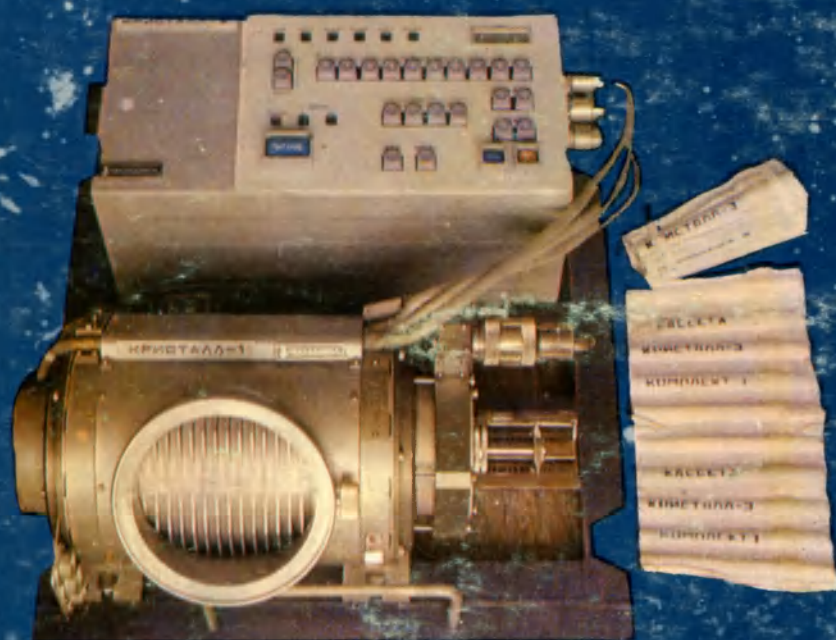




38
3
1979

ЭЛЕКТРОННАЯ

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



АППАРАТУРА

• КРИСТАЛЛ •

ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
НА БОРТУ СОВЕТСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ

САЛЮТ-6

1979

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР • НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. А. Афанасьев,
А. А. Васенков,
Е. А. Гайлиш,
А. С. Гладков,
Г. Я. Гуськов,
Н. Д. Девятков,
С. В. Жигунов,
В. И. Иванов,
А. Ф. Казаков,
А. М. Калугин,
Н. А. Киреев,
А. А. Константинов,
Э. А. Лукин,
А. А. Маклаков,
А. Ю. Малинин,
Ю. Б. Митюшин,
В. С. Морозов,
В. М. Пролейко
(зам. главного
редактора),
В. Д. Степанов,
Ю. Б. Степанов,
А. А. Сорокин,
А. И. Савин,
В. Н. Сретенский,
П. М. Стуколов
(зам. главного
редактора),
Г. Г. Татаровская
(ответственный
секретарь),
Я. А. Федотов,
О. В. Филатов,
С. К. Цаллагов

● Аппаратура "Кристалл", установленная на борту орбитальной космической станции "Салют-6", позволила осуществить выращивание монокристаллов элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений с улучшенной однородностью распределения примесей и значительно меньшей плотностью дислокаций по сравнению с "земными" образцами. Установка надежна в работе, удобна в эксплуатации.

● Разработанные быстродействующие ТТЛ ИС с парафазным выходом серии К599 являются эффективными элементами средств вычислительной техники и цифровой автоматики. В серию входит ИС К599ЛП1, предназначенная для передачи дискретной информации в случаях повышенной вероятности возникновения помех. Микросхемы К599 демонстрировались на международных и отечественных выставках, удостоены золотых медалей в Лейпциге, Берлине, на ВДНХ СССР.

● Один из путей улучшения эксплуатационных характеристик и качества полупроводниковых приборов — уменьшение плотности дислокаций. Применение методов прямого наблюдения для исследования механизмов генерации дислокаций и характера их влияния на параметры полупроводниковых приборов позволяет разработать технологические приемы уменьшения плотности дислокаций в готовых структурах.

● В настоящем выпуске мы продолжаем рубрику "Трибуну — начальнику цеха", которая посвящается работе руководителей среднего звена, чей опыт и знания позволяют постоянно находить новые пути повышения эффективности производства.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1979 3
ГОД ИЗДАНИЯ ДЕСЯТЫЙ ВЫПУСК (75)

OldPC.su

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Малинин А.Ю.* Эксперименты по выращиванию полупроводниковых материалов в условиях космоса на аппаратуре "Кристалл"

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 8 *Гольдшер А.И., Диковский В.И., Федотов Я.А.* Быстродействующие ТТЛ микросхемы с парафазным выходом
12 *Гольдшер А.И., Диковский В.И., Федотов Я.А.* Мало-мощные ТТЛ микросхемы с парафазным выходом на основе приборов с барьером Шоттки
16 *Безбородников Б.А., Березенко А.И., Фурсин Г.И.* Инжекционная структура с самосовмещенным инжектором и эпитаксиальным коллектором
18 *Фирсов В.И.* Мощные составные транзисторы КТ-827 и КТ-829
20 *Зайцев Ю.В., Ивин Г.Ф., Марченко А.Н.* Магниторезистор на основе полупроводникового сплава $\text{InSb}-\text{NiSb}$
22 *Грызлов А.В., Захаров М.А., Лысов Г.В.* Линейный ускоритель электронов "Электроника" для радиационной технологии
23 *Акинфиев А.Б., Арсланов В.М., Щетинин Ю.И.* Постоянные запоминающие устройства на микросхемах К155РЕЗ
25 *Амельчаков Н.П., Байдалинов И.В., Малышев И.В., Юровский А.В.* Полупроводниковая ИСК174УР2

ОБМЕН ОПЫТОМ

- 26 *Билиевский Е.И., Ляшук Ю.Ф., Онегин Е.Е., Ярош А.В.* Производство линейных шаговых двигателей

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

- 28 *Зеленоз В.И., Лейкин В.Н., Мингазин Т.А.* Анализ воз-

никновения дислокаций и их влияния на свойства полупроводниковых структур

- 41 *Захаров А.А., Казанцев В.В.* Электрохимические методы контроля концентрационных профилей многослойных эпитаксиальных структур
45 *Гершинский А.Е., Черепов Е.И.* Применение электрохимических методов для обнаружения и измерения толщины индивидуальных слоев многослойных структур
49 *Балюк В.С., Котенко Е.Г., Панков В.В.* Измерительно-информационная система для контрольно-испытательных стендов ЗВП СВЧ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ

- 51 *Горбач С.С., Прокопьев А.А.* Совершенствовать экономическое образование руководящих и инженерно-технических работников отрасли

Трибуну — начальнику цеха

- 53 *Погоцкий Э.И.* Работать с наибольшей отдачей
55 *Тебеньков В.Ф.* К новым успехам
57 *Перников А.И.* Увлеченность и поиск
58 *Маневич Р.М.* Хозяйка металлургического
59 *Голубев И.Н.* На основе анализа
61 *Филиппов В.К.* С творческим подъемом
62 *Чиркин А.С.* Начальник цеха — организатор коллектива
63 *Камкина Л.Г., Курис Б.Д.* В авангарде коллектива
65 *Горжанов В.Д.* Быть всегда впереди
66 *Иванов И.А.* Наука управлять

СООБЩЕНИЯ

- 67 *Носов Ю.Р.* На всесоюзном научно-техническом семинаре по применению средств оптоэлектроники



НА БОРТУ ОРБИТАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ "САЛЮТ-6" ПРОВЕДЕНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЦЕЛЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С КАЧЕСТВЕННО ЛУЧШИМИ, ЧЕМ У "ЗЕМНЫХ" ОБРАЗЦОВ, СВОЙСТВАМИ

АППАРАТУРА "КРИСТАЛЛ", НА КОТОРОЙ РЕШАЛИСЬ ПОСТАВЛЕННЫЕ ЗАДАЧИ, ПОЗВОЛИЛА ОСУЩЕСТВИТЬ ВЫРАЩИВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ И ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР С УЛУЧШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ. КОСМОНАВТЫ А.С.ИВАНЧЕНКОВ И В.В.КОВАЛЕНКО, РАБОТАВШИЕ С ЭТОЙ УСТАНОВКОЙ, ОТМЕТИЛИ ЕЕ ВЫСОКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ХОРОШИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОТЛИЧНЫЕ УДОБСТВА В РАБОТЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА НА АППАРАТУРЕ "КРИСТАЛЛ"

УДК 621.315.592.002.2:629.7

Электронная промышленность предъявляет все новые требования к качеству и ассортименту полупроводниковых материалов. Однако даже современный уровень технологии не в состоянии обеспечить необходимое структурное совершенство, однородность электрофизических параметров ряда полупроводниковых соединений и элементарных полупроводников. Пределы совершенствования технологических процессов обусловлены, в частности, действием сил земного притяжения: гравитация оказывает существенное влияние на процессы диффузии, конвекции, осаждения, расслоения при образовании кристаллов из жидкой и газовой фаз.

Перспективным направлением дальнейшего совершенствования качества полупроводниковых материалов, а также получения соединений, производство которых в земных условиях затруднено или вообще невозможно, является комплексное использование уникальных особенностей космического пространства: невесомости, вакуума, наличия высоких и низких температур и солнечной радиации. Эффект левитации и отсутствие гравитационной конвекции в условиях невесомости являются главными факторами, определяющими возможности использования космического пространства как производственной среды для изготовления совершенных по структуре и электрическим характеристикам полупроводниковых материалов.

Основными задачами современной космической технологии полупроводникового материаловедения являются:

- изучение возможности использования специфических условий космоса для технологических целей;
- разработка теоретических основ и методик проведения технологических экспериментов по

выращиванию полупроводниковых объемных монокристаллов и пленочных структур;

- разработка и создание специальной технологической аппаратуры для получения полупроводниковых материалов;

- изучение процессов выращивания полупроводниковых объемных монокристаллов и пленочных структур из газовой и жидкой фаз без контакта растущего кристалла со стенками контейнера в условиях невесомости, а также влияния условий космического полета на структурное совершенство выращенных кристаллов;

- исследование процессов массопереноса и кристаллизации в космических условиях для оптимизации аналогичных процессов "земной" технологии;

- оценка возможности организации в условиях невесомости опытно-промышленного производства полупроводниковых материалов, а в дальнейшем и структур сверхбольших интегральных схем с использованием "сухих" процессов их формирования: молекулярно-лучевой эпитаксии, ионной имплантации, плазмохимии, электронно-лучевой фотолитографии;

- разработка и создание высококачественных изделий электронной техники на основе материалов, полученных в космосе.

Технологическая аппаратура "Кристалл" (рис.1), на которой решались поставленные задачи, состоит из трех блоков: электропечи "Кристалл-1", спецвычислителя "Кристалл-2" и комплекта кассет с технологическими контейнерами "Кристалл-3".

При создании аппаратуры предусмотрена возможность проведения экспериментов с широким кругом материалов, используемых в производстве

изделий микроэлектроники. Кроме того, учитывались специфические требования к построению бортовой аппаратуры: минимальные масса, габариты и энергопотребление в сочетании с высокой надежностью, удобством обслуживания и безопасностью проведения экспериментов.

Аппаратура "Кристалл" представляет собой принципиально новое оборудование, характеризующееся наличием прецизионного электронного управления тепловым полем и оригинальной конструкцией технологической электропечи, обеспечивающей программное, прецизионное продвижение контейнеров с образцами в заданном тепловом поле. Способ теплоизоляции, обусловленный такой конструкцией, позволяет максимально использовать электрическую мощность (250 Вт) для получения тепловых полей с температурой до 1200 °С, не



Рис. 1. Комплект многоцелевой аппаратуры "Кристалл"

прибегая к забортному вакууму, и в то же время не допускает опасного для человека нагрева корпуса печи выше 50 °С.

"Кристалл" может работать во внутреннем отсеке орбитальной станции, что существенно облегчает его монтаж и обслуживание на орбите, а также снижает вероятность разгерметизации рабочего пространства станции. При проведении технологических процессов работа оператора заключается в загрузке и выгрузке контейнеров из печи, установке технологического режима в соответствии с циклограммой проведения процесса и выборочном контроле параметров на пульте управления. Одновременно осуществляется контроль за ходом технологического процесса по каналам телеметрии.

В установке "Кристалл" (функциональная схема аппаратуры приведена на рис. 2), полупроводниковые материалы можно получать методами объемной и направленной кристаллизации, сублимации, газотранспортного переноса, движущегося растворителя.

Для плавления и кристаллизации полупроводникового вещества, например германия, в печи реализуются циклограмма и температурный профиль, представленные на рис. 3, а и б. Вначале происходит нагрев материала в ампуле (рис. 3, в) до температуры выше точки плавления германия (0–1), затем выдержка (1–2), в некоторых процессах зонное охлаждение (2–3) и, наконец, пассивное охлаждение материала до температуры ниже 50 °С (3–4). При зонном охлаждении образец материала механически перемещается с заданной скоростью из зоны с высокой в зону с пониженной температурой.

Электропечь "Кристалл-1" (рис. 4) состоит из сварного корпуса цилиндрической формы, выполненного из алюминиевого сплава, внутри которого на растяжках закреплен тепловой узел с нагревательным элементом и термопарой. Снижение темпе-

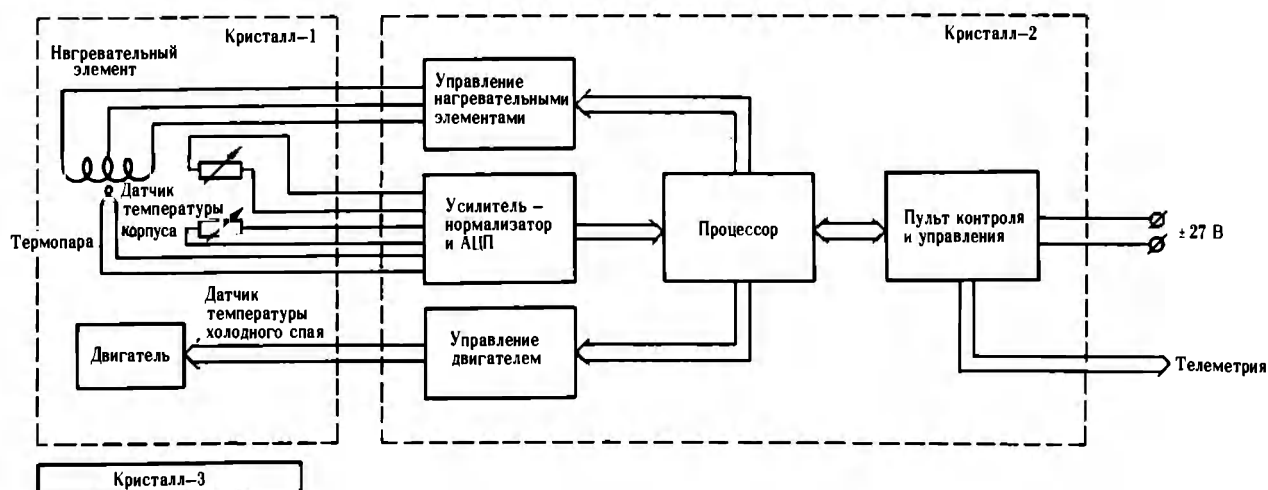


Рис. 2. Функциональная схема аппаратуры

ратуры корпуса осуществляется принудительным обдувом его наружной поверхности, для чего в конструкции печи предусмотрен кожух с фланцем.

Электродпечь обеспечивает температуру в горячей зоне от 200 до 1200 °С, градиент температур 100–200 град/см, сохранение стабильности градиента при изменении температуры. Масса печи не более 14 кг, габариты 477х266х272 мм.

Спецвычислитель "Кристалл-2" (рис. 5) позволяет устанавливать рабочую температуру, время выдержки и режимы зонного охлаждения (скорость и длительность), поддерживать установленную температуру с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$, задавать временную программу работы, управлять электродвигателем перемещения, измерять температуру зоны плавления, холодного спая термопары и корпуса печи, индицировать эти температуры, фазы процесса и параметры, характеризующие работоспособность

аппаратуры, формировать сигналы для телеметрирования параметров, отражающих режимы технологического процесса. Устройство управления выполнено на бескорпусных интегральных схемах с герметизацией отдельных блоков. Масса не более 14 кг. Габариты 430х210х200 мм.

Контейнеры с материалами в количестве 10 штук упаковываются в специальную кассету "Кристалл-3" (рис. 6), предназначенную для их хранения и транспортировки. Каждый контейнер, выполненный из жаропрочной стали, лежит в гнезде из гофрированной бронзовой фольги. В такой упаковке ампулы выдерживают удары до 100g. Длина контейнера составляет 175 мм, диаметр — 13 мм. Один конец его имеет заглушку с резьбой для закрепления на штоке механизма протяжки,

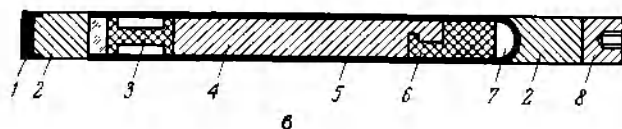
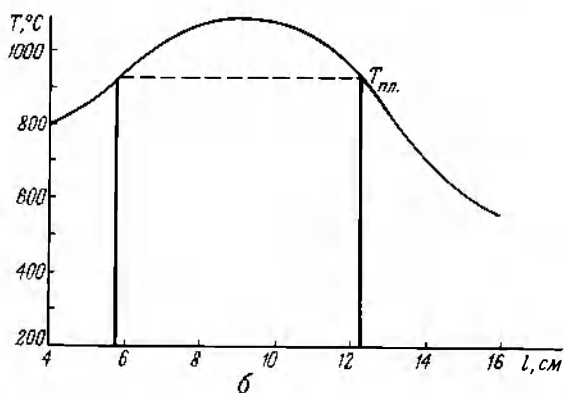
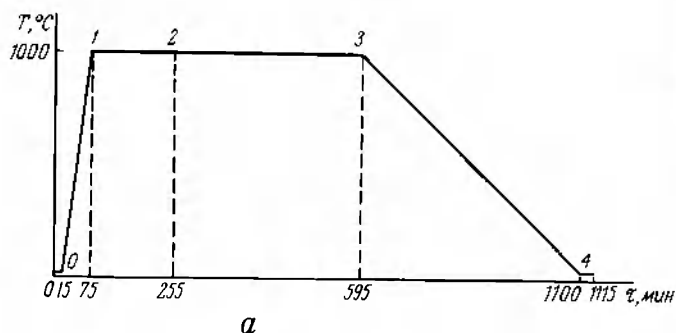


Рис. 3. Циклограмма процесса направленной кристаллизации германия (а), температурный профиль (б), положение ампулы относительно температурного профиля (в): 1 — крышка, 2 — кварцевая вата; 3 — графитовая вставка, 4 — слиток германия, 5 — контейнер из жаропрочной стали; 6 — графитовый замок, 7 — кварцевая ампула, 8 — втулка

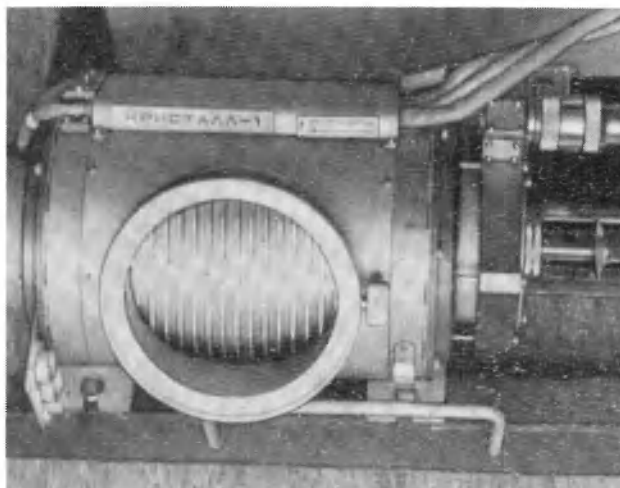


Рис. 4. Электродпечь "Кристалл-1"

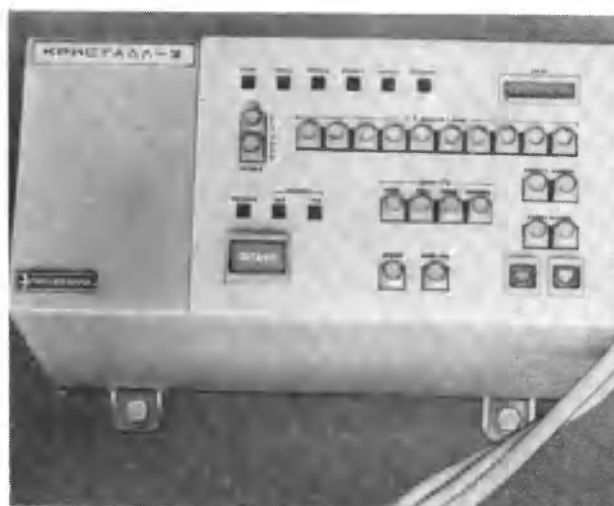


Рис. 5. Спецвычислитель "Кристалл-2"

другой заворачивается крышкой, на которой гравировается номер контейнера и значение рабочей температуры.

Большинство экспериментов по космическому полупроводниковому материаловедению выполнено космонавтами В.В. Коваленком и А.С. Иванченковым. На борту орбитальной космической станции "Салют-6" они провели серию технологических экспериментов как по национальной программе, так и в рамках программы "Интеркосмос" с участием ЧССР ("Морава"), ПНР ("Сирена") и ГДР ("Беролина").

Для проведения технологических процессов в космических условиях были выбраны полупроводниковые материалы, в которых наиболее ярко проявляются эффекты, связанные со стехиометрией, наличием примесей и совершенством структуры кристаллов.



Рис. 6. Кассета с контейнерами "Кристалл-3"

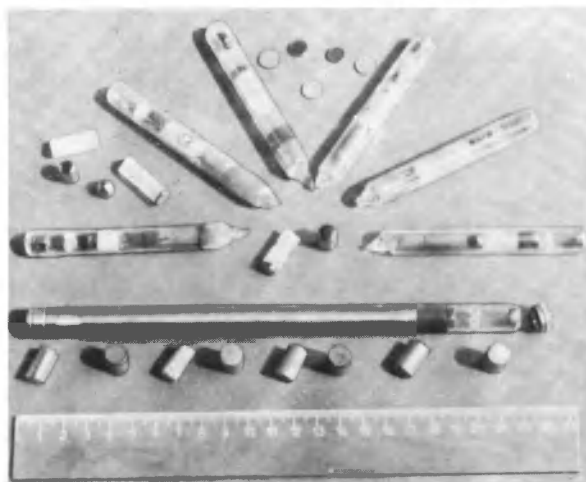
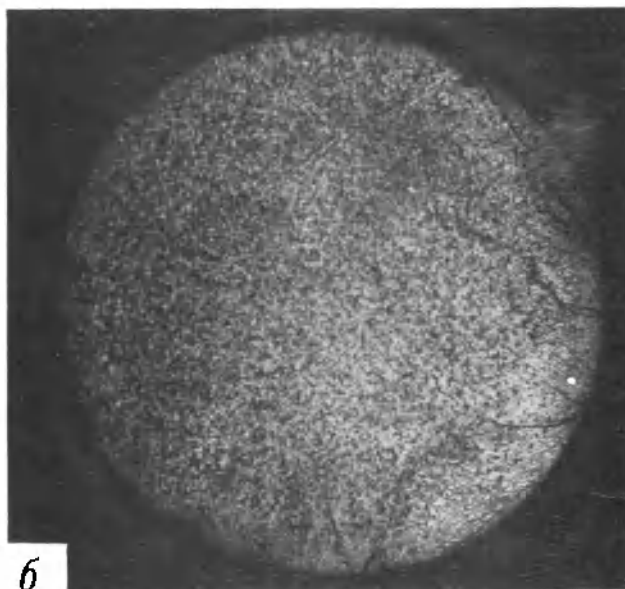


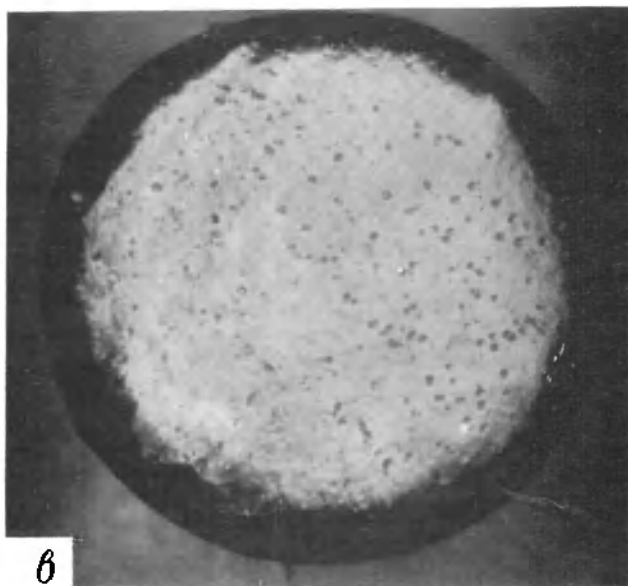
Рис. 7. Ампулы с образцами



а



б



в

Рис. 8. Влияние гравитации на структуру кристаллов германия, выращенных при 10 g (а), 1 g (б) и $6 \cdot 10^{-6} g$ (в)

В условиях, близких к невесомости, изучены различные способы получения полупроводниковых кристаллов, находящих широкое применение в промышленности, в том числе: выращивание из расплава полупроводниковых монокристаллов германия, арсенида и антимонида индия (объемных, ленточных и сферических) методом объемной и направленной кристаллизации; из газовой фазы — эпитаксиальных слоев кремния и германия и объемных кристаллов окиси цинка методом газотранспортных реакций; сублимацией — объемных кристаллов сульфида, селенида, теллурида кадмия, теллурида свинца, твердых растворов сульфид-селенид кадмия, селенид-теллурид свинца и теллурид свинца-олова; из раствора — объемных кристаллов арсенида галлия методом движущегося растворителя.

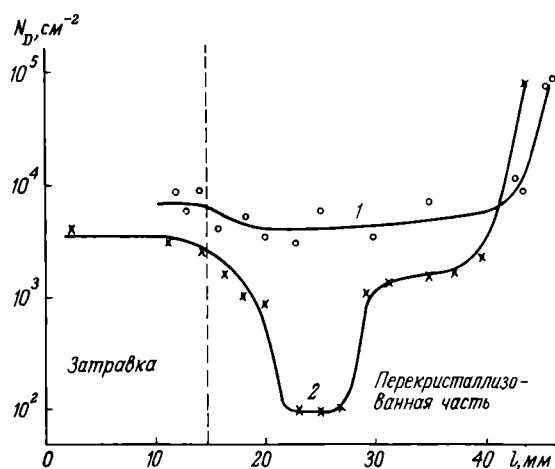


Рис. 9. Распределение плотности дислокаций в кристаллах германия, выращенных при $1g$ (1) и $6 \cdot 10^{-6}g$ (2), в осевом направлении

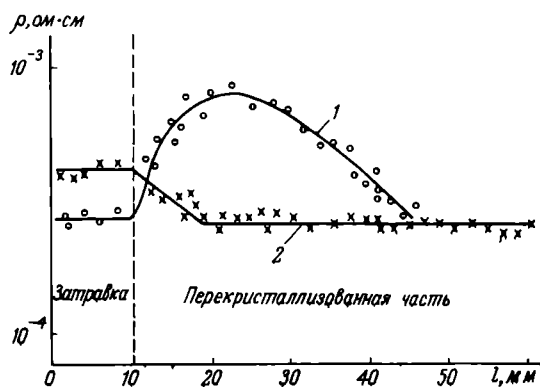


Рис. 10. Распределение удельного сопротивления по длине кристалла антимонида индия, легированного теллуром до $5 \cdot 10^{17}$ атомов/см³ при $1g$ (1) и $6 \cdot 10^{-6}g$ (2)

В космосе на аппаратуре "Кристалл" было проведено 40 технологических процессов и получена 51 ампула с полупроводниковыми материалами (рис. 7), которые после возвращения контейнеров на Землю были подвергнуты комплексному исследованию. Одновременно исследовались контрольные образцы, полученные в синхронных экспериментах на аппаратуре "Кристалл" на Земле при нормальной ($1g$) и повышенной (до $10g$) гравитации, достигнутой при использовании центрифуги.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что слитки германия, выращенные на центрифуге при ускорениях $10g$, являются либо крупноблочными, либо поликристаллическими; при нормальной гравитации плотность дислокаций в слитке достигает 10^5 см^{-2} , тогда как кристаллы германия, полученные на орбитальной станции, имеют существенно меньшую плотность дислокаций (N_D до 10^2 см^{-2}) как в осевом, так и радиальном направлении (рис. 8,9). Кроме того, в них наблюдается значительное уменьшение микронеоднородности удельного сопротивления по длине слитка до 2–3% по сравнению с 10–12% у "земных" образцов.

Кристаллы антимонида индия, полученные в космосе, также оказались более однородными по удельному сопротивлению, чем "земные" (рис. 10) и практически бездислокационными ($N_D \sim 10^3 \text{ см}^{-2}$)*.

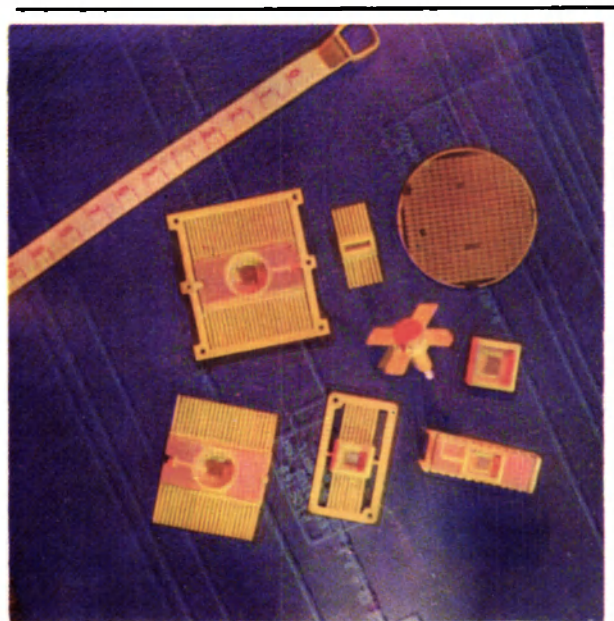
Получение кристаллов в условиях невесомости на аппаратуре "Кристалл" продемонстрировало возможность бесконтейнерного выращивания из расплава и газовой фазы однородных и структурно-совершенных монокристаллов германия, сульфида и селенида кадмия и ряда трехкомпонентных полупроводниковых соединений, а также проведения процесса направленной кристаллизации арсенида и антимонида индия, германия и других материалов.

Следующим этапом развития работ является создание более крупных бортовых установок для опытно-промышленного производства материалов с заданными свойствами и получение приборов на их основе, что несомненно будет способствовать ускорению научно-технического прогресса ведущих отраслей промышленности, особенно электронной.

Статья поступила 8 января 1979 г.

* Результаты дальнейших детальных исследований будут опубликованы в очередных выпусках нашего сборника.

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



А. И. Гольдшер, В. И. Диковский,
Я. А. Федотов

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ТТЛ МИКРОСХЕМЫ С ПАРАФАЗНЫМ ВЫХОДОМ

Разработанные ТТЛ микросхемы с парафазным выходом в отличие от стандартных ТТЛ схем серии К131 реализуют логическую функцию И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ, обеспечивая при этом в 1,5–2 раза лучший фактор качества. Приращение времени задержки распространения сигнала при подключении одного расширителя по ИЛИ не превышает 0,7 нс.

УДК 621.3.049.77

Стремление разработчиков средств вычислительной техники иметь единый (базисный) элемент, который обладал бы достаточной простотой и в то же время позволял реализовать на его основе любую логическую функцию, привело к тому, что подавляющее большинство стандартных ТТЛ микросхем выполняют логическую функцию И-ПЕ [1, 2]. Обладая достаточно полной серией таких микросхем, можно создавать устройства, выполняющие любые логические операции.

Однако цифровые устройства, изготовленные только на логических элементах И-НЕ, далеки от оптимальных. Анализ их структур показывает, что операция инверсии И-НЕ занимает лишь 20% от общего количества логиче-

ских операций. Основная же логическая операция И-ИЛИ, составляющая около 50%, обычно осуществляется с помощью двух элементов И-НЕ и соответствующего количества расширителей по ИЛИ.

Первый недостаток стандартных ТТЛ ИС связан с отсутствием возможности выполнения на одной микросхеме логических функций И-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ. Он приводит к тому, что реализация подавляющего большинства логических функций (около 80%) сопряжена с ухудшением фактора качества примерно в 4 раза по сравнению с $t_{зд.р.}$ при реализации функции И-НЕ. Помимо этого увеличивается общее число микросхем, возрастает объем и вес устройства, усложняется его конструкция, снижается надежность за счет увеличения количества межсоединений.

Второй недостаток обусловлен сильной зависимостью $t_{зд.р.}$ от числа расширителей по ИЛИ. Он вызван значительным перепадом напряжений ΔU на выводах расширителя в процессе переключения. На рис. 1 приведены номинальные значения напряжений стандартного ТТЛ вентиля для двух логических состояний. Напряжение питания принято равным 5 В, а напряжение эмиттер – база и коллектор – эмиттер в режиме насыщения соответственно 0,75 и 0,2 В. Из рис. 1 видно, что потенциал в точке А (точке подключения коллекторов расширителей по ИЛИ) изменяется с 1,0 до 5,0 В, т.е. $\Delta U = 4$ В. Вследствие этого приращение $t_{зд.р.}$ при подключении одного расширителя по ИЛИ даже для мощной серии ТТЛ ИС (К131) составляет около 3 нс.

Обычно число расширителей по ИЛИ равно 3, что в 1,5–2 раза ухудшает быстродействие при выполнении операции И-ИЛИ-НЕ.

Отмеченные недостатки существенно снижают эффективное быстродействие устройств и ведут к увеличению потребляемой мощности

и числа микросхем. Анализ рассмотренных недостатков известных ТТЛ микросхем показывает, что эффективными элементами средств вычислительной техники и циф-

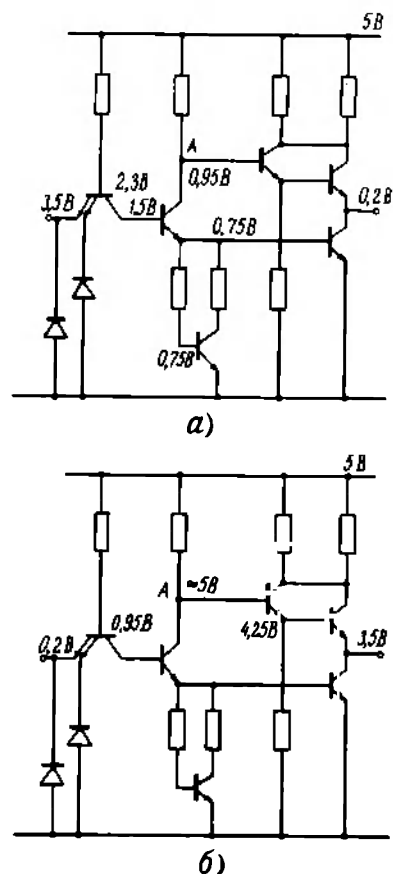


Рис. 1. Напряжения стандартного ТТЛ вентиля во включенном (а) и выключенном (б) состояниях

ровой обработки информации, построенных на ТТЛ элементах, могли бы служить быстродействующие ТТЛ микросхемы с парафазным выходом. Они позволяют с помощью одного логического элемента одновременно осуществлять операции И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ благодаря наличию прямого и инверсного выходов и обладают слабой зависимостью быстродействия от числа расширителей по ИЛИ.

Функциональное назначение схем показано на рис. 2. Базовый логический элемент с парафазным выходом (ЛЭПВ) [2] представлен на рис. 3. Здесь же приведены номинальные значения напряжений для двух логических состояний. Во входном каскаде применен типовой расширитель, а выходные каскады выполнены по схеме сложного инвертора, поэтому при соответствующем выборе номиналов

резисторов ЛЭПВ должен обладать такими же входными и выходными параметрами, как и известные ТТЛ схемы. В частности, микросхемы типов К599ЛК1, К599ЛК3, К599ЛК4, К599ЛК5 по входным и выходным параметрам полностью совместимы с микросхемами серии К131.

Для увеличения помехоустойчивости параллельно переходам база-эмиттер выходных транзисторов Т8, Т9 включены резисторно-транзисторные цепочки (R9, R10, T10 и R11, R12, T11), механизм влияния которых на передаточную характеристику ТТЛ-вентилей описан в работе [3].

Включение резисторов R7, R8 эмиттерных повторителей не на землю, а на выход позволяет уменьшить их номиналы без увеличения потребляемой мощности, так как значитель-

ный ток протекает через них только в момент переключения схемы.

Вместе с тем, в логическом элементе использовано принципиально новое схемотехническое решение [4]: применена схема связи, состоящая из транзисторов Т3, Т4, Т7 и резисторов R3, R5 и представляющая собой дифференциальный усилитель-переключатель со связанными базами.

Схема усилителя-переключателя обеспечивает:

- связь входных расширителей с выходами схемы;

- одновременное управление выходами схемы, возможное благодаря тому, что переключение обоих транзисторов происходит как два взаимозависимых процесса, протекающих одновременно, но в различных направлениях (включающие базовые токи и заряды одного транзистора являются выключающими для другого вследствие взаимного управления транзисторов от базы к базе);

- низкую величину перепада напряжений в точке подключения коллекторов расширителей по ИЛИ (потенциал в точке А возрастает от 1,0–1,1 до 1,5–1,6 В, т.е. всего на 0,5 В), что обеспечивает слабую зависимость времени задержки распространения сигнала от количества расширителей по ИЛИ (в стандартных ТТЛ микросхемах перепад напряжений в точке подключения расширителей по ИЛИ составляет 4 В).

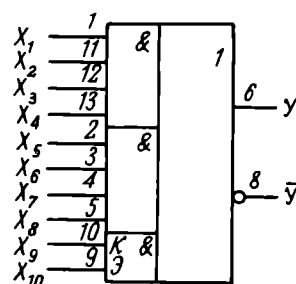
Таким образом, предложенный в работе [2] логический элемент в отличие от известных ТТЛ микросхем одновременно реализует

функцию И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ, а также обладает малым перепадом напряжений в точке подключения расширителей по ИЛИ.

Недостатком рассмотренного ЛЭПВ является несимметричность схемы относительно прямого и инверсного выходов. Это приводит к значительному разбросу времени появления выходных сигналов и, как следствие, к снижению быстродействия.

Наблюдаемое в схеме увеличение времени задержек включения и выключения по прямому выходу вызвано тем, что сигнал от входа к прямому выходу, по сравнению с инверсным, проходит дополнительно через транзистор Т7. При этом наибольшей является задержка выключения, так как рассасывание заряда, накопленного транзистором Т7, начинается только после того, как становится возможным протекание тока от базы транзистора Т7 к земле. В то же время включение транзистора Т7 происходит значительным током, задаваемым транзистором Т4 при рассасывании его накопленного заряда, в дополнение к базовому току, определяемому резистором R5.

Цель смещения выходного транзистора Т8 на прямом выходе, как и в обычных ТТЛ схемах, состоит из транзистора Т10 и двух резисторов R9 и R10. В случае применения в данной цепи смещения одного лишь резисто-



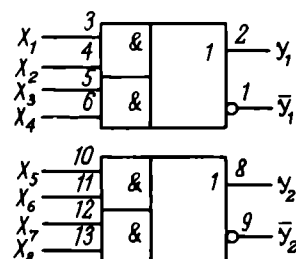
К599 ЛК1

Логический элемент
4И-2ИЛИ/4И-2ИЛИ-НЕ

с возможностью расширения по ИЛИ

$$Y = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8$$

$$\bar{Y} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8$$

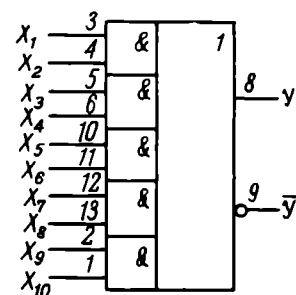


К599ЛК3

Два логических элемента
2 × (2И-2ИЛИ/2И-2ИЛИ-НЕ)

$$Y_1 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4; \quad \bar{Y}_1 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$$

$$Y_2 = X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8; \quad \bar{Y}_2 = X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8$$



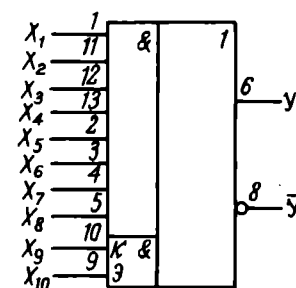
К599ЛК4

Логический элемент
2И-4ИЛИ/2И-4ИЛИ-НЕ

с возможностью расширения по ИЛИ

$$Y = X_1 \cdot X_2 + X_3 \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 + X_7 \cdot X_8$$

$$\bar{Y} = X_1 \cdot X_2 + X_3 \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 + X_7 \cdot X_8$$



К599ЛК5

Логический элемент
8И-ИЛИ/8И-ИЛИ-НЕ

с возможностью расширения по ИЛИ

$$Y = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8$$

$$\bar{Y} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6 \cdot X_7 \cdot X_8$$

Рис. 2. Функциональное назначение ТТЛ микросхем с парафазным выходом

ра Т7 постоянно открыт, что не обеспечивает состояния "1" на прямом выходе.

