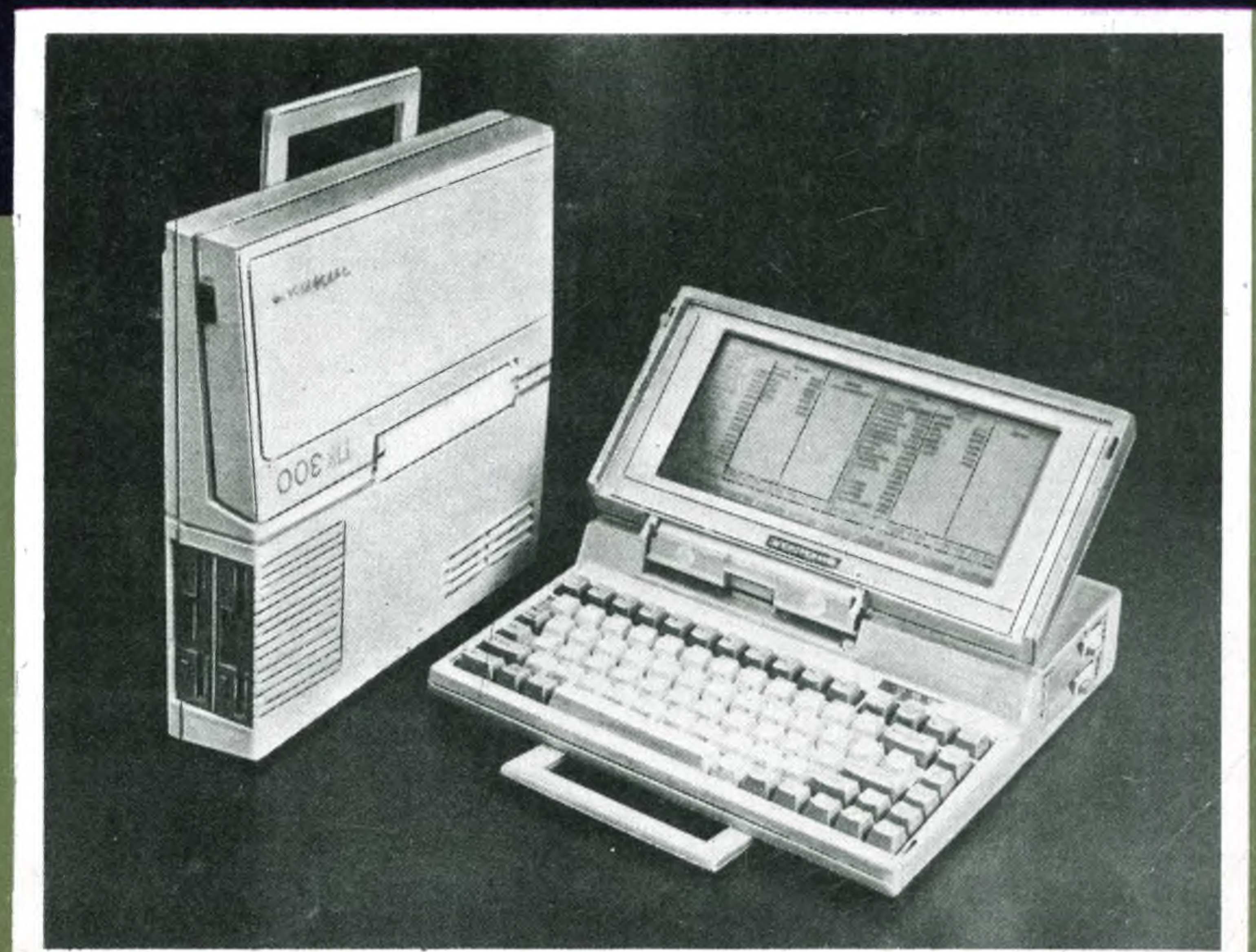




ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



**ПОРТАТИВНАЯ
ПЕРСОНАЛЬНАЯ
ЭВМ
ПК 300**



НПО «РОТОР» ПРЕДЛАГАЕТ

универсальное устройство для программирования отечественных и зарубежных микросхем ППЗУ

ПРОГРАММАТОР «МИКРОБУС-ПМО2»



Программатор выполняет: проверку «чистоты» ячеек ППЗУ, чтение ППЗУ с записью в ОЗУ программатора, отсчет сигнатуры, запись информации в ППЗУ, ускоренное программирование по алгоритму фирмы «Intel», побайтное сравнение ППЗУ и ОЗУ программатора, проверку возможности дозаписи в ранее записанную или дефектную микросхему, перестановку разрядов данных, перестановку разрядов адреса, инвертирование данных, корректировку содержимого ОЗУ, самотестирование, возможность изменения напряжений питания и программирования, задание длительности и количества импульсов программирования, внесение информации с клавиатуры программатора и с эталонного ППЗУ.

Система команд рассчитана на неподготовленного пользователя.

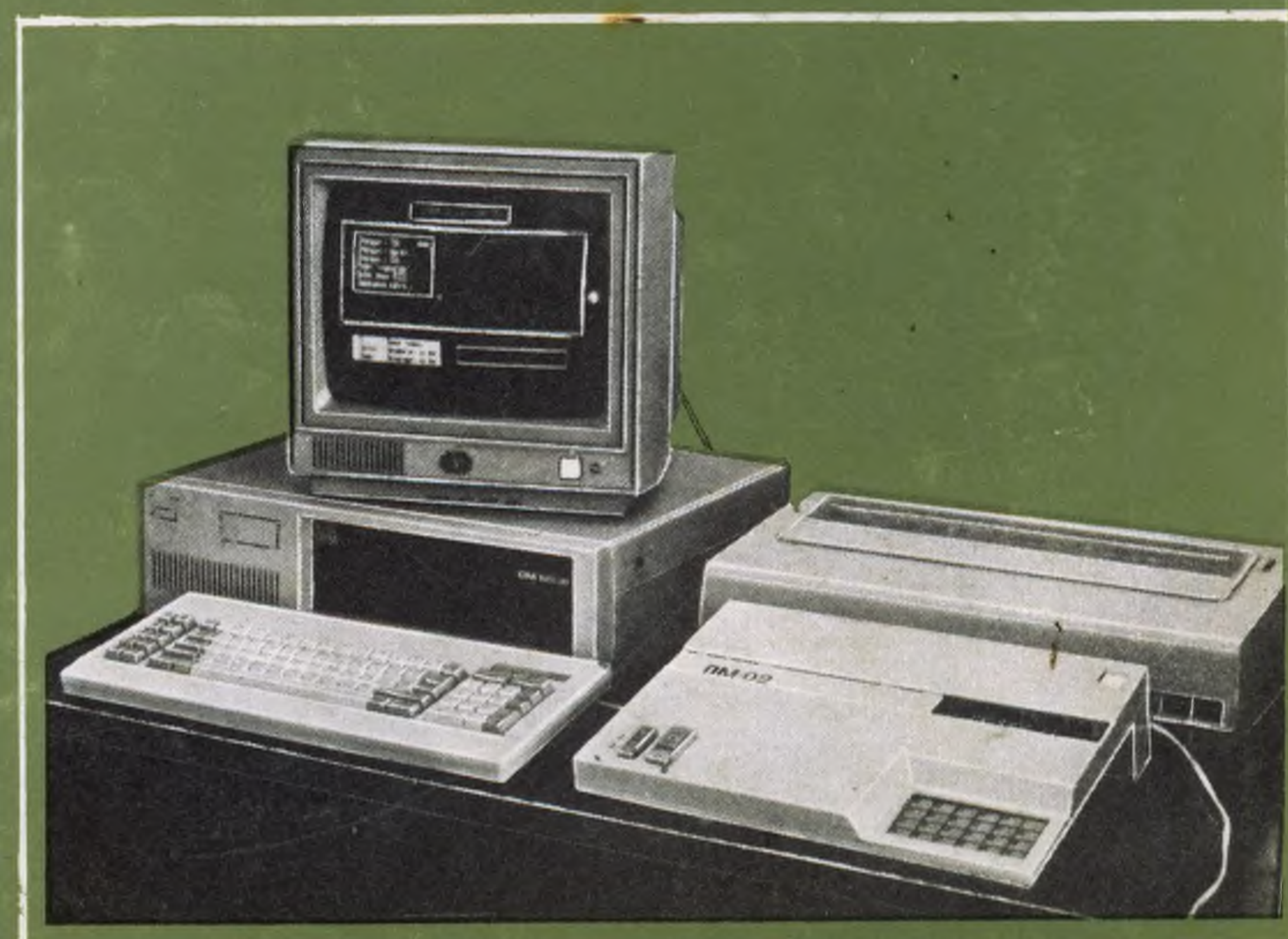
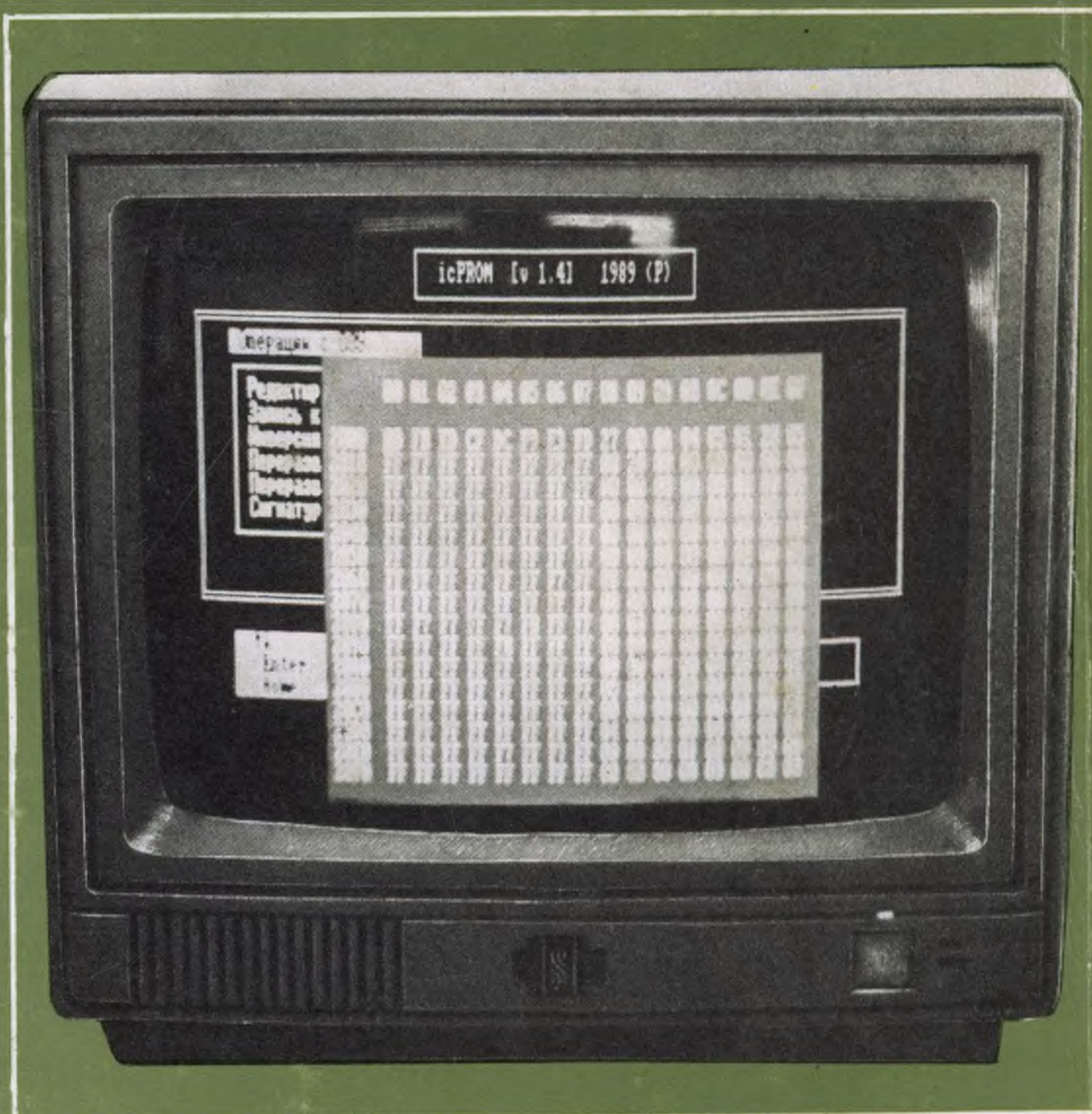
Возможна работа как в автономном режиме, так и при подключении к ЭВМ.

Для работы с ЭВМ «Правец-16», «IBM PC/XT», ДВК, «Электроника-60» программное обеспечение выполнено в форме меню. Связь осуществляется посредством интерфейса типа стык С2, выход на магистраль МПИ — через отдельно поставляемую плату последовательного интерфейса. Подключение к ЭВМ обеспечивает возможность ведения архива на дисках ЭВМ, записи информации в ППЗУ из файла и обратно, а также расширенный сервис для потребителя.

В ПЗУ программатора предусмотрены режимы и алгоритмы работы следующих типов ППЗУ:
K556PT4, PT5, PT6, PT7, PT11, PT12, PT14, PT15, PT16, PT17, PT18;
K558PP2, PP3;
K537PФ1, PФ2, PФ4, PФ5, PФ6, PФ8;
KM1609PP3.

Потребляемая мощность, В·А, не более 35
Напряжение питания, В 220 ± 22 ($50 \pm 0,4$ Гц)
Габаритные размеры, мм, не более $400 \times 300 \times 120$

Для получения программаторов в 1990 г. заявки направлять по адресу: 257036, Украинская ССР, г. Черкассы, ул. Сумгайтская, 8, НПО «Ротор». Телефон для справок: 19-63-91.



Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

МИНИСТЕРСТВО
ЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
СССР

Ежемесячный
научно-технический
сборник

Издается с 1970 г.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

03/1990

Главный редактор
Ю.А.Козлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

Материал на с.110подготовила И.В.Кокорева

Подписано в печать 25.04.1990 г. Т-08926
Формат 60x90/8. Объем 14 п. л.
Уч.-изд. л. 15,8
Индекс 3833, 58 статей, 9 реф.
Тираж 4000. Заказ 472. Цена 4 р. 60 к.

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

В НОМЕРЕ

- Портативная персональная ЭВМ ПК 300 с жидкокристаллическим экраном программно и конструктивно совместима с ПЭВМ типа IBM PC, PC/XT и может найти самое широкое применение для создания профессиональных рабочих мест.
- Для исследования временных характеристик электронных и оптоэлектронных приборов в пикосекундном диапазоне разработаны устройства на основе твердотельных и полупроводниковых лазеров, которые генерируют световые импульсы с энергией до 100 мкДж и длительностью 7 пс.
- Дальнейшее развитие интегральной схемотехники на арсениде галлия требует совершенствования технологии получения сложных совершенных эпитаксиальных структур и улучшения конструкций активных элементов ИС. Этой проблеме посвящена подборка статей в разделе "Технология".
- Современный этап развития автоматизации сборочного производства ИС характеризуется обеспечением гибкости оборудования и надежности, что при снижении временных затрат позволяет значительно повысить его фактическую производительность. Дальнейшее решение проблемы автоматизации связано с интеллектуализацией оборудования.
- Для изготовления малогабаритных деталей простой формы наиболее эффективно применение автоматических линий, характеризующихся высокой степенью концентрации технологических операций, непрерывностью, безынерционностью транспортирования предметов обработки и инструментов. АРЛ имеют высокую производительность и могут служить технической базой для комплексной автоматизации производства.
- Использование БМК КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 в устройствах вычислительной техники широкого применения позволяет сократить время разработки большой номенклатуры полузаказных БИС, улучшить энергетические и массогабаритные характеристики и производительность вычислительных устройств.

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Портативная персональная ЭВМ ПК 300. <i>Калошкин Э. П., Бобков В. А., Толкачев В. И., Кузнециков А. Ф., Гутырчик Г. Л., Сидоров В. А., Горских В. Ю., Крайко М. А., Комоско В. А., Хоменко А. А.</i>	3
Комплект контроллерных КМОП БИС портативной персональной ЭВМ "Электроника ПК 300". <i>Дмитриев Д. И., Готовчик В. В. Вырко Г. Е., Щурко Л. Ф., Надвиков Н. С.</i>	7
Модуль жидкокристаллического экрана с информативностью 640x200 точек для портативного компьютера ПК 300. <i>Осика В. А., Бобровицкий М. М., Гуринов М. К., Евтушенко А. Я., Заводченко А. И., Кособрюхов В. А., Орлевич Г. П., Иванцова С. И., Спицын А. А.</i>	10
Оптоэлектронные устройства для измерения быстродействия полупроводниковых приборов. <i>Адомайтис Э., Балинас В., Галванаускас А., Кроткус А.</i>	16

ТЕХНОЛОГИЯ

Физико-технические аспекты разработки арсенид-галлиевых сверхскоростных ИС. <i>Емельянов А. В., Ильичев Э. А., Полторацкий Э. А., Рычков Г. С., Самсонов Н. С.</i>	19
Способ формирования ИС на арсениде галлия. <i>Ахинько И. А., Емельянов А. В., Ильичев Э. А., Инкин В. Н., Кирпиленко Г. К., Лещенко П. Т., Полторацкий Э. А.</i>	22
Перспективы использования емкостной связи в трехмерных ИС на GaAs. <i>Самсонов Н. С., Полторацкий Э. А., Инкин В. Н., Ильичев Э. А., Решетников С. Е., Рычков Г. С.</i>	24
Получение сверхтонких слоев арсенида галлия методом МОС-гидридной эпитаксии. <i>Ильичев Э. А., Родионов А. В., Свешников Ю. Н., Федоренко А. В.</i>	27
Формирование омических контактов к ионнолегированным слоям GaAs. <i>Курин В. В., Кравченко Л. Н., Оплеснин В. Л., Удалов А. А., Камнев А. Б., Лапшинов Б. А.</i>	30
Свойства омических контактов к арсениду галлия на основе систем Au-Ge-Ni. <i>Курин В. В., Кравченко Л. Н., Удалов А. А., Оплеснин В. Л., Игнатьев А. С., Петрова А. Г.</i>	32
Выращивание структур арсенида галлия методом пиролиза. <i>Лымарь Г. Ф., Захаров А. А., Шубин А. Е.</i>	34
Ионно-лучевая технология локального формирования элементов ИС. <i>Козейкин Б. В., Паршков В. Г., Высоцкий С. А., Гурьянов А. Г.</i>	37
Самоформирование субмикронных топологических элементов ИС на арсениде галлия. <i>Козейкин Б. В., Рылов А. М., Баннова Т. М., Чеботарев С. А., Волков М. М.</i>	38
Изготовление мощного лавинно-пролетного диода миллиметрового диапазона на арсениде галлия. <i>Александрова Г. А., Вальд-Перлов В. А., Дружинин В. Б., Сибирцев Л. С.</i>	40
Эпитаксиальные структуры GaAs для СВЧ полевых транзисторов. <i>Филатов А. Л., Лымарь Г. Ф., Дубровская Л. А., Захаров А. А., Шубин А. Е.</i>	43
Исследование термостабильности контактов с многослойными покрытиями на основе переходных металлов. <i>Вяткин А. П., Кравцов В. И., Красильникова Л. М., Максимова Н. К., Панасенко П. В., Поздняков А. Г., Филатов В. И.</i>	44
Сверхбыстродействующие счетчики на основе GaAs. <i>Пархоменко В. Н., Родионов М. Ю., Суэтинов В. И.</i>	47

ОБОРУДОВАНИЕ

Автоматизация сборочного производства ИС на основе проволочного монтажа. <i>Зенькович В. А., Кулешов В. Т., Школык С. Б.</i>	51
Плазменный ускоритель для ионной обработки ИЭТ. <i>Наталочка С. В.</i>	54
Автоматизированные роторные линии — средство повышения эффективности производства ИЭТ. <i>Мальгин С. Н., Манукян С. Т., Полтавец О. Ф.</i>	57
Магнетронная установка нанесения пленок оксида индия. <i>Оганов А. Е.</i>	59
Новое применение установки "Оратория-5": нанесение диэлектриков на крупноформатные подложки. <i>Сейдман Л. А., Фомичев В. Н.</i>	60
Установка МНФЭ-12-003 для нанесения сухого электронного резиста. <i>Буравцев А. Т., Каплин Л. Н., Сатаров Г. Х.</i>	61
Установка импульсной термической обработки ИТО-18М. <i>Светличный А. М., Сеченов Д. А., Бурштейн В. М., Бражник В. А., Поляков В. В., Мачульский И. В., Жидкова Е. В.</i>	62
Вакуумные разъёмные соединения. <i>Шувалов А. С.</i>	62
Средства автоматизации	
Стандарт SECS для автоматизированного специального технологического оборудования. <i>Егорова Т. Н., Зенкина Е. В.</i>	66
Программный модуль для расчетов в штамповочном производстве. <i>Баргялис А. С., Манкуте Р. А.</i>	67
Оптоэлектронная локальная сеть с распределенным управлением для АСУ ТП и ГПС. <i>Титов Е. В., Ерохов Е. И., Ключин В. И., Скуратов В. А.</i>	68

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Эффективность применения фторорганических веществ в технологических процессах. <i>Беклемишев В. И., Дарьюшкин А. Е., Махонин И. И., Рябинин Н. А., Серушкин К. И.</i>	69
Исследование модификации кремния при импульсной имплантации ионов переходных металлов. <i>Альтудов Ю. К., Шогенов Т. К., Журтов З. М., Шебзухов А. А.</i>	72

Кавитационно-динамическая обработка полупроводниковых пластин. <i>Альтудов Ю. К., Ашинов С. А., Бобылев Д. В., Волчкевич Л. И., Кушхов А. А.</i>	74
Перераспределение внедренной примеси в кремнии после окисления. <i>Альтудов Ю. К., Шогенов Т. К.</i>	76
Лазерная сварка стекла. <i>Ширяев В. Т., Сытник Б. Ф.</i>	76

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ПРОГРЕСС И КАДРЫ**

Совершенствование кадровой работы на предприятии как условие оптимизации социально-психологического климата в трудовом коллективе. <i>Губаев Ш. Ш.</i>	77
--	----

**ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКИ**

Интегральные микросхемы

Интегральная микросхема КР153ЗИД4. <i>Прибыльский А. В., Сухопаров А. И., Якубовский С. В., Ельцова С. А.</i>	84
Интегральные микросхемы КР153ЗИП6, КР153ЗИП7	85
Интегральная микросхема КР153ЗКП15	86
Интегральная микросхема КР153ЗКП7	87
Интегральная микросхема КР153ЗКП2	88
Интегральная микросхема К174ХА26	89
Интегральная микросхема КР141ЗУК2	89
Интегральная микросхема К174ХА31	90
Блок ПАЛ-декодера "ФОН-14"	91
Интегральная схема К174ХА10	91
Интегральная схема К174ХА24	91
Базовые матричные кристаллы КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 для маломощных цифровых БИС. <i>Коннов Е. В., Медведев В. И., Силин А. В., Сухопаров А. И.</i>	92

Микропроцессорные средства и системы

Программная поддержка буфера главной дисплей-консоли в базовой операционной системе. <i>Давыдов А. В.</i>	94
---	----

Полупроводниковые приборы

Кремниевый мощный переключаемый высоковольтный <i>n-p-n</i> -транзистор типа КТ885А, КТ885Б. <i>Афонин Л. Н., Гантман Е. И., Кузнецов Ю. А., Мазель Е. З., Перельман Б. Л.</i>	97
Кремниевый мощный переключаемый высоковольтный <i>n-p-n</i> -транзистор типа КТ874А, КТ874Б. <i>Афонин Л. Н., Гантман Е. И., Кузнецов Ю. А., Мазель Е. З., Перельман Б. Л.</i>	98
Кремниевый полевой транзистор с изолированным затвором и <i>p</i> -каналом, переключаемый КР703А, КР703Б. <i>Давыдова Т. И., Кузнецов Ю. А., Новохатко А. А., Перельман Б. Л.</i>	100
Кремниевый усилительный СВЧ линейный <i>n-p-n</i> -транзистор типа КТ9137А. <i>Давыдова Т. И., Кузнецов Ю. А., Левицкий К. Б., Перельман Б. Л.</i>	102
Баистор кремниевый КЖ102А, КЖ102Б. <i>Бобровников А. Ф., Гантман Е. И., Мазель Е. З., Кузнецов Ю. А., Перельман Б. Л.</i>	103
Координатно-чувствительный детектор с коллектором клинья-полосы	103

Компоненты

Пьезоэлектрические резонаторы для товаров народного хозяйства и бытовой техники. <i>Грузиненко В. Б., Мартынов В. А., Поспелов Р. Н., Сергеев Н. Е.</i>	104
---	-----

Устройства отображения информации

Индикаторная трубка 36ЛМ1И	106
Видикон ЛИ494	106
ЭЛТ 50ЛК2Б	106

Контрольно-измерительная аппаратура

Установка контроля электропараметров электролитических конденсаторов УКЭ, КЭП-4000. <i>Глухенький А. Л., Мельник Г. Х.</i>	107
Прибор для измерения электропараметров конденсаторов ПКЭ. КЭП-1-64. <i>Глухенький А. Л., Мельник Г. Х.</i>	107
Автоматизированный комплекс контроля параметров резисторов и конденсаторов. <i>Дикун М. М., Камков А. А., Копытина Т. П., Хмелевский А. М.</i>	108
Акустооптический спектрометр	108

**ЭЛЕКТРОНИКА ЗА РУБЕЖОМ
РЕКЛАМА**

.	110
Новый комплект для лазерной терапии и диагностики "Колокольчик". <i>Саранцев В. П., Швейкин В. И., Шейченко В. А.</i>	81
Интромет — бесконтактный вихретоковый измеритель толщины медного покрытия в отверстиях печатных плат	101
Высокостабильный гелий-неоновый лазер	109
Электропроигрыватель "Электроника ЭП-017 стерео"	112

ПОРТАТИВНАЯ ПЕРСОНАЛЬНАЯ ЭВМ ПК 300

УДК 681.3-181.48

*Э. П. Калошкин, В. А. Бобков, В. И. Толкачев,
А. Ф. Кузнециков, Г. Л. Гутырчик, В. А. Сидоров,
В. Ю. Горских, М. А. Крайко, В. А. Комоско,
А. А. Хоменко*

Персональные ЭВМ в настоящее время стали наиболее распространенным классом машин, и их лидирующее положение подтверждается неуклонно возрастающим спросом на них. При этом особое место на рынке сбыта ПЭВМ занимают портативные компьютеры. По данным специалистов-экспертов фирмы Dataguest, объем их продаж к 1992 году составит 3,2 млн. штук*, что соответствует 38%-ному годовому приросту, т. е. более чем втрое превышает 10%-ный рост рынка сбыта персональных компьютеров в целом.

Все возрастающий интерес к портативным ЭВМ объясняется прежде всего их повышенной комфортностью (малым весом, габаритами, низким энергопотреблением, совместимостью с IBM/PC), обеспеченной конструктивными особенностями, использованием в качестве устройств отображения жидкокристаллических экранов (ЖКЭ) и малогабаритных накопителей информации, снижением габаритных и энергетических характеристик всех видов памяти.

Портативные компьютеры, не уступая по производительности и объему памяти настольным персональным компьютерам, а также удовлетворяя требованиям разъемной и программной совместимости с ними, могут эксплуатироваться автономно, используя в качестве источника питания встроенную аккумуляторную батарею.

Портативная персональная ЭВМ (ППЭВМ) ПК 300 имеет плоскую конструкцию чемоданного типа, объединяющую печатные платы, блок клавиатуры, поворотный жидкокристаллический экран, два малогабаритных накопителя на гибких магнитных дисках, модуль стабилизатора и аккумуляторную батарею.

Достоинства такой компоновки: портативность (ПЭВМ можно легко уместить в портфель), защита клавиатуры и экрана от повреждений во время транспортировки, реализация возможности использования больших поверх-

ностей для экрана и клавиатуры без увеличения объема изделия, обеспечение выбора необходимого угла обзора.

С целью снижения весогабаритных и энергетических характеристик портативной ППЭВМ был разработан комплект из пяти микропроцессорных и контроллерных БИС, изготовленных по КМОП технологии: микропроцессорной БИС, реализующей систему команд компьютера, контроллера клавиатуры, контроллера накопителя гибкого магнитного диска (НГМД), сепаратора данных НГМД и контроллера последовательного интерфейса RS-232C (стык С2).

Кроме того, на базовых матричных кристаллах (БМК) были разработаны три БИС для реализации функций системного ядра компьютера PC/XT фирмы IBM и одна БИС видеоконтроллера.

Для управления ЖК индикатором используются три БИС: драйвер столбцов, драйвер строк, формирователь уровня напряжений ЖКИ.

Оперативная память ПК 300 реализована на 20 БИС динамической памяти (ДОЗУ) емкостью 256 Кбайт, изготовленной по *n*-МОП технологии. С целью снижения общей мощности, потребляемой от источника питания, в БИС ДОЗУ использована организация памяти 64Кx4 разряда.

Портативный персональный компьютер ПК 300 совместим с компьютерами типа PC/XT фирмы IBM и сравним по своим техническим характеристикам с портативными компьютерами: Convertible фирмы IBM, T1100PLUS, T1200FB фирмы Toshiba, Multispeed фирмы NEC, Z-181 фирмы Zenith и др.

Портативный компьютер ПК 300 отличаются высокие эргономические качества. Клавиатура встроена в корпус компьютера. Переключатели клавиатуры смонтированы на несущую печатную плату с установленными на них клавишными колпачками. Блок клавиатуры имеет 84 клавиши с шагом 19 мм, ходом нажатия 4 мм и стандартную символику. Выступы для "слепой печати", наклон клавиатуры, цилиндрическое углубление под палец создают дополни-

* Электроника, 1988, № 23, с. 49.

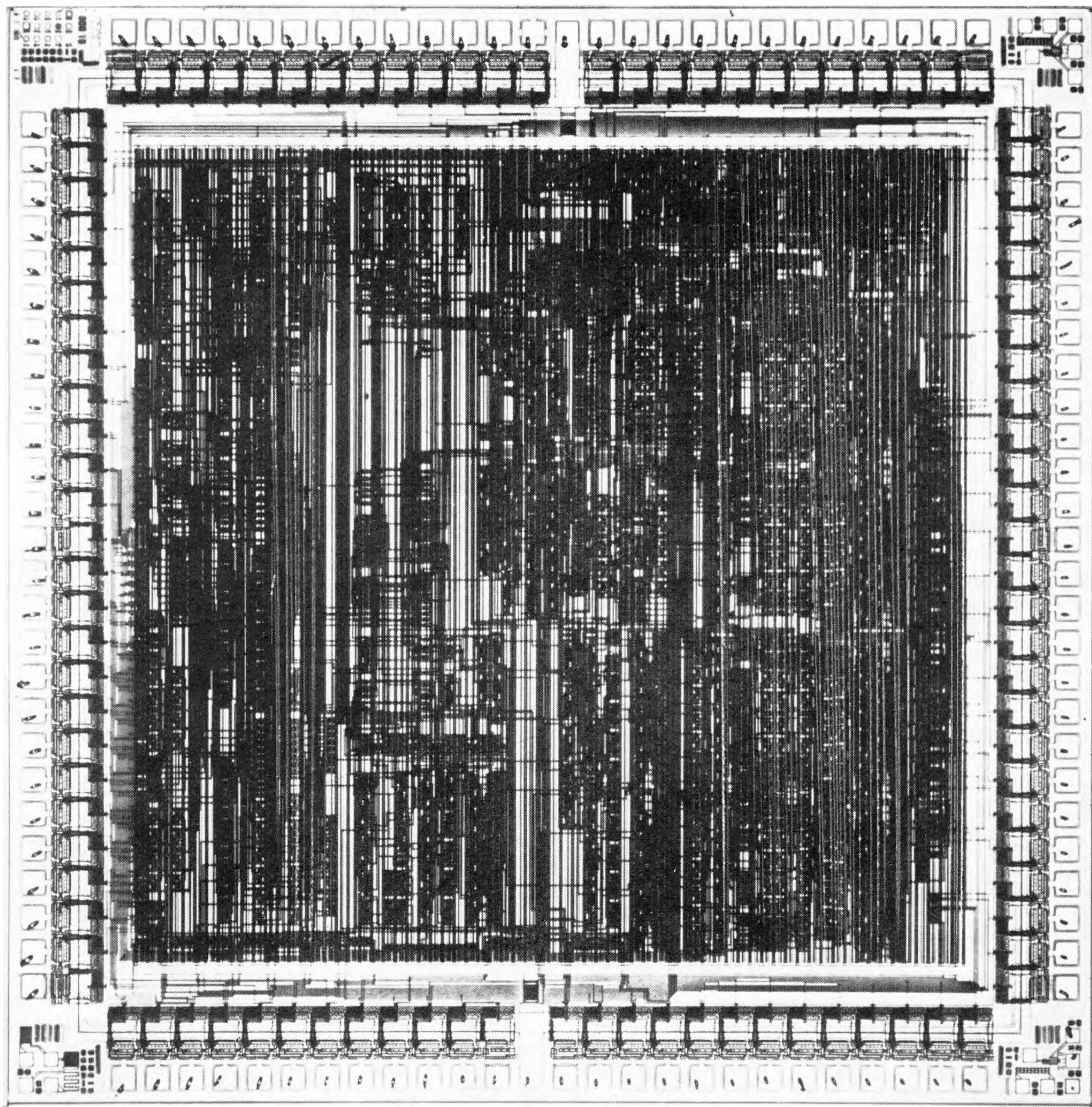
**Портативный
персональный компьютер
ПК 300**
совместим с компьютерами
типа PC/XT фирмы IBM
и сравним
по своим техническим
характеристикам
с портативными компьютерами:

Convertible
фирмы IBM, T1100PLUS,
T1200FB
фирмы Toshiba,
Multispeed
фирмы NEC,
Z-181
фирмы Zenith
и др.

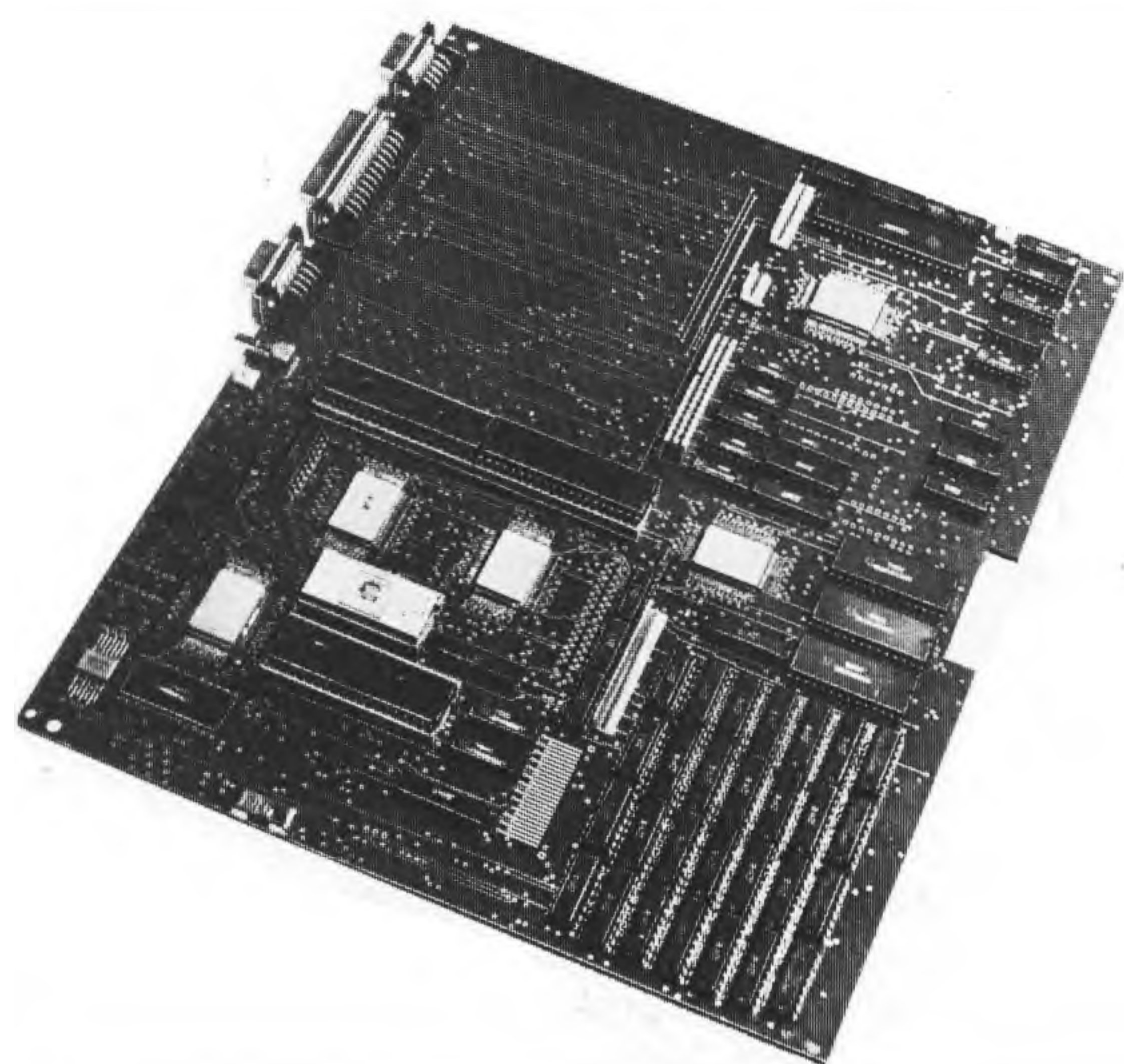


Профессиональное рабочее место

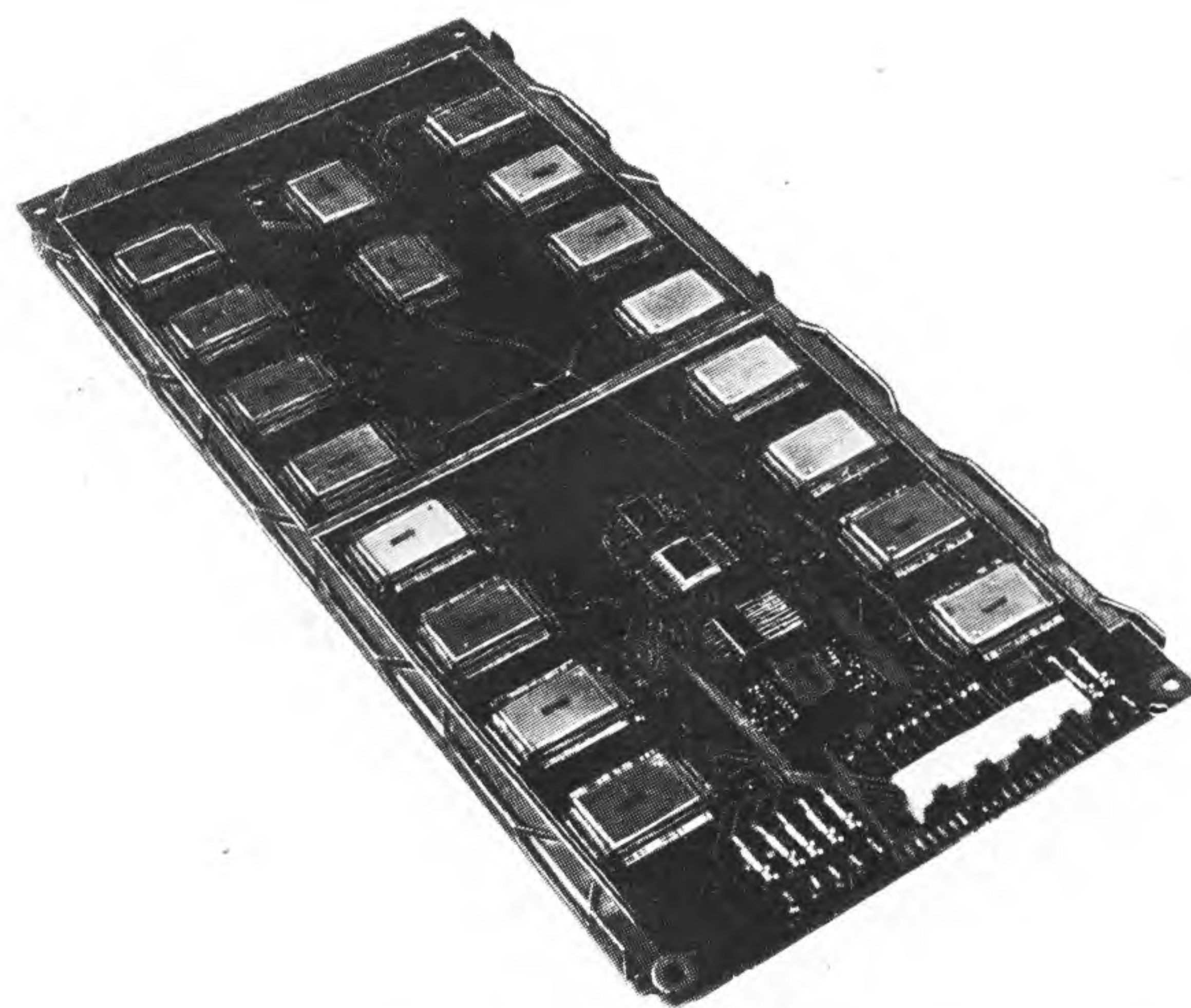




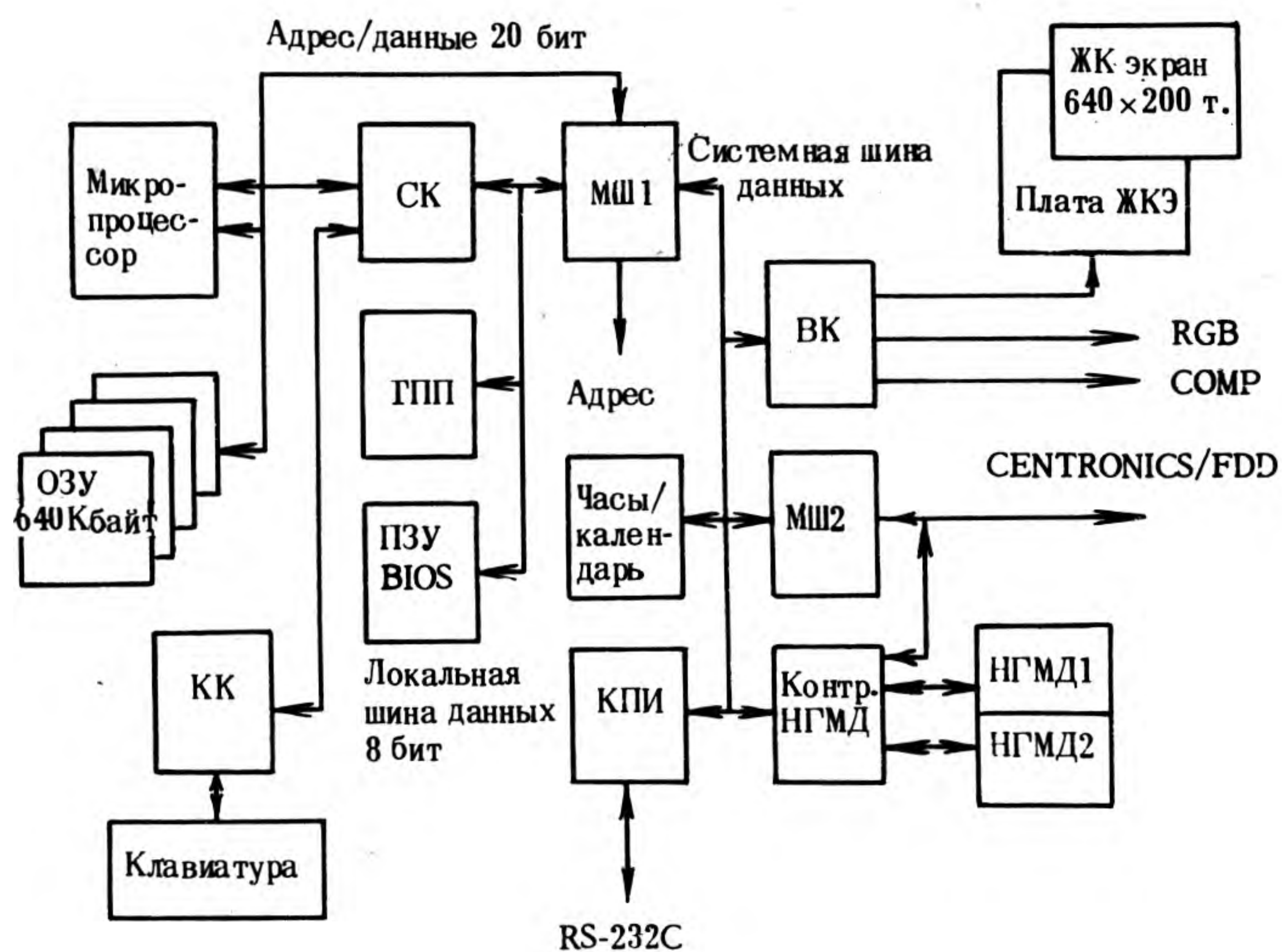
Базовый матричный кристалл



Многослойная печатная плата



Модуль жидкокристаллического экрана



Структурная схема ПК 300

тельные удобства для оператора. Зоны алфавитно-цифрового поля и функциональных клавиш имеют цветовое различие. Благодаря применению выравнивающего механизма все клавиши имеют плавный ход независимо от нажатия в любой части клавишного колпачка. Подключается блок клавиатуры к разъему платы системного модуля при помощи 25-жильного плоского кабеля.

