки зрения упругих свойств.

Уравнения для определения критических контактных напряжений, вызывающих разрушение кристалла, решаются на основе теории механики разрушения хрупких тел. Основные математические уравнения и системы управлений, описывающие напряженно-деформированное состояние слоев кристаллической пластины и их решения, приведены в работе [2].

После ряда преобразований выражение для нормальных контактных напряжений на границе двух слоев имеет вид:

$$\sigma_0 = \frac{CA_{11}}{A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}} Ch(aL_0), \quad (1)$$

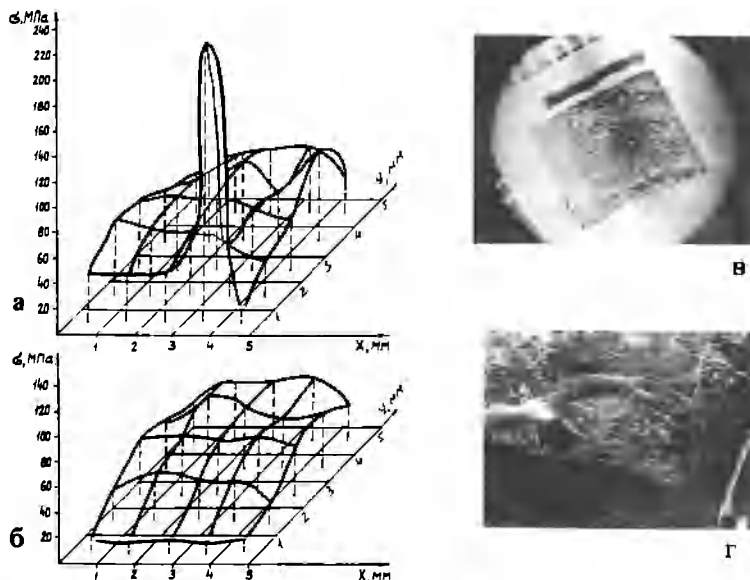


Рис. 1. Поля напряжений. Пример разрушения кристалла от краевой пустоты в паяном эвтектическом слое: а — зарождение трещины после напайки кристалла в корпус; б — разрушение кристалла после 5 термоциклов при $T = -60 \div +125^\circ\text{C}$; в — фотоснимок МТР-7 эвтектического соединения кристалла с корпусом; г — обратная сторона кристалла с наличием трещин вдоль кромок пустоты

Рис. 2. Поля напряжений. Пример разрушения кристалла от пустоты эллиптической формы в паяном эвтектическом слое: а — после напайки; б — после полного цикла сборки; в — после 100 термоциклов при $T = -60 \div +125^\circ\text{C}$; г — разрушенный кристалл (после двух месяцев хранения при нормальных условиях)

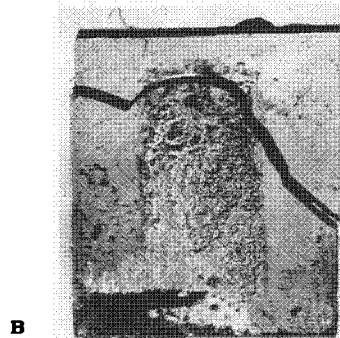
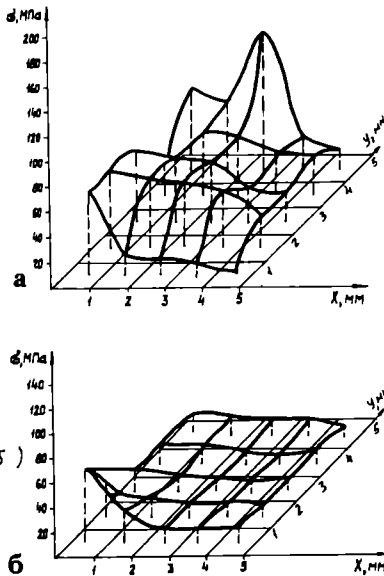
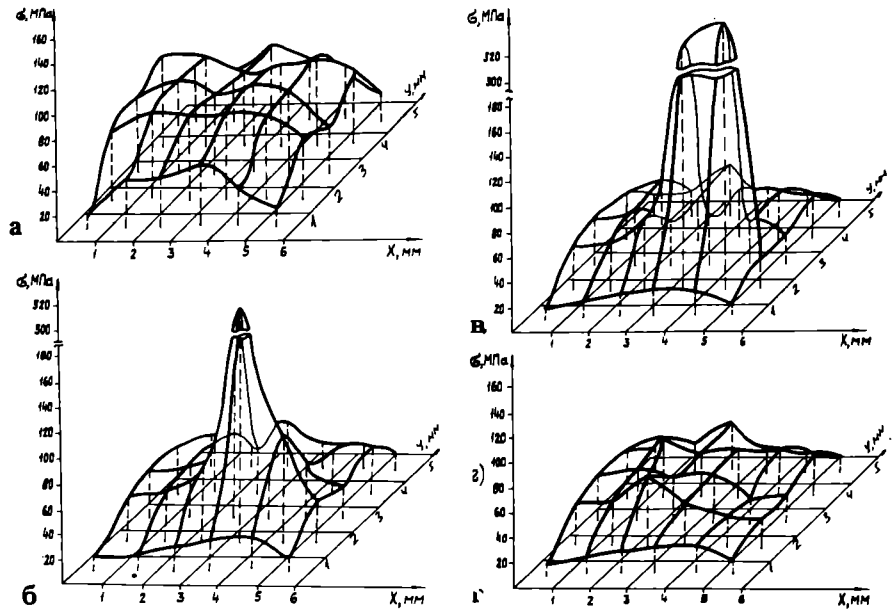


Рис. 3. Поля напряжений. Пример разрушения кристалла от краевых пустот после напайки в реставрированный корпус: а — после напайки; б — после полного цикла сборки (разрушение); в — обратная сторона разрушенного кристалла (с локальной зоной эвтектического соединения с корпусом)

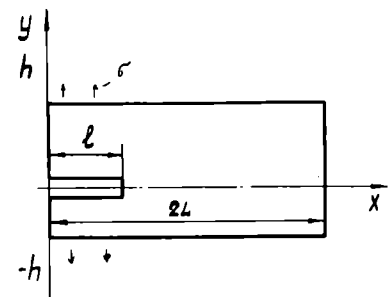


Рис. 4. Схема прямоугольной пластины с краевой пустотой

где

$$a^2 = \frac{A_{33}A_{11} - A_{12}^2}{A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}};$$

$$A_{12}$$

$$C = -\frac{A_{12}}{A_{11}\text{sh}(aL_0)} [I_1^1 (1 + \mu_1) T_{01} - I_1^2 (1 + \mu_2) T_{02}],$$

(2)

I_1^1, I_1^2 — коэффициент линейного расширения для первого и второго слоя, соответственно; T_{01}, T_{02} — температура первого, второго слоя соответственно. $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{33}$ — константы, определяемые значениями модуля Юнга (E_1, E_2), коэффициента Пуассона (μ_1, μ_2), модуля сдвига

(G_1, G_2) и толщин (h_1, h_2) первого и второго слоев соответственно.

После определения напряженного состояния бездефектной многослойной пластины решается задача определения критических размеров краевых пустот в паяном слое кристалл БИС-корпус.

В качестве физической модели БИС с краевой пустотой рассматривается упругая пластина длины $2L$, содержащая трещину длины l (рис. 4). К краям трещины приложены нормальные напряжения. Распределение напряжений около трещины можно характеризовать коэффициентами интенсивности напряжений (КИН), которые определяют локальное распределение напряжений, смещений и деформаций вблизи кромки трещины. Задание этих параметров поз-

воляет полностью определить напряженно-деформированное состояние на контуре трещины.

Граничные условия имеют вид:

$$\sigma^+ - i\tau^+ = \sigma^- - i\tau^- = -\sigma; 0 \leq x < l. \quad (3)$$

Значения КИН в вершине трещины определяются методом, предложенным в работе [3, 4].

Уравнение для определения КИН имеет вид:

$$K_I - iK_{II} = \lim_{x \rightarrow l} \sqrt{\frac{\pi(l^2 - x^2)}{l}} g_1'(x), \quad (4)$$

где $g_1'(x)$ — известная функция, характеризующая разрыв перемещений при переходе через трещину [3, 4].

Численные значения КИН в вершине краевой трещины, полученные методом сингулярных интегральных уравнений [1, 2] приведены в табл. 1 (для $\frac{h}{L} > 0,4$) и табл. 2 (для $\frac{h}{L} < 0,4$).

Рассчитаем теперь по формуле (1) напряжение σ_0 , возникающее в бездефектной пластине по линии предполагаемого дефекта. Расчеты проведены для следующих значений геометрических и механических характеристик:

$$h_1 = 1,1 \text{ мм}; E_1 = 3,7 \cdot 10^5 \text{ МПа}; T_1 = 450^\circ\text{С};$$

$$h_2 = 0,46 \text{ мм}; E_2 = 1,87 \cdot 10^5 \text{ МПа}; T_2 = 280^\circ\text{С}; \\ 2L_1 = 3 \text{ мм}; 2L_2 = 6 \text{ мм}; \mu = 0,358; \\ l = 3,82 \cdot 10^{-6} / \text{град.}$$

где h_1, h_2 — толщина монтажной площадки корпуса и кристалла; $2L_1, 2L_2$ — длина кристалла с краевой пустотой; E_1, E_2 — модуль Юнга материалов корпуса (керамика) и кристалла (кремний); T_1, T_2 — температура корпуса и кристалла в момент пайки.