Подобное выполнение цепи смещения выходного транзистора Т9 на инверсном выходе нецелесообразно, поскольку в этом случае для протекания рассасывающего базового тока при рассасывании заряда, накопленного в транзисторе Т7, необходимо последовательно открыть два эмиттерных р-л перехода. При выполнении цепи смещения выходного транзистора Т9 на инверсном выходе только на резисторе R11 достаточно открыть один эмиттерный переход транзистора Т13. Это приводит к одновременному уменьшению времени задержки включения по инверсному выходу и задержки выключения по прямому выходу, причем их величины становятся практически одинаковыми. Экспериментальные исследования показали, что выполнение цепи смещения на инверсном выходе в виде резистора позволило сократить время задержек до величины 10 нс (примерно на 2,5 нс каждое). При этом разница между временами задержек на прямом и инверсном выходах составила не более 10%.

Можно ожидать, что при подобном выполнении цепи смещения произойдет ухудшение

передаточной характеристики на инверсном выходе подобно тому, как это наблюдалось в стандартных ТТЛ микросхемах. Однако в микросхемах с парафазным выходом управление транзистором Т5 осуществляется не по коллекторной цепи транзистора Т13, а развязка между ними реализуется через транзистор Т4 схемы со связанными базами. Вследствие этого преждевременное открывание транзистора Т13 не приводит к изменению уровня напряжения U^1 на инверсном выходе до тех пор, пока не переключится схема со связанными базами. Переключение схемы происходит при напряжении на входе

$$U_{вх} = U_1 + U_2,$$

где U_1 — напряжение отпирания входного каскада; U_2 — падение напряжения на резисторе R11 в результате протекания тока, задаваемого резистором R5.

Величина U_2 при выбранных номиналах резисторов составляет 0,25–0,3 В в наихудшем случае. Это обеспечивает требуемую помехозащищенность микросхемы, несмотря на использование резистора в качестве элемента смещения на инверсном выходе.

Передаточная характеристика усовершенствованного логического элемента при наихудшем сочетании электрических и температурных режимов приведена на рис. 4. Подобно стандартным ТТЛ микросхемам помехозащищенность ЛЭПВ составляет не менее 0,4 В.

Анализ работы схемы и расчеты, выполненные на 3ВМ, показали, что схемотехнические преимущества ЛЭПВ могут быть реализованы на основе компонентов с достаточно жестко заданными электрическими параметрами. Так, например для обеспечения низкой величины перепада напряжений в точке А (см. рис. 1) величина напряжения коллектор — эмиттер в режиме насыщения $U_{кз,нас}$ транзистора Т13 (Т14) не должна превышать 0,25 В. Это требование связано с тем, что при подаче на все входы многоэмиттерного транзистора Т12 (или Т15) напряжения U^1 потенциал в точке А

$$U_A = U_{бэ,нас.Т9} + U_{кз,нас.Т13} = 1 \div 1,1 \text{ [В]},$$

где $U_{бэ,нас.Т9}$ — напряжение насыщения база — эмиттер транзистора Т9; $U_{кз,нас.Т13}$ — напряжение насыщения коллектор — эмиттер транзистора Т13.

Такой величины напряжения при $T = 25 \pm 10^\circ \text{C}$ недостаточно для открывания эмиттерных переходов транзисторов Т7, Т8. При большем напряжении в точке А они могут открываться. Тогда ток, протекающий через приоткрывшийся транзистор Т3, вызовет дополнительное падение напряжения на резисторе R2, в результате чего снизятся потенциал коллектора транзистора Т3 и величина U^1 на прямом выходе. При повышенном значении $U_{кз,нас.Т13}$ (Т14) этот, необычный для известных ранее ТТЛ микросхем эффект особенно может быть замечен в случае $T = 70^\circ \text{C}$,

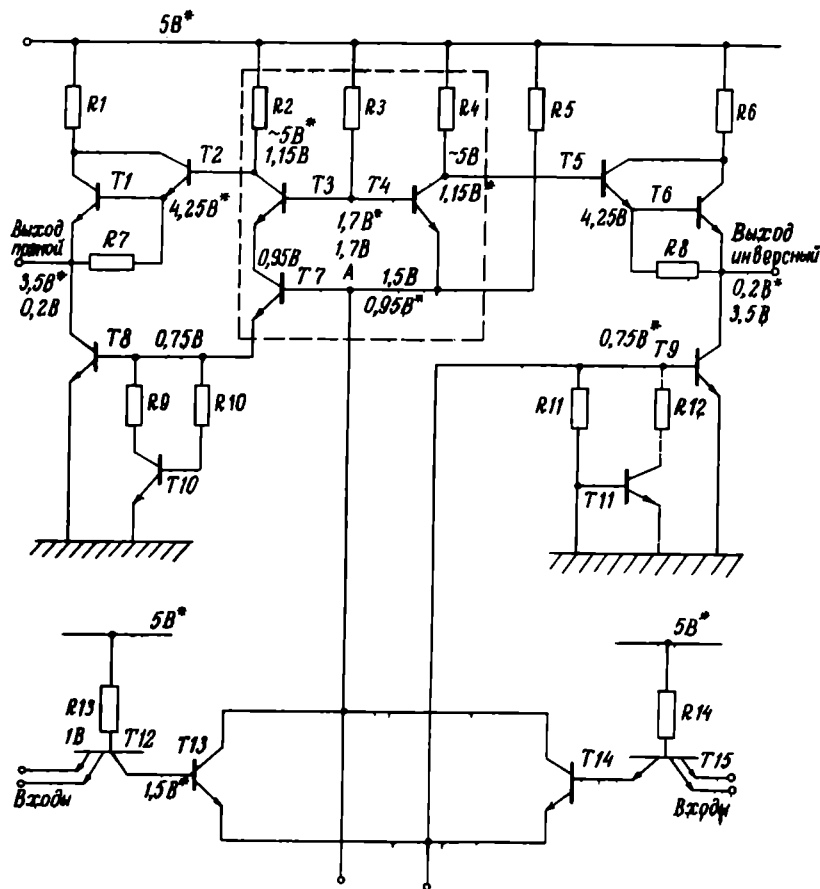


Рис. 3. Принципиальная схема логического элемента с парафазным выходом (* — напряжение при подаче на входы $U^1_{вх}$; без * — напряжения при подаче на входы $U^0_{вх}$)

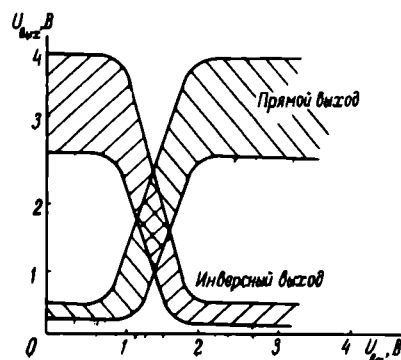


Рис. 4. Передаточные характеристики логического элемента с парафазным выходом, в котором корректирующая цепочка на инверсном выходе выполнена в виде резистора, при $U_{и.п} = 4,5 \div 5,5 \text{ В}$; $T = -60 \div +125^\circ \text{C}$ и числе нагрузок $n = 1 \div 10$

Таблица 1

Наименование параметра	К599ЛК1			К599ЛК3			К599ЛК4			К599ЛК5		
	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.
Входной ток логического нуля $I_{вх}^0$, мА	—	-1,2	-2,0	—	-1,2	-2,0	—	-1,2	-2,0	—	-1,2	-2,0
Входной ток логической единицы $I_{вх}^1$, мкА	—	5	50	—	5	50	—	5	50	—	5	50
Напряжение логического нуля U^0 , В	—	0,2	0,4	—	0,25	0,4	—	0,25	0,4	—	0,2	0,4
Напряжение логической единицы U^1 , В	2,5	3,4	—	2,5	3,4	—	2,5	3,4	—	2,5	3,4	—
Ток потребления в состоянии логической единицы $I_{пот}^1$, мА	—	9,0	14	—	19	23	—	10	14	—	8,5	11,5
Ток потребления в состоянии логического нуля $I_{пот}^0$, мА	—	10,0	14	—	21	25	—	12	16	—	9,0	11,5
Ток короткого замыкания $I_{кз}$, мА	-28	-40	-62	-28	-40	-62	-28	-40	-62	-28	-40	-62

Таблица 2

Наименование параметра	К599ЛК1		К599ЛК3		К599ЛК4		К599ЛК5	
	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.
Время задержки включения $t_{зд}^0$, нс								
по прямому выходу	10	15	9,0	15	9,0	15	14	18
по инверсному выходу	9	15	8,5	15	8,5	15	9,0	18
Время задержки выключения $t_{зв}^1$, нс								
по прямому выходу	9	15	7,0	15	7,5	15	13	18
по инверсному выходу	10	15	8,0	15	8,0	15	9,5	18
Приращение времени задержки распространения сигнала при подключении одного расширителя по ИЛИ t , нс	0,3	0,7	—	—	0,3	0,7	0,3	0,7
Потребляемая динамическая мощность $P_{дин}$ на частоте $f=10$ МГц, мВт	—	75	—	150	—	85	—	70

Таблица 3

Логическая функция	Серия ИМС	Тип микросхемы	Число корпусов	Основные электрические параметры				$P \cdot t_{K599} / P \cdot t_{K131}$	
				P , мВт		$t_{зд.р.ср.}$, нс			
				Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.
4И-2ИЛИ-НЕ/ 4И-2ИЛИ	K599 K131	K599ЛК1 K1ЛР314+ + $\frac{1}{4}$ K1ЛА313	1	45	77	10	15	0,6	0,6
			2	58	98	13	21		
2(2И-2ИЛИ-НЕ)/ 2И-2ИЛИ	K599 K131	K599ЛК3 K1ЛР311+ + $\frac{1}{2}$ K1ЛА313	1	90	132	9,0	15	0,6	0,5
			2	105	186	12,8	21		
2И-4ИЛИ-НЕ/ 2И-4ИЛИ	K599 K131	K599ЛК4 K1ЛР313+ + $\frac{1}{4}$ K1ЛА313	1	61	82,5	10	15	0,55	0,53
			2	85	110	13	21		
8И-ИЛИ-НЕ/ 8И-ИЛИ	K599 K131	K599ЛК5 K1ЛА312+ + $\frac{1}{2}$ K1ЛА313	1	42	66	13	18	0,85	0,65
			2	46	87	14	21		

когда величина напряжения, требуемого для открывания двух эмиттерных переходов, становится минимальной ($\sim 1,3$ В).

Для обеспечения времени задержки распространения при включении $t_{зд.р}$ на уровне 8–10 нс паразитные емкости структуры транзистора Т13 (Т14) не должны превышать 0,5 пФ. Поэтому необходимо добиться снижения $U_{кз.нас}$ без увеличения площади структуры. При постоянной площади структуры сопротивление тела коллектора интегрального планарного транзистора уменьшается обратно пропорционально увеличению концентрации примеси в области коллектора N_d .

Одновременно пропорционально $\sqrt{N_d}$ несколько возрастает емкость коллекторного перехода C_K . Следовательно, при условии выполнения требований по $U_{кз.нас}$ минимальные значения емкостей могут быть достигнуты путем использования эпитаксиальных пленок с n^+ -скрытыми слоями с минимальными удельным сопротивлением и толщиной. При этом выигрыш тем больше, чем больше концентрация примеси в эпитаксиальной пленке и чем меньше ее толщина (при меньшем поверхностном сопротивлении R_s n^+ -скрытого слоя).

Увеличение концентрации примеси в коллекторной области создает также и оптимальные условия легирования золотом [5].

Однако для обеспечения заданного пробивного напряжения коллекторного перехода следует, наоборот, уменьшить концентрацию примеси. Противоречия в выборе величины N_d могут быть разрешены на основе использования эпитаксиальных пленок с минимальным удельным сопротивлением, но при условии обеспечения пробивного напряжения коллектор-эмиттер на уровне 7 В.

Уменьшение толщины эпитаксиальной пленки способствует снижению не только сопротивления тела коллектора, но и паразитной емкости изоляционного перехода C_{Π} .

В разработанных микросхемах для уменьшения времени жизни неосновных носителей заряда использована диффузия золота. Она проводится на окончательном этапе создания эмиттерного p - n перехода. Величина времени рассасывания $t_{рас}$ транзистора составляет около 3 нс.

Однако введение золота на окончательной стадии диффузии эмиттерной примеси накладывает ограничения на минимальную глубину залегания коллекторного p - n перехода, так как $\sqrt{D \cdot t}$ процессов диффузии золота и фосфора взаимосвязаны. Это ограничивает возможность повышения предельной частоты усиления по току f_T , вследствие того, что при глубинах залегания коллекторного p - n перехода порядка 2 мкм нельзя получить очень тонкую базу из-за опасности прокола базовой области пространственным зарядом.

Достигнутое значение f_T составляет – 500 МГц. Расчеты, проведенные на ЭВМ, показали, что дальнейшее увеличение, $f_{гр}$ при $t_{рас} = 3$ нс и величинах паразитных емкостей не более 0,5 пФ уже не оказывает существенного влияния на быстродействие ТТЛ элемента.

Статические и динамические параметры микросхем при температуре $T = -10 \div +70^\circ\text{C}$ представлены в табл. 1 и 2.

По фактору качества $(P \cdot t_{зд.р.ср})$ при реализации одинаковых логических функций ТТЛ микросхемы с парафазным выходом примерно в 1,4–2 раза превосходят микросхемы серии К131 (табл. 3).

Зависимости времен задержек распространения сигнала по прямому и инверсному выходам от электрических и температурных режимов аналогичны зависимостям, приведенным в работе [6].

Микросхемы К599ЛК1, К599ЛК3, К599ЛК4 нашли применение в устройствах вычислительной техники и автоматики с высоким быстродействием, в том числе во входной логике регистров, селекторов (распределителей) сигналов, комбинационных схемах (схемах сложения, полусумматорах), в качестве триггера "зашелки". Микросхема К599ЛК5 используется в схемах совпадения многих сигналов, а также выполняет роль многоходовой схемы по ИЛИ.

Применение быстродействующих ТТЛ микросхем с парафазным выходом способствует существенному улучшению эффективного быстродействия устройств вычислительной техники, а также позволяет уменьшить число микросхем. В ряде устройств четыре типа ИМС серии К599 заменяют 12–15 стандартных ТТЛ микросхем серий К131, К155 и др.

ЛИТЕРАТУРА

- Шагури И.И. Транзисторно-транзисторные логические схемы. М., "Сов. радио", 1974.
- Скарлетт Дж. ТТЛ интегральные схемы и их применение. М., "Мир", 1974.
- Чуманов Ю.Я., Маковоз Б.И. Логический элемент И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ. Авт. свидетельство № 343383—"БИ", 1972, № 20.
- Гринкевич В.А. Транзисторные логические схемы со связанными базами. — "Вопросы радиоэлектроники. Сер. Электронная вычислительная техника", 1969, вып. 3.
- Диковский В.И., Воробьев Н.Н., Моин И.И. Диффузия золота как метод уменьшения времени рассасывания в кремниевых транзисторах. — "Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы", 1966, вып. 2.
- Гольдшер А.И., Колмогоров Г.Д., Гринкевич В.А. и др. Быстродействующие интегральные ТТЛ схемы серии 199. — "Электронная пром-сть", 1973, вып. 7.

Статья поступила 26 мая 1978 г.

А. И. Гольдшер, В. И. Диковский,
Я. А. Федотов

МАЛОМОЩНЫЕ ТТЛ МИКРОСХЕМЫ С ПАРАФАЗНЫМ ВЫХОДОМ НА ОСНОВЕ ПРИБОРОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

Микросхемы реализуют наиболее массовые логические функции современных средств вычислительной техники и дискретной автоматики И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ. Для передачи дискретной информации по длинным линиям связи может использоваться схема К559ЛП1. В отличие от стандартных ТТЛ микросхем с диодами Шоттки допускают подключение расширителей по ИЛИ.

УДК 621.3.049.77:621.382.22

Наряду с микропроцессорами в современных средствах вычислительной техники и цифровой автоматике широкое применение находят маломощные ТТЛ ИС с барьером Шоттки [1].

Использование для уменьшения накопленного заряда неосновных носителей транзисторов с барьером Шоттки (ТШ) вместо транзисторов, легированных золотом, связано с двумя особенностями контакта металл-полупроводник: высоким быстродействием обусловленным тем, что в переносе тока участвуют только основные носители заряда электроны, протекающие из полупроводника в металл, и меньшим (на 0,2–0,3 В) прямым падением напряжения на диоде с барьером Шоттки (ДШ), чем на $p-n$ переходе.

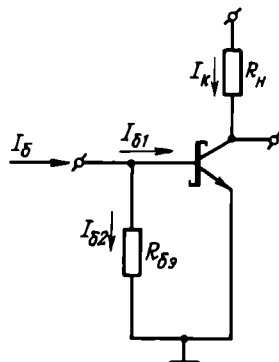


Рис. 1. Базовые токи в транзисторе с барьером Шоттки: I_{δ} — полный ток; $I_{\delta 1}$ — включенный ток; $I_{\delta 2}$ — рассасывающий ток

Меньшее прямое падение напряжения обеспечивает протекание основной части базового тока через диод, что предотвращает вхождение транзистора в режим насыщения и тем самым значительно снижает накопление неосновных носителей в области коллектора и пассивной базы. Вследствие этого удастся обеспечить малое время задержки выключения логического элемента. Доля базового тока $I_{\delta 2}$, отвечающего в цепь рассасывания накопленного заряда через резистор $R_{\delta 3}$, уменьшается (рис. 1).

Исследования показали, что величина тока $I_{\delta 2}$ в ТШ составляет примерно $\frac{1}{4} I_{\delta 1}$. Величина тока $I_{\delta 1}$ определяет время включения транзистора. При этом полный базовый ток $I_{\delta} = I_{\delta 1} + I_{\delta 2} = \frac{5}{4} I_{\delta 1}$.

Для достижения аналогичной величины времени выключения при использовании транзисторов, легированных золотом, необходимо значительно более сильное рассасывание накопленного заряда. Как правило, величина $I'_{\delta 2} \approx I'_{\delta 1}$. Так как требования по величине $I'_{\delta 1}$ идентичны для транзисторов с одинаковыми значениями предельной частоты f_T и емкостей $p-n$ переходов, т.е. $I_{\delta 1} = I'_{\delta 1}$, то $I'_{\delta} = I'_{\delta 1} + I'_{\delta 2} = 2I'_{\delta 1}$. Соотношение полных базовых токов $I'_{\delta}/I_{\delta} = 1,5$.

Таким образом, применение в ТТЛ микросхемах ТШ дает возможность снизить потребляемый ток, т.е. величину потребляемой мощности, сохранив то же быстродействие, что и при использовании транзисторов, легированных золотом (при одинаковых размерах элементов транзисторных структур).

Исключение диффузии золота позволяет уменьшить глубины залегания $p-n$ перехода и тем самым повысить величину предельной частоты усиления по току f_T примерно до 1,5 ГГц, снизить паразитные емкости эмиттерного C_e и изолирующего C_i переходов за счет уменьшения емкости боковых стенок.

В сочетании с большими величинами λ_{213} (примерно в 2–3 раза по сравнению со значениями для транзисторов, легированных золотом) удастся дополнительно существенно снизить величину полного тока базы I_{δ} .

Маломощные стандартные ТТЛ ИМС с барьерами Шоттки [1,2] подобно стандартным ТТЛ микросхемам выполняют логическую функцию И-НЕ и им свойственны недостатки стандартных ТТЛ микросхем, рассмотренные в работе [3].

Особенно существенной является зависимость задержки распространения сигнала $t_{зд.р}$ от количества расширителей по ИЛИ в маломощных ТТЛ ИС, так как значительный перепад напряжений усугубляется еще

и тем, что перезарядка паразитных емкостей происходит малыми токами. Вследствие этого маломощные ТТЛ микросхемы не допускают внешнего расширения по ИЛИ (величина приращения $t_{зд.р}$ при подключении одного расширителя по ИЛИ могла бы составить 20 нс), что снижает их функциональные возможности.

В отличие от стандартных маломощных ТТЛ ИС с барьером Шоттки, рассматриваемые в настоящей работе, одновременно реализуют логические функции И-ИЛИ-НЕ/ИИЛИ, а также обладают относительно слабой зависимостью $t_{зд.р}$ от числа подключаемых расширителей по ИЛИ. Последнее объясняется тем, что перепад напряжений в точке подключения расширителей по ИЛИ составляет всего лишь 0,5 В [3].

В разработанных схемах используется базовый элемент с парафазным выходом (рис. 2), в котором обычные биполярные транзисторы заменены ТШ, а во входном каскаде вместо традиционных многоэмиттерных транзисторов (МЭТ) применены ДШ. Отказ от МЭТ позволяет исключить влияние паразитной емкости изоляционного перехода, существенно увеличивающей время включения транзистора T_{11} . Емкость C_i подключена к менее критичной точке – входу ИМС, и время ее перезарядки определяется небольшим выходным сопротивлением предыдущей схемы. Кроме того, в быстродействующих ИМС, обладающих крутыми фронтами импульса, ДШ переключаемого входа работает как ускоряющая емкость, пропуская через себя бросок тока, включающего (или выключающего) транзистор T_{11} . При этом ускорение происходит без увеличения статической потребляемой мощности.

Чем больше площадь диода $S_{дш}$, тем лучше диод работает как ускоряющая емкость. Однако емкость входного диода существенно влияет на быстродействие в динамическом режиме.

Помимо времен задержек включения и выключения необходимо учитывать еще и время восстановления заряда на емкости ДШ, от которого зависит время установления логических уровней на входе. При достаточно больших емкостях входных диодов максимальная тактовая частота f_{max} может определяться в основном величиной времени восстановления заряда на ДШ. В свою очередь минимальная площадь диода ограничена требуемой величиной помехозащищенности, т.е. необходимо избежать чрезмерного увеличения прямого падения напряжения $U_{пр}$ на входе. В маломощных ТТЛ ИС входные ДШ перезаряжаются на величину $\Delta U = 0,7$ В. При определении времени заряда емкости следует использовать усредненное значение емкости в диапазоне рабочих напряжений, обычно составляющее около 3 пФ.

Когда на вход микросхемы подается напряжение логического нуля $U_{вх}^0$, разряд емкости ДШ происходит быстро через открытый диод. При подаче напряжения логической единицы $U_{вх}^1$ емкость диода Шоттки $C_{дш}$, включенная последовательно с емкостью нагрузки C_H предыдущей схемы, заряжается через сопротивление R_{12} с постоянной времени

$$\tau = \frac{C_H \cdot C_{дш}}{C_H + C_{дш}} R_{12}.$$

При $C_H = 15$ пФ, $C_{дш} = 3$ пФ, $R_{12} = 25$ кОм величина постоянной времени составляет 65 нс.

При экспоненциальном законе нарастания напряжения на ДШ до напряжения $U_{вх}^1 = 3$ В перезаряд диода на величину 0,7 В, достаточную для срабатывания схемы, происходит за время $t = 0,35, \tau = 23$ нс. При суммарном времени задержки включения и выключения $t_{зд.в}^0 + t_{зд.р}^1 = 23$ нс время восстановления заряда ДШ увеличивает примерно вдвое период колебаний, генерируемых в кольце [4].

Существенное влияние времени восстановления заряда на величину f_{max} связано с малыми токами, которыми заряжаются ДШ, что является характерным для маломощной серии ТТЛ ИС.

В связи с этим для наиболее полного использования частотных свойств маломощных ТТЛ ИС следует применять входные ДШ с пониженной емкостью, обеспечивающей время восстановления заряда значительно меньшее по сравнению с суммарным временем задержек включения и выключения.

Влияние емкости входного ДШ на период колебаний исследовалось экспериментально для диодов с $C = 3$ и 12 пФ на микросхемах с двумя входами по И. Экспериментальные величины соответственно составили 54 и 90 нс, расчетные – 46 и 84 нс.

Снижение $C_{дш}$ целесообразно и при увеличении количества входов по И (4И, 8И).

Не менее противоречивы требования к оптимальной структуре ТШ. Она должна одновременно обладать ограниченной величиной напряжения коллектор-эмиттер в режиме насыщения $U_{к.нас}$ и минимальным време-

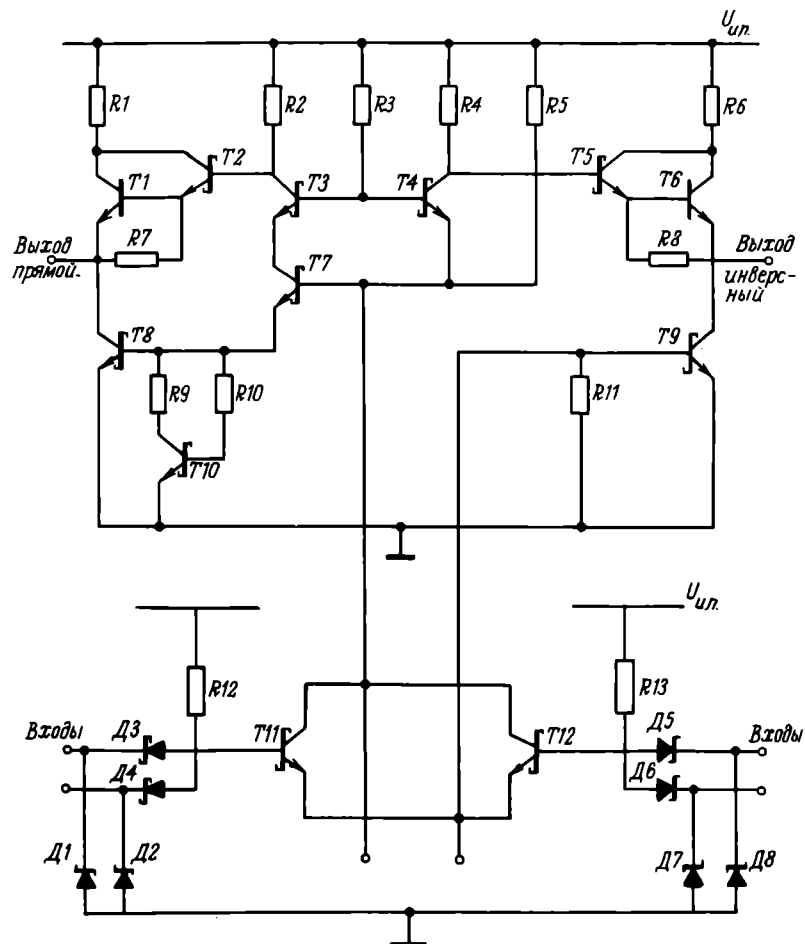


Рис. 2. Базовый логический элемент с парафазным выходом на основе приборов с барьером Шоттки

нем рассасывания неосновных носителей заряда $t_{рас}$. С точки зрения снижения $U_{кз.нас}$ целесообразно уменьшение $S_{дш}$, что, как известно, ведет к увеличению прямого падения напряжения $U_{пр}$. В тех случаях, когда $U_{пр}$ становится сравнимым с падением напряжения на $p-n$ переходе, резко возрастает $t_{рас}$. Из экспериментальной кривой (рис. 3) видно, что ток, при котором начинается рост $t_{рас}$, взаимосвязан с $S_{дш}$.

Для ТШ с большей площадью диода увеличение $t_{рас}$ начинается при больших базовых токах. При уменьшении $S_{дш}$ возрастает последовательное сопротивление диода r_d , что приводит к увеличению $t_{рас}$. С увеличением r_d основная часть базового тока начинает протекать через коллекторный переход, что приводит к накоплению избыточного заряда неосновных носителей. Критерием выбора оптимальной площади $S_{дш}$ является обеспечение в диапазоне рабочих температур и плотностей тока различия в прямых падениях напряжения на $p-n$ переходах и ДШ на

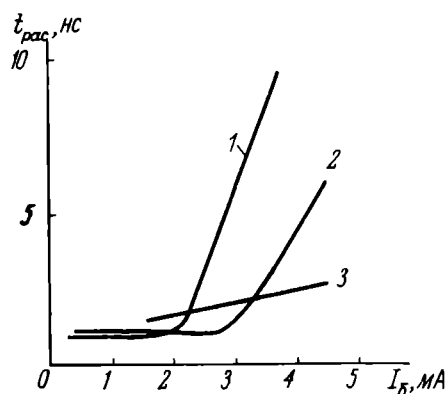


Рис. 3. Зависимость времени рассасывания от величины базового тока: 1, 2 — транзисторы с барьером Шоттки ($S_{дш2} > S_{дш1}$); 3 — транзистор, легированный золотом

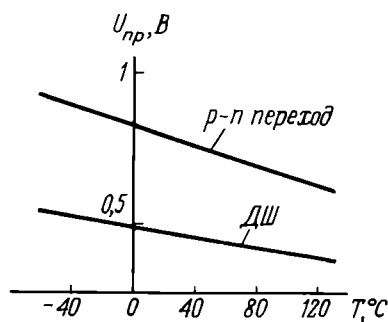


Рис. 4. Температурные зависимости прямых падения напряжения на $p-n$ переходе и диоде Шоттки

уровне 0,2–0,25 В. При этом, как показано на рис. 4, температурные зависимости прямых падений напряжений на ДШ и $p-n$ переходе различны. Минимальная разница в прямых падениях напряжения наблюдается при повышенной температуре.

Требования к высокочастотным параметрам (f_T , $C_{э}$, C_k) ТШ определялись путем расчетов, выполненных на ЭВМ по программе ПАЭС -1 [5]. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что быстродействие зависит от величины f_T в интервале 500–1000 МГц, дальнейшее увеличение f_T улучшает $t_{зд.р}$ незначительно.

В зависимости от величины рабочих токов в качестве активных элементов ИМС нами использовались две типовые структуры ТШ, отличающиеся емкостями $C_{и}$, C_k и $C_{э}$.

При расчете было проанализировано три варианта для минимальных, средних и максимальных значений емкостей (см. табл. 2). Величина f_T была принята равной 1 ГГц.

Анализируя результаты, приведенные в табл. 2, можно сделать вывод, что снижение паразитных емкостей примерно вдвое по

сравнению с максимальными значениями позволяет улучшить быстродействие приблизительно на 60%. Дальнейшее уменьшение емкостей практически не влияет на величину $t_{зд.р}$.

В приведенных расчетах средняя потребляемая мощность $P_{потр}$ на функцию И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ составляла 5 мВт.

Проведенные экспериментальные исследования и расчеты дали возможность определить оптимальные структуры ТШ и создать на их основе ИМС К599ЛК6, К599ЛК7, К599ЛД1 и К599ЛП1. Функциональное назначение ИМС трех первых типов приведено на рис. 5.

Микросхемы типов К599ЛК6, К599ЛК7 по функциональному назначению идентичны ИМС типов К599ЛК3, К599ЛК4 [3]. Микросхема типа К599ЛП1 предназначена для передачи дискретной информации по длинным линиям связи и представляет собой два приемника сигнала с повышенной помехозащищенностью от синфазной помехи на входе на уровне

$U_{пс}^0, U_{пс}^1 = 2,5$ В. Микросхема типа К599ЛД1 предназначена для совместной работы с ИМС типа К599ЛК7, поскольку стандартные маломощные ТТЛ ИС с барьером Шоттки, как отмечалось выше, не расширяемы по ИЛИ. Максимальное приращение $\Delta t_{зд.р}$ при подклю-

чении одного расширителя по ИЛИ к ИМС типа К599ЛК7 не превышает 3 нс (рис. 6). Примерно такая же величина $\Delta t_{зд.р}$ характерна и для микросхем серии К131, несмотря на то, что их потребляемая мощность (токи перезарядки емкостей) примерно на порядок выше, чем в ИМС типа К599ЛК7.

Статические и динамические параметры микросхем приведены в табл. 3, 4. По выходным и входным параметрам рассматриваемые микросхемы полностью совместимы со стандартными маломощными ТТЛ ИС с барьером Шоттки. Более высокие значения времен задержек распространения сигнала в ИС К599ЛК7 по сравнению с микросхемой К599ЛК6 связаны с увеличением числа внутренних расширителей по ИЛИ. Аналогичная зависимость наблюдается и в стандартных маломощных ТТЛ ИС. Увеличение $t_{зд.р}$

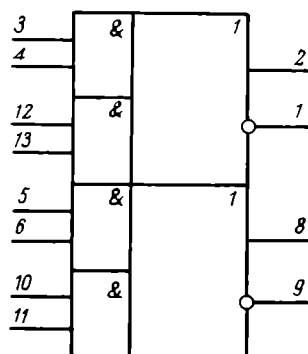
Таблица 1

Наименование параметра	Значение параметра		
	$f_T = 500$ МГц	$f_T = 1000$ МГц	$f_T = 2000$ МГц
$t_{зд.р}^{0,1}$, нс			
по прямому выходу	9,5	8,0	7,5
по инверсному выходу	10,0	6,5	6,0
$t_{зд.р}^{1,0}$, нс			
по прямому выходу	8,0	8,0	7,0
по инверсному выходу	9,0	8,0	8,0
$t_{зд.р.ср}$, нс			
по прямому выходу	8,75	8,0	7,25
по инверсному выходу	9,5	7,25	7,0

Таблица 2

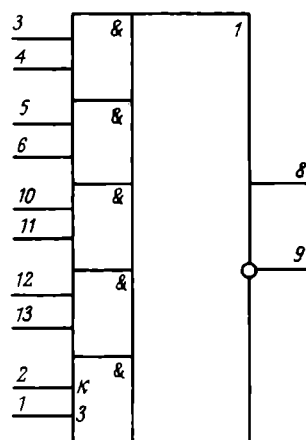
Значение емкости	Тип структуры	$C_{п}$, пФ			$t_{зд.р}^{0,1}$, нс		$t_{зд.р}^{1,0}$, нс		$t_{зд.р.ср}$, нс	
		$C_{и}$	C_k	$C_{э}$	Прямой выход	Инверсный выход	Прямой выход	Инверсный выход	Прямой выход	Инверсный выход
C_{min}	1	0,5	0,25	0,15	7,5	6,0	7,0	7,5	7,25	6,75
	2	0,75	0,5	0,3						
C_{mid}	1	1,0	0,5	0,3	8,0	6,5	8,0	8,0	8,0	7,25
	2	1,5	1,0	0,6						
C_{max}	1	2,0	1,0	0,6	15,5	9,0	10,5	14,0	13,0	11,5
	2	2,5	1,8	1,2						

К599ЛК6



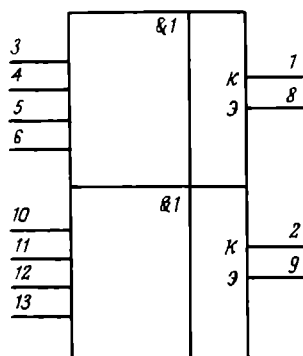
Два логических элемента 2И–2ИЛИ–НЕ/2И–2ИЛИ

К599ЛК7



Логический элемент 2И–4ИЛИ–НЕ/2И–4ИЛИ с возможностью расширения по ИЛИ

К599ЛД1



Два расширителя по ИЛИ 4И–НЕ

Рис. 5. Функциональное назначение ИМС с парафазным выходом на основе приборов с барьером Шоттки

Таблица 3

Наименование параметра	К599ЛК6			К599ЛК7			К599ЛКП1			К599ЛД1		
	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.
Входной ток логического нуля $I_{\text{нх}}^0$, мА	–	–0,2	–0,36	–	–0,2	–0,36	–	–0,2	–0,36	–	–0,2	0,36
Входной ток логической единицы $I_{\text{вх}}^1$, мкА	–	0,2	20	–	0,2	20	–	0,2	20	–	0,2	20
Выходное напряжение логического нуля $U_{\text{вых}}^0$, В	–	0,4	0,5	–	0,4	0,5	–	0,4	0,5	–	–	–
Выходное напряжение логической единицы $U_{\text{вых}}^1$, В	2,7	3,3	–	2,7	3,3	–	2,7	3,3	–	–	–	–
Ток короткого замыкания $I_{\text{к.з}}$, мА	–6	–20	–40	–6	–20	–40	–6	–20	–40	–	–	–
Ток потребления при логической единице на входе $I_{\text{пот}}^1$, мА	–	2,2	3,2	–	1,6	2,2	–	3,2	5,2	–	–	–
Ток потребления при логическом нуле на входе $I_{\text{пот}}^0$, мА	–	2,6	3,8	–	1,9	2,4	–	4,7	6,4	–	–	–
Напряжение на диоде $U_{\text{д}}$, В	–	–0,9	–1,5	–	–0,9	–1,5	–	–0,9	–1,5	–	–0,9	–1,5
Коллекторное выходное напряжение $U_{\text{к}}$, В	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2	1,3
Выходной коллекторный ток при логическом нуле на входе $I_{\text{к}}$, мкА	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2	30
Входной эмиттерный ток при логической единице на входе $I_{\text{э}}^1$, мкА	–	–	–	–	–	–	–	–	–	90	110	–

Таблица 4

Наименование параметра	К599ЛК6		К599ЛК7		К599ЛП1	
	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	Тип.	Макс.
$t_{\text{зд.р}}^{\text{по пр. вых.}}$, нс	7,5	20	13	25	15	40
$t_{\text{зд.р}}^{\text{по инв. вых.}}$, нс	9,5	20	14	25	10	40
$t_{\text{зд.р}}^{\text{по пр. вых.}}$, нс	8,5	20	10	25	10	40
$t_{\text{зд.р}}^{\text{по инв. вых.}}$, нс	9,6	20	16	25	22	40
$\Delta t_{\text{зд.р.}}$ при подключении одного расширителя по ИЛИ, нс	–	–	2,0	3,0	–	–

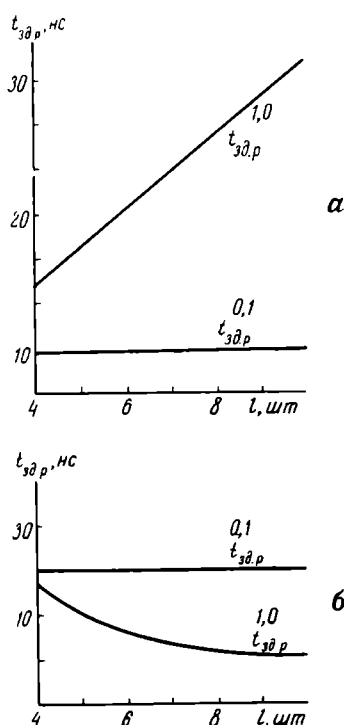


Рис. 6. Зависимость времени задержки распространения сигнала от числа подключаемых расширителей по ИЛИ для микросхемы К599ЛК7:
а – прямой выход; б – инверсный выход

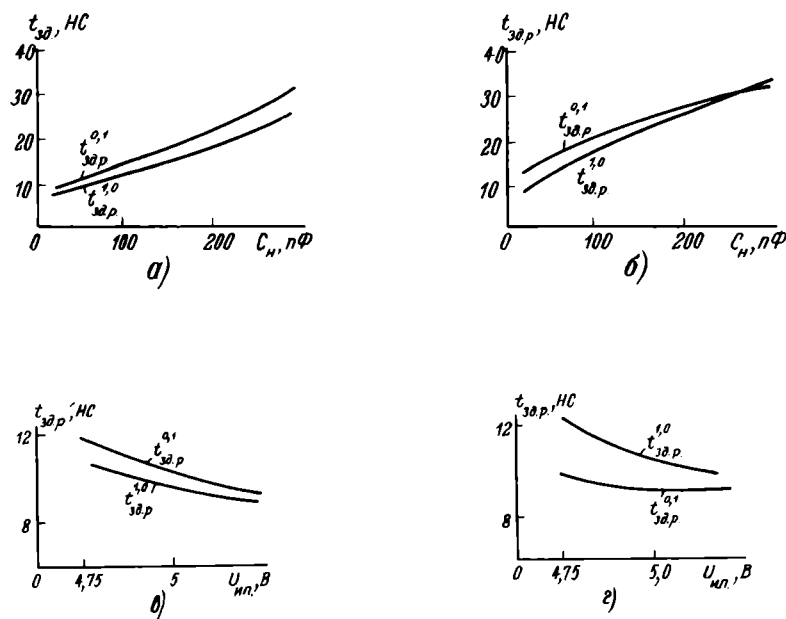


Рис. 7. Зависимость времени задержки распространения сигнала от емкости нагрузки при $U_{ип} = 5$ В и от напряжения источника питания при $C_{н} = 15$ пФ:

а, в — прямой выход; б, г — инверсный выход

обусловлено возрастанием паразитной емкости в точке подключения коллекторов транзисторов, обеспечивающих расширение по ИЛИ.

Типовые зависимости времен задержки распространения сигнала от емкости нагрузки и напряжения питания при числе активных нагрузок $n = 10$ для микросхемы К599ЛК6 приведены на рис. 7, а от количества активных нагрузок — на рис. 8. Подобные зависимости характерны и для ИМС К599ЛК7 и К599ЛП1.

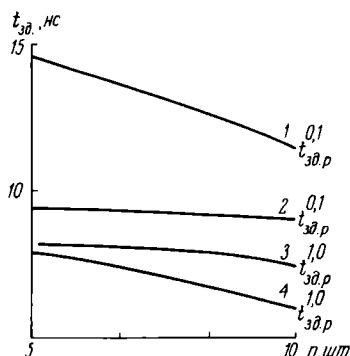


Рис. 8. Зависимость времени задержки распространения сигнала от числа активных нагрузок при $U_{ип} = 5$ В, $C_{н} = 15$ пФ: 1, 3 — инверсный выход; 2, 4 — прямой выход

Микросхемы конструктивно выполнены в корпусе типа 201.14. -1.