Рядом с клавиатурой расположена панель индикации режимов работы и выключатель ЖКЭ, срабатывающий при опускании крышки.

ЖК экран с информационной емкостью 640x200 точек, позволяющий отобразить произвольную графическую и текстовую (25 строк по 80 символов) информацию, расположен в поворотной крышке и присоединен к корпусу при помощи муфты. В диапазоне от 90 до 180 градусов он может фиксироваться в любом положении. Для контактирования ЖК экрана с платой драйверов использован эластичный проводник "зебра" с боковой изоляцией. Шаг проводящих слоев в "зевре" — 30 мкм.

Компьютер оснащен двумя накопителями на гибких магнитных дисках диаметром 89 мм (3,5 дюйма) и емкостью по 720 Кбайт каждый. Накопители размещены в правой части корпуса за клавиатурой друг над другом.

Структурная схема ПК 300 включает в себя следующие устройства:

- системный блок с центральным микропроцессором, работающим на частотах 7,16 и 4,77 МГц; оперативную память емкостью 640 Кбайт; постоянное запоминающее устройство с базовой системой ввода-вывода (BIOS) емкостью 32 Кбайт; два мультиплексора шин (МШ1 и МШ2), осуществляющих функции драйверов и приемников микропроцессорной, локальной и системной шин, фиксацию адреса и формирование сигналов выбора кристалла портов ввода-вывода; системный контроллер (СК), осуществляющий функции генератора, контроллера системной шины, контроллера локальной шины, системного конфигулятора, интерфейса клавиатуры, контроллера динамической памяти, системного конфигулятора, контроллера протокола прямого доступа к памяти и другие функции; БИС таймера, прерывания, прямого доступа (ТПП), выполняю-

Технические характеристики ПЭВМ ПК 300

Тип компьютера	IBM PC/XT
Операционная система	MS DOS
Разрядность микропроцессора	16-бит
Производительность	1 млн.кор.оп./с
Емкость ОЗУ	640 Кбайт
Емкость ПЗУ	32 Кбайт
Тип индикатора	ЖКИ
Информационная емкость экрана	640x200 точек
Тип видеоадаптера	CGA
Емкость двух НГМД для дискет диаметром 89 мм	2x720 Кбайт
Число клавиш встроенной полноформатной русско-латинской клавиатуры	84
Число каналов последовательного интерфейса RS-232C	1
Максимальная скорость передачи данных по последовательному интерфейсу RS-232C	9600 бит/с
Тип параллельного интерфейса	Centronics
Число интерфейсов для подключения цветного монитора (RGB)	1
Число интерфейсов для подключения монохромного монитора (COMP)	1
Число интерфейсов для подключения внешнего 133 мм НГМД	1
Габаритные размеры	306x312x68 мм
Масса	5 кг

ПЭВМ ПК 300 имеет встроенные часы/календарь

щей функции программируемого контроллера прерываний, контроллера прямого доступа к памяти и таймера/счетчика;

- контроллер клавиатуры (КК);
- видеоконтроллер (ВК), использующий видео-ОЗУ статического типа емкостью 16 Кбайт и загружаемый знакогенератор емкостью 8 Кбайт, управляющий отображением данных на ЖК экран и поддерживающий вывод данных на RGB-монитор в соответствии со стандартом CGA фирмы IBM и формирующий сигнал ВИДЕО для подключения монохромного монитора или телевизора;

- контроллер накопителей гибкого магнитного диска (КНГМД), состоящий из собственно контроллера и сепаратора, осуществляющего выделение данных при считывании с НГМД и синхронизацию обмена при записи-считывании данных, буферных схем, которые предназначены для работы с двумя внутренними малогабаритными накопителями диаметром 89 мм емкостью 720 Кбайт или с одним внутренним и внешним накопителем диаметром 133 мм емкостью 360 Кбайт;

- контроллер последовательного интерфейса (КПИ), удовлетворяющий требованиям стандарта RS-232C и обеспечивающий скорость передачи информации от 50 до 9600 бит/с;

- контроллер параллельного интерфейса, реализующий передачу информации между ПК 300 и печатающим устройством по интерфейсу CENTRONICS;

- часы-календарь, выполненные на микросхеме K512BI1.

Основным управляющим ядром ПК 300 является системный модуль, собранный на многослойной печатной плате, размещенной на основании и занимающей почти всю его внутреннюю площадь. Размер платы 230x280 мм. На ней установлено 67 микросхем с числом выводов от 16 до 100 и шагом от 2,5 до 0,625 мм, разъемы внешних и внутренних межсоединений, конденсаторы, резисторы, диоды. Элементная база подбиралась с учетом макси-

мального использования технологии группового монтажа на поверхность печатной платы с оплавлением припоя методом ИК пайки.

Разъемная совместимость портативного компьютера ПК 300 с ПЭВМ типа IBM PC, PC/XT позволяет непосредственно подключать к нему стандартные внешние устройства.

В компьютере предусмотрена возможность подключения устройств пользователя с помощью дополнительных плат профорентации, устанавливаемых в специальный отсек и подсоединяемых к системной шине типа PC/XT через 60-контактный соединитель.

Система электропитания компьютера ПК 300 состоит из внешнего сетевого блока питания с выходным напряжением +9 В, модуля стабилизатора, формирующего напряжения +5 В, -15 В, +9 В и -9 В для питания системной платы, накопителей на гибких магнитных дисках, ЖК экрана и приемопередатчиков интерфейса RS-232C и осуществляющего заряд аккумуляторной батареи до напряжения +5В, а также из самой аккумуляторной батареи. Автономность

работы компьютера от аккумуляторной батареи не менее 6 ч при условии работы накопителей не более 10% от этого времени.

В компьютере может использоваться операционная система MS-DOS версии 3.30 фирмы Microsoft или другая совместимая с ней операционная система, что делает возможным использование любого прикладного программного обеспечения, наработанного для компьютеров класса IBM PC, PC/XT или совместимых с ними.

На базе портативного компьютера ПК 300 с использованием цветного графического CGA-монитора, матричного принтера типа EPSON и манипулятора типа "мышь" легко организовать профессиональное рабочее место, обеспечивающее пользователю большее свободное пространство на рабочем столе, чем при использовании "стандартного" настольного компьютера с равными возможностями.

Статья поступила 23 марта 1990 г.

УДК 621.3.049.776.43:681.3.-181.4

КОМПЛЕКТ КОНТРОЛЛЕРНЫХ КМОП БИС ПОРТАТИВНОЙ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭВМ «ЭЛЕКТРОНИКА ПК 300»

*Д. И. Дмитриев, В. В. Готовчик, Г. Е. Вырко,
Л. Ф. Щурко, Н. С. Надвиков*

Комплект контроллерных БИС в составе мультиплексора шины (МШ), системного контроллера (СК) и видеоконтроллера (ВК) разработан для портативной ПЭВМ "Электроника ПК 300", но может служить также основой для построения 16-разрядных ПЭВМ, совместимых по программному обеспечению с семейством ПЭВМ PC/XT фирмы IBM.

Комплект изготовлен на основе базового матричного кристалла размером 6,3х6,3 мм, на котором размещено 40 тысяч транзисторов.

Кристаллы собираются в 100-выводном пластмассовом корпусе. Выводы корпуса образуют матрицу 30х20х30х20. Шаг выводов - 0,65 мм.

БИС СИСТЕМНОГО КОНТРОЛЛЕРА (СК) определяет архитектуру ПЭВМ. Ее основные функции:

- обеспечение блоков ПЭВМ синхрочастотами;
- организация управления системной шиной;
- организация управления локальной шиной;
- управление ОЗУ;
- управление считыванием ПЗУ;
- обеспечение прямого доступа к памяти (ПДП);
- регистровое ОЗУ страниц ПДП;
- обеспечение доступа к конфигуратору;
- интерфейс клавиатуры;
- управление системным таймером;
- управление звуковым индикатором;
- регистр немаскируемого прерывания;
- регистр выбора частоты синхронизации центрального процессора (ЦП).

В состав БИС СК входят следующие основные блоки:

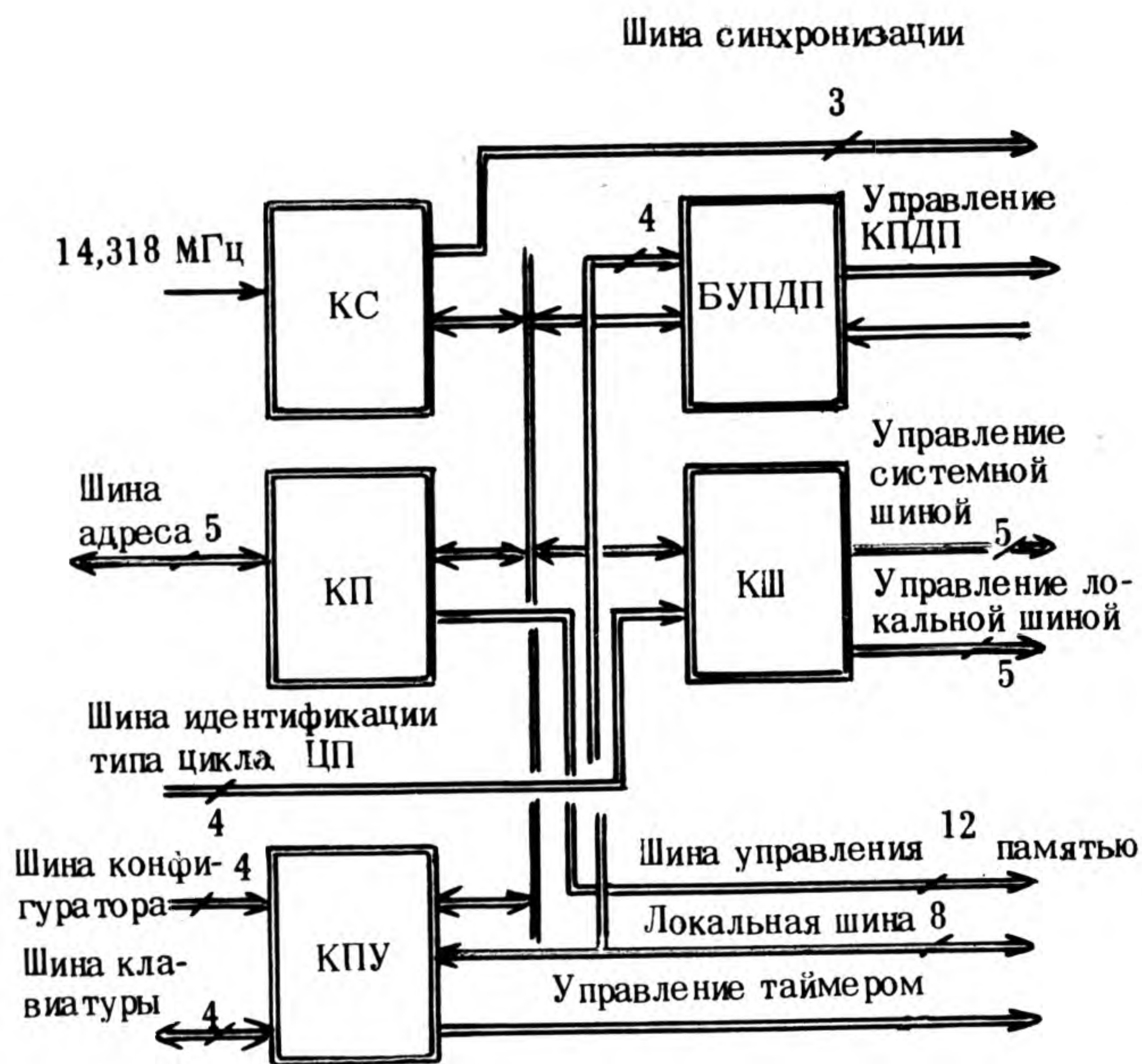
- контроллер синхронизации (СК);
- блок управления ПДП (БУПДП);
- контроллер памяти (КП);
- контроллер шин (КШ);
- контроллер периферийных устройств (КПУ).

КС вырабатывает синхрочастоты для ЦП, контроллера ПДП (КПДП) и системного таймера, а также сигнал начальной установки для ПЭВМ и сигналы готовности для ЦП и КПДП.

БУПДП обеспечивает протокол ПДП и хранит адреса страниц ПДП.

КП управляет памятью ПЭВМ и осуществляет работу с микросхемами ОЗУ с организацией 64кх4 и 256Кх4. В последнем случае нет необходимости в использовании внешнего буфера сигналов RAS. В качестве ОЗУ паритетов предполагается использование двух микросхем памяти с организацией 256Кх1. Таким образом, бит паритета формируется для области ОЗУ от 0 до 512 Кбайт. При нарушении паритета устанавливается бит ошибки и, в случае разрешения, выдается сигнал NMI. С помощью конфигулятора можно настраиваться на различные объемы ОЗУ: 256, 384, 512 или 640 Кбайт.

КШ дешифрует состояния шины идентификации типа текущего цикла обмена и формирует сигналы управления обменом по системной шине. Контроллер анализирует признаки байт/слово и при работе со сло-



Структурная схема БИС системного контроллера

Основные характеристики БИС СК

- Объем адресуемой оперативной памяти 640 Кбайт
- Рабочая (входная) частота 14,318 МГц
- Формируемые частоты процессора 7,16 МГц, 4,77 МГц
- контроллера прямого доступа к памяти 4,77 МГц
- таймера 1,19 МГц
- Число управляемых шин 2
- Число программно-доступных регистров 9

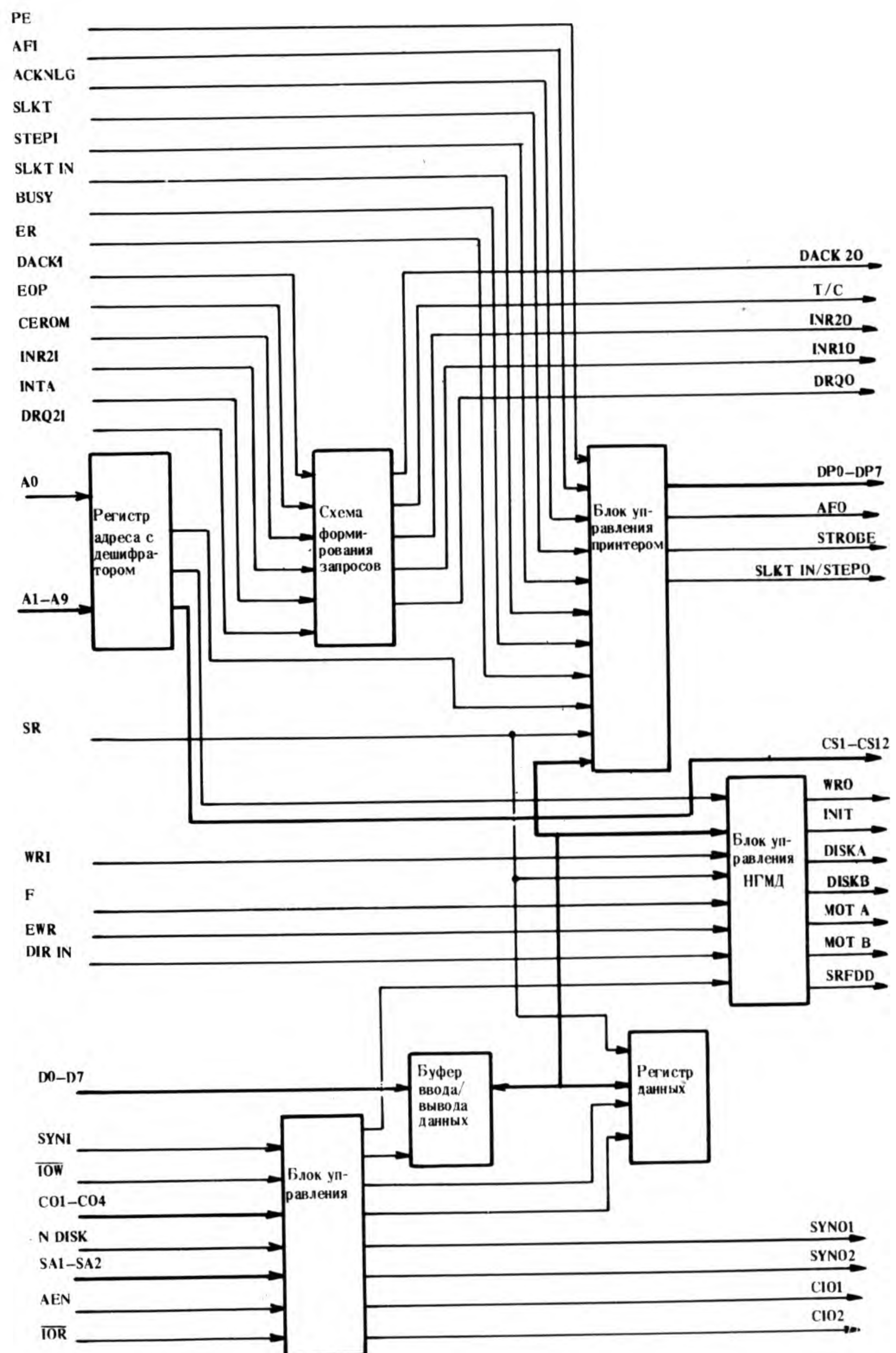
вами по локальной шине формирует дополнительный аппаратный цикл обращения. На время дополнительного цикла деактивируется сигнал готовности процессора.

КПУ организует доступ к конфигуратору, клавиатуре и портам ПЭВМ.

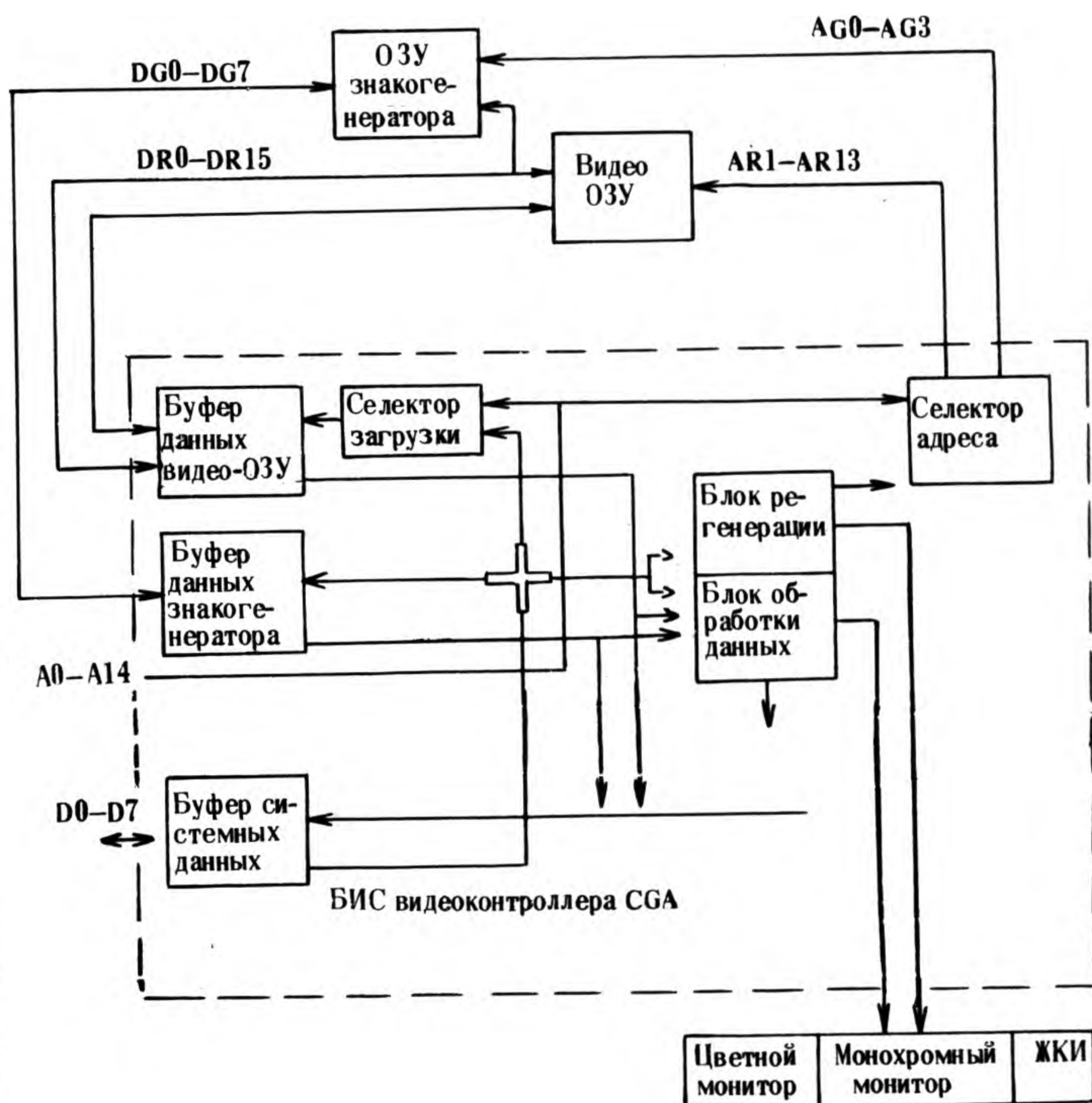
БИС МУЛЬТИПЛЕКСОРА ШИНЫ (МШ) предназначена для организации информационного обмена между процессором и устройствами через локальную и системную шины. Обеспечивает работу с печатающим устройством посредством байтового параллельного интерфейса и выполняет ряд других функций, необходимых для работы ПЭВМ.

Основные характеристики БИС МШ

- Число каналов ввода/вывода, разрядность канала
- режим 1 один 16-разрядный, два 8-разрядных
- режим 2 два 8-разрядных, включая интерфейс принтера
- Число программно-доступных регистров 3
- Адресуемая память 1 Мбайт
- Тактовая частота (режим 2) 7,16 МГц



Работа БИС мультиплексора шины в режиме 1



Работа БИС мультиплексора шины в режиме 2

Микросхема работает в двух независимых режимах.

Основные функции в режиме 1:

- прием, фиксация и выдача 20-разрядного адреса;
- прием, фиксация и выдача байта адреса ПЦП;
- прием данных процессора и выдача байта данных в системную или локальную шину;
- прием и передача в процессор байта (слова) данных из системной или локальной шины;
- формирование сигнала запроса магистрали;
- побайтный контроль четности данных с учетом принимаемого контрольного разряда;
- формирование сигналов выбора устройств по адресам 00X, 2CX, 3DX.

Основные функции в режиме 2:

- прием 10-разрядного адреса, дешифрация и выработка сигналов выбора устройств и регистров микросхемы;
- байтовый обмен данными и управляющими сигналами интерфейса;
- выдача сигналов для обеспечения работы блока предкомпенсации НГМД;
- формирование запросов магистрали и запросов на прерывания.

БИС ВИДЕОКОНТРОЛЛЕРА (ВК) предназначена для вывода информации на цветной или монохромный дисплей или на ЖК экран. Основу контроллера составляют блоки регенерации и обработки данных. Буферы и селекторы предназначены для коммутации основных потоков информации.

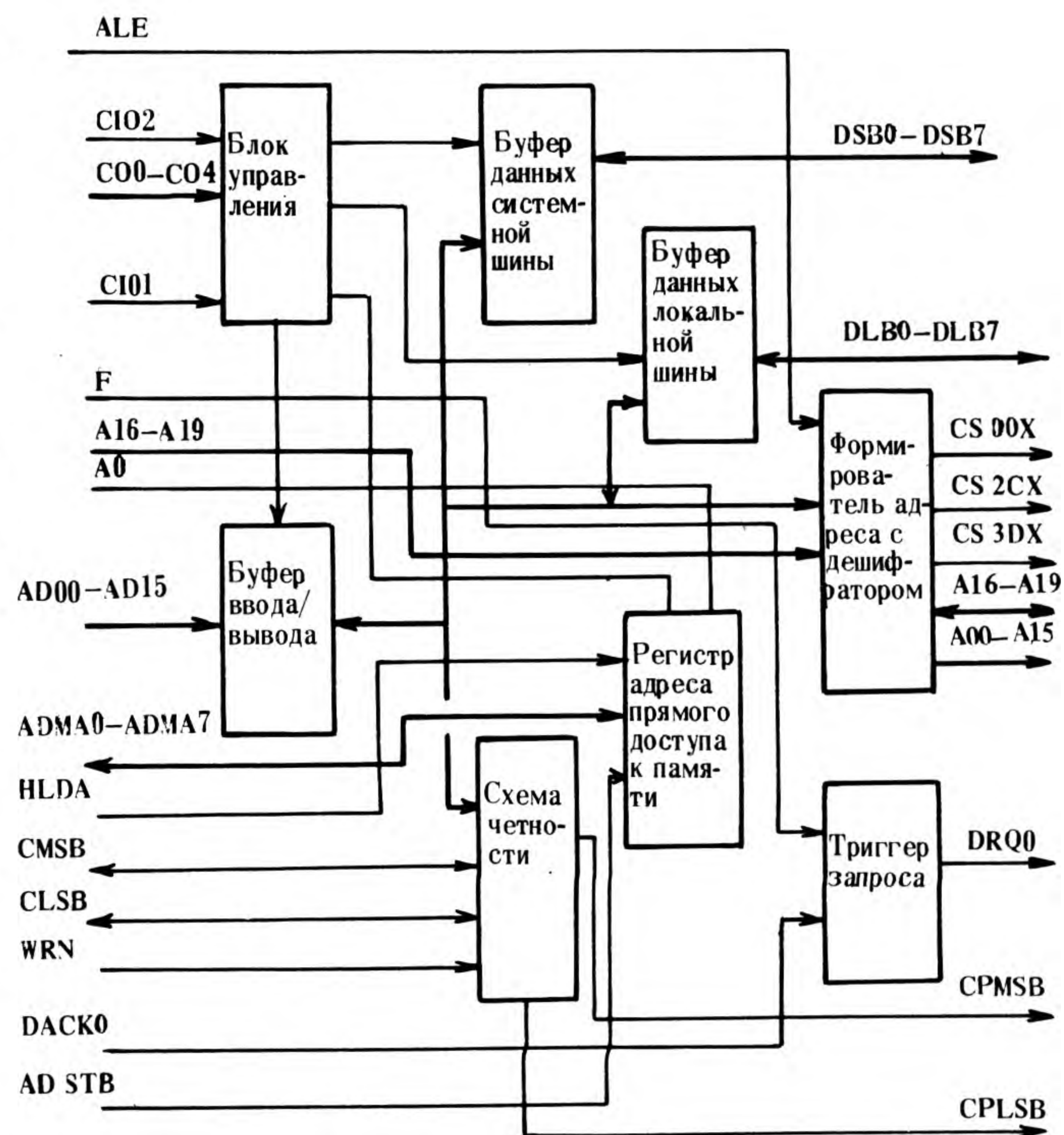
Связь ВК с процессором осуществляется посредством системной шины. Режим работы видеоконтроллера, в том числе и параметры развертки, устанавливаются процессором путем программирования внутренних регистров БИС.

В типичном включении используется полная видеопамять — две схемы ОЗУ по 8 Кбайт, которая является частью оперативной памяти процессора. Процессор имеет прозрачный доступ к видеопамети через ВК, что достигается квантованием времени между регенерацией экрана и обменом с видеоОЗУ.

Для хранения битовых карт символов используется ОЗУ знакогенератора. Процессор имеет доступ к знакогенератору аналогично доступу к видеоОЗУ.

Видеоконтроллер обеспечивает два основных режима работы — графический и символьный. В графическом режиме в видеопамети формируется и хранится битовая карта изображения. При регенерации информация побайтно считывается из видеоОЗУ и через видеоконтроллер поступает на средство отображения.

В символьном режиме в видеоОЗУ формируются и хранятся коды отображаемых символов и их атрибуты. При регенерации код символа и его атрибут считы-



Структурная схема БИС видеоконтроллера

Основные характеристики БИС ВК

Максимальный объем видеопамети	16 Кбайт
Объем загружаемого знакогенератора	2 Кбайт × 2
Область адресов видеопамети	B8000—BBFFF
Область адресов регистров ВК	3DX
Средства отображения	цветной монитор, монохромный монитор, ЖКИ
Максимальная тактовая частота:	
ЖКИ	17,5 МГц
монитора	14,318 МГц
Число одновременно отображаемых цветов:	
графический режим	4
символьный режим	16
Формат экрана программируется, типичные значения:	
графический режим	640 × 200 пиксел,
знаковый режим	80 × 25 знаков
Максимальный мультиплекс ЖКИ	200

ваются одновременно. Атрибут поступает в ВК и определяет цвет отображаемого символа и его фона. Код символа поступает на знакогенератор и является адресом битовой карты отображаемого символа. Адрес дополняется номером текущей линии. Выбранный из знакогенератора байт поступает в видеоконтроллер и после обработки передается на средство отображения.

Статья поступила 23 марта 1990 г.

МОДУЛЬ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЭКРАНА С ИНФОРМАТИВНОСТЬЮ 640×200 ТОЧЕК ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО КОМПЬЮТЕРА ПК 300

*В. А. Осика, М. М. Бобровницкий, М. К. Гурин,
А. Я. Евтушенко, А. И. Заводченков,
В. А. Кособрюхов, Г. П. Орлевич, С. И. Иванцова,
А. А. Спицын*

Компактность, высокое качество изображения, низкое энергопотребление портативного компьютера ПК 300 достигнуто благодаря разработанному модулю жидкокристаллического экрана (МЖКЭ).

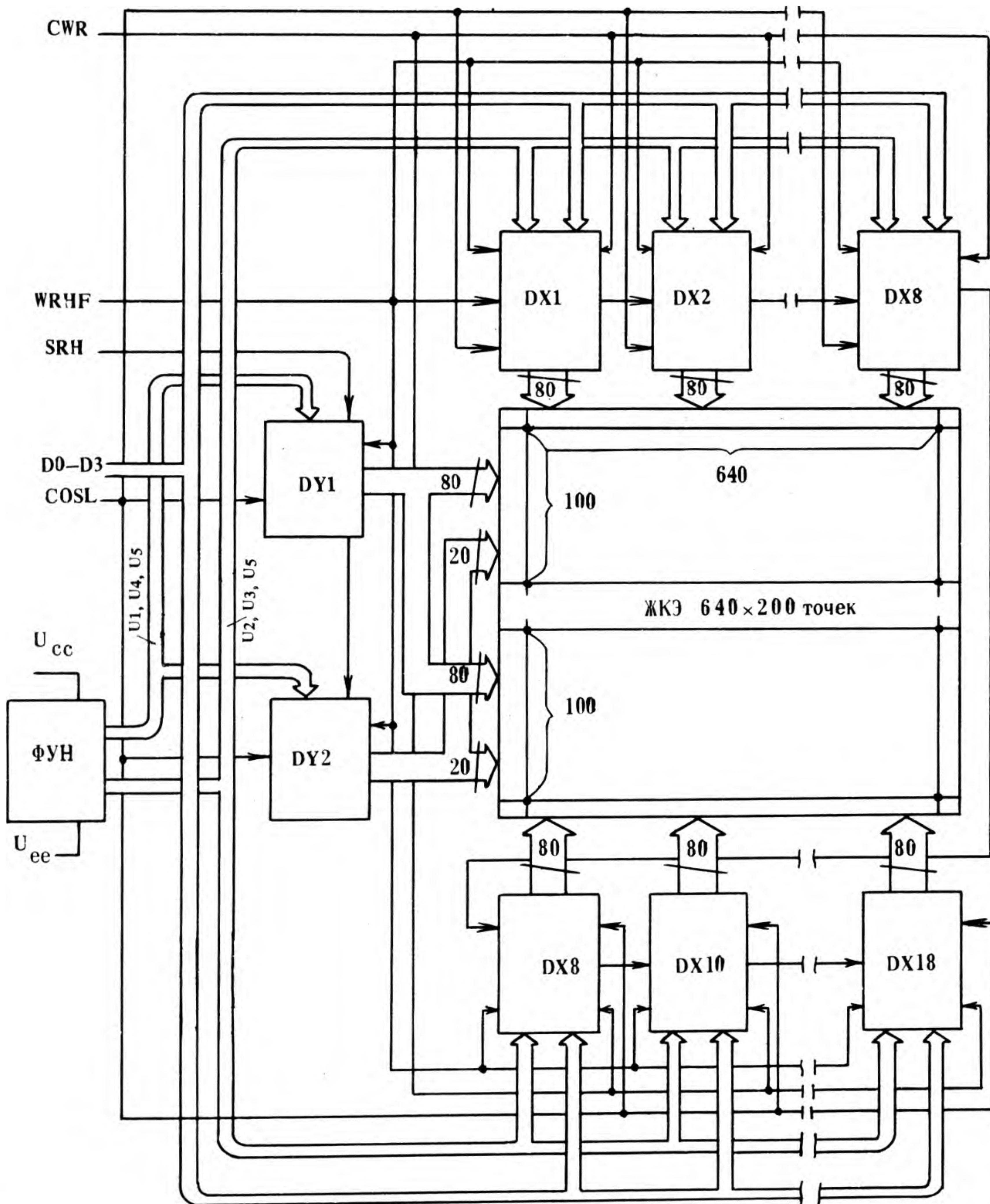
Применение плоского жидкокристаллического экрана (ЖКЭ) на основе супертвист эффекта обеспечивает высокую информативность и хорошее качество изображения. Зона отображения экрана содержит матрицу точек прямоугольной формы, что позволяет сохранить привычное аспектное отношение 5:7 для ширины и высоты символов формата 8x8 точек. Полная символьная информативность экрана составляет 25 строк x 80 символов, т. е. 2000 символов. Всего экран содержит 12800 контактных площадок с шагом 0,35 мм для управления столбцами и 200 площадок с шагом 0,49 мм для управления строками. Матрица экрана разделена на два параллельно управляемых блока по 640x100 точек. Уп-

равление ЖКЭ осуществляется в мультиплексном режиме 1/100.

Большое количество выводов и малые шаги контактных площадок потребовали разработки комплекта управляющих микросхем, а также использования высокоточных эластичных разъемов для сборки экрана с платой управления.

Плата управления ЖКЭ содержит специально разработанный комплект микросхем: 16 БИС драйверов столбцов (DX), 2 БИС драйверов строк (DY), 1 микросхему формирователя уровней напряжений (ФУН), а также 4 микросхемы сопряжения модуля с видеоконтроллером, 16-контактный соединитель, резисторы и конденсаторы. Все элементы смонтированы на внешней стороне платы, изготовленной из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм.

Запись информации в драйверы DX осуществляется



Основные характеристики МЖКЭ

Формат матрицы отображения . . . 640 столбцов × 200 строк
 Габаритные размеры 275×126×14,4 мм
 Масса 400 г
 Информативность 25 строк × 80 символов
 Зона отображения 223,6×97,6 мм
 Диагональ зоны отображения 24,4 см
 Размер точки 0,31×0,45 мм
 Шаг точек
 по вертикали 0,35 мм
 по горизонтали 0,49 мм
 Контрастное отношение 5:1 отн.ед.
 Угол обзора 50 град
 Время реакции (релаксации) 200 мс
 Напряжение питания
 для логики БИС +5 В
 для ЖКЭ -15 В
 Размах управляющих напряжений 15—20 В
 Потребляемая мощность 100 мВт
 Тактовая частота
 записи данных 2,2 МГц
 выборки строк 7 кГц
 Кадровая частота 70 Гц

Структурная схема МЖКЭ

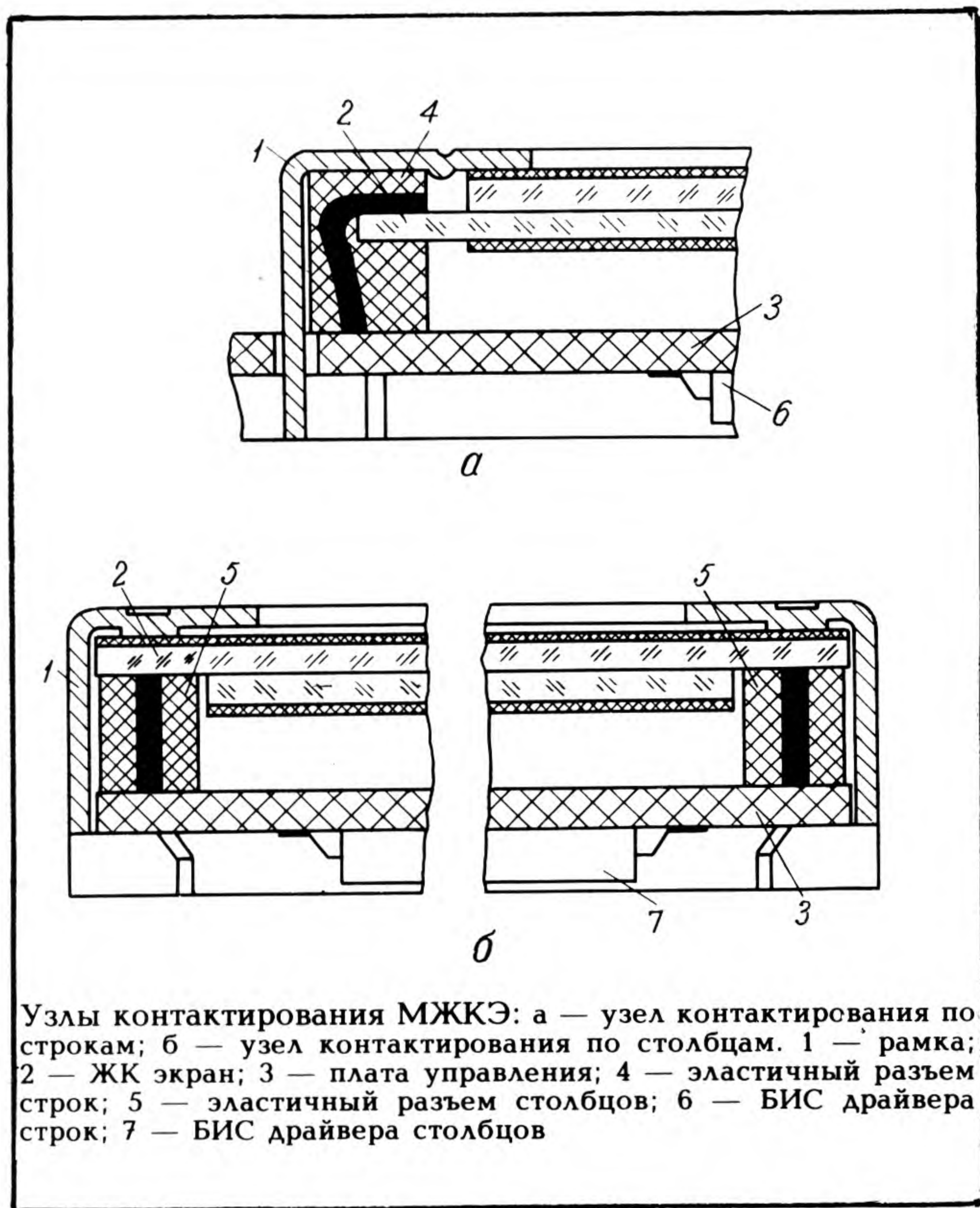
по четырем шинам D0–D3 последовательно для драйверов DX1–DX16. Запись данных синхронизируется сигналом CWR, который подается на входы драйверов столбцов SYNWR1. Перезапись данных производится по сигналу WRBF, который подается на входы драйверов столбцов SYNWR2. Сигнал WRBF используется также для разрешения записи данных драйвера DX1 по входу BG/END. Разрешение записи данных для драйверов DX2–DX16 производится сигналами эстафеты между драйверами, которые формируются на выходах END/BG.