Нормальное напряжение, рассчитанное по формуле (1), равно $\sigma = 48 \text{ МПа}$.

В случае, когда кристаллы БИС ослаблены краевой пустотой в соединительном слое, уравнение (4) для определения коэффициента интенсивности напряжения K_I примет вид:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi l} f\left(\frac{l}{L}; \frac{h}{L}\right); \quad (5)$$

где l — длина пустоты (непроая); $f\left(\frac{l}{L}; \frac{h}{L}\right)$ — поправочная функция, определяемого из численного решения системы интегральных уравнений, учитывает влияние конечных размеров пластины на КИН. Значения этой функции представлены в табл. 1.

Исходя из критерия хрупкого разрушения, распространение трещины наступает тогда, когда КИН K_I в вершине трещины достигает некоторого постоянного значения для данного материала K_{Ic} , называемого коэффициентом вязкости разрушения $K_I \leq K_{Ic}$. Коэффициент вязкости раз-

$h/2L$	Значение КИН ($K_I/\sigma\sqrt{\pi l}$) при $l/2L$				
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,48	1,2499	1,543	1,9275	3,0924	6,4152
0,25	1,6747	2,301	4,086	7,3316	10,7602

Таблица 2

Значения функции Грина $G(x_i)$ при действии сосредоточенных сил на краях краевой пустоты в пластине

$\frac{x_i}{l}$	$\frac{G(x_i)h^{3/2}}{\sqrt{\pi l}}$
0,0132	0,1029
0,0362	0,1690
0,0702	0,2313
0,1143	0,2890
0,1673	0,63411
0,2282	0,3884
0,2955	0,4296
0,3675	0,4658
0,4426	0,4925
0,5192	0,5102
0,5952	0,5252
0,6690	0,5316
0,7389	0,5424
0,8031	0,5493
0,8603	0,5513
0,9090	0,5326
0,9481	0,5334
0,9767	0,5368
0,9941	0,5237

рушения для кремния равен $K_{Ic} = 4,3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ [6]. Критический размер дефекта (непроая) определяется из уравнения

$$\sigma \sqrt{\pi l} f\left(\frac{l}{L}; \frac{h}{L}\right) = K_{Ic}. \quad (6)$$

Для приведенных выше геометрических и механических характеристик БИС имеем:

— при $\frac{h}{L} > 0,4$, площадь кристалла $S = 10 \text{ мм}^2$ длина кристалла БИС $2L_1 = 3 \text{ мм}$. Отношение критической длины пустоты l_* к длине пластины равно:

$$\frac{l_*}{2L_1} = 0,16.$$

— при $\frac{h}{L} < 0,4$, то есть для схем с площадью кристалла более 36 мм^2 поправочная функция определяется с помощью функции Грина $G(x)$, значения которой приведены в таблице 2. После ряда вычислений получим, что отношение критической длины краевого непряма к длине пластины равно

$$\frac{l_*}{2L_2} = 0,08.$$

Из приведенных примеров видно, что критическое значение относительной длины непряма уменьшается с увеличением размеров кристаллов. С увеличением размеров кристаллов значения

коэффициента интенсивности напряжений растут, а следовательно, опасность разрушения от краевых пустот возрастает (см. рис. 3).

Таким образом показано, что наличие пустот в соединении кристалл—корпус в значительной степени определяют конструктивную надежность БИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов М.И., Жучкова В.В., Золотухина О.М. Причины разрушения кристаллов БИС в металлокерамическом корпусе.— Сб. докладов междунар. конф. «Актуальные проблемы фундаментальных наук».— М.: МГТУ им. Баумана, 1991, т. 9, с. 90—93.
2. Пелех Б.Л., Суходольский М.А. Контактные задачи теории упругих анизотропных оболочек.— Киев: Наук. Думка, 1980.— 216 с.
3. Инженерные расчеты разрушения/Под редакцией Либовица. М.: Мир, 1976.— 631 с.
4. Панасюк В.В., Саврук М.П., Дауншин А.П. Распределение напряжений около трещин.— Киев: Наук. Думка, 1976.— 442 с.
5. Erdogan F., Tera da H. Wedge loading of semi-infinite strip with an edge crack $K//Inf$. J. Fract., 1988, N 4, p. 339—415.
6. Методические задания. Методы механических испытаний материалов. Определение вязкости разрушения при статическом нагружении.— М.: Из-во стандартов, 1982.— 56 с.

Прогнозирование надежности сборки БИС

О.М.ЗОЛОТУХИНА *канд.техн.наук*, В.В.ЖУЧКОВА *канд.мат.наук*, А.А.КОЛБЕНКОВ

Показано, что методический подход к диагностике технологического процесса сборки БИС, разработанный на основе тензометрического метода и статистической теории прочности позволяет с достаточной степенью вероятности предсказать предел прочности для кристаллов БИС различной площади и установить оптимальные значения механических напряжений БИС в корпусе.

Разработанная в семидесятых годах базовая технология сборки интегральных микросхем (ИС) общего и специального назначения обеспечила необходимый уровень надежности изделий, удовлетворяющий разработчиков и изготовителей ИС практически целое десятилетие. С переходом на большие и сверхбольшие кремниевые интегральные схемы (БИС) наблюдается увеличение доли катастрофических отказов из-за появления трещин в кремниевых кристаллах БИС, связанных с их недостаточной механической прочностью после монтажа в корпус. Например,

если для ИС малой степени интеграции вопрос о разрушении кристалла практически не стоял, то в настоящее время время только у потребителя доля отказов ИС средней степени интеграции по этому виду брака составила на входном контроле 10,5 изделия, при произвольных испытаниях — 0,65 изделия, а для ИС 3—5 степени интеграции на входном контроле составила уже 267,2 изделия и при испытаниях радиоэлектронной аппаратуры — 127,6 изделия на миллион поставленных [1].

Возникшая проблема катастрофических отказов БИС из-за разрушения кристаллов в корпусе вызвала большой интерес исследователей к средствам анализа отказов БИС. В настоящее время в области полупроводниковой электроники ведутся разработки по созданию новых композиционных материалов, альтернативных золото-кремниевой эвтектике, и новых материалов и покрытий для корпусов БИС. Поэтому для обеспечения требуемой высокой надежности изделий потребовалось уже на стадии разработки техно-

логии проведение исследований физических процессов, лежащих в основе причин возникновения разрушений кристаллов большой площади.

В настоящей работе рассматриваются основные положения метода диагностики и управления технологическими процессами сборки БИС, созданного на базе полупроводниковой тензометрии и методов теории статистической прочности.

Для прогнозирования механической целостности кристаллов после упаковки в корпус (после сборки) изготовителю БИС необходимо располагать информацией о фактической прочности пластин со структурами БИС и кристаллов различной площади; влиянии паяного или клеевого слоя на прочность кристаллов БИС; критических условиях монтажа, при которых возможно разрушение БИС и о влиянии материала и конструкции корпуса (подложки) на механическую прочность БИС.

Наиболее простым и доступным инструментом для оценки механических напряжений в кристаллах БИС является тензометрия [2, 3].

Тензометрический метод основан на использовании деформационного эффекта, связанного с взаимодействием электронов с кристаллической решеткой полупроводникового материала. Тензодатчики, изготовленные в едином технологическом процессе создания БИС, практически воспроизводят напряженный кристалл в корпусе и позволяют изучить его поведение на всех этапах изготовления БИС, что является незаменимым инструментом при диагностике процесса.

Поскольку механические напряжения, возникающие в кристалле в процессе сборки, могут привести к его разрушению, то возникает вопрос об определении допустимых напряжений, при которых возможно разрушение БИС.

Главные деформации и направление их действия определяются с помощью показаний тензорезисторов методом [2, 3], на рис. 1 показан общий вид кристалла с розеткой тензорезисторов в центре (тензодатчиком).

Связь главных напряжений (σ_I , σ_{II}) с главными деформациями (ϵ_I , ϵ_{II}) определяется с по-

мощью обобщенного закона Гука:

$$\sigma_I = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_I + \mu\epsilon_{II}); \quad (1)$$

$$\sigma_{II} = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_{II} + \mu\epsilon_I),$$

где E , μ — модуль упругости и коэффициент Пуассона, соответственно. Для определения результирующего эквивалентного действия напряжений ($\sigma_{экв}$) целесообразно воспользоваться методом Н.Н.Давиденкова [4]. В случае, когда оба главных напряжения растягивающие, $\sigma_I > 0$, $\sigma_{II} < 0$, то

$$\sigma_{экв} = \sigma_I, \text{ при } \sigma_I > \sigma_{II}. \quad (2)$$

Если одно из главных напряжений растягивающее, а другое — сжимающее ($\sigma_I > 0$; $\sigma_{II} < 0$), то

$$\sigma_{экв} = \sigma_I, \text{ при } |\sigma_I| > |\sigma_{II}|. \quad (3)$$

В остальных случаях

$$\sigma_{экв} = \frac{1-a}{2} (\sigma_I + \sigma_{II}) + \frac{1}{2} \sqrt{(1-a)^2 (\sigma_I + \sigma_{II})^2 - 4a(\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_I \cdot \sigma_{II})}, \quad (4)$$

где a — отношение предела прочности при растяжении к пределу прочности при сжатии материала.

Поскольку в литературе приводятся различные значения предела прочности кремния от 50 до 7000 МПа [5—7], рекомендуется определение фактического значения прочности пластин БИС конкретного технологического процесса, например, методом осесимметрического изгиба [5].