По фактору качества рассмотренные маломощные ТТЛ ИС с парафазным выходом при реализации одинаковых логических функций И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ в 1,5–2 раза превосходят стандартные маломощные ТТЛ ИС с барьером Шоттки [6]. Это обусловлено тем, что для выполнения такой функции требуется не одна, а две последовательно включенные стандартные ТТЛ ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коул В. Будущее — за маломощными ТТЛ ИС с барьерами Шоттки. — "Электроника". Пер. журн. США "Electronics", 1975, т. 48, № 21.
2. Баринов В.В., Мамедов Т. Я., Орликовский А.А., Подопригора Н.Я. Биполярные ИС с диодами Шоттки — "Зарубежная электронная техника", 1976, вып. 8.
3. Гольдшер А.И., Диковский В.И., Федотов Я.А. Быстродействующие ТТЛ микросхемы с парафазным выходом — См. настоящий выпуск.
4. Шатури И.И. Транзисторно-транзисторные логические схемы. М., "Сов. радио", 1974.
5. Белов Б.И., Норенков И.П. Расчет электронных схем на ЭЦВМ. М., Машиностроение, 1971.
6. Каталог фирмы Texas Instruments, 1974.

Статья поступила 26 мая 1978 г.

Б. А. Безбородников,
А. И. Березенко, Г. И. Фурсин

ИНЖЕКЦИОННАЯ СТРУКТУРА С САМОСОВМЕЩЕННЫМ ИНЖЕКТОРОМ И ЭПИТАКСИАЛЬНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

Структура обеспечивает высокие коэффициенты усиления токозадающего и переключающего транзисторов (~0,5 и 30–50 соответственно), малую потребляемую мощность и повышенную нагрузочную способность, что позволяет создавать на ее основе схемы с высокой степенью интеграции.

УДК 681.325.65:621.382.8

Интегральные схемы с инжекционным питанием (И²Л) являются наиболее перспективной элементной базой для создания БИС [1–5]. К недостаткам большинства серийно выпускаемых И²Л-схем относятся невысокие значения коэффициентов усиления переключающих $n-p-n$ и токозадающих $p-n-p$ транзисторов, что ограничивает нагрузочную способность и ухудшает фактор качества, а также недостаточная для создания сверхбольших интегральных схем функциональная плотность.

Разработанная инжекционная структура лишена перечисленных недостатков и служит базовым элементом для создания И²Л БИС.

Особенностями данной структуры (рис. 1) является наличие самосовмещенного инжектора — эмиттера токозадающего транзистора — и обращенного профиля активной базы переключающего транзистора. На рис. 2 в

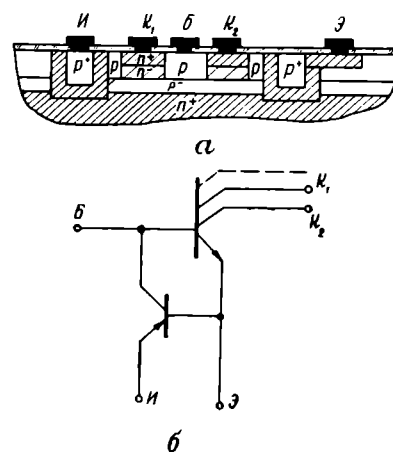


Рис. 1. Интегральная инжекционная структура с многоколлекторным переключающим транзистором (а) и ее эквивалентная схема (б)

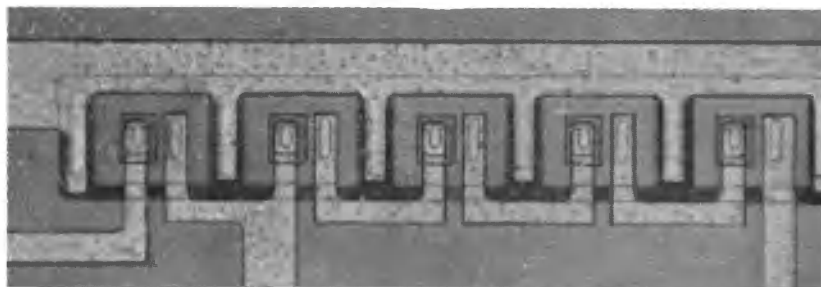


Рис. 2. Топология цепочки одноходовых инжекционных вентилях

качестве примера описываемой И²Л-схемы дана цепочка одноходовых вентилях. Многие ее конструктивные элементы используются при создании И²Л-схем с базовыми либо коллекторными диодами Шоттки, в которых имеется высокоомный эпитаксиальный слой p - или n -типа.

Инжекционная структура содержит эпитаксиальный слой n -типа, разделенный на отдельные коллекторные области с помощью сильнолегированных пассивных базовых областей, соприкасающихся со слаболегированной активной базовой областью p -типа. Коллекторный вывод выполнен к сильнолегированным n -областям, расположенным в эпитаксиальном слое, эмиттерный — к n -области, перекрывающей сверху пассивный эмиттер. Вывод от эмиттера можно расположить в одном месте на кристалле БИС. Вывод от инжектора, охватывающего все пассивные базовые области переключающих транзисторов и являющийся общим для всего кристалла, также выполняется лишь в одном месте. Это существенно упрощает систему межсоединений и позволяет повысить функ-

циональную плотность при использовании одноуровневой металлизации.

Поверхностное сопротивление активной базовой области составляет около 1 кОм/квадрат, а градиент концентрации акцепторной примеси направлен от коллектора к активному эмиттеру. Благодаря тому, что степень легирования активной базовой области значительно меньше, чем эмиттерной, роль которой выполняет диффузионный n ⁺-скрытый слой в p -подложке, обеспечиваются высокие значения коэффициента инжекции, а выбранное направление градиента концентрации акцепторной примеси позволяет получить высокие значения коэффициента переноса.

Известно, что для повышения коэффициента усиления можно увеличивать отношение K_0 площадей активной и полной базовых областей [6]. Однако такой метод может быть использован лишь в буферных n - p - n транзисторах с открытым коллектором, необходимых для согласования И²Л-схем со входами ТТЛ-схем. Увеличение площади коллектора во всех узлах схемы привело бы к существенному уменьшению плотности элементов. Достоинством созданной структуры является то, что высокие значения коэффициентов инжекции и переноса обеспечивают большую величину нормального коэффициента усиления переключающего транзистора β_N при минимально возможной площади коллектора. При $K_0 = 0,15$ типичные значения величины β_N лежат в пределах 30–50. Экспериментальные зависимости нормальных и инверсных коэффициентов усиления переключающего транзистора от тока приведены на рис. 3.

Самосовмещенный инжектор сформирован с помощью двух последовательных диффузий, проводимых в одно окно в защитном слое диэлектрика. Первоначально проводят диффузию примесей n -типа на глубину до смыкания образующейся при этом области с n ⁺-скрытым слоем, затем — диффузию примеси p -типа. Сформированная таким образом активная базовая область переключающего транзистора, являющаяся одновременно эмиттером переключающего транзистора, имеет небольшую ширину (около 0,5 мкм). Благодаря этому увеличивается коэффициент переноса дырок и соответственно коэффициент усиления p - n - p транзистора, а также уменьшаются размеры И²Л-схемы.

В p - n - p транзисторе с кольцевым инжектором, который окружает коллекторную область и является одновременно пассивной

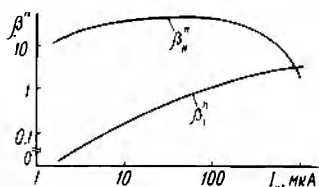
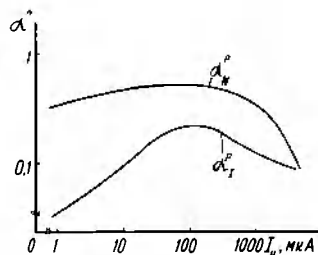
базой переключающего транзистора, типичные значения нормального коэффициента усиления α_N^p достигают 0,5 (рис. 4). В структуре с центральным расположением самосовмещенного инжектора, окруженного коллекторной областью переключающего транзистора, величина коэффициента α_N^p

достигает 0,93–0,95. Совмещенные дополняющие транзисторы с такими характеристиками можно эффективно использовать при создании И²Л-схем с малыми значениями фактора качества и высокой нагрузочной способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харт К.М., Слоб А., Вулмс Г.Е.Д. Интегральная инжекционная логика — новое направление в области биполярных БИС. — "Электроника". Пер. журн. США "Electronics", 1974, т. 47, № 20.
2. Бергер Х., Видман З. Бурный прогресс биполярных БИС. — "Электроника". Пер. журн. США "Electronics", 1975, т. 48, № 18, 20.
3. Фурсин Г.И. Функциональные интегральные схемы с инжекционным питанием и активной связью на биполярных приборах. — "Микроэлектроника", 1977, т. 6, № 2.
4. Векшина Е.В., Орлов Б.В., Фурсин Г.И., Щетинин Ю.И. Совмещенная транзисторная логика. — "Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника", 1977, № 5.
5. Безбородников Б.А., Орлов Б.В., Фурсин Г.И., Щетинин Ю.И. Современная элементная база биполярных БИС — "Электронная пром-сть", 1978, № 3.
6. Векшина Е.В., Фурсин Г.И. Некоторые свойства инжекционных структур с противонасыщающим коллектором. — "Микроэлектроника", 1978, т. 7, № 1.

Статья поступила 18 июля 1978 г.

Рис. 3. Зависимость коэффициентов усиления n - p - n транзистора от токаРис. 4. Зависимость коэффициентов усиления p - n - p транзистора от тока

РЕКЛАМА

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ БОЛЬШИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Бедрековский М. А.,

Волга В. В.,

Кручинкин Н. С.

М., "Советское радио",

1979, 4,5 л., 35000 экз.

Вскрываются объективные предпосылки возникновения нового класса цифровых интегральных микросхем — микропроцессорных БИС. Анализируются направления их развития. Рассматриваются схемотехнические особенности построения микропроцессоров и технологии их изготовления. Показаны особенности проектирования микропроцессорных БИС и приведены примеры их использования.

OldPC.su

музей компьютеров

В. И. Фирсов

МОЩНЫЕ СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ КТ-827 И КТ-829

Применение составных транзисторов в различных радиоэлектронных устройствах позволит значительно упростить конструкцию транзисторных блоков, увеличить надежность аппаратуры, уменьшить ее вес, габариты и снизить стоимость.

УДК 621.382.3

Мощные составные $p-p$ транзисторы предназначены для работы в усилителях низкой частоты, стабилизированных источниках питания, импульсных усилителях мощности, переключателях, в устройствах управления и автоматике.

Они представляют собой простые мощные интегральные схемы (рис. 1), изготовленные по меза-планарной технологии на одном кремниевом кристалле и функционирующие как один мощный транзистор с большим коэффициентом передачи тока (от 750 до 18000). Транзисторы КТ-827 А, Б, В выпускаются в металлостеклянном корпусе КТ-9, а транзисторы КТ-829 А, Б, В, Г в пластмассовом корпусе КТ-28.

Основной характеристикой составного транзистора является коэффициент передачи

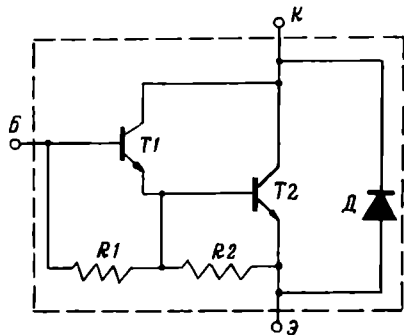


Рис. 1. Схема мощного составного транзистора

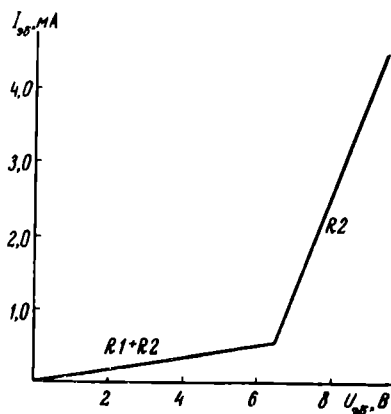


Рис. 2. Зависимость тока базы от напряжения

тока, который равен произведению коэффициентов передачи тока транзисторов $T1$ и $T2$ (см. рис. 1), так как эмиттерный ток транзистора $T1$ поступает непосредственно в базу выходного транзистора $T2$.

Характеристика перехода эмиттер-база, отражающая зависимость тока базы от напряжения обратнo-смещенного перехода, приведена на рис. 2.

Величина тока базы, основную часть которого составляет ток утечки шунтирующей цепи $R1R2$, определяется значениями этих сопротивлений. Оптимальные величины $R1$ и $R2$ равны 10 кОм и 100–150 Ом соответственно.

Выходные характеристики при малых величинах коллекторного тока приведены на рис. 3, при больших — на рис. 4. При токах коллектора ≤ 4 –6 мА коэффициент передачи тока составного транзистора равен коэффициенту передачи тока входного транзистора $T1$, так как величина смещения (0,6 В) на перехо-

де эмиттер-база выходного транзистора $T2$ недостаточна для его включения.

При значениях коллекторного тока, превышающих величину 4–6 мА, коэффициент передачи тока составного транзистора значительно возрастает, так как при этом происходит усиление тока выходным транзистором $T2$. При больших коллекторных токах (см. рис. 4) граница насыщения на характеристиках смещается на величину 0,6 В, равную напряжению $U_{\phi 6}$ выходного транзистора $T2$, т.е. этот транзистор не входит в состояние насыщения даже в том случае, когда $T1$ работает в режиме насыщения. Общее напряжение насыщения равно сумме напряжений насыщения входного ($U_{кз\text{ нас.}}$) и выходного ($U_{\phi 6\text{ нас.}}$) транзисторов.

Основные электрические параметры и предельно допустимые режимы эксплуатации приведены в табл. 1–4.

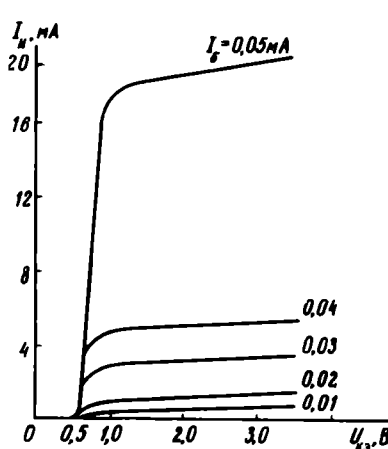


Рис. 3. Выходные характеристики составного транзистора при малых величинах коллекторных токов

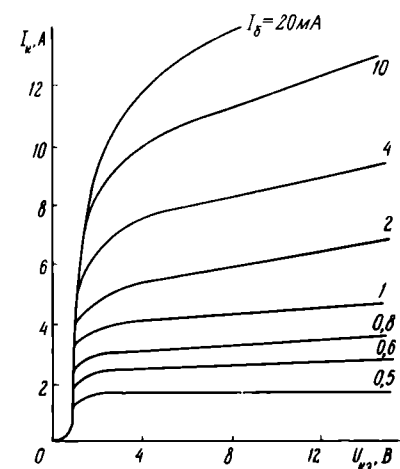


Рис. 4. Выходные характеристики составного транзистора при больших величинах коллекторных токов

Таблица 1

Основные электрические параметры транзисторов КТ827 при $T_{\text{корп}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

Наименование параметра	Значение			Режим измерения
	КТ827А	КТ827Б	КТ827В	
Обратный ток коллектор-эмиттер, мА	3	3	3	$U_{кз} = 100\text{ В}$ $U_{кз} = 80\text{ В}$ $U_{кз} = 60\text{ В}$
Обратный ток эмиттера, мА	2	2	2	$U_{\phi 6} = 5\text{ В}$
Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером	750–18000 ≥ 100	750–18000 ≥ 100	750–18000 ≥ 100	$I_k = 10\text{ А}, U_{кз} = 3\text{ В}$ $I_k = 20\text{ А}, U_{кз} = 3\text{ В}$
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В	2	2	2	$I_k = 10\text{ А}, I_{\phi} = 40\text{ мА}$
Напряжение насыщения база-эмиттер, В	4	4	4	$I_k = 20\text{ А}, I_{\phi} = 200\text{ мА}$
Граничное напряжение, В	100	80	60	$I_k = 100\text{ мА}$
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте	4	4	4	$I_k = 10\text{ А}, U_{кз} = 3\text{ В},$ $f = 1\text{ МГц}$

Для определения безопасного надежного режима работы составного транзистора недостаточно знать только предельно допустимые значения мощности, напряжения и тока, необ-

ходимо также определить границы изменения максимального значения каждого параметра на всем поле выходных вольт-амперных характеристик. На рис. 5 и 6 представлены об-

ласти максимальных режимов работы составных транзисторов КТ-827 А, Б, В и КТ-829 А, Б, В, Г соответственно.

При малых напряжениях (левее точки А) максимально допустимая мощность определяется максимально допустимым током коллектора (т.е. падением коэффициента передачи тока при увеличении эмиттерного тока, размерами и материалами соединительных проводов).

Основные электрические параметры транзисторов КТ829
при $T_{\text{корп.}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

Таблица 2

Наименование параметра	Значение				Режим измерения
	КТ829А	КТ829Б	КТ829В	КТ829Г	
Обратный ток коллектор-эмиттер, мА	1,5	1,5	1,5	1,5	$U_{\text{кз}} = 100\text{ В}$ $U_{\text{кз}} = 80\text{ В}$ $U_{\text{кз}} = 60\text{ В}$ $U_{\text{кз}} = 45\text{ В}$
Обратный ток эмиттера, мА	2	2	2	2	$U_{\text{эб}} = 5\text{ В}$
Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером	≥ 750	≥ 750	≥ 750	≥ 750	$U_{\text{кз}} = 3\text{ В}, I_{\text{к}} = 3\text{ А}$
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В	2	2	2	2	$I_{\text{к}} = 3,5\text{ А}, I_{\text{б}} = 14\text{ мА}$
Напряжение насыщения база-эмиттер, В	2,5	2,5	2,5	2,5	$I_{\text{к}} = 3,5\text{ А}, I_{\text{б}} = 14\text{ мА}$
Граничное напряжение, В	100	80	60	45	$I_{\text{к}} = 100\text{ мА}$
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте	4	4	4	4	$U_{\text{кз}} = 3\text{ В}, I_{\text{к}} = 3\text{ А}$ $f = 1\text{ МГц}$

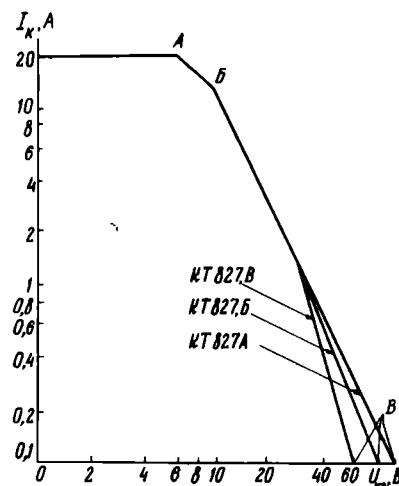


Рис. 5. Область максимальных режимов работы транзистора КТ827

Предельно допустимые режимы
эксплуатации транзисторов КТ827

Наименование параметра	Максимально допустимое значение		
	КТ827А	КТ827Б	КТ827В
Постоянное напряжение эмиттер-база, В	5	5	5
Постоянное напряжение коллектор-база, В	100	80	60
Постоянное напряжение коллектор-эмиттер ($R_{\text{эб}} = 10\text{ кОм}$), В	100	80	60
Постоянный ток коллектора, А	20	20	20
Постоянный ток базы, А	0,5	0,5	0,5
Импульсный ток коллектора, А	40	40	40
Мощность рассеяния на коллекторе, Вт	125	125	125
Температура перехода, $^\circ\text{C}$	200	200	200

Предельно допустимые режимы
эксплуатации транзисторов КТ829

Таблица 4

Наименование параметра	Максимально допустимое значение			
	КТ829А	КТ829Б	КТ829В	КТ829Г
Постоянное напряжение эмиттер-база, В	5	5	5	5
Постоянное напряжение коллектор-база, В	100	80	60	45
Постоянное напряжение коллектор-эмиттер ($R_{\text{эб}} = 1\text{ кОм}$), В	100	80	60	45
Постоянный ток коллектора, А	8	8	8	8
Постоянный ток базы, А	0,2	0,2	0,2	0,2
Импульсный ток коллектора, А	12	12	12	12
Мощность рассеяния на коллекторе, Вт	60	60	60	60
Температура перехода, $^\circ\text{C}$	150	150	150	150

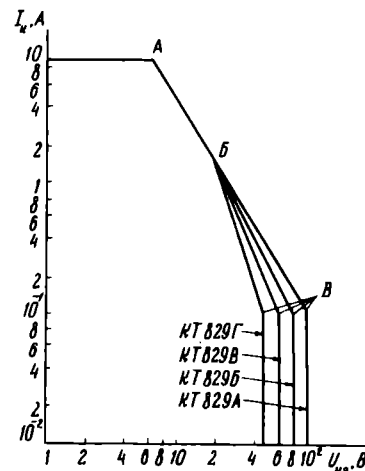


Рис. 6. Область максимальных режимов работы транзистора КТ829

На участке А-Б температура коллекторно-го перехода достигает максимального значения и с увеличением напряжения $U_{\text{кз}}$ максимально допустимый ток падает в соответствии с соотношением $I_{\text{к}} = PU^{-1}$.

При более высоких напряжениях (участок Б-В) наклон прямой возрастает вследствие появления другого ограничивающего фактора, прямого вторичного пробоя. Максимально допустимый ток коллектора в этой области является током вторичного пробоя.

Статья поступила 21 марта 1978 г.

Ю. В. Зайцев, Г. Ф. Ивлин,
А. Н. Марченко

МАГНИТОРЕЗИСТОР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА InSb-NiSb

Разработанные магниторезисторы СМ4-1 характеризуются высокой температурной стабильностью параметров в диапазоне от -60 до +85°C.

УДК 621.316.8:621.318

Магниторезисторы — перспективные элементы современной электронной техники, позволяющие решать сложные технические задачи в автоматике, измерительной технике, электронике, электротехнике и других отраслях [1–4].

Работы по расширению номенклатуры магниторезисторов привели к созданию нового типа — СМ4-1, отличающегося в этой серии резисторов прежде всего повышенной температурной стабильностью. Его основные параметры приведены ниже.

	СМ1-1	СМ4-1
Номинальное сопротивление, Ом	22; 33; 68	47; 68
Допустимое отклонение от номинального сопротивления, %	20	20
Магниторезистивное отношение в поле с индукцией 0,5 Т	≥ 3	$\geq 3,3$
ТКС при отсутствии управляющего магнитного поля, $\frac{1}{\text{°C}}$	≤ -2	$\leq -0,55$
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	от -60 до +70	от -60 до +85
Габариты, мм	$1,5 \times 4,0 \times 0,6$ $2,5 \times 4,0 \times 0,6$ $4,7 \times 5,0 \times 0,6$	$1,5 \times 4,0 \times 0,6$

Конструктивно магниторезистор СМ4-1 (рис. 1) состоит из магниторезистивного элемента, закрепленного на подложке с по-

мощью лака УР-231. Конструкция позволяет получить требуемые параметры прибора при заданных габаритах. Магниторезистивный элемент выполнен в виде меандра из полупроводникового сплава InSb-NiSb марки САИН-1, имеющего следующие электрофизические свойства: концентрация основных носителей заряда n -типа при 22°C составляет $(4-5,5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; магниторезистивное отношение $\geq 3,3$; ТКС $\leq 0,15\%/^{\circ}\text{C}$ (в диапазоне $-60 \div +20^{\circ}\text{C}$) и $\leq 0,55\%/^{\circ}\text{C}$ (в диапазоне $22 \div 85^{\circ}\text{C}$); удельное сопротивление $0,0023 (\pm 20\%) \text{ Ом} \cdot \text{см}$. В этом сплаве антимонид никеля равномерно распределен по объему материала в виде параллельных игольчатых включений диаметром менее 1 мкм и длиной около 50 мкм, расположенных вдоль оси роста слитка [1, 5]. При изготовлении магниторезисторов слиток ориентируют таким образом, чтобы эти игольчатые включения располагались перпендикулярно направлению тока в магниторезистивном элементе и параллельно плоскости подложки. Такая ориентация обеспечивает максимальное изменение сопротивления прибора в магнитном поле.

Сопротивление магниторезистора может зависеть от напряженности электрического поля, магнитной индукции и температуры. Измерения вольт-амперной характеристики магниторезистора при различных значениях магнитного поля показали, что в однородных полупроводниках ток строго пропорционален напряжению, а случайные отклонения от линейности происходят только из-за трещин в объеме полупроводника или из-за плохих контактов. Поэтому основными характеристиками магниторезистора являются зависимости сопротивления от магнитного поля и температуры.

До настоящего времени общего уравнения, описывающего зависимость сопротивления магниторезистора от магнитной индукции не получено даже для простейшего случая, когда магниторезистивный элемент выполнен в форме прямоугольной пластины длиной l и шириной w , но существует его решение для ряда частных случаев [6].

Так, в слабых магнитных полях сопротив-

ление пропорционально $(\mu_n B)^2$. Например, если $\mu_n B \leq 0,45$, а $l/w \leq 0,35$, то применимо выражение:

$$R_B = R_0 (\rho_B / \rho_0) [1 + (\mu_n B)^2 (1 - 0,54 l/w)],$$

где R_B — сопротивление магниторезистора, измеренное при воздействии магнитного поля с нормированным значением магнитной индукции; R_0 — сопротивление, измеренное без воздействия магнитного поля; ρ_B / ρ_0 — относительное удельное сопротивление бесконечно длинной пластины; μ_n — подвижность электронов. Эта формула справедлива для магнитных полей с индукцией не более 0,063 Т для InSb с собственной проводимостью.

В сильных магнитных полях сопротивление магниторезистора пропорционально $\mu_n B$ и может быть представлено как

$$R_B = R_0 (\rho_B / \rho_0) [\mu_n B (w/l) + C (l/w)]$$

(зависимость постоянной C от l/w приведена в работе [6]).

Из экспериментальной зависимости сопротивления магниторезисторов СМ4-1 от магнитной индукции (рис. 2, а, б) видно, что в диапазоне индукций от 0 до 0,3 Т она квадратична — $R = f(B)$, а при индукции более 0,3 Т линейна.

Температурная зависимость сопротивления магниторезистора прямоугольной формы может быть определена из выражения [1]:

$$R_B(T) = \frac{f[l/w, \mu_n(T) B]}{w d \exp(T) \mu_n(T)},$$

где $f[l/w, \mu_n B]$ — коэффициент, учитывающий влияние геометрической формы резистора; d — толщина полупроводниковой пластины.

Характер изменения сопротивления с изменением температуры определяется зависимостями от температуры концентрации электронов и отношения $\frac{f[l/w, \mu_n B]}{\mu}$. Кроме того, температурный ход сопротивления различен для слабых и сильных магнитных полей (рис. 3, а, б).

Температурные коэффициенты сопротивления магниторезисторов СМ4-1 при температурах -60 и $+85^{\circ}\text{C}$ без воздействия магнитного поля составляют не более 0,15 и 0,55%/°C соответственно.

Исследования вольт-амперных характеристик магниторезисторов с номинальными сопротивлениями 47 и 68 Ом при различных значениях магнитной индукции (рис. 4, а, б)

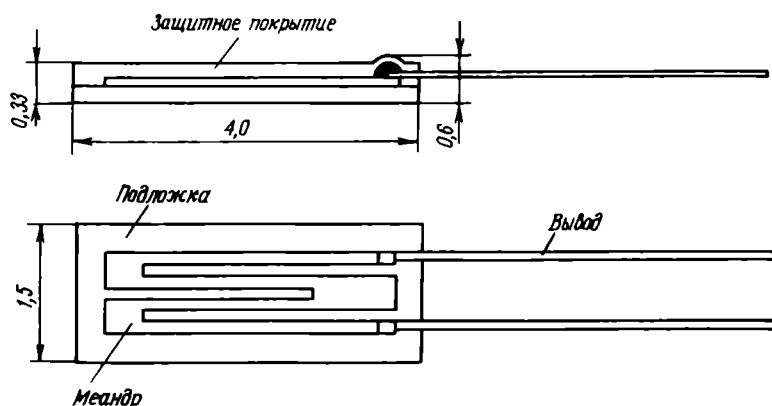


Рис. 1. Конструкция магниторезистора СМ4-1

свидетельствуют о том, что в начале работы мощность, рассеиваемая на резисторе, не вызывает его заметного перегрева (начальные участки линейны), но дальнейшее увеличение тока приводит к разогреву резистора, уменьшению его сопротивления вследствие отрицательного ТКС и отклонению вольт-амперной характеристики от линейности.

Максимально допустимое значение тока питания магниторезистора следует выбирать на линейном участке характеристики при мак-

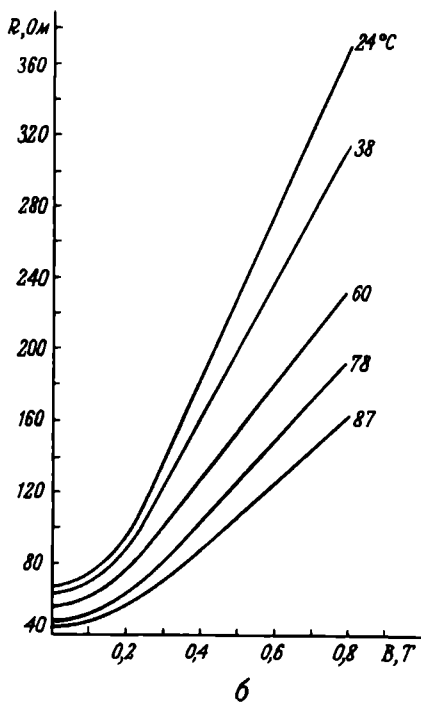
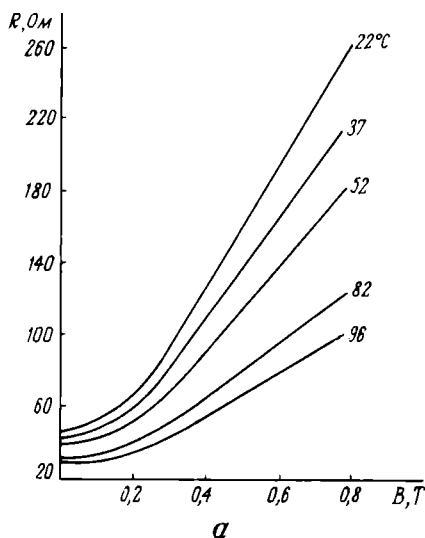


Рис. 2. Зависимость сопротивления магниторезисторов СМ4-1 от магнитной индукции для образцов с номинальным сопротивлением 47 (а) и 68 Ом (б)

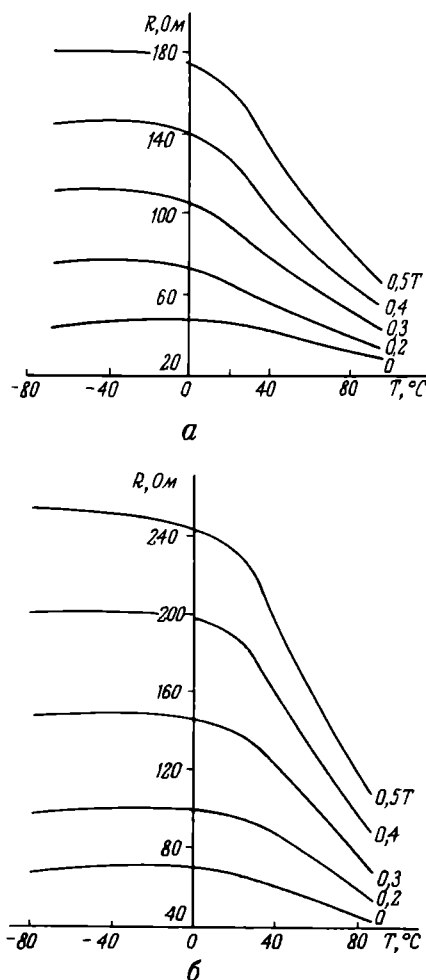


Рис. 3. Зависимость сопротивления магниторезисторов СМ4-1 от температуры для образцов с номинальным сопротивлением 47 (а) и 68 Ом (б)

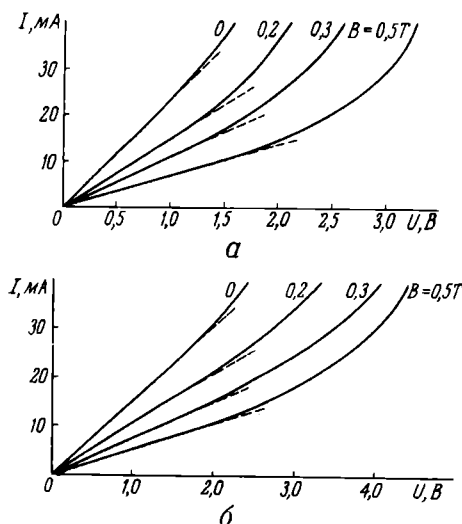


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики магниторезисторов СМ4-1 при различных значениях магнитной индукции для образцов с номинальным сопротивлением 47 (а) и 68 Ом (б)

симальном значении магнитной индукции, воздействующей на магниторезистор [7]:

$$I = \sqrt{\frac{2\eta \Delta T w^2 d}{\rho_0 (1 + \mu_n^2 B_{\text{max}}^2)}}$$

где η — коэффициент теплоотдачи; ΔT — допустимый перегрев полупроводниковой пластины.

Теоретически при использовании эффекта магнитосопротивления свойства полупроводника во времени не должны изменяться, так как работа магниторезистора основана на объемных эффектах, не зависящих от природы и свойств поверхности. Правильный подбор размеров и материалов, используемых в конструкции магниторезистора, позволяет создать высокостабильные приборы (рис. 5).

Стабильность резисторов СМ4-1, оцениваемая по коэффициенту стабильности $K_{\text{ст}} = (K_2 - K_1) / K_1 \cdot 100\%$ (где K_2 — сопротивление, измеренное после 1000 ч испытаний, K_1 — сопротивление, измеренное до испытаний), не превышает точности измерения сопротивления (2,5%).

Магниторезисторы устойчиво работают в интервале рабочих температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$, при резкой смене температур (с -60 до $+85^\circ\text{C}$), относительной влажности воздуха до 98% при температуре $\leq 35^\circ\text{C}$, атмосферном давлении от 10^{-4} до 10^5 Па, повышенном давлении воздуха (до $3 \cdot 10^5$ Па), в среде, зараженной плесневыми грибами и в иное с последующим оттаиванием. Они выдерживают вибрацию в диапазоне частот от 1 до 5000 Гц с ускорением до 40 g, многократные удары с ускорением до 150 g, одиночные удары с ускорением до 1000 g, линейные нагрузки с

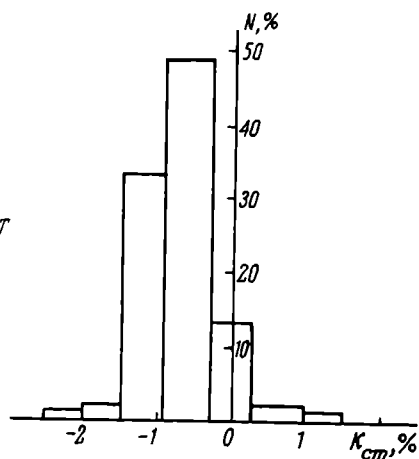


Рис. 5. Гистограмма изменения сопротивления магниторезисторов СМ4-1 после испытаний в течение 1000 ч при температуре 85°C под номинальной нагрузкой

ускорением до 150 g, акустические шумы в диапазоне частот от 50 до 10000 Гц с уровнем звукового давления до 150 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение. М., "Энергия", 1974.
2. Котенко Г.И. Магниторезисторы. М., "Энергия", 1972.
3. Хомерики О.К. Гальваномагнитные элементы и устройства автоматики и вычислительной техники. М., "Энергия", 1975.
4. Кобус А., Тушинский Я. Датчики Холла и магниторезисторы. М., "Энергия", 1971.
5. Векшина В.С., Кроль Л.Я., Кузьмин В.П., Попков А.Н. Структура квантибилярной эпитаксии InSb-NiSb, выращенной по методу Чохральского. — "Электронная техника. Сер. 6. Материалы", 1976, вып. 3.
6. Lippmann H.L., Kuhn F. — Der Geometrieinfluss auf den transversalen magnetischen Widerstandseffekt bei rechteckigen Halbleiterplatten. — "Z. Naturforsch". 1958, Bd. 13, a
7. Котенко Г.И. Нагрузка датчиков Гауса электрическим током. Труды ЛИАП, 1968, вып. 55.

Статья поступила 4 августа 1978 г.

ность процесса. Для промышленных применений требуются в основном ускорители с энергией от 0,5 до 10 МэВ и мощностью от единиц до десятков киловатт. В диапазоне энергий до 1 МэВ лучшие технико-экономические параметры имеют ускорители прямого действия, в диапазоне энергий от 2 МэВ и выше — линейные ускорители электронов (ЛУЭ), основанные на использовании электромагнитных полей СВЧ диапазона.

В промышленных радиационно-технологических процессах применяются, как правило, ускорители ЛУЭ-8/5 и их модификации, а также ускорители "Электроника". Эти ускорители имеют среднюю мощность пучка около 5 кВт и наиболее эффективны в диапазоне энергий от 2,5 до 7 МэВ ("Электроника") и от 6 до 10 МэВ (ЛУЭ-8/5).

Линейный ускоритель "Электроника" является мощным многоцелевым источником быстрых электронов. Он используется в научных исследованиях, в опытных и опытно-промышленных радиационно-технологических процессах.

Базовая конструкция ускорителя представляет собой многокомпонентный электрофизический комплекс, схема которого представлена на рис. 1. Основным элементом комплекса является ускоряющий волновод, в котором происходит взаимодействие электромагнитной волны СВЧ диапазона с электронами, группировка последних в сгустки и ускорение до скоростей, близких к скорости света. С целью достижения максимальной эффективности преобразования энергии поля в энергию частиц предусмотрено два варианта ускоряющего волновода: на номинальные энергии 4 и 6 МэВ. При одинаковых присоединительных и

габаритных размерах волноводы отличаются параметрами замедляющей системы. В соответствии с этим ускоритель имеет две модификации: ЭЛУ-4 и ЭЛУ-6.

Основные параметры ускорителя

	ЭЛУ-4	ЭЛУ-6
Номинальная энергия электронов, МэВ	4	6
Максимальная средняя мощность пучка при номинальной энергии, кВт	5	4
Пределы регулирования энергии, МэВ	2,5–5,0	3,5–7,5
Максимальный размер поля облучения в плоскости фольги, мм	500x20	
Неравномерность плотности потока электронов в поле облучения, %	≤ 10	
Длительность импульсов, мкс	4,5	
Частота следования импульсов, с		от 100 до 300

Зависимости кинетической энергии электронов от импульсного тока пучка для двух модификаций ускорителя приведены на рис. 2.

Источником предварительно ускоренных электронов служит трехэлектродная пушка с сеточным управлением, на которую подается импульсное напряжение около 40 кВ. Регулировка тока инжекции осуществляется изменением потенциала сетки относительно катода. Для компенсации дефокусирующих сил пространственного заряда и электромагнитной волны ускоряющий волновод помещен в про-

А. В. Грызлов, М. А. Захаров,
Г. В. Лысов

ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ "ЭЛЕКТРОНИКА" ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Создана базовая конструкция и на ее основе две модификации мощного многоцелевого линейного ускорителя электронов. Разработана специальная система инжекции, обеспечивающая получение импульсов тока наносекундной длительности.

УДК 621.384.6

Одним из перспективных направлений электронной техники является развитие радиационной технологии с использованием ускорителей электронов. Основными параметрами ускорителей являются энергия электронов и средняя мощность пучка. Энергия определяет глубину проникновения электронов в облучаемый объект, а мощность — производи-

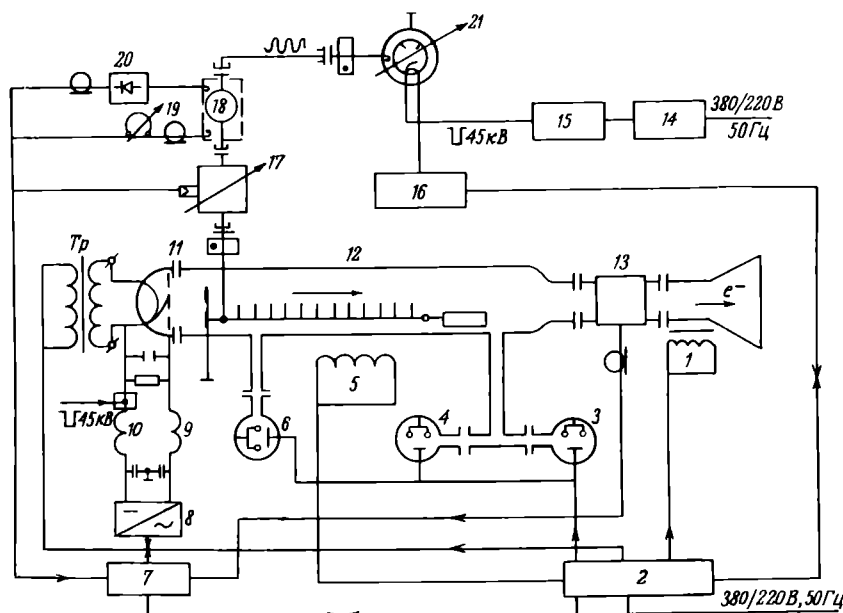


Рис. 1. Функциональная схема ускорителя:

1 — электромагнит развертки; 2 — стойка питания; 3, 4, 6 — магниторазрядный насос; 5 — фокусирующий соленоид; 7 — пульт управления; 8 — выпрямитель; 9, 10 — дроссели; 11 — трехэлектродная пушка; 12 — ускоряющий волновод; 13 — датчик тока; 14 — высоковольтный выпрямитель; 15 — импульсный модулятор; 16 — генераторный блок; 17 — фазовращатель; 18 — измеритель проходящей мощности; 19 — частотомер; 20 — детекторная секция; 21 — магнетрон

дольное магнитное поле, создаваемое соленоидом. Величина поля подбирается в процессе наладки ускорителя и составляет в центре соленоида $(6 \div 7) \cdot 10^{-2}$ Т.