Драйверы строк DY1 и DY2 формируют импульсы выборки строки, которые поступают последовательно на строки с 1 по 100 и одновременно с 101 по 200. Синхронизация выборки производится сигналом WRBF, который подается на входы драйверов строк SYN. За время выборки строки информация подается на ЖКЭ со всех 1280 столбцов одновременно. Начало выборки кадра происходит по сигналу SRH, который подается на вход BG/END драйвера DY1.

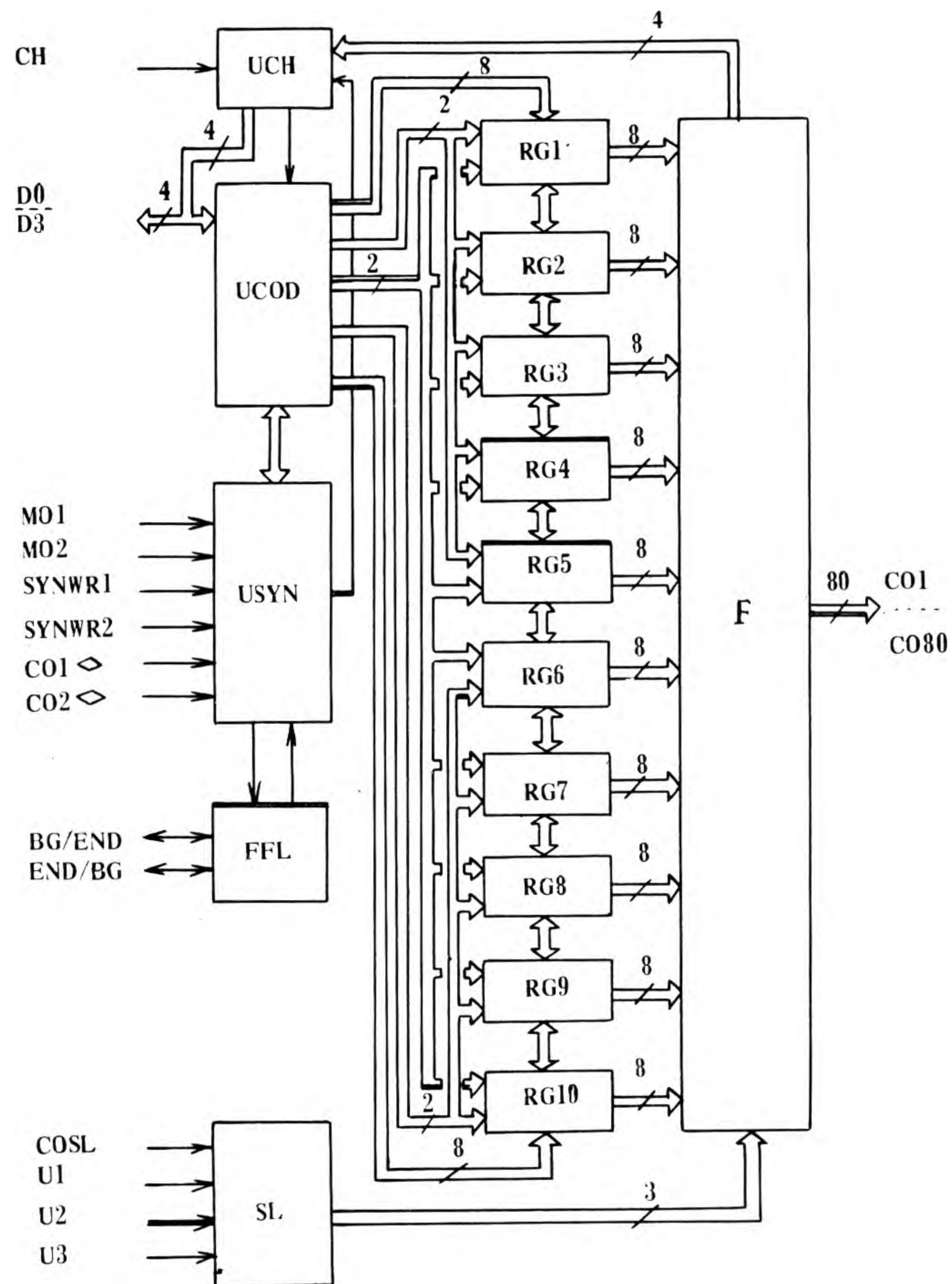
Для исключения постоянной составляющей в разности потенциалов на жидком кристалле, приводящей к его деградации, по сигналу COSL происходит смена полярности управляющих напряжений.

Формирователь уровней напряжений (ФУН) формирует и стабилизирует уровни напряжений $U_1–U_5$ с точностью $\pm 1\%$.

Для электрического соединения платы с ЖКЭ использованы эластичные разъемы типа "zebra" с чередующимися токопроводящими и диэлектрическими слоями. Узлы контактирования МЖКЭ изображены на



рисунке. В области столбцов проводники имеют прямую форму с двухсторонней боковой изоляцией, а в области строк — Г-образную форму с такой же изоляцией. Шаг проводников равен 50 мкм.



Структурная схема микросхемы драйвера столбцов

Для общего соединения всей конструкции модуля ЖКЭ и обеспечения надежного электрического контакта используется прижимная рамка.

Микросхема драйвера столбцов содержит:

устройство синхронизации USIN, предназначенное для выработки сигналов синхронизации и задания режимов работы. Задание режимов осуществляется сигналами по выводам MO1, MO2, CO1 <>, CO2 <>. При этом определяется разрядность принимаемой по магистрали D0–D3 информации, а также направление сдвига информации через регистры в процессе загрузки;

формирователь признаков FFL — для приема и выдачи сигналов передачи управления по выводам BG/END, END/BG при каскадном подключении нескольких микросхем. Назначение этих выводов определяется выбранным режимом работы;

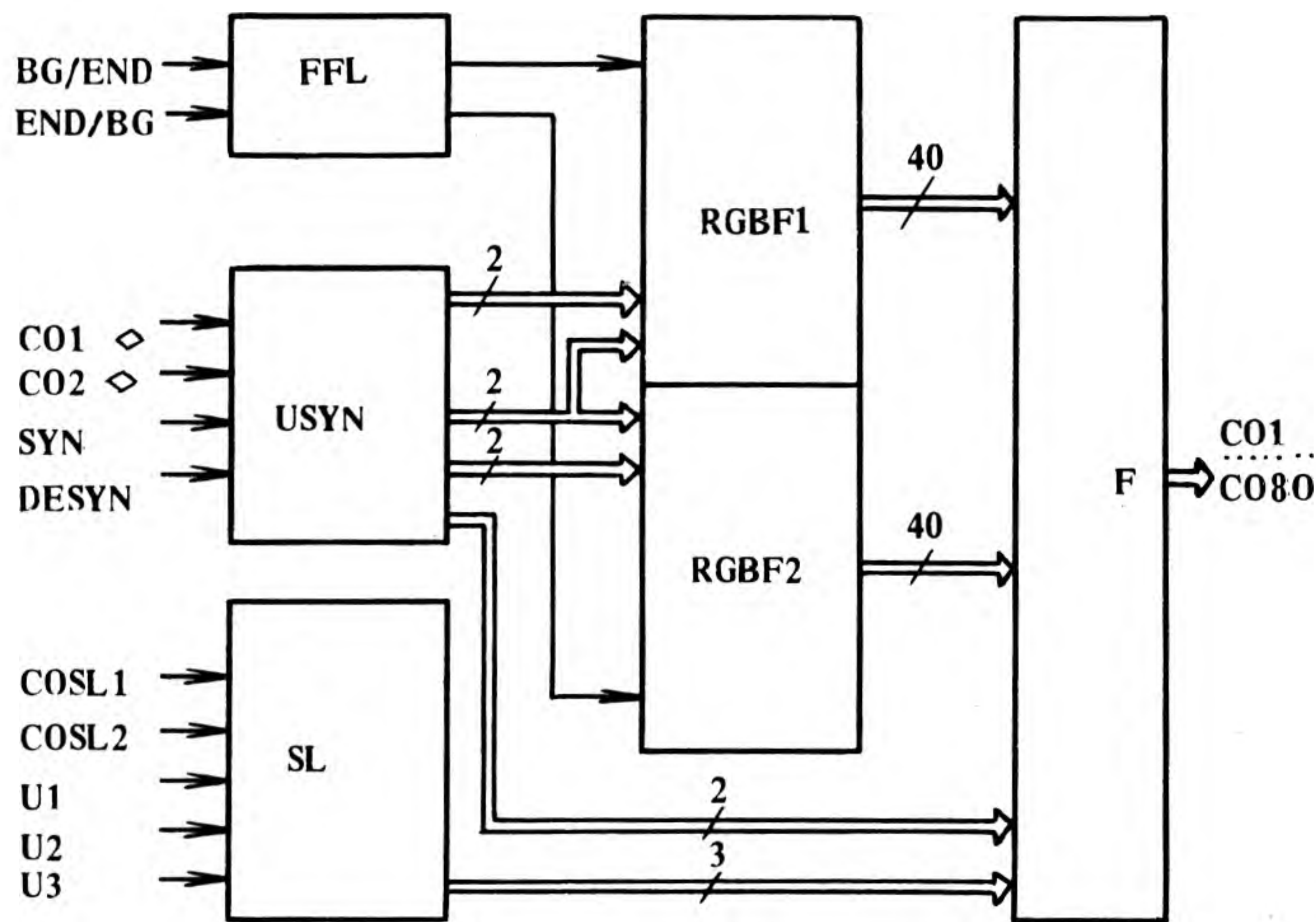
селектор SL — для попарной выборки по сигналу COSL, управляющих потенциалов ЖКЭ и передачи их на формирователь F;

устройство управления данными UCOD — для приема данных с магистрали D0–D3 и передачи их в буферные регистры;

устройство контроля UCH для тестирования микросхемы;

регистры RG1–RG10 — для временного хранения информации в процессе загрузки состояния всех столбцов экрана;

формирователь F — для преобразования логических уровней из низковольтных в высоковольтные и коммутации на выходы CO1–CO80 управляющих потенциалов.



Структурная схема микросхемы драйвера строк

Микросхема драйвера строк содержит:

устройство синхронизации USIN, предназначенное для выработки/блокировки сигналов синхронизации и задания направления сдвига информации в буферных регистрах. Управление сдвигом осуществляется по выводам CO1 <>, CO2 <>;

формирователь признаков FFL — для приема и выдачи сигналов передачи управления по выводам BG/END, END/BG при каскадном подключении нескольких микросхем. Назначение этих выводов определяется выбранным режимом работы;

селектор SL — для попарной выборки по сигналам COSL1, COSL2 управляющих потенциалов ЖКЭ и передачи их на формирователь;

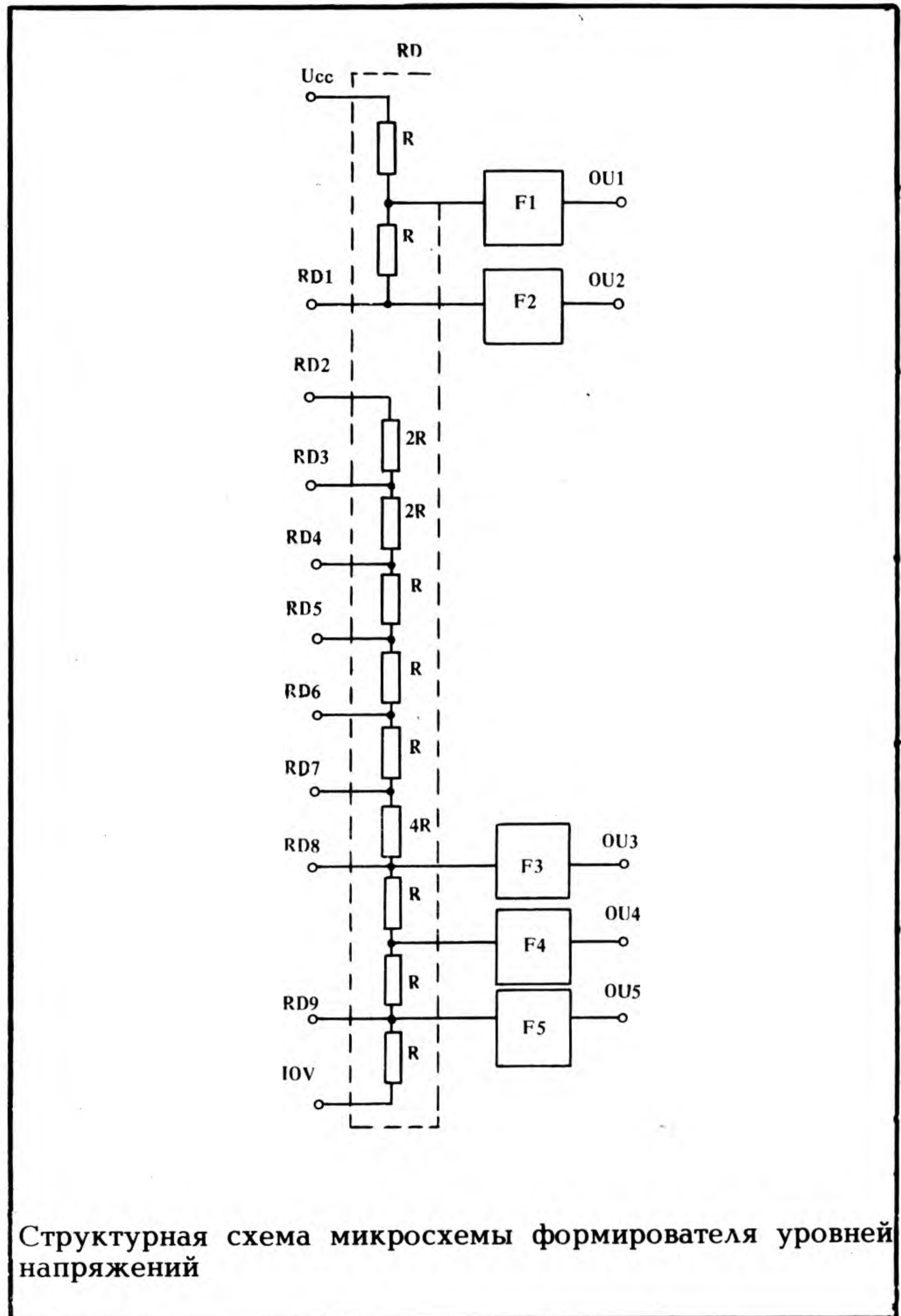
буферные регистры RGF1, RGF2 — для последовательного сдвига информации, поступающей по выводам BG/END, END/BG;

формирователь F — для преобразования логических уровней из низковольтных в высоковольтные и коммутации на выходы CO1—CO80 управляющих потенциалов.

Основные характеристики драйвера столбцов (DX) и драйвера строк (DY)

	DX	DY
Напряжение питания, В	5±10%	5±10%
Диапазон коммутируемых уровней, В	28	28
Рабочая частота, МГц	3,5	0,2
Число управляющих выходов	80	80
Разрядность магистрали данных, бит	4	—
Разрядность принимаемой информации, бит	1,2 или 4	—
Диапазон рабочих температур, °С	от —25 до 85	

Микросхемы изготовлены по высоковольтной низкороговой КМОП-технологии с самосовмещенным поликремниевым затвором. Конструктивно выполнены в плоском 100-выводном пластмассовом корпусе с четырехсторонним расположением выводов с шагом 0,65 мм.



Структурная схема микросхемы формирователя уровней напряжений

Микросхема формирователя уровней напряжений (ФУН). Микросхема состоит из резисторного делителя RD и формирователей F1—F5. Резисторный делитель предназначен для формирования опорных напряжений, поступающих на входы формирователей. В зависимости от коммутации его выводов формируются различные соотношения уровней напряжений для мультиплексных режимов от 1/32 до 1/200. Суммарное сопротивление резисторного делителя равно 320 кОм ± 20%. Формирователи уровней F1—F5 представляют собой операционные усилители, охваченные отрицательной обратной связью по напряжению. Напряжения смещения формирователей составляют единицы милливольт во всем рабочем диапазоне питающих напряжений микросхемы +5 В и —25 В.

Отличительная особенность микросхемы — низкий выходной импеданс управляющих выводов и высокий входной импеданс. В статическом режиме ток потребления микросхемы составляет 1 мА. Благодаря операционным усилителям, работающим в режиме повторителей напряжения при достаточно низкой потребляемой мощности выходные каскады обеспечивают нагрузку токи более ± 10 мА.

Конструктивно микросхема ФУН выполнена в плоском пластмассовом 20-выводном корпусе 4109.20.

Разработанный комплект микросхем и конструкция МЖКЭ обеспечили управление матричным экраном с плотностью мультиплексирования 1/100. Проводятся работы по оптимизации режимов управления в режиме 1/200 и формирования полутонового изображения с четырьмя градациями яркости.

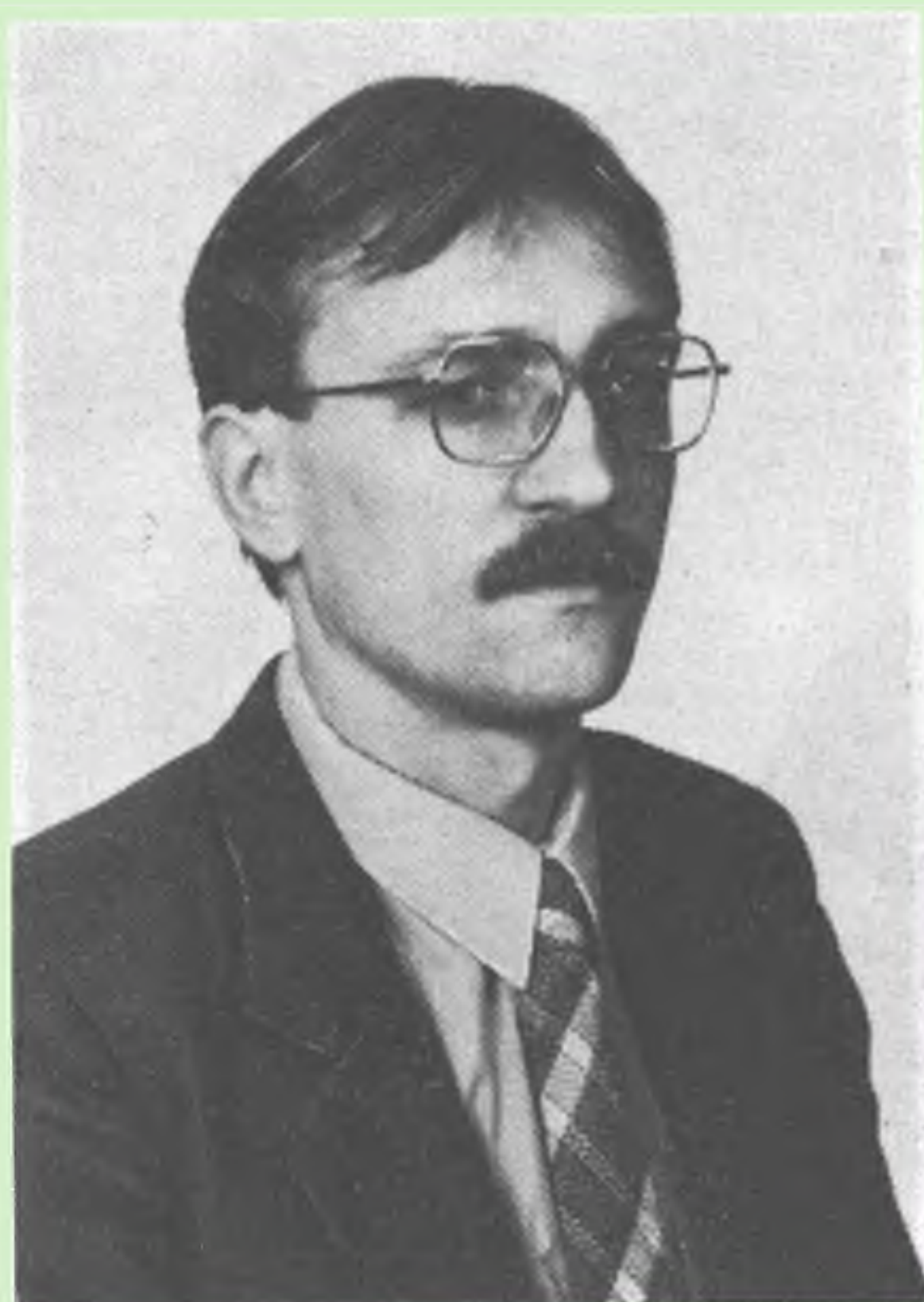


Коллектив разработчиков портативной персональной ЭВМ ПК 300. На фото слева направо: в верхнем ряду — А.А.Хоменко, В.Ю.Горских, А.Ф.Кузнечиков; в нижнем ряду — В.И.Толкачев, М.А.Крайко, В.А.Сидоров

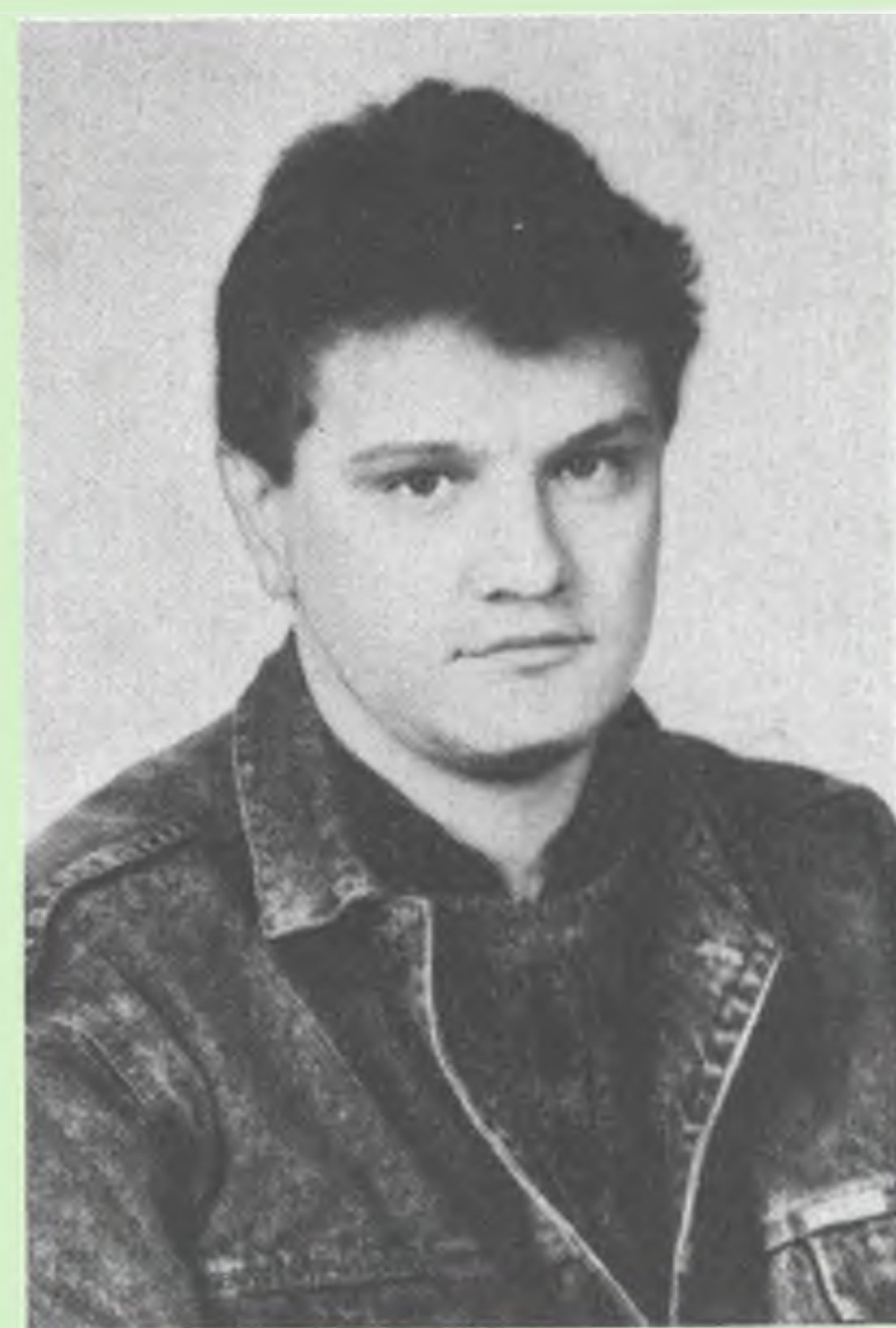
- Э.П.Калошкин** — доктор технических наук, главный конструктор СБИС динамической памяти емкостью 256 К, 1 Мбит, ведущий специалист по системной технологии. В области проектирования конструкции и технологии БИС работает 25 лет.
- В.А.Бобков** — главный конструктор ПК 300. В области проектирования БИС работает 15 лет. Руководитель коллектива разработчиков БИС.
- В.И.Толкачев** — заместитель главного конструктора. Проектированием микропроцессорных систем занимается 12 лет. Руководитель коллектива разработчиков схемотехники, конструкции, технологии изготовления ППЭВМ ПК-300.
- А.Ф.Кузнечиков** — заместитель главного конструктора. В области проектирования СВТ работает 14 лет. Руководитель коллектива разработчиков системо- и схемотехники ПК 300. Разработчик ряда БИС микропроцессорных комплектов серий К583 и К584.
- Г.Л.Гутырчик** — разработчик структуры БИС системного ядра для ПК-300 и контроллера НГМД. В области проектирования СВТ работает 10 лет. Имеет медаль ВДНХ.
- В.А.Сидоров** — разработчик схемотехники ПК 300, контроллеров периферийных устройств ПК 300, структуры базовой системы ввода—вывода. Проектированием СВТ занимается 12 лет.
- В.Ю.Горских** — ведущий разработчик конструкции ПК 300 и конструкции блока расширения микрокомпьютерной системы «Электроника МК 92». В области проектирования компьютеров работает пять лет.
- М.А.Крайко** — заместитель главного конструктора. Работает в области создания конструкции, конструктивной элементной базы. Проектированием компьютеров занимается 10 лет. Участвовал в разработке микро-ЭВМ «Электроника МК 90».
- В.А.Комоско** — в области проектирования работает шесть лет. Ведущий разработчик топологии плат с использованием САПР на персональных компьютерах.
- А.А.Хоменко** — в области проектирования оснастки работает 10 лет, ведущий разработчик оснастки на корпусные детали и корпуса БИС.



Д.И.Дмитриев



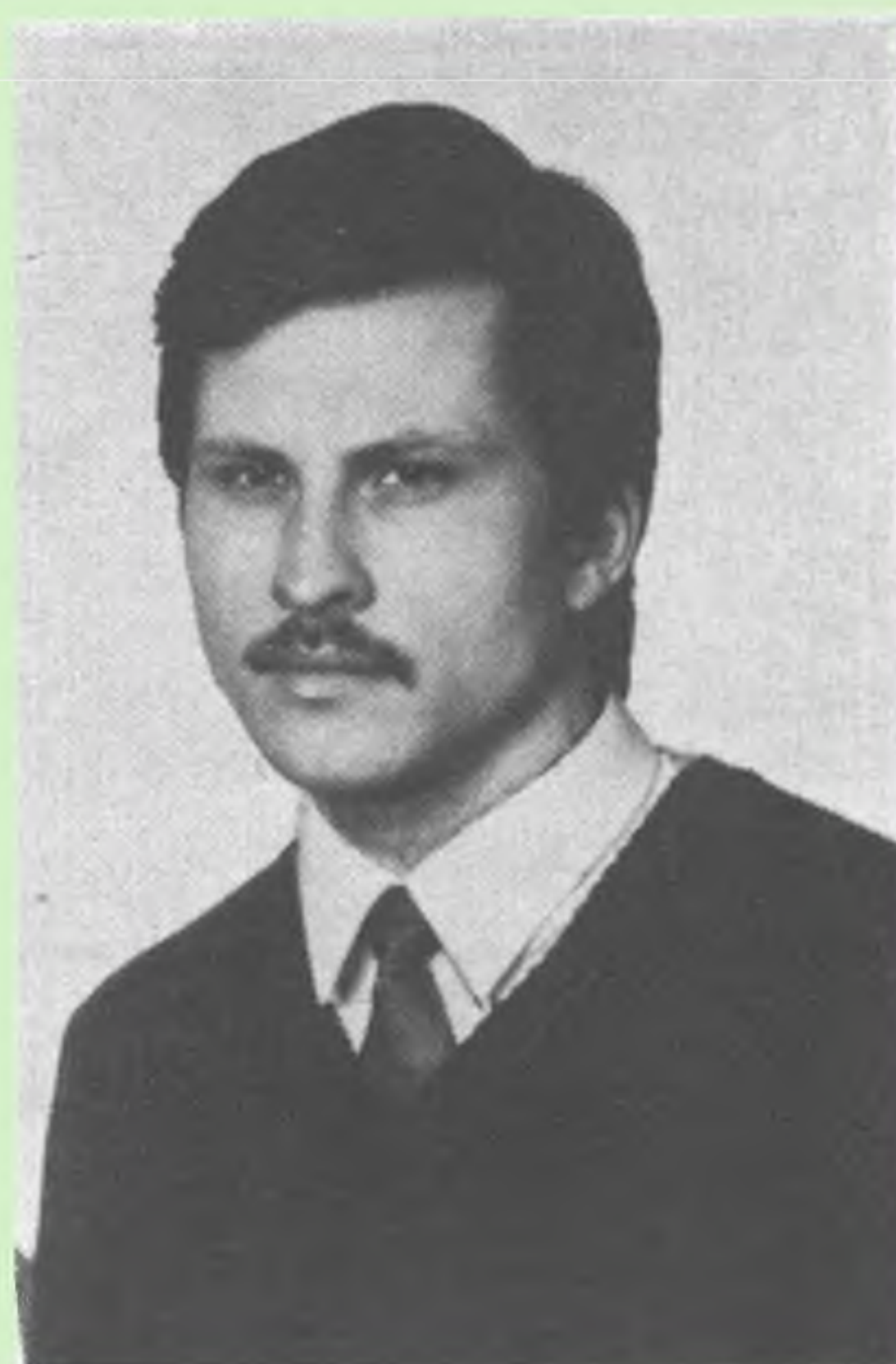
В.В.Готовчик



Г.Е.Вырко



Л.Ф.Щурко



Н.С.Надвиков

Разработчики комплекта контроллерных КМОП БИС портативной персональной ЭВМ ПК 300

Д.И.Дмитриев — руководитель коллектива разработчиков контроллерных БИС для ПЭВМ «Электроника ПК 300». Главный конструктор разработки ряда контроллерных БИС серии КА1835. В области проектирования СВТ работает 15 лет. Участвовал в разработке микрокомпьютера «Электроника МК 90».

В.В.Готовчик — разработчик БИС видеоконтроллера ПЭВМ «Электроника ПК 300» контроллерных БИС КА1835ВГ1 и КА1835ВГ3 микрокомпьютера «Электроника МК 90». Проектированием БИС занимается семь лет.

Г.Е.Вырко — разработчик БИС системного контроллера ПЭВМ «Электроника ПК 300», БИС контроллера плоттера КА1835ВГ6 для микрокомпьютера «Электроника МК 92». Проектированием БИС занимается пять лет.

Л.Ф.Щурко — разработчик БИС мультиплексора шины ПЭВМ «Электроника ПК 300», БИС контроллера интерфейса КОП КА1835ВВ1. Проектированием БИС занимается восемь лет.

Н.С.Надвиков — разработчик БИС видеоконтроллера ПЭВМ «Электроника ПК 300». Проектированием БИС занимается четыре года.



Коллектив разработчиков модуля жидкокристаллического экрана для портативного компьютера ПК 300. На фото слева направо: в верхнем ряду — М.М.Бобровницкий, А.И.Заводченков, А.Я.Евтушенко, А.А.Спицын; в нижнем ряду — В.А.Кособрюхов, В.А.Осика, М.К.Гурин, Г.П.Орлевич

В.А.Осика — ведущий разработчик в области МЖКЭ для ПЭВМ. Разработал технические требования к конструкции МЖКЭ для ПК 300, его узлов и к комплекту управляющих микросхем. В области ЖК индикаторов работает 12 лет. Участвовал в разработке МЖКЭ для ПЭВМ «Электроника МК 90», а также в создании ЖК индикаторов для электронных наручных часов серии «Электроника 5».

М.М.Бобровницкий — ведущий разработчик в области схемотехники специализированных аналоговых и аналого-цифровых интегральных микросхем. Разработал микросхему формирователя уровней напряжений для МЖКЭ ПК 300, а также ряд микросхем серии 1808. В области схемотехники работает 10 лет.

М.К.Гурин — в течение восьми лет работает в области технологии сборки электронных изделий и товаров культурно-бытового назначения. Ведущий разработчик. Автор технологии сборки МЖКЭ для ПК 300, для ПЭВМ «Электроника МК 90», а также ряда моделей электронных наручных часов, приборов времени для физкультуры и спорта.

А.Я.Евтушенко — ведущий разработчик в области схемотехники КМОП БИС. Провел топологическое проектирование драйверов строк и столбцов для МЖКЭ ПК 300. В области схемотехники работает шесть лет. Участвовал в разработках микросхем серии 1820 и микро-

схемы драйвера строк-столбцов КА1835ИД1 для ПЭВМ «Электроника МК 90».

В.А.Кособрюхов — ведущий разработчик в области схемотехники КМОП БИС. Провел схемотехническое проектирование драйверов строк и столбцов для МЖКЭ ПК 300. За 15 лет работы в области схемотехники участвовал в разработке микросхем серии КР1820, КР512, К588, разработал драйвер строк-столбцов КА1835ИД1 для ПЭВМ «Электроника МК 90». Имеет медаль ВДНХ и дипломы НТО им. А.С.Попова.

А.И.Заводченков — в области схемотехники и управления МЖКЭ работает два года, участвовал в разработке МЖКЭ ПК 300.

С.И.Иванцова — разработками в области проектирования плат занимается четыре года. Участвовала в разработке платы управления МЖКЭ для ПК 300.

Г.П.Орлевич — в течение четырех лет занимается разработкой конструкции портативных компьютеров. Принимал участие в разработке МЖКЭ для ПК 300, а также ЖКЭ для микрокомпьютера «Электроника МК 90».

А.А.Спицын — в течение 10 лет работает в области конструирования оснастки для изделий электронной техники. Принимал участие в разработке корпуса микросхем драйвера строк и драйвера столбцов, а также корпусных деталей портативного компьютера ПК 300.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. Э. Адомайтис,
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. В. Балинас,
мл. науч. сотр. А. Галванаускас,
д-р физ.-мат. наук А. Кроткус

В институте физики полупроводников АН Литовской ССР на основе твердотельных и полупроводниковых лазеров созданы оптоэлектронные и электрооптические устройства для исследования временных характеристик электронных и оптоэлектронных приборов в пикосекундном диапазоне.

Измерение традиционными методами быстродействия современных полупроводниковых приборов и интегральных схем в настоящее время становится весьма затруднительным: временное разрешение скоростных стробоскопических осциллографов ограничено уровнем 20 пс, что исключает возможность их применения для измерения параметров таких приборов, как арсенидгаллиевые полевые транзисторы, фотодиоды с барьером Шоттки или резонансно-туннельные диоды, для которых времена срабатывания приближаются к одной пикосекунде. Решением этой проблемы могут стать методы, основанные на использовании лазеров со сверхкороткими световыми импульсами, получившие общее название "пикосекундная оптоэлектроника". За последние годы работы по развитию методов пикосекундной оптоэлектроники резко активизировались [1]. Их усовершенствованием активно занимаются фирмы США Bell

Laboratories и Aerospace Corp., а также ряд других американских и западноевропейских фирм и университетов. Главная причина такого интереса — это возможность значительно улучшить временное разрешение электрических измерений. После того, как были созданы лазеры, генерирующие световые импульсы длительностью в несколько фемтосекунд [2] ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$), разрыв во временной шкале между длительностями самых коротких оптических и электрических импульсов достиг трех порядков величины, причем за последнее десятилетие этот разрыв неуклонно увеличивался.

Основной принцип метода иллюстрируется рис. 1. Последовательность сверхкоротких, фемто- или пикосекундных импульсов делится на две части, одна из них используется для генерации электрического перепада с коротким временем нарастания, подаваемого на исследуемый прибор или образец, другая — для стробирования формы этого перепада на выходе исследуемого прибора. Длительность той части измеряемого сигнала, которая взаимодействует со стробирующей системой, и соответственно временное разрешение всего устройства определяется длительностью светового импульса, момент же стробирования плавно изменяется путем изменения длины оптической линии, что позволяет задерживать вторую часть световых импульсов. Наряду с достигаемым таким образом большим временным разрешением появляется другое значительное преимущество пикосекундных оптоэлектронных устройств — практическое отсутствие джиттера, т.е. случайного разброса фаз между испытательным и стробирующим импульсами.

Разработан ряд установок, находящихся в настоящее время в опытном производстве. Одна из них для исследования высокочастотных переходных характеристик полупроводниковых инжекционных лазеров. Несмотря на то, что для современных широкополосных систем оптической связи, в которых используются полупроводниковые лазерные диоды, такие их параметры, как времена задержки включения, джиттер, ширина малых пиков релаксационных колебаний и др., имеют решающее значение, до сих пор практически отсутствовали экспериментальные методы их исследования. Пикосекундные оптоэлектронные установки для этих целей не применялись главным образом потому, что в большинстве случаев в них используются лазеры сверхкоротких световых импульсов на красителях. Хотя при помощи этих лазеров и получают наиболее короткие оптические импульсы, их энергия (десятки и сотни пикоджоулей) недостаточна для генерации сравнительно мощных электрических импульсов, которые необходимы для управления инжекционными лазерами.

В созданной установке использован твердотельный пикосекундный лазер с пассивной синхронизацией мод и активным элементом из кристалла алюмината иттрия, легированного ионами неодима. Благодаря использованию оригинальных электронных схем для управления добротностью лазерного резонатора и выделения одиночных световых импульсов удалось полностью компенсировать недостатки данного типа лазеров, препятствовавшие их применению для электрических измерений. В результате был создан лазер, генерирующий световые импульсы с энергией до 100 мкДж и длительностью на полувысоте 7 пс (с точностью повторяемости 2%), что позволяло генерировать и измерять электрические сигналы с временным разрешением порядка 10 пс.