Но кристалл кремниевой БИС содержит дополнительный концентратор напряжений, поскольку является паяным или клеевым соединением.

Для учета снижения прочности в кристаллах БИС после пайки к корпусу вводится коэффициент концентрации напряжений K_k , указывающий во сколько раз максимальное напряжение при наличии концентратора превышает напряжение в том же материале, не имеющем концентратора (в данном случае пайки). Значения коэффициента концентрации напряжений определяются экспериментально и приводятся в литературе. Например, в обзоре сделанном Кутчем [8] показано, что в зоне паяного соединения коэффициент концентрации напряжений равен $K_k = 2,25$, что согласуется с экспериментальными данными, полученными авторами при изучении снижения прочности кристаллов БИС от слоя золотокремниевой эвтектики.

Таким образом, предельно допустимые механические напряжения возникающие в кристаллах БИС равны:

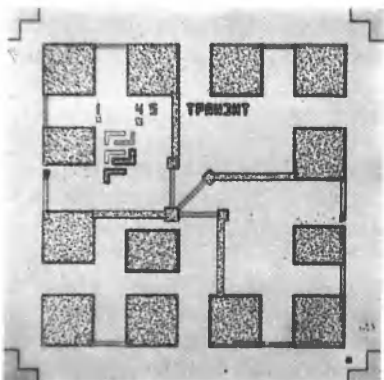


Рис. 1. Общий вид кристалла с тензодатчиком

$$\sigma_{пр} = K_k \cdot \sigma_{экв.} \quad (5)$$

По данным статистического анализа состояния серийного производства установлено, что с увеличением размеров кристаллов их прочность снижается. Например, при едином технологическом процессе сборки и идентичных несовершенствах в паяном шве эвтектики, кристаллы площадью до 20 мм² не разрушаются, тогда как в партиях кристаллов площадью свыше 50 мм² наблюдается устойчивый процент отказов из-за разрушения кристаллов.

Явление снижения механической прочности БИС от увеличения их размеров может быть объяснено с позиций масштабного эффекта. Чем больше размер, тем вероятнее нахождение в нем несовершенств структуры и дефектов, снижающих его прочностные свойства. Влияние размеров кристаллов на прочность удается описать с помощью степенного закона. Используя концепцию наислабейшего звена [9], зависимость прочности от размера кристаллов можно определить следующим образом:

$$\frac{\sigma_{1пр}}{\sigma_{2пр}} = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

где $\sigma_{1пр}$; $\sigma_{2пр}$ — пределы прочности кристаллов БИС с площадью S_1 и S_2 соответственно.

Определяющую роль в оценке масштабного эффекта играет показатель степени m , который является показателем плотности повреждений материала. Значения параметра m определяется экспериментально и являются постоянным для данного материала.

Согласно данным работы [8] значения показателя плотности повреждений для кремния равно $m=4$.

На рис. 2 представлена зависимость прочности σ БИС от их площади S . Характер кривой хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными для кристаллов площадью 100 мм², 35 мм², 10 мм². Например, для кристаллов площадью 100 мм² разрушающие напряжения на 23—25% ниже чем в кристаллах площадью 35 мм².

Практика показала, что расчеты хорошо согласуются с экспериментом, если технологический процесс упаковки кристаллов в корпус учитывает согласованность материалов по КТР, оптимальные соотношения толщины кристалла и подложки корпуса, обеспечивает полное смачивание кри-

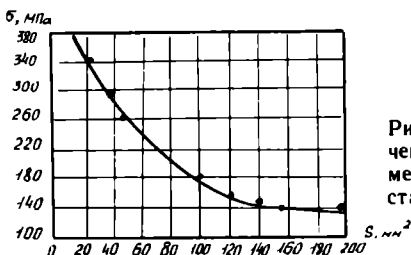


Рис. 2. Зависимость значений прочности σ от размеров площади S кристаллов БИС

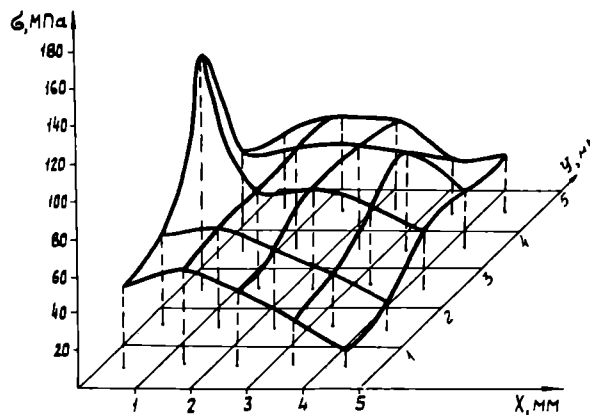


Рис. 3. Поле напряжений кристалла БИС

сталлов и подложки материалом для их присоединения. В ходе сборки и испытаний механические напряжения изделий изменяются в пределах 15%. Невыполнение этих условий вызывает разрушение БИС при напряжениях гораздо ниже расчетных и разработчику потребуется устранять конструктивно-технологические недоработки изделия.

При диагностике или разработке нового процесса обработки данных, полученных с помощью тензометрии и методов прочности, удобно производить с помощью гистограмм и пространственных диаграмм напряженного состояния кристаллов (например, рис. 3). В последнем случае имеется возможность получить полную информацию о распределении напряжений по всему кристаллу, а также изучить его поведение в процессе изготовления БИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность входного контроля биполярных интегральных микросхем/В.П.Юсов, Б.Е.Бердичевский, В.Д.Лавренцов, С.Л.Волков.— Электронная техника. Сер. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания.— М.: ЦНИИ «Электроника».— 1990.— Вып. 22, с. 39—41.
2. Эрелер В., Вальтер Л. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами.— М.: Мир, 1974.— 286 с.
3. Ковшиков Е.В., Ленов Н.Н., Петрашени Н.А. Оценка механических напряжений в кристаллах интегральных микросхем на сборочных операциях.— Надежность и контроль качества, 1989, вып. 10, с. 33—39.
4. Золотухина О.М., Жучкова В.В. Количественное определение остаточных внутренних напряжений в кристаллах БИС при сложном напряженном состоянии с помощью тензометрии.— Тез. докл. «Состояние и пути повышения надежности видеоманитофонов», г. Воронеж, март 1991 г.— Воронеж, 1991, с. 40—41.
5. Концевой Ю.А., Литвинов Ю.М., Фаттахов Э.А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур.— М.: Радио и связь, 1982.— 240 с.
6. Кузнецов О.А., Погалов А.Н., Сергеев В.С. Прочность элементов микроэлектронной аппаратуры.— М.: Радио и связь, 1990, с. 144.
7. Методы контроля нарушенных слоев при механической обработке монокристаллов/Табаренков А.И., Енимерлов К.Л., Русак Т.Л. и др.— М.: Энергия, 1978.— 64 с.
8. Инженерные расчеты разрушения/Под ред. Г.Либовица.— М.: Мир, 1976.— 631 с.
9. Фейденталь А.М. Статистический подход к хрупкому разрушению. Разрушение/Под ред. Г.Либовица.— М.: Мир, 1975, т. 2, с. 616—645.

Измерительно-вычислительный комплекс для экспресс-контроля электрофизических параметров и исследования технологии МОП ИС

Е.Н.БОРМОНТОВ, С.В.ГОЛОВИН, В.В.КОТОВ

Разработанная автоматизированная установка позволяет производить комплексные исследования и оперативный контроль электрофизических характеристик МОП ИС в условиях серийного производства.

Совершенствование технологии производства МОП ИС требует повышения эффективности контроля электрофизических параметров активных элементов на разных стадиях их изготовления. Среди современных способов контроля оптимальными по соотношению информативность/сложность являются методы высокочастотных (ВЧ) $C-V$ - и $G-V$ -характеристик. Для реализации этих методов разработан ряд автоматизированных установок (например, установка HP4140B фирмы Hewlett Packard). Однако, высокая стоимость, сложность конструкции и эксплуатации сдерживают их использование в условиях промышленного производства ИС. В предлагаемом измерительно-вычислительном комплексе (ИВК) компактность, простота и минимальная стоимость сочетаются с высокой информативностью и точностью получаемых результатов.

В состав ИВК входят: измеритель иммитанса E7-12, ПЭВМ РС/ХТ/АТ, зондовое устройство.

Основные технические характеристики ИВК

Диапазон измеряемой емкости, пФ	1—10 ⁵
Диапазон измеряемой проводимости, см	10 ⁻⁷ —2
Основная погрешность измерения емкости и проводимости, %	±0,02
Время одного измерения, мс	500
Амплитуда тестового сигнала, мВ	25
Частота тестового сигнала, МГц	1

Имеется возможность подачи на затвор исследуемого образца двуполярного напряжения смещения относительно подложки.

Для управления измерителем от ЭВМ через канал общего пользования (КОП) разработано устройство согласования (УС), представляющее собой стандартный модуль, устанавливаемый в одну из свободных позиций материнской платы ЭВМ. УС состоит из трех независимых функциональных блоков — схемы дешифрации, адаптера КОП и цифроаналогового преобразователя (ЦАП). По отношению к процессору УС выполняет функции четырех регистров — регистра команд и состояний КОП, регистра данных, двух регистров ЦАП, по отношению к магистрали КОП — функции источника, приемника и контроллера, УС также осуществляет аппаратную поддержку протокола обмена данными и вы-

рабатывает сигнал готовности к обмену. Двенадцатиразрядный ЦАП формирует выходное напряжение в диапазоне (—10.24...+10.24)В с минимальным шагом 5 мВ, которое через измеритель E7-12 подается на исследуемую структуру. Предложенная конфигурация ИВК является минимальной и при необходимости может быть легко расширена.