К выходу ускоряющего волновода подключены магнитоиндукционный датчик и система строчной развертки. Датчик служит для контроля тока ускорителя в процессе проведения технологического облучения. Развертка пучка осуществляется изменяющимся во времени магнитным полем, которое создается электромагнитом. Частота изменения регулируется от 0,5 до 5 Гц. Из ускорителя электроны выводятся через титановую фольгу толщиной 50 мкм. С целью снижения температуры фольги установлена система принудительного воздушного охлаждения. Для проведения работ с неразвернутым пучком в комплект ускорителя входит специальное окно вывода, устанавливаемое вместо камеры развертки. Электронный пучок в этом случае выводится через две титановые фольги толщиной 120 мкм с зазором между ними 0,8–1,0 мм. По этому зазору проходит охлаждающая вода. Фольги имеют форму концентрических полусфер, что повышает прочность окна и гарантирует постоянство величины зазора.

Высоковакуумная откачка ускорителя производится магниторазрядными насосами производительностью 25 л/с каждый. Один

насос подключен на входе ускоряющего волновода и два на выходе.

Питание ускоряющего волновода СВЧ мощностью осуществляется от специального магнетрона. Мощность передается по волноводному тракту, в состав которого входят фазовращатель и измеритель мощности. Тракт наполняется сжатым воздухом под давлением около $4 \cdot 10^4$ Па. Питание магнетрона производится от генератора импульсного напряжения (модулятора), выполненного по линейной схеме. Это же напряжение с помощью высоковольтного масляного разъединителя с дистанционным управлением подается на электронную пушку. Питание электрических цепей осуществляется от источников, расположенных в стойке питания и регулирования. Органы управления источниками питания продублированы на пульте управления ускорителем.

Управление работой комплекса и контроль его основных параметров ведется с пульта управления. Для облегчения работы оператора на пульте установлено сигнализационное табло, на котором изображена мнемосхема комплекса.

Питание комплекса осуществляется от сети переменного тока напряжением 380/220 В (50 Гц). Потребляемая мощность в номинальном режиме не превышает 75 кВт. Для охлаждения тепловыделяющих элементов в ускорительный и генераторный блоки подается вода под давлением от $4 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$ Па, очищенная от механических примесей с размерами более 0,1 мм. Расход воды не превышает $3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Генераторный и ускорительный блоки (рис. 3) и соединяющий их волноводный тракт должны устанавливаться в специальном боксе, оборудованном биологической защитой. Модулятор, стойка питания и пульт управления размещаются в смежных помещениях. Расстояние между блоками, исчисляемое по соединяющим их кабельным каналам, не должно превышать 25 м.

Для ускорительного комплекса создана специальная система инъекции, применение

которой в ЭЛУ-6 обеспечивает следующие возможности установок:

- получение импульсов тока величиной ≥ 10 А при длительностях 5 и 10 нс;
- плавную регулировку частоты повторения импульсов от 10 до 25 и от 100 до 250 с^{-1} , а также режим однократных импульсов;
- плавную регулировку длительности импульсов от 1 до 5 мкс при токе до 1,5 А;
- регулировку энергии электронов от 3,5 до 8 МэВ;
- плотность электронного потока до 150 А/см^2 при длительности импульса 5 нс.

Ускорительный комплекс "Электроника" может быть применен как в промышленных радиационно-технологических процессах, так и при фундаментальных научных исследованиях по изучению элементарных радиационно-химических реакций, неравновесных электронных состояний в диэлектриках и полупроводниках, а также механизма взаимодействия ионизирующих излучений с веществом.

Статья поступила 1 июля 1978 г.

А. Б. Акинфиев, В. М. Арсланов,
Ю. И. Щетинин

ПОСТОЯННЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА МИКРОСХЕМАХ K155PE3

Запоминающие устройства и логические схемы ТТЛ типа серии K155 позволяют спроектировать накопительный блок емкостью до 0,5 кбайт с временем выборки 100 нс и рассеиваемой мощностью 6 Вт. При подаче импульсного напряжения питания на микросхемы K155PE3 емкость накопителя возрастает до 1,25 кбайт при времени выборки 250 нс и потребляемой мощности менее 4 Вт.

УДК 681.327.28

Принцип микропрограммного управления все шире используется в современных ЭВМ благодаря успешному развитию технологии изготовления полупроводниковых элементов памяти.

Для построения управляющих запоминающих устройств с временем выборки порядка 100 нс наиболее подходящими являются ТТЛ-микросхемы серии K155: масочные ПЗУ типа K155PR6, K155PR7; электрически программируемая память (ППЗУ) типа K155PE3 и ОЗУ типа K155PY2.

По сравнению со схемами ОЗУ микросхемы ПЗУ и ППЗУ характеризуются более высокой плотностью хранения информации, обеспечивают меньшие габариты, потребляемую мощность и число схем электронного обрамления.

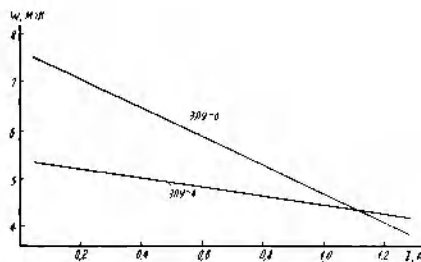


Рис. 2. Зависимость кинетической энергии электронов от импульсного тока пучка

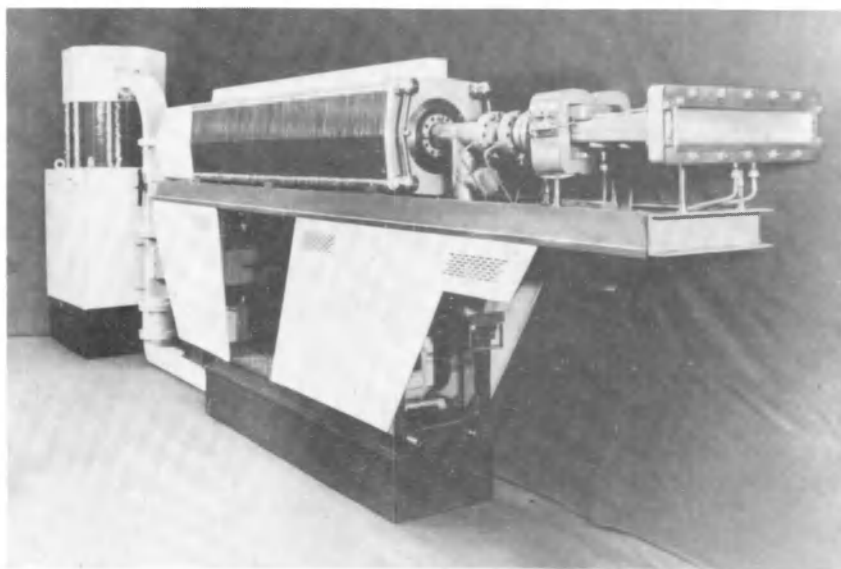


Рис. 3. Ускорительный и генераторный блоки

Микросхемы ОЗУ находят применение в управляющих запоминающих устройствах при отладке программ и микропрограмм, где перечисленные выше параметры не играют существенной роли.

Необходимость в большой номенклатуре кодов микросхем памяти и малая суммарная потребность в этих микросхемах для управляющих ЗУ высокопроизводительных ЭВМ ограничивает применение ПЗУ, поскольку их стоимость при выпуске малыми сериями в основном определяется высокой стоимостью фотошаблонов [1]. Кроме того, для изготовления микросхем ПЗУ с заданным информационным содержанием требуется от 4 до 8 недель. Применение ПЗУ целесообразно при большой серийности, а также при создании устройств с высокой надежностью. При малой серийности и необходимости достаточно быстрого занесения информационного содержимого предпочтением следует отдать ППЗУ.

Управляющие ЗУ для ЕС ЭВМ выполняются в виде накопительных типовых элементов замены (ТЗЗ) размером 140x150 мм, на которых размещаются микросхемы. Разбиение информационного содержимого памяти по накопительным ТЗЗ желательно осуществлять таким образом, чтобы в пределах одного ТЗЗ располагались все адреса устройства. Тогда для объединения нескольких ТЗЗ в запоминающее устройство достаточно обеспечить параллельную подачу кода адреса на все накопительные ТЗЗ, что позволяет упростить их объединение и сократить число логических микросхем связей.

На рис. 1 приведена схема накопительного ТЗЗ для постоянного запоминающего устройства емкостью 1536 двухразрядных слов, в котором используются электрически программируемые микросхемы памяти К155РЕЗ, расположенные на двухсторонней печатной плате ТЗЗ. Пять разрядов кода адреса ($\bar{A}_3 - \bar{A}_7$) через буферные каскады, служащие для уменьшения нагрузки на адресную шину, соединены с адресными входами всех 12 микросхем К155РЕЗ. Одноименные информационные выходы ППЗУ объединены по схеме "проводное ИЛИ" и соединены с входами мультиплексоров К155КП7, на которые подаются три разряда кода адреса $A_0 - A_2$. Для обращения только к двум микросхемам памяти используются входы выборки кристалла, подключенные к дешифратору, управляемому тремя разрядами адресного кода $\bar{A}_8 - \bar{A}_{10}$. Максимальное время выборки из памяти определяется наиболее длинной цепью распространения сигналов, образованной дешифратором, схемой памяти и мультиплексором, и составляет около 100 нс.

Число ППЗУ на двухсторонней печатной плате, допускающей установку не более 24 корпусов типа ДИП, не должно превышать 12 из-за ограничений, накладываемых на число печатных проводников на плате. На многослойной печатной плате, допускающей размещение 60 16-штырьковых корпусов типа ДИП нельзя устанавливать более 24 микросхем памяти, так как допустимая рассеиваемая на ТЗЗ мощность не должна превышать 10 Вт. Поскольку микросхемы постоянной памяти не теряют информацию при отключении питания, и во многих случаях допускается некоторое увеличение времени выборки из памяти микропрограмм, напряжение питания можно подавать только на

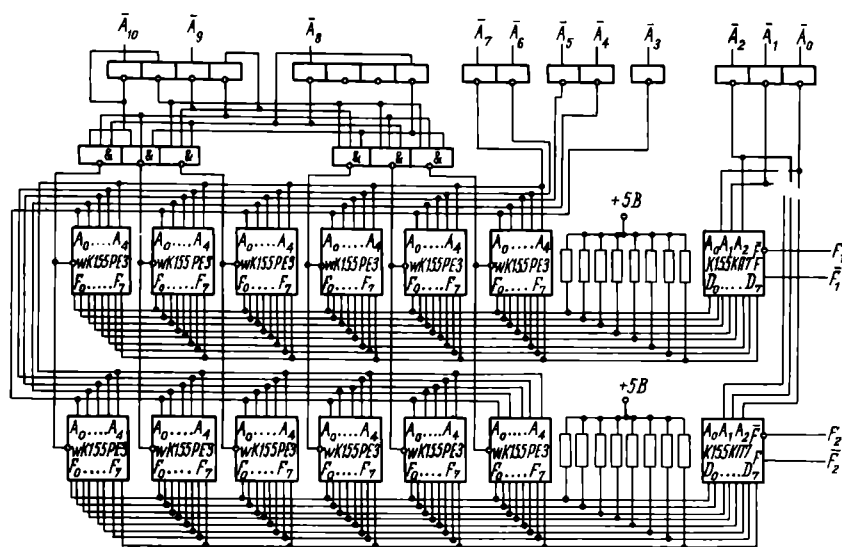


Рис. 1. Схема накопительного ТЗЗ емкостью 1536 2-разрядных слов

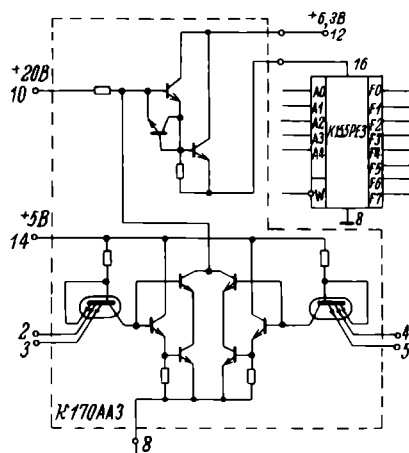


Рис. 2. Электрическая схема подачи напряжения питания на ППЗУ с использованием ключевой схемы типа К170АА3 для снижения потребляемой мощности

те микросхемы, к которым производится обращение. При этом мощность, потребляемая накопительным ТЗЗ, резко снижается, что позволяет устанавливать на нем большее число микросхем. В целом это приводит к уменьшению габаритов, потребляемой мощности и улучшению теплового режима устройства.

Напряжение питания на микросхему памяти можно подавать через р-п-р транзистор, управляемый логической микросхемой ТТЛ типа [2]. Однако для уменьшения площади платы, занимаемой компонентами схемы, целесообразно использовать в качестве ключевой микросхему типа К170АА3 (рис. 2), обладающую достаточно высоким быстродействием (60 нс).

На рис. 3 приведена схема накопительного ТЗЗ емкостью 1280 8-разрядных слов (40 микросхем К155РЕЗ), характеризующаяся малой потребляемой мощностью. Напряжение питания через каждую ключевую схему

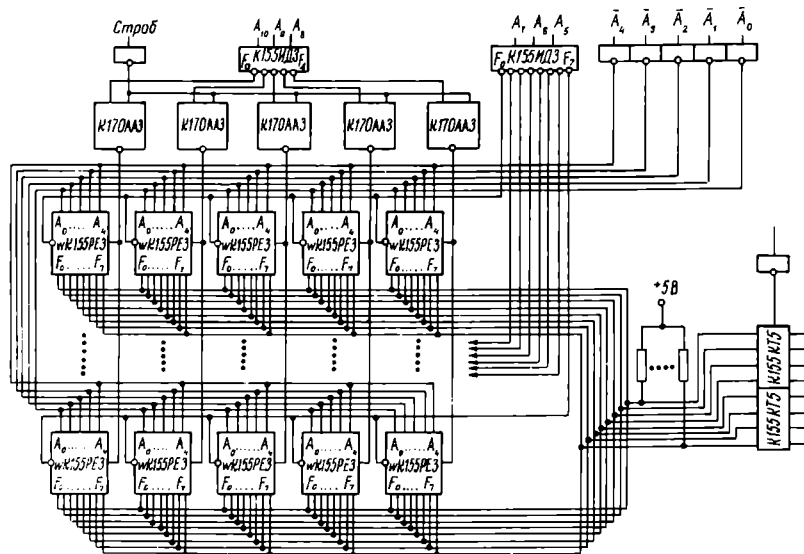


Рис. 3. Схема накопительного ТЗЗ емкостью 1280 8-разрядных слов

K170AA3 подается только на 8 микросхем памяти K155PE3. Адресные входы микросхем памяти, от которых отключено напряжение питания, не нагружают адресную шину, что позволяет использовать в качестве буферных элементов маломощные схемы. Напряжение питания на микросхеме памяти подается до тех пор, пока появившаяся на выходах информация не будет зафиксирована триггерными элементами K155KT5. После этого напряжение питания отключается до начала следующего периода обращения, что позволяет дополнительно снизить потребляемую мощность.

Поскольку на ключевых схемах мощность рассеивается независимо от того, включен или выключен ключ, минимальная суммарная мощность рассеяния на ТЭЗ определяется числом микросхем памяти, подключенных к одной ключевой схеме. В общем случае ее величина зависит от информационной емкости и конфигурации ТЭЗ, а также от соотношения между временем выборки и периодом обращения. Максимальное число микросхем памяти K155PE3, подключенных к одной ключевой схеме K170AA3, определяется допустимым током ключа (500 мА) и токами потребления выбранных (по входу разрешения кристалла) и невыбранных микросхем, типичные значения которых составляют 90 и 50 мА соответственно. При расчете суммарной мощности следует учитывать, что микросхема K170AA3 рассеивает 60 мВт во включенном состоянии и 100 мВт в выключенном. В схеме, приведенной на рис.3, общая потребляемая мощность с учетом наличия логических микросхем серии K155 составляет 3,5 Вт.

Время выборки из накопительного ТЭЗ определяется наиболее длинной цепью распространения сигнала, включающей в себя буферные каскады, дешифратор, ключевую схему, микросхему памяти и триггерный элемент. Напряжение питания на микросхеме памяти появляется спустя 80–100 нс после смены кода адреса из-за задержки в цепях дешифратора и ключевой схемы, а информация на выходе микросхемы памяти — через 80–100 нс после включения напряжения питания. Суммарное время выборки с учетом задержки сигнала на всех элементах составляет 250 нс.

Двухгодичная эксплуатация ряда описанных выше накопительных ТЭЗ на ИМС K155PE3 с импульсным питанием показала высокую надежность работы источников импульсного питания и запрограммированных микросхем памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васенков А.А., Терехов Ю.В. Структура и основные параметры "деревя целей" современных полупроводниковых запоминающих устройств. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. Вып.1. М., "Сов.радио", 1976.
2. High performance low power memories from inexpensive parts. — "EDN", 1977, N 3.

Статья поступила 21 февраля 1978 г.

Н.П. Амельчаков, И.В. Байдалинов,
И.В. Малышев, А.В. Юровский

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ИС K174УР2

УДК 621.3.049.77.004

Полупроводниковая ИС усилителя промежуточной частоты сигналов изображения (УПЧИ) предназначена для черно-белых и цветных телевизионных приемников. Схема выполняет следующие функции: усиление сигнала промежуточной частоты, синхронную демодуляцию видеосигнала, формирование напряжения автоматической регулировки усиления (АРУ) как для регулирования усиления УПЧИ внутри ИС, так и для управления усилением селектора телевизионных каналов. ИС

входит в состав серии микросхем для телевизионных приемников цветного изображения*.

Функциональная схема УПЧИ (рис.1) состоит из трехкаскадного усилителя промежуточной частоты ($Y_1 - Y_3$), синхронного демодулятора (Д), усилителя-ограничителя (УО), выходного видеоусилителя (ВУ) с фазоинвертором (ФИ) для получения на выходах микросхемы двух видеосигналов противоположной полярности и системы АРУ, включающей в себя ключевой усилитель (КУ), регулирующий усилитель (РУ) узла термокомпенсации (Т) и пороговый усилитель (ПУ) для подачи сигнала АРУ на селектор.

Начиная с входа УПЧИ и вплоть до выхода синхронного балансного демодулятора усилитель построен по симметричной дифференциальной схеме, что дает возможность значительно ослабить паразитные связи и наводки, а также свести к минимуму число внешних блокировочных конденсаторов. Гальваническая связь между каскадами и глубокая отрицательная обратная связь по постоянному току обеспечивают устойчивую работу усилителя

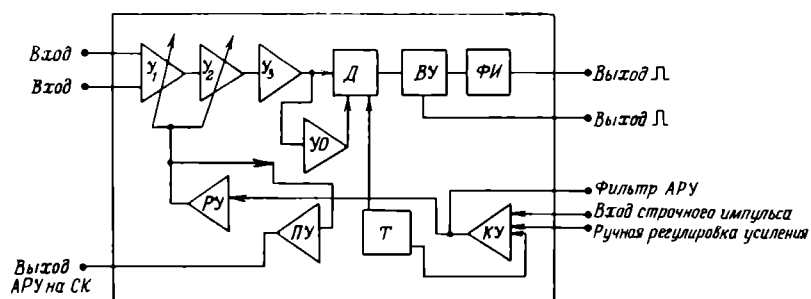


Рис.1. Функциональная схема К174УР2

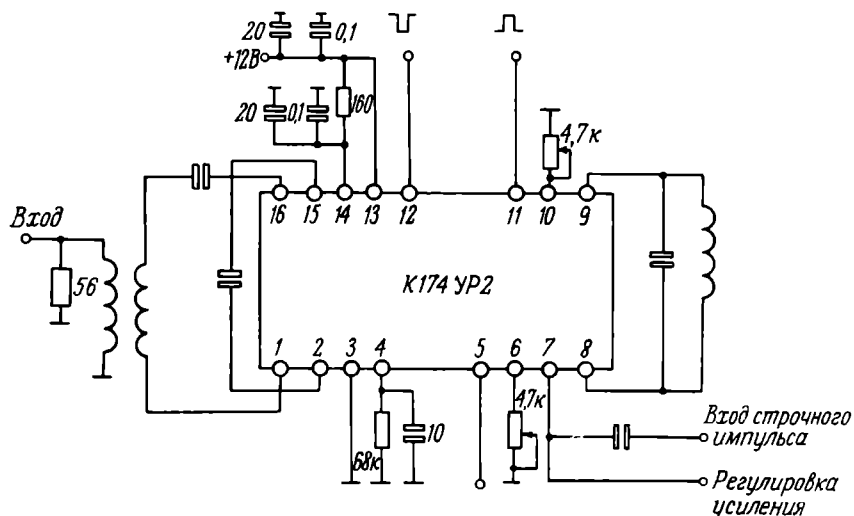


Рис.2. Схема симметричного включения усилителя промежуточной частоты канала изображения

*Амельчаков Н.П., Губеев Ф.Я., Малышев И.В. Полупроводниковые интегральные схемы для цветных телевизоров. — "Электронная пром-сть", 1975, вып. 1.

при регулировании усиления в пределах ≥ 50 дБ.

Основные электрические параметры
ИС К174УР2 ($T_{ок} = 25^\circ\text{C}$; $U_{ип} = 12\text{ В}$)

Потребляемый ток, мА	50–75
Чувствительность, мкВ	
К174УР2А	≤ 250 –500
К174УР2Б	≤ 300
Размах выходного сигнала, В	2,4–4,2
Диапазон АРУ, дБ	≥ 50
Полоса пропускания по видеоканалу, МГц	≥ 6

Чувствительность микросхемы определяется как входное напряжение, при котором размах выходного напряжения уменьшается на

3 дБ по сравнению с размахом при номинальном входном сигнале (10 мВ).

При изменении входного сигнала от 3,3 до 300 мВ выходное напряжение меняется не более чем на 25%.

Напряжение шума на выходе схемы не превышает 200 мВ с момента срабатывания АРУ, что соответствует отношению сигнал/шум более 20 дБ.

Возможно включение ИС К174УР2 с симметричным (рис. 2) и несимметричным входом. При симметричной подаче входного сигнала схема работает более устойчиво и имеет на 20–25% большую чувствительность.

При проектировании печатных плат усилительных трактов на основе описанной микросхемы необходимо независимо от способа подачи входного напряжения обеспечить мак-

симально возможную симметрию монтажа входных цепей (выводы 1, 16 и 2, 15). Это ослабляет влияние наводок и паразитных обратных связей и в большинстве случаев позволяет исключить возможность самовозбуждения. Если самовозбуждение все же возникает, для его устранения рекомендуется включать (выводы 16 и 1) последовательно резисторы величиной от 10 до 50 Ом.

Добротность колебательного контура синхронного детектора (выводы 8 и 9) составляет около 60. При настройке частотных характеристик трактов УПЧИ с помощью генератора качающейся частоты контур необходимо шунтировать резистором величиной порядка 100 Ом.

Статья поступила 19 июля 1978 г.

ОБМЕН ОПЫТОМ

Е. И. Белявский, Ю. Ф. Ляшук,

Е. Е. Онегин, А. В. Ярош

ПРОИЗВОДСТВО ЛИНЕЙНЫХ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ *

УДК 621.313.13–132.32

Линейные шаговые двигатели (ЛШД) [1] — базовые устройства технологического оборудования нового поколения — применяются в установках

* В связи с большим интересом читателей к технологии изготовления линейных шаговых двигателей, вызванным статьей Е. И. Белявского и др. "Двухкоординатные линейные шаговые двигатели на магнитовоздушной подвеске" ("Электронная промышленность", 1978, вып. 6), редакция сочла необходимым опубликовать более подробный материал, содержащий ответы на поставленные читателями вопросы.

лазерного скрайбирования полупроводниковых пластин, зондового контроля, визуального контроля и сортировки, координатографов, оптико-механических приборах, успешно заменяя приводы, преобразующие вращательное движение вала шагового двигателя в поступательное с использованием пары винт-гайка. Применение ЛШД позволяет повысить:

- производительность оборудования в 2–3 раза;
- динамические характеристики и износоустойчивость исполнительных механизмов на порядок;
- стабильность во времени эксплуатационных характеристик оборудования;
- уровень систем управления;
- скорость перемещений в 5 раз.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике проведен ряд работ по расчетам и проектированию ЛШД, методике анализа и оценки его параметров применительно к конкретным исполнительным механизмам. Однако с переходом к серийному их производству возникает ряд сложных технологических задач, решение которых потребовало научных поисков, инженерных разработок и экспериментальных исследований.

ЛШД механизма горизонтального поступательного перемещения состоит из статора и индуктора, разделенных воздушным зазором, например воздушной подушкой (рис. 1). Статор представляет собой несущую жесткую плиту, выполненную литьем из чугуна или алюминиевого сплава, с закрепленной на ней методом склейки пластины из листового (толщина 2,5–3,5 мм)

ферромагнитного материала (Ст. 20895). Размеры статора определяются заданным рабочим ходом механизма. Так, для хода 200х200 мм при тяговых усилиях 60–70 Н они составляют 400х400 мм. По всей рабочей поверхности пластины расположены взаимно-перпендикулярные пересекающиеся пазы с постоянным шагом, величина которого определяется заданной дискретностью перемещения и выбранной системой управления.

Индуктор ЛШД содержит блоки электромагнитов, объединенные в едином корпусе, который должен обладать достаточной жесткостью при минимальной массе. На полюсах электромагнитов индуктора наносятся пазы с шагом, равным шагу пазов статора, и определенным смещением по шагу между группами полюсов электромагнитов. Пазы статора и индуктора с целью создания между ними плоско-параллельного зазора заполнены немагнитным компаундом.

Изготовление пазов с требуемой конфигурацией и точностью для обеспечения высоких точностных и тяговых характеристик является основной технологической проблемой при создании ЛШД и должно отвечать ряду требований:

- отношение глубины паза к половине периода зубчатой структуры 0,8–1,1;
- профиль паза прямоугольный либо трапециoidalный с углом не более 10° ;
- накопленная погрешность изготовления пазов по шагу на рабочем поле статора и индуктора ≤ 10 мкм.

Неплоскостность рабочих поверхностей статора и индуктора должна составлять ≤ 5 мкм.

В основу промышленной технологии изготовления пазов, позволившей освоить серийное производство ЛШД, была положена механическая обработка, характеризующаяся универсальностью и технологической маневренностью при достаточной производительности и обеспечивающая получение различных профилей пазов с высокими точностью размеров, качеством поверхности и стабильностью эксплуата-

ционных характеристик изделий. Кроме того, в условиях машиностроительных предприятий применение механической обработки исключает необходимость организации специального производства. (Опробованные химическое фрезерование и электрохимическая обработка [2] из-за трудности внедрения в серийное производство не нашли практического применения).

В качестве основного метода механического получения пазов статора и индуктора принято фрезерование. Точность обработки пазов и производи-

тельность процесса определяются параметрами фрезерного оборудования, а также конструкцией фрезы.

Благодаря наличию прецизионных универсальных станков, оснащенных электронной индикацией отсчета, стало практически осуществимым изготовление пазов на поле 500×500 мм с накопленной погрешностью ≤ 10 мкм.

Создание групповых фрез с шахматным расположением зубьев для изготовления статора (рис. 2,а) и индуктора (рис. 2,б) позволило по сравнению с применением одиночных фрез сократить время на операции нарезки пазовкратно количеству рядов зубьев и повысить точность за счет уменьшения количества перемещений стола станка на шаг.

Механический метод получения пазов фрезерованием групповой фрезой с числом рядов зубьев, равным числу пазов электромагнита, обеспечивает получение требуемых эксплуатационных характеристик индуктора в целом.

При разработке процесса сборки ЛШД был решен ряд технологических задач: проведены подбор клеев и отработка технологии склейки, подбор компаундов и отработка процесса заливки пазов, изготовлены устройства для намагничивания блоков электромагнитов индуктора и оснастки.

Разработка и освоение технологии производства ЛШД позволили реализовать их конструктивные и эксплуатационные параметры в серийном технологическом оборудовании нового поколения.

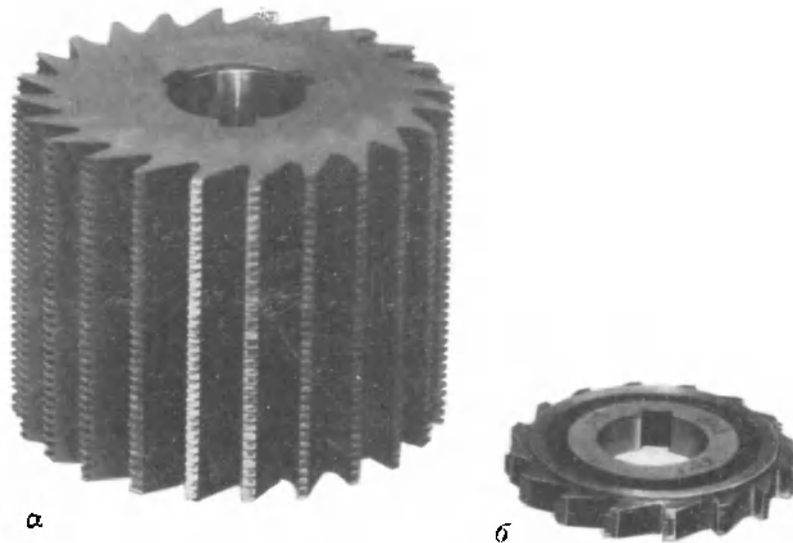


Рис. 1 Статор (а) и индуктор (б) двухкоординатного ЛШД механизма горизонтального поступательного перемещения

ЛИТЕРАТУРА

1. Белявский Е.И., Зенькович В.А., Ляшук Ю.Ф., Филиппович Е.В., Ярош А.В. Двухкоординатные линейные шаговые двигатели на магнитовоздушной подвеске. — "Электронная пром-сть", 1978, вып. 6.
2. Седықин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. М.: "Машиностроение", 1976.

Статья поступила 8 декабря 1978 г.

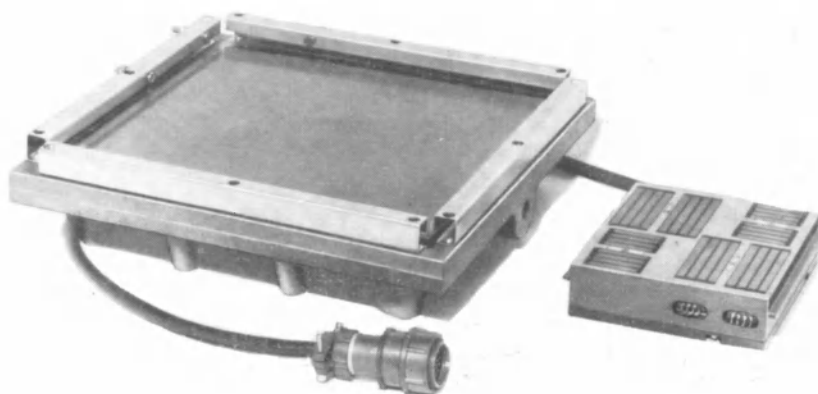


Рис. 2 Фрезы для изготовления ЛШД: а — групповая фреза для статора; б — групповая фреза для индуктора

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО – ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА



В. И. Зеленов, В. Н. Лейкин, Т. А. Мингазин

АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Развитие методов прямого наблюдения дефектов полупроводниковых структур обеспечило возможность широкого изучения механизмов генерации дислокаций и их влияния на электрофизические параметры приборов, что позволило разработать способы уменьшения плотности дислокаций.

УДК 621.382.001.18

За последнее десятилетие полупроводниковая электроника претерпела большие количественные и качественные изменения, обусловленные главным образом разработкой новых принципов конструирования приборов и соответствующих технологических методов их производства.

С усложнением конструкции приборов, повышением степени интеграции ИС, усовершенствованием старых и разработкой новых технологических процессов задача изучения механизма возникновения дефектов в совершенном полупроводниковом материале при его обработке и влияния этих дефектов на эксплуатационные характеристики изделий становится все более актуальной.

Наиболее сильно воздействуют на функционирование приборов и ИС дислокации – электрически активные дефекты, наличие которых в структуре полупроводника приводит к деградации параметров: понижению пробивных напряжений, генерации шумов, повышению плотности граничных состояний.

Методы прямого наблюдения дислокаций

Для определения механизмов влияния структурных несовершенств кристалла (дислокаций мало- и среднеугловых границ, дислокационных плоскостей, границ двойников) на электрофизические параметры полупроводниковых приборов [1] могут быть использованы современные методы прямого исследования дефектов.

К числу таких методов относятся: селективное травление, инфракрасная микроскопия декорированных объектов, просвечивающая электронная микроскопия и рентгеновская топография.

Метод селективного травления заключается в обработке поверхности кристалла травителями специального состава, которые растворяют идеальную матрицу и нарушенные участки с разной скоростью [2]. Образовавшиеся в местах выхода на поверхность дислокаций ямки травления исследуются при помощи оптического или электронного микроскопа. Метод привлекает простотой осуществления, высокой разрешающей способностью, возможностью исследования динамических эффектов. К недостаткам этого метода следует отнести неоднозначность расшифровки образованной картины (не все ямки травления соответствуют дислокациям), невозможность наблюдения дефектов, не выходящих на поверхность, разрушение образца.

Метод декорирования, позволяющий наблюдать дислокации в объеме полупроводникового кристалла, заключается в нагревании образца до такой температуры, при которой происходит выделение примесей на дислокациях [3]. Как правило, специально для этого проводится диффузия металлической примеси, декорирующей дислокации, например меди, в кремний. Дислокации исследуются с помощью инфракрасной микроскопии. Метод позволяет с высоким разрешением наблюдать пространственное расположение дислокаций в образце, но имеет существенные недостатки: загрязнение материала металлической примесью, невозможность изучения движения дислокаций из-за стопорящего эффекта декорирующей примеси и др.

Метод просвечивающей электронной микроскопии заключается в исследовании на просвет тонких фольг образца, полученных различными способами [3]. Он обладает рядом уникальных преимуществ: очень высоким разрешением, значительно превосходящим разрешение других методов, возможностями сопоставления изображения дефекта с картиной микродифракции от того же участка и непосредственного наблюдения дефектов в динамике. Однако для электронно-микроскопического исследования необходимо приготовление специальных образцов, структурное совершенство которых может изменяться в процессе изготовления [2]. К недостаткам метода следует отнести также дороговизну аппаратуры.

Метод рентгеновской топографии (рентгеновской дифракционной микроскопии) [3] — единственный неразрушающий метод прямого наблюдения дислокаций. Его сущность заключается в изменении интенсивности пучка, претерпевающего брэгговское отражение в области структурного дефекта, по сравнению с интенсивностью пучка, отраженного в неповрежденных участках кристалла. Для наблюдения дислокаций применяются главным образом различные варианты методов Ланга, Борманна и Берга-Баретта [3]. Совершенствование методик позволило преодолеть один из основных недостатков рентгеновской топографии — большие временные затраты, необходимые для получения топограмм [4]. Применение мощных источников рентгеновского излучения с вращающимися анодами в сочетании с визуализацией топографии на телеэкране позволяет еще более повысить экспрессность метода и перейти к наблюдению динамики дислокаций [5]. Различные методы рентгеновской дифракционной топографии дают возможность исследовать дислокации как во всем объеме образца, так и в слое выбранной толщины на любой глубине от поверхности и в любом поперечном сечении кристалла.

Непреодоленный пока недостаток рентгеновской топографии — низкая разрешающая способность

(≥ 1 мкм), не позволяющая наблюдать дислокации плотностью выше 10^6 см $^{-2}$.

В таблице приведены сравнительные характеристики основных методов прямого наблюдения дислокаций [2].

Метод	Толщина образца, мкм	Ширина изображения дислокации, мкм	Максимальная плотность дислокаций, см $^{-2}$
Электронная микроскопия	0,05	0,01	3×10^{11}
Рентгеновская топография на просвет	1000	5	2×10^4
на отражение	100 50 5	5 5 2	2×10^4 1×10^6
Декорирование	<2	2	2×10^7
Селективные травления	10	0,5	2×10^7
оптический микроскоп	—	0,5	4×10^8
электронный микроскоп	—	0,05	4×10^{10}

Образование структурных дефектов в кремнии в процессе изготовления полупроводниковых приборов

Современная тенденция к уменьшению размеров отдельных приборов и элементов ИС привела к тому, что вероятность попадания дислокаций, имеющихся в исходном материале, в активную область прибора уменьшается. Например, если материал имеет плотность дислокаций $N_D = 10^6$ см $^{-2}$, то на активную площадь мощного транзистора, равную нескольким квадратным миллиметрам, приходится $\sim 10^4$ дислокаций, а если активная площадь прибора составляет ~ 100 мкм 2 , то на нее приходится в среднем только одна дислокация. Другими словами, уменьшение активной площади прибора уже само по себе улучшает их эксплуатационные характеристики. Однако при малых размерах отдельных элементов в ИС активную роль начинают играть дислокационные связи между отдельными приборами, что ведет к ухудшению характеристик всей схемы. Поэтому с точки зрения общей эффективности применение совершенного материала (с плотностью дислокаций $\sim 10^3$ см $^{-2}$) имеет одинаково важное значение для приборов с большой и с малой рабочей площадью.

Однако следует сказать, что использование совершенного материала для изготовления приборов и ИС не всегда рационально, так как число дислокаций, вводимых в исходный материал при проведении различных технологических операций (диффузии, окисления, сплавления контактов и т.д.), может во много раз превышать плотность дислокаций, соответствующую совершенному материалу. Например, после диффузии атомов фосфора плотность введенных дислокаций составляет 10^6 см $^{-2}$.

Изучение структурного совершенства большого числа кристаллов до и после обычных процессов обработки,

используемых при изготовлении микрoeлектронных приборов, показало, что дислокации и дислокационные ряды (линеаризованные структуры) могут образовываться в результате поверхностных нарушений, возникающих в процессе обработки на операциях термического окисления, диффузии примесей, ионного внедрения, сплавления контактов и напыления металла [6].

В исходных полупроводниковых пластинах дислокации возникают, как правило, в результате деформаций, образующихся при обработке поверхности. В кристаллах, выращенных по методу Чохральского, существуют "замороженные" сжимающие напряжения, причиной которых являются преобладающие деформации, появляющиеся в процессе выращивания. Эту деформацию можно уменьшить, но нельзя избавиться от нее полностью. Кроме того, деформации в полупроводнике возникают во время технологического процесса изготовления приборов.

Введение в решетку кремния атомов примесей приводит к деформации решетки и возникновению механических напряжений. Если величина этих напряжений превышает напряжение пластического сдвига, то в объеме диффузионного слоя образуются дислокации.

В планарных структурах совершенство монокристаллических пластин нарушается также у границ областей локальной диффузии из-за дислокаций, проникающих в материал на глубину до 500 мкм. Значительную роль в образовании дислокаций играют механические напряжения на границе полупроводник-окисел.

К настоящему времени опубликовано много работ, рассматривающих условия генерации различных типов дефектов при диффузии и влияние технологических режимов на их плотность и распределение. Однако до сих пор еще окончательно не ясен процесс образования дислокаций вследствие диффузии бора и фосфора в кремний.

С помощью метода просвечивающей электронной микроскопии [7] удалось обнаружить, что дислокации в кремниевой пластине, появившиеся в результате внедрения фосфора и бора, не лежат на одной глубине. Так, при сравнении пластины с одной стороны часть дислокаций была удалена, а часть осталась внутри пластины. Было обнаружено также стремление дислокационных линий сближаться друг с другом. Это может происходить только с краевыми дислокациями одного знака, лежащими на разной глубине. Число дислокаций, возникающих в процессе диффузии, точно определить сложно, так как ряд линий, видимых на микрофотографии, относится более чем к одной дислокации. По-видимому, этим объясняется то, что разные авторы по-разному определяют критическую плотность дислокаций, которая приводит к

деградации приборов. Например, авторы работы [7] утверждают, что если на один микрон приходится примерно 10 дислокаций, то это соответствует изменению параметра решетки кремния на 10%. Так как ионные радиусы кремния и фосфора равны $1,17 \cdot 10^{-4}$ и $1,07 \cdot 10^{-4}$ мкм соответственно, то ряды дислокаций на пластине появляются при концентрации фосфора в поверхностных слоях равной 4%.

Анализ профилей распределения концентрации фосфора [8] показал, что образование дислокаций определяется наличием электрически неактивного фосфора в поверхностном слое (рис. 1). Для распределения, приведенного на рис. 1, а, плотность дислокаций составляет $\sim 10^9$ см $^{-2}$, а при совпадении теоретического и действительного профилей распределения фосфора (рис. 1, б) дислокации почти отсутствуют.