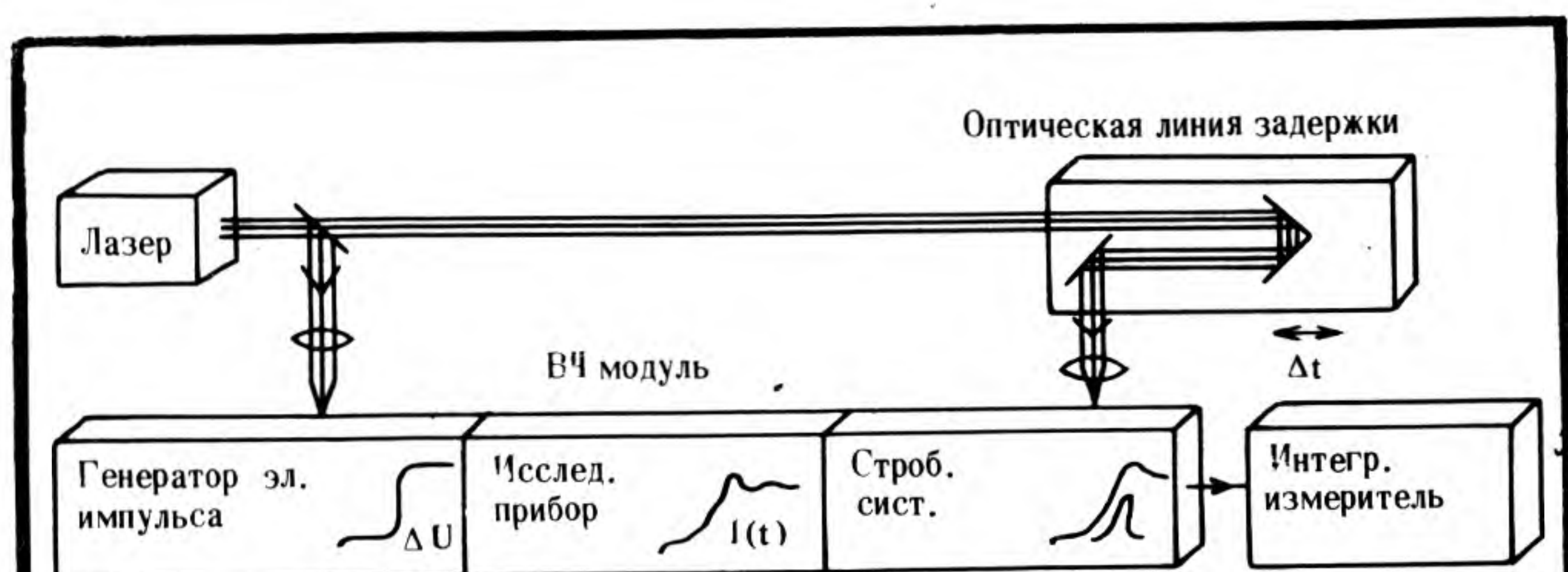


Рис. 1. Устройство для измерения динамических характеристик полупроводниковых лазеров

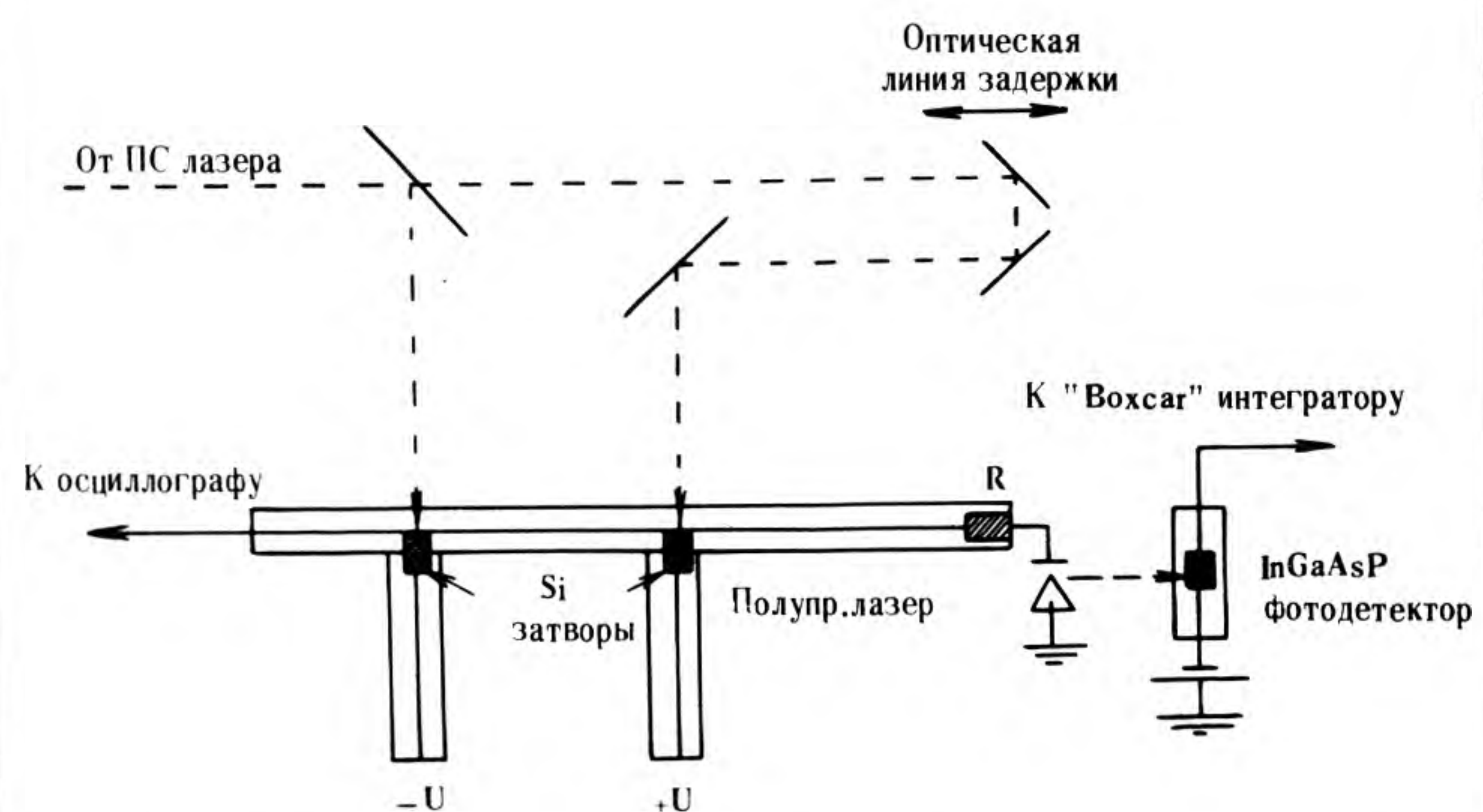


Рис. 2. Оптоэлектронное устройство для исследования полупроводниковых лазеров

Принцип, положенный в основу исследования полупроводниковых лазеров, иллюстрируется на рис. 2. Для генерации электрических импульсов используются два оптоэлектронных затвора, момент включения одного из которых задерживается относительно момента включения второго применением оптической линии изменяемой длины. Так как оба затвора предварительно заряжены до напряжения одинаковой величины, но противоположного знака, на выходе генератора получается электрический импульс, длительность которого изменяется в зависимости от длины оптической задержки. Импульс подается на исследуемый лазерный диод. Излучение с диода регистрировалось при помощи интегрирующего фотоприемника.

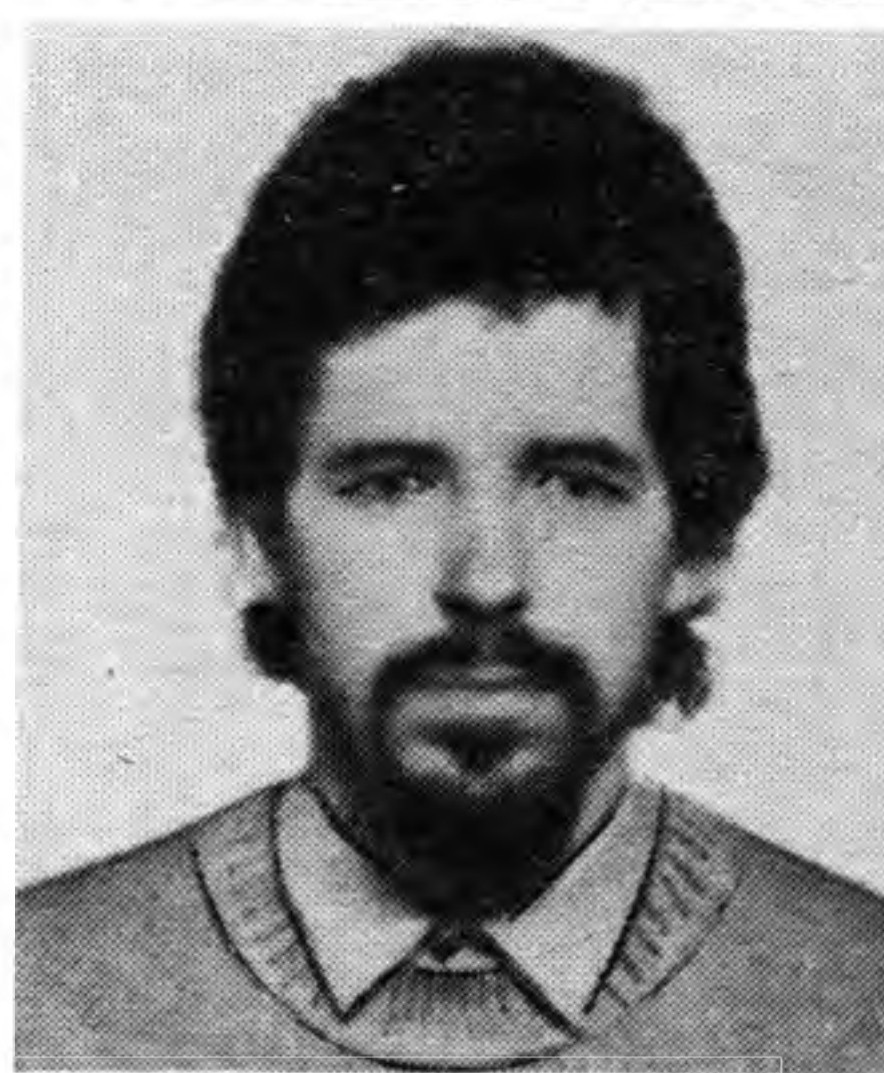
Если при некоторой постоянной амплитуде импульсов инжекционного тока, превышающей ее пороговое значение, плавно увеличивать длительность импульсов, то сигнал на фотодетекторе появится лишь после того, как эта длительность станет больше величины времени задержки включения лазерного диода. При дальнейшем увеличении длительности электрического импульса сигнал на выходе фотодетектора будет представлять собой интеграл от временной зависимости интенсивности эмиссии лазерного диода. Пример экспериментальной зависимости показан на рис. 3.

Первые применения данного устройства для измерения времен задержки включения лазера на основе InGaAsP [3] показывают, что по исследованиям зависимости времени задержки включения диода от амплитуды инжекционного тока можно определить важнейшие параметры лазерных структур — времена излучательной и безызлучательной рекомбинации в активном слое.

В устройстве процесс измерения и обработка результатов управляется при помощи ЭВМ "Электроника 60". Это позволило значительно расширить возможности эксперимента. В частности, были измерены такие характеристики лазерных диодов из AlGaAs и InGaAsP, как джиттер времени включения, зависимость времени включения от величины постоянного смещения и форма импульса излучения лазерного диода в режиме релаксационных колебаний.

Два других устройства, основанные на инжекционных гетеролазерах (GaAlAs) с насыщающимся поглотителем, работают в режиме самоподдерживающихся пульсаций с длиной волны 0,85 мкм и длительностью импульса 7 пс [4].

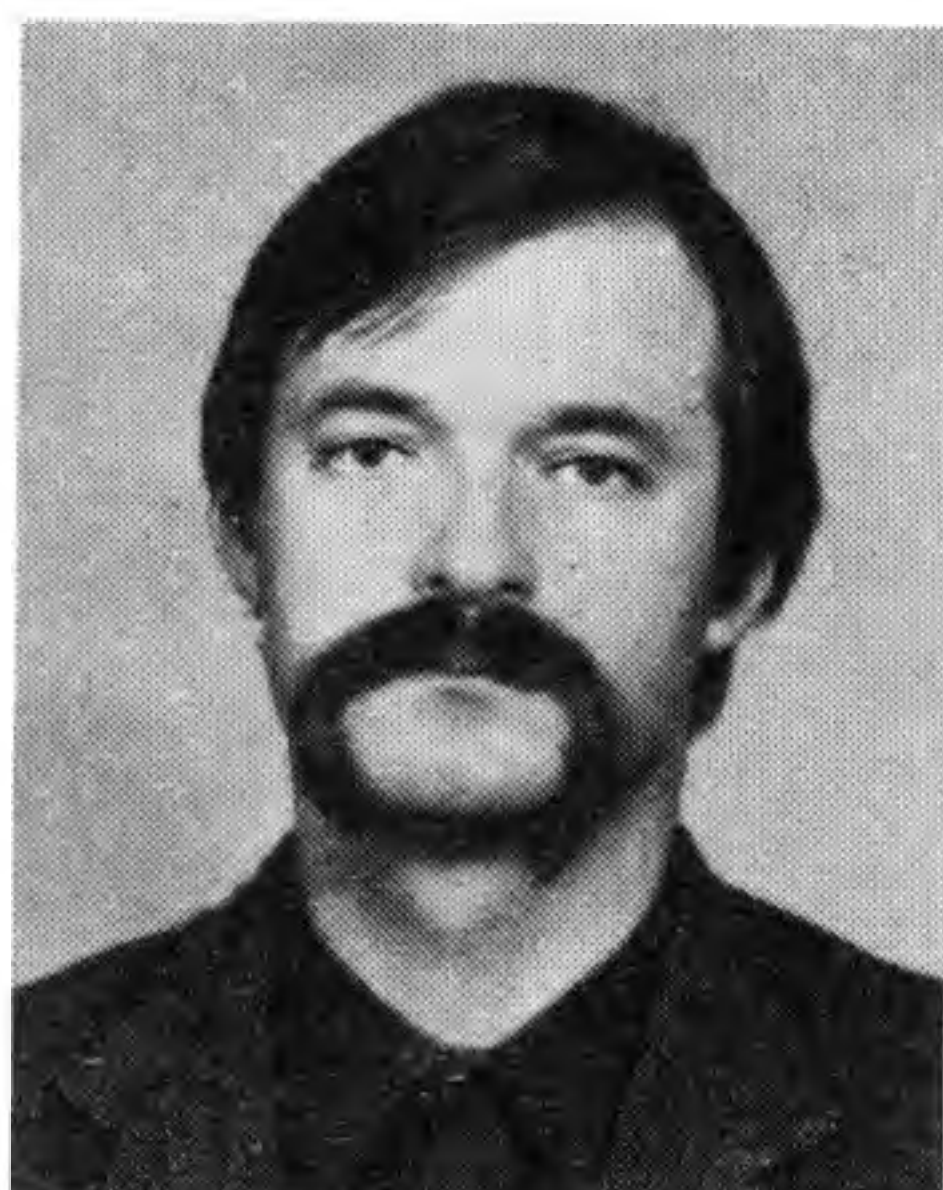
Схема первого из них изображена на рис. 4. Это устройство для измерения быстродействия фотоприемников. Принцип измерения — зондирование фотопроводимости фотоприемника коротким электрическим импульсом. Исследуемый прибор монтируется в высокочастотный микрополосковый модуль. Зондирующий электрический импульс пикосекундной длительности формируется оптоэлектронным формирователем, состо-



З. И. Адомайtis — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института физики полупроводников АН Литвы. Физический факультет Вильнюсского университета окончил в 1975 г. В 1986 г. защитил диссертацию на тему "Исследования пикосекундной кинетики электропроводности полупроводников". Имеет 31 печатную работу, семь авторских свидетельств.

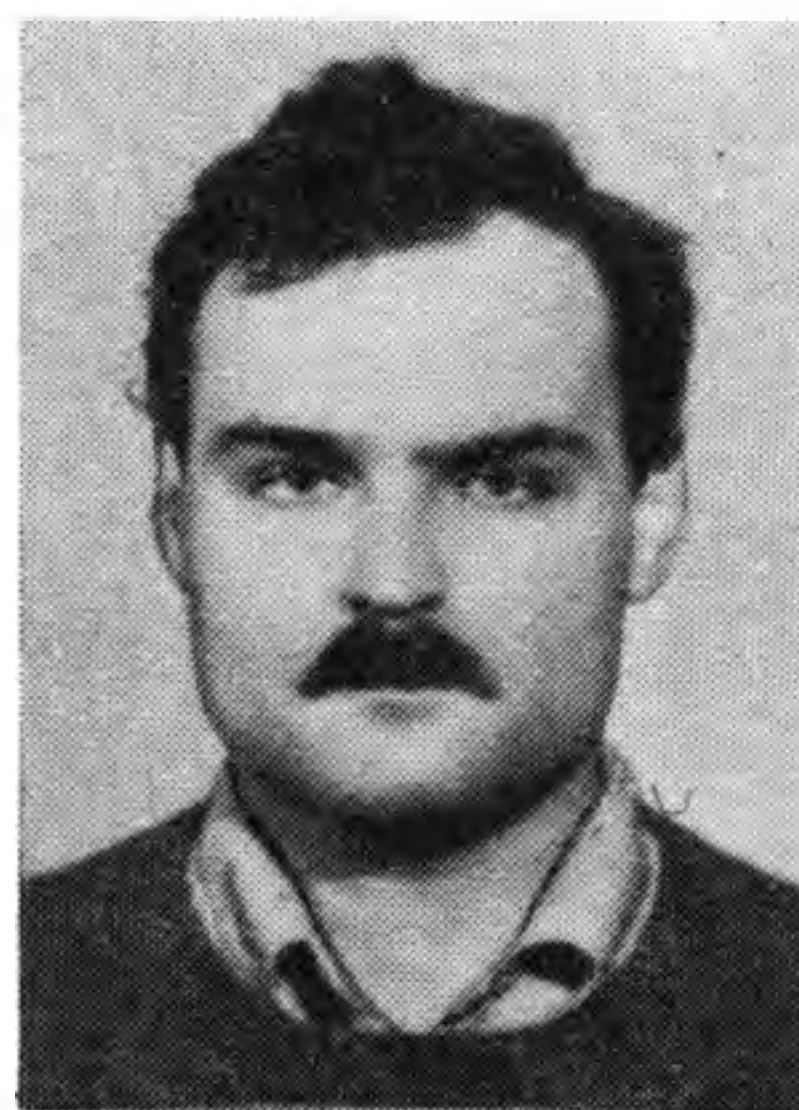
ящим из оптоэлектронного ключа I и отрезка короткозамкнутой линии L . Оптоэлектронный затвор и фотоприемник освещаются частями одного и того же светового импульса, одна из которых проходит через оптическую линию задержки переменной длины. Измеряется зависимость электрического заряда, прошедшего через исследуемый фотоприемник на выход высокочастотного модуля, от величины задержки. Эта зависимость эквивалентна кинетике фотопроводимости в исследуемом приборе. Так как временной джиттер между зондирующим электрическим импульсом и световым, освещающим фотоприемник, отсутствует, то временное разрешение этой системы определяется лишь длительностью зондирующего электрического импульса. Как показано в [5], при длительности лазерного импульса 7 пс временное разрешение не хуже 15 пс.

На рис. 5 приведена измеренная временная зависимость фотопроводимости фоторезиста InP:Fe. При этом для реги-

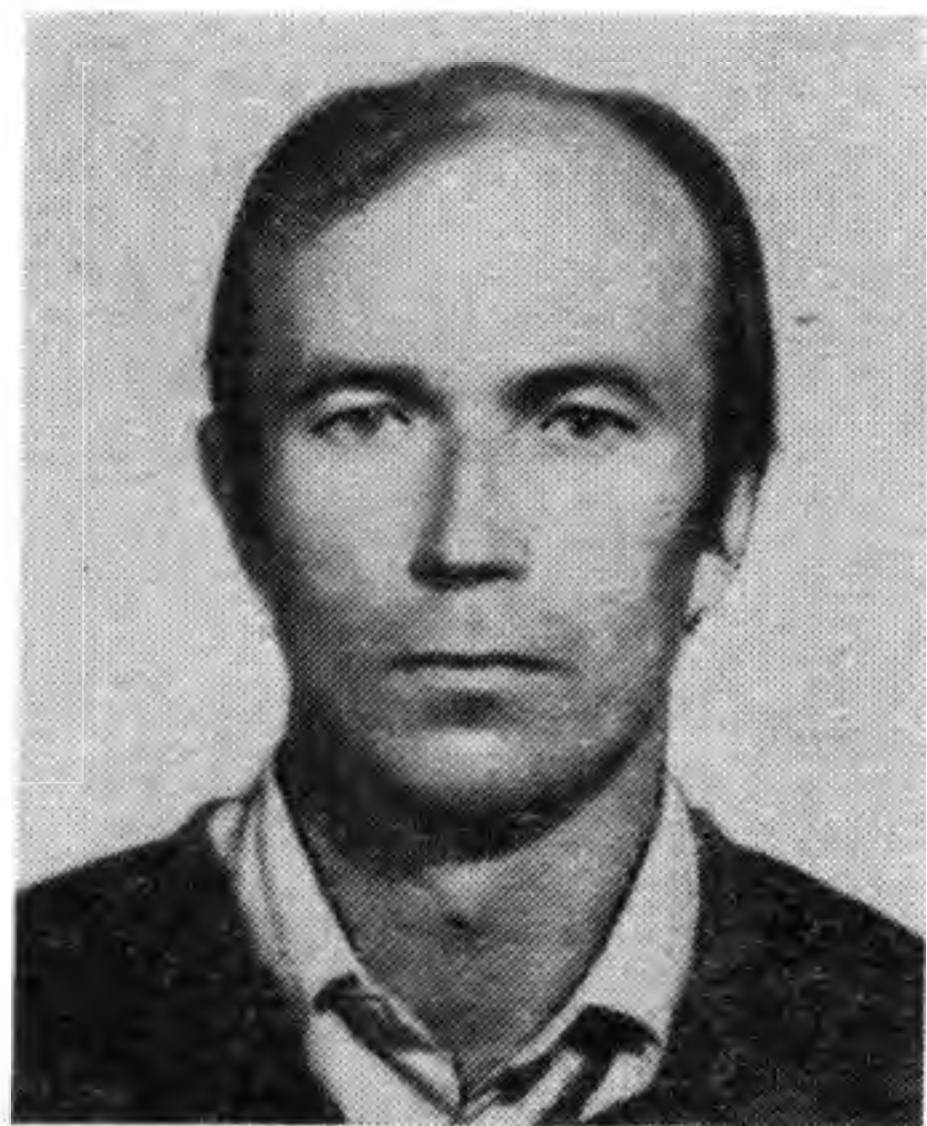


В. Ю. Балинас — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института физики полупроводников АН Литвы. В 1977 г. окончил физический факультет Вильнюсского университета, в 1984 г. защитил диссертацию на тему "Эффект Ганна в теллуре". Автор 17 печатных работ, имеет три авторских свидетельства.

А. А. Галванаускас — младший научный сотрудник Института физики полупроводников АН Литвы. В 1986 г. окончил физический факультет Вильнюсского университета. Имеет шесть печатных работ, одно авторское свидетельство.



А. И. Кроткус — доктор физико-математических наук, зав. лабораторией Института физики полупроводников АН Литвы. В 1970 г. окончил физический факультет Вильнюсского университета, в 1987 г. защитил докторскую диссертацию на тему "Токовые неустойчивости в узкощелевых полупроводниках". Имеет 86 печатных работ 24 авторских свидетельства, автор монографии (А. Кроткус, З. Добровольскис. "Электропроводность узкощелевых полупроводников", 1988).



страции не требуются высокочастотные измерительные приборы. (Например, для измерения этой использовался измеритель постоянного тока Щ 300).

В другом устройстве для стробирования коротких электрических импульсов используется линейный электрооптический эффект, или эффект Поккельса в кристалле LiNbO₃. Используя этот кристалл в качестве диэлектрической подложки, изготавливается микрополосковая высокочастотная линия передачи, к которой подсоединяется исследуемый быстродействующий прибор и, если это требуется, оптоэлектронный затвор — генератор пикосекундных испытательных импульсов. Распространяющийся вдоль линии электрический сигнал изменяет двойное лучепреломление электрооптического кристалла, из которого изготовлена подложка линии, что изменяет поляризацию стробирующих свето-

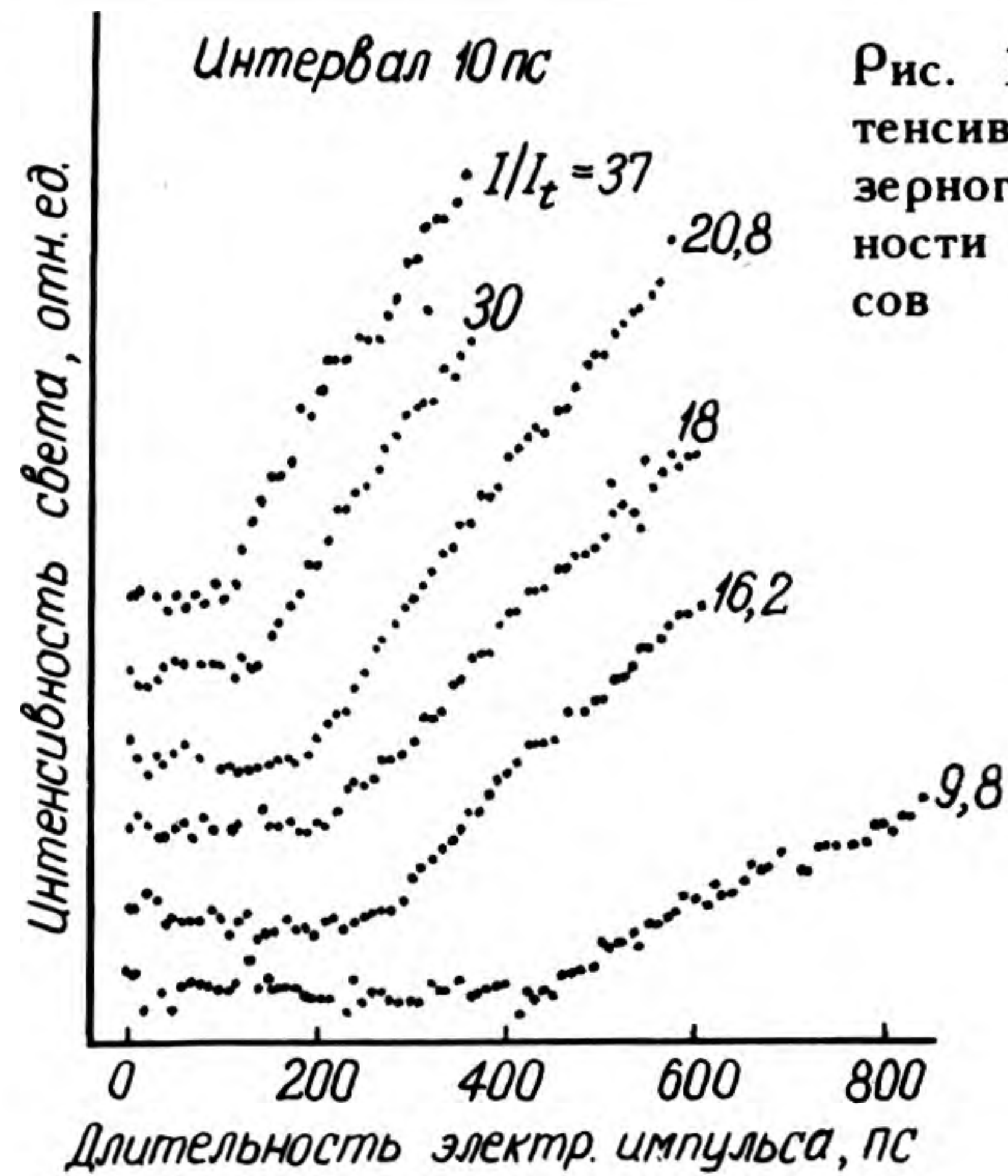


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения лазерного диода от длительности питающих импульсов

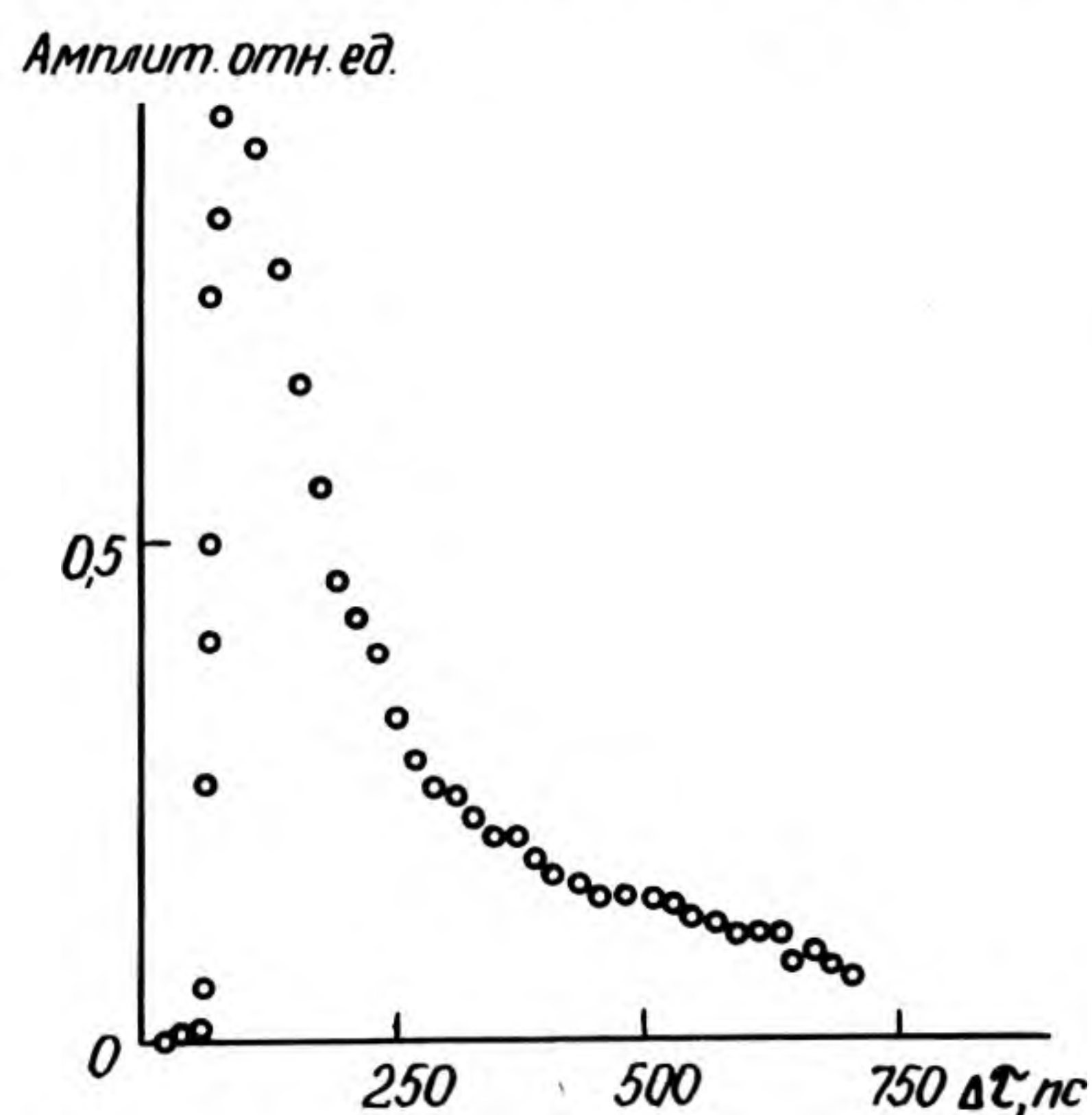


Рис. 5. Временная характеристика InP:Fe фотоприемника

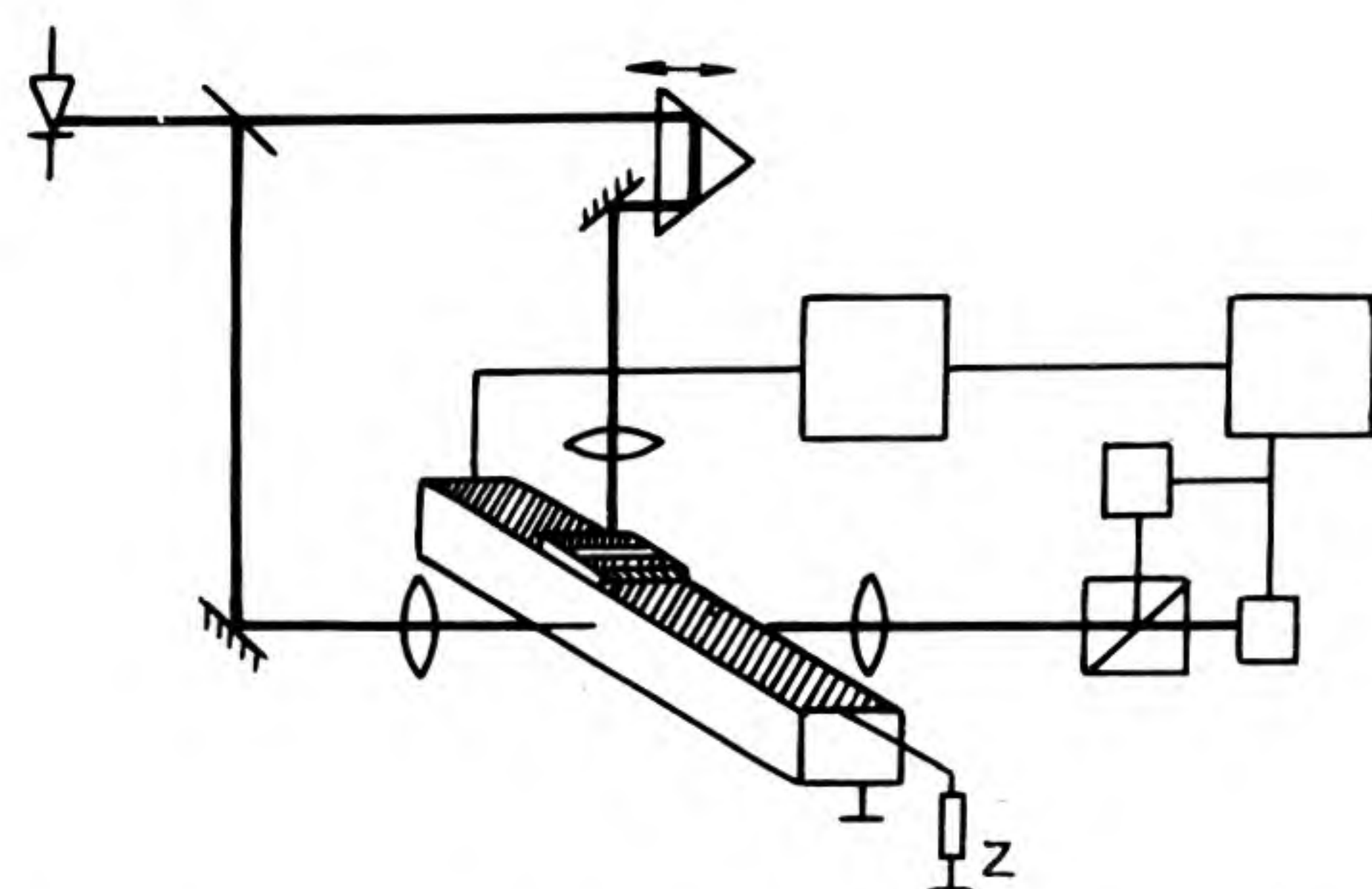


Рис. 6. Система электрооптического стробирования

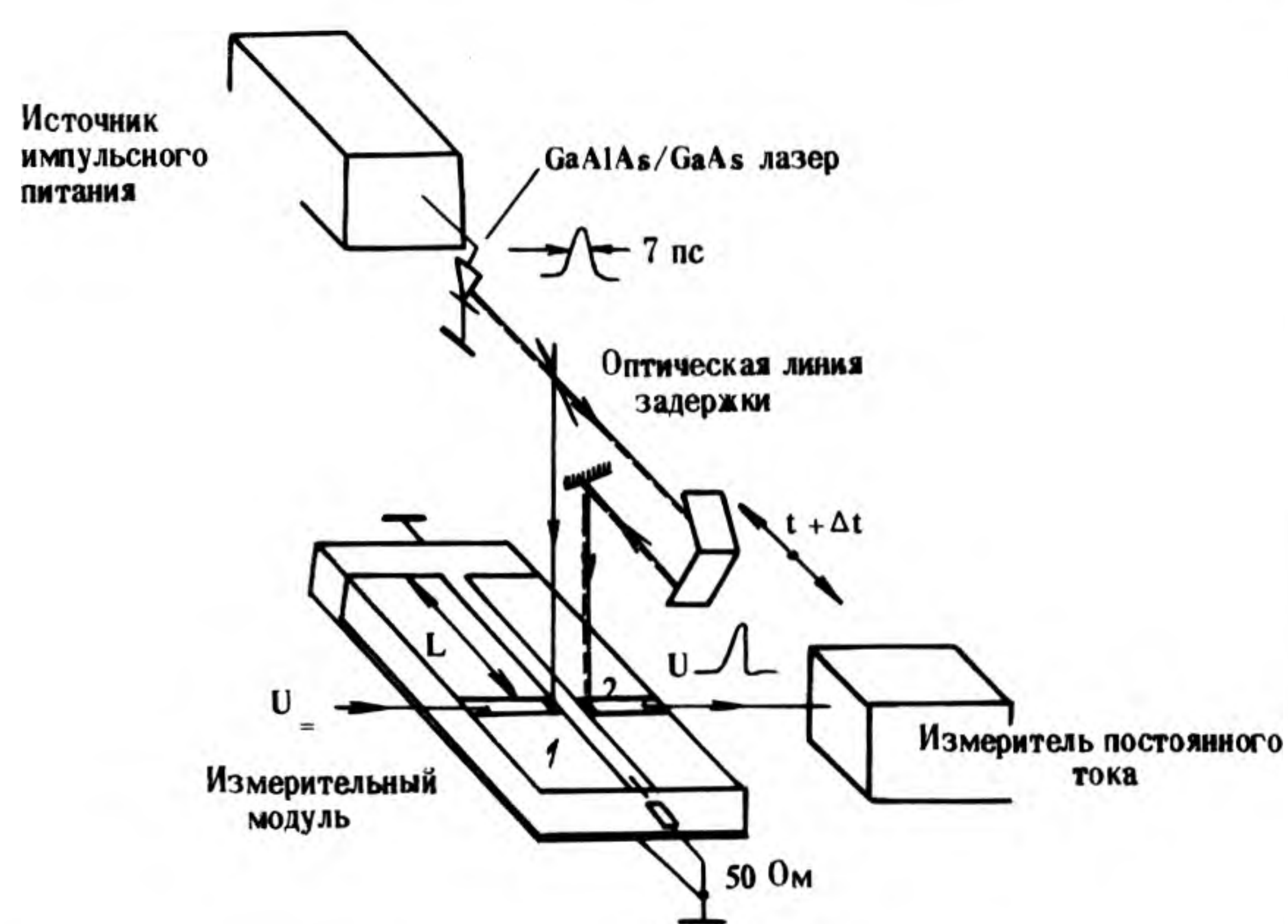


Рис. 4. Оптоэлектронное устройство для измерения быстрого действия фотоприемников

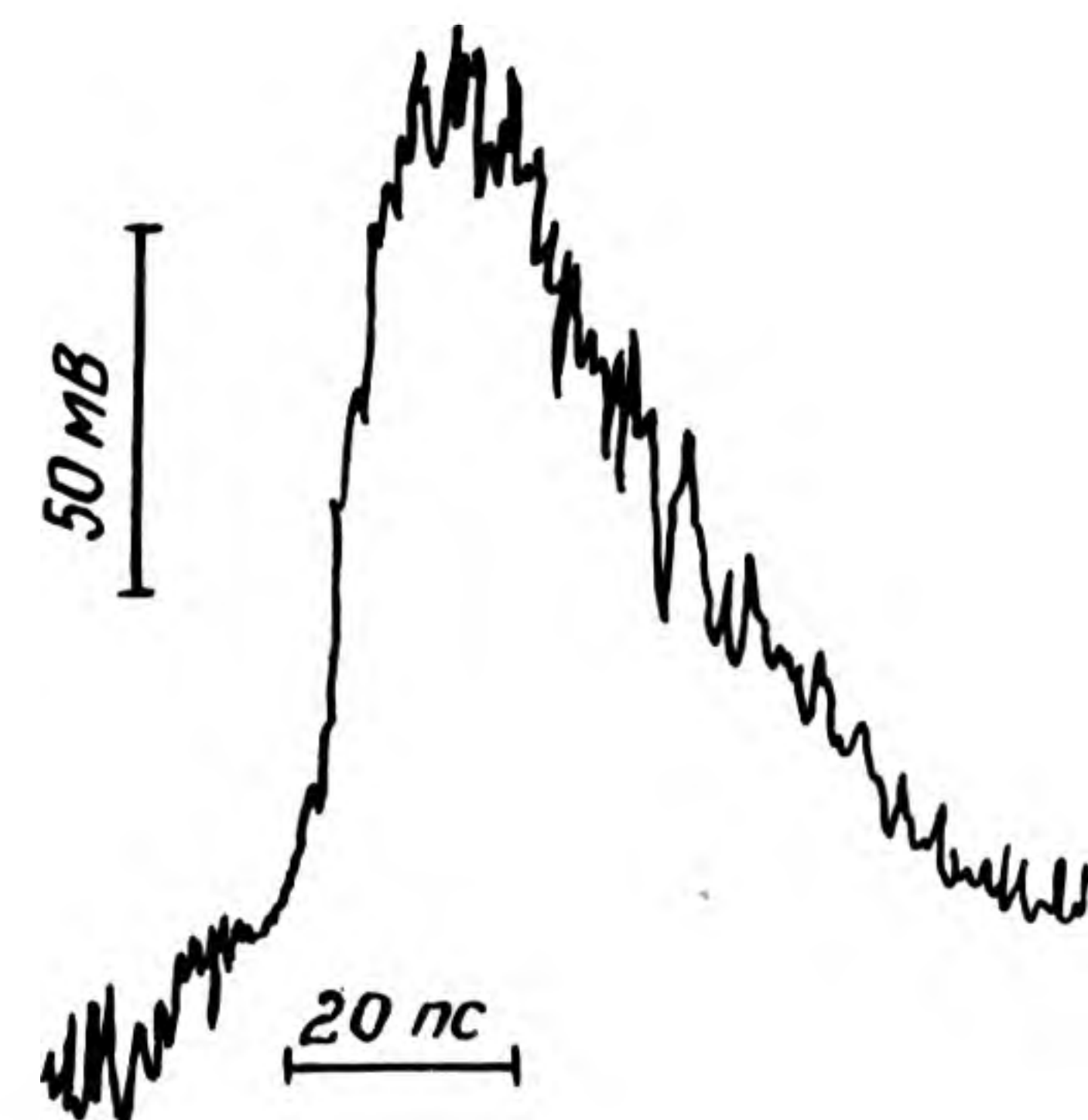


Рис. 7. Релаксация сигнала фотоответа фоторезистора InP:Fe:O

вых импульсов, просвечивающих подложку в направлении, перпендикулярном направлению распространения электрического импульса. Это изменение является пропорциональным амплитуде электрического сигнала в линии в момент стробирования и может быть измерено с использованием чувствительного, но необязательно быстродействующего фотодетектора.