В программное обеспечение (ПО) ИВК входит пакет системных и прикладных программ на языке Turbo Pascal, с их помощью осуществляется взаимодействие с пользователем, контроль работоспособности установок, управление процессом измерений, обработку и статистический анализ измеренных характеристик с выводом результатов на монитор или печатающее устройство.

ИВК позволяет проводить комплексные исследования МДП-структур методами равновесных ВЧ $C-V$ и $G-V$ характеристик. Для структур с достаточно большим временем релаксации (>5 с) возможно использование импульсных методов. Оригинальный алгоритм ожидания термодинамического равновесия при снятии равновесных характеристик существенно ускоряет процесс измерений. Высокую точность результатов обеспечивает широкий набор методологических приемов и программных средств. Алгоритм расчета теоретической ВФХ для структур с неравномерным распределением примеси в полупроводнике основан на численном решении уравнения Пуассона и позволяет производить прецизионный контроль электрофизических параметров МОП-элементов с неоднородно легированной подзатворной областью. В частности, возможен взаимный учет влияния распределения примеси в полупроводнике при спектроскопии поверхностных состояний (ПС) и дифференциальной плотности граничных состояний при контроле профиля легирования. Обработка экспериментальных данных проводится с использованием различных методов сглаживания.

Реализованные методики расчета позволяют определять следующие параметры МОП-структур

- толщину окисла;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- величину эффективного поверхностного заряда в окисле;
- интегральную плотность и энергетический спектр поверхностных состояний;
- равновесные и кинетические параметры ПС (эффективные сечения захвата, времена перезарядки поверхностных ловушек, гетерогенность

характеристик и др.);

— уровень легирования подложки или (в случае неоднородного легирования) профиль распределения и дозу введенной примеси;

— величины напряжения: плоских зон, инверсии и пороговое;

— генерационно-рекомбинационные характеристики.

Двухлетний опыт эксплуатации комплекса на ВЗПП показал высокую эффективность его применения при решении ряда технологических проблем. В частности, с помощью ИВК контролировались малые дозы ионной имплантации ($<0,1$ мкКл/см²), анализировались причины нестабильности некоторых операций технологического процесса (пирогенного окисления, отмывок, отжигов), проводилось диагностирование поро-

вых напряжений транзисторов на этапе формирования поликремниевого затвора путем измерения электрофизических параметров тестовых элементов рабочих КМОП ИС.

Использование ИВК в технологической практике цехов, производящих МОП-изделия: обеспечивает комплексный подход к контролю операций технологического процесса и электрофизических параметров элементов и ИМС в целом; повышает оперативность контроля за стабильностью технологического процесса; позволяет оптимизировать техпроцесс с целью получения максимально возможного процента выхода годных изделий при существующем уровне производства; сокращает сроки отработки технологии новых приборов и ИС; обеспечивает аттестацию базовых технологических процессов.

Методика неразрушающего контроля точности совмещения изолирующих и скрытых областей в ИС

В.Я.НИСКОВ *канд.техн.наук*

По мере уменьшения размеров элементов интегральных схем и расстояний между ними получить высокую точность совмещения разных топологических слоев (особенно изолирующих, формируемых в эпитаксиальной пленке со скрытыми областями n^+ -типа), формирующих приборную структуру, становится все более сложной задачей. Существующие методы контроля точности совмещения на растровом или оптическом микроскопе, определяющие качество совмещения топологических слоев, характеризуются высокой трудоемкостью, низкой достоверностью и невозможностью получить объективные статистические результаты, что делает их непригодными для применения в производстве ИС. Специалистами НИИ электронной техники разработана неразрушающая методика количественного определения точности совмещения изолирующих и скрытых слоев, отличающаяся простотой и высокой чувствительностью.

Факторы, определяющие рассовмещение изолирующих и скрытых слоев в ИС. В биполярных ИС обычно применяют эпитаксиальные пленки n -типа, выращенные на p^- -подложках со скрытыми n^+ -областями. Обычно применяются два вида изоляции:

— $p-n$ -переходом — изоляция формируется за счет сквозной диффузии через эпитаксиальную пленку области p^+ -типа до p -подложки,

— комбинированная изоляция — дополнительно к p^+ -области создается вокруг изолируемых элементов еще и толстый слой диэлектрика

на поверхности эпитаксиальной пленки; p^+ -область в этом случае выполняет функции противoinверсионного стоп-канала.

Положение p^+ -области на поверхности структуры задается совмещением соответствующего фотошаблона с пластиной после выращивания на ней эпитаксиальной пленки. Используют два метода совмещения топологических рисунков при фотолитографии:

— ручное (визуальное) совмещение, при котором шаблон совмещается со специальными микрорельефными метками на поверхности эпитаксиальной пленки, созданными при формировании n^+ -скрытого слоя в подложке p -типа;

— автоматизированное совмещение (при пошаговой проекционной литографии) шаблонов, при котором используется специальная система знаков совмещения, создающихся на пластинах в строго заданных участках в виде углублений в подложке, образующих закономерно расположенные линии и фигуры. Знаки совмещения образуют четкую оптически контрастную картину, что позволяет «читать» их, используя машинное зрение установок совмещения. Установка совмещения автоматически «запечатывает» топологические слои на подложку строго привязывая их к вычисленным координатам знаков.

Основные факторы, приводящие к рассовмещению изолирующего p^+ -слоя с n^+ -скрытыми областями следующие:

— смещение топологического рисунка n^+ -областей, или знаков совмещения в процессе эпитаксии. Величина этого смещения является сложной

функцией очень большого числа переменных: толщины эпитаксиальной пленки, ориентации и разориентации плоскости подложки относительно главных кристаллографических направлений, условий и режимов предэпитаксиальной обработки, параметров и режимов процесса эпитаксии. При разном сочетании этих факторов величина смещения рисунка может изменяться от 10 до 150% от толщины эпитаксиальной пленки;

— *размытие и искажение геометрии рисунка меток при эпитаксии и образование фасеток.* При ручном совмещении микрорельефный рисунок меток может стать плохо различимым на поверхности пластины, что делает невозможным качественное совмещение. Фасетирование после эпитаксии может сильно изменить оптический «образ» знаков совмещения, внести в них асимметрию и ухудшить «читаемость». Ширина фасеток может достигать нескольких микрон при толщине эпитаксиальных пленок 2—4 мкм. Совокупное действие этих двух факторов приводит к несоответствию кажущегося «читаемого» положения скрытых областей, или знаков совмещения на поверхности эпитаксиальной пленки их реальному положению в подложке;

— субъективные ошибки операторов при ручном совмещении;

— объективные ошибки при автоматическом совмещении, связанные с неточностью юстировки оптической системы установки и фотошаблона, уходом температур, сбоями в работе управляющей электроники и т.д.;

— субъективные ошибки операторов при автоматизированном совмещении, неточно выдающих программу работы установок;

— несовместимость фотошаблонов соответствующих слоев.

Многообразие действующих на точность совмещения факторов делает проблему ее оперативного и объективного определения очень актуальной для контроля и управления технологическими процессами и оборудованием.

Методика определения точности совмещения слоев. Для реализации методики совместно используются две группы тестовых структур, расположенных рядом в каждом кристалле (рис. 1, а, б, в).

Первая группа включает набор из нескольких изолированных прямоугольных областей, в которых расстояние между областями n^+ - и p^+ -типа изменяется с известным шагом от минимального (l_1), соответствующего перекрытию примесных профилей обеих областей, до максимального, при котором во время электрического пробоя изолирующего $p-n$ -перехода объемный заряд, расширяющийся от n^+ -области в p^+ -подложку, не доходит до p^+ -области (более 6—8 мкм).

Величина напряжения электрического пробоя этих областей на подложку является плавной функцией расстояния между областями n^+ - и p^+ -типа, напряжение пробоя резко увеличивается при увеличении расстояния между областями n^+ - и p^+ -типа, когда это расстояние мало, и более

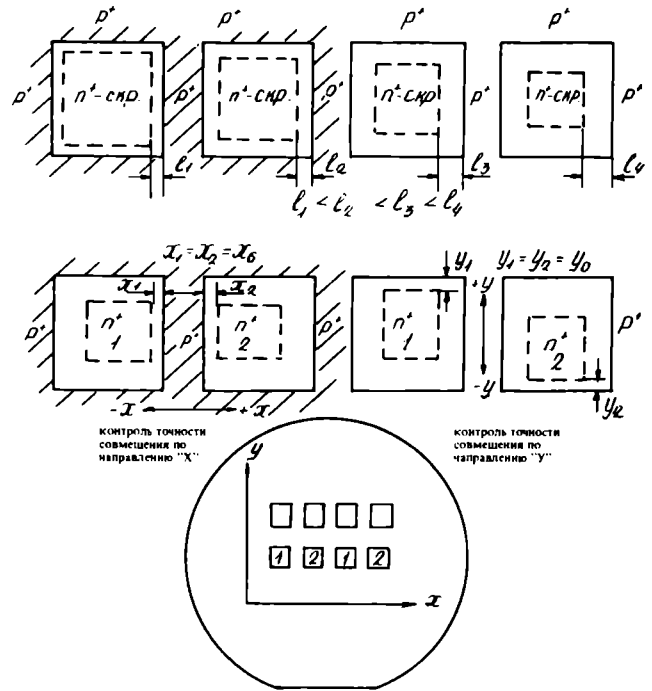


Рис. 1. Топология тестовых структур для контроля точности совмещения n^+ -скрытых областей с p^+ -изоляцией: а — структура для определения зависимости пробивного напряжения n^+ -областей от зазора между n^+ и p^+ -областями; б — структура для измерения напряжений пробоя n^+ -областей рассовмещенных относительно p^+ -областей по координатным направлениям «Х» и «У»; в — ориентация тестовых структур на рабочих пластинах ИС с привязкой к ее координатам

плавно — при больших расстояниях. Величина напряжения пробоя в области насыщения не зависит от расстояния между областями n^+ - и p^+ -типа.