Исследования зависимости генерации дислокаций от поверхностной концентрации показали, что при концентрации 10^{21} см $^{-3}$, соответствующей преде-

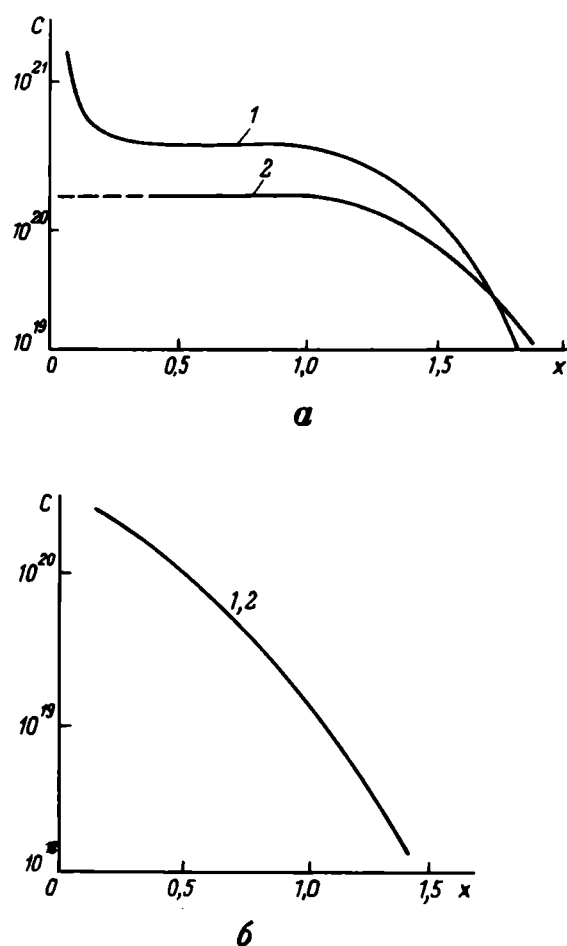


Рис. 1. Профили распределения концентрации фосфора в кремнии: а — $N_D = 10^9$ см $^{-2}$; б — $N_D = 0$; 1 — общая концентрация фосфора; 2 — концентрация активного фосфора

лу растворимости фосфора при температуре около 1100°C , возможно образование диффузионных областей без дислокаций, что позволяет рекомендовать вести диффузию при более высоких температурах (около 1200°C).

Изучение дефектов, возникающих при ионном легировании кремния бором и фосфором и последующем отжиге выявило наличие аномально больших дислокационных петель Франка [9]. Это, по мнению авторов, объясняется стабилизацией растущей петли примесной атмосферой и косвенно подтверждает гипотезу о том, что различие между общей концентрацией фосфора и концентрацией электрически активного фосфора обусловлено формированием примесных атмосфер на призматических дислокационных петлях.

Методом рентгеновской топографии [4] исследовали влияние технологической обработки в процессе изготовления планарно-эпитаксиальных транзисторов на структурное совершенство кремниевых пластин [10]. Обнаружено, что наибольшее число полос скольжения и дислокаций вносится на операциях окисления, диффузии бора и фосфора, вжигания контактов.

Топографические исследования большого числа исходных кремниевых пластин показали, что плотность дефектов (дислокаций, дефектов упаковки) в центральной части пластины не превышает 10^3 см^{-2} (рис.2). Полосы скольжения на периферии пластин, как правило, не распространяются более чем на 5 мм, а максимальная их плотность и протяженность наблюдается в области базового среза. Кроме того, на топограммах исходных пластин хорошо видны царапины, оставшиеся после резки слитка. Кромка пластин имеет сильный кон-

траст, указывающий на ее повреждение. Ширина контрастной области составляет обычно $\sim 0,5 \text{ мм}$. На расстоянии 1,5–2 мм от нее виден слабый концентрический ореол, за которым наблюдается перераспределение дислокаций, идущих от кромки.

При наращивании окисной пленки в пластинах кремния возникают температурные градиенты, которые вызывают появление упругих напряжений. Кроме того, упругие напряжения ($\sim 10^3 \text{ кг/см}^2$) возникают из-за различия коэффициентов температурного расширения кремния и окисной пленки. На топограммах, полученных с пластин после термического окисления (рис.3), хорошо видны изменения их структур. На периферии окисленной пластины появилось большое число дефектов типа полос скольжения. Они проникают к центру пластины на расстояние 10–12 мм и поражают около 70% ее площади. Плотность полос в области базового среза достигает 10^4 см^{-2} . Причиной появления этих полос и дислокаций на операции окисления пластин могут быть нарушенные слои, которые остаются на поверхности пластины после резки слитка и шлифовки.

При формировании базы транзисторов *n-p-n* диффузия бора проводится в две стадии: загонка (I стадия) и разгонка (II стадия). Топограмма пластин после диффузии показана на рис.4. Контрастные линии в центре пластины, не имеющие определенного направления и формы, вызваны неоднородной толщиной окисла, что может привести к появлению напряжений в пластинах, а это, в свою очередь, — к генерации дислокаций. Заметного увеличения числа и размеров полос скольжения на периферии пластины после загонки и разгонки

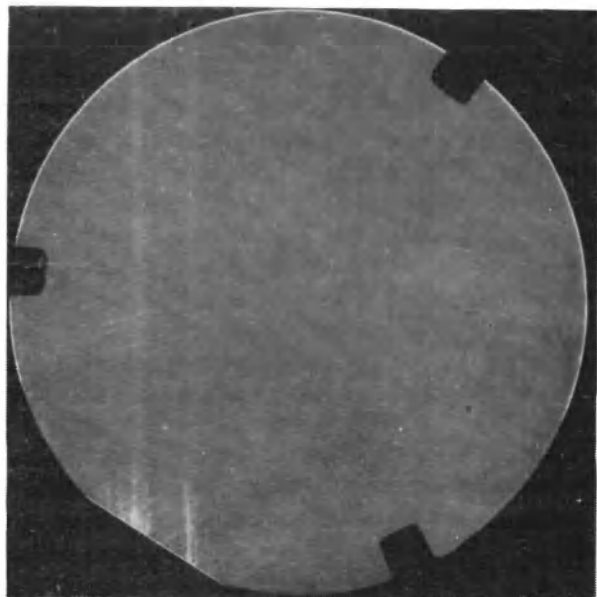


Рис.2. Топограмма исходной пластины кремния с эпитаксиальным слоем ($\times 2$)

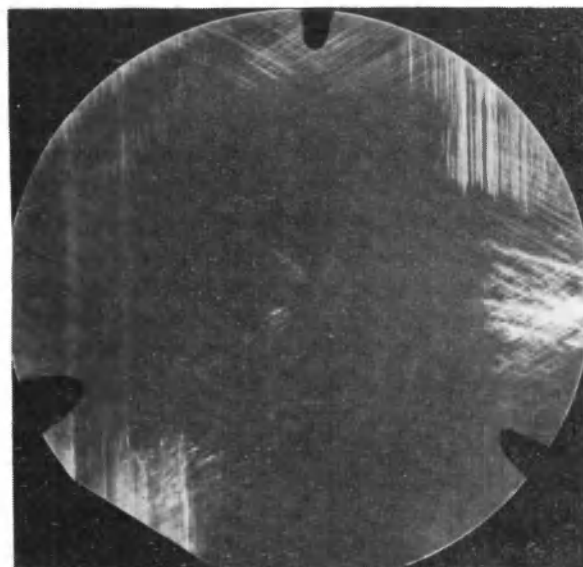


Рис.3. Топограмма пластины после термического окисления ($\times 2$)

бора не происходит. Высокой плотности дислокаций несоответствия при малых глубинах диффузии, как правило, не наблюдается.

Топографические исследования пластин после диффузии фосфора показали резкое увеличение (до $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$) плотности дислокаций в центральной части (рис. 5). Внеконтурные дислокации, вызванные диффузией фосфора, часто распространяются за пределы диффузионной структуры и поражают большую часть транзисторов на пластине.

Топограмма пластины после нанесения алюминиевых контактов и их вжигания приведена на рис. 6. Общий контраст топограммы, по сравнению с топограммой, полученной после II стадии диффузии фосфора, стал более ровным, а дисло-

кации на топограмме почти не видны, так как она экранируется алюминиевой пленкой толщиной $\sim 1 \text{ мкм}$. Усилился контраст на границах диффузионных окон.

Таким образом, технологические операции изготовления планарных транзисторов оказывают сильное влияние на структурное совершенство кремниевых пластин. Наибольшее число структурных дефектов появляется во время операций окисления и диффузии фосфора.

Влияние дислокаций на электрофизические параметры кремниевых полупроводниковых приборов

Дислокации могут оказывать прямое или косвенное влияние на электрофизические параметры полупроводникового материала: прямое — из-за присутствия в запрещенной зоне электронных состояний, связанных с дислокацией; косвенное — из-за наличия примесных атмосфер, выделения примеси и ускоренной диффузии вдоль линии дислокации.

Изменение электрических свойств полупроводников, происходящее вследствие прямого влияния дислокаций, проявляется как в увеличении или уменьшении ширины запрещенной зоны, так и в появлении новых энергетических уровней или даже зон. Предполагают, что эти уровни соответствуют электронным состояниям, возникающим на дислокациях вследствие наличия в их ядре разорванных, ненасыщенных связей. Отсюда следует, что значительные электрические свойства проявляются только у дислокаций с краевой компонентой, тогда как чисто винтовые дислокации вследствие от-

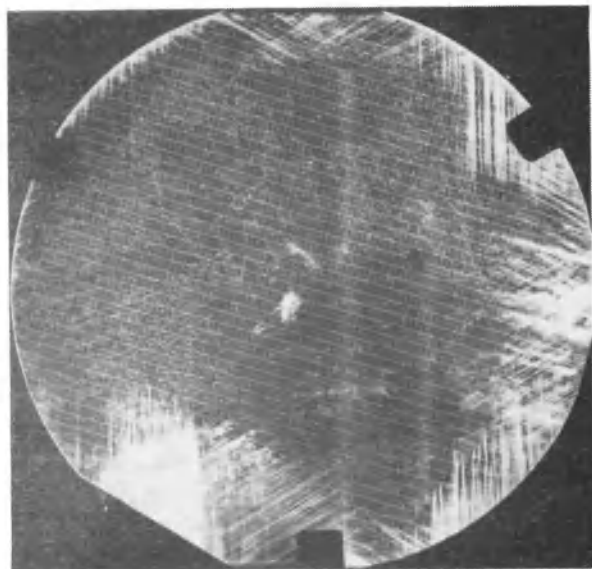


Рис. 4. Топограмма пластины после диффузии бора ($\times 2$)

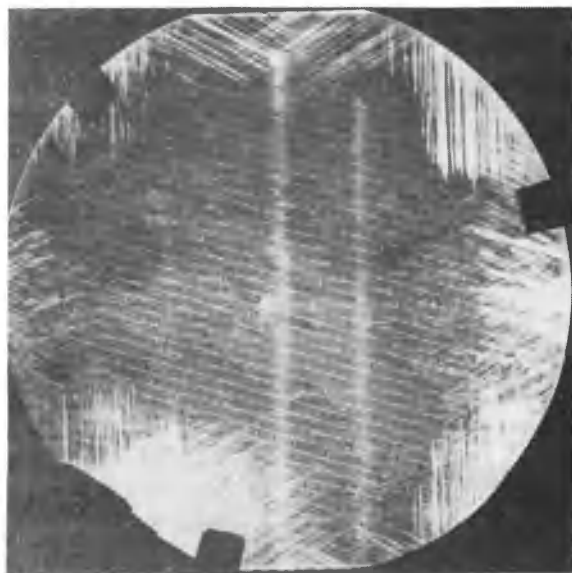


Рис. 5. Топограмма пластины после диффузии фосфора ($\times 2$)

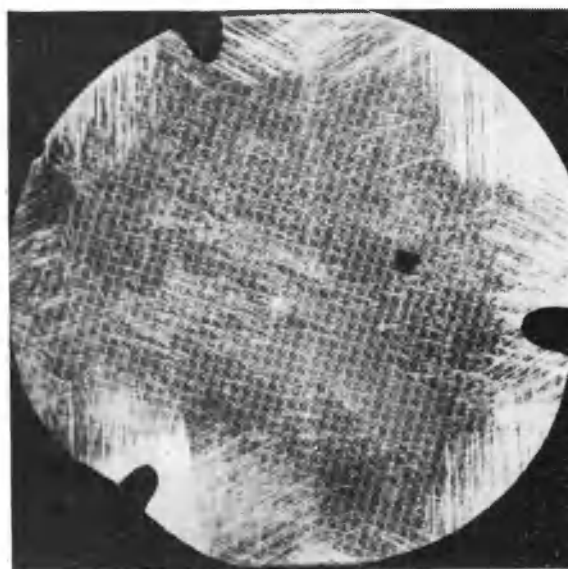


Рис. 6. Топограмма пластины после нанесения металлических контактов ($\times 2$)

сутствия разорванных связей практически неактивны. Поэтому далее подробно рассматриваются лишь краевые дислокации (дислокации с краевой компонентой).

Знание электрических свойств дислокаций и дислокационных рядов необходимо прежде всего для определения характеристик соответствующих

приборов, их качества, надежности и воспроизводимости. Поскольку приборы заключены в малом объеме и должны сохранять свои характеристики, качество материала приобретает все возрастающее значение, являясь ключом к определению качества приборов в условиях, когда надежно контролируются параметры процессов их изготовления.

При исследовании электрических свойств дислокаций необходимо рассматривать главным образом ряды ненасыщенных связей и возникающие при этом области пространственного заряда в виде трубок. Вследствие перекрытия волновых функций такие области действуют как каналы высокой проводимости, причем в направлении, перпендикулярном этим областям, образующиеся барьеры имеют характеристики, соответствующие обратнo-смещенному p - n переходу. Следовательно, от ориентации дислокаций существенно зависит их влияние на свойства обедненных носителями заряда слоев.

В работе [1] рассматриваются некоторые возможные расположения дислокаций относительно барьерного слоя в биполярных p - n переходах и МОП транзисторах (рис. 7, 8). Если ряды дислокаций расположены по направлению линий поля в слое между электронным и дырочным материалами, то устанавливается эффективная область пробоя (область I). Если они расположены параллельно такому слою (область II), то они не влияют на свойства p - n перехода. (С этим утверждением автора [1] трудно согласиться. Расширение области пространственного заряда может и должно вызывать изменения в протекании прямых токов че-

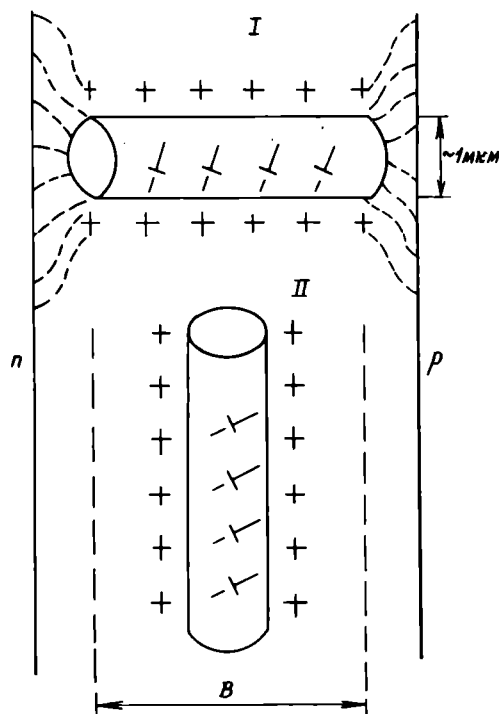


Рис. 7. Ряды дислокаций и связанные с ними трубки пространственного заряда. B — вызванное полем уширение

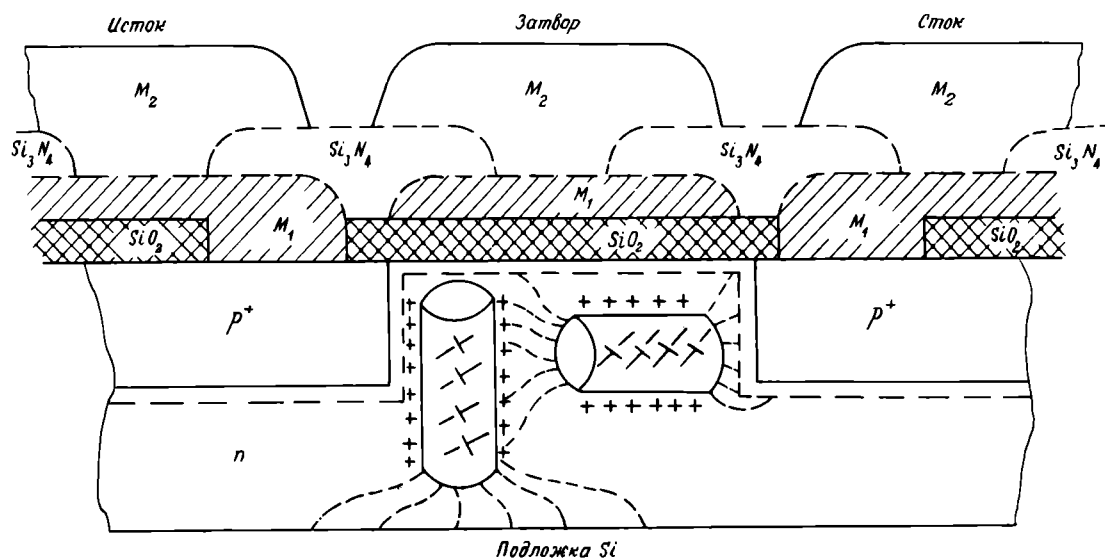


Рис. 8. Поперечный разрез МОП-транзистора и влияние дислокационных трубок на ток проводящего канала

рез переход). При этом вследствие действия напряжения смещения заметно расширяется область пространственного заряда дислокаций. В области I высокая плотность тока приводит к локальному нагреву и возможному нарушению свойств кристалла (выделению примесей, образованию второй фазы, плавлению и т.п.). Именно вследствие таких эффектов, по мнению автора, характеристики биполярных приборов сильно зависят от плотности дислокаций.

В униполярных приборах, подобных полевым транзисторам, по каналу исток-сток движутся только основные носители, и прибор работает нормально до тех пор, пока на контакте затвора не появятся заметные токи утечки через изоляцию канала (слой диэлектрика, обедненный или поверхностный барьерный слой). Однако последнее условие не выполняется, если дислокации, расположенные в обедненной области, перпендикулярны поверхности затвора. Подобная ориентация наиболее вероятна во всех поверхностно-барьерных приборах (МОП-структуры, полевые транзисторы), где образованные на поверхности дислокации имеют такое направление, поскольку они создаются упругими напряжениями, обусловленными различием коэффициентов расширения диэлектрика и полупроводника. На рис. 8 показано, как дислокационная сетка может влиять на работу МОП-структуры.

Реальные физические причины ухудшения характеристик приборов из-за наличия кристаллографических дефектов сложны, многочисленны и еще мало изучены. Обширный экспериментальный материал по изучению влияния дислокаций на характеристики полупроводниковых приборов достаточно противоречив. Во многих работах отмечается, что наличие дислокаций приводит к смягчению обратных вольт-амперных характеристик (ВАХ) и уменьшению пробивных напряжений $U_{пр}$ по сравнению с теми же характеристиками для бездислокационного материала. Типичный вид обратных ВАХ приведен на рис. 9 [11]. Высказано несколько гипотез относительно физических причин возникновения этого явления.

Изучалось [12] влияние различных донорных примесей (P, B, As) на генерацию дислокаций и изменение обратных ВАХ кремниевых планарных диодов. Обнаружено, что дислокации образуются только при диффузии фосфора, если поверхностная концентрация N_s превышает 10^{20} см^{-3} . Плотность генерируемых дислокаций $10^7 - 10^9 \text{ см}^{-2}$. Появление "мягкого" участка на обратной ВАХ соотносится с выделением на дислокациях, пересекающих $p-n$ переход, металлических примесей (Au) и появлением проводящих каналов, пересекающих обедненную носителями область. Снижения $U_{пр}$ не замечено.

Исследовались планарные кремниевые диоды, созданные диффузией В ($N_s = 10^{19} \text{ см}^{-3}$) и Р ($N_s = 10^{20} \text{ см}^{-3}$) [13]. Обнаружено появление дислокаций после диффузии вблизи напряженных областей (трещин, царапин на периферии пластины). Электрические измерения показали, что 80 % приборов, сформированных в областях с наличием дислокаций, обладают "мягкими" обратными характеристиками и заниженными значениями $U_{пр}$, тогда как в бездефектных областях 90 % приборов работает нормально. Замечены выделения микроплазмы вдоль линий дислокаций, что свидетельствует о наступлении локального пробоя по узкому каналу.

Появляющиеся при диффузии фосфора краевые дислокации смягчают обратные характеристики переходов эмиттер-база и коллектор-база кремниевых планарных транзисторов [14]. Объясняется это двумя возможными эффектами: созданием центров генерации дислокаций, пересекающих $p-n$ переходы и искривлением энергетического барьера вблизи дислокаций из-за локального растяжения и сжатия решетки, что может привести к туннелированию носителей через $p-n$ переходы. Плотность генерируемых дислокаций, как считают авторы [14], зависит не от поверхностной, а от объемной концентрации диффундирующего фосфора. Ухудшения ВАХ не наблюдается при уменьшении площади диода.

Составление тепловых карт микроплазменного пробоя и карт селективного травления в обла-

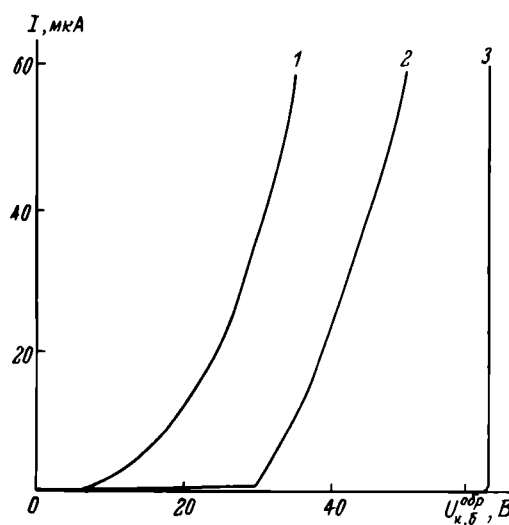


Рис. 9. Обратные ВАХ перехода коллектор-база кремниевого планарного транзистора: 1, 2 — в участках кристалла с дислокациями; 3 — на бездислокационном участке

стях выделения микроплазм позволило авторам работы [15] сделать вывод о том, что все электрические дефекты соответствуют местам расположения дислокаций с краевой компонентой.

К ухудшению обратных характеристик $p-n$ переходов, по мнению некоторых авторов [16], приводит движение дислокаций, локально ускоряющее диффузию, и преципитация металлических примесей на движущихся дислокациях (закоротка переходов). Эти эффекты слабее проявляются в материале с большой исходной плотностью дислокаций, так как в этом случае дислокации и выделения на них более или менее равномерно распределены в объеме и могут не пересекать $p-n$ переход, тогда как в исходных бездислокационных материалах дефекты, образованные при диффузии, концентрируются в основном вблизи электронно-дырочного перехода.

Авторы работы [17] соотносят ухудшение характеристик $p-n$ переходов с неоднородным распределением примеси и вызванным им неоднородным распределением дислокаций. В кремнии, легированном бором, эффекты деградации проявляются слабее, чем при легировании фосфором. Это объясняется тем, что коэффициент сегрегации бора близок к единице, что способствует более равномерному распределению дислокаций.

Большое внимание влиянию кристаллографических несовершенств на характеристики $p-n$ переходов уделено в работе [18]. В целом подтверждается ухудшение обратных ВАХ под воздействием дислокаций. Интересные результаты получены для мощных сплавных транзисторов. Обнаружено явление плохой адгезии окисла в местах, где на поверхность кристалла выходят дислокации. Для борьбы с этим эффектом успешно применялось окисление в озоне.

Быстрое наступление пробоя в кремниевых планарно-эпитаксиальных транзисторах в областях с повышенной концентрацией структурных дефектов в работе [11] объясняется ускоренной диффузией легирующей эмиттерной примеси (Р) вдоль дислокаций и вызванными ею локальными уменьшениями ширины базы (в пользу этого утверждения приводится тот факт, что повышение статического коэффициента усиления ($\beta_{ст}$) у транзисторов в дефектных областях соответствует уменьшению ширины базы). Отмечается также, что внеконтурные дислокации, распространяющиеся за пределы диффузионного фронта, могут закорачивать эмиттер с коллекто-

ром. Сопротивление дислокационной линии от эмиттера до коллектора меняется в пределах 30 кОм – 10 МОм в зависимости от ширины базы.

В связи с возможностью влияния дислокаций на токи утечки и пробивные напряжения $p-n$ перехода следует остановиться на вопросе диффузии инородных атомов в дислокационном материале.

Механизм диффузии по дислокациям в настоящее время нельзя считать окончательно установленным. Имеющийся экспериментальный материал весьма противоречив. Однако во многих работах наблюдалось ускорение диффузии примесей в дислокационном кремнии.

При экспериментальном исследовании [19] диффузии различных примесей (In, Sb, Ge, P) в дислокационном кремнии (дислокации плотностью $5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ вводились изгибом в направлении строго перпендикулярном поверхности образца) было обнаружено, что скорости диффузий In, Sb и Ge заметно возрастали, а скорость диффузии фосфора оставалась без изменения.

Исследование зависимости скорости диффузии от ориентации дислокаций в кремнии [20] показало значительное ускорение диффузии германия и олова при перпендикулярном фронту диффузии расположении дислокаций (по сравнению с бездислокационными образцами) и отсутствие этого ускорения при параллельном расположении.

Проводилось экспериментальное исследование диффузии золота при создании кремниевых $p-n-p-n$ -тиристоров [21]. При температуре диффузии ($\geq 1000^\circ\text{C}$) определялись профили распределения удельного сопротивления ρ . Учитывая амфотерное поведение золота в кремнии, можно считать, что кривая ρ соответствует распределению концентрации золота. Пики на кривой (рис. 10) имеют место под границами диффузионных окон, то есть под ступеньками окисла. Но под этими ступеньками находятся сильно напряженные из-за различия коэффициентов теплового расширения фосфорно-силикатного стекла, SiO_2 , и Si области, в которых при высокой температуре может происходить релаксация напряжений, выраженная в генерации дислокаций [6]. Таким образом косвенно подтверждается явление ускоренной диффузии золота по дислокациям.

Рассмотрим эффект, часто наблюдаемый при изготовлении кремниевых $n-p-n$ транзисторов и называемый дип-эффектом (эффект проталкивания). Сущность его заключается в том, что при созда-

нии эмиттера диффузионный фронт ионов фосфора выталкивает плоский коллекторный переход, созданный в n -Si диффузией бора (рис. 11).

В работе [22] рассмотрено влияние дислокаций и их движения во время диффузии фосфора на образование дип-эффекта. Результаты оценки плотности дислокаций с помощью селективного травления показали (рис. 12), что до диффузии фосфора $N_D \approx \text{const}$ по всей области до коллек-

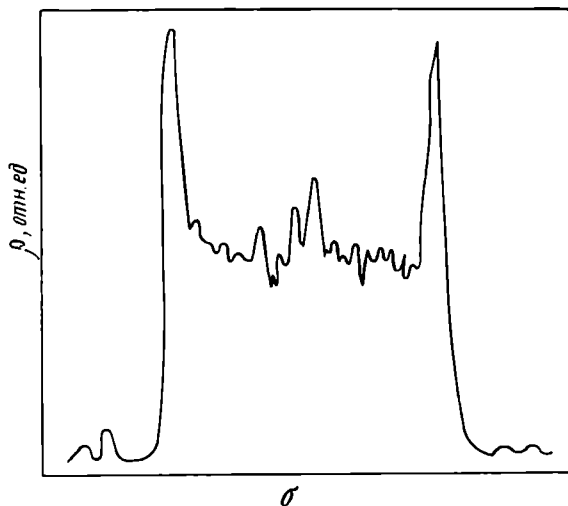
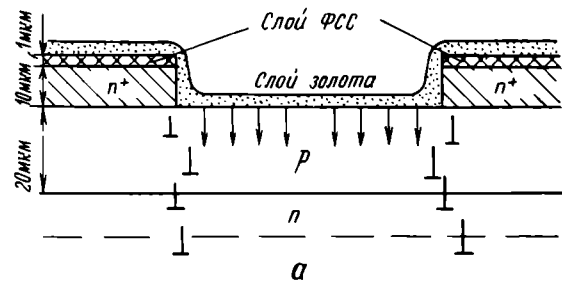


Рис.10. Схема диффузии золота в p - n - p - n структуре: а — геометрия прибора; б — профиль удельного сопротивления (на глубине не штриховой линии)

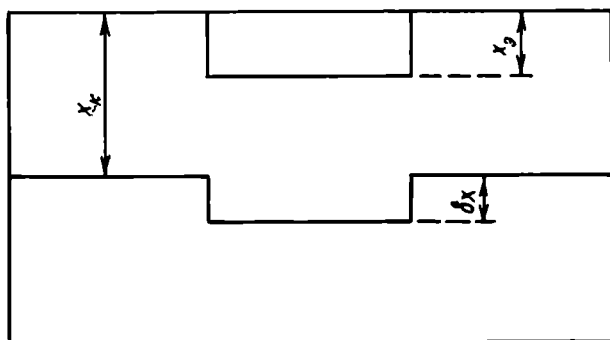


Рис.11. Возникновение дип-эффекта

торного перехода x_k . В начале диффузии фосфора плотность дислокаций резко возрастает в области перед фронтом диффузии и в процессе диффузии пик N_D смещается к x_k . Возникновение

дип-эффекта объясняется ускоренной диффузией коллекторной примеси вдоль линий дислокаций, сконцентрированных в области, радиус которой приблизительно равен радиусу эмиттера. Когда все дислокации, сформированные у эмиттерного перехода, проходят за коллекторный переход и градиент концентрации примесных атомов у x_k становится мал, развитие дип-эффекта прекращается. В образцах с первоначально высокой плотностью дислокаций ($N_D \sim 10^5 \text{ см}^{-2}$) дип-эффект не наблюдался.

Рассмотрим влияние дислокаций на характеристики переключения полупроводниковых приборов. Этот параметр тесно связан с временем жизни неосновных носителей в материале τ_n . Действительно, введение дислокаций плотностью до $(1,5 \cdot 2) \times 10^5 \text{ см}^{-2}$ позволяет в 1,4–2 раза снизить

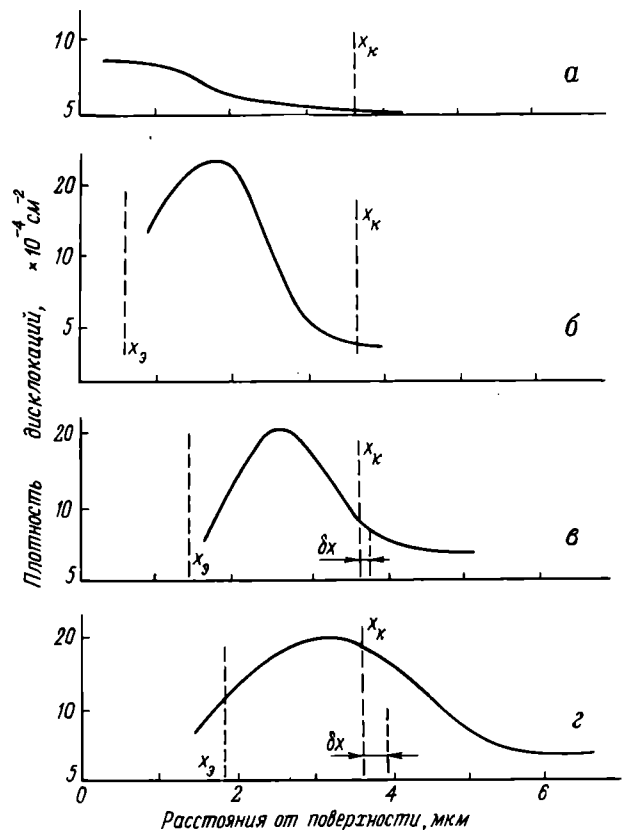


Рис.12. Распределение дислокаций: а — перед диффузией фосфора; б — через 3 мин после начала диффузии; в — через 8 мин; г — через 10 мин

время переключения полупроводниковых приборов без заметного ухудшения электрических характеристик [18]. Однако в работе [12] наблюдался прямо противоположный эффект: время восстановления диодов, созданных в дислокационном материале, возрастало по сравнению с временем восстановления бездислокационных приборов. По-видимому, это можно объяснить влиянием выделений золота, экранирующих дислокационные центры рекомбинации.

Структурные дефекты увеличивают генерацию шума в $p-n$ переходах [18]. В цифровых логических схемах, где выходной сигнал определяется разностью напряжений насыщения базы и коллектора, сравнимой по величине с генерируемым шумом, этот параметр становится критическим.

За последние годы большое развитие получили приборы, основанные на МОП структурах. Перспектива развития МОП приборов и комбинированных больших интегральных схем на их основе очень широка. Поэтому весьма насущным становится вопрос о влиянии структурных дефектов на электрофизические параметры МОП структур. Число работ в этой области весьма незначительно. Однако полученные результаты показывают несомненное влияние кристаллографических несовершенств, в частности дислокаций, на работоспособность и надежность МОП схем.

К числу наиболее важных характеристик МОП структур относятся плотность состояний на границе Si/SiO_2 (N_{ss}) и заряд на границе Si/SiO_2 (Q_{FC}).

Исследуемые МОП конденсаторы [23] изготавливались окислением кремния известной плотности дислокаций ($0-10^9 \text{ см}^{-2}$). Затем проводились высокочастотные (при 1 МГц) и квазистатические вольт-емкостные измерения. Сравнение этих измерений для одного прибора позволяет определить N_{ss} и Q_{FC} .

Для плотности дислокаций $N_D = 10^4 \text{ см}^{-2}$ не было замечено никаких изменений в N_{ss} и Q_{FC} по сравнению с бездислокационными структурами.

При $N_D = 10^4$ некоторые приборы были закорочены и непригодны для $C-U$ измерений. На большинстве исследованных схем обнаружено резкое возрастание Q_{FC} (при $N_D = 10^7 - 10^9 \text{ см}^{-2}$).

Заметных изменений в плотности подвижного за-

ряда и концентрации примеси в дислокационных областях по сравнению с бездислокационными в этих приборах не было замечено. Это позволило сделать вывод о прямом влиянии дислокаций на N_{ss} и Q_{FC} (рис. 13).

Механизм такого влияния неясен, однако оценки [23] показали, что каждая дислокация должна оказывать на $C-U$ характеристику такое же влияние, как заряд плотностью 10^4 ед. зарядов/см². Однако ядро одной дислокации может и не оказывать такого действия. Поэтому предполагается возможность диссоциации дислокации на частичные у границы раздела или образования дефектов упаковки. Возможно также, что размеры электрически активной зоны, связанной с дефектом, значительно превышают его собственные размеры.

При исследовании кремниевых МОП конденсаторов [24] дислокации с краевой компонентой заданной ориентации вводились пластическим изгибом. Измерялись вольт-емкостные характеристики для двух значений температуры (рис. 14).

Увеличение N_D в исходной пластине кремния вызывает общее уменьшение емкости МОП структуры и более резкую зависимость $C_{эфф}$ от U на участке, где $dC_{эфф}/dU \neq 0$. Наличие дислокаций приводит к изменению зонной структуры кристалла: создаются дополнительные уровни в запрещенной зоне и уменьшается число электронов в зоне проводимости.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что суммарный электрический заряд в приповерх-

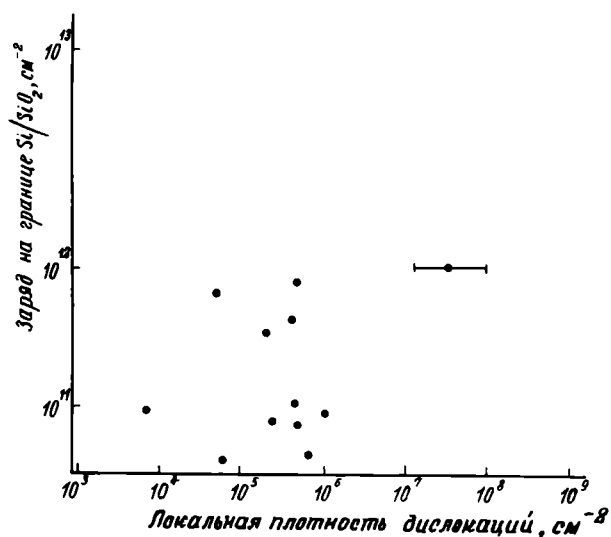


Рис.13. Зависимость Q_{FC} от локальной плотности дислокаций

ностном слое дислокационного электронного кремния меньше, чем бездислокационного, ввиду захвата электронов проводимости на разорванные связи дислокационных акцепторов, поэтому емкость объемного заряда и, соответственно, $C_{эфф}$ уменьшается. С понижением температуры увеличивается вероятность захвата электронов проводимости дислокационными акцепторами, что также влечет за собой уменьшение емкости МОП конденсаторов.

Наличие большого по величине линейного участка вольт-емкостной характеристики, где $dC_{эфф}/dU \neq 0$, и его большой крутизны для МОП структур можно объяснить более стабильным перераспределением пространственного заряда между дислокационными акцепторами и объемом полупроводника, чем на быстрых поверхностных состояниях бездислокационного материала.

Изучалось влияние дефектов в типовой кремниевой подложке, используемой для получения полевых структур, на электрическую прочность окисного слоя толщиной 0,04 мкм и концентрацию генерируемых в приповерхностной области (на глубине ~ 1 мкм) неосновных носителей заряда [25]. Для измерений выбирались образцы ориентации (100) с минимальным количеством дефектов структуры. Распределение плотности дислокаций в приповерхностном слое определялось послойным травлением с последующим селективным травлением. Обнаружено, что плотность выявляемых

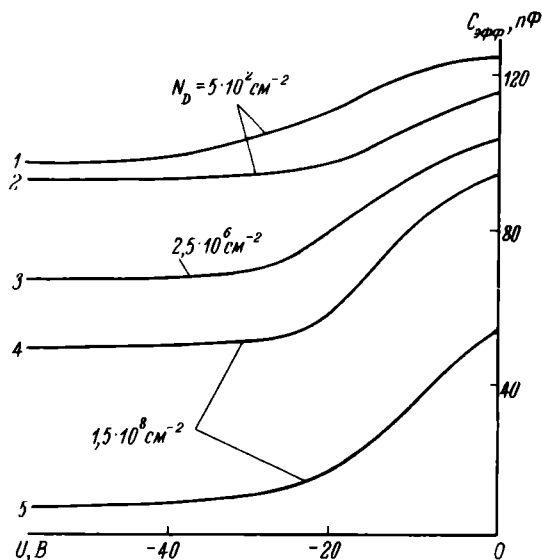


Рис.14. Усредненные вольт-емкостные характеристики МОП структур на основе кремния с различной плотностью дислокаций: 1, 3, 4 — $T = 300$ К; 2, 5 — $T = 78$ К

дислокаций существенно зависит от времени селективного травления (рис. 15). Показано также влияние дефектов нерабочей стороны подложки: если до окисления N_D на нерабочей стороне была велика, то после окисления, независимо от исходной плотности дислокаций, N_D на рабочей стороне также велика.

Обнаружена значительная нестабильность по r_n от прибора к прибору. В образцах, которые тра-

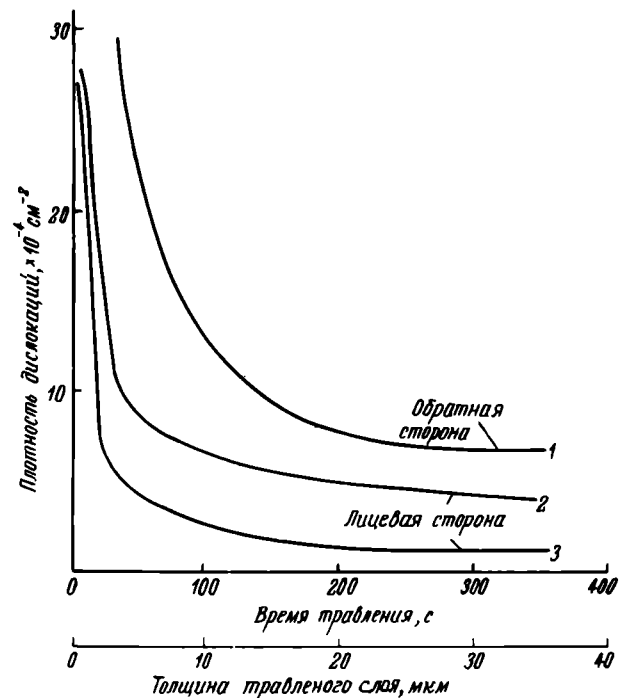


Рис.15. Распределение дислокационных ямок на окисленных кремниевых пластинах после селективного травления в течение 30 с (1, 2) и 15 с (3)

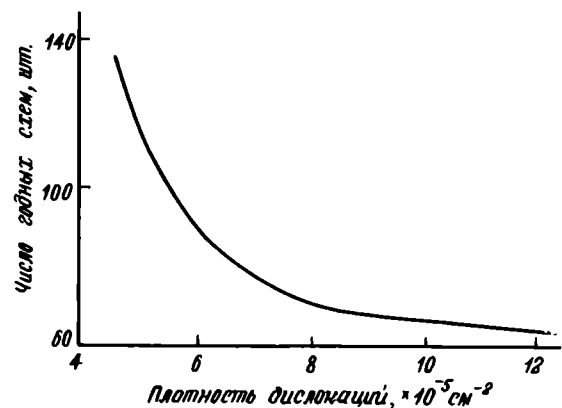


Рис.16. Зависимость числа годных интегральных схем от плотности дислокаций в кремниевой пластине

вились перед окислением (т.е. в которых уменьшалась поверхностная концентрация дислокаций), время жизни больше, чем у нетравленных. По напряжению пробоя наблюдается большая стабильность. На образцах, травившихся перед окислением в чистом кислороде, напряжение пробоя возрастает. Для образцов, окисленных в парах $O_2 + HCl$, пробивные напряжения выше, чем для окисленных в чистом кислороде. Это может быть связано с тем, что HCl подтравливает подложку.

Изучение механизмов влияния дислокаций на характеристики интегральных схем весьма затруднено, так как вследствие малых размеров элементов ИС одна дислокация может пересекать целый ряд различных приборов. Однако число отказавших схем находится в хорошей корреляции с плотностью дислокаций [26] (рис. 16).