Структурная схема устройства показана на рис. 6. Для увеличения точности измерений выходной сигнал регистрировался при помощи усилителя с синхронным детектированием, причем опорное напряжение для синхронного детектора задавалось генератором звуковой частоты, подключенным также и ко входу измерительного модуля. Частота синхронного детектирования была равной 480 Гц, частота следования световых импульсов — 5 МГц.

Разрешение во времени этого устройства — менее 10 пс, чувствительность — $10 \text{ мВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Амплитуда подаваемых электрических импульсов была менее 200 мВ, их время нарастания — 10 пс. Минимальная чувствительность измеряемых фотоприемников составила 0,001 А/Вт. В данном электрооптическом устройстве цепь исследуемого электрического сигнала и цепь стробирования полностью развязаны гальванически, величина и полярность начального уровня не оказывает никакого влияния на результат стробирования, поэтому данное устройство можно использовать для исследования быстрого действия самых различных приборов. Устройство было опробовано при измерениях времен срабатывания арсенид-галлиевых полевых транзисторов, туннельных диодов и пикосекундных фотосопровитлений на основе полупроводникового фосфида индия. На рис. 7 показан фотоотклик в пикосекундном фотосопровитлении, изготовленном из InP:Fe:O

[6]. Ширина импульса фототока на его полувысоте составляет 25 пс, время нарастания импульса — величина, определяемая временным разрешением системы — равно 10 пс. Следует отметить, что при измерениях быстрого действия транзисторов возможно стробировать не только форму импульса, прошедшего через прибор, но и форму отраженного от транзистора сигнала. Результаты измерений обоих этих сигналов и их последующий фурье-анализ позволяют определить частотные зависимости S-параметров транзистора в полосе от 0 до 35 ГГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. У о л л е р Л. Новый метод проверки быстродействующих арсенидгаллиевых приборов.— Электроника, 1987, № 12, с. 9—11.
2. Compression of optical pulses to six femtoseconds by using cubic phase compensation/R.L.Fork, C.H.Brito Cruz, P.C.Becker, C.V.Shank.— Opt. Lett., 1987, vol. 12, N 7, p. 483—485.
3. A d o m a i t i s E., B l i x t P., K r o t k u s A. Optoelectronic measurement of the picosecond turn-on delays in semiconductor laser.— Appl. Phys. Lett., 1989, vol. 54, N 26, p. 2622—2624.
4. Динамика излучения гетеролазера с насыщающимся поглотителем, полученным глубокой имплантацией ионов кислорода/А.Б.Журавлев, А.Г.Плявенек, Е.Л.Портной и др.— ФТП, 1988, т. 22, вып. 7, с. 1208—1212.
5. Генерация и стробирование пикосекундных электрических импульсов устройством, основанным на использовании полупроводникового лазера/А.Галванаускас, А.Кроткус, А.Лазутка и др.— Письма в ЖТФ, 1989, т. 15, вып. 7, с. 72—75.
6. Электрооптическое стробирование при помощи пикосекундного инжекционного лазера/А.Галванаускас, А.Кроткус, Е.Л.Портной, Н.М.Стельмах.— Письма в ЖТФ, 1990, т. 16, с. 2.

Статья поступила 23 ноября 1989 г.

АРСЕНИД ГАЛЛИЯ.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Арсенид галлия и его твердые растворы представляют собой перспективный материал для электронных и оптоэлектронных ИС благодаря широкозонности, значительной внутренней квантовой эффективности и высоким кинетическим характеристикам электронов.

Значительный прогресс в изготовлении исходных GaAs-подложек и эпитаксиальных структур, а также в технологии соединений $A^{III}B^V$ позволил получить в линиях связи скорости передачи информации порядка 1 Гбит/с, в ОЗУ — емкость до 16 Кбит, время выборки — 6–8 нс и в вентильных матрицах плотность элементов свыше 10^3 вентиляй/кристалл.

Промышленное освоение этих достижений, а также дальнейшее увеличение быстродействия и расширение функциональных возможностей ИС на GaAs требует дальнейшего совершенствования конструкций активных элементов ИС и межсоединений, а также способов их изготовления.

В настоящем выпуске предлагается подборка статей, связанных с решением узловых проблем, возникающих при промышленном освоении ИС на GaAs. Рассматриваются варианты создания ИС на базе самосовмещенных ПТШ, а также на нетрадиционной электронной базе, при разработке многослойных гетероструктур и дельта-структур с улучшенными электрофизическими свойствами.

УДК 681.325.65

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫХ СВЕРХСКОРОСТНЫХ ИС

Д-р техн.наук, ст.науч.сотр.,
проф. А.В.Емельянов,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Э.А.Ильичев,
д-р физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Э.А.Полторацкий
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Г.С.Рычков,
д-р техн.наук, проф. Н.С.Самсонов

На основе анализа современного состояния элементной базы арсенид-галлиевых БИС ЗУ и результатов математического моделирования статических ЗУ с шеститранзисторной ячейкой накопителя обсуждаются пути и перспективы развития интегральной схемотехники и архитектуры арсенид-галлиевых ССИС.

Потенциальные возможности арсенида галлия как материала для сверхскоростных ИС (ССИС) реализуются значительно медленнее, чем ожидалось [1, 2]. Так, разработанные несколько лет назад статические ЗУ емкостью 16 Кбит и сегодня рассматриваются как высшее достижение и пока серийно не выпускаются. Дальнейшее развитие работ по созданию арсенид-галлиевых БИС ЗУ емкостью $N \gg 64$ Кбит должно идти не по традиционным направлениям — уменьшению плотности дислокаций в исходных структурах, использованию имплантированных структур вместо эпитаксиальных, применению затворов в ПТШ с большей контактной разностью потенциалов, новым схемотехническим решениям [3, 4], а по пути комплексного подхода, включающего физические исследования приборных структур и транзисторов, разработку новых технологических процессов и схемотехнических решений.

В основу моделирования элементной базы статических ЗУ с шеститранзисторной ячейкой накопителя положена традиционная система уравнений [5]. В ячейках использовались нормально закрытые транзисторы (НЗ) с нагрузкой в виде нормально открытых (НО) транзисторов. Основные параметры транзисторов, использованные при расчетах, приведены в табл. 1.

Путем математического моделирования было установлено, что с точки зрения оптимизации ЗУ по рассеиваемой мощности, быстродействию и выходу годных из представленных в таблице параметров можно выделить несколько главных, определяющих не только предельные характеристики, но и направления дальнейшего совершенствования приборных структур. К этим параметрам относятся: разброс пороговых напряжений σ , сопротивление исток–сток $R_{ис}$, токи утечки, линейные размеры.

Для современного уровня развития ИС на GaAs характерен разброс пороговых напряжений $\sigma \approx 50$ мВ. Предполагая наличие нормального закона распределения плотности вероятности пороговых напряжений, можно показать, что при контактной разности потенциалов на барьере Шотки $V_{bi} = 0,7$ В выход годных не должен превышать десятых долей процента. Однако при $V_{bi} = 1$ В вероятность получить работоспособную матрицу при таком разбросе увеличивается до 10%.

Разброс σ определяется качеством исходных структур, в частности плотностью дислокаций, и технологией изготовления (особенно точностью операции травления перед нанесением металла затвора). Для повышения выхода годных используется ионная имплантация при создании каналов транзисторов (не требуется операция травления) и мелкие $p-n$ -переходы в качестве затворов ($V_{bi} \sim 1$ В) [6]. При такой технологии уровень интеграции составит 10^3-10^4 вентиляй, однако, на наш взгляд, такая технология сдерживает развитие ССИС на GaAs, так как не дает проявиться преимуществам арсенида галлия перед кремнием из-за использования высоких управляющих напряжений.

В табл. 2 приведено несколько вариантов расчетных значений параметров ЗУ емкостью 16 К.

Из таблицы видно, что для улучшения характеристик ЗУ необходимо снижать наряду с напряжением питания также величины сопротивления исток–сток и токов утечки, определяющих в значительной степени величину рассеиваемой мощности.

На рис. 1 представлена рассчитанная зависимость параметра энергия на один бит от минимального технологического размера. Звездочками отмечены экспериментальные результаты различных авторов [7–9], треугольниками — расчетные значения. В качестве параметров выбраны сопротивление истока (стока), напряжение питания, сопротивление металлизации и дисперсия пороговых напряжений. Совпадение расчетных и экспериментально полученных значений говорит о том, что использованная модель хорошо отражает существующую ситуацию (треугольник 1). Уменьшение размеров ведет к улучшению характеристик ЗУ только при существенном улучшении основных параметров транзисторов и уменьшении напряжения питания. При анализе линий связи в БИС ЗУ показано, что уменьшение сопротивления металлизации за счет снижения температуры или использования ВТСП пленок может дать заметное увеличение быстродействия лишь при существенном улучшении параметров транзисторов (треугольники 2 и 3 на рис. 1).

Каковы же пути улучшения основных параметров транзисторов?

Уменьшение линейных размеров и снижение паразитных сопротивлений исток–затвор и сток–затвор может быть достигнуто в рамках самосовмещенной

технологии при использовании затворов из тугоплавких металлов [10]. Увеличение напряжения пробоя затвор–сильнолегированные области под омическими контактами может быть достигнуто в рамках самосовмещенной технологии не за счет введения дополнительных ионно-имплантированных областей, а путем формирования зазоров между истоком, затвором и стоком с помощью термического окисления боковых поверхностей затворов [10].

Улучшение параметров транзисторов достигается и при переходе от однородно легированных структур к структурам со сложным профилем легирования, в частности к δ -легированию. В этом случае существенно, в 1,5–2 раза, повышается крутизна транзисторов и уменьшается контактное сопротивление областей истока и стока. Для таких структур характерно уменьшение дисперсии σ^2 как за счет повышения однородности исходных структур, так и за счет уменьшения влияния на параметры транзисторов обработки поверхности.

Величина токов утечки не только определяет рассеиваемую мощность в ЗУ, но и влияет на паразитные эффекты управления соседними элементами. Установлено, что в высокоомных подложках, легированных хромом, управление в основном носит пороговый характер (величина пороговых полей не превышает $5 \cdot 10^3$ В·см⁻¹). Показано, что использование в ка-

Таблица 1

Название параметров	Значения параметров
Коэффициент идеальности	1,44
Ток насыщения диода Шотки	$0,25 \cdot 10^{-4}$ А/см ²
Скорость насыщения электронов	$1,3 \cdot 10^7$ см/с
Подвижность	2500 см ² /В·с
Сопротивление истока	1 Ом/мм
Сопротивление стока	1 Ом/мм
Концентрация доноров	10^{17} см ⁻³
Толщина канала	0,1 мкм
Высота барьера Шотки (V_{bi})	0,72 В
Длина затвора	0,8–1,2 мкм
Параметр выходной проводимости НЗ транзистора (λ)	$0,15$ В ⁻¹
Собственная крутизна (β_0)	185 А/В ² ·мм
Эффективная крутизна (β)	160 А/В ² ·мм
Пороговое напряжение (U_T)	0,21 В
Ток утечки между стоком и истоком НЗ транзистора	$4 \cdot 10^{-6}$ А/мм
Параметр выходной проводимости НО транзистора (λ)	$0,027$ В ⁻¹
Ток насыщения (I_L)	0,25 А/мм
Сопротивление канала НО транзистора (R_1)	2,3 Ом/мм
Напряжение насыщения НО транзистора (U_0)	0,5 В
Ток утечки между стоком и истоком НО транзистора I_{UT}	$0,4 \cdot 10^{-3}$ А/мм

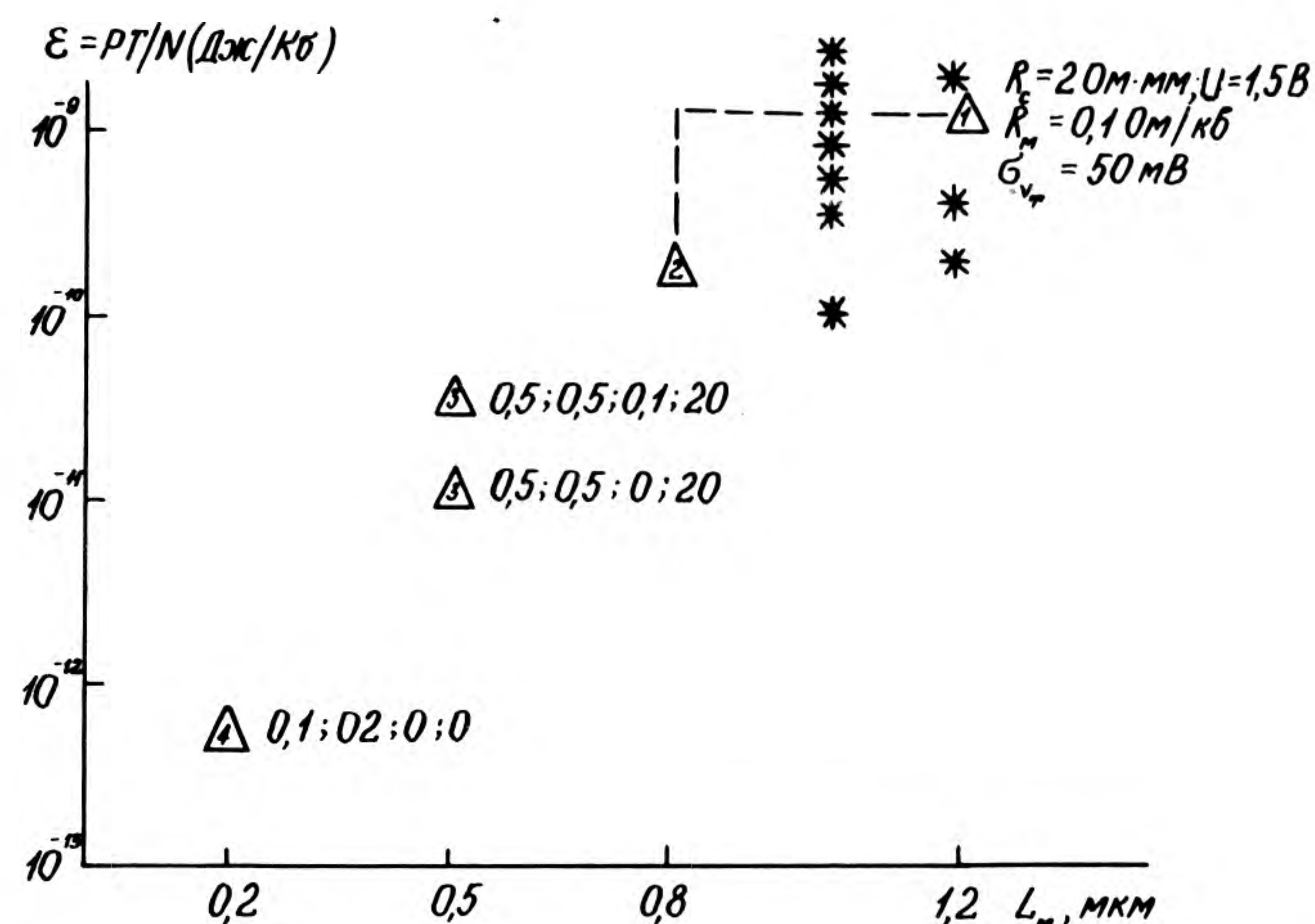


Рис. 1. Зависимость обобщенного параметра ε от минимального технологического размера L_m при различных значениях основных параметров: сопротивления стока R_c , напряжения питания U , сопротивления металлизации R_m и дисперсии пороговых напряжений σ_{UT}

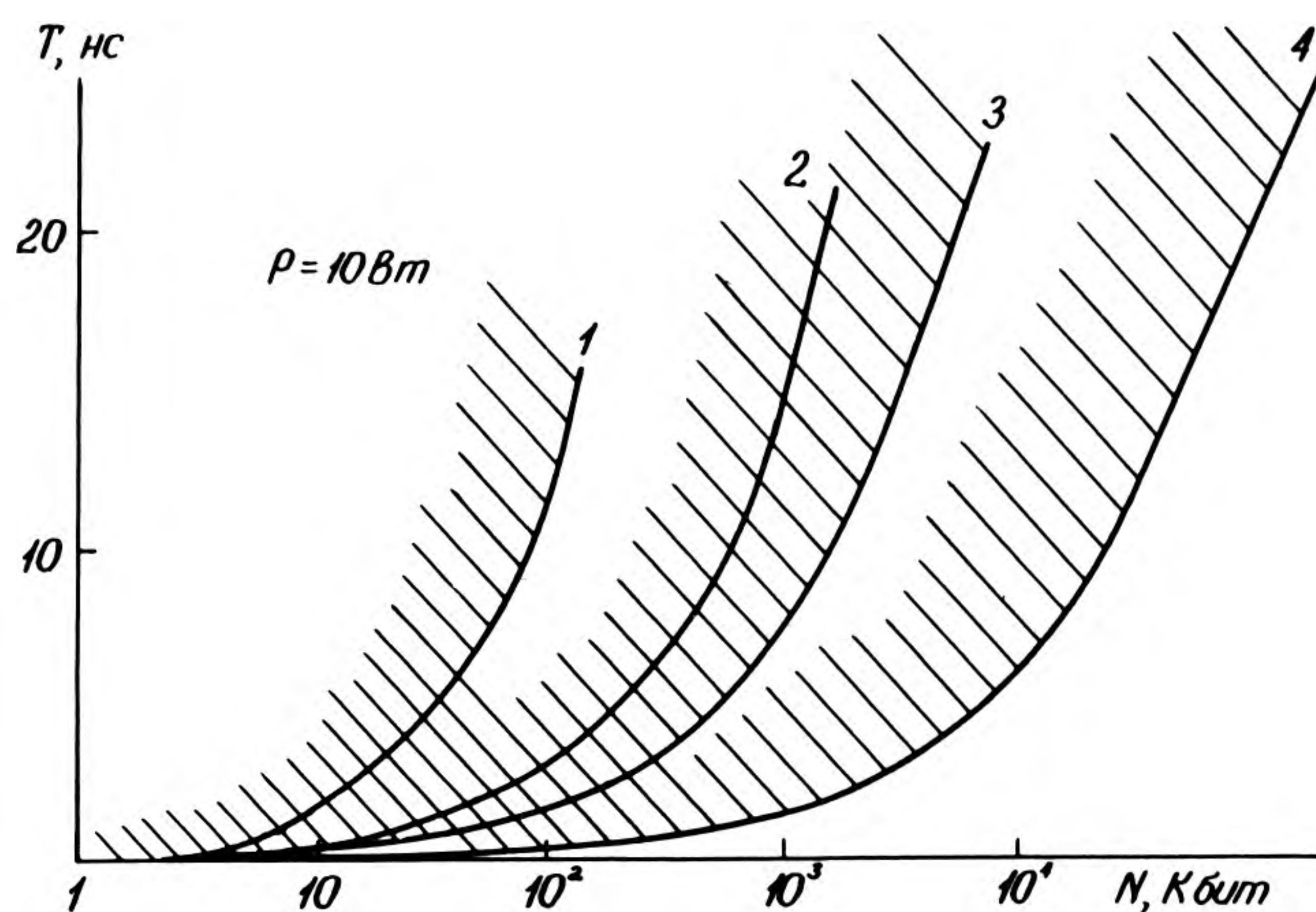


Рис. 2. Зависимость времени считывания от емкости ОЗУ при разных наборах основных параметров. Кривые 1, 2, 3 соответствуют набору параметров, представленных на рис. 1

Параметр	Варианты расчетных значений параметров ЗУ								
	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,2
L_m , мкм	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,2
$\rho_{мп}$, Ом/мм	2	2	2	1	1	1	0,5	0,5	0,1
β , А/В ² ·мм	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2
ρ_n , Ом/квадрат	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0	0
$I_{ут}$, мА/мм	0,5	0,5	0,5	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
U , В	1,5	1,5	1,5	1	1	1	0,5	0,5	0,2
$t_{сч}$, нс	1,9	1,85	1,1	2,3	0,58	0,57	0,9	0,25	0,1
$t_{зап}$, нс	0,75	0,53	0,53	0,42	0,37	0,34	0,2	0,2	0,07
P , мВт	6020	6620	4070	1117	736	920	230	230	40

честве буферного слоя нелегированных слоев $Ga_{1-x}Al_xAs$ ($0,1 \leq x \leq 0,3$) позволяет на два порядка снизить токи утечки и в 1,5–2 раза повысить пороговые напряжения паразитного управления на подложке [11].

Улучшение основных параметров транзисторов и уменьшение дисперсии σ^2 может привести к заметному повышению степени интеграции. На рис. 2 представлены зависимости времени считывания от емкости ОЗУ. Кривые рассчитаны для тех же наборов основных параметров, которые использованы на рис. 1, при этом мощность, отводимая от кристалла, остается постоянной.

Из рис. 2 (кривая 1) видно, что существующий уровень технологии и качества материала обеспечивают в лучшем случае такие же параметры ОЗУ, что и в случае кремневых ИС. Кремниевые статические ЗУ, изготовленные по БКМОП-технологии, имеют быстродействие 20–30 нс при $N = 256$ Кбит.

Дальнейшее улучшение качества материалов и совершенствование технологии позволит получить более высокие параметры ИС (кривая 2). Быстродействие в этом случае увеличится в 1,5–2 раза. Переход к совокупности параметров ЗУ, отраженных на кривой 3, даст увеличение быстродействия в пять раз. Однако на сегодняшний день нельзя назвать конкретные способы и методы достижения этих параметров и вопрос о перспективности создания быстродействующих ОЗУ большой емкости (> 64 Кбит) на основе арсенида галлия пока остается открытым.

Предполагается, что наиболее перспективно применение ССИС на арсениде галлия в сверхскоростных трактах различных типов, в которых обеспечивается уплотнение и разуплотнение информации, первичная обработка и хранение небольших массивов информации. Здесь не требуется очень большой степени интеграции, а логические схемы естественным образом дополняются оптоэлектронными при наличии оптических каналов связи.

Именно такой подход — использование быстродействующих арсенид-галлиевых ИС небольшой степени интеграции ($\sim 10^3$ вентиляей) — характерен для разработчиков суперЭВМ "Козь-3" [12].

В области технологии определяющую роль должны играть совмещенные процессы, обеспечивающие не просто получение определенных свойств границы раздела, но и стабилизацию необходимых характеристик как при изготовлении, так и при эксплуатации приборов.

Можно ожидать, что дальнейшее развитие интегральной схемотехники на арсениде галлия все в большей

степени будет связано со сложными эпитаксиальными структурами — GaAs на Si, гетероэпитаксиальными структурами для транзисторов с высокой подвижностью электронов, биполярными гетеротранзисторами и приборами с квантовыми ямами.

ЛИТЕРАТУРА

- И д е н Р.К. Сравнение перспектив различных приборов для сверхскоростных СБИС.— ТИЭЭР, 1986, т. 70, № 1, с. 5–12.
- E d e n R.C., L i v i n g s t o n A.R., W e l c h B.M. Integrated circuits the case for GaAs.— IEEE Spectrums, 1983, p. 30–37.
- Современное состояние технологии подложек для изготовления интегральных схем на основе GaAs/Р.Н.Томас, Ш.Макгайген, Г.У.Элдридж, Д.Л.Баррет. ТИЭЭР, 1988, т. 76, № 7, с. 46–72.
- I t o h T., Y a n a i M. Stability of performance and interfacial problems in GaAs MESFET's.— IEEE Trans., 1980, ED-27, p. 1037–1045.
- Design analysis of GaAs direct coupled field effect transistor logic/A.Peczalski, M.S.Shur, C.H.Hyoun et al.— IEEE Transactions on Computer Aided Design, 1986, v. CAD-5, N 2, p. 266–273.
- Comparison Study of GaAs E/D-MESFET's fabricated with self-aligned and non-self-aligned process/C.F.Wan, H.Shiehijo, R.D.Hudgens et al.— IEEE Gallium Arsenide.— Integrated Circuits, Symposium, Portland, October 13–16, 1987, p. 133–136.
- A 200 mW GaAs 1K SRAM with 2-ns cycle time/B.Gabillard, T.Ducourant, C.Rocher et al.— IEEE J. of Solid-State Circuits, 1987, vol. SC-22, N 5, p. 693–698.
- A GaAs 16 K SRAM with a single I-V supply/S.Takano, H.Makino, N.Tanino et al.— IEEE J. of Solid-State Circuits, 1987, vol. SC-22, N 5, p. 699–703.
- A GaAs 16 kbit static RAM using dislocation-free crystal/M.Hiragama, M.Togashi, N.Kato et al.— IEEE Transactions on Electron Devices, 1986, vol. ED 33, No 1, p. 104–110.
- Короткоканальный ПТШ для ИС на арсениде галлия/И.А.Ахинько, А.Т.Григорьев, Э.А.Ильичев, В.Н.Инкин.— В кн.: Тезисы I Всесоюзной конференции по физическим основам твердотельной электроники.— Л., 1989, т. А, с. 233.
- Влияние состава на электрофизические свойства изолирующих слоев GaAlAs:O, полученных МОС гидридным методом/С.М.Афанасьев, Э.А.Ильичев, Э.А.Полторацкий и др.— ФТП, 1986, т. 20, вып. 9, с. 1565–1571.
- У о л л е р Л. Заметное укрепление позиций арсенид-галлиевой технологии на рынке сбыта ИС.— Электроника, 1988, № 12–13, т. 61, с. 30–35.

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИС НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

И.А.Ахинько, д-р техн.наук, ст.науч.сотр.,
проф. А.В.Емельянов,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Э.А.Ильичев,
В.Н.Инкин, канд.техн.наук, ст.науч.сотр.
Г.К.Кирпиленко,
канд.физ.-мат.наук, науч.сотр. П.Т.Лещенко,
д-р физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Э.А.Полторацкий

Самосовмещенная технология изготовления короткоканальных ПТШ для ИС на арсениде галлия, особенностью которой является использование процесса термического окисления боковых поверхностей электродов затворов из нитрида ниобия для формирования межэлектродных зазоров ПТШ, позволяет формировать с большой точностью межэлектродные зазоры размером 0,1—0,4 мкм.

Разработки скоростных арсенид-галлиевых ИС осуществляются, как правило, на базе полевых транзисторов (ПТШ). Достигнутый уровень технологии приборов с барьером Шотки (скорость поверхностной рекомбинации и токи насыщения контактов металл-полупроводник составляют соответственно 10^6 – 10^7 см/с и 10^{-6} А/см²) и высокие кинетические характеристики электронов (максимальная скорость и подвижность электронов в арсениде галлия соответственно в два и шесть раз превышают предельные значения в кремнии) позволили создать ПТШ с временем переключения ~ 10 пс и энергопотреблением ~ 10 мкВт/вент.

Указанные предельные величины достигнуты для короткоканальных ПТШ, полученных по самосовмещенной технологии. Однако использование короткоканальных ПТШ в качестве элементной базы для сверхскоростных интегральных схем (ССИС) ограничивается несовершенством способов формирования в ПТШ межэлектродных зазоров субмикронных размеров. В настоящее время для создания ИС на короткоканальных ПТШ используется метод ионной имплантации при формировании не только областей канала, стока, истока и контактов, но и разделительных областей между затвором и омическими контактами. Реализация этого метода связана с усложнением технологии — введением дополнительных процессов прецизионной фотолитографии и многоступенчатых отжига, что приводит к повышению дисперсии основных параметров ПТШ, влияющих на степень интеграции и выход годных. Поэтому дальнейший прогресс в развитии и использовании ССИС невозможен без разработки технологии короткоканальных ПТШ, удовлетворяющей жестким требованиям к однородности электрофизических параметров транзисторов в плоскости пластины (2–5%).

Предлагаемая самосовмещенная технология изготовления ССИС на арсениде галлия основана на использовании при формировании зазоров между электродами процесса термического окисления, который отличается насыщающимся во времени характером изменения толщин оксидов материалов подложки и затвора. Использование самосовмещенных конструкций и совмещенных технологических процессов предполагает необходимость подбора для электрода затвора термостойких материалов. В данной работе использовался нитрид

ниобия, наносимый на подложку реактивным магнетронным распылением, характеризующимся низким энергетическим воздействием на подложку при высоких скоростях осаждения (3–1,5 нм/с), незначительными механическими напряжениями (~ 1 кГ/см²) и малыми размерами зерна (10 нм). Компоненты пленки — ниобий и азот — являются изоэлектронными по отношению к арсениду галлия. При выборе нитрида ниобия учитывалось также, что ниобий, легко растворяя кислород приграничной области, образует проводящие оксиды [1] и низшие соединения Nb_xGa [2], а азот, диффундирующий в полупроводник, залечивает дефекты кристаллической решетки [3]. Затвор из нитрида ниобия формируется методом обратной фотолитографии, удельное сопротивление пленки не превышает 160 мкОм·см. Установлено, что кинетика окисления носит логарифмический характер. Исследования профилей элементного состава показали (рис. 1, а), что лимитирующим фактором процесса окисления нитрида ниобия является диффузия ниобия и азота к открытой поверхности.

Скорость роста термического оксида арсенида галлия, измерение толщины которого во времени аппроксимируется корневой зависимостью, определяется диффузией мышьяка к открытой поверхности (рис. 2),

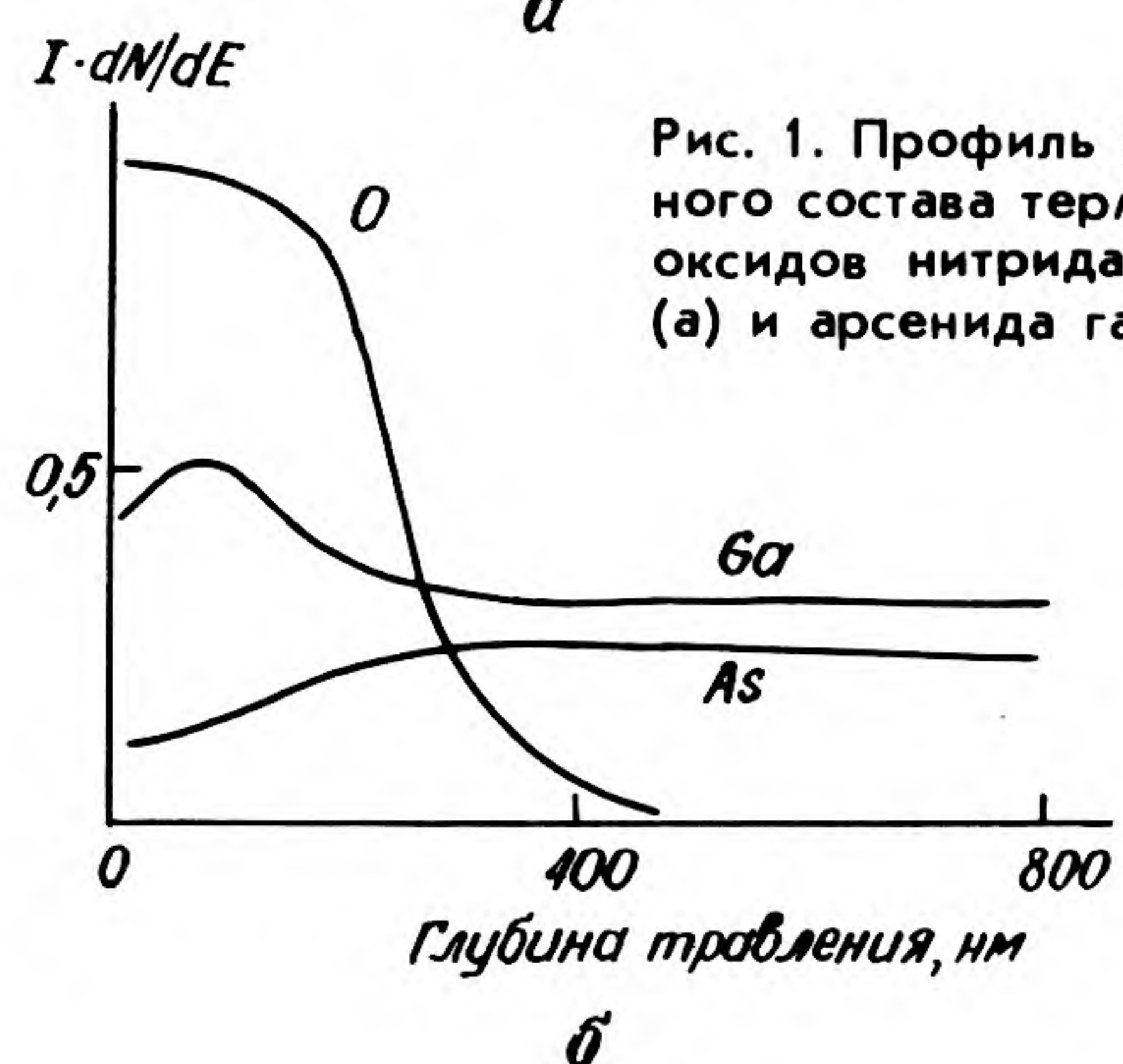
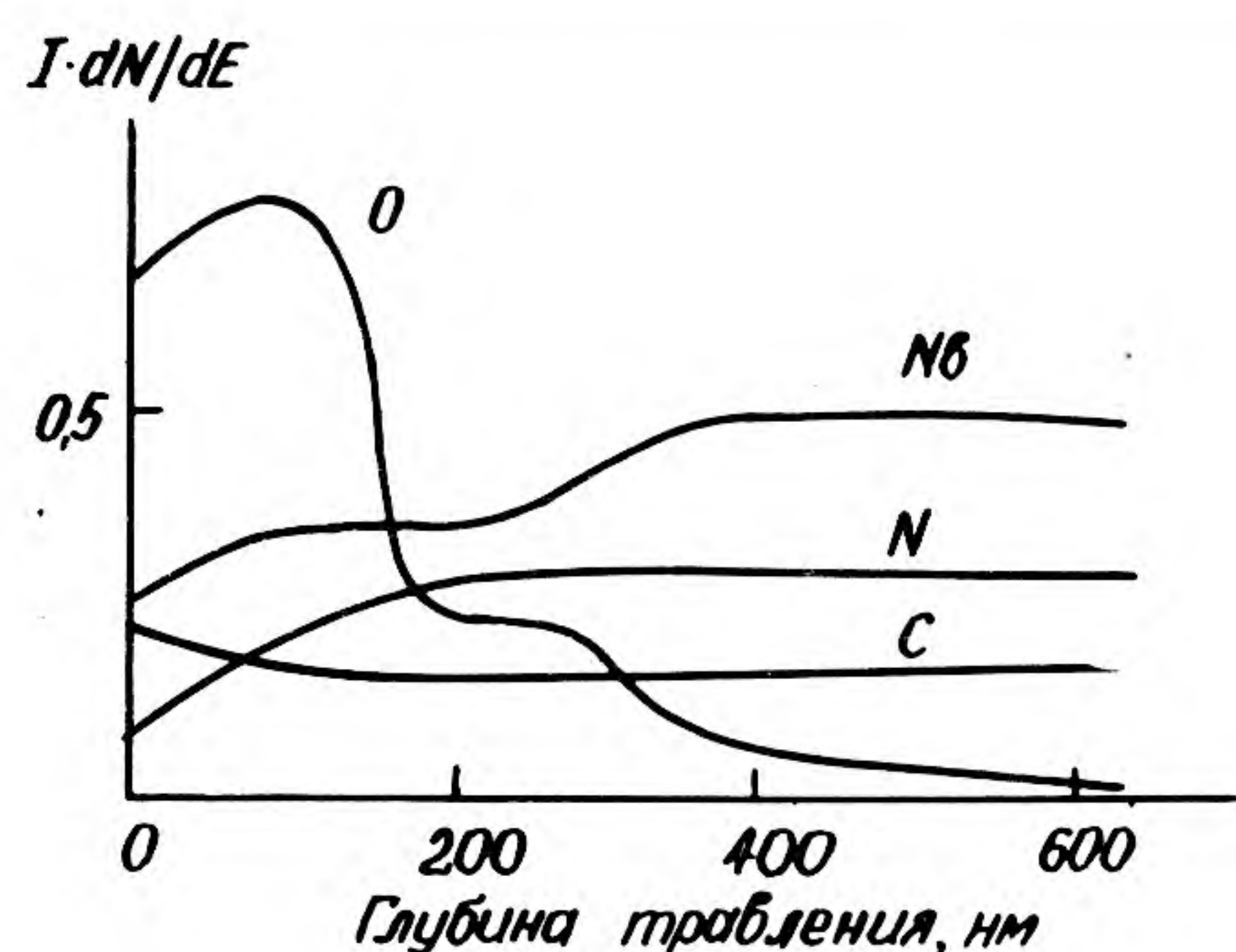


Рис. 1. Профиль элементного состава термических оксидов нитрида ниобия (а) и арсенида галлия (б)

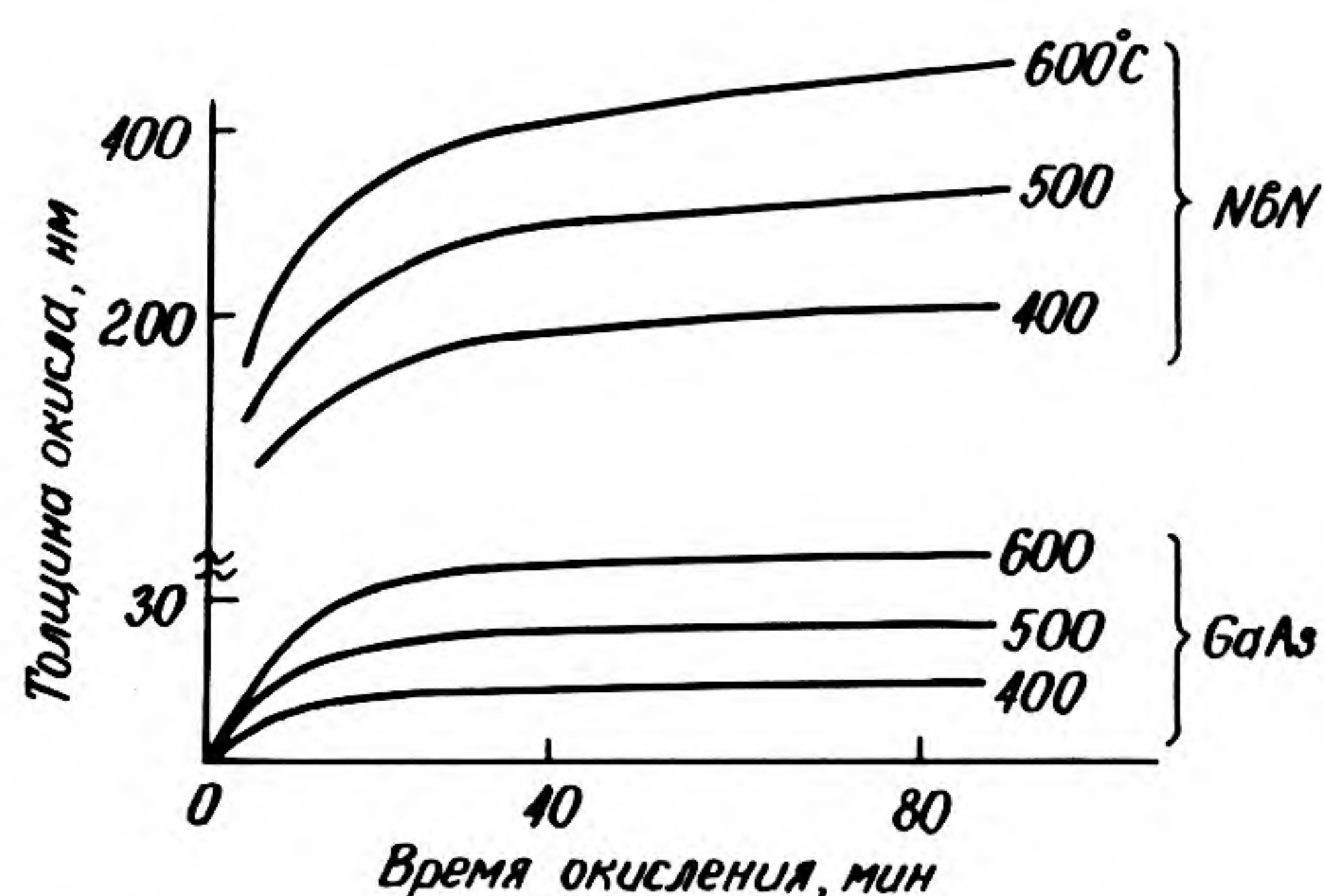


Рис. 2. Кинетика термического окисления арсенида галлия и нитрида ниобия

а также различием коэффициентов диффузии участвующих в процессе компонентов [4]. Стабилизация процессов роста оксидов арсенида галлия вызвана, по-видимому, доминирующим ростом оксидов галлия, что связано с уходом мышьяка из приповерхностных областей. Это подтверждается результатами эллипсометрических измерений и измерением профиля элементного состава (рис. 1, б).

Близость энергий активации процессов термического окисления ($E \approx 4,8$ ккал/мол — для нитрида ниобия; $E \approx 4,0$ ккал/мол и $E \approx 5,14$ ккал/мол — соответственно для линейного и параболического участков кинетической зависимости окисления арсенида галлия) позволяет получать толщины оксидов, пригодные для формирования ПТШ по самосовмещенной технологии (см. рис. 2), и реализует возможность получения субмикронных зазоров между электродами ПТШ. Это подтверждается исследованием канальной части ПТШ в отраженных электронах и рентгеновскими спектрами элементного состава (рис. 3).