Используя тестовую структуру, показанную на рис. 1, а, можно на каждом кристалле измерить напряжение пробоя, соответствующее разным фиксированным расстояниям между n^+ - и p^+ -областями и построить экспериментальную зависимость, подобную приведенной на рис. 2, а.

Вторая группа тестовых структур (см. рис. 1, б) содержит две пары прямоугольных изолированных областей. В каждой из них с одной стороны зазор между областями n^+ - и p^+ -типа очень мал (3—5 мкм) и сильно влияет на величину электрического пробоя этих областей. С трех других сторон этот зазор очень велик (более 8 мкм) и заведомо не влияет на напряжение пробоя изоляции. Области попарно сориентированы на пластине относительно ее системы координат, привязанной к направлению базового среза пластины (см. рис. 1, в), следующим образом. В одной паре областей наименьшие расстояния между n^+ - и p^+ -областями соответствуют сторонам, нормальным к координате «Х». В другой паре областей эти расстояния соответствуют сторонам, нормальным к координате «У». Причем, изменение величины минимального зазора в одной из областей пары под действием рассовмещения слоев вызывает в другой области этой пары точно такое же изменение минимального зазора, но с проти-

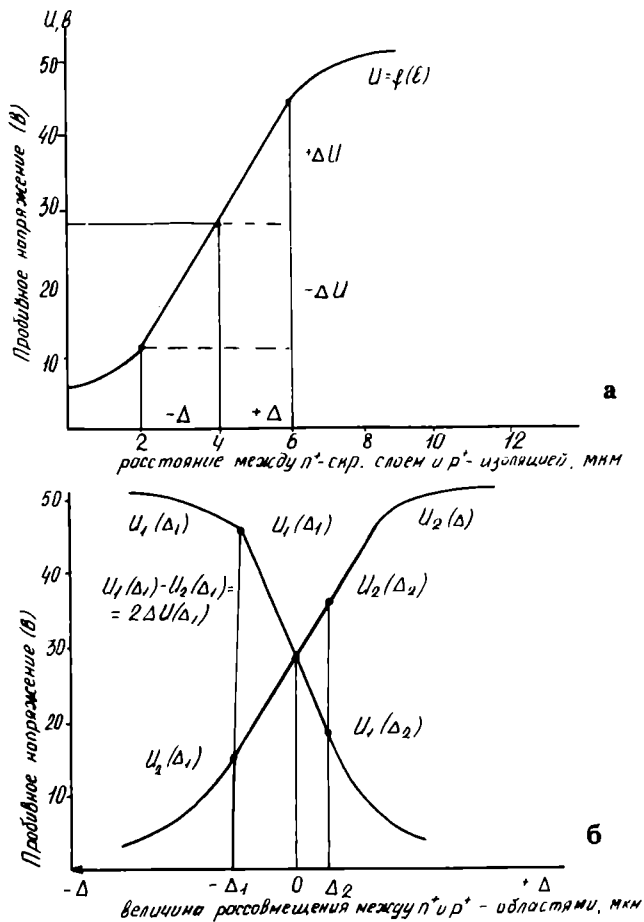


Рис. 2. Типичные зависимости пробивного напряжения n^+ -областей от расстояния между n^+ - и p^+ -областями (а) и напряжения пробоя двух n^+ -скрытых областей от величины и знака рассовмещения Δ (б)

воположным знаком (рис. 2,б).

Изменение под действием рассовмещения величины минимального зазора между n^+ - и p^+ -областями вызывает появление дифференциального сигнала: разных величин напряжения электрического пробоя изоляции $U(\Delta) = U(0) \pm \Delta U$, соответствующих тестовым областям в паре, в которых зазор между областями n^+ - и p^+ -типа уменьшается ($-\Delta U$), или увеличивается ($+\Delta U$). Разность этих напряжений $U_1(\Delta) - U_2(\Delta) = 2\Delta U(\Delta)$ соответствует удвоенной величине рассовмещения (2Δ), которая может быть определена с субмикронной точностью по каждой координате. Для этого экспериментальные величины напряжений пробоя, соответствующих величине минимального зазора между n^+ - и p^+ -областями, попарно сравнивают с экспериментальной кривой зависимостей (см. рис. 2,а,б), измеренной на этих же образцах.

Знак величины ΔU определяет направление взаимного рассовмещения n^+ - и p^+ -областей, а абсолютное значение ΔU — количественную ве-

личину этого рассовмещения по каждой координате.

Таким образом, вектор взаимного смещения n^+ - и p^+ -областей полностью определяется.

Точность определения величины рассовмещения наибольшая в том случае, если минимальный зазор в тестовых структурах второй группы соответствует максимальной чувствительности напряжения пробоя к расстоянию между n^+ - и p^+ -областями. При глубине n^+ -скрытого слоя 2 $\mu\text{м}$ и толщине эпитаксиальной пленки 1,5 $\mu\text{м}$. Наиболее резкая зависимость напряжения пробоя имеет место, когда расстояние между n^+ - и p^+ -областями равно 3—5 $\mu\text{м}$. При этих условиях изменение зазора на 1 $\mu\text{м}$ дает изменение напряжения пробоя изоляции на величину около 20 в. Это позволяет надежно фиксировать рассовмещение слоев до 0,1 $\mu\text{м}$.

Высокая точность методики обеспечивается, наряду с другими признаками, ее дифференциальным характером, который позволяет устранить, за счет взаимной компенсации, действие на напряжение пробоя всех других факторов, кроме рассовмещения.

Точность определения рассовмещения слоев повышается, если использовать не единичные измерения, а статистические результаты, усредненные по большому числу измерений. Рассматриваемая методика позволяет очень легко выполнить измерения большого числа тестовых структур ручным или автоматическим зондовым методом. Это позволяет учитывая неразрушающий характер методики, использовать ее для контроля точности совмещения в производственных условиях.

Самое главное практическое применение методики состоит в возможности обеспечения очень точного совмещения областей изоляции (0,1 $\mu\text{м}$) с n^+ -скрытыми областями за счет:

- точного определения вектора смещения меток и знаков совмещения после эпитаксии относительно их исходного положения на подложке до эпитаксии;

- точной компенсации этого смещения во время совмещения за счет введения соответствующего упреждения в координаты меток совмещения, или в программу, управляющую работой автоматизированных установок пошагового экспонирования;

- текущего регулярного контроля оптимальности принятых мер по упреждающей компенсации.

Индикатором точного совмещения является попарное равенство, или близкие значения напряжений пробоя тестовых структур.

Высокая чувствительность и точность методики, малая трудоемкость и простота позволяют применять ее также для количественного изучения причин, приводящих к рассовмещению изолирующих и скрытых областей.

Ее можно использовать и для контроля точности совмещения других топологических слоев.

Влияние электромиграции на надежность металлизации

С.Н.СКЛЯРОВА, Д.М.БОДНАРЬ канд.техн.наук, А.В.ТАДЕЕВ

В тонких металлических пленках, используемых в качестве межсоединений, электромиграция является одним из факторов, ограничивающих ресурс функционирования СБИС [1, 2]. Поэтому повышение надежности приборов связано с улучшением качества межсоединений. В последнее время вместо однослойной сплавной алюминиевой металлизации применяются многослойные межсоединения на основе алюминиевых сплавов и полицидных проводников с различными пассивирующими покрытиями. В настоящей работе исследовалась зависимость электромиграции в многоуровневой металлизации на основе TiW—AlSi (1%) от типа межслойного диэлектрика (плазмохимический оксид (ПХО), пиролитический SiO₂, полиимид) и влияние на электромиграцию вида металлизации на основе силицида титана.

Для получения среднего времени наработки на отказ (СНО) дорожек металлизации использовался метод ускоренных испытаний тестовых структур в форсированном режиме. Затем проводилась экстраполяция этого параметра на нормальные условия и оценка долговечности, т.е. гамма-процентного ресурса t_γ . Тестовые структуры, воспроизводящие конструкцию испытуемых микросхем, изготавливались в соответствии со стандартной технологией и представляли собой меандры различной длины и сечения. При исследовании зависимости электромиграции от вида межслойного диэлектрика были проведены две серии испытаний: сразу после изготовления тестовых структур и через год после изготовления. Термический окисел ($d=0,5$ мкм) формировался на кремниевых подложках, затем наносился TiW (0,15 мкм), далее при помощи магнетронного напыления на установках типа «Магна» осаждалась металлическая пленка толщиной 0,3—0,7 мкм. Геометрические размеры проводников указаны в таблице.