Для определения вероятности получения бездефектного диода на дислокационном материале выведена формула [27]: $P_{\text{exp}} = \exp(-N_D \cdot S)$, где S — площадь p - n перехода. По-видимому, для вероятности выхода годных ИС можно применить аналогичную формулу, так как кривая на рис. 16 близка к обратной экспоненциальной зависимости.

Способы уменьшения плотности дислокаций в кремниевых структурах

Возможно существенное уменьшение плотности дислокаций в диффузионных структурах после длительного низкотемпературного отжига на воздухе и в атмосфере азота [28]. Рис. 17 иллюстрирует этот эффект. Увеличение плотности дефектов у поверхности в случае окисления в присутствии N_2 объясняется, по-видимому, диффузией азота в кремний. Отжиг дислокаций происходит из-за аннигиляции дислокаций разных знаков, мигрирующих навстречу друг другу, и выхода дислокаций на поверхность.

Одной из возможных причин появления значительного числа полос скольжения на периферии пластины могут быть термические напряжения, вызванные радиальным температурным градиентом во время нагревания или охлаждения. Большая величина отношения площади поверхности пластины к ее объему, казалось бы, должна гарантировать равномерность нагрева и устранить температурный перепад в радиальном направлении. Однако в кремниевых пластинах после термических циклов часто наблюдалось появление звездообразной картины полос скольжения [29].

Из анализа распределения температуры в тонких пластинах кремния [29] следует, что пластины нагреваются равномерно, если рядом нет каких-либо объектов (лодочки, соседних пластин и т.д.), которые могут действовать как аккумуляторы или экраны теплового излучения. Если пластина в печи расположена горизонтально, то даже при наличии лодочки температура распределяется равномерно при нагревании и охлаждении, потому что теплоотводящее тело лодочки равномерно касается пластины.

Исходя из вышеизложенного, можно предложить способы обработки кремниевых пластин, позволяющие избежать появления полос скольжения на краях пластин под действием температурного градиента:

- медленный ввод и вывод лодочки с пластинами в диффузионную печь (скорость не более 10 град/мин);
- определение оптимального расстояния между пластинами с целью исключения влияния лодочки и соседних пластин;
- использование лодочки для горизонтального размещения пластин в печи;
- применение специальной лодочки, позволяющей уменьшить влияние теплового поля от стен диффузионной печи.

Резкому увеличению количества полос скольжения на краю пластин способствуют механические нарушения (царапины, сколы), появляющиеся на боковой поверхности пластины при обработке боковой поверхности слитка. Плотность дефектов, образующихся на периферии, можно в значитель-

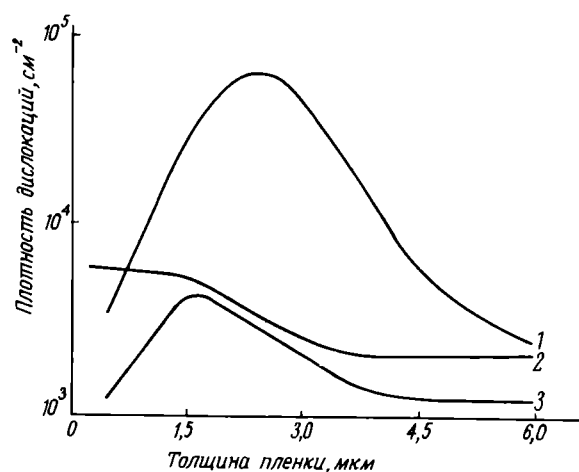


Рис. 17. Распределение дислокаций в диффузионной структуре: 1 — до отжига; 2 — после отжига в атмосфере азота; 3 — после отжига на воздухе; $T_{\text{отж}} = 800^\circ\text{C}$; $t_{\text{отж}} = 8 \text{ ч}$

ной степени уменьшить, если удалить нарушенную кромку кремниевой пластины каким-либо немеханическим способом [30]. Химическое удаление нарушенной кромки пластины, которая содержала развитую систему полос скольжения на периферии, способствовало уменьшению их плотности после термического окисления пластины. Это можно объяснить двумя причинами: движением дислокаций к краю пластины во время высокотемпературной обработки или аннигиляцией дислокаций с векторами Бюргерса противоположных знаков.

В работе [13] указываются четыре основных требования к изготовлению кремниевых диодов с минимальной плотностью дефектов. (Эти же требования можно отнести к изготовлению любого полупроводникового прибора):

- избегать прикосновения к образцам жесткими предметами, в том числе и пинцетом;
- следить за тем, чтобы на пластинах не появлялись трещины и царапины при очистке;
- применять лодочки такой конструкции, которая не вызывает возникновения механических напряжений из-за неравномерного градиента температуры;
- избавляться от механических повреждений на краях пластин, возникающих при полировке.

Соблюдение этих требований позволило авторам работы [13] изготовить пластины, выход годных приборов на которых превышал 90 %.

В заключение следует отметить, что дислокации, являясь активными дефектами, оказывают существенное влияние на функционирование полупроводниковых приборов и ИС. Задача выяснения физических механизмов этого влияния весьма актуальна. Эту работу, по нашему мнению, следует вести в трех взаимосвязанных направлениях:

- экспериментальное исследование распределения структурных несовершенств, возникающих в материале во время стандартных технологических процессов изготовления биполярных и МОП схем, при комплексном использовании различных рентгенотопографических, микрорентгеноспектрального, металлографического и электронно-микроскопического методов наблюдения дислокаций;
- построение физических моделей воздействия одной дислокации (или дислокационной сетки заданной плотности) на электрические параметры биполярных и униполярных приборов с количественной оценкой этого воздействия. Эксперимен-

тальная проверка построенных моделей на указанных объектах и попытка оценить количественно вероятность выхода годных ИС при заданном распределении дислокаций;

– отыскание эффективных путей уменьшения плотности дислокаций заданной ориентации путем предварительной обработки материала или введения соответствующих операций на определенном этапе технологического процесса.

Проведение такого исследования позволит, с одной стороны, выяснить природу влияния структурных дефектов на полупроводниковые приборы, что представляет большой научный интерес, а с другой – дать соответствующие технологические рекомендации, которые позволят повысить выход годных приборов, увеличить их качество и надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матаре Г.Ф. Электроника дефектов в полупроводниках. М., "Мир", 1974.
2. Пшеничнов Ю.П. Выявление тонкой структуры кристаллов. Справочник. М., "Металлургия", 1974.
3. Амелинкс С. Методы прямого наблюдения дислокаций. М., "Мир", 1968.
4. Зеленов В.И., Лейкин В.Н., Мингазин Т.А. Неразрушающие методы рентгеновской топографии в производстве БИС. – "Электронная пром-сть", 1978, вып.6.
5. Chikawa J., Shirai Sh. Melting of silicon crystals and a possible origin of swirl defects. – "J. of Crystal Growth", 1977, vol.39, N 2.
6. Schwuttke G.H. Silicon material problems in semiconductor device technology. – "Microelectronics and Reliability", 1970, vol.9, N 5.
7. Washburn J., Thomas G., Quesser H.J. Diffusion-induced dislocations in silicon. – "J. Appl. Phys.", 1964, vol.35, N 6.
8. McDonald R.A., Ehlenberger G.G., Huffman T.R. Control of diffusion induced dislocations in phosphorus diffused silicon. – "Solid State Electronics", 1966, vol.9, N 8.
9. Максимов С.К., Лукьянчук Т.И., Горелик С.С., Карацуба А.П., Мышляев М.М., Ходос И.И. Особенности формирования дислокационных петель в кремнии при ионном введении бора и фосфора и последующем отжиге. – "Физика и химия обработки материалов", 1975, № 6.
10. Зеленов В.И., Мингазин Т.А. Рентгенотопографические исследования кремниевых пластин в процессе производства планарно-эпитаксиальных транзисторов. – "Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника", 1975, вып.5.
11. Зеленов В.И., Мингазин Т.А. Влияние структурных дефектов на пробой коллекторных р-п переходов планарно-эпитаксиальных транзисторов. – "Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника", 1975, вып.3 (57).
12. Fairfield J.M., Schwuttke G.H. Precipitation effects in diffused transistor structures. – "J. Appl. Phys.", 1966, vol.37, N 4.
13. Fairfield J.M., Schwuttke G.H. The influence of crystallographic defects on device performance. – "J. of the Electrochemical Society", 1966, vol.113, N 11.

14. Parekh P.C., Gavel E., Lyn V. Observations of EE dislocations using sirtl etchant and their influence on transistor parameters. — "Solid-State Electronics", 1970, vol.13, N 5.
15. Tretola A.R., Yrvin G.C. Correlation of the physical location of crystal defects with electrical imperfections in GaAs $p-n$ junctions. — "J.Appl.Phys.", 1968, vol.39, N 8.
16. Lawrence J.E. Behavior of dislocations in silicon semiconductor devices: diffusion, electrical. — "J. of the Electrochemical Society", 1968, vol.115, N 8.
17. Афанасьев В.Ф., Афанасьева Н.П. О связи неоднородности распределения удельного сопротивления и плотности дислокаций в кремнии. — "Физика твердого тела", 1969, т.11, № 11.
18. Сборник трудов по полупроводниковым материалам, приборам и их применению. Воронеж, 1968 (Воронежский политехнический институт).
19. Пантелеев В.А., Барышев Р.С., Лайнер Л.В., Зими́на А.Г., Паху́тина Е.Ф. Влияние размеров примесного атома на диффузию вдоль дислокаций в кремнии. — "Физика твердого тела", 1974, т.16, № 2.
20. Пантелеев В.А., Барышев Р.С. Влияние дислокаций на диффузию элементов IV группы в кремнии. — "Физика твердого тела", 1974, т.16, № 9.
21. Kästner S., Hesse J. The influence of dislocations on the diffusion of gold in silicon. — "Physica status solidi (a)", 1974, vol.25, N 1.
22. Maeda M., Tanimoto M. Emitter dip effect in double-diffused $n-p-n$ silicon transistors. — "Physica status solidi (a)", 1973, vol.16, N 1.
23. McCaughan D.V., Wonsiewie B.C. Effects of dislocations on the properties of metal — SiO_2 — silicon capacitors. — "J.Appl. Phys.", 1974, vol.45, N 11.
24. Сеченов Д.А., Захаров А.Г., Светличны́й А.М. Структура металл — диэлектрик — полупроводник на основе дислокационного кремния. — "Известия вузов. Сер. Физика", 1972, № 2.
25. Osburn C.M., Ormond D.W. The effect of silicon wafer imperfections on minority carrier generation and dielectric breakdown in MOS structures. — "J. of the Electrochemical Society", 1974, vol.121, N 9.
26. Савранский И.И. О связи между плотностью дислокаций и выходом годных интегральных схем. — "Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника", 1975, вып.3.
27. Валиев В.А., Котко А.П., Казенков Г.Г., Баталов Б.В. Об учете неравномерности распределения дефектов при оценке вероятности выхода годных интегральных полупроводниковых схем. — В кн.: Микроэлектроника. М., "Сов. радио", 1972, вып.5.
28. Афанасович В.Ф., Василевская В.П., Болтовец П.С., Конакова Р.В., Мальцева И.А., Рыбалка В.В., Суворова Л.М., Хоменко Л.А. Влияние термообработки на распределение плотности дислокаций и возможность изготовления бездефектных кремниевых $p^{++}n^{++}$ -диодов. — В кн.: Полупроводниковая техника и микроэлектроника. Киев, "Наукова думка", 1974, вып.15.
29. Morizane K., Gleim P.S. Thermal stress and plastic deformation of thin silicon slices. — "J. Appl. Phys.", 1969, vol.40, N 10.
30. Патент Японии № 476127.

А. А. Захаров, В. В. Казанцев

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Рассмотренные методы неразрушающего контроля положены в основу создания автоматизированного измерительного комплекса, предназначенного для анализа концентрационного профиля в различных режимах по нескольким параметрам контакта полупроводник — электролит с одновременной регистрацией результатов анализа с помощью ЦПУ.

УДК 621.315.602:621.357

При разработке и создании оптоэлектронных устройств большое внимание уделяется надежным методам неразрушающего выходного контроля многослойных эпитаксиальных и диффузионных структур.

Широко распространенная методика исследования профилей распределения концентрации носителей в слоях, базирующаяся на вольт-фарадных измерениях обратно смещенных барьеров Шоттки, не только связана с большой трудоемкостью (вследствие необходимости многократного химического послойного травливания), но и не обеспечивает достаточной точности измерений из-за низкой воспроизводимости свойств барьера полупроводник-металл и трудности контроля толщины удаляемых при травлировании слоев.

Максимальная глубина возможного определения концентрационного профиля с поверхности лимитируется предельным обратным смещением, величина которого не должна превышать напряжения пробоя слоя объемного заряда.

Исследования свойств границы раздела полупроводник-электролит показали возможность использования для разработки методов контроля концентрационных профилей и состава твердых растворов в многослойных эпитаксиальных и диффузионных структурах таких зависимостей, как емкость

объемного заряда контакта полупроводник-электролит, вольт-амперные и фотопотенциальные характеристики этого контакта.

По характеру взаимодействия электролитов с полупроводником, а также по способу реализации методики измерений могут быть выделены три основных электрохимических метода определения концентрационных профилей структур:

— комбинированный вольт-фарадный метод, основанный на измерении емкости контакта полупроводник-электролит и электрохимическом удалении слоев;

— метод непрерывного химического травления в инжектирующем травителе с одновременным измерением электрохимического потенциала полупроводникового электрода относительно раствора травления;

— метод регистрации поляризационных характеристик полупроводникового электрода при его электрохимическом травлении в условиях светового возбуждения.

Во всех методах травление должно обеспечивать, во-первых, однородную и плоскопараллельную по отношению к первоначальной поверхности контакта полупроводник-электролит (с целью проведения локального анализа структуры) и минимальное ее увеличение в результате бокового растравливания и развития рельефа контролируемой площади. Эти условия выполняются при оптимальном выборе напряжений и токов, уровня освещенности и состава электролита путем использования универсальной электролитической ячейки (рис. 1). Такая ячейка имеет калиброванное отверстие, локализирующее область контакта полупроводника с электролитом, стандартный электрод сравнения, токоподводящие электроды, дополнительный электрод для измерения емкости, устройство для быстрого закрепления и снятия образца, регулируемый источник света. Она дает возможность проводить необходимые измерения на поверхности малой площади, не нарушая исследуемой структуры.

Комбинированный вольт-фарадный метод позволяет исключить многократное послойное травление и формирование барьера, присущие обычно вольт-фарадному методу, и полностью автоматизировать процесс измерения.

Методика измерения концентрационного профиля в общем случае делится на две чередующиеся фазы: собственно измерение емкости контакта полупроводник-электролит при нулевом или малом обратном смещении и анодное растворение анали-

зируемого слоя полупроводника. Если исследуется структура, содержащая слои только n -типа проводимости, то измерение емкости может проводиться непрерывно при рабочем потенциале травления. Количество удаленного материала пропорционально величине заряда на контакте. Число циклов измерения определяется сложностью исследуемого профиля. Емкость измеряется автоматическим мостом переменного тока, на выходе которого подключается аналоговое преобразующее устройство для пересчета величины емкости непосредственно в концентрацию носителей (рис. 2).

Известно, что вольт-фарадные характеристики арсенида галлия и других соединений $A^{III}B^V$ в контакте с электролитом хорошо воспроизводимы, а в случае использования достаточно концентрированного электролита соответствуют теоретическим зависимостям барьера Шоттки [1]. Основным фактором, определяющим емкость контакта, является барьер Шоттки внутри полупроводника, а слои Гюи и Гельмгольца, располагающиеся на границе раздела полупроводник-электролит, не оказывают существенного влияния на величину емкости. В таком случае концентрация носителей заряда в при-

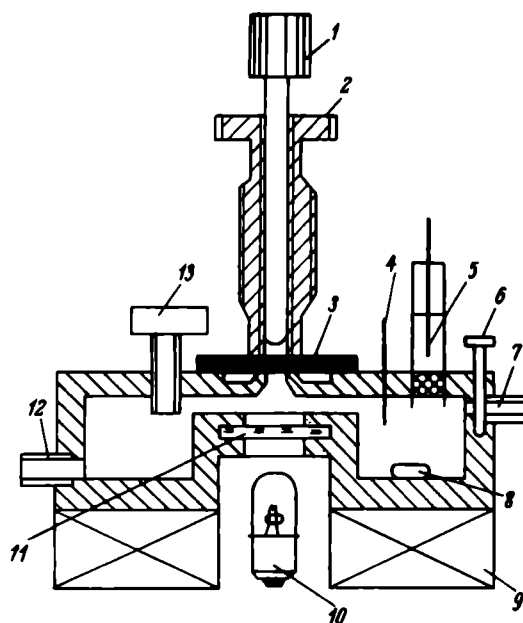


Рис. 1. Схема универсальной электролитической ячейки для измерения концентрационных профилей эпитаксиальных структур: 1, 2 — контактный и прижимной плунжеры; 3 — измеряемая структура; 4 и 5 — платиновый и хлорсеребряный электроды; 6 — клапан регулировки подачи электролита; 7 — ввод электролита; 8 и 9 — магнитная мешалка; 10 — осветительная лампа; 11 — прозрачное окно; 12 — выход электролита; 13 — плунжер-катод

поверхностном слое определяется по формуле Мотта-Шоттки

$$n = 2 \varphi C^2 / e \epsilon \epsilon_0 S^2$$

где $\varphi = U + U_g$ (U — внешнее обратное смещение, U_g — диффузионный потенциал); e — заряд электрона; ϵ и ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость арсенида галлия и вакуума соответственно; S — площадь контакта полупроводник—электролит. Это выражение справедливо в случае равномерного распределения примеси в обедненном слое, и его использование вполне допустимо при данном методе измерения, поскольку при малых обратных смещениях толщина обедненного слоя не превышает 0,3 мкм при концентрации носителей 10^{16} см^{-3} .

Повысить точность измерений можно, исключив из зависимости Мотта-Шоттки U_g , являющийся функцией концентрации носителей в полупроводнике. Для этого необходимо использовать разностный метод измерения потенциалов U_1 и U_2 при фиксированных значениях емкостей C_1 и C_2 . Тогда концентрация носителей

$$n = 2 (U_1 - U_2) C_1^2 \cdot C_2^2 / e \epsilon \epsilon_0 S^2 (C_1^2 - C_2^2).$$

Особенностью контроля слоев с проводимостью p -типа является необходимость приложения к полупроводниковому электроду отрицательного по отношению к электролиту потенциала, что приводит к катодной реакции, загрязняющей поверхность полупроводника. Однако этот процесс при кратковременном периоде измерения емкости (отношение зарядов, протекающих через контакт в процессе анодного растворения и измерения емкости, выбирается не менее 100:1) можно не учитывать. Необходимо отметить, что p - n переходы данным методом не могут быть выявлены [2], по-

скольку при приближении объемного заряда к диффузионной области p - n перехода проявляется кажущееся увеличение концентрации носителей из-за увеличения емкости слоя объемного заряда контакта.

Проводя измерения емкости на различной частоте, можно получить дополнительную информацию о соотношении глубоких и мелких примесных уровней [3, 4].

При методе непрерывного химического травления в инжектирующем травителе в качестве растворов используются инжектирующие травители, удаляющие слои без изменения рельефа поверхности и ее плоскопараллельности.

Режим травления выбирается с применением освещения, за счет которого изменяется фотопотенциал полупроводника. Величина фотопотенциала зависит от концентрации носителей и влияет на величину электрохимического потенциала электрода $\varphi_{\text{св}}$, что позволяет построить калибровочную кривую (рис. 3, а), по которой производится оценка концентрации носителей в соответствии с измеренным значением потенциала электрода.

Для структур, имеющих лишь слои n -типа проводимости, достаточно точное измерение концентрации электронов достигается при использовании импульсного освещения. При этом длительность световых импульсов выбирается меньше времени перестройки двойного слоя в электролите. Величина разностного фотопотенциала $\Delta \varphi_{\text{св}} = \varphi_{\text{св}} - \varphi_{\text{т}}$ зависит от концентрации электронов и времени жизни дырок в полупроводнике. Учитывая данные работы [5], влиянием последнего фактора можно пренебречь и выразить $\Delta \varphi_{\text{св}}$ лишь как функцию концентрации электронов (рис. 3, б).

Измерение электрохимического потенциала проводится относительно насыщенного стандартного хлорсеребряного электрода с использованием компенсационной схемы и регистрацией потенциала на самописце.

В основу метода регистрации поляризационных характеристик положено чередование процессов послойного удаления полупроводника путем анодного растворения и снятия поляризационных характеристик при интенсивном освещении. Выбор потенциала анодного растворения проводится из условия получения высококачественной поверхности травления, исключающего нарушение плоскопараллельности фронта травления из-за локальных пробоов и разрушение поверхностного слоя полупроводника, а интенсивное освещение обеспечивает требуемую скорость растворения. Так как при этом

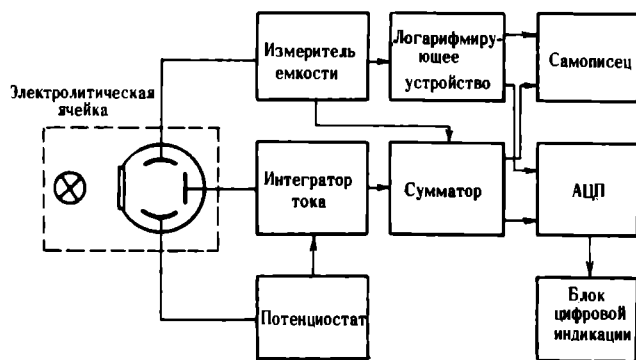


Рис. 2. Блок-схема устройства для измерения профиля концентрации носителей электрохимическим вольт-фарadayным методом

методе используются достаточно концентрированные электролиты, перенос заряда лимитируется наличием дырок в полупроводниковом электроде, и фактически все приложенное между электродом и электролитом напряжение падает на области пространственного заряда внутри полупроводника, т.е. можно пренебречь падением напряжения на слое Гюи-Гельмгольца в электролите.

С целью сопоставления электрохимических параметров полупроводника со значениями концентрации носителей были исследованы характеристики электродов из арсенида галлия *n*-типа в электролитической ячейке. Результаты исследований подтверждают возможность определения концентрации носителей непосредственно в процессе электрохимического удаления слоев исследуемой структуры и показывают, что данный метод позволяет

также определить диффузионную длину и время жизни неосновных носителей.

Зависимости поляризационных кривых от концентрации электронов в поверхностном слое (рис. 4) при достаточной интенсивности освещения имеют ярко выраженные участки насыщения фототока.

Плотность фототока на участках насыщения определяется в соответствии с выражением [6]:

$$j = -e\Phi \left[1 - \frac{\exp(-\alpha w)}{1 + \alpha L_p} \right],$$

где Φ — интенсивность освещения; α — коэффициент оптического поглощения; L_p — диффузионная длина неосновных носителей (дырок); w — ширина обедненного слоя, являющаяся функцией потенциального барьера $\phi = U + U_g$ на границе полупро-

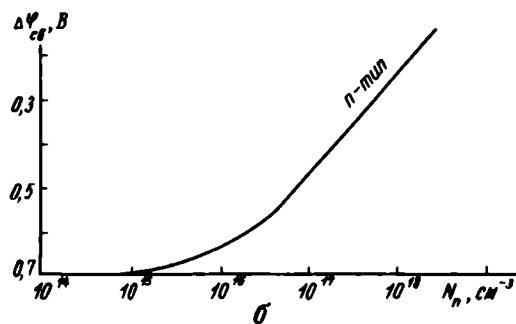
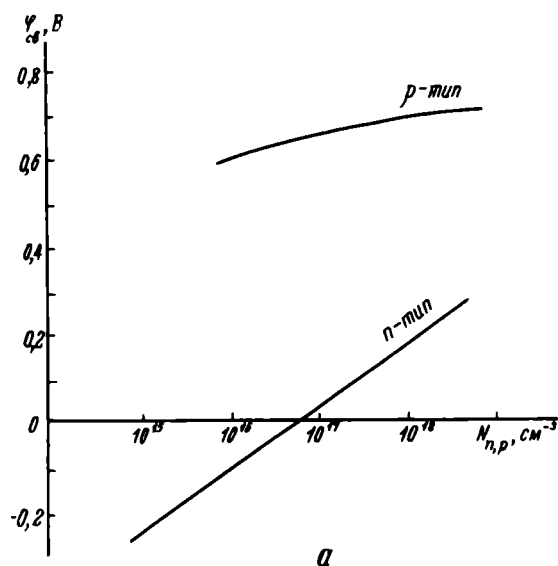


Рис. 3. Зависимости электрохимического потенциала (а) и разностного фотопотенциала (б) арсенида галлия в коррозионном электролите $\text{FeCl}_3 + \text{HClO}_4$ от концентрации носителей

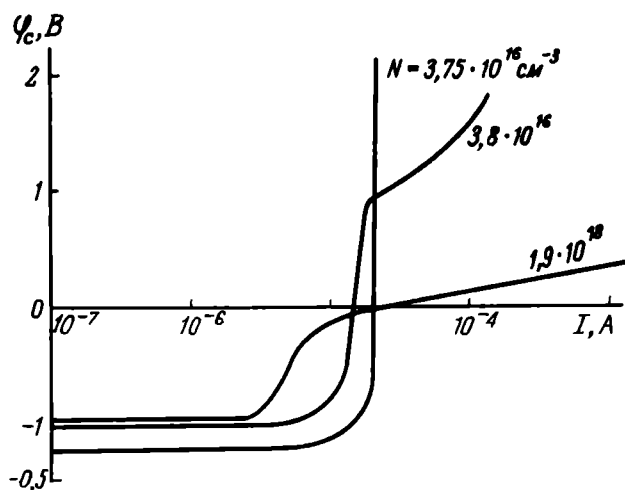


Рис. 4. Поляризационные характеристики арсенида галлия при различной концентрации электронов

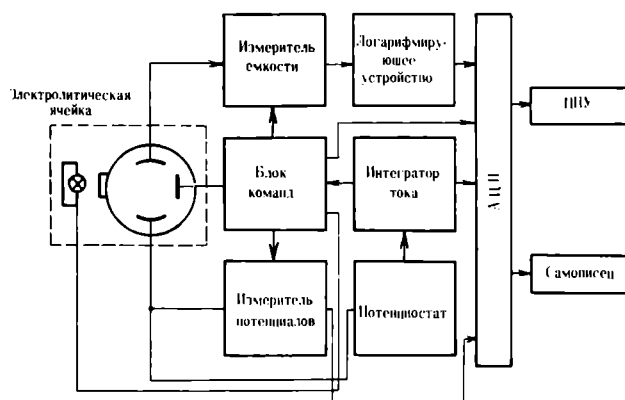


Рис. 5. Блок-схема автоматизированного измерительного комплекса определения концентрационных профилей эпитаксиальных структур электрохимическими методами

водника и электролита, а также концентрации носителей в полупроводнике:

$$w = \left(\frac{2 \epsilon \epsilon_0 \Phi}{en} \right)^{1/2},$$

откуда равновесная концентрация основных носителей может быть определена как

$$n = \frac{2 \epsilon \epsilon_0 \Phi}{ew^2}.$$

Концентрация носителей может быть рассчитана по известным величинам w , получаемым путем сравнения экспериментальных и теоретических поляризационных характеристик. Набор кривых теоретических зависимостей получают посредством подстановки ряда значений диффузионной длины L_p и ширины обедненной зоны w в приведенное выше выражение для плотности фототока. Расчетные кривые записываются с помощью программируемого калькулятора и самописца до получения наилучшего совпадения с экспериментальной кривой. В дальнейших расчетах используются соответствующие данной теоретической кривой значения w и L_p .

Метод позволяет контролировать многослойные n -структуры практически без ограничений по толщине. Используя различную скорость записи вольт-амперных характеристик, можно оценить соотношение глубоких и мелких примесных уровней.

Рассмотренные методы положены в основу автоматизированного измерительного комплекса (рис. 5), проводящего анализ концентрационных профилей эпитаксиальных структур. Выбор метода измерения определяется типом структур и задается программой измерений в блоке команд. Программа предусматривает разделение или совмещение во времени процессов удаления полупроводника и контроля параметров, задает шаг измерений концентрационного профиля, форму вывода данных и др. Регистрация результатов измерений проводится в печатной форме либо графически на самописце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борковская О.Ю., Дмитрук И.Т., Терешенко А.К. Определение профиля легирования полупроводниковых пленок из измерений поверхностно-барьерной емкости. — "Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы", 1976, вып. 5.
2. Ambridge T., Faktor M.M. An electrochemical technique for automatic depth profiles of carrier concentration. International Symposium on gallium arsenide and related compounds, Deauville, France, Sept. 24–26, 1974, Institute of Physics.
3. Gamashita A., Gamaguchi M., Aoki T. Impurity profile determination in epitaxial GaAs crystal on high-resistivity substrates. — "Jap. J. Appl. Phys.", 1973, vol. 12.

4. Ambridge T., Faktor M.M. Electrochemical capacitance characterization of n-type gallium arsenide — "J. Appl. Electrochem.", 1973, vol. 3.

5. Бергманн Я.В., Данильченко В.Г., Корольков В.И., Никитин В.Г., Степанова М.И., Третьяков Д.Н. Диффузионная длина дырок в слаболегированном арсениде галлия. — ФТП, 1976, т. 10.

6. Ambridge T., Elliot C.R., Faktor M.M. The electrochemical characterization of n-type gallium arsenide. — "J. Appl. Electrochem.", 1974, vol. 4.

Статья поступила 5 июля 1978 г.

А. Е. Гершинский, Е. И. Черепов

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

Методы анодного растворения и анодного окисления позволяют достаточно быстро обнаруживать индивидуальные слои в многослойных структурах и с высокой точностью определять их толщину.

УДК 621.3.049.77.002:621.357

В процессе нанесения и термообработки многослойных тонкопленочных систем, широко применяемых в производстве ИС, между слоями индивидуальных веществ могут образовываться промежуточные слои, состоящие из интерметаллических, химических соединений или твердых растворов исходных веществ. До настоящего времени практический контроль эффективных толщин таких слоев был затруднителен из-за отсутствия достаточно простых методов их обнаружения и определения толщины.

Одним из методов, которые могут быть рекомендованы для решения данной задачи, является электрохимический, в частности анодное растворение (катодное восстановление) или анодное окисление [1].

Возможность определения числа слоев в многослойной системе при *электрохимическом анодном растворении (катодном восстановлении)* основана на том хорошо известном экспериментальном факте, что различные материалы (металлы, интерметаллические и химические соединения) имеют различные электродные потенциалы.

Поэтому зависимость электродного потенциала или э.д.с. от времени протекания процесса электрохимического растворения (восстановления) при постоянном токе можно выразить в виде кривой, состоящей из ряда прямоугольных ступенек с постоянным значением потенциала (э.д.с.) на каждой, которое характеризует растворение индивидуального или промежуточного слоя. Число таких участков свидетельствует о количестве слоев в системе или числе фаз в многофазном слое.

Толщина слоев в многослойной системе определяется на основании закона Фарадея по количеству электричества, затрачиваемого на растворение (восстановление) данного слоя. Поскольку растворение проводится при постоянном токе, толщина слоя пропорциональна времени растворения, при котором электродный потенциал имеет постоянное значение. Однако такой способ измерения толщины корректен лишь при условии, что выход реакции по току составляет 100%, т.е. на электроде не происходит никакой другой реакции. Кроме того, для однозначной интерпретации кривых потенциал – время при исследовании тонкопленочных систем необходимо, чтобы отсутствовали чисто электрохимические процессы, такие, как пассивация электрода при работе в граничном режиме.

Поскольку практически невозможно выбрать такой электролит, в котором бы растворялись (восстанавливались) материалы всех слоев системы и выход по току каждого материала составлял 100%, в целях устранения погрешности, связанной с неточным определением плотности тонкой пленки, толщина последней вычисляется по формуле $d = \alpha Q = \alpha It$ [2], где коэффициент пропорциональности α определен экспериментально для каждого слоя на образцах известной толщины.

Для упрощения измерений вместо электродного потенциала или э.д.с. можно фиксировать изменение во времени тока анодного растворения как функцию электродного потенциала, если напряжение источника питания выбрать того же порядка, что и значения электродного потенциала или э.д.с. ячейки в схеме измерения.

Конструкция ячейки, используемой для проведения электрохимических процессов (рис.1), обеспечивает величину площади растворения (или другого электрохимического процесса) $3,14 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ и повторяемость этого значения от одного измерения к другому не хуже 1%.

Большое значение для обнаружения слоев в многослойной системе и измерения их толщин электрохимическими методами [2, 3] имеет выбор электролита. С этой целью используют диаграммы зависимости изменения потенциала электродов и растворимости твердых фаз от pH раствора [4, 5]. По ним определяется область значений pH раствора, в которой продукты взаимодействия материала с электролитом растворимы, а электродные потенциалы материалов, входящих в многослойную структуру, существенно различаются.

В качестве иллюстрации применения электрохимического метода для обнаружения индивидуальных слоев и измерения их толщины приведены токо-временные кривые растворения различных пленок и многослойных систем (рис.2, 3). Исследования показали, что токо-временная кривая, со-

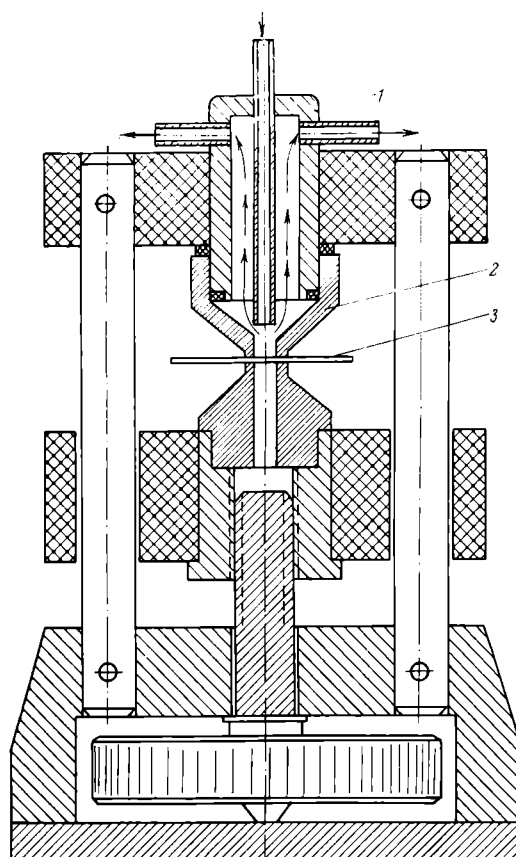


Рис. 1. Конструкция электролитической ячейки: 1 – катод с трубками для протока электролита; 2 – оправка, ограничивающая площадь растворения; 3 – подложка с исследуемыми слоями

ответствующая однослойному промежуточному интерметаллическому соединению (рис.3,а), не отличается от токо-временной кривой растворения системы, состоящей из трех слоев различных материалов (см.рис.2,в) [6], а токо-временная кривая промежуточного слоя, состоящего из двух интерметаллических соединений (рис.3,б), аналогична кривой растворения четырехслойной системы.

Электрохимическое анодное растворение может быть использовано для измерения эффективных толщин слоев силицидов, образующихся как в

процессе осаждения металла на поверхность монокристалла кремния, так и в процессе технологической обработки системы металл-Si (рис.3,в) [7], а также для определения эффективных толщин *p*-слоев, образованных на *n*-кремнии в результате различных обработок поверхности кремния (рис.3,г) или его взаимодействия с примесями элементов третьей группы.

Электрохимический метод обладает высокой разрешающей способностью. Так, при исследовании системы Cu-Al слой интерметаллического соединения CuAl₂ с эффективной толщиной ~5 нм обнаруживался анодным растворением уже непосредственно после нанесения алюминия на пленку меди, в то время как электронографическими исследованиями этот слой выявляется при значи-

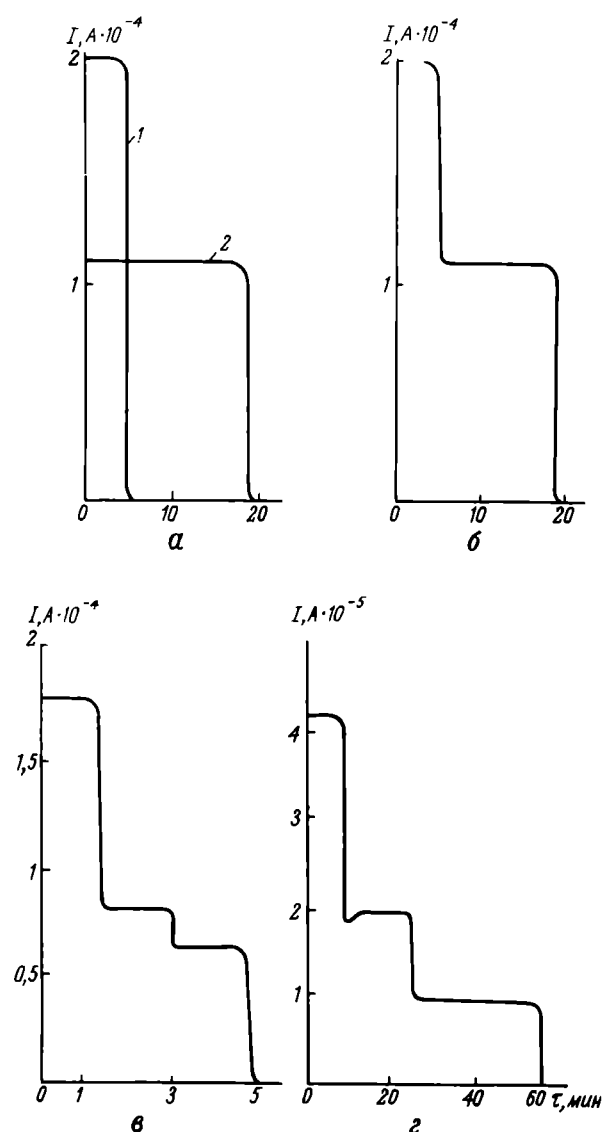


Рис. 2. Токо-временные кривые растворения различных систем: а – тонких пленок Cu толщиной 890 нм (1) и Ti толщиной 1060 нм (2) в электролите: 24 г NH₄F + 0,8 г CuSO₄ на 100 мл H₂O; б – двухслойной тонкопленочной системы Cu (890 нм) – Ti (770 нм) в том же электролите; в – трехслойной системы Al (260 нм) – V (68 нм) – Cu (76 нм) в 8%-ном водном растворе KOH; г – трехслойной системы Al-Si (полукристаллический) – Mo в электролите: 3 г KF · HF + 3 г Al₂(SO₄)₃ + 4 мл H₂SO₄ на 90 мл H₂O

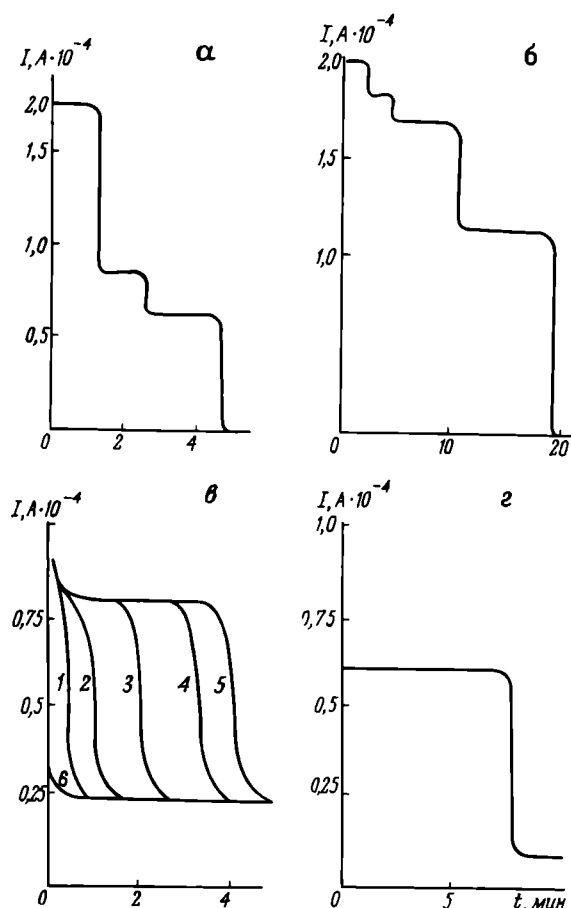


Рис. 3. Токо-временные кривые растворения двухслойных систем: а – Al-Cu с промежуточным слоем CuAl₂ толщиной 84 нм в 8%-ном водном растворе KOH; б – Cu-Ti с промежуточным слоем, состоящим из интерметаллических соединений Ti₂Cu₃ и TiCu с эффективными толщинами 200 и 600 нм соответственно в электролите: 24 г NH₄F + 0,8 г CuSO₄ на 100 мл H₂O; в – VSix-Si (*n*-типа) с эффективной толщиной силицида, нм: 15,4 (1), 56,6 (2), 124 (3), 242 (4), 464 (5) и монокристалла кремния *n*-типа (6) в 3%-ном водном растворе KF · HF; г – кремния *p*-типа толщиной 1 мкм на монокристалле кремния *n*-типа в том же электролите

тельно большей величине последнего, для чего необходимо было дополнительно подвергнуть исследуемую систему отжигу в вакууме при температуре 150°C.

Вместе с тем метод анодного растворения не может быть использован для определения толщины пленки диэлектрика, так как требует достаточно больших значений плотности электрического тока (от 1 мкА до 1 мА на см²), что может привести к изменениям свойств таких диэлектриков, как SiO₂ и Al₂O₃.