Выбор нитрида ниобия в качестве материала электрода затвора обусловлен также близостью оптимальных температур формирования затвора (рис. 4), активации имплантированной примеси (кремний) в области истоков и стоков (рис. 5), сублимации оксидов арсенида галлия и температуры восстановления Nb_2O_5 до Nb_2O . При этом последний не составляет труда селективно — по отношению к арсениду галлия — удалить в водном растворе соляной либо плавиковой кислоты. Исходя из изложенного выше, перечисленные технологические процессы оптимально объединяются в рамках общего технологического маршрута создания короткоканальных ПТШ для ССИС. Насыщающий характер

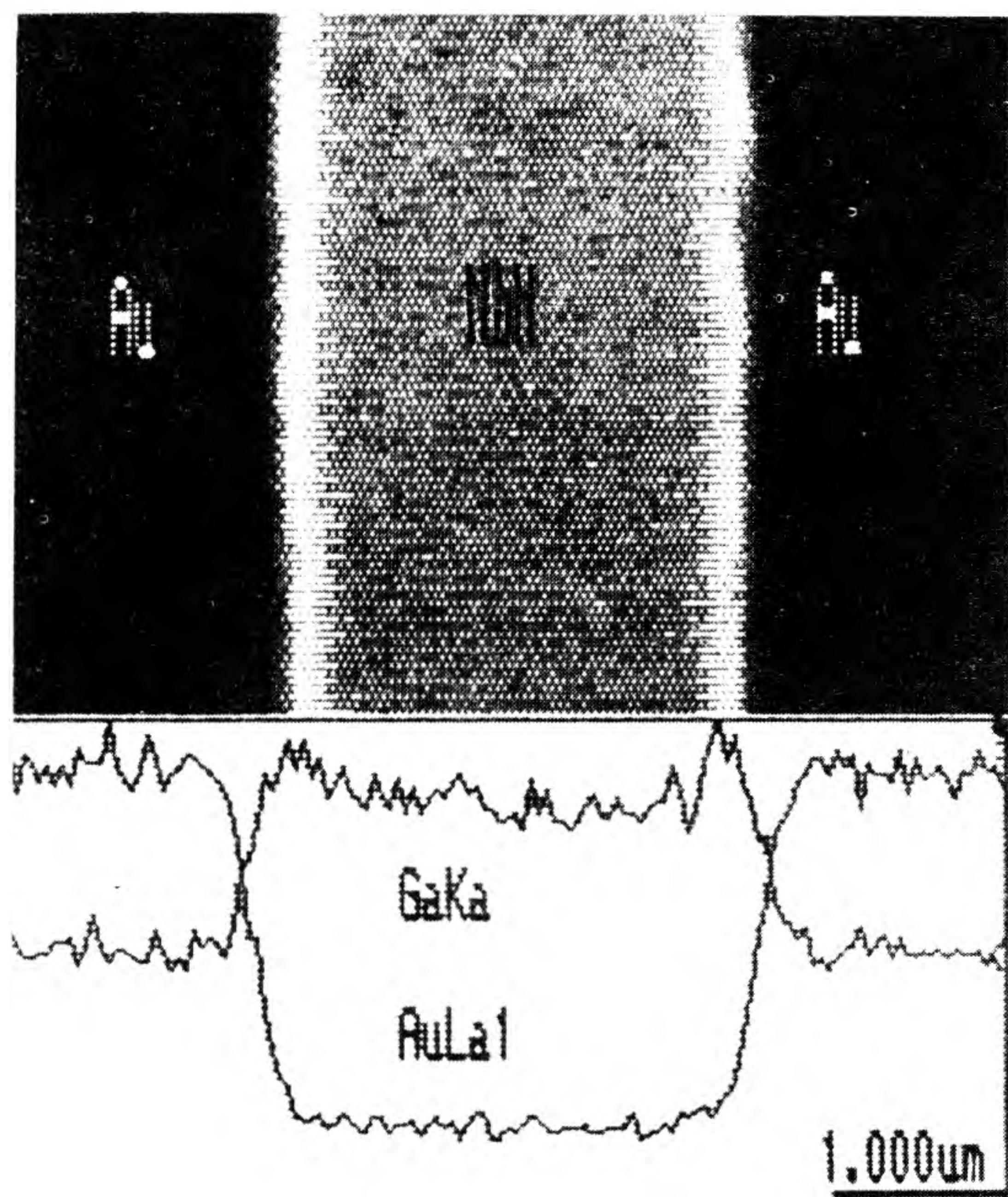


Рис. 3. Изображение канала ПТШ в отраженных электронах и в рентгеновских спектрах элементного состава.

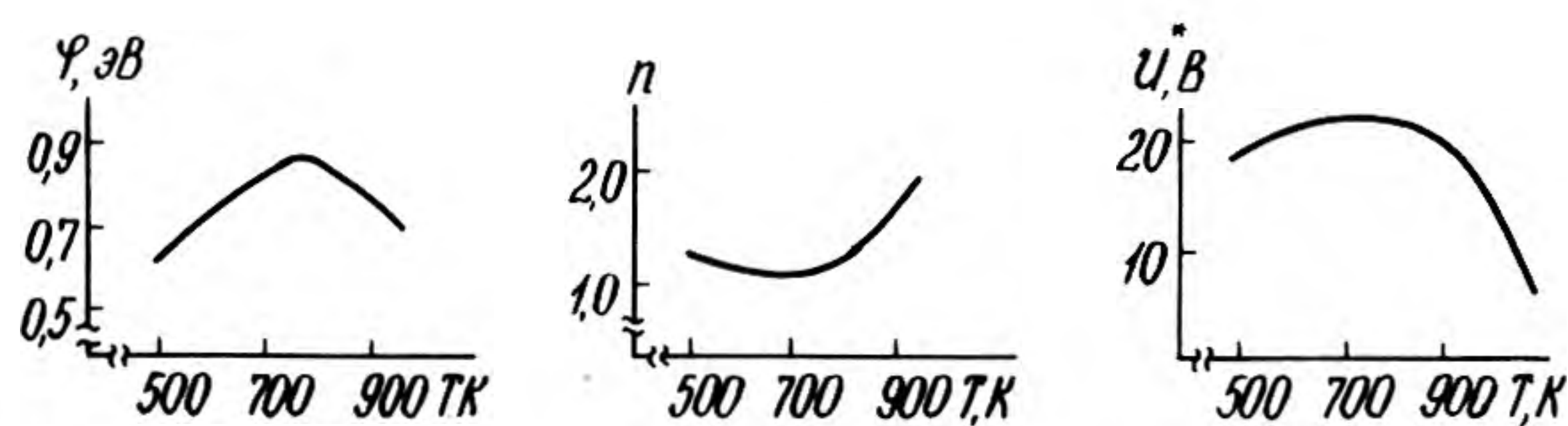


Рис. 4. Зависимости величины барьера ϕ , коэффициента неидеальности n , электрической прочности U^* БШ $NbN/nGaAs$ от температуры отжига в атмосфере водорода

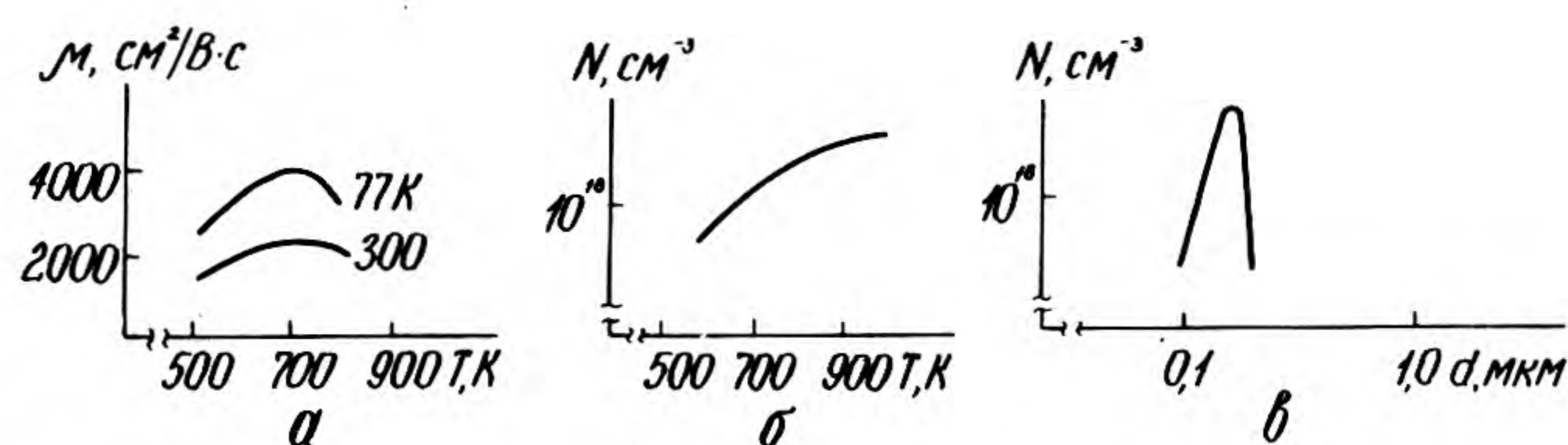


Рис. 5. Зависимости подвижности μ (а) и концентрации N (б) электронов от температуры отжига T в атмосфере водорода ($D_{Si^+} \approx 50$ мкК/см², $E_{Si^+} = 60$ кэВ) и профиль концентрации носителей (в)

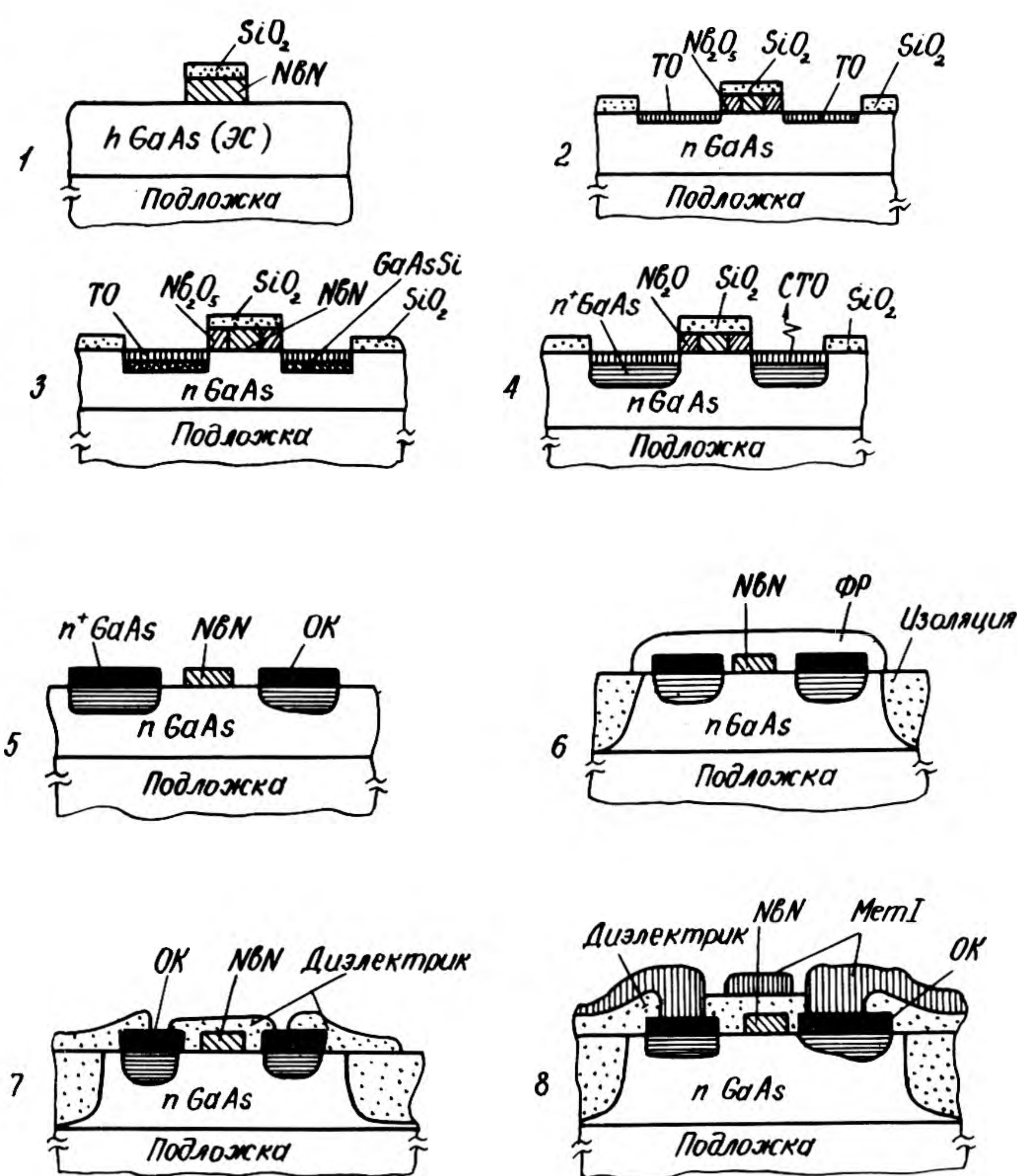


Рис. 6. Последовательность технологических операций при изготовлении короткоканального ПТШ: 1 — напыление и пассивация затвора; 2 — термическое окисление (ТО); 3 — имплантация легирующей примеси; 4 — отжиг (сублимация оксидов GaAs, активация легирующей примеси, формирование барьеров Шотки); 5 — формирование омических контактов (ОК) исток—сток; 6 — изоляция активных областей; 7 — пассивация и вскрытие окон под металлизацию; 8 — металлизация (Мет 1)

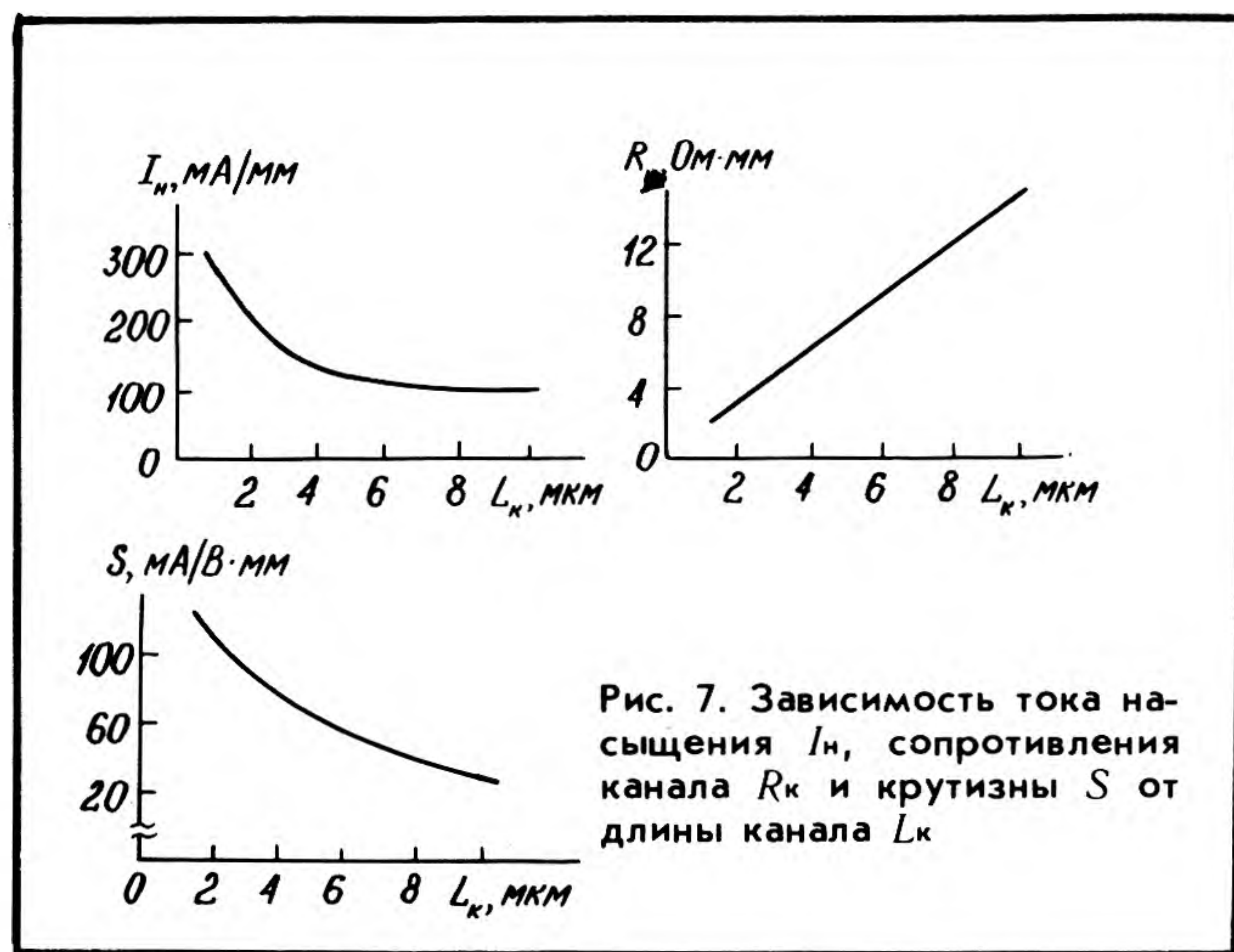


Рис. 7. Зависимость тока насыщения I_n , сопротивления канала R_k и крутизны S от длины канала L_k

изменения во времени в процессе окисления толщины оксидов позволяет в отличие от других технологий [5, 6] получить допустимые отклонения величин межэлектродных зазоров в плоскости пластины.

На рис. 6 показана последовательность этапов получения короткоканального ПТШ. Формирование активной области ПТШ осуществляется с использованием всего двух фотолитографий, причем требования к точности совмещения невысоки. Весь маршрут изготовления ПТШ включает четыре фотолитографических процесса, а реализуемые зазоры между электродами сток-затвор и исток-затвор не превышают 0,2–0,4 мкм.

На рис. 7 представлены зависимости основных параметров ПТШ, полученных по предложенной технологии, от длины затвора.

Из рисунка видно, что рост крутизны, тока насыщения и проводимости канала ПТШ при уменьшении длины канала происходит значительно медленнее, чем ожидалось [7, 8]. Учет влияния на реальную крутизну ПТШ сопротивлений областей истока и стока лишь частично устраняет выявленные несоответствия при длине затвора ~ 1 мкм. Например, собственная крутизна вместо ожидаемой величины 300–350 мА/В мм составила 200–220 мА/В мм. Для выяснения причин этого требуется проведение дополнительных исследований, с учетом отрицательного влияния флуктуаций потенциала в канале ПТШ и ловушек подложки на транспорт носителей. Кроме того, если в качестве контактного металла используются системы Ge–Au, снизить сопротивление стока (истока) до величины меньшей 1–2 Ом·мм не удастся, что затрудняет получение короткоканальных ПТШ с высокой крутизной характеристики.

Устранение предполагаемых причин ограничения крутизны возможно путем использования барьерных буферных слоев — δ -слоев p -типа проводимости (δ_p) изолирующих слоев GaAlAs:O [9] — и контактных δ -слоев n -типа проводимости (δ_{n+} , $N_{n+} \approx 10^{13} \text{ см}^{-2}$), позволяющих достичь величин сопротивления стока (истока) $\sim 0,5$ Ом·мм. Благодаря использованию контактных δ -слоев будет возможен также переход к туннельным контактным системам, что устранит дисперсию параметров ПТШ, связанную с неудовлетворительной морфологией контакта Ge–Au.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слабосвязанные высокотемпературные сверхпроводники в криогенной микроэлектронике/А.И.Головашкин, А.И.Лыков, С.П.Прищепа и др.— Зарубежная электронная техника, 1985, № 4, с. 65–90.
2. Refractory metal nitride rectifying contacts on GaAs/L.C.Zhang, C.L.Liang, S.K.Cheung, N.W.Cheung.— J. Vac. Sci. Technol., 1987, B5(6), p. 1716–1722.
3. Е м е л ь я н о в А.В. Принципы реконструирования поверхности слоев полупроводников на атомарном уровне.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1987, вып. 4, с. 68–80.
4. Атомарная диффузия/Под ред. Д.Шоу/М.: Мир, 1975.
5. Арсенид галлия в микроэлектронике/Под ред. Н.Айнспрука, У.Уиссмана.— М.: Мир, 1988, с. 466–474.
6. Self-aligned-gate digital AlGaAs/GaAs modulation-doped field effect transistor (MODFET) processing and short channel effects/A.N.Lepore, D.C.Radulescu, W.J.Schaff et al.— SPIE, vol. 797. Advanced Processing of Semiconductor Devices, 1987, p. 203–206.
7. P u s e l R.A., H a u s H.A., S t a t z H. Signal and noise properties of GaAs microwave field-effect transistor.— Advanced in Electronics and Electron Physics, 1975, vol. 38, N 4, p. 195–196.
8. З и С.М. Физика полупроводниковых приборов.— М.: Мир, 1984, т. 1, с. 339.
9. Влияние состава на электрофизические свойства изолирующих слоев GaAs, полученных МОС гидридным методом/С.М.Афанасьев, Э.А.Ильичев, Э.А.Полторацкий и др.— ФТП, 1986, вып. 9, с. 1565–1571.

Статья поступила 27 октября 1989 г.

УДК 681.325.65

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕМКОСТНОЙ СВЯЗИ В ТРЕХМЕРНЫХ ИС НА GaAs

д-р техн.наук, проф. Н.С.Самсонов,
д-р физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Э.А.Полторацкий,
В.Н.Инкин, канд.физ.-мат.наук,
ст.науч.сотр. Э.А.Ильичев, С.Е.Решетников,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр. Г.С.Рычков

Анализ перспектив использования емкостной связи при создании многокристалльных трехмерных ИС показывает, что емкостная связь повышает быстродействие схем и позволяет изготавливать их методом перевернутого кристалла.

Логические элементы с емкостными связями более экономичны и надежны, чем элементы, требующие специальных сдвигающих цепочек для согласования входных и выходных напряжений, и это делает их перспективными для микроэлектроники [1].

Возможности таких элементов расширяются в связи с развитием сверхбыстродействующих ИС, в частности в связи с разработкой трехмерных ИС (ТИС). Ограничения на использование логических элементов с емкостными связями в области низких частот, связанные с динамикой релаксации потенциала на затворе после снятия с конденсатора управляющего импульса (рис. 1), в ряде случаев могут быть устранены использованием дополнительных малопотребляющих цепей [2]. Различные типы и конструкции транзисторов для таких схем представлены на рис. 2.

Для полевых арсенид-галлиевых логических схем используются три вида основных ИС: с буферными каскадами (рис. 3, а), непосредственными связями (рис. 3, б) и со стоковыми связями (рис. 3, в).

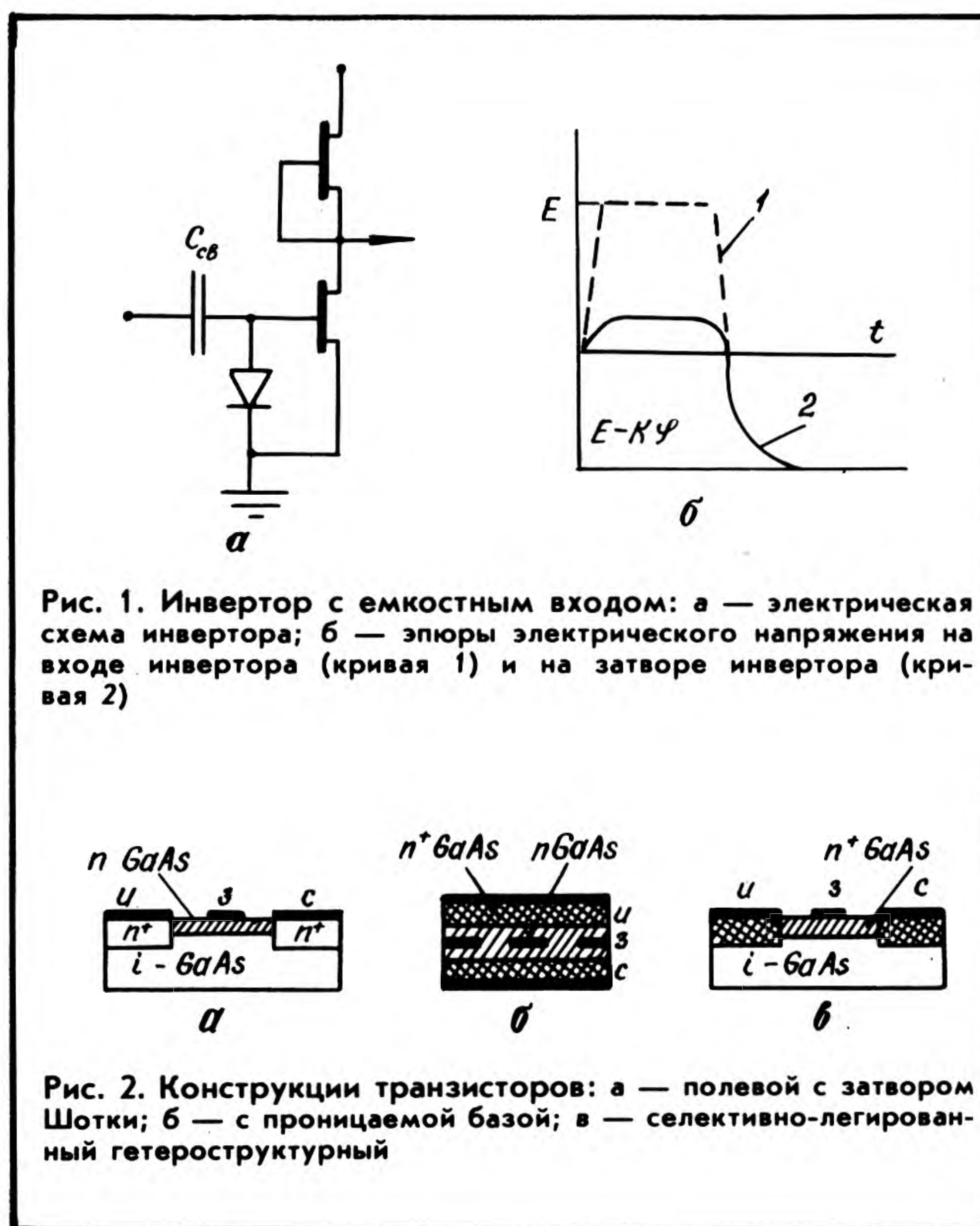


Рис. 1. Инвертор с емкостным входом: а — электрическая схема инвертора; б — эпюры электрического напряжения на входе инвертора (кривая 1) и на затворе инвертора (кривая 2)

Рис. 2. Конструкции транзисторов: а — полевой с затвором Шоттки; б — с проникающей базой; в — селективно-легированный гетероструктурный

Трансформация этих схем в соответствующие схемы с емкостными связями показана на рис. 3, г—е. При переходе от схемы, показанной на рис. 3, а, к схеме, изображенной на рис. 3, г, их конструкция упрощается — требуется только один источник питания. Кроме того, последняя схема (рис. 3, г) отличается меньшей потребляемой мощностью и более высоким быстродействием вследствие отсутствия буферного каскада. Схема, представленная на рис. 3, д, по сравнению со схемой на рис. 3, б из-за дополнительной емкости кажется несколько усложненной. Но в целом в ряде конструктивных и технологических реализаций осуществление емкостной связи оказывается проще, чем омической, и это повышает запас помехозащищенности. В схемах, приведенных на рис. 3, в и 3, е, имеется по два дополнительных диода, однако на такое усложнение можно пойти при использовании данных схем в быстродействующих линиях связи, выполненных на элементах из высокотемпературных сверхпроводников. Объясняется это трудностью реализации омического контакта между ВТСП и нормальным металлом (или полупроводником), в то время как реализация емкостной связи намного проще.

Схемы с емкостными связями имеют высокую помехозащищенность, что позволяет передавать только часть логического перепада, т.е. можно снизить емкость устройств ввода-вывода.

Рассмотрим возможность использования свойств схем с емкостными связями при конструировании цифровых систем, например матрицы микроЭВМ, смонтированной на одной плате. Связи между элементами микроЭВМ осуществляются с помощью полосковых линий, выполненных на основе высокотемпературных полупроводников, обладающих полосой пропускания до 50—100 ГГц. Передача информации в этих линиях осуществляется путем ее уплотнения и разуплотнения. Такая конструкция микроЭВМ представляет собой многокристальную ТИС и обеспечивает минимальное время задержки между элементами микроЭВМ. Для сравнительной оценки времени задержки сигнала между элементами микроЭВМ в конструкциях, использующих ТИС и обычную гибридную сборку кристаллов на платах, будем исходить из 10 кристаллов — количества, достаточного для создания микроЭВМ со сложной структурой. При размере кристалла $1 \times 1 \text{ см}^2$ (толщина 0,3 мм) наибольшее расстояние при обычной сборке между элементами составляет около 10 см, а в конструкции ТИС — около 2,5 см.

По согласованным полосковым линиям связи в случае их малого числа передавать информацию целесообразно, если скорость передачи составляет 5—10 ГГц и имеется только один передающий и один приемный элемент [3]. Поэтому далее рассмотрим конструкции, использующие для передачи информации RC шины.

В настоящее время разработано несколько методов ускорения передачи информации по этим шинам [4] (рис. 4, кривые 1, 2, 3, 4 — по порядку изложения). Первый из них состоит в том, что шина разбивается на несколько одинаковых участков, каждый из которых возбуждается инвертором минимальной ширины; второй метод отличается от первого тем, что ширина инвертора берется оптимальной; в третьем методе вся линия возбуждается одним многокаскадным усилителем мощности (драйвером). В драйвере ширина инвертора в каждом последующем каскаде увеличивается в l раз. На рис. 4 представлена зависимость задержки сигнала от длины алюминиевой шины шириной 1 мкм. Относительная диэлектрическая проницаемость материала платы принималась равной 10—12 из расчета использования в качестве платы полупроводниковых подложек, на которых сформированы активные элементы. Отсюда сле-

дует, что в случае пассивных подложек можно использовать только третий метод, когда всю шину возбуждает один драйвер. Но и в этом случае задержка оказывается довольно большой. Минимальную задержку обеспечивает второй метод. Так, оценки показывают, что число инверторов должно быть около 10 при ширине 50—100 мкм. Естественно, что при этом практически полностью утрачивается преимущество компактности разводки микронной ширины и возникает необходимость введения широких шин с мощными драйверами. Следовательно, состоящая из 10 кристаллов ТИС позволяет обычным способом передавать по RC шине сигнал от точки к точке ТИС за время, не больше 1 нс.

Успехи в области разработки многокристалльных ТИС в значительной степени зависят от решения двух проблем: формирования соединяющих верхнюю и нижнюю поверхности кристалла проводящих микроканалов и соединения между отдельными кристаллами [5].

Первая проблема решается применением процессов термомиграции и лазерного прожигания для кремния, а также зонной плавки с градиентом температур арсенида галлия (ЗПГ) [6]. Получаемые микроканалы имеют диаметр 20—60 мкм, постоянная времени равна нескольким пикосекундам.

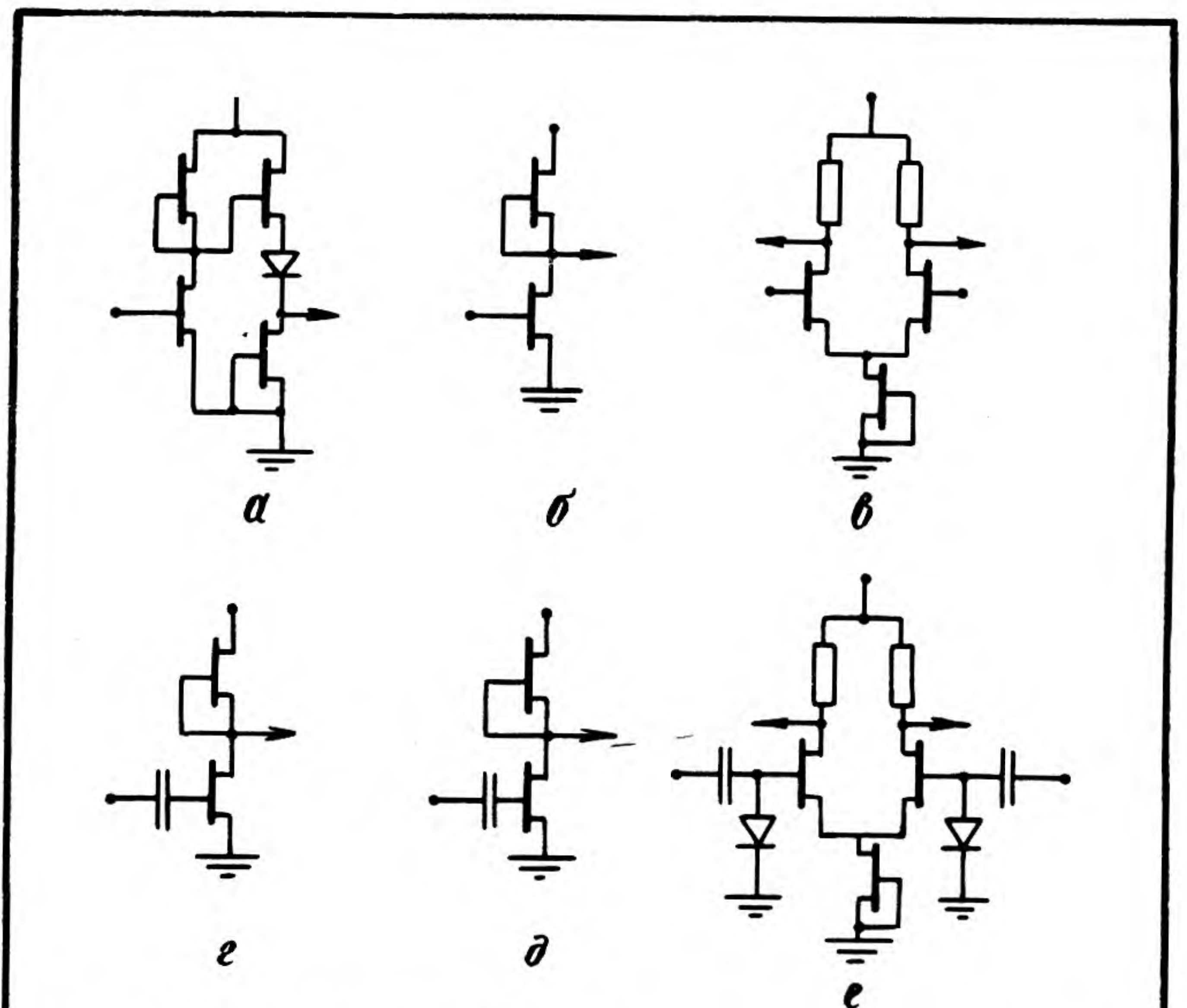


Рис. 3. Основные схемы инверторов: а — с буферным каскадом; б — с непосредственной связью; в — со стоковой связью; г — с емкостным входом для нормально открытого транзистора; д — с емкостным входом для нормально закрытого транзистора; е — с емкостными входами со стоковой связью

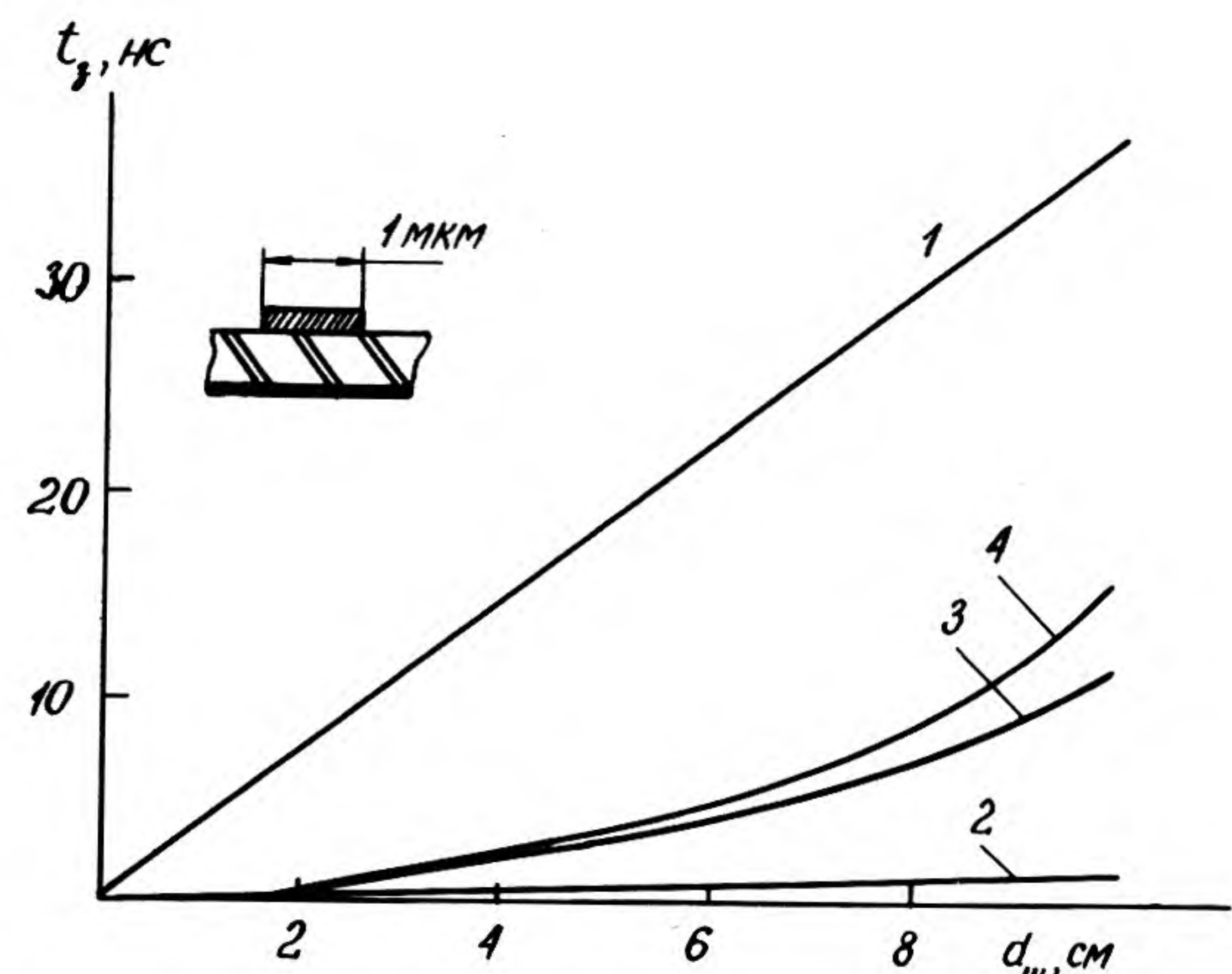


Рис. 4. Зависимость задержки сигнала от длины шины

Решение второй проблемы оказывается сложнее, и пока ее реализация осуществляется с помощью пружинящих микромоств, располагающихся на обеих поверхностях кристалла. Микромоствы выполняются в виде узких упругих полосок из алюминия с индиевым покрытием, изолированных от поверхности кристалла воздушными прослойками. Индий играет роль низкотемпературного припоя между микромоствами двух смежных кристаллов.

Этот способ имеет ряд недостатков, к которым относится необходимость изготовления на обеих поверхностях кристалла большого количества (10^2 — 10^3) микропружин для обеспечения надежного контакта при рассеивании ТИС достаточно большой мощности (до 10 ватт и более), в противном случае реализация быстрогодействия, потенциально обеспечиваемого ТИС, невозможна. При указанной мощности вся ТИС может нагреваться более чем на 100°C — при такой температуре индиевое покрытие не обеспечит необходимую надежность соединений. Неясно также, как поведут себя микропружинки при больших колебаниях температуры.

Схемы с емкостными связями позволяют устранить эти недостатки, так как передача сигналов в них осуществляется не через пружинки, а через конденсатор (рис. 5, а). Эквивалентная схема соединения представлена на рис. 5, б, где C_m и $C_{св}$ — емкости микроканала и конденсатора связи, причем

$$C_m < \frac{0,241 \varepsilon_1 h_1 [\text{см}]}{\lg D_2 / D_1}, \quad C_{св} > \frac{0,0886 \varepsilon_2 S [\text{см}^2]}{h_2 [\text{см}]}$$

(ε_1 — относительная диэлектрическая проницаемость кристалла, ε_2 — ее наименьшее значение для диэлектрика, расположенного между обкладками конденсатора, S — площадь конденсатора связи). Для нормальной передачи сигнала, задержка которого не должна превышать τ , необходимо, чтобы параметры канала удовлетворяли соотношениям

$$(C_{св} + C_m) U_L < \tau I, \quad C_{св} \geq 4 C_{вх},$$

где U_L — логический перепад, I — ток, отдаваемый транзистором в нагрузку, $C_{вх}$ — входная емкость инвертора. При оценке задержки сигнала сопротивлением микроканала R_m , которое для n -канала составляет менее 10 Ом, можно пренебречь, так как постоянная времени $R_m(C_m + C_{св})$ менее пикосекунды. Следует учитывать, что в силу неидеальности поверхности величину h_2 следует брать равной удвоенному

максимальному прогибу кристалла. Полагая $h_1 = 0,3$ мм, $h_2 = 2$ мкм, $D_1 = 30$ мкм, $D_2 = 200$ мкм, $\tau = 0,1$ нс, $U_L = 1$ В, $\varepsilon_1 = 10$, $\varepsilon_2 = 6$, $C_{вх} = 0,02$ пФ, имеем $C_m < 0,1$ пФ, $C_{св} \geq 0,08$ пФ, $S \leq 60 \times 60$ мкм², причем ток транзистора, возбуждающего канал связи, должен быть не более 1,5 мА, что обеспечивается в полевом транзисторе на GaAs при ширине канала 10—20 мкм. При микронной длине затвора этот же транзистор имеет входную емкость не более 0,02 пФ.

Формирование микроканала в полуизолирующей подложке GaAs осуществляется методом ЗПГТ, при котором образуется жидкая зона расплава, перемещающаяся через кристалл из области металлической зоны к области с максимальной температурой. В отличие от методов диффузии, принципиально не способных обеспечить локальность, лучшую, чем линейный размер формируемой области, метод ЗПГТ позволяет получить ее величину не менее 20 мкм при длине микроканала 300 мкм, при этом «размытие» канала не превышает 10 мкм.