Силицид титана. (TiSi₂) получали напылением и последующим импульсным фотонным отжигом (ИФО) в вакууме титана на поликристаллическом кремнии. Сверху металлические проводники были покрыты защитным слоем диэлектрика (соответствующим межслойному диэлектрику): плазмохимический оксид (ПХО) + пиролитический SiO₂ или полиимид толщиной приблизительно 1 мкм. Защитным слоем для TiSi₂ служил диэлектрический слой ПХО $d=0,55$ мкм.

Испытания проводились при постоянном электрическом токе $j=1,2 \cdot 10^6$; $3,84 \cdot 10^6$;

$7 \cdot 10^6$ (А/см²) и температурах 150—180°C. Кристаллы с тестовыми структурами монтировались в корпуса и подвергались испытаниям в камере тепла типа КТ-005 (точность поддержания температуры $\pm 5^\circ\text{C}$). В одном режиме испытывалось не менее 10 тестовых структур. Ток пропускали через каждую тестовую структуру и величина его менялась от элемента к элементу так, чтобы плотность тока везде была постоянной. Во время испытаний измерялось сопротивление образцов. В качестве критерия отказа принимался полный отказ — электрический обрыв тонкопленочного проводника или увеличение электросопротивления образца более чем в 2 раза.

Для установления точной температуры проводников при ускоренных испытаниях была проведена экспериментальная оценка влияния джоулева разогрева проводников при протекании по ним токов плотностью $j=1,2 \cdot 10^6$; $3,84 \cdot 10^6$; $7 \cdot 10^6$ (А/см²). Для этого определяли температурный коэффициент сопротивления двумя методами: бесконтактным методом по инфракрасному излучению с помощью микропирометра МКИ-001 или путем измерения температурной зависимости сопротивления от рассеиваемой мощности.

После окончания испытаний проверялся внешний вид образцов. Образцы, у которых причиной отказа был дефект приварки, исключались из статистического анализа. Исследования дефектов на образцах проводились на растровом электронном микроскопе АМР-1200 в режиме вторичных электронов. Обнаружены следующие разрушения: разрыв металлической дорожки в виде узкой или широкой трещины, бугорки, усы, ямки. Четкого расположения дефектов у анода или катода провести нельзя, что свидетельствует об отсутствии связи между температурным градиентом и разрывами металлизации.

Критерием оценки надежности проводника может служить контроль прироста сопротивления $\Delta R/R$ [3]. Результаты исследований металлизации AlSi (1%) с подслоем TiW, защищенной слоем ПХО + пиролитический SiO₂ или полиимидом (серия А), при $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см² и температурах 150—170°C приведены на рис. 1. Видно, что после 180 ч испытаний на образцах с защитой ПХО + пиролитический SiO₂ величина $\Delta R/R$ увеличивается более резко, чем на образцах с полиимидной защитой. После выдержки образцов в течение 1 года при комнатной температуре и нормальной влажности они были снова подвергнуты испытаниям:

**Устойчивость к электромиграции проводников разного состава и типа межслойного диэлектрика
(толщина TiW $\approx 0,15$ мкм)**

Тип металлизации (вид пассивации)	Сечение образцов, мкм		Режим испытаний		Времена наработки до отказа τ	Диспер- сия σ_{igt}	Кoeffи- циент уско- рения K_j	Гамма-про- центный ресурс t_{γ} , ч
	толщина d	ширина l	j , А/см ²	$T_k + \Delta T$, °С				
Серия А TiW—AlSi(1%) (ПХО+пир. SiO ₂)	0,7	7,7	$1,2 \cdot 10^6$	150+17	363 ч	0,03	$4,24 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^9$
TiW—AlSi(1%) (Полиимид)	0,7	8	$1,2 \cdot 10^6$	150+13	457 ч	0,06	$3,68 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^9$
Серия Б TiW—AlSi(1%) (ПХО+пир. SiO ₂)	0,7	7,6	$1,2 \cdot 10^6$	150+20	170 ч	0,06	$4,56 \cdot 10^6$	$5,89 \cdot 10^8$
TiW—AlSi(1%) (Полиимид)	0,7	8	$1,2 \cdot 10^6$	150+20	140 ч	0,05	$4,56 \cdot 10^6$	$4,47 \cdot 10^8$
TiW—AlSi(1%) (ПХО+пир. SiO ₂)	0,7	7,7	$3,84 \cdot 10^6$	150+180	67,3 мин	0,3	$6,61 \cdot 10^{10}$	$1,02 \cdot 10^{10}$
TiW—AlSi(1%) (Полиимид)	0,7	8	$3,84 \cdot 10^6$	150+180	50,1 мин	0,11	$6,61 \cdot 10^{10}$	$1,69 \cdot 10^9$
Серия В TiW—AlSi(1%) (ПХО+пир. SiO ₂)	0,35	1,85	$1,2 \cdot 10^6$	175+4	1100 ч	—	—	$2 \cdot 10^5$
TiSi ₂ (ПХО)	0,1	1,85	$1,2 \cdot 10^6$	175+4	1100 ч	—	—	$2 \cdot 10^5$
TiW—AlSi(1%) (ПХО+пир. SiO ₂)	0,35	1,85	$7 \cdot 10^6$	160+170	140 мин	0,2	$5,41 \cdot 10^{11}$	$4,35 \cdot 10^{11}$
TiSi ₂ (ПХО)	0,1	1,85	$7 \cdot 10^6$	160+170	10 ч	—	—	$2 \cdot 10^5$

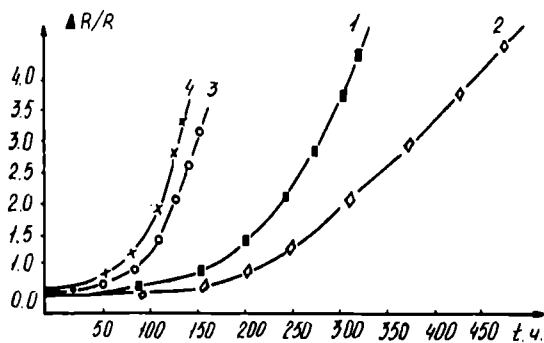


Рис. 1. График зависимости деградации сопротивления от времени для режима $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см², $T=160-170^\circ\text{C}$ для образцов серий (А) и (Б): 1 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиrolитический SiO₂ (серия А); 2 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия А); 3 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиrolитический SiO₂ (серия Б); 4 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия Б)

1) $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см², $T=150-170^\circ\text{C}$ и 2) $j=3,84 \cdot 10^6$ А/см², $T=150+180=330^\circ\text{C}$ ($T=180^\circ\text{C}$ — перегрев металлизации при данном токе, $T=150^\circ\text{C}$ — температура камеры). Различий в изменении характера деградации сопротивления для образцов серии (Б) выявить не удалось (рис. 1, 2). Отказы межсоединений, испытываемых в жестком режиме ($3,84 \cdot 10^6$ А/см², $T=330^\circ\text{C}$) наблюдались при увеличении сопротивления на 10—60% от первоначального, в то время как при более мягком режиме работы ($1,2 \cdot 10^6$ А/см², $T=160^\circ\text{C}$) металлизация сохраняла электрическую целостность при росте сопротивления до 100—300%, что необходимо учитывать при выборе критерия отказа.

Результаты ускоренных испытаний металлизации TiW—AlSi(1%) в зависимости от вида диэлектрика представлены на рис. 3 и 4 в виде функций распределения наработки до отказа.

Качество и надежность проводников оценивали по параметрам логарифмического нормаль-

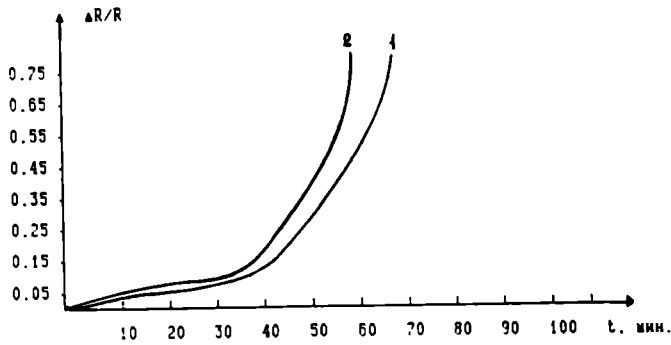


Рис. 2. График зависимости деградации сопротивления от времени для режима $j=3,84 \cdot 10^6$ А/см², $T=330^\circ\text{C}$ для образцов серии (Б): 1 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиролитический SiO₂ (серия Б); 2 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия Б)



Рис. 3. График зависимости доли отказов от логарифма времени наработки τ для образцов серии (А) и (Б) при $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см², $T=160-170^\circ\text{C}$: 1 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиролитический SiO₂ (серия А); 2 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия А); 3 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиролитический SiO₂ (серия Б); 4 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия Б)

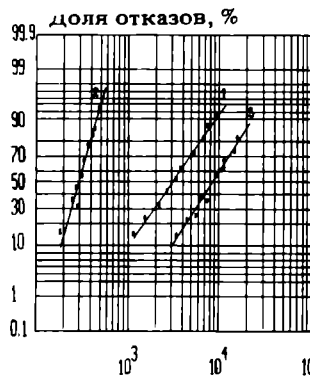


Рис. 4. График зависимости доли отказов от логарифма времени наработки τ при $j=3,84 \cdot 10^6$ А/см² и $j=7 \cdot 10^6$ А/см², $T=330^\circ\text{C}$ для образцов: 1 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией ПХО+пиролитический SiO₂ (серия Б); 2 — TiW—AlSi(1%) с пассивацией полиимид (серия Б); 3 — TiW—AlSi(1%) (серия В)

ного закона распределения отказов согласно [4]. Параметры распределения определялись следующим образом: — медиана наработки μ оценивалась как логарифм, соответствующий абсциссе 0,5; стандартное отклонение σ_{gl} рассчитывалось по формуле $\sigma_{gl} = \mu - t_{0,16}$, где $t_{0,16}$ — время до накопления 16% отказов; гамма процентный ресурс t_γ оценивался как время до накопления 5% отказов.