Метод электрохимического анодного окисления позволяет измерить толщину пленки диэлектрика не только на поверхности металла и полупроводника, но и в сэндвич-структуре между двумя пленками вентильных металлов (например, Al-Al₂O₃-Al) или между пленкой металла и монокристаллом кремния (Al-SiO₂-Si). Этот метод дает возможность определять также толщины пленок вентильных металлов, нанесенных на диэлектрическую подложку или на поверхность пленки другого металла или полупроводника.

Для проведения измерений методом анодного окисления используется та же схема, что и при анодном растворении, однако напряжение батареи составляет ~ 100–500 В (в зависимости от толщины многослойной системы). В качестве электролита может быть использован водный раствор 3%-ного кислого виннокислого аммония.

При окислении тонкой пленки по мере нарастания слоя окисла увеличивается сопротивление в цепи, и значение тока уменьшается. После полного окисления пленки величина тока либо резко падает до нулевого значения, если пленка нанесена на диэлектрическую подложку (рис. 4, а), либо на токо-временных кривых появляется перегиб, если пленка нанесена на поверхность другого металла или полупроводника (рис. 4, б). Толщина слоя при этом определяется также по величине количества электричества, затраченного на окисление исследуемой системы. В тонкопленочных системах, содержащих слой диэлектрика, таких, как окисел-металл (рис. 4, в), окисел-полупроводник, металл-окисел-металл, окисление верхнего металлического слоя протекает также, как и окисление тонкой пленки металла на диэлектрической подложке. Окисление нижнего слоя металла (полупроводника), лежащего под слоем диэлектрика, происходит только после того, как в слое диэлектрика будет создано электрическое поле, достаточное для передвижения ионов металла. Известно, что если процесс окисления протекает при постоянном токе, то падение напряжения на образовавшемся слое окисла пропорционально его толщине. В соответствии с этим нетрудно показать, что при анодном окислении металла, лежащего под слоем диэлектрика, величина тока будет отличаться от значения тока окисления

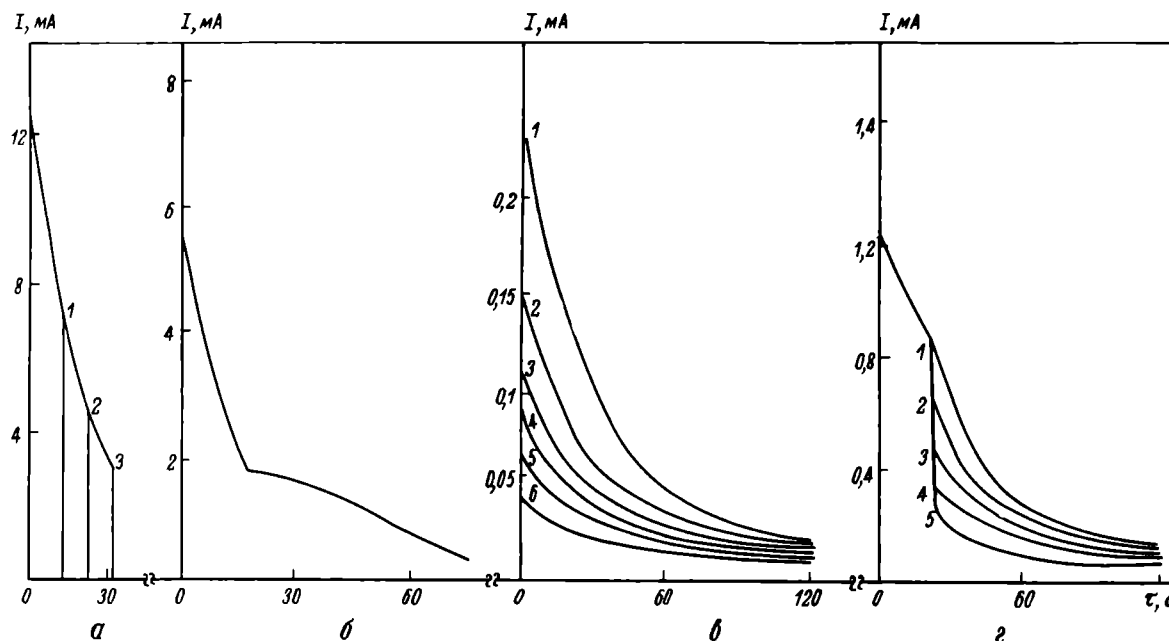


Рис. 4. Токо-временные кривые окисления: а — пленок Al толщиной, нм: 116(1), 190(2) и 221(3); б — системы Al-Ti ($d_{\text{Al}} = 61$ нм); в — пленок Al (1) и системы Al₂O₃-Al с толщиной Al₂O₃, нм: 30(2), 50(3), 60(4), 70(5) и 80(6); г — структуры Al-Al₂O₃-Al с толщиной Al₂O₃, нм: 5(1), 20(2), 40(3), 60(4), 80(5)

металла без слоя диэлектрика на величину, пропорциональную толщине слоя диэлектрика.

При анодном окислении тонкопленочной системы М-Д-М наблюдается скачок в величине тока, соответствующий прохождению фронта окисления через слой диэлектрика (рис.4,1), причем величина этого скачка пропорциональна толщине слоя диэлектрика. Аналогичные зависимости имеют место и при окислении других тонкопленочных систем ($\text{Al-TiO}_2\text{-Ti}$, $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$, $\text{Al-Ta}_2\text{O}_5\text{-Ta}$, $\text{Al-ZrO}_2\text{-Zr}$ и др.).

Метод анодного окисления особенно эффективен при исследовании структур типа Al-InSb , Al-GaAs . В этом случае он используется для определения толщины выращиваемого слоя диэлектрика и для контроля толщины каждого индивидуального слоя. С помощью метода анодного окисления можно измерять толщины пленок от нескольких монослоев до нескольких десятков микрон как на поверхности металлов, так и в сэндвич-структурах между двумя металлами. Так, в структурах $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ и $\text{Al-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ четко фиксировался слой Al_2O_3 , образующийся на поверхности пленки алюминия в атмосферных условиях, который обычно не превышает 3–5 нм.

Таким образом, электрохимический метод может с успехом использоваться при разработке новых и совершенствовании имеющихся технологических процессов изготовления многослойных тонкопленочных структур для обнаружения промежуточных слоев и измерения их толщины и толщин исходных пленок. Его применение позволит повысить надежность и процент выхода годных ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Окисление металлов. М. "Металлургия", 1968.
2. Гершинский А.Е., Хороменко А.А., Черепов Е.И. Investigation of reactive diffusion in the thin film system Cu-Ti . — "Phys. Stat. Sol.", 1975, vol. 31.
3. Гершинский А.Е., Косцов Э.Г. Авт. свидетельство № 324592. — БИ, 1972, № 2.
4. Новые проблемы современной электрохимии. М., "Мир", 1978.
5. Pourbaix M. Atlas d'équilibres électrochimiques. Paris, 1963.
6. Гершинский А.Е., Фомин Б.И., Черепов Е.И., Эдельман Ф.Л. Investigation of diffusion in the Cu-Al thin film system. — "Thin. Solid Films", 1977, vol. 42.
7. Фомин Б.И., Гершинский А.Е., Черепов Е.И., Эдельман Ф.Л. Investigation of phase growth kinetics in the system of Si single crystals and v thin films. — "Phys. Stat. Sol." (a), 1976, vol. 36, K89.
8. Юнг Л. Анодные окисные пленки. Л., "Энергия", 1967.

Статья поступила 15 июня 1978 г.

В. С. Балюк, Е. Г. Котенко,
В. В. Панков

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ЭВП СВЧ

Система осуществляет автоматический сбор, измерение и централизованное отображение на экране ЭЛТ информации о текущих значениях электрических параметров ЭВП СВЧ. Число контролируемых параметров — 16, записываемых символов — 128.

УДК 621.317.799:621.385

Измерительно-информационная система (ИИС) предназначена для автоматизации метрологических операций при проведении стендовых испытаний ЭВП СВЧ.

Техническая характеристика ИИС

Погрешность измерения (без учета погрешности датчиков), %	не хуже 0,3
Скорость обновления данных, мс / параметр	20
Число контролируемых параметров	16
Число записываемых символов (16 строк по 8 символов)	128
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	200
Габариты (без цифрового вольтметра), мм	600×250×510
Масса (без цифрового вольтметра), кг	15

ИИС (рис.1) позволяет проводить автоматический сбор, измерение и централизованное отображение

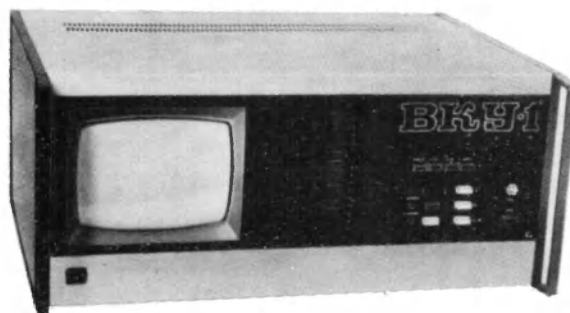


Рис. 1. Измерительно-информационная система

на экране ЭЛТ информации о текущих значениях электрических параметров приборов. Кроме того, буферное запоминающее устройство (БЗУ) обеспечивает длительное хранение записанной информации и дает возможность фотографировать отображенные данные с экрана ЭЛТ. Получаемые результаты измерений могут быть занесены непосредственно в технический формуляр или паспорт на изделие.

ИИС производит поочередное измерение и одновременную индикацию значений шестнадцати различных параметров с указанием на экране ЭЛТ их места отбора и условного обозначения.

Запись данных на экране осуществляется символами: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, P, H, I, F, —

Каждый параметр представляется восьмью символами, включая условное обозначение, полярность и цифровую величину.

Специальное устройство обеспечивает возможность набора композиций параметров, подлежащих контролю. При этом параметры, исключенные из набора, не опрашиваются, а вместо символов на месте их отбора индицируются точки.

ИИС может работать в четырех режимах:

- непрерывном, при котором параметры, подлежащие контролю, последовательно опрашиваются и индицируются на экране ЭЛТ;
- циклическом, при котором циклы измерений параметров, подлежащих контролю, следуют с

— ручном, при котором поочередное измерение контролируемых параметров осуществляется оператором.

Функциональная схема ИИС представлена на рис. 2.

Данные о параметрах, подлежащих измерению, с выхода датчиков поступают на входы аналогового мультиплексора, осуществляющего поочередное подключение их к входу цифрового вольтметра. Результаты измерений в двоично-десятичном коде при помощи цифрового мультиплексора распределяются по ячейкам БЗУ. С каждым циклом опроса датчиков данные в БЗУ обновляются. Скорость обновления находится в зависимости от режима работы ИИС, который задается оператором.

Синхронизацию работы перечисленных блоков осуществляет блок автоматики. Устройство отображения, состоящее из синтезатора символов и генераторов строчной и кадровой разверток, формирует импульсы запроса, по которым из буферной памяти последовательно выводится информация об измеренных значениях параметров.

За один кадр на экран ЭЛТ выводится вся информация, находящаяся в БЗУ.

Диапазон измеряемых величин определяется типом применяемых датчиков.

Разработанная ИИС может найти широкое применение в контрольно-измерительных установках,

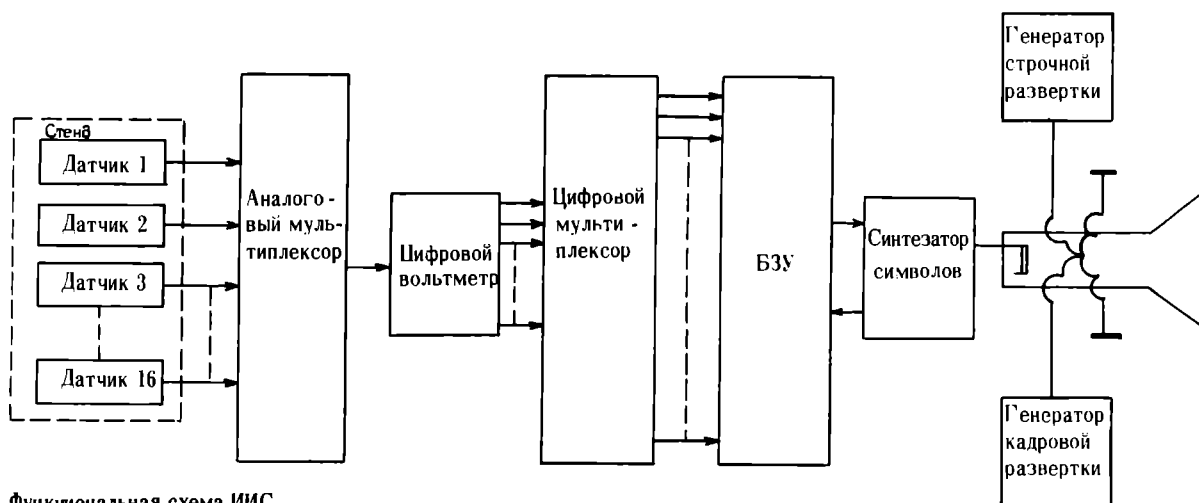


Рис. 2. Функциональная схема ИИС

заданным интервалом при запоминании измеренных величин на экране ЭЛТ;

- выборочном, при котором контролируется непрерывное измерение только одного параметра;

где необходима автоматизация измерительных процессов.

Статья поступила 5 сентября 1977 г

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ



С. С. Горбач, А. А. Прокопьев

СОВЕРШЕНСТВОВАТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ РУКОВОДЯЩИХ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИ- ЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ОТРАСЛИ

УДК 658.386

В постановлении ЦК КПСС "О работе партийных организаций Башкирии по усилению роли экономического образования трудящихся в повышении эффективности производства и качества работы в свете решений XXV съезда КПСС" подчеркивается необходимость усиления практической направленности экономической учебы на изучение актуальных вопросов производственной деятельности объединений и предприятий.

Коллегия министерства рассмотрела вопрос о состоянии экономического образования в отрасли и задачи, вытекающие из постановления ЦК КПСС.

Интенсивное развитие экономики отрасли, сокращение длительности цикла "исследование—производство", совершенствование структуры объединений и предприятий, экономического механизма управления ими требуют постоянного

улучшения экономической подготовки прежде всего руководящих и инженерно-технических кадров.

1977/78 учебный год был годом особенным — он совпал с выдающимися событиями в жизни нашей партии и народа — принятием новой Конституции СССР, празднованием 60-летия Великого Октября. Все эти вопросы были включены в учебные планы системы экономического образования. Во исполнение постановления ЦК КПСС "Об улучшении экономического образования трудящихся" в отрасли за этот период проделана значительная работа.

Во всех объединениях и на предприятиях действуют методические советы по экономическому образованию, которые проводят большую организаторскую и методическую работу. Экономическая учеба направлена на решение конкретных вопросов производства, поставленных XXV съездом партии.

Улучшена работа по подготовке и переподготовке пропагандистских кадров. Укреплена учебно-материальная база, на многих предприятиях созданы оснащенные современными техническими средствами обучения и учебно-методической литературой экономические кабинеты. Так, на одном из предприятий кабинет экономики оборудован пультом управления (с кафедрой), обеспечивающим работу киноустановки, диапроектора, магнитофона, цветного телевизора, механизированного подъема и опускания экрана. В кабинете наглядно представлены планшеты, диаграммы, отражающие экономику завода и города. На базе одного из научно-исследовательских институтов в текущем году будет создан отраслевой методический кабинет по экономике, который возглавит сбор информации о

современных достижениях экономической науки, изучение и распространение в отрасли передового опыта, организационное и методическое руководство деятельностью советов по экономическому образованию на предприятиях. На основе обобщения опыта работы планируется разработка типового положения о совете по экономическому образованию НИИ, КБ и промышленного предприятия. Типовым положением закрепляется структура совета, в состав которого входят:

- заместитель директора по экономическим вопросам;
- заместитель директора по кадрам;
- представители общественных организаций;
- руководители отдельных подразделений;
- ведущие экономисты.

Экономической учебой охвачено около трети руководящих и инженерно-технических работников отрасли, в том числе по формам обучения:

- в теоретических семинарах сети политического просвещения на предприятиях и организациях отрасли по типовым программам 16%;
- в народных университетах (по экономическим вопросам) 4%;
- в экономических школах 8%;
- в системе повышения квалификации по экономическим дисциплинам (институты, курсы, факультеты повышения квалификации) 2%;
- в университетах марксизма-ленинизма (экономический факультет) 1%.

По достоинству оценивая достигнутое, коллегия министерства обратила особое внимание на необходимость качественного улучшения экономической учебы. На некоторых предприятиях занятия проходят в отрыве от актуальных проблем производства, без глубокого анализа экономических методов и форм совершенствования социалистической системы хозяйствования.

Качественное улучшение экономической подготовленности руководящих и инженерно-технических работников, расширение и углубление знаний основ хозяйственного расчета, ценообразования изделий электронной техники будут способствовать снижению себестоимости разрабатываемых и производимых в отрасли изделий с высокими техническими характеристиками.

В деле устранения этих недостатков существенную роль, с нашей точки зрения, могут сыграть курсы целевого назначения по конкретным вопросам экономики. В настоящее время накоплен положительный опыт организации таких курсов. Занятия проводятся для определенных, однородных по своему составу групп руководящих работников объединений и предприятий по двухнедельной насыщенной программе с полным отрывом от работы. Слушатели курсов изучают экономику

современного производства электронных приборов, которые должны обладать не только отличным качеством, но и невысокой себестоимостью. После окончания лекций и практических занятий каждый готовит к защите выпускную работу. Тематика работ носит практический характер и, в основном, заключается в экономическом обосновании научно-тематических планов для НИИ и КБ и производственных программ для промышленных предприятий на очередной планируемый год. Такая организация учебы широко себя оправдала. Практически на всех предприятиях, в НИИ и КБ, руководящие работники которых проходили переподготовку, были вскрыты не изученные ранее пути повышения эффективности и качества работы.

При дальнейшем распространении данного опыта необходимо по-прежнему обращать особое внимание на конкретный, прикладной характер проводимого экономического анализа, результаты работы должны послужить предметом широкого изучения и обсуждения на семинарах в сети экономического обучения на предприятиях и в объединениях. Внедрение предложений, высказанных слушателями курсов в рефератах, должно постоянно находиться под контролем администрации, советов по экономическому образованию, регламентироваться соответствующими директивными указаниями. В отдельных организациях созданы, например, постоянно действующие комиссии, которые активно участвуют в деле обеспечения внедрения предложений, требующих взаимодействия с другими отраслями, между предприятиями и организациями. Особое внимание советам необходимо обратить на формы подведения итогов учебного года в системе экономического образования.

Программы обучения, на наш взгляд, кроме основных вопросов планирования и расчета себестоимости, ценообразования, эффективности использования производственных фондов, должны предусматривать анализ структуры и определение путей снижения накладных расходов на производство.

Важной проблемой является оценка деятельности как объединений и предприятий в целом, так и отдельных их подразделений. От ее решения зависит правильность распределения фондов материального стимулирования, оплаты труда инженерно-технических работников. В 1976–1978 гг. в отрасли проведено достаточно глубокое изучение вопросов использования показателя общественной производительности труда для оценки и сопоставления деятельности промышленных предприятий, трудовых затрат на НИР и ОКР при оценке и сопоставлении работы НИИ и КБ [1,2]. Новая, комплексная форма организации работы на ряде объединений и предприятий отрасли позволила

значительно сократить длительность цикла "исследование—производство", усилить материальную заинтересованность работников НИИ и КБ во внедрении результатов НИР и ОКР в производство [3,4].

Работа советов должна осуществляться по единому плану, в котором необходимо отразить вопрос подготовки пропагандистских кадров, контроль за качеством проведения занятий, методическое руководство.

В минувшем учебном году на предприятиях отрасли широко использовалась такая важная форма подготовки пропагандистов, как проведение методических и научно-практических конференций, на которых обобщался передовой опыт пропагандистской работы, намечались пути и формы ее дальнейшего совершенствования. Так, например, в одном из объединений проведены конференции на темы: "Учить слушателей самостоятельно овладевать знаниями и применять их на практике — важнейшая задача пропагандистов", "Государственный план объединения и задачи пропагандистов", "Пути и средства повышения эффективности экономического образования в свете решений XXV съезда КПСС" и др. Среди пропагандистов отрасли в 1977/78 учебном году широкое распространение получило движение "Пропагандист — пятилетке эффективности и качества", которое нашло свое воплощение в личных творческих планах пропагандистов. Так, например, в одном из объединений согласно личным творческим планам проведены дополнительные занятия, на которых слушатели экономически обосновывали и защищали проекты коллективных и личных социалистических обязательств.

Экономическая учеба, несомненно, способствует развитию творческой активности руководящих и инженерно-технических работников, повышению их заинтересованности в результатах своей деятельности, пониманию своего вклада в деятельность подразделения, предприятия, отрасли.

В 1978/79 учебном году в системе политического и экономического образования будет продолжено дальнейшее глубокое изучение материалов XXV съезда КПСС, июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС, Конституции СССР — конституции развитого социалистического общества, трудов Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР товарища Л.И. Брежнева.

В ближайшее время предполагается провести три-четыре специальных занятия по изучению материалов июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС, определить роль каждого коллектива в реализации мер по дальнейшему подъему сельского хозяйства, рассмотреть актуальные вопросы внешней политики СССР и идеологической борьбы на международной

арене. В программу занятий войдет изучение книги товарища Л.И. Брежнева "Актуальные вопросы идеологической работы КПСС".

Необходимо значительно усилить практическую направленность учебы, улучшить работу по развитию у слушателей конкретного экономического мышления, умения применять полученные знания в деле управления производством, в борьбе за рост производительности труда, повышение качества продукции на каждом рабочем месте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гохшанд А.Д., Раевская А.В. Факторный анализ роста производительности труда. — "Электронная пром-сть", 1977, вып. 1.
2. Экономика, организация и планирование электронной промышленности. Под ред. Стуколова П.М. М., "Экономика", 1976.
3. Филатов О.В. Совершенствование управления производственным объединением. — "Электронная пром-сть", 1976, вып. 5.
4. Шелюхин Ю.Г. Сокращение цикла "разработка — производство" в условиях совместной работы НИИ с заводом. "Электронная пром-сть", 1976, вып. 6.

Статья поступила 15 сентября 1978 г.

Трибуну-начальнику цеха

Э.И. Погоцкий

начальник цеха

РАБОТАТЬ С НАИБОЛЬШЕЙ ОТДАЧЕЙ

Каждый начальник цеха хочет, чтобы его коллектив работал хорошо. Но как этого добиться? Эту проблему решают все по-разному.

Я считаю, что начинать надо с работы с людьми. Руководитель должен знать, чем живет коллектив, что волнует людей, что мешает им работать лучше, с большей отдачей. Поэтому нужно обязательно посещать профсоюзные собрания смен и участков, внимательно прислушиваться к выступлениям рабочих.

В начале каждого месяца руководство цеха обсуждает вскрытые недостатки. Составляется список критических замечаний, устанавливаются сроки исполнения и конкретные исполнители. Вопросы группируются по сущности проблемы и характеру исполнения: замечания по работе оборудования, по технике безопасности, идеологической работе, быту и т.д. В конце месяца проводится контроль, какие

из выявленных недостатков устранены, а какие еще предстоит устранить. Ответы на вопросы, заданные на общих собраниях смен и участков, вывешиваются на стенде, чтобы рабочие смогли убедиться в том, что замечания их приняты во внимание.

Практика проверок дисциплинировала, в первую очередь, мастеров и технологов. Оказалось, что основная масса производственных неувязок происходит по их вине. И если раньше мастер или начальник участка старались умолчать о своих недоработках и "узких" местах, то сейчас они серьезно относятся к их устранению, все производственные вопросы решаются более оперативно.

Высокий уровень профессиональной и общепрофессиональной подготовки является обязательным требованием к современному рабочему. Рабочий должен уметь творчески использовать новую технику, быть рационализатором, неуклонно повышать производительность труда, обеспечивать выпуск продукции высокого качества.

Администрация цеха уделяет большое внимание повышению профессионального мастерства работающих, овладению смежными специальностями. В цехе существует четкая система подготовки рабочих и инженерно-технических работников: ведется обучение на производственно-технических курсах, в школах передовых методов труда, на курсах целевого назначения, овладения вторыми и смежными профессиями. Специалистами цеха в качестве учебных наглядных пособий разработаны различные альбомы, плакаты, диапозитивы, диафильмы, а для слушателей школы передовых методов труда снят видеофильм.

Повышению профессионального мастерства рабочих цеха способствует учеба в школе коммунистического труда, кружках экономических знаний.

Для инженерно-технических работников цеха обязательным является повышение уровня общетехнических и специальных знаний в народном университете на факультетах организаторов производства и технологическом. ИТР цеха обучаются на курсах повышения квалификации, в республиканском институте повышения квалификации. О работе, проводимой по повышению профессионального мастерства всех членов коллектива, свидетельствует тот факт, что наш коллектив на протяжении четырех лет выходит победителем в межцеховом смотре подготовки и повышения квалификации кадров.

Совершенствование организации производства, строгий хозяйственный расчет и правильное планирование, умелое сочетание моральных и материальных стимулов, массовый трудовой энтузиазм и широко развернувшееся социалистическое соревнование позволили коллективу цеха значительно повысить объем производства только за счет роста

производительности труда, без увеличения численности рабочих.

Основной регулирующий документ в вопросах организации соцсоревнования и подведения его итогов — внутрицеховые условия организации трудового соперничества.

Известно, что соревнование за повышение эффективности производства и качество работы, за перевыполнение планов и заданий по сути начинается с разработки обязательств отдельных работников, бригад, смен и участков. И, разумеется, чем конкретнее и обоснованнее обязательства, тем выше действенность социалистического соревнования.

В цехе существует система организации социалистического соревнования среди ИТР и рабочих на основе принятия личных творческих планов повышения производительности труда на каждом рабочем месте. Каждый работник знает, в какой зависимости находится выполнение заданий коллектива от результатов его личного труда, может определить долю своего участия в трудовых достижениях всего коллектива цеха.

Широкое распространение практики разработки и осуществления личных планов-обязательств рабочими, ИТР способствует более активному вовлечению всех работников в борьбу за совершенствование техники и технологии, повышение профессионального мастерства, а значит достижению высоких и устойчивых темпов роста производительности труда, улучшению качества продукции, всемерной экономии материальных ресурсов. Для оказания практической помощи рабочим по расчетам принимаемых личных творческих планов повышения производительности труда, своевременного обобщения и распространения передового опыта в цехе создана творческая бригада. Бригада рассчитала и довела до каждого рабочего личный производственный план-задание в действующих норма-часах, исходя из задания по росту производительности труда, запланированного по цеху на пятилетку с разбивкой по годам. Анализируя установленные производственные планы-задания и имеющиеся резервы по их выполнению, рабочие принимают личные встречные планы-обязательства, на основе которых строятся встречные планы коллективов бригад, участков, цеха.

Среди рабочих и ИТР цеха организовано индивидуальное соревнование за звания "Лучший рабочий", "Лучший наставник молодежи", "Передовик пятилетки", "Ударник коммунистического труда". Коллективное соревнование в цехе организовано между бригадами, сменами и участками.

Все шире разворачивается движение рабочих за предоставление им права трудиться с личным клеймом, присвоение званий "Отличник качества" и "Бригада отличного качества". Перевод рабочих на самоконт-

роль является эффективной формой воспитания и повышения ответственности за качество выполняемой работы.

В распространении опыта передовиков и ценных починов — крупнейший резерв повышения эффективности производства и качества работы, а вместе с тем и один из важнейших путей усиления действенности соревнования.

Наш коллектив первым в объединении поддержал инициативу передовиков "Пятилетку — за 4,5 года". Широкий размах получил почин "Юбилейной вахте — ударный финиш". У нас в коллективе родилось начинание "Каждый месяц экономить день". Все это свидетельствует о сознательном, творческом труде рабочих, приобщении их к управлению производством. Экономический эффект от внедрения ценных начинаний исчисляется десятками тысяч рублей.

Осуществление стоящих перед цехом больших и сложных задач требует мобилизации сил, знаний и умений, дальнейшего повышения трудовой активности всего коллектива. Недаром призывы партии — "Сегодня работать лучше, чем вчера, завтра — лучше чем сегодня" — стал лозунгом дня. А лучше — это значит упор на качество, на эффективность, на рост производительности труда. Именно здесь — сердцевина социалистических обязательств, как и вообще всей нашей хозяйственной деятельности.

В настоящее время особо подчеркивается необходимость усиления режима экономии, снижения себестоимости и материалоемкости выпускаемой продукции, обеспечения хозяйского, рачительного отношения к использованию сырья, материалов, энергии. Рациональное использование материалов сулит огромные выгоды государству. В этом отношении рабочими и ИТР сделано немало. В движение за экономию и бережливость вовлечены все рабочие и инженерно-технические работники. Постоянно работая над совершенствованием технологии, модернизацией оборудования, мы стремимся к тому, чтобы каждый грамм материала использовался эффективно, чтобы производственные издержки сводились к минимуму. В цехе проводится ряд действенных мероприятий по эффективному использованию материалов. Создана и постоянно действует комиссия по экономии материальных ресурсов, которая ежемесячно заслушивает отчеты мастеров, начальников участков и технологов по вопросам контроля за фактическим использованием материалов, рассматривает предложения, направленные на экономию материалов, замену дефицитных дорогостоящих материалов менее дефицитными и более дешевыми.

Активно работают в этом направлении группы народного контроля. Народные дозорные проводят

массовые рейды и проверки по экономии материалов, вносят предложения и рекомендации по более рациональному их использованию. Ход борьбы за экономию и бережливость отражается на красочно оформленных стендах, куда заносят фамилии рабочих и инженерно-технических работников, подавших наиболее интересные предложения, определяется экономический эффект от их внедрения.

Мы стремимся создать в коллективе обстановку, наиболее благоприятную для творческой активности каждого работника. Любое предложение, направленное на снижение трудоемкости и материальных затрат, рост процента выхода годных, улучшение качества и условий труда, от кого бы оно ни исходило, в нашем цехе поддерживается и стимулируется.

Большое внимание уделяется снижению трудоемкости изделий. Это внедрение новых технологических процессов и совершенствование существующих, внедрение нового, более прогрессивного оборудования, автоматизации и механизации технологического процесса, сокращение объема контрольных операций, освоение многостаночного обслуживания, пересмотр устаревших норм и т.д.

Десятая пятилетка — пятилетка эффективности и качества — поставила перед нашим коллективом сложные задачи. В нынешнем году предстоит сделать немало. Мы обязались весь рост объемов производства обеспечить за счет повышения производительности труда. Нам предстоит освоить более сложные и прогрессивные типы изделий, снизить их себестоимость и улучшить параметры, увеличить выход годных и сроки их службы, повысить качество продукции.

Необходимо изыскать резервы повышения эффективности труда и досрочно, за 4,5 года выполнить пятилетнее задание. Это и будет весомым вкладом нашего коллектива в выполнение решений XXV съезда КПСС.

В. Ф. Тебеньков

начальник цеха

К НОВЫМ УСПЕХАМ

В обязанности начальника цеха входят задачи организационного и воспитательного характера, вопросы улучшения условий труда, культуры произ-

водства, техники безопасности, качества выпускаемой продукции, внедрения новой техники, совершенствования технологии, рационализации.

Для того чтобы обеспечить качественный и глубокий подход к решению каждой из вышеназванных задач, исключить выпадение отдельных вопросов из поля зрения до момента, пока он не станет "горячим", у нас создана плановая система отчетности по каждому вопросу мастеров и руководителей служб перед начальником цеха. В установленное время круг людей, связанных с решением данного вопроса, собирается у начальника цеха, где анализируется состояние дел, эффективность выполняемых мероприятий и, в случае необходимости, принимаются дополнительные конкретные решения, устанавливаются сроки и ответственные исполнители. Большое значение придается укреплению трудовой дисциплины и порядка на производстве. На каждом участке создана атмосфера нетерпимости ко всякого рода нарушениям трудовой дисциплины, каждый такой случай разбирается на рабочих собраниях участка, принимаются самые активные меры по их устранению. Большую помощь нам оказывают общественный отдел кадров, совет профилактики, цеховой комитет, товарищеский суд.

Цеховой коллектив — это первичный производственный коллектив людей, непосредственно занятых созданием материальных ценностей. Следует добиваться, чтобы каждый заботился об успехах коллектива, смело вскрывал недостатки, вносил предложения по их устранению. Ведущая роль в развитии инициативы и творчества рабочих у нас отводится рабочим собраниям.

В последнее время регулярное проведение рабочих собраний на участках стало органической неотъемлемой частью всей производственной деятельности цеха. Тематика собраний обширна и злободневна. Это вопросы контроля качества выпускаемой продукции, соблюдения трудовой дисциплины, соблюдения правил и норм по охране труда и технике безопасности, внедрения новой техники и технологии, рационализации, улучшения технико-экономических показателей выпускаемой продукции, повышения профессионального и культурного уровня работников и т.д.

Регулярно в цехе подводятся итоги работы с кадрами, оценивается эффективность принятых мер по борьбе с прогулами, опозданиями, внутрисменными потерями рабочего времени. За последние два года почти в два раза уменьшилось число нарушений трудовой дисциплины, к минимуму сведены случаи нарушения технологии, возросла взаимовыручка участков. Уже в течение нескольких месяцев в цехе нет штурмовщины, работа ведется ритмично, улучшилось качество выпускаемой продукции.

Большое внимание уделяется вопросам повыше-

ния производительности труда. Вводятся технически обоснованные нормы.

В целях упорядочения нормирования в настоящее время создаются комплексные бригады с оплатой по конечным результатам труда. По такой системе уже работают три участка.

Коллектив нашего цеха широким фронтом ведет борьбу за экономию сырья и материалов. Так, на участке сборки по инициативе коллектива разработано премиальное положение за снижение отходов слюды. Для контроля существуют специальные карточки, своего рода лицевые счета экономии. Работник видит итоги своей работы за каждый прошедший день, имеет возможность определить, насколько рачительно обошелся он с комплектующими изделиями и материалами, сравнить свои результаты с результатами товарища. После введения такой системы потери на участке заметно сократились.

Немалое внимание мы уделяем повышению профессионального мастерства рабочих, в котором видим залог повышения эффективности и качества работ. В цехе организована и постоянно действует квалификационная комиссия, в задачи которой входит не только определение профессионального уровня рабочих, но и организация внутрицехового обучения. С рабочими проводятся практические занятия, где изучаются рациональные приемы труда, рассматриваются вопросы экономики, технологии производства.

Мощным рычагом в повышении качества и эффективности работы является социалистическое соревнование. В внутрицеховом соревновании участвуют все 15 производственных участков. Ежемесячно на расширенном цеховом комитете подводятся итоги работы участков по балльной системе. Определены конкретные показатели работы, на основании которых начисляются баллы. Каждый участок соревнуется с каким-то другим участком цеха по специальным договорным обязательствам.

Существенное место в социалистическом соревновании занимают конкурсы "Лучший по профессии". Они всегда проходят интересно, с участием широкого круга работников и дают положительные результаты. Сейчас в цехе самый высокий на заводе средний разряд работающих — 3,7.

В ближайшем будущем нам предстоит осваивать производство нового малогабаритного конденсатора. Работа предстоит сложная, но интересная. И основная задача сейчас — мобилизовать коллектив, подготовить его морально и технически для решения этой важной проблемы.

А.И.Перников

УВЛЕЧЕННОСТЬ И ПОИСК

Механосборочный цех — один из основных на предприятии. Номенклатура его изделий превышает двадцать наименований, годовой объем продукции по приборам исчисляется миллионами рублей. В 1977 году по результатам внутривзаводского соревнования цех семь раз завоевывал призовые места. В соревновании в честь 60-летия Великого Октября он также вышел победителем. Годом раньше механосборочный удостоен звания "Цех высокой культуры производства". А ведь было время, когда этот цех собирались закрыть как бесперспективный, передав его функции другому предприятию. С тех пор, как коллектив возглавляет Анатолий Ефремович Быховцев, не было ни одного месяца, чтобы он не выполнил своего производственного плана. В этом, безусловно, большая заслуга руководителя цеха. Быстрый, находчивый, энергичный, ищущий и увлеченный, строгий и требовательный к себе и подчиненным, иногда, может быть, даже жестковатый, но вместе с тем внимательный, заботливый — вот те основные качества специалиста и руководителя, которые так удачно объединились в этом человеке.

Рост А.Е.Быховцева как руководителя вполне закономерен: начинал слесарем, потом учился в институте, работал технологом, старшим технологом, начальником техбюро и вот — начальник цеха.

Анатолий Ефремович умеет доводить начатое дело до конца. Был такой случай. Делали взрывозащитные рамки для кинескопов. После прессов на изделии оставались царапины, от которых никак не могли избавиться. В поисках решения Быховцев обошел почти все крупнейшие промышленные предприятия города, испробовал сотни вариантов. И, наконец, причина брака была найдена. Оказалось, надо заменить смазывающий материал другим, собственного изготовления. От царапин не осталось и следа — изделие засияло зеркальной чистотой.

Работу в механосборочном Быховцев начал с подбора кадров. Когда-то продукция цеха была несложной, и работающие в нем высокой квалификацией не отличались. Чтобы с теми же людьми осуществить качественный переход на выпуск новой продукции высочайшей сложности, точности, тонкости, надо было учиться и учить людей. Одних знал, с другими пришлось знакомиться. Прежде, чем принять кого-то в цех, подолгу беседовал с каждым, стремясь как можно глубже узнать человека. Быховцев уже тогда видел перспективу механосборочного, его завтрашний день и не хотел большое дело доверять случайным людям, допустить,

чтобы цех стал своего рода проходным двором: пришел — ушел. Высокой зарплатой Анатолий Ефремович никого не прельщал. Наоборот, умышленно несколько занижал ее, рассказывал о сложности производства. Настоящий человек не побоялся трудностей.

Люди росли вместе с цехом. Только уже и не цех, а, можно сказать, завод в заводе. Для сравнения того, что было и что есть, показательны такие цифры: если ранее производственные площади цеха нестандартного оборудования занимали всего лишь восемьсот квадратных метров, то сегодняшний механосборочный, один из красивейших цехов предприятия, раскинулся на 3,5 тыс. квадратных метров.

А.Е.Быховцев постоянно изучает новейшую технику, технологию и организацию производства, вносит предложения по замене устаревшего оборудования, механизации и автоматизации производственных процессов. Немало усилий приложил он, чтобы организовать непосредственно в цехе участок по изготовлению технологической оснастки (вспомогательный цех поставлял ее несвоевременно и в недостаточном количестве) и, таким образом, решить вопрос увеличения производства приборов. Ему принадлежит инициатива внедрения в цехе литейного производства. Все это позволило не только значительно увеличить объем производства, повысить его эффективность и улучшить качество продукции, но и решить проблему, связанную с недостатком станочного оборудования, а так же резко повысить производительность труда. Однако и на этом А.Е.Быховцев не успокоился. Он поставил перед администрацией предприятия вопрос о выделении фондов на приобретение фрезерных станков с числовым программным управлением. Вслед за этим в цехе был организован участок гальванического покрытия, разработаны и внедрены десятки наименований и видов специальной технологической тары, позволяющей облегчить учет и улучшить сохранность деталей и полуфабрикатов. Большой экономический эффект получило производство от внедрения изобретения Быховцева — оправок для клеивания сердечников в волноводные каналы.

Рабочий день А.Е.Быховцева начинается с обхода цеха. В начале смены он встречается с мастерами, начальниками участков, интересуется выполнением плана, выясняет нерешенные вопросы, тут же принимает меры к их устранению, советуется. Постоянный анализ положения дел в цехе дает возможность выявлять резервы роста производительности труда.

Строг распорядок рабочей недели. Каждый понедельник — совещание по качеству, вторник, пятница — производственная планерка, по средам обсуждаются вопросы по технике безопасности. Ежедневно, по окончании первой смены, начальники

участков и старшие мастера докладывают о выполнении сменных заданий. Такая система приучила людей к строгому порядку, всех, начиная от заместителей начальника цеха и кончая рабочими. Они заранее знают о времени проведения того или иного мероприятия и соответствующим образом планируют рабочий день.

На совещаниях и планерках обязательно присутствуют секретарь парторганизации и председатель цехкома. Тут же разрабатываются решения, принимаются рекомендации по их реализации, назначаются ответственные лица за их исполнение. За собой начальник цеха оставляет решение и контроль кардинальных вопросов.

Много внимания уделяет он социалистическому соревнованию, культуре производства, научно-технической работе, считает своим долгом постоянно заботиться о повышении квалификации рабочих. Ежемесячно в цехе подводятся итоги соревнования "Лучший по профессии", "Лучший молодой рабочий", определяются победители. На общем собрании цеха детально обсуждается работа каждого участка, бригады, каждого рабочего. Победители награждаются денежными премиями.

Благодаря большому организаторским способностям, целеустремленности А.Е.Быховцева цех, руководимый им, из года в год работает ритмично, эффективно, выполняя и перевыполняя производственный план по валовой и товарной продукции. Об этом красноречивее всего говорят цифры: рост производительности труда опережает рост средней заработной платы на 9–10%.

Работа начальника механосборочного цеха А.Е.Быховцева отмечена высокой правительственной наградой — орденом "Знак почета". В начале 1978 года он принят кандидатом в члены КПСС. Растет замечательное пополнение рядов ленинской партии.