Методом ЗПГТ были изготовлены микроканалы (см. рис. 4, в) как n -, так и p -типа. Первые получились при использовании в качестве легирующих добавок олова, вторые — цинка. При формировании каналов в качестве покрытия использовался или нитрид кремния или двуокись кремния. После изготовления каналов пластина шлифовалась, потом полировалась. К полученным областям формировались омические контакты и измерялись ВАХ. Для p -каналов удельное сопротивление материала составляло 0,2—0,05 Ом·см, а для n -каналов — 0,01 Ом·см. Из-за несовершенства материала наблюдались у некоторого числа каналов изломы на дислокациях. Поэтому при формировании обкладок конденсатора на тыльной стороне пластины нужно учитывать смещение и размытие канала.

Если к настоящему времени многокристалльная конструкция ТИС еще недостаточно проработана для практического воплощения, то ТИС, получаемая методом перевернутого кристалла, может найти широкое применение. Отметим некоторые из них. В электронике активно используются разнообразные оптоэлектронные приборы — фотоприемники, модуляторы, лазеры, светодиоды. Материал, используемый для их изготовления, может существенно отличаться от материала, на котором изготавливаются основные интегральные схемы. Поэтому интеграция микроэлектронных схем, выполненных на разных материалах, оптимальным образом воплощается в ТИС посредством метода перевернутого кристалла с передачей сигнала через конденсатор, расположенный между кристаллами. Поскольку шин питания немного, то их соединение между кристаллами можно осуществить либо при помощи шариков припоя, либо с помощью термокомпрессии. В качестве примера можно рассмотреть случай, когда верхний кристалл в основном состоит из материала GaAlAs, на котором сформирована в эпитаксиальном слое GaInAs матрица ячеек. Каждая ячейка содержит фотоприемник, усилитель и аналого-цифровой преобразователь. Свет инициирует сигналы, поступающие через конденсатор связи на нижний кристалл, на котором находятся схемы цифровой обработки информации. Такая конструкция особенно подходит для параллельной обработки световой информации [7].

Другой возможный аспект применения этого метода заключается в использовании активной подложки для передачи сигналов между кристаллами с минимальной задержкой (менее 1 нс при длине связей на подложке не более 10 см) при использовании обычных микронной ширины РС шин. Оптимальным вариантом в данном случае было бы использование полосковых шин на ВТСП материалах, так как именно они обеспечат реальную компактность соединений,

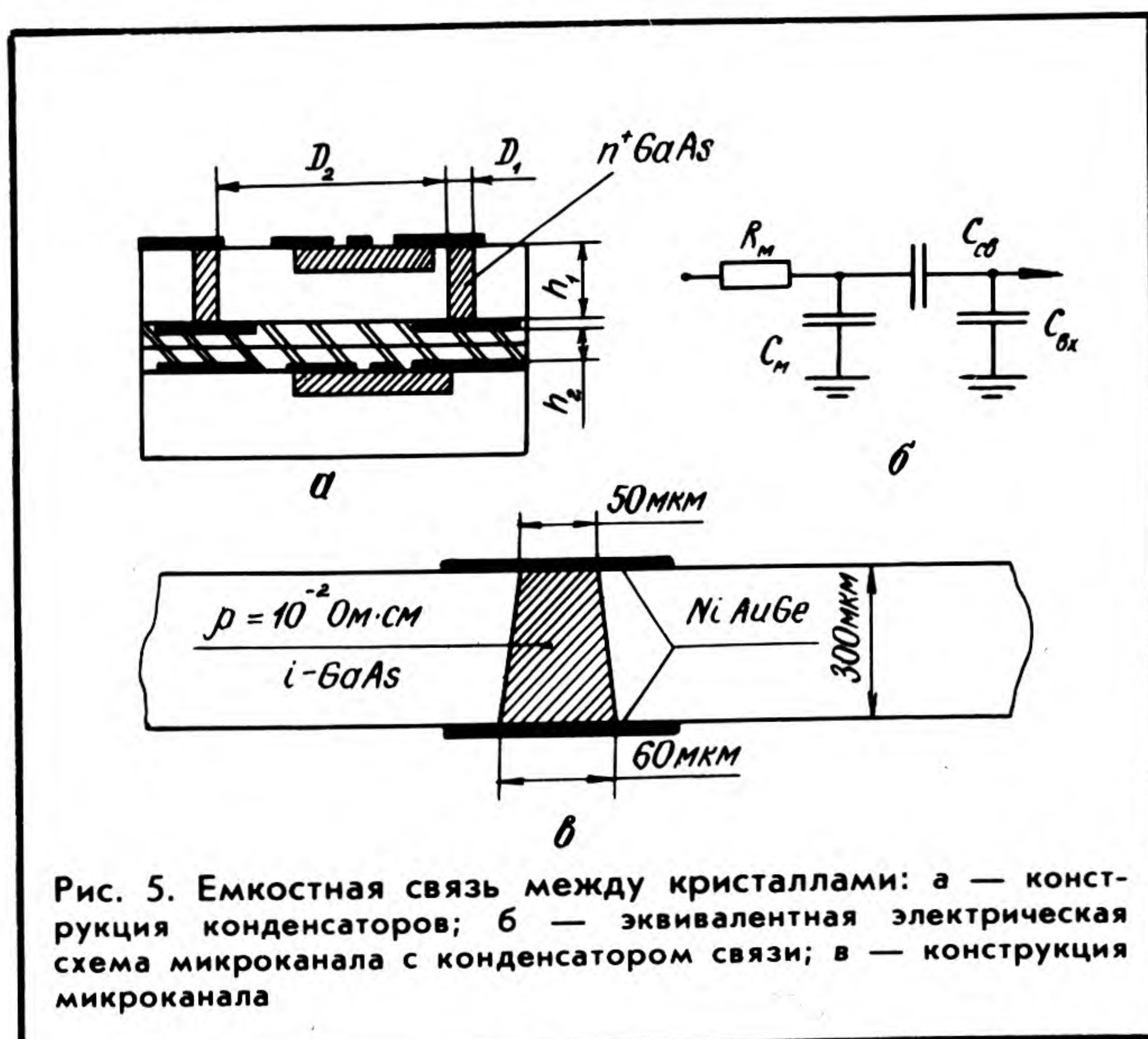


Рис. 5. Емкостная связь между кристаллами: а — конструкция конденсаторов; б — эквивалентная электрическая схема микроканала с конденсатором связи; в — конструкция микроканала

но создание линий микронной и субмикронной ширины на диэлектрических подложках с малыми потерями находится в стадии разработки, а активную подложку можно применять в настоящее время. Она может представлять собой GaAs подложку со структурой, обеспечивающей формирование активных элементов. В зависимости от свойств интегральных схем на кристаллах, на ней можно сформировать активные линии с необходимой задержкой. Интегральные схемы могут быть совершенно разные, и их согласование по мощности и временам задержек можно производить с помощью активных элементов платы.

Таким образом, использование емкостной связи позволяет упростить конструкцию многокристальных трехмерных ИС и увеличить их быстродействие. Метод перевернутого кристалла вместе с использованием активной подложки с длиной связей не более 10 см позволяет создавать цифровые системы с задержкой сигнала по подложке не более 1 нс.

Хотя использование емкостной связи рассматривалось исключительно для случая, когда в качестве активных элементов применялись только полевые транзисторы, имеющие по входу ВАХ диода, принцип емкостной связи можно перенести и на другие активные приборы, в том числе и биполярные.

УДК 539.216.2:546.681.191.1

ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ СЛОЕВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ МОС-ГИДРИДНОЙ ЭПИТАКСИИ

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Э.А.Ильичев,
канд. хим. наук А.В.Родионов,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ю.Н.Свешников,
А.В.Федоренко

Использование эпитаксиальных структур GaAs со сверхтонкими δ -легированными слоями позволило получить полевые транзисторы Шотки с улучшенными характеристиками по сравнению с транзисторами, изготовленными по традиционной технологии.

Дельта-легирование, т.е. размещение легирующих атомов в процессе роста эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений A^3B^5 в двумерной атомарной плоскости, и создание профилей легирования описываемых дельта-функцией Дирака, т.е. $N = N^{2D}\delta(t)$, где N^{2D} -концентрация (2D) примесных атомов в монослое, находит широкое применение при создании ИС, приборов СВЧ техники и оптоэлектроники. В работе [1] показаны основные области применения δ -легирования:

— для создания δ -легированных полевых транзисторов с затвором Шотки с высокой крутизной, благодаря более высокой концентрации электронов в канале и более узкому пространству между электронным каналом, локализованным в области δ -легированного слоя, и металлом затвора;

— в селективно-легированных гетероструктурах $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ — для уменьшения эффекта нежелательной остаточной фотопроводимости и увеличения концентрации двумерного электронного газа в транзисторах с высокой подвижностью электронов (HEMT);

— использование сильнолегированных δ -слоев по-

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетников С.Е. Моделирование на ЭВМ инвертора с емкостным входом.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1985, вып. 1, с. 77—80.
2. AGK-gate GaAs array with a new large-noise-margin SLCF circuit/T.Terada, Y.Ikawa, A.Kameyama et al.— IEEE J. of Solid-State Circ., 1987, vol. SC-22, N 5, p. 755—761.
3. Арсенид галлия в микроэлектронике/Под ред. Н.Айнспрука, У.Уисмена.— М., Мир, 1988, с. 555.
4. Goel A.K. Transit time in the high-density interconnections on GaAs-based VHSIC.— IEE Proceeding, vol. 135, pt. 1, 1988, N 5, October, p. 129—135.
5. Рудаков В.Н., Горбунов Ю.И., Коледов Л.А. Трехмерные интегральные схемы. Обзоры по электронной технике. Серия 3. Микроэлектроника, 1987, вып. 5.
6. Ефремова Н.П., Попов В.П. Зонная перекристаллизация градиентом температуры арсенида галлия дискретными зонами.— Известия АН СССР. Неорганические материалы, 1986, т. 22, № 11, с. 1853—1856.
7. Решетников С.Е., Рычков Г.С. Некоторые аспекты разработки ИС для параллельной обработки световой информации.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1983, вып. 4, с. 3—9.

Статья поступила 27 октября 1989 г.

звоняет создавать невсплавные омические контакты с низким удельным сопротивлением;

— благодаря δ -легированным сверхрешеткам $n-i-p-i$ -типа открываются новые перспективы для создания оптоэлектронных приборов, что обеспечивает значительное смещение люминесценции в ИК область. Технология δ -легирования может использоваться при создании гетероструктурных биполярных транзисторов и за счет увеличения носителей заряда в базе значительно улучшить характеристики данного типа приборов [2].

Первые сообщения о технологии получения δ -легированных слоев (планарного легирования) появились в работах Вуда применительно к молекулярно-лучевой эпитаксии [3]. В качестве легирующих примесей использовались Ge и Si. В дальнейшем [1,4—6] были более детально рассмотрены особенности получения и измерения некоторых параметров таких слоев. Что касается МОС-гидридной технологии, то этот вопрос менее изучен, хотя имеются отдельные публикации по получению δ -слоев, легированных кремнием и селеном с использованием SiH_4 [7] и H_2Se [8]. При создании δ -легированного слоя в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии в качестве легирующей примеси может использоваться углерод [9], источником которого являются металлоорганические соединения (МОС) галлия, подаваемые в зону роста при прекращении подачи мышьяка.

В данной работе представлены результаты по исследованию δ -легирования арсенида галлия рядом примесей различных типов в технологии МОС-гидридной эпитаксии. Эксперименты проводились на установках с реакторами вертикального и горизонтального типа. Температура в зоне роста изменялась в диапазоне 530—680°C. В качестве источника галлия использовался ТМГ, в качестве источника мышьяка — 10%-ная смесь арсина в водороде. Для получения δ -легированного слоя эпитаксиальный рост нелегированного арсенида

галлия останавливался путем прекращения подачи в реактор галлиевого компонента, одновременно в реактор подавалось легирующее соединение. При этом происходил пиролиз этого соединения, адсорбция или осаждение примесных атомов на поверхности эпитаксиального роста. В объеме полупроводникового материала образовывалась узкая область δ -легированного слоя.

В качестве донорных примесей применялись Si, Ge, Sn, Se, в качестве акцепторных — Cd и C. Проведенные исследования показали, что использование таких примесей, как Cd и Se, встречает значительные трудности. Так, например, при легировании селеном наблюдалась сильная технологическая "память", а применение углерода требовало специальных условий для встраивания его в подрешетку мышьяка. Поэтому, несмотря на то, что и в этих случаях получены δ -слои с достаточно высоким поверхностным зарядом (до $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$), основные исследования были сосредоточены на таких примесях, как кремний, германий, олово и кадмий. В качестве легирующих соединений использовались силан, герман, тетраэтилолово и диметилкадмий.

На рис. 1 приведены (N-d)-профили концентрации носителей заряда δ -слоев *n*- и *p*-типа проводимости, полученные (C-V)-методом. Надо, однако, отметить, что, как следует из работы [10], строго характеризовать параметры δ -слоя по (C-V)-измерениям нельзя, так как модель Дебая-Хюккеля здесь неприменима из-за очень высоких концентраций. Измеренный профиль отражает не столько концентрацию легирующей примеси или носителей заряда, сколько изменение волновой функции в V-подобной потенциальной яме. Поэтому для количественной оценки параметров δ -слоев использовался метод Ван-дер-Пау, позволяющий определять такие важные характеристики, как поверхностная плотность заряда и подвижность носителей.

На рис. 2 приведены зависимости поверхностной концентрации носителей заряда от времени формирования δ -слоя. В проводимых экспериментах концентрация легирующего компонента в газовой фазе реактора при получении δ -слоя составляла для германа, силана и

тетраэтилолова $1 \cdot 10^{-6}$ мол.%, для диметилкадмия $1 \cdot 10^{-2}$ мол.%. Такое различие в содержании примеси, необходимое для получения δ -слоев, с соизмеримой поверхностной концентрацией и полученные зависимости связаны, по-видимому, с различными механизмами формирования планарного слоя атомов легирующих элементов. В случае использования германия, олова, кремния это простое осаждение, при кадмии атомы примеси удерживаются на поверхности за счет адсорбционных сил, так как парциальное давление кадмия в газовой фазе ниже давления насыщенного пара кадмия при температуре подложки. Это подтверждает и темпе-

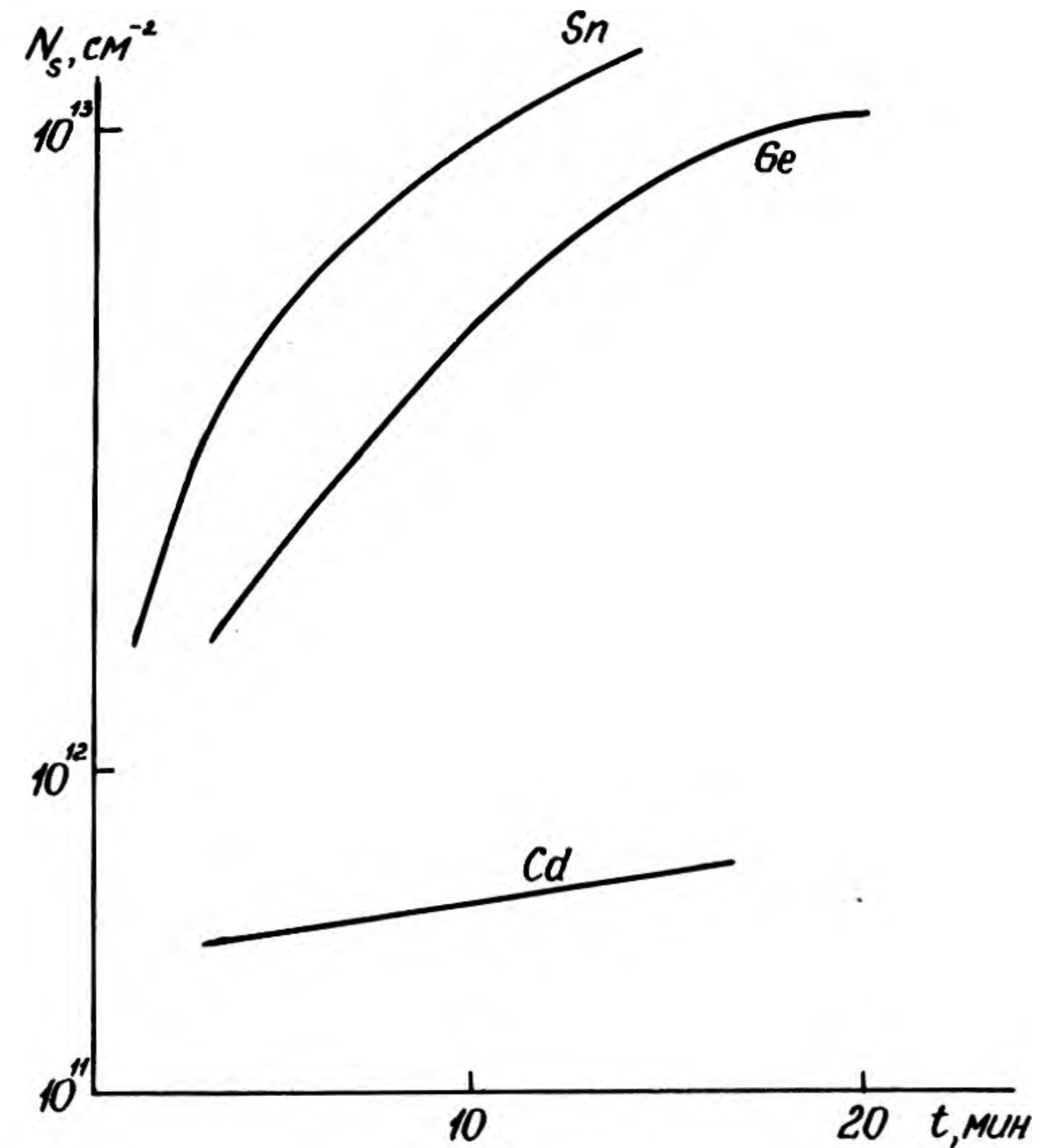


Рис. 2. Зависимость поверхностной концентрации носителей заряда δ -слоя от времени формирования для различных примесей

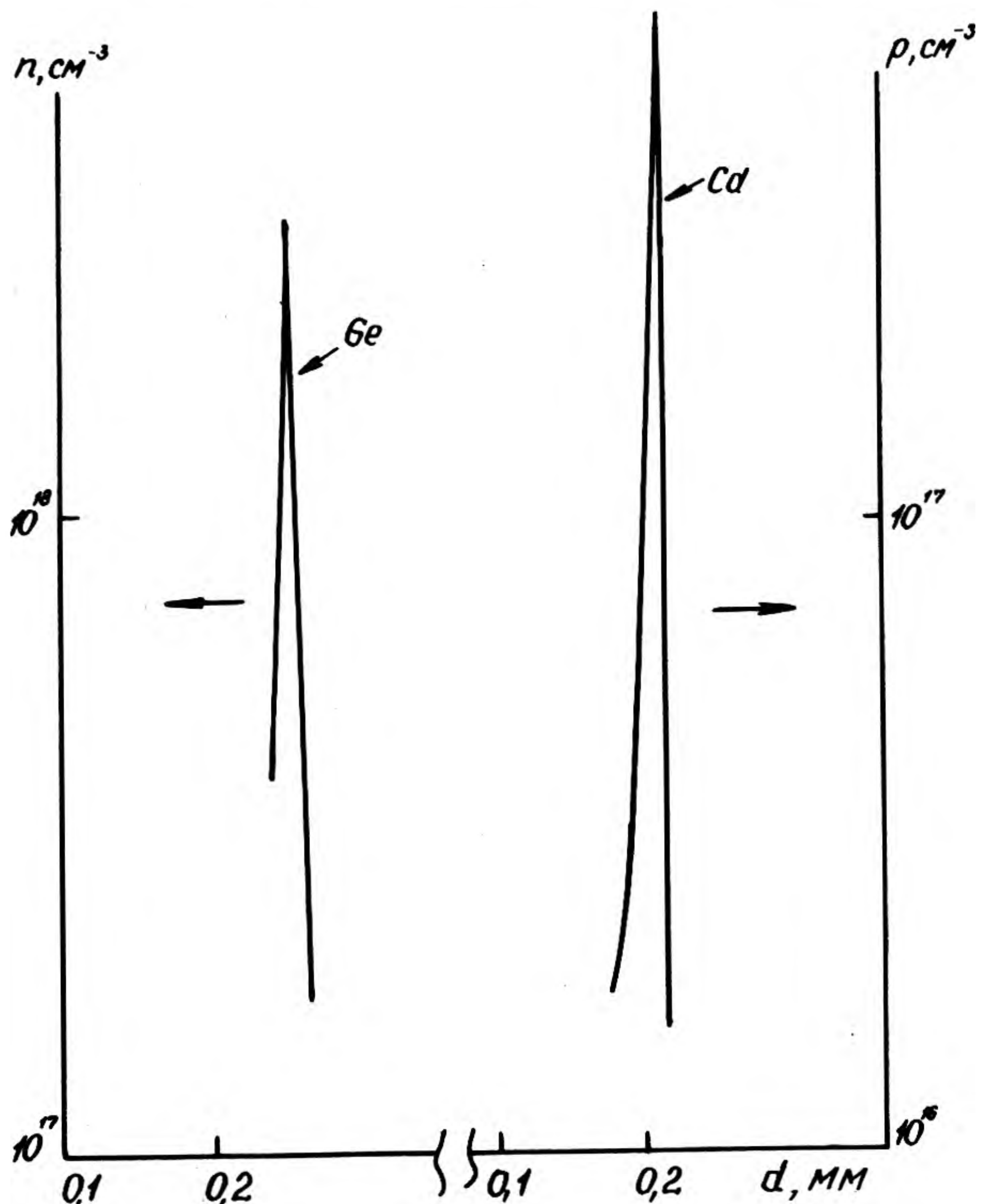


Рис. 1. Профиль концентрации носителей заряда δ -слоев, легированных германием и кадмием

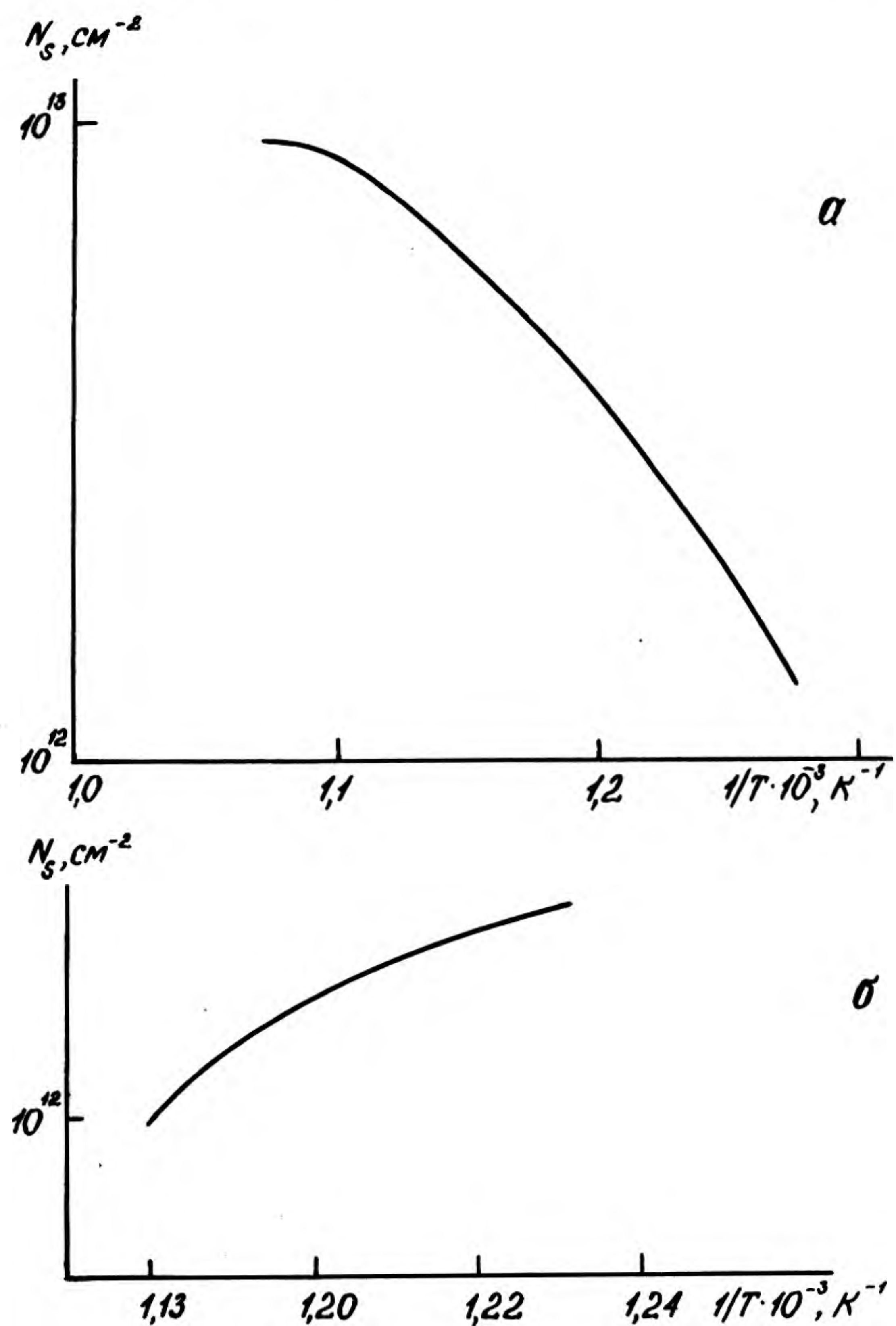


Рис. 3. Температурная зависимость поверхностной концентрации носителей заряда δ -слоя при легировании германием (а) и кадмием (б)

ратурная зависимость поверхностной концентрации носителей заряда в δ -слое, рис. 3. При увеличении концентрации легирующих компонентов в газовой фазе предельные значения поверхностной концентрации составляли для Si и Ge $4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и $3,7 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ соответственно, для Cd — $3,8 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и для Sn достигнуто наибольшее значение $\sim 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Результаты измерений зависимости подвижности электронов в структурах с δ -слоями от температуры представлены на рис. 4. Эта зависимость качественно совпадает с наблюдаемой для однородно легированных полупроводников, что подтверждает данные работы [11] и объясняется влиянием сильного электрического поля плоскости положительно заряженных ионов легирующей примеси. Влияние этого эффекта прослеживается и на зависимости подвижности носителей зарядов в структуре с двумя δ -слоями от расстояния между ними (рис. 5): при снижении расстояния между слоями от 60 нм и ниже падает подвижность носителей заряда.

С использованием полученных закономерностей формирования δ -слоев различных типов проводимости был получен и исследован ряд структур, содержащих δ -слои.

Так, проведены сравнительные измерения распределения интегральной проводимости по площади структур с δ -слоями и объемно-легированных слоев арсенида галлия. Использовалась для этого спектрометрическая установка на лампах обратной волны (МАСС-3). Среднеквадратичное отклонение проводимости для структур с δ -слоем на площади размером $2 \times 3 \text{ см}^2$ составило менее 1%, на структурах с обычным эпитаксиальным

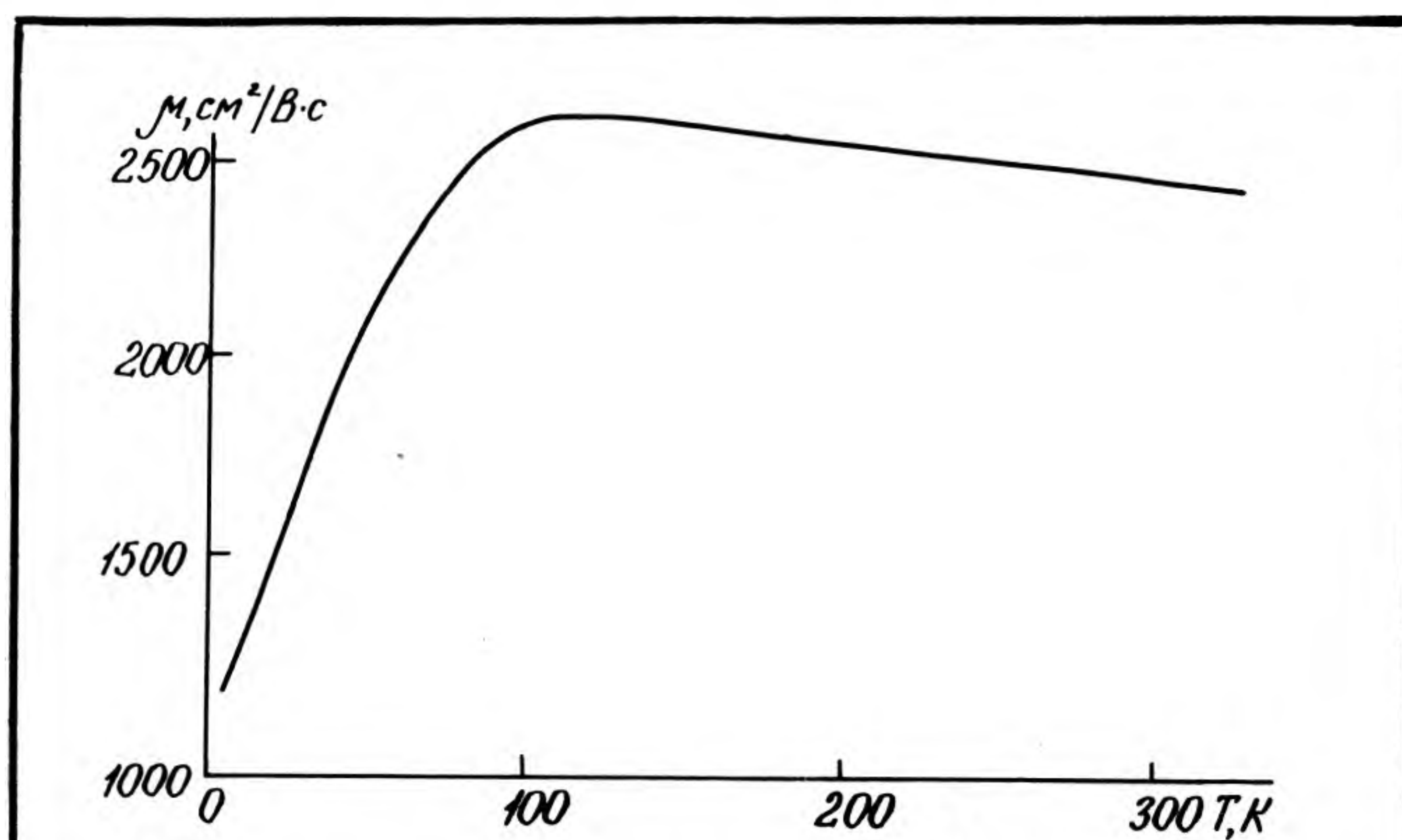


Рис. 4. Подвижность носителей заряда в δ -слоях, легированных германием при различных значениях температуры

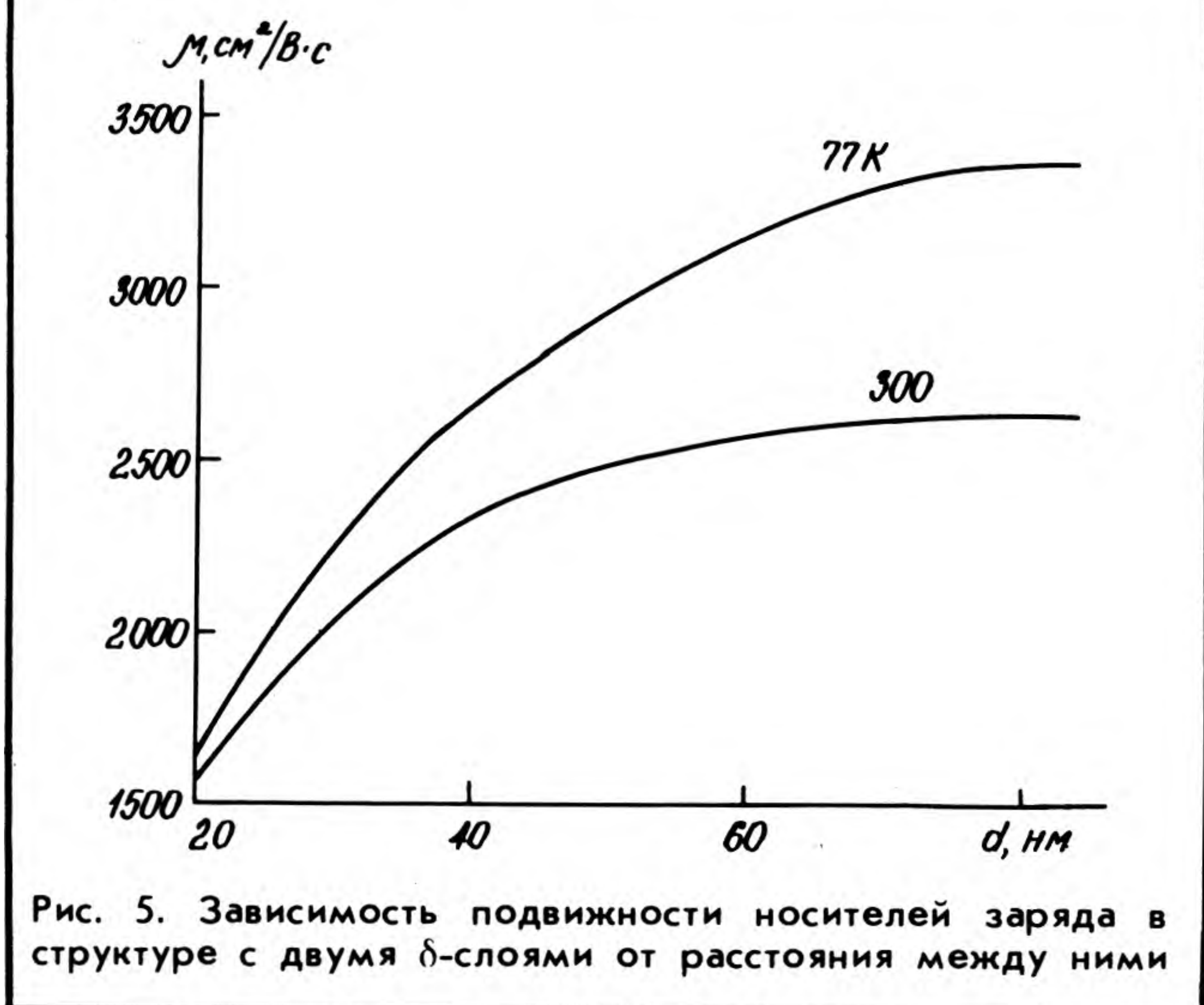


Рис. 5. Зависимость подвижности носителей заряда в структуре с двумя δ -слоями от расстояния между ними

слоем $\sim 10\%$. Это говорит о принципиально ином характере образования неоднородности характеристик δ -слоев и может иметь важное значение для решения проблемы повышения однородности свойств получаемых материалов.

Полевые транзисторы с барьером Шотки (ПТШ), изготовленные на структурах $\delta n^+ - n^- - \delta n - n_{\delta}^- - i$, в сравнении с полученными на объемно-легированных слоях (структуры типа $n^+ - n - n_{\delta}^- - i$) имели улучшенные характеристики (средние величины крутизны и токов насыщения возросли в 1,5 раза).

Однако, предсказанные в [12] предельные значения для собственной крутизны и тока насыщения ПТШ на δ -структурах (с учетом ограничений из-за паразитного сопротивления стока) достичь не удалось, что, как следует из профильных измерений подвижности в канале ПТШ, вызвано рассеивающим электроны фактором, связанным, по-видимому, с нестехиометрией поверхности ЭС под электродом затвора, возникший при удалении под затвором контактного δn^+ -слоя.

Были исследованы оптические свойства δ -легированных сверхрешеток $n-i-p-i$ -типа с периодом 5–10 нм и числом периодов 10. В таких структурах поверхностная концентрация носителей в δ_n^- и δ_p^- -слоях была приблизительно одинаковой и составляла $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Измерения спектральной зависимости фототока в таких структурах показали значительный сдвиг края поглощения от 0,85 мкм для чистого GaAs до 2,5 мкм у δ -легированных сверхрешеток с периодом 8–10 нм.

Таким образом, в работе исследованы особенности получения δ -легированных слоев GaAs n - и p -типа проводимости в технологии МОС-гидридной эпитаксии с использованием таких легирующих элементов, как Si, Ge, Sn, Cd, C. Установлен различный характер образования поверхностного монослоя атомов легирующей примеси в зависимости от ее природы. Показано, что максимальная плотность поверхностного заряда ($\sim 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) достигнута при легировании оловом.

Полевые транзисторы Шотки, изготовленные на структурах арсенида галлия с δ -слоем, служащим каналом проводимости, показали улучшение характеристик (крутизны, токов насыщения) по сравнению с объемным эпитаксиальным слоем.

Периодические структуры (сверхрешетки) на основе δ_p^+ и δ_n^+ -слоев имели значительный сдвиг края поглощения в длинноволновую область до 2,25 мкм.

Таким образом, использование технологии δ -легирования GaAs открывает новые перспективы как в области СВЧ техники, так и оптоэлектроники, реализуя, как показывают проведенные исследования, далеко не исчерпанные возможности этого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. P l o o g K. Delta-(δ) doping in MBE-Grown GaAs: concept and device application.— J. of Crystal Growth, 1987, vol. 81, p. 304—313.
2. AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistor with a planar-doped two-dimensional hole gas base grown by MBE/S.R.Hayes, R.Bhat, E.Colas, R.Esaqui.— Ext. Abstr. 20th Int. Conf. Solid State Devices and Mater., Tokyo, Aug. 24—26, 1988.
3. GaAs planar doped barriers by molecular beam epitaxy/R.J.Malik, K.Beard, I.F.Eastman et al.— Int. Electron Devices Meet., IEEE, 1980, p. 456—459.
4. Si atomic planar-doping in GaAs made by molecular beam epitaxy/Shigehiko Sasa, Shumichi Muto, Kakukiro Kondo, Hideaki Ishikawa and Hi Yamiru.— Jap. Journ. of Appl. Phys., pt. 2, 1985, vol. 24, N 8, p. L602—604.
5. М е д в е д е в Б.К., М о к е р о в В.Г., С е м е н о в Ю.В. Гетероструктуры на основе A^3B^5 для интеграль-

ных схем.— VII Всесоюзная конференция по росту кристаллов. Расширенные тезисы. Т. IV, М., 1988, с. 7—8.

6. Молекулярно-лучевая эпитаксия модулированных структур GaAs/В.П.Мигаль, Д.И.Лубышев, В.В.Преображенский и др.— Электронная промышленность, 1989, вып. 6, с. 6—8.

7. Ohnо H., Ikeda E., Hasegava H. Planar doping by interrupted MOVPE growth of GaAs.— Jap. Journ. of Appl. Phys., 1985, vol. 23, p. 369.

8. Se atomic planar doping to GaAs by MOCVD and its application to two-dimensional electronic devices/Vasufumi Fusiwara, Yoshito Fukumoto, Takeshi Kobayashi and Yoshizo Hamakawa.— Extended Abstracts of 19th Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1987, p. 159—162.

9. Carbon and zink delta doping for Schottky barrier enhancement on *n*-type GaAs/S.S.Pearson, F.Ren, C.R.Abernathy et al.— Apple Phys. Lett., 1989, vol. 55(13), p. 1342—1344.

10. Schuber t E.F., P lo o g K. Interpretation of capacitance voltage profiles from delta-doping GaAs grown by molecular beam epitaxy.— Jap. J. Appl. Phys. 1986, pt. 1, vol. 25, N 7, p. 966—970.

11. Experimental and theoretical mobility of electrons in doped GaAs/G.Gillman, B.Vinter, E.Barbier, A.Tardelles.— Applied Phys. Lett., 1988, vol. 52(12), p. 972—974.

12. Shuber t E.F., P lo o g K., F i s h e r A. The delta-doped field effect transistor.— IEEE Trans. Electron Dev., 1986, vol. 33, N 5, p. 625—632.

Статья поступила 8 января 1990 г.

УДК 537.311:621.78

ФОРМИРОВАНИЕ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ИОНОЛЕГИРОВАННЫМ СЛОЯМ GaAs

канд.техн.наук, ст.науч.сотр. В.В.Курин,
канд.техн.наук Л.Н.Кравченко,
канд.техн.наук В.Л.Оплеснин, А.А.Удалов,
канд.физ.-мат.наук, доц. А.Б.Камнев,
канд.техн.наук Б.А.Лапшинов

Применение импульсной термообработки обеспечивает значительное снижение величины контактного сопротивления металлизации на основе системы Au—Ge—Ni.

Омические контакты на основе системы Au—Ge—Ni к ионолегированным слоям арсенида галлия *n*-типа проводимости могут формироваться импульсной термообработкой (ИТО) и стационарной термообработкой (СТО).

Для ИТО контактной металлизации использовалась установка с некогерентным световым излучением от трех ксеноновых газоразрядных ламп ИНП 16/120. Длительность светового импульса задавалась параметрами разрядного контура и варьировалась в диапазоне $(0,3—10) \cdot 10^{-3}$ с при изменении плотности световой энергии в пределах $(4—30) \cdot 10^4$ Дж/м². При таких условиях процесса термообработки равномерность облучения была не хуже 96% на пластине диаметром 76 мм. Спектральные характеристики газоразрядных ламп ИНП 16/120 хорошо согласуются с поглощательной способностью материалов, использованных для создания контактной металлизации.