Для определения t_γ , который характеризует надежность в условиях эксплуатации, определялся коэффициент ускорения электромиграции:

$$K_y = K_i \cdot \exp\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_n + 273} - \frac{1}{T_y + 273}\right)\right],$$

где

$$K_i = (j_y/2 \cdot 10^5)^{n_y} \cdot (2 \cdot 10^5/j_m)^{n_m};$$

$$n = 2 \text{ при } 2 \cdot 10^5 \text{ А/см}^2 < j_y < 10^6 \text{ А/см}^2 \\ \text{и } n_y = 3,5 \text{ при } j_y > 10^6 \text{ А/см}^2,$$

j_y — плотность постоянного электрического тока при ускоренных испытаниях, А/см²; j_m — максимальная рабочая плотность тока микросхемы, равная $5 \cdot 10^4$ А/см²; k — постоянная Больцмана; T_n , T_y — значения температуры проводников при нормальной работе микросхемы и при ускоренных испытаниях тестовых структур ($T_n = 25^\circ\text{C}$); E_a — энергия активации процесса электромиграции.

Для металлизации TiW—AlSi (1%) без пассивирующего покрытия величина энергии активации, определенная из температурной зависимости среднего времени до разрушения равна 0,6 эВ.

Логарифм медианы наработки до отказа в нормальном режиме определяли по формуле:

$$\mu_n = \mu_y + \lg K_y,$$

где μ_y — логарифм медианы наработки до отказа проводников при температуре использованной для расчета K_y . Затем, согласно [4], графически определяли t_γ . Металлизация считается надежной, если гамма-процентный ресурс $t_\gamma > 2 \cdot 10^5$ ч. В таблице представлены, определенные графические параметры распределения τ , σ_{gl} , t_γ для металлизации TiW—AlSi (1%) с различным защитным диэлектриком для серий (А) и (Б). Металлизация TiW—AlSi (1%) с полиимидной защитой характеризуется временем наработки на отказ приблизительно в 1,5 раза большим, чем для металлизации с защитой ПХО+пиролитический SiO₂. Образцы с полиимидной защитой по сравнению с защитой ПХО+пиролитический SiO₂ показали меньшее время наработки до отказа, что можно объяснить существенным влагопоглощением полиимида [5] и, как следствие, коррозией металлизации. Для образцов серии (Б), испытанных при $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см² следует отметить общее уменьшение времени наработки на отказ по сравнению с образцами серии (А).

В ходе электромиграционных испытаний металлизаций TiW—AlSi (1%) и TiSi₂ при $j=1,2 \cdot 10^6$ А/см² и температурах 175—180°C в течение 1100 ч не наблюдалось ни одного отказа, при этом на образцах TiW—AlSi (1%) сопротивление увеличилось в 1,5 раза. Сравнительные испытания в более жестком режиме ($j=$

$\approx 7 \cdot 10^6$ А/см², $T=330^\circ\text{C}$) показали существенно большее время наработки до отказа металлизации TiSi₂. Испытания в течение 10 часов не выявили деградации сопротивления металлизации TiSi₂, в то время как металлизация TiW—AlSi (1%) обнаруживает полный отказ в течение $t=2$ ч 20 мин (см. рис. 4).

Таким образом, на основании проведенных исследований определены параметры долговечности межсоединений при электромиграции. Малый разброс времен наработки до отказа свидетельствует о хорошем качестве металлизации. Наблюдаемое увеличение разброса σ_{igt} с ростом плотности тока вызвано увеличением влияния собственного разогрева пленки и соответственно разброса ее теплового сопротивления. Для металлизации TiW—AlSi (1%) с пассивирующим покрытием ПХО+пиролитический SiO₂ установлено, что с уменьшением сечения металлической

пленки увеличивается время наработки на отказ. Наилучшей с точки зрения устойчивости к электромиграции является полицидная металлизация. Все виды исследуемых металлизаций с разными пассивирующими покрытиями удовлетворяют требованиям по надежности ($t_T > 2 \cdot 10^5$ ч).

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрл Ф.Д., Хо П. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции. М., Мир, 1982, с. 250.
2. ТИИЭРТЭ. Техника и технология интегральных схем будущего. 1986, № 12.
3. Rodbell K.P., Shahnynski S.R. A new method for detecting electromigration failure in ULSY metalisation. J. Solid State Gironits. 1984, v. 19, N 2, p. 98—99.
4. С к л я р о в а С.Н., Р у д а я А.Д., К а с т р ю л е в А.Н. Оценка надежности алюминиевой металлизации ИС. Электронная промышленность, 1990, вып. 9, с. 45.
5. Зарубежная электронная техника, 1989, № 8, с. 53—82.

Экспресс-метод определения микронеоднородности поверхностных параметров МДП-структур

Предложена простая экспериментальная методика определения дифференциальной плотности поверхностных состояний и их поперечных сечений захвата с учетом флуктуаций поверхностного потенциала. В отличие от известных методик, основанных на анализе частотных зависимостей малосигнальной проводимости МДП-структур, усредненные значения поверхностных параметров и величина стандартного отклонения поверхностного потенциала рассчитываются по результатам измерения G—V-характеристики при фиксированной частоте.

Разработка и создание воспроизводимых технологий современных МДП-БИС требуют учета физических особенностей системы диэлектрик—полупроводник (ДП), в частности, микронеоднородности поверхностных параметров [1]. Для получения корректной информации о характеристических параметрах границы раздела ДП широко используется метод проводимости Николлиана—Гоетцбергера [2]. Высокая чувствительность этого метода позволяет получить значения не только равновесных, но и кинетических параметров ПС [1—3]. Однако для его реализации требуются трудоемкие измерения частотной зависимости малосигнальной проводимости МДП-структуры и сложные численные методы обработки экспериментальных данных. Поэтому были предприняты попытки упростить метод проводимости Николлиана—Гоетцбергера. Однако модифицированные варианты метода проводимости [4—8] позволили существенно упростить этот метод только с точки зрения компьютерных расчетов, но мало что изменили в процессе полу-

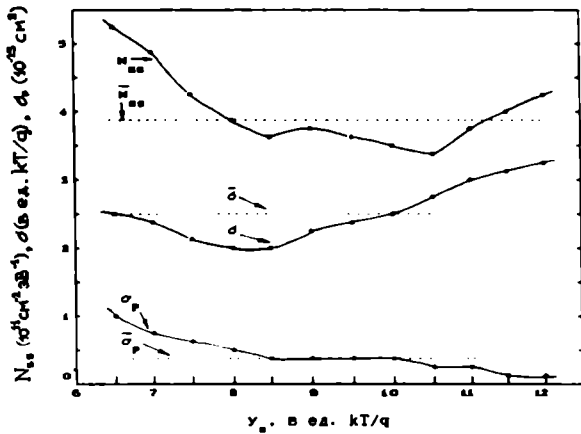
чения экспериментальных данных. Метод, разработанный авторами статьи, сочетает возможность экспресс-контроля поверхностных параметров МДП-систем и простоту аппаратурной реализации.

Дифференциальная плотность поверхностных состояний N_{ss} определяется по формуле:

$$N_{ss} = \frac{\left(\frac{G_p}{\omega}\right)_{\max} 2\sqrt{2\pi\sigma^2} (1-X_m)^{\sigma/2} \cos\left(\frac{\pi X_m \sqrt{\sigma}}{2}\right)}{ng \exp(-aX_m^2 - b)},$$

где $\frac{G_p}{\omega}$ — нормированная проводимость, определяемая по формуле, предложенной в работе [8], $X_m = (2\sigma^2 + 3)/4(\sigma^2 + 1)^2$, σ — среднеквадратичные отклонения поверхности изгиба зон Y_s (Y_s — безразмерный поверхностный потенциал, отсчитываемый от уровня Ферми в собственном полупроводнике).

Для подтверждения обоснованности предлагаемой экспресс-методики обработки кривой нормированной проводимости были проведены соответствующие численные расчеты, представленные на рисунке. Из сопоставления результатов расчета по новой методике с результатами работы [8] видно, что они хорошо согласуются. При этом результаты соответствуют значениям параметров ПС, усредненным по запрещенной зоне полупроводника. Для нахождения энергетического спектра ПС необходима обработка двух кривых нормированной проводимости, снятых при различных частотах [8] или температурах.