Р.М.Маневич

ХОЗЯЙКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО

Девять лет работает начальником металлургического цеха коммунист Ольга Никифоровна Рудакова. В цехе трудятся люди среднего возраста, с большим производственным стажем. Но это совсем не значит, что руководить ими легко и просто. У каждого на все свои сформировавшиеся взгляды. К каждому нужно найти особый подход. Нравочени-

ями тут не отделаешься. И на одних приказах авторитета не заработаешь.

Особых рецептов работы с людьми у начальника металлургического нет. Она думает и заставляет думать других. Один из секретов ее успеха в том, что она дает своим помощникам, инженерно-техническим работникам максимум самостоятельности в рамках их обязанностей и прав, не опекает по мелочам, не требует постоянных отчетов, а доверяет им, учит их самих находить в нужный момент правильное решение.

Ольга Никифоровна всегда в поиске. Характер у нее неугомонный. Помнится, собрала она всех мастеров, технологов, начальников участков и предложила самим осваивать изготовление проволоки из ВАР-5, чтобы обеспечить четкую, ритмичную работу цеха.

Думали, тщательно взвешивали все "за" и "против" и решили взяться за это и как можно быстрее. Наметили план мероприятий. Механики изготовили две печи отжига, реконструировали аппарат для варки штабиков вольфрама с присадкой рения. Технолога А.Л.Харин и старший мастер В.С.Лобкова разработали новую технологию получения проволоки до 8 микрон. За минимально короткий срок получили то, к чему готовились в течение года. Сейчас цех полностью обеспечивает объединение своей продукцией.

Рудакова хорошо знает производство. Она не делит дела на свои и чужие, не может оставаться в стороне, если где-то не ладится с планом. Недаром о ней говорят, что она сама ищет трудности.

В конце 1976 года Ольгу Никифоровну пригласил к себе начальник производства. Участок кристаллодержателей заготовительного цеха не справля-



Рудакова О.Н.

ется с заданием, нехватка деталей сказывается на работе сборщиков. Нужен хороший организатор, который бы наладил производство. И Рудакова предложила включить отстающий участок в свой цех.

Это решение себя оправдало. Вскоре разговор о нехватке кристаллодержателей, о которых в течение долгого времени упоминалось на всех совещаниях, прекратился.

Уже несколько десятков лет существует металлургический цех. Кажется, что все резервы давно исчерпаны, но с постоянно возрастающими задачами коллектив справляется отлично. И это, по мнению Рудаковой, заслуга всего коллектива, особенно группы механиков, которую возглавляет почти 30 лет П. И. Папулов.

— Думаю, что у нас есть что перенять, — говорит Ольга Никифоровна. — Механики сами разработали и внедрили механическую подачу прессформы. Сами изготовили установку для очистки молибденовой проволоки диаметром 0,6 мм, которая снимает матовый слой с поверхности.

О. Н. Рудакова умеет поддержать любую инициативу, увлечь коллектив делом. Поэтому в цехе нет людей пассивных, равнодушных. Когда в год подготовки к 60-летию Великого Октября отжигальщица Л. И. Шамне предложила перейти на многостаночное обслуживание, учиться совмещать несколько профессий, почин поддержали 48 человек. Многие обслуживают сейчас по 12 станков вместо 8. Каждый второй изучил по 2–3 операции, при необходимости может заменить товарища на другом участке.

Увеличение выхода годной продукции, снижение трудоемкости и повышение производительности труда, экономия дорогостоящих металлов — эти вопросы всегда находятся в центре внимания Рудаковой. Рабочие цеха порошковой металлургии, соревнуясь за наилучшие показатели, вносят предложения, направленные на повышение производительности труда, улучшение качества продукции, проводят смотры по экономии материальных ресурсов, осваивают более экономичные процессы обработки. Только перевод проката ленты с пластинок весом 1 кг на пластинки весом 1,25 кг дал увеличение выхода годной продукции на 10%.

Десятки рабочих ставят на продукции свое личное клеймо, многим присвоено звание "Отличник качества", "Отличник НОТ", "Мастер — золотые руки". Цех первый в объединении стал коллективом коммунистического труда, ему присвоено звание "Цех имени XXV съезда КПСС". Он занял первое место в социалистическом соревновании в честь 60-летия Октября.

Рудакову постоянно заботит вопрос о кадрах. Она немало делает для того, чтобы росло число

рабочих династий. Сейчас их в цехе уже около 60. Здесь каждый пятый работает вместе со своими детьми.

Огромный коллектив, сложное производство, каждый день возникают десятки вопросов.

Много времени и энергии отдает Ольга Никифоровна общественной работе. В третий раз она избрана депутатом районного Совета народных депутатов. Много забот у коммуниста О. Н. Рудаковой. Но она не тяготится ими. Чем больше их, чем трудней, тем интересней жить и работать.

И. Н. Голубев

НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА

Ее голос по селекторной связи узнают все. И кто бы из руководителей завода ни вел утренний оперативный опрос о готовности цехов к выполнению суточного задания, в его вопросе чувствуется глубокое уважение к Марии Васильевне Агеевой, начальнику одного из лучших сборочных цехов завода.

Агеева — руководитель почти с двадцатилетним стажем. В первые годы трудностей хватало — технология была новой для предприятия. Нужно было обучать рабочих, мастеров, технологов, заботиться об оборудовании. В сжатые сроки Мария Васильевна организовала внедрение первых образцов полуавтоматов по нанесению проводников и резисторов, полуавтоматов лужения, армирования и т. д.

Коллектив год за годом осваивал производство, успешно решая сложные технические проблемы. Постепенно вышел в лидеры социалистического соревнования на заводе, в числе первых стал цехом высокой культуры производства и коммунистического труда.

Быстро растут масштабы, сложность технических и социальных задач, а значит требования к хозяйственным руководителям. Начальник цеха должен обладать чувством нового, необходимой компетентностью в решении различных проблем.

За годы девятой пятилетки номенклатура в цехе увеличилась в 2,3 раза. Коллектив добился роста производительности труда на 189% при

увеличении заработной платы на 23% (без изменения численности работающих).

Задачи повышения эффективности производства и качества работы Агеева решает прежде всего на основе анализа. "Главное — анализ, — говорит она. — Только глубокий анализ ошибок и достижений дает возможность вскрыть возможности производства".

Агеева поставила дело так, что в цехе анализируются как отрицательные, так и положительные показатели хозяйственной деятельности всего коллектива и каждого участка в отдельности. Без деловой оценки успехов и недостатков нельзя рассчитывать на рентабельность, увеличение темпов производства.

Информацию для анализа дают сотрудники различных служб — это экономисты, диспетчеры, технологи. Налажена оперативная и полная отчетность. Теперь начальник цеха в любой момент может сказать, сколько изготовлено продукции, как дела с выполнением плана за сутки, месяц, квартал, что нужно сделать для обеспечения ритмичности работы и т.д.

Хорошо, когда в решении производственных проблем можно уверенно опереться на опыт мастеров. Для точности учета движения изделий, деталей по операциям, мастера регулярно составляют баланс и отчитываются по нему согласно регламенту НОТ за технологические потери.

С 1 апреля 1978 г. введена новая система комплектации на сборочном участке. Теперь каждая сборщица составляет баланс по расходу элементов, в результате чего повысилась ответственность исполнителей, рабочие стали ближе к управлению производством.

Коллектив начал активную работу по повышению процента выхода, а это — экономия ценных элементов, драгоценных металлов и т.д. Сейчас в цехе на освоенных ранее изделиях выход составляет 98,96%. Борьба ведется уже за сотые доли процента, но есть новые изделия, при освоении которых многое предстоит сделать.

Внимательно присматривается М.В.Агеева к опыту коллективов передовых предприятий страны. В первом году десятой пятилетки перед цехом была поставлена задача значительно повысить темп производства. Чтобы выполнить ее, надо было заинтересовать всех тружеников в сокращении потерь рабочего времени. Но как? Решили использовать динамовский метод и платить не за выполнение нормы, а за выработку задания в нормо-часах (т.е. за количество сданной продукции). На специальном стенде отражается ход выполнения задания. Каждый может увидеть свои результаты, сравнить их с успехами товарищей. В итоге выработка на одного работающего по самому сложному

сборочному участку (на разварке) значительно повысилась.

Творчески применяется в цехе монинский метод. 17 бригад работают по лицевым счетам экономии. Общая эффективность складывается из перевыполнения плана, экономии элементов и выпуска на основе этой экономии дополнительной продукции. Экономический эффект по лицевым счетам в 1978 г. резко возрос. 19 передовых сборщиц за два года выполнили план трех лет десятой пятилетки. В подведении итогов соревнования для определения победителей участвуют не только члены цехкома, но и бригадиры, представители рабочих от участков. Такая коллегиальность, широкая гласность имеют большое воспитательное значение.

Вопросы качества тоже обсуждаются коллективно на участках днях качества. Рабочие-контролеры дают оценку труда своих товарищей, разбирают опыт лучших. Это морально действует на отстающих, придает соревнованию необходимую остроту.

Как-то на одном из Дней качества рабочие подняли вопрос о необходимости распространения передового метода труда приклепщицы З.Н.Якушевой. Начальник цеха помогла организовать школу передового опыта, в которой Якушева рассказывала о своих производственных приемах, рациональном использовании рабочего времени. Сегодня по методу Якушевой трудится каждый третий рабочий участка.

Совершенствуется производство, растет и профессиональное мастерство людей. В цехе, руководимом М.В.Агеевой, ежегодно проводятся конкурсы на звание "Лучший по профессии". В школах передового опыта рабочие обучаются нескольким профессиям. Мастера занимаются на заводских курсах повышения квалификации. После того, как 80 рабочих выступили с инициативой об увеличении норм выработки, было пересмотрено 26 норм, в результате чего получен существенный экономический эффект.

В цехе, к сожалению, пока нет возможности автоматизировать такие трудоемкие операции, как приклейка и разварка элементов с гибкими выводами, но рационализаторы, среди которых технолог А.А.Чумаков, начальник техбюро П.М.Серов, старшие мастера Ю.И.Титов, П.П.Сорокин, а также рабочие В.И.Горбачев, И.И.Кондратьев, Н.В.Лебедев и другие, подали много предложений по усовершенствованию технологических процессов.

Новаторы много делают, чтобы облегчить труд рабочих. Так, например, они модернизировали дозировщики энергии, введя в электрическую схему мультивибратор, обеспечивающий автоматическую подачу импульсов на электрод термокарандаша. Теперь работницы меньше устают, повысилась их производительность труда.

Разработка и внедрение приспособления для заливки изделий помогли вдвое снизить трудоемкость операции. Сейчас внедряется предложение по инфракрасной сушке плат с приклеенными элементами, что позволит, по предварительным подсчетам, поднять производительность на участке приклейки на 10–12%

На счету самой Агеевой за годы работы на предприятии 18 рационализаторских предложений.

В цехе, где начальником Агеева, самая низкая текучесть кадров. Мария Васильевна помогает новичкам с первых шагов на производстве определить правильную линию поведения, быстрее почувствовать себя полноправным членом рабочей семьи.

Это способствует созданию в коллективе здорового микроклимата, дружеских взаимоотношений. Цех, руководимый М. В. Агеевой, известен на заводе тем, что здесь работают боевые комсомольско-молодежные бригады и передовые рабочие, имена которых известны всему предприятию, отсутствуют нарушения трудовой дисциплины и общественного порядка. Здесь лучшая на заводе художественная самодеятельность и самая интересная стенгазета, инициативный совет красного уголка организует встречи книголюбов с писателями, поэтами, лекции по искусству.

Успехи цеха не останавливают Марию Васильевну в ее поиске. Снова и снова анализирует она график выполнения квартального плана. Впереди новые трудовые победы, находки, достижения.

торых обсуждаются текущие производственные вопросы. Регулярно проходят Дни качества с участием технологов и мастеров цеха

Все ИТР и служащие этого подразделения работают по личным творческим планам, ежеквартально утверждаемым начальником цеха или его заместителем. Личные творческие планы предусматривают не только обязательное выполнение установленных технико-экономических показателей, но и внедрение в производство новой техники и передовой технологии, снижение трудоемкости выпускаемых изделий и повышение производительности труда, организацию школ передового опыта, улучшение качества выпускаемой продукции, экономию материалов.

Иосиф Аронович придает важное значение социалистическому соревнованию. При его личном участии разрабатываются социалистические обязательства коллектива на год, месяц и в честь знаменательных дат.

В цехе широко развернулось движение за совмещение профессий и расширение зон обслуживания. Дальнейшее распространение получило соревнование за право работать с личным клеймом, сдачу продукции потребителю, минуя ОТК. Сегодня по доверенности ОТК работают 12% рабочих, 90% участвуют в соревновании за звание "Отличник качества".

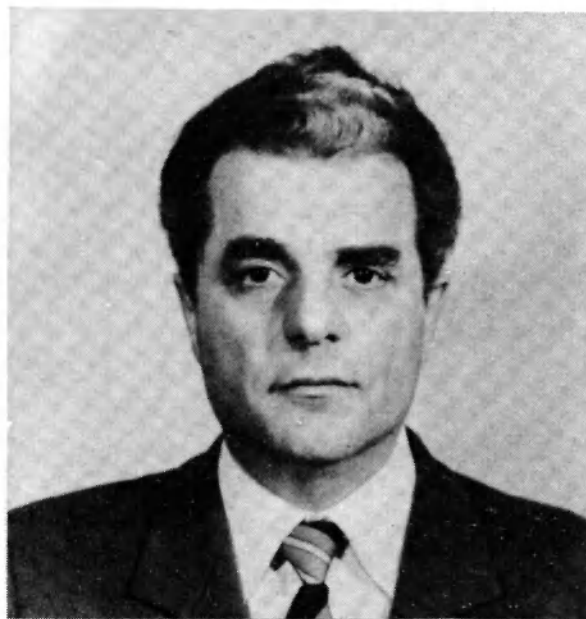
С целью обеспечения широкой гласности выполнения установленных заданий ежедневно на стенде цеха отражаются показатели работы каждого участника по объему производства и номенклатуре.

В диспетчерский журнал, который ведет начальник цеха, регулярно заносятся показатели выполнения заданий по каждому изделию и по каждой тех-

В. К. Филиппов

С ТВОРЧЕСКИМ ПОДЪЕМОМ

С высоким трудовым подъемом работают труженики завода с начала десятой пятилетки. Между подразделениями широко развернулось социалистическое соревнование за повышение эффективности производства и качества работ. Наилучших показателей в этом соревновании постоянно добивается коллектив цеха, которым руководит квалифицированный инженер, опытный организатор производства, коммунист Иосиф Аронович Кричевский. Обладая большим опытом работы, Кричевский И. А. четко планирует свое рабочее время. Два раза в неделю он проводит диспетчерские совещания, на ко-



Кричевский И. А.

нологической операции, что позволяет руководителю подразделения и мастерам своевременно замечать узкие места и оперативно принимать меры по их ликвидации.

Совершенствованию контроля и повышению ответственности мастеров и технологов за выполнение заданий в срок в значительной мере способствуют специальные картотеки, в которых отражаются сроки выполнения заданий, решений диспетчерских совещаний и Дней качества.

Ежемесячно на рабочих собраниях И. А. Кричевский докладывает коллективу о выполнении обязательств за прошедший месяц и за период с начала года, подводятся итоги соревнования между коллективами участков, бригад, а также выполнения личных обязательств рабочими и служащими.

Вопросы повышения эффективности производства и качества работы в цехе решаются на основе тщательно разработанных планов и мероприятий, учитывающих резервы производства.

Только за первый квартал 1978 г. за счет осуществления мероприятий по улучшению организации и нормированию труда получен значительный экономический эффект.

Начальник цеха совместно с партийной организацией большое внимание уделяет экономии материалов. Внедрение новых технологических процессов по изготовлению изделий позволило сократить нормы расходов материалов на изделия и сэкономить несколько десятков тысяч рублей.

Достигнуты положительные результаты в организации нормирования труда. У 60% рабочих заработная плата строится по конечным операциям. В цехе 98% рабочих трудятся по технически обоснованным нормам, среднее выполнение которых составляет 107,6%. Ведется разработка и внедрение карт организации труда на рабочих местах, работают школы передового опыта.

Начальник цеха, партийная и общественные организации проводят большую работу по социально-экономическому развитию коллектива. В подразделении разработан и осуществляется план социально-экономических мероприятий на 1976–1980 гг., включающий в себя вопросы повышения эффективности производства и качества работы, улучшения организации производства и условий труда, повышения материального благосостояния и улучшения культурно-бытовых условий.

Осуществляемые в цехе мероприятия позволяют коллективу систематически улучшать технико-экономические показатели работы, стабильно выполнять производственный план и задания по росту производительности труда и снижению себестоимости выпускаемой продукции.

Постоянно перевыполняется задание по росту производительности труда. Сегодня 80% продукции,

подлежащей аттестации, выпускается с Государственным знаком качества.

Коллектив цеха в 1976–1978 гг. в течение 16 месяцев занимал классные места по итогам внутри-заводского социалистического соревнования. 80% рабочих и служащих являются ударниками коммунистического труда. Цех носит звания "Коллектив высокой культуры производства" и "Коллектив коммунистического труда".

А. С. Чиркин

НАЧАЛЬНИК ЦЕХА — ОРГАНИЗАТОР КОЛЛЕКТИВА

По профессии Юрий Михайлович Шаев инженер-механик. На завод он поступил в 1968 г., работал контролером, затем контрольным мастером, одновременно учился в вечернем институте. В 1970 г. вступил в ряды КПСС. Позже работал механиком цеха, инженером электромеханического отдела, показал себя как специалист, отлично знающий производство, хороший организатор, умеющий своевременно и правильно принять решение. В любых делах, и больших и малых, он проявляет высокую принципиальность, требовательность к себе и подчиненным.



Шаев Ю. М.

С 1975 г. Ю. М. Шаев — начальник цеха. С этого времени технико-экономические показатели в коллективе постоянно растут. Ежемесячные отчеты о работе перед коллективом цеха, плановые совещания, проведение Дней качества, Дней дисциплины, открытых партийных собраний, моральное и материальное стимулирование использует Шаев в своей работе.

Задачи повышения эффективности и качества труда, улучшения дисциплины, совершенствования организации производства решаются ежедневно на диспетчерских совещаниях со старшими мастерами, механиком, энергетиком, заместителем начальника цеха. Результат этого — стабильное, высокое качество продукции, отсутствие рекламаций и претензий от потребителей.

В цехе ежегодно внедряется новая техника, совершенствуется технология, улучшаются условия труда. С каждым днем вскрываются новые резервы повышения производительности труда — вводится многостаночное (многоагрегатное) обслуживание, внедряется более совершенное и высокопроизводительное оборудование, рабочие осваивают смежные профессии.

Большая работа ведется по экономии сырья, материалов и энергоресурсов.

Широко используется передовой производственный опыт. Почины "Пятилетку — за 4 года", "Задавание трех лет пятилетки — к первой годовщине Конституции СССР" поддержали многие труженики цеха.

Рабочий день начальника цеха, как правило, регламентирован, что позволяет ему правильно строить свою работу и работу подчиненных. Он стремится меньше их опекать, давать им больше самостоятельности.

Ю. М. Шаев много внимания уделяет созданию в коллективе деловой обстановки, благоприятных условий для высокопроизводительного труда.

С каждым годом растет профессиональное мастерство членов коллектива. В цехе работают школы передового опыта, курсы повышения квалификации. Для выдвижения на замещение вакантных должностей подготовлен резерв кадров.

Чтобы повысить творческую активность работников, постоянно проводятся конкурсы профессионального мастерства. Активно работают ПДПС, ВОИР. Большую помощь начальнику цеха в решении всех задач, стоящих перед коллективом оказывают партийная, профсоюзная, комсомольская организации.

Важным фактором в деле воспитания трудящихся является соревнование. Сейчас оно больше, чем когда бы то ни было, направлено на всестороннее развитие личности, раскрытие ее творческих возможностей. Соревнованием в цехе охвачено 99%

всех работающих. Широкое распространение получили такие его формы, как соревнование за звание "Лучший по профессии", "Отличник качества", "Лучший коллектив по качеству".

Рабочие-сдельщики соревнуются по личным планам повышения производительности труда, что позволяет оценить вклад каждого из них в выполнение годового и пятилетнего планов. В настоящее время 56 сдельщиков работают с опережением плана в среднем на 2—4 месяца.

Половина всех работающих — ударники коммунистического труда, остальные рабочие и ИТР борются за присвоение этого высокого звания. Сейчас весь цех включился в борьбу за звание "Цех высокой культуры производства". Около 30% тружеников цеха заслужили право работать с личным клеймом, один из участков работает на самоконтроле.

В результате правильной организации труда и производства, благодаря широко развернувшемуся социалистическому соревнованию, коллектив цеха добился значительных успехов, неоднократно занимал первое место по заводу среди основных цехов с присуждением премии и вручением Красного Знамени завода.

Успехи цеха во многом зависят от его руководителя. Ю. М. Шаев строго следит за исполнением своих распоряжений, умело использует метод выборочного контроля, внимательно прислушивается к предложениям и замечаниям рабочих.

Юрий Михайлович активно участвует в общественной жизни, он член партийного бюро цеха, один из лучших пропагандистов завода, председатель совета по профилактике правонарушений.

За добросовестный труд, высокие производственные показатели, умелую организацию социалистического соревнования в коллективе Ю. М. Шаев награжден знаками "Победитель соцсоревнования" за 1975—1977 гг.

Л. Г. Камкина, Б. Д. Курис

В АВАНГАРДЕ КОЛЛЕКТИВА

Сборочно-керамический цех, начальником которого является Муза Ивановна Васильева, специализируется по выпуску воздушных подстроечных конденсаторов, подстроечных конденсаторов для электронных наручных часов, пьезокерамических изде-

лий, ламповых панелей малых серий различных видов. Цех работает по замкнутому циклу, сочетая изготовление керамических деталей и сборку изделий.

Коллектив цеха с 1966 года носит звания "Коллектив коммунистического труда" и "Коллектив высокой культуры производства", а по итогам работы 1977 года — "Цех отличного качества".

Выполнение государственного плана в заданном объеме и номенклатуре достигается за счет неуклонного роста производительности труда и повышения эффективности производства на базе развития и внедрения новой техники, научной организации труда, совершенствования технологии и организации производства.

При активном участии Васильевой сборочно-керамический цех был реконструирован, проведены работы по совершенствованию технологии производства, организации более удобных рабочих мест, сформированы участки по технологическому принципу.

В цехе по инициативе инженерно-технических работников внедрена технология оформления пьезорезонаторов методом литья на подложку взамен оформления прессовкой, что позволило резко повысить выход годных, улучшить электрические параметры, снизить расход материала, внедрить групповую технологию поляризации.

Повышению качества изделий способствует внедрение системы СБТ, созданной на основе Саратовской системы бездефектного изготовления продукции и комплексной системы управления качеством труда львовских предприятий.

В цехе систематически проводятся "Дни качества". На каждом участке имеются экраны, отражающие результаты работы каждого рабочего за день, месяц, год. В результате внедрения системы СБТ работа каждого члена коллектива стала более целенаправленной, а мероприятия, осуществляемые инженерно-техническими работниками цеха по совершенствованию технологии, организации производства, повышению выхода годных, улучшению качества продукции, более емкими и содержательными.

Существенный экономический эффект получен от снижения потерь от брака и повышения выхода годных. 67 рабочих завоевали право сдавать продукцию, минуя ОТК, и работают с личным клеймом. В цехе большое значение придается организации социалистического соревнования, внедрению передовых починов других предприятий.

В 1978 г. принято 321 индивидуальное социалистическое обязательство, 109 человек взяли на себя социалистические обязательства выполнить годовой план к первой годовщине Конституции СССР. Из 23 соревнующихся бригад 17 бригад поддержали почин москвичей "Пятилетке качества — рабочую гарантию".

М. И. Васильева умело строит работу с кадрами, правильно осуществляет их подбор, расстановку и воспитание.

Особенно много внимания она уделяет молодым специалистам. В цехе — стабильные кадры руководителей участков, крепкая исполнительская и трудовая дисциплина. Создан деловой товарищеский микроклимат.

Ведущая роль в развитии творческой активности и инициативы каждого работающего принадлежит цеховой партийной организации, которая проводит широкую политическую и организаторскую работу.

Большое значение руководство цеха придает проведению ежемесячных рабочих собраний. Они стали жизненной потребностью всех членов коллектива. Рабочие с нетерпением ждут собрания, чтобы в деловой обстановке провести детальный разбор результатов работы, подвести итоги производственной деятельности коллектива, вскрыть недостатки, предъявить и обсудить взаимные претензии.

Значительное место в работе с коллективом начальник цеха отводит повышению квалификации рабочих, освоению смежных профессий. На ряде участков существует полная взаимозаменяемость друг друга, рабочие владеют в совершенстве необходимыми навыками труда на всех технологических операциях. Передовой опыт и новые методы труда, направленные на совершенствование технологических приемов, повышение качества продукции, изучаются в школах коммунистического труда.

Сейчас перед коллективом цеха стоят большие задачи по дальнейшему росту объемов производства определенных типов конденсаторов. Нарращивание мощностей, в основном, осуществляется за счет повышения эффективности производства, оснащения технологических процессов современной высокопроизводительной техникой, увеличения съема продукции с квадратного метра площади.

В решении этих задач уже достигнуты значительные успехи. В цехе внедрены автоматы измерения электрических параметров резонаторов, калибровки керамических деталей конденсаторов по толщине, установки загрузки заготовок керамических деталей конденсаторов для обжига и шлифовки по плоскости.

Такие результаты были достигнуты благодаря умелому руководству начальника цеха Музы Ивановны Васильевой, которая постоянно идет в авангарде коллектива. Ее труд высоко оценен нашим государством: она награждена орденом Трудового Красного Знамени.

В.Д. Горжанов

БЫТЬ ВСЕГДА ВПЕРЕДИ

Цех, которым руководит Алексей Иванович Савин, в течение многих лет занимает классные места в межцеховом социалистическом соревновании. Большинство рабочих и ИТР за высокопроизводительный труд отмечены правительственными наградами.

Анализируя причины столь стабильного успеха, можно сделать вывод: секрет его в монолитности коллектива, в способности его оперативно решать поставленные задачи.

Коллектив этот создавался не сразу. Принимая цех, новый начальник не настраивал себя на легкую жизнь, учитывая, что определенные сложности в процессе работы неизбежны. Трудности ждать себя не заставили.

На вакуумно-термическом участке при обработке медных заготовок корпусов приборов неожиданно на поверхности начали появляться черные точки — брак по внешнему виду. У технологов и контролеров ОТК возникли сомнения, не повлияют ли в дальнейшем эти точки на качество гальванического покрытия. Заготовки с точками стали отбраковываться и исключаться из дальнейшего производственного цикла. Решили, что это явление случайное. А через несколько дней количество отбрако-

ванных деталей катастрофически возросло. Провели анализ выполнения операции от начала до конца: проверили состояние печи, атмосферу, работу операторов. Нарушений требований технологической карты не обнаружили. Тогда Савин решил вынести вопрос на обсуждение в производственный отдел.

Для выяснения причин были привлечены руководители гальванического цеха, участка штамповки инструментального цеха и отдела главного технолога. Совместными усилиями удалось устранить причину брака.

А вот другой пример. Одно время поставщики комплектующих деталей и полуфабрикатов не обеспечивали плана поставок — многие цехи работали "с колес". Пока нет очередной партии, простаивали, а потом ускоренными темпами наверстывали упущенное. Вот тут-то и родилась идея перейти на самообеспечение, и такие полуфабрикаты, как пластины, изготавливать на заводе.

Когда этот вопрос был поставлен перед руководителями цехов, то энтузиастов создать участок и обеспечивать завод качественными пластинами не нашлось. Алексей Иванович тоже поначалу воздержался — численность рабочих кадров для организации участка не планировалась. Но, рассмотрев предложение с коллективом ИТР, приняв во внимание перспективы роста для каждого работника в отдельности и коллектива в целом, сразу же приступил к созданию участка.

На регулярных диспетчерских совещаниях в кабинете начальника цеха обязательно присутствуют секретарь партийной организации, председатель цехкома, секретарь комсомольской организации. В ходе совещания начальник цеха старается организовать нечто наподобие "миниконкурса" на лучшее предложение по решению той или иной проблемы.

Как-то механику цеха Виктору Ивановичу Зиновьеву было дано задание — разместить новую установку в помещении, где и без того не просторно. Были заслушаны мнения работников участков, бригадиров, мастеров. В итоге — не только место нашлось, но и рациональнее разместилось работающее оборудование, сократился маршрут движения людей и деталей.

Если человек видит, что к его мнению, совету прислушиваются, с ним считаются, то и думать он начинает масштабнее.

"Для человека коллектив, в котором он работает, — это своего рода и дом, и семья, и школа. Именно здесь от одного поколения к другому переходят профессиональный опыт, мастерство, привычка трудиться на совесть. Именно здесь — из сердца в сердце — передаются молодежи коммунистическая идейность, верность делу партии, готовность



Савин А.И.

быть всегда впереди, на самых трудных, на самых решающих участках", — говорил Л.И.Брежнев, выступая на XVI съезде профсоюзов.

Когда по инициативе парткома завода, руководителям цехов было предложено изучить опыт Монинского камвольного комбината и внедрить у себя, у многих возникли сомнения в быстром успехе. Широта номенклатуры продукции, многодневность цикла производственных операций, большой перечень показателей при количественной и качественной оценке результатов работы казались несовместимыми с условиями лицевых счетов.

Никто не удивился, когда А.И.Савин первым на заводе приступил к внедрению лицевых счетов эффективности. Мастера и бригадиры уже давно делали ежедневные обшеты эффективности труда лучших рабочих с тем, чтобы на их примере обучать отстающих.

Этот почин возглавил химико-технологический участок. В отличие от ранее внедренных на заводе "Личных творческих планов ИТР" лицевые счета в цехах предусматривают такие важнейшие показатели, как выпуск сверхплановой продукции, повышение процента выхода годных за счет экономии материалов и фонда заработной платы.

Ежемесячно на общем собрании участка обсуждаются итоги прошедшего месяца, намечаются пути устранения замеченных недостатков и проверяются записи в счетах экономии каждого работника. Примеру цеха последовали и другие подразделения. Все свое внимание Савин сосредотачивает на укреплении технической базы, повышении квалификации и деловых качеств подчиненных, на развитии их инициативы.

Естественная смена кадров происходит как и на всяком предприятии. Научить работать на новом оборудовании не всегда быстро удается — техника обновляется постоянно, да и специальностей стало больше.

Рост квалификации кадров — вот постоянная забота Алексея Ивановича. Савин понимает, как важно своевременно раскрыть перед человеком перспективу роста, направить его на решение важных производственных задач.

Растет эффективность производства, совершенствуется качество продукции, организованнее стал труд. Почти каждую неделю приезжают делегации перенимать передовой опыт. Это лестно, но в то же время и обязывает: нужно всегда быть на высоте.

И. А. Иванов

НАУКА УПРАВЛЯТЬ

Когда Алевтина Васильевна Кузнецова пришла на завод, предприятие только еще строилось, набирало силу. Сначала она возглавляла технический отдел, потом исполняла обязанности технолога, была заместителем, затем начальником сборочного цеха.

Восьмой год Алевтина Васильевна руководит цехом. Технология выпуска продукции здесь сложная, и ответственность на каждой операции высокая. Коллектив в основном молодежный. Руководитель должен не только всесторонне знать производство, но и быть умелым организатором и воспитателем.

— Прежде всего надо быть во всем примером для подчиненных, важно создать такой психологический и нравственный климат в коллективе, чтобы работать было интересно, чтобы каждый стремился сделать больше и лучше, дорожил честью своего цеха, — говорит Алевтина Васильевна.

Решению этих задач подчинена деятельность начальника цеха, партийной, профсоюзной и комсомольской организаций. В цехе царит обстановка товарищества и взаимопомощи, коллективизма и дружелюбия. Девиз "Один за всех, все — за одного" стал нормой жизни. Недаром этому коллективу присвоены звания "Цех высокой культуры производства и образцового общественного порядка", "Цех коммунистического труда".

Хороший психологический настрой способствует воспитанию у рабочих трудолюбия, а значит, повышению производительности труда, успешному выполнению планов и обязательств. Красноречивее слов об этом говорят цифры. Если в 1977 году задание по выпуску товарной продукции цехом выполнено на 114,3, а по производительности труда — на 112,4%, то в первом квартале 1978 года соответственно на 109 и 106,8%. За счет роста производительности труда достигнута значительная экономия заработной платы, причем средний заработок рабочих в 1978 году составил 100,7% к запланированному.

Пожалуй, одним из "секретов" начальника цеха в работе с коллективом является то, что несмотря на простые товарищеские взаимоотношения, она предъявляет высокие требования к подчиненным.

Известно, что в большом коллективе, даже в дружном и слаженном, бывают факты нарушения трудовой или производственной дисциплины. Здесь же они — редкое явление и считаются чрезвычайным происшествием, ни одно из них не проходит мимо начальника цеха.

В повседневную жизнь цеха прочно вошло правило — трудиться на совесть, равняться на передовиков, ветеранов и наставников.

Вопросы улучшения условий труда и снижения трудоемкости изделий никогда не сходит с повестки дня производственных совещаний цеха.

Сейчас заканчивается работа над изменением конструкции мишени с целью внедрения пакетной сборки. Это новшество позволит значительно повысить производительность труда на сборочной операции и облегчить труд монтажниц.

А.В.Кузнецова активно участвует в рационализаторской работе и способствует развитию творческой мысли инженеров, техников и рабочих своего подразделения.

Неослабное внимание руководство цеха и весь коллектив уделяют вопросам экономии сырья и материалов.

Начальник цеха, партийная и профсоюзная организации не только активно используют внутренние резервы повышения эффективности производства и качества работы. Передовой опыт родственных предприятий они применяют у себя для усовершенствования технологических процессов, методов обработки изделий и контроля, облегчения труда на операциях.

Так, например, применение фрезерного станка на одной из операций позволило повысить производительность труда в несколько раз, значительно улучшилось и качество изделий.

В цехе начато применение мощного средства "Лабомид", что позволит полностью исключить из технологического процесса бензин, ликвидировать пожароопасность.

А.В.Кузнецова стремится к тому, чтобы каждый рабочий не только со знанием дела выполнял свои производственные обязанности, но и обладал достаточным общеобразовательным уровнем, был культурным во всех отношениях. Для этого в цехе всем, кто учится, создаются все необходимые условия.

Десятки рабочих и инженерно-технических работников каждый год пополняют свои политические и экономические знания в системе партийного и комсомольского просвещения, в заводском народном университете, ректором которого является А.В.Кузнецова.

Алевтина Васильевна удостоена медали "За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина". Она четырежды награждалась общесоюзным знаком "Победитель соцсоревнования", ей присвоено почетное звание ветерана труда.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

Ю.Р.Носов

НА ВСЕСОЮЗНОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ СЕМИНАРЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СРЕДСТВ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 661.3:621.383.004

На семинаре, организованном ЦП НТО приборостроения им. акад. С.И.Вавилова совместно с ЦП НТО РЭС им. А.С.Попова были рассмотрены возможности применения средств оптоэлектроники в контрольно-измерительных системах.

В настоящее время в нашей стране разработана и освоена широкая номенклатура оптронов, оптоэлектронных интегральных схем, полупроводниковых излучателей видимого и инфракрасного диапазонов спектра, полупроводниковых, жидкокристаллических, вакуумно-люминесцентных индикаторов, которые уже вошли в практику приборостроения.

Основное внимание на семинаре было уделено новым перспективным оптоэлектронным элементам и контрольно-измерительным приборам на их основе.

Функциональные фотопотенциометры, основанные на использовании пленочных фоторезистивных слоев с освещением через щель перемещающейся маски, позволяют получить практически любой вид функциональной зависимости сопротивления от координаты перемещения контролируемого объекта с сохранением конструктивной целостности прибора. Исследования образцов функциональных фотопотенциометров показали, что по метрологическим характеристикам они относятся к приборам, имеющим класс точности 0,5—1. Считывающий оптрон — оптрон с открытым каналом, изготовленный на основе светодиодов АЛ106Б и АЛ107Б и р-і-п фотодиодов позволяет считывать информацию со скоростью 0,5—2,0 Мбит/с.

Для бесконтактного контроля линейных размеров различных объектов (выращиваемых слитков кремния, рессорных полос в процессе проката, протягиваемых нитей стеклянных волокон, проволоки и др.) перспективны фототранзисторные строчные матрицы с числом элементов в строке 512. Еще более удобны для этой цели строчные (с числом элементов 800, 1000, 2000) и матричные (232x288 и 576x360 элементов разложения) фоточувствительные приборы с зарядовой связью.

Принципиальные преимущества полупроводниковой оптоэлектроники: быстроедействие, точность, надежность, малые габариты и масса, возможность модуляции излучения током — реализуются в оптоэлектронных влагомерах, действие которых основано на пропускании через исследуемый материал световых лучей двух длин волн и сравнительном измерении их интенсивностей на выходе с помощью двух фотоприемников. Длина волны рабочего луча (~1,85 мкм) соответствует резонансному максимуму поглощения паров воды, длина волны опорного луча лежит вне этого максимума. В качестве излучателей для этой цели удобны светодиоды на основе GaAlSb — или GaInSb — сплавов; для регистрации хорошо подходят PbS-фотоприемники, имеющие высокую чувствительность с большим спектральным максимумом около 2 мкм. Приборы были опробованы как измерители влажности ряда текстильных и порошкообразных материалов. На подобном же принципе основано устройство контроля содержания в воздухе таких побочных продуктов ряда технологических процессов, как пары агрессивных и ядовитых жидкостей, вредных газов, дыма и пыли вблизи рабочих емкостей.

Для измерения угловых перемещений разработано специальное позиционно-чувствительное устройство на GaAlAs-излучателе и спектрально согласованном с ним дифференциальном пленочном фоторезисторе. При диапазоне измеряемых углов до 30° чувствительность прибора составляет 10 мВ на одну угловую секунду.

Для контроля установок, содержащих магнитные системы с аксиально-симметричным магнитным полем, предложен прибор, состоящий из протяженного газоразрядного источника излучения и набора фоторезисторов, распределенных соответствующим образом в исследуемом объеме. Принцип действия прибора состоит в том, что при постоянном напряжении питания газоразрядный шнур принимает устойчивое положение строго по магнитной оси системы, что и фиксируется набором фотоприемников.

Действие оптоэлектронного устройства для определения плотности движущегося холста заключается в сквозном просвечивании материала рядом дискретно расположенных ИК-светодиодов. Оценка ворсистости пряжи осуществляется по сравнению сигналов от двух фотоприемников, регистрирующих прошедшее через пряжу сложное излучение, один из которых чувствителен к ИК-излучению, поглощаемому в основном стволем пряжи, другой — к видимому, поглощаемому и стволем и ворсом.

Применение лазера вместо светодиода дает возможность изготавливать профилографы самого различного назначения. Контроль шероховатости поверхности (определение среднего тангенса угла наклона неровностей к средней линии) обеспечивается особенностями дифракции когерентного монохроматического излучения, падающего на эту поверхность под большими углами.

На семинаре рассматривались также оптоэлектронный цветоанализатор, измеритель скорости движения прокатываемой ленты, устройство для контроля дефектов поверхности металлических изделий и ряд других.

Широкие перспективы для приборостроения открывает создание разнообразных оптронов с управляемым оптическим каналом, основанное на использовании принципов интегральной оптики. Оптический канал, соединяющий излучатель с фотоприемником, изготавливается в виде плоского световода, прохождение света по которому зависит от показателя преломления внешней среды. Изменить показатель преломления можно путем различных воздействий: электрических, оптических, магнитных, механических и биологических. Анализ возможностей таких оптронов показывает, что на их основе могут быть созданы оригинальные датчики уровня жидкости, росы, давления, перемещения и др., микрофоны, акселерометры, усилители с встроенной гальванической развязкой.

Семинар продемонстрировал широкие возможности, которые открывает применение средств оптоэлектроники в контрольно-измерительных системах.

Статья поступила 26 сентября 1978 г.

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КЛИСТРОНЫ

КИУ-12 КИУ-15 КИУ-17 КИУ-37

	КИУ-12	КИУ-15	КИУ-17	КИУ-37
Частота, ГГц	2,797	1,818	1,818	2,797
Выходная импульсная мощность, МВт	20	20	0,1	0,015
Коэффициент усиления, дБ	35	35	60	52
Длительность импульса, мкс	2,2	6	8	15
Частота повторения импульсов, Гц	50	150	150	300
КПД, %	35	35	—	—

Сверхмощные импульсные усилительные клистроны (КИУ-12 и КИУ-15) и предоконечные клистроны средней мощности с высоким коэффициентом усиления (КИУ-17 и КИУ-37) — наиболее перспективные приборы для создания мощных линейных ускорителей электронов. Характеризуются большой долговечностью и высокой надежностью.

(Разработчики С. А. Зусмановский, В. Г. Кармазин, Б. С. Самохин, К. Г. Симонов, Г. П. Щелкунов)



Ответственные за выпуск Л. Н. Михайлова, Г. В. Потапова
Художник В. А. Чернецов Технический редактор Г. М. Корнеева
Над обложкой работали художник В. А. Чернецов и фотограф А. П. Бабин
Корректоры А. В. Смирнова, Н. С. Русецкая



Подписано в печать 5. 11. 79 г.
Т- 03230 Формат 60х90/8 Объем 8,5 п. л.
Уч.-изд. л. 8,5 Индекс 3833 26 статей, 2 реф.
Заказ 163 Тираж 3850 Цена 2 руб. 90 коп.

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



В КОСМОСЕ
С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ "КРИСТАЛЛ"
БЫЛО ПРОВЕДЕНО 40 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
И В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕГО
ПОЛУЧЕНЫ МОНОКРИСТАЛЛЫ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