Усредненные значения поверхностных параметров системы Si-SiO₂ и их спектральные зависимости по данным работы [8]

Таким образом, усредненные значения поверхностных параметров и величина стандартного отклонения поверхностного потенциала могут быть получены путем обработки лишь одной G-V характеристики на фиксированной частоте. Это позволяет для аппаратурной реализации метода использовать серийно выпускаемые цифровые измерители импеданса с высокой точностью (4—5 разрядов). Тем самым обеспечива-

ется массовый доступ к измерительным средствам и методам, которые раньше относились к разряду уникальных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл—диэлектрик—полупроводник.— Киев, «Наук. думка», 1978.— 316 с.
2. Nicollian E.H., Goetzberger A. The Si-SiO₂ interface electrical properties as determined by the metal-insulator-silicon conductance technique.— Bell System Technical Journal, 1967, v. 46, N 5, p. 1055—1072.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 1.— М., Мир, 1984.— 456 с.
4. Nicollian E.H., Goetzberger A., Lopez A.D. Expedient method of obtaining interface state properties from MIS conductance measurements.— Solid-State Electronics, 1969, v. 12, p. 937—944.
5. Simonne J.J. A method to extract interface state parameters from the MIS parallel conductance technique.— Solid-State Electronics, 1973, v. 16, N 1, p. 121—129.
6. Warachina M., Ushirova A. Conductance (C)-bias (V) method for interface states in MOS structure.— Jap. J. Appl. Phys., 1975, v. 14, N 11, p. 1739—1749.
7. Noras J.M. Extraction of interface state attributes from MOS conductance measurements.— Solid-state Electron., 1987, v. 30, p. 433—437.
8. Yada R.D.S. Analytic approach to the a.c. conductance method for rapid characterization of interface states in MOS structures.— Solid-State Electronics, v. 33, N 1, p. 127—137.

Е.Н.БОРМОНТОВ, С.В.КОТОВ, С.В.ЛУКИН,
А.И.КОЛЫЧЕВ

ЗАВОД «ПРОЦЕССОР»

ВОРОНЕЖСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕЛТАЙП — ВЭЛТА

ВЭЛТА может применяться в системах передачи данных ПД 200, абонентского телеграфа — АТ 50, АТ 100, в системах телеобработки данных, на коммутируемых телеграфных сетях, на выделенных телеграфных линиях для автоматизации подготовки телеграфных сообщений и автоматического обмена информацией (прием и передача телеграмм) и т.п.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общая емкость оперативной памяти	не менее 128 Кбайт
Количество адресуемых точек изображения	640×200
Число градаций яркости	2
Потребляемая мощность	не более 300 Вт
Скорости обмена телеграфной связи	50, 75, 100, 150, 200, 300 бод (возможна работа со скоростью до 2400 бод)
Скорости обмена для связи по стыку С2	от 50 до 9600 бод
Объем хранимой информации на МГМД в формате ЭВМ типа РС/XT/AT	720 Кбайт
Габаритные размеры	500×530×400 мм
Масса	не более 15 кг

Электронный телетайп имеет последовательный порт для подключения печатающего устройства, обеспечивает электронную защиту линейных цепей от перегрузок и перенапряжений.

Поставки осуществляются с III квартала 1993 г. Заказы на изделия в виде гарантийного письма принимаются по адресу: 394042, г. Воронеж, ул. Минская, 16, ОКБ при заводе «Процессор», тел. (0732) 23-79-60.

Консультации по техническим вопросам:
Косицын Владимир Геннадьевич, тел. (0732) 22-93-27.

Программное обеспечение электронного телетайпа обеспечивает следующие возможности:

- установление и разъединение соединений;
- передачу на линию информации с клавиатуры, с МГМД и из памяти сообщений;
- автоматический и ручной запрос и передача текста автоответа;
- прием информации с линии на экран, в память сообщений или на МГМД;
- передачу одного текста по нескольким адресам, возможна рассылка различных телеграмм по 16 адресам;
- создание очереди из 16 различных телеграмм, которые будут автоматически переданы по различным адресам;
- формирование и инициализация дискеты.

Оператор может работать с редактором текстов, подготавливая очередную телеграмму и одновременно осуществляя прием, передачу и печать входящих и исходящих сообщений, которые будут автоматически сохранены в памяти и на диске.

РЕАЛИЗУЕТ

Микросхемы

КР1858ВМ1 — 8-разрядный микропроцессор (аналог Z-80);
КР1816ВЕ51(31), КР1830ВЕ51(31) — 8-разрядная микроЭВМ со встроенным ПЗУ 4К×8;
КФ1868ВЕ1 — 4-разрядная микроЭВМ со встроенным ПЗУ 8К×8;
КС1566ХЛ1, КС1566ХЛ2, КС1054ХА3, КР1054НК3, КР1566ХЛ3, КР1054ХП1 — для дистанционного управления в ТВ-приемниках IV и V поколений;
КР1033ЕУ5, КР1114ЕУ4 — для управления МОП-транзисторами в схемах импульсных источников питания;
КР573РФ6 — ЭРПЗУ с ультрафиолетовым стиранием емкостью 8К×8;
КР142ЕН12, КР142ЕН18 — стабилизаторы напряжения с регулируемым напряжением (1,2—37)В;
КС1066ХА1 — УКВ-ЧМ приемник с питанием (3—9)В для диапазона до 108 МГц;
КС1066ХА2 — микросхема низковольтного тракта ПЧ-узкополосного ЧМ-приемника;
КС1051ХА4,5 — для работы в ТВ-приемниках;
КР548ХА1,2 — усилитель ПЧ, схема гетеродина;
КР1054УН1 — двухканальный усилитель низкой частоты;
КС1054ХА4 — ИС сопряжения ТВ с ВМ;
КС1008ВЖ12 — ИС телефонного номеронабирателя.

Транзисторы

КТ315, КТ361, КТ3102, КТ3107 — маломощные, малошумящие;
КТ837 — частота 1 МГц, Р 30 Вт;
СВЧ-транзисторы, 175—1800 МГц, Р 3—280 Вт;
КП707, КП809, КП812, КП813 — мощные, высоковольтные МОП-транзисторы;
КС198НТ11 — матрица из 4 транзисторов.
МОП-транзисторы КП707, КП809, КП812 — мощные, высоковольтные для источников питания, выходных каскадов, в качестве переключателей.

Импульсные источники питания на мощных полевых транзисторах

ИПИЦ0104 — 4-канальный (3, 6, 9, 12 В) с выходной мощностью 10 Вт;
ИПИ0201 — одноканальный (8 В) с выходной мощностью 20 Вт.

Диоды, транзисторно-резисторные сборки

КД238 — два мощных диода Шотки с общим катодом. $U_{обр} = (25—45)В$; $I_{пр} = 7,5 А$;
КД (268—273) — диоды Шотки с $U_{обр} = (25—400)В$, $I_{пр} = (3—20)А$;
КР1054НК1,2 — транзисторно-резисторные сборки с резисторным делителем в базе.

Товары народного потребления

Микрофоны капсульные электретные:

МКЭ-332, 333, 335 (петличный) — диапазон частот (50—12500) Гц,
МКЭ-332-1, 333-1 — диапазон частот (50—6300) Гц,
МКЭ-321 — для телефонных аппаратов общего применения;
Электронные пускорегулирующие аппараты для люминесцентных и галогенных ламп;
Источники питания импульсные Р(3—100)Вт с любым выходным напряжением.
КПД не менее 75%;

«Электроника ДУ-01» — устройство для дистанционного управления ТВ-приемниками IV—V поколения.

КАССЕТНЫЕ МАГНИТОФОНЫ «ЭЛЕКТРОНИКА»



ALIOT

Малогабаритные переносные магнитофоны • Автоматическая регулировка уровня записи
Встроенный электретный микрофон • Возможность перемотки ленты в режиме «Воспроизведение»
Автостоп • Режим «Пауза» • Индикация режима записи • Индикация разряда автономного питания
Скорость движения ленты 4,76 см/с • Переключатель типа используемой магнитофонной ленты

Электроника М 327

- Монофонический магнитофон
- Питание от сети переменного тока 220 В, бортовой сети автомобиля 12 В, шести элементов А343
- Максимальная выходная мощность 2 Вт
- Регулировка тембра по низким и высоким частотам
- Габариты 330×157×88 мм. Масса 2,1 кг

Электроника П 401С

- Stereo-мини-магнитофон-проигрыватель
- Воспроизведение на стереотелефоны
- Возможность подключения двух пар стереотелефонов
- Выходная мощность 0,03 Вт
- Питание от четырех элементов А316 или внешнего источника питания 6 В
- Габариты 145×100×38 мм. Масса 0,3 кг

Электроника М 332С

- Стерефонический мини-магнитофон
- Воспроизведение на стереотелефоны, встроенный громкоговоритель
- Выносная активная акустическая система (по заказу)
- Питание от четырех элементов А316 или от внешнего источника постоянного тока 6 В
- Выходная мощность 0,03 Вт, 0,2 Вт, 0,8 Вт
- Габариты 161×103×43 мм. Масса 0,48 кг



Электроника РМ 340

- Монофоническая магнитола
- Питание от сети переменного тока 220 В, бортовой сети автомобиля 12 В, шести элементов А343
- Радиоприемное устройство с диапазонами СВ и УКВ
- Трехполосный эквалайзер
- Максимальная выходная мощность 2,5 Вт
- Габариты 340×145×76 мм



Электроника М 334С

- Блочный стереокомплекс
- Стерефонический мини-магнитофон, акустическая стереосистема, блок управления встроенными усилителями мощности и блоком питания
- Возможность автономного использования каждого блока комплекса
- Четырехполосный эквалайзер
- Питание от сети переменного тока 220 В или внешнего источника питания 9 В
- Выходная мощность 2×2 Вт
- Габариты 422×133×132 мм



НАШИ РЕКВИЗИТЫ: 396072, г. Нововоронеж, ул. Первомайская, 2, АОТ «АЛИОТ»
Телетайп: Нововоронеж 153701 «Марс»
Факс: (07364) 25-3-34
Телефоны: (07364) 20-7-93, 20-5-98, 29-5-48.