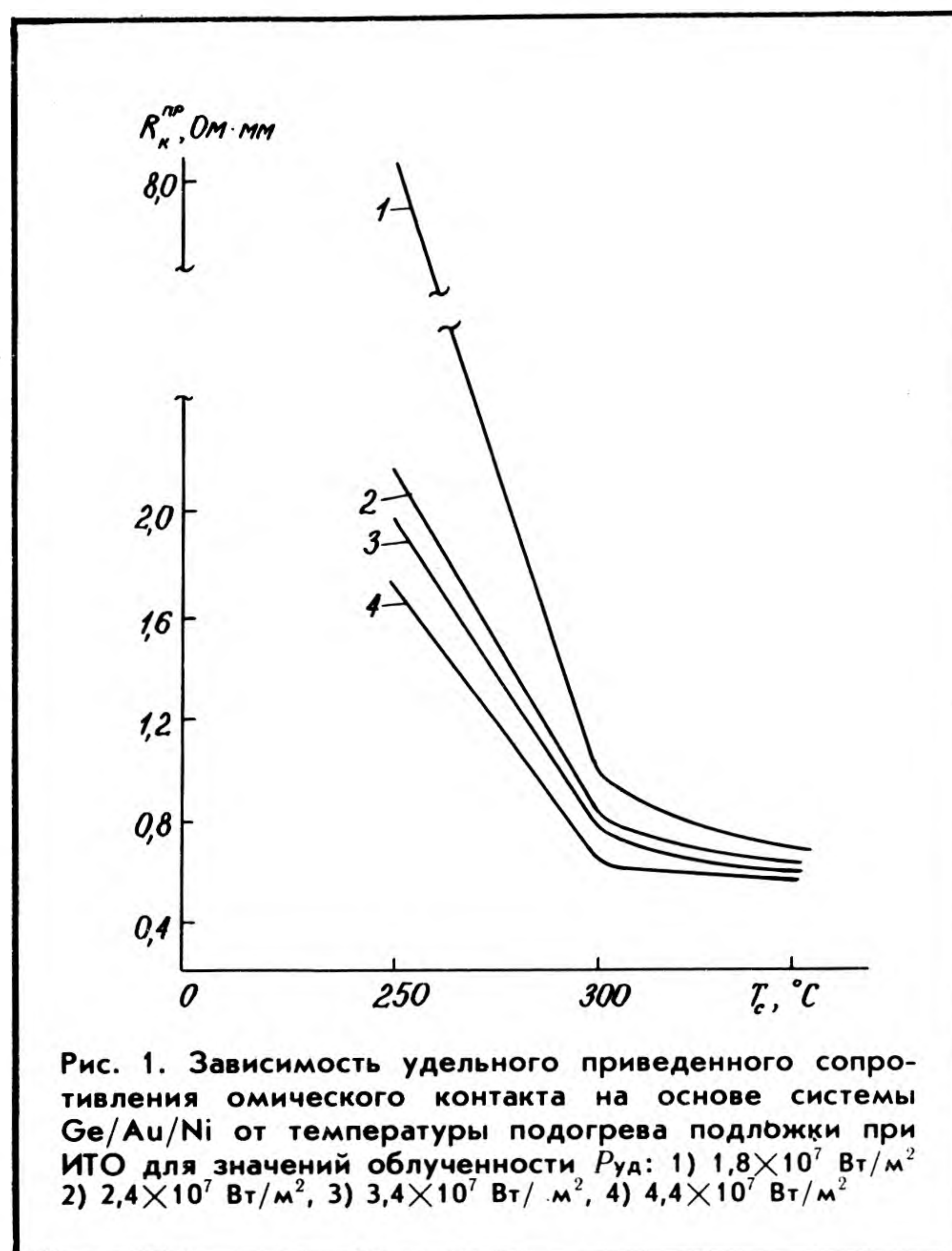
Пластины крепились на столике с подогревом до температуры 450°C. Металлизация для омических контактов формировалась на слоях GaAs, легированных ионами селена (концентрация носителей заряда в пике распределения $\sim 10^{18}$ см⁻³). Напыление металлизации проводилось методом вакуумно-тер-

мического испарения. Использовались две системы контактной металлизации: послойная система Ni/Au/Ge/GaAs с толщинами слоев 30, 100 и 100 нм соответственно и традиционная система Ni/Au—Ge/GaAs, содержащая эвтектический сплав Au—Ge, покрытый слоем никеля. После вжигания металлизации величина приведенного сопротивления контакта ($R_k^{пр}$) измерялась на специальных тестовых структурах.

Для определения оптимального режима вжигания контактов при ИТО исследовались зависимости величины $R_k^{пр}$ от технологических параметров процесса: температуры подогрева подложки T_c при различной степени облученности пластины $P_{уд}$. Предварительный подогрев подложки необходим для снижения температурных градиентов, а также для уменьшения величины облученности, необходимой для получения омического контакта с малым $R_k^{пр}$. При формировании омического контакта к GaAs с помощью ИТО без предварительного подогрева требовалась мощность облучения порядка $(25—30) \cdot 10^7$ Вт/м² [1]. Такая термообработка вызывает в подложке значительные температурные градиенты, приводящие в ряде случаев к ее разрушению. Предварительный подогрев позволяет почти на порядок снизить подводимую мощность и избежать нежелательных последствий, связанных с высокими значениями температурных градиентов при ИТО.

На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость удельного приведенного сопротивления омического контакта на основе системы Ni/Au/Ge/GaAs от температуры предварительного подогрева подложки T_c для различных значений облученности $P_{уд}$. Контакты с минимальным удельным сопротивлением и хорошей морфологией поверхности (рис. 2) формируются при $T_c > 300^\circ\text{C}$.

На рис. 3 представлена зависимость $R_k^{пр}$ омического контакта от величины облученности при фиксированной температуре подогрева подложки. Опти-



мальная величина облученности, выше которой сопротивление контакта возрастает и одновременно ухудшается морфология поверхности омического контакта (рис. 4), составляет $\sim 4 \text{ Вт/м}^2$. Аналогичные результаты были получены в работе [2]. На рис. 5 приведены РЭМ-фотографии поверхности GaAs под контактами, которые были удалены химическим травлением. Контакты, полученные при импульсной термообработке (рис. 5, а), по сравнению со стандартной (рис. 5, б), имеют более мелкозернистую структуру.

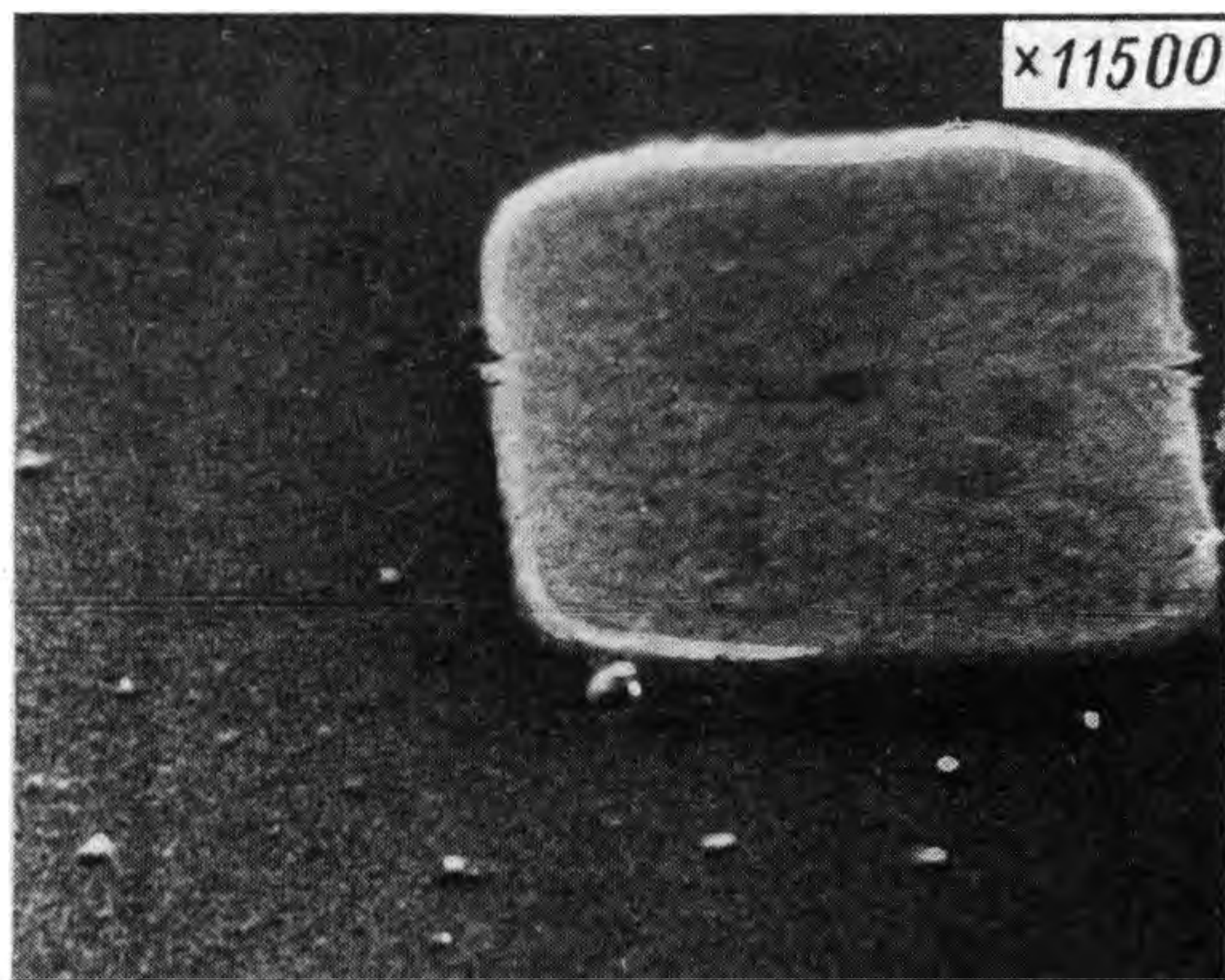


Рис. 2. Морфология поверхности омического контакта при $T_c > 300^\circ\text{C}$ ($11500\times$)

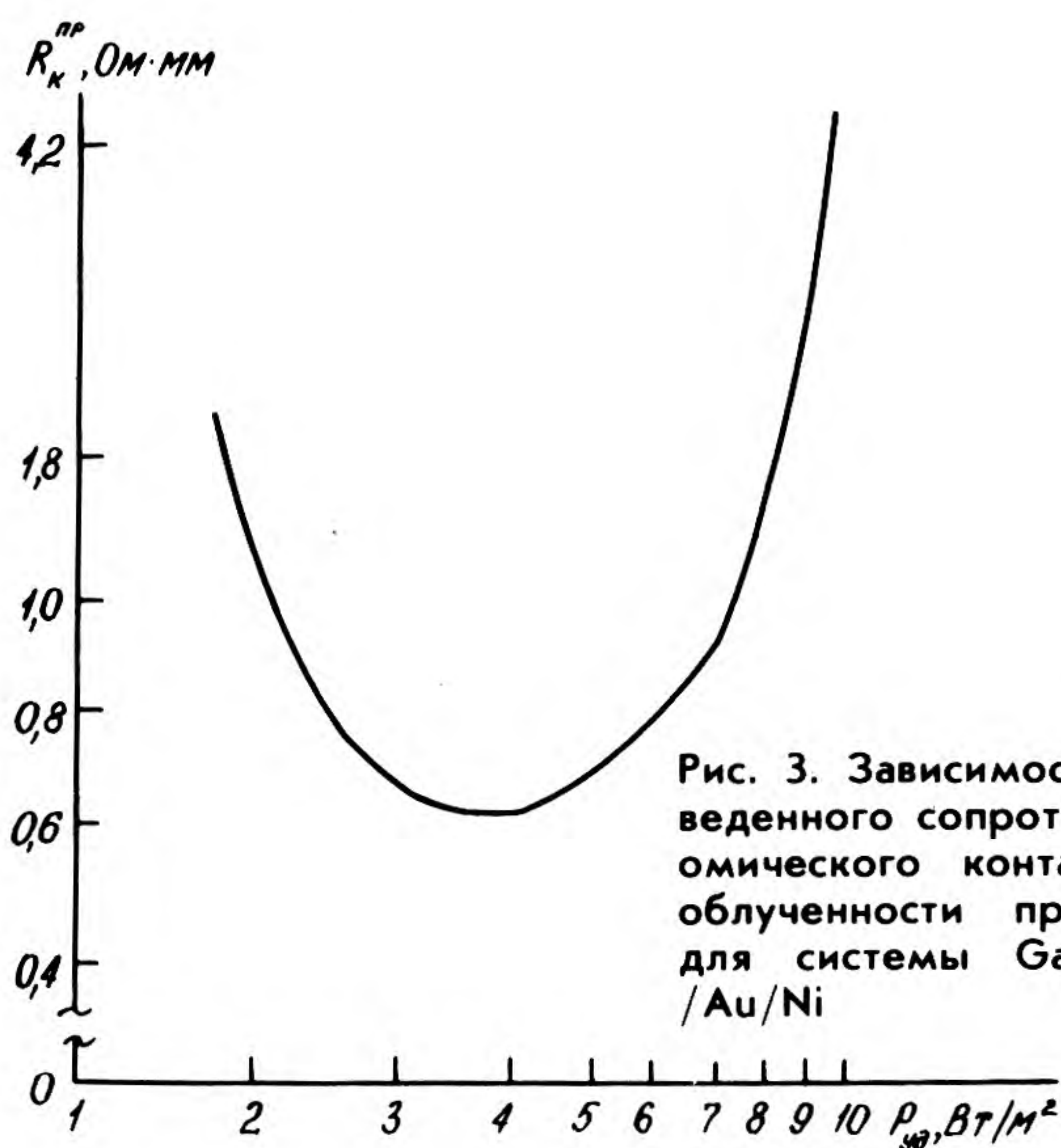


Рис. 3. Зависимость приведенного сопротивления омического контакта от облученности при ИТО для системы GaAs/Ge/Au/Ni

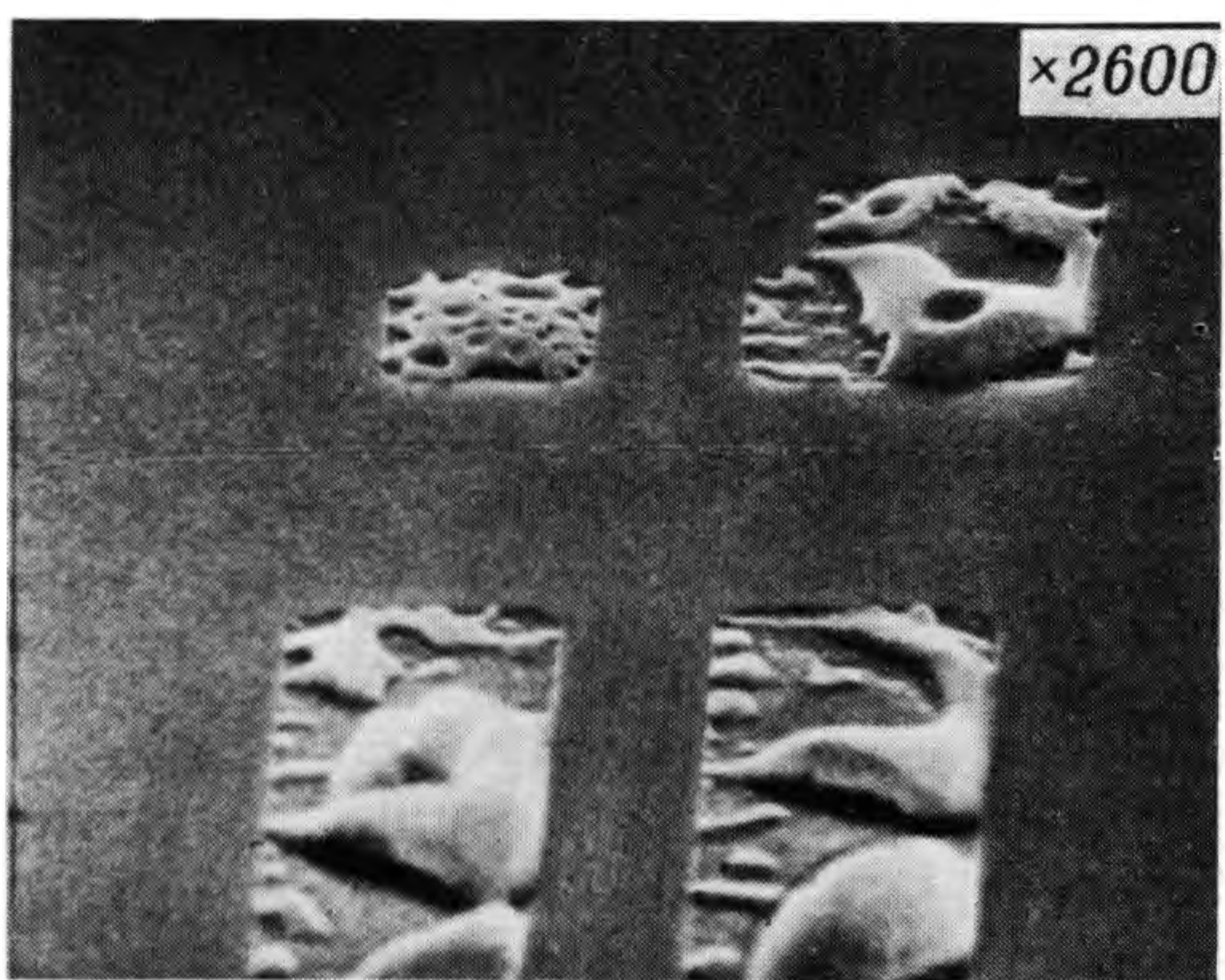


Рис. 4. Морфология поверхности омического контакта при облучении $\sim P_{уд} = 10 \text{ Вт/м}^2$

Это связано с тем, что ИТО характеризуется чрезвычайно высокой скоростью нагрева структур ($\sim 10^5 \text{ град/С}$), на несколько порядков большей, чем СТО. При такой высокой скорости нагрева образующиеся центры плавления не успевают увеличиваться до значительных размеров, а плавление контактной металлизации происходит практически одновременно по всей поверхности. Этим, по-видимому, также

объясняется более низкое значение R_k^{np} омического контакта при импульсной термообработке и более

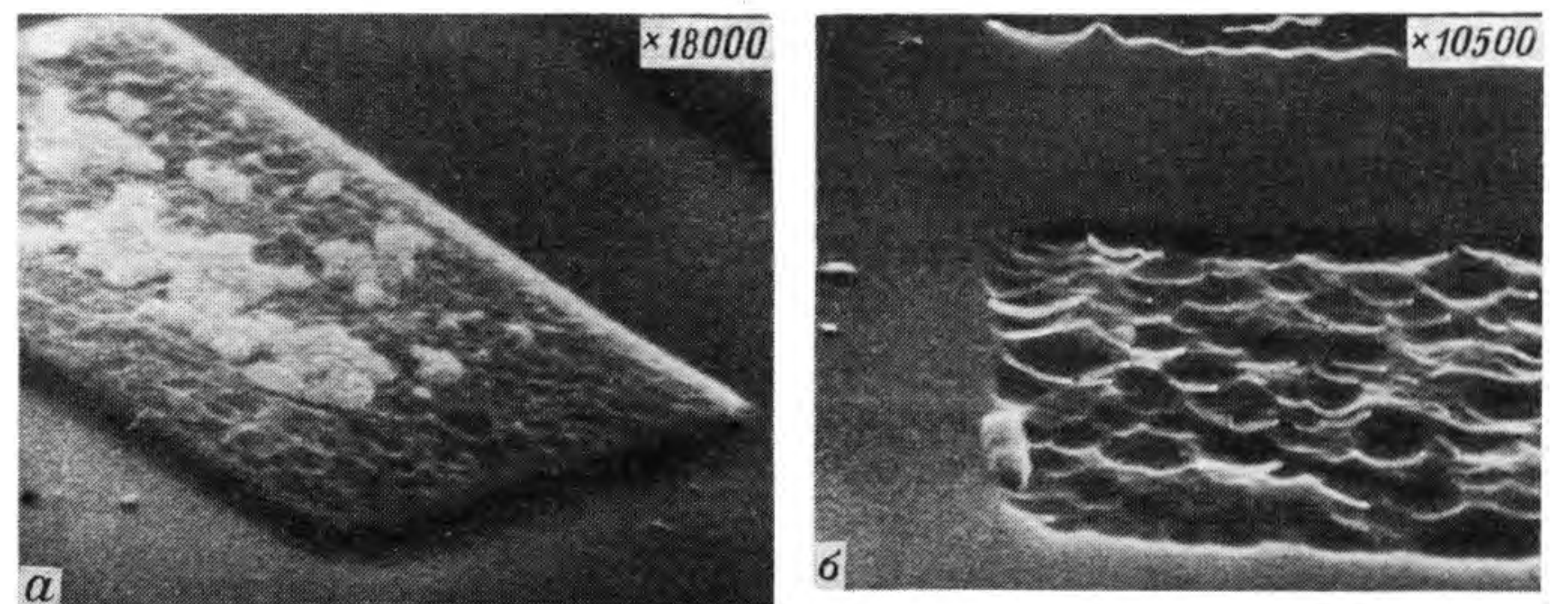


Рис. 5. РЭМ-фотографии поверхности контактной области после термообработок и удаления контактов химическим травлением

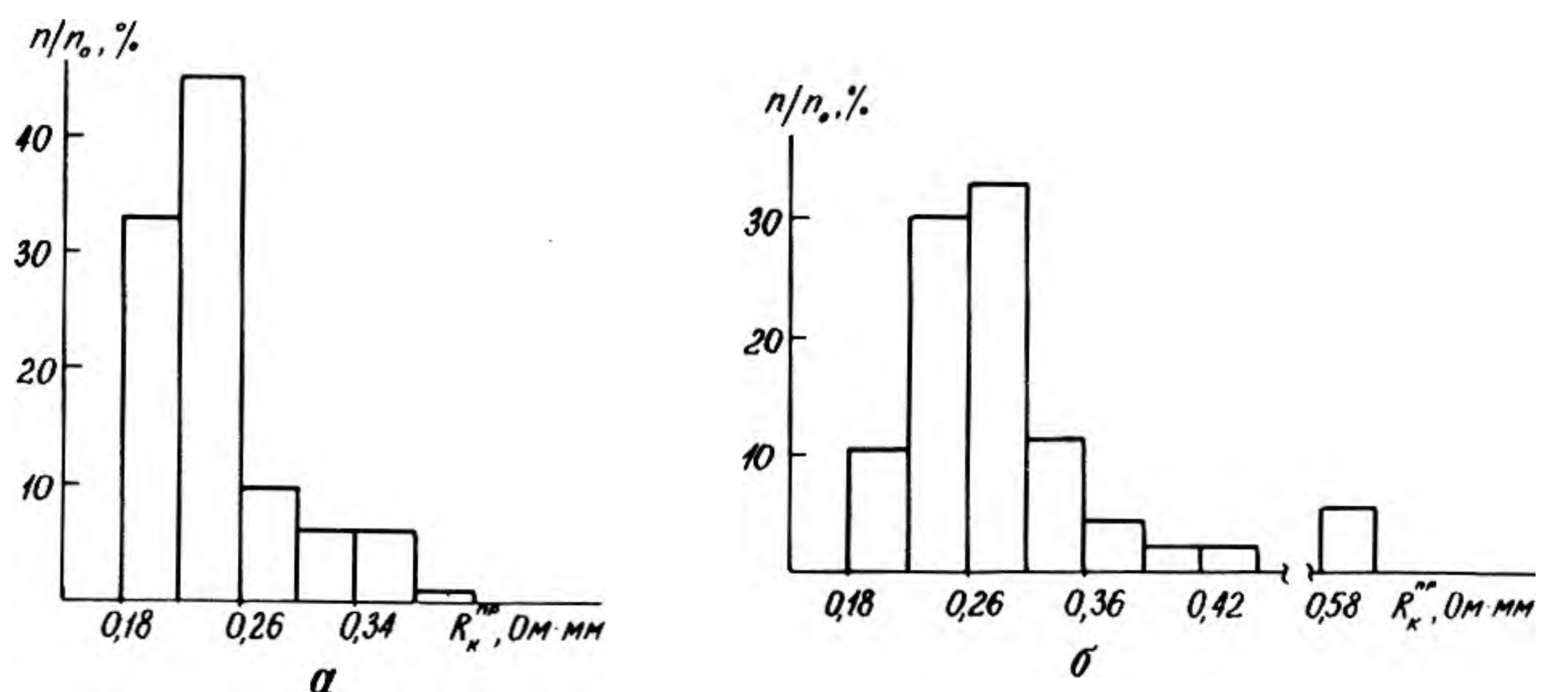


Рис. 6. Гистограммы распределения величины R_k^{np} по пластине для ОК на основе системы Ge/Au/Ni (а — ИТО, б — СТО)

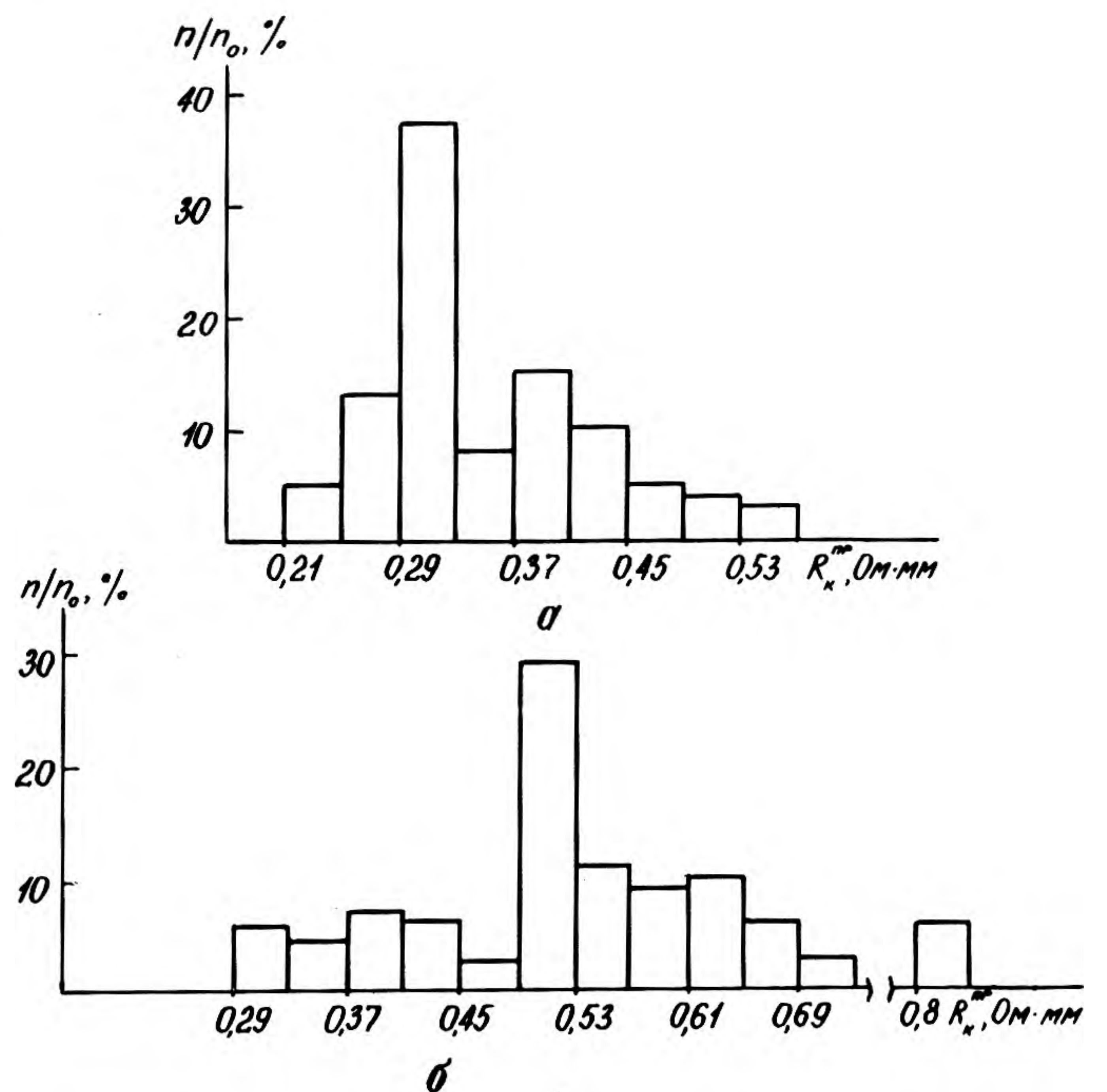


Рис. 7. Гистограммы распределения величины R_k^{np} по пластине для ОК на основе системы Au-Ge/Ni (а — ИТО, б — СТО)

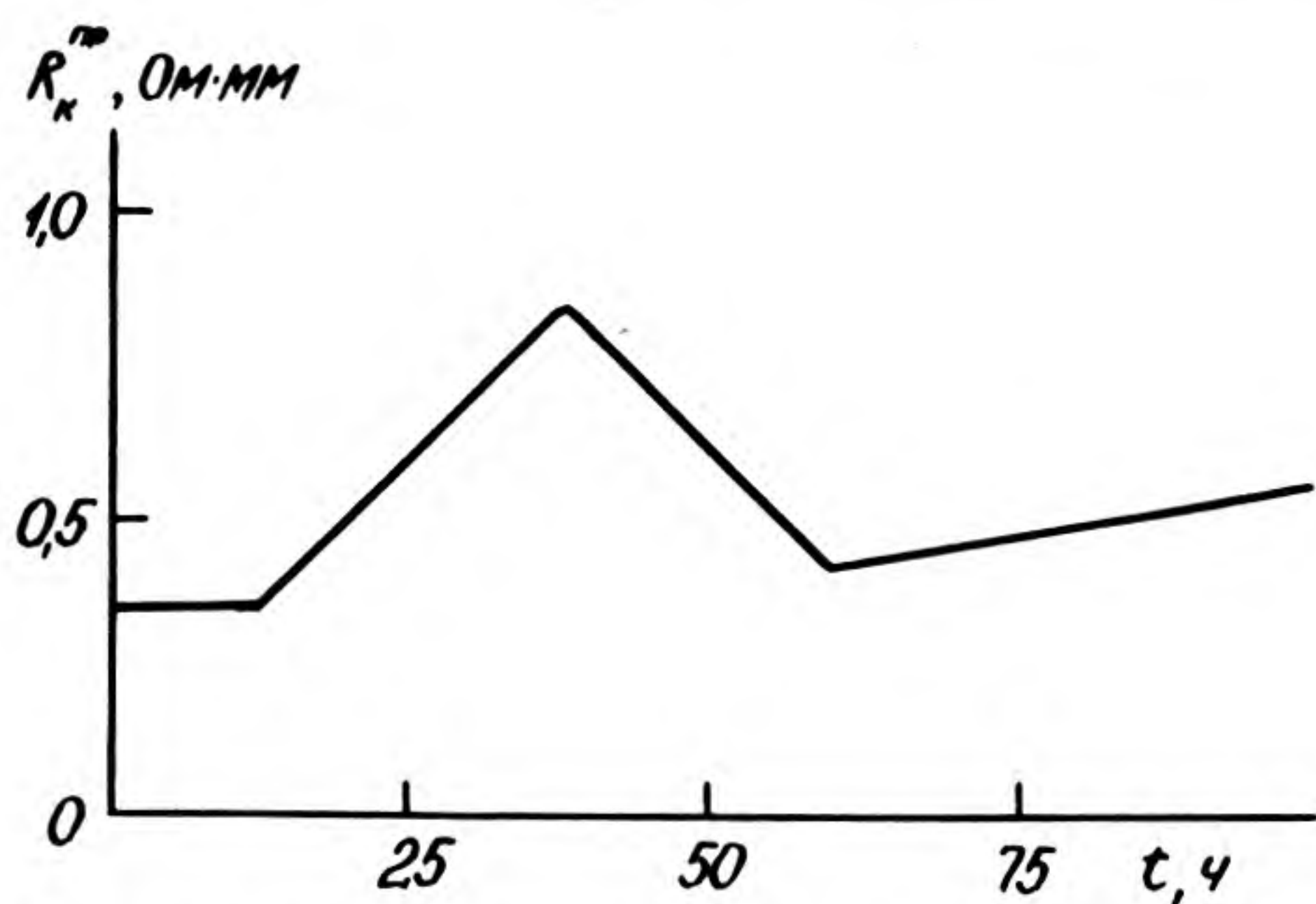


Рис. 8. Зависимость приведенного сопротивления омического контакта от времени выдержки при $T=400^{\circ}\text{C}$ в атмосфере Ag для системы GaAs/Ge/Au/Ni

высокая однородность величины R_k^{np} по площади пластины (рис. 6, 7).

Из сравнения гистограмм распределения величин сопротивления контакта можно сделать вывод, что импульсная термообработка позволяет снизить абсолютную величину R_k^{np} примерно на 20% по сравнению с R_k^{np} , полученным стандартной термообработкой, а также примерно в 2 раза уменьшить разброс R_k^{np} по площади пластины. Так, для ИТО в интервале значений 0,18—0,26 Ом·мм находятся ~80% всех значений R_k^{np} , в то время как для СТО — только 40% (см. рис. 6). Кроме того, из сравнения гисто-

грамм для систем Ni/Au—Ge/GaAs и Ni/Au/Ge/GaAs, у которых контакты были получены с помощью ИТО, следует, что послойная система имеет примерно на 30% меньшее удельное сопротивление и лучшую воспроизводимость.

Применение послойной металлизации может дать значительно более существенный выигрыш (примерно на порядок величины) благодаря оптимизации состава контактной металлизации и прецизионному контролю толщины напыляемых слоев.

На рис. 8 представлены результаты испытаний на термостабильность ОК, полученных ИТО, при температуре 400°C в течение 100 ч. Из приведенной зависимости видно, что существенного изменения вели-

чины R_k^{np} в процессе выдержки при высокой температуре не происходит, т.е. полученные омические контакты достаточно термостабильны.

Таким образом, применение импульсной термообработки некогерентным светом при формировании омических контактов на основе системы Au—Ge—Ni позволяет существенно снизить величину контактного сопротивления и его разброс по площади пластины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж е р е б ц о в А.С., К а ш н е в А.Б., Л а п ш и н о в Б.А. Вжигание контактов из золота на арсениде галлия с помощью импульсных ламп накачки.— Тезисы доклада Всесоюзной конференции. АПЧ-81.— М.: МИЭТ, 1981, с. 91.
2. H e r n i m a n J., A l l a n P.A., O'S u l l i v a n P.J. Optical annealing of ohmic contacts for GaAs high-speed integrated circuits using a zirconium diboride barrier layer.— IEE Proceedings, June, 1988, vol. 135, N 3, p. 1.

Статья поступила 13 ноября 1989 г.

УДК 537.311:621.78

СВОЙСТВА ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К АРСЕНИДУ ГАЛЛИЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ Au—Ge—Ni

канд.техн.наук, ст.науч.сотр. В.В.Курин,
канд.техн.наук Л.Н.Кравченко, А.А.Удалов,
канд.техн.наук В.Л.Оплеснин, А.С.Игнатъев,
А.Г.Петрова

Для уменьшения омического сопротивления контактной системы Au—Ge к GaAs при изготовлении ИС предлагается использовать дополнительный слой никеля толщиной 35—40 нм.

Проблема формирования омических контактов с низким удельным сопротивлением и высокой термостабильностью к областям GaAs n -типа проводимости остается одной из актуальных в технологии изготовления ИС на основе арсенида галлия [1—8]. В настоящее время наибольшее распространение получили омические контакты на основе системы Au—Ge—Ni [1—3, 7, 8]. Наиболее часто употребляются два конструктивно-технологических варианта этой системы: со слоем Au—Ge эвтектического состава (88% Au и 12% Ge) и с играющим важную роль в процессах формирования омического контакта слоем никеля, который может быть расположен как поверх слоя Au—Ge (система Au—Ge/Ni), так и под ним (система Ni/Au—Ge). Имеющихся в литературе данных недостаточно, чтобы отдать предпочтение одной из этих двух систем металлизации. Целью проведенной ра-

боты было исследование влияния толщины подслоя Ni в системе Ni/Au—Ge и порядка чередования слоев контактной металлизации на параметры омических контактов на основе системы Au—Ge—Ni.

Омические контакты на основе системы Au—Ge—Ni формировались к эпитаксиальным структурам GaAs диаметром 60 мм типа САГИС-6Н и САГИС 0,21ТК с концентрацией носителей заряда $(1,5—2,0) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и 10^{18} см^{-3} соответственно и ориентацией поверхности по плоскости (100).

Формирование рисунка контакта на пластине проводилось методом взрывной фотолитографии. Непосредственно перед напылением контактной металлизации поверхность GaAs обрабатывалась в водном растворе аммиака и перекиси водорода ($\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:80$) в течение 10 с. После химической обработки методом электронной оже-спектроскопии (ЭОС) осуществлялся выборочный контроль чистоты поверхности.

Напыление контактной металлизации проводилось на установке УВН-72Р методом термического испарения, давление остаточных газов при напылении не превышало 10^{-4} Па. Толщины напыленных слоев задавались массой навесок и выдерживались с точностью $\approx 20\%$.

Сплав Au—Ge напыляли одновременным испарением навесок Au и Ge из одной лодочки, толщину пленок сплава варьировали в диапазоне 0,06—

0,17 мкм. Общая толщина пленки измерялась на интерференционном микроскопе МИИ-4. Процесс напыления многослойной металлизации проводился в одном вакуумном цикле без вскрытия камеры.

Вплавление контактов проводилось в графитовом реакторе модернизированной установки «Оксин-3» в потоке азота при $T=475\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 1 мин 45 с. Для исследования термостабильности омических контактов образцы подвергались термообработке в атмосфере азота при 400°C .

Учитывая важную роль никеля в процессе формирования омических контактов на основе системы Ni/Au—Ge, была проведена оптимизация толщины подслоя никеля. На рис. 1 показана зависимость приведенного сопротивления омических контактов ($R_k^{\text{пр}}$) на основе системы Ni/Au—Ge от толщины слоя никеля для разного времени термообработки в азоте при 400°C . Эта зависимость имеет минимум $R_k^{\text{пр}}$ при толщине никеля 35—40 нм. Такой характер зависимости, сохраняющийся и при длительном (до 12 ч) отжиге, можно качественно объяснить тем, что при снижении количества никеля относительно оптимальной величины эффективная площадь контакта из-за недостаточного смачивания поверхности GaAs компонентами сплава уменьшается, так как контакт является неоднородным и существует лишь в отдельных точках (рис. 2). Возрастание же $R_k^{\text{пр}}$ при увеличении количества никеля сверх оптимального значения может быть связано как с компенсацией донорной примеси, так и с разложением GaAs из-за образования соединений типа NiAs, Ni₂As и т.д. В то же время увеличение количества никеля стимулирует диффузию Ge в GaAs, способствуя снижению контактного сопротивления.

Поскольку в результате $R_k^{\text{пр}}$ возрастает, то влияние первых двух факторов оказывается преобладающим.

Анализ гистограмм распределения $R_k^{\text{пр}}$ по площади пластин для систем с различным расположением слоя никеля, сформированных на структурах САГИС 6Н и САГИС-021ТК, показал, что для структур без контактного n^+ -слоя параметры распределения приведенного сопротивления по площади пластины — среднее значение, медиана, среднеквадратичное отклонение — практически одинаковы для обеих систем металлизации. Омические контакты к структурам САГИС-0,21ТК с контактным n^+ -слоем на основе системы Au—Ge/Ni характеризуются существенно меньшей величиной $R_k^{\text{пр}}$ (более чем в два раза) и меньшим (почти в четыре раза) разбросом значений $R_k^{\text{пр}}$ по площади пластины по сравнению с контактами на основе системы Ni/Au—Ge. Такое различие в величине контактного сопротивления может быть обусловлено частичным разрушением тонкого исходного n^+ -слоя ($\sim 0,12$ мкм) никелем в системе Ni/Au—Ge.

Характер изменения величины контактного сопротивления омических контактов до и после термообработки можно объяснить процессами взаимодиффузии элементов металлизации. Как следует из данных ЭОС, относительно резко разграниченные слои исходной структуры практически полностью перемешиваются в процессе вплавления. Глубина проплавления (по пределу обнаружения около 1%) составляет более 80 нм, причем все элементы металлизации проникают в GaAs практически на одну и ту же глубину, а Ga и As равномерно распределены по толщине металлизации за исключением поверхности, где Ga накапливается, а As, по-видимому, испаряется. Следует отметить четко выраженное подобие концентрационных профилей Ni и Ge для структур

GaAs/Ni/AuGe и GaAs/Au—Ge/Ni практически при любых режимах вплавления металлизации и термообработки омических контактов. Это объясняется, по-видимому, хорошей взаимной растворимостью Ge и Ni. После термообработки в азоте при $T=400^\circ\text{C}$ в течение 12 ч происходит дальнейшее перемешивание компонентов в металле контакта, хотя и не очень значительное, а в GaAs глубоко проникают Ge и Ni (более чем на 0,2 мкм). При этом относительная концентрация Ge и Ni в GaAs понижается, что может

вызывать увеличение $R_k^{\text{пр}}$. Этому же может способствовать и более глубокое проникновение Au в GaAs.

Увеличение толщины слоя никеля с 30 (рис. 3, а) до 100 нм (рис. 3, б) качественно изменяет характер распределения элементов в контакте, особенно после длительной термообработки. Распределение Ge и Ni в переходе Me—GaAs остается равномерным, а распределение Au, Ga, As становятся более резкими, т.е. толстый слой никеля представляет собой диффузионный барьер от взаимодиффузии этих элементов, обеспечивая таким образом лучшую термостабильность омического контакта. В области металлической пленки концентрация Ga и As после длительной термообработки примерно в 3—4 раза меньше (рис. 3, б) по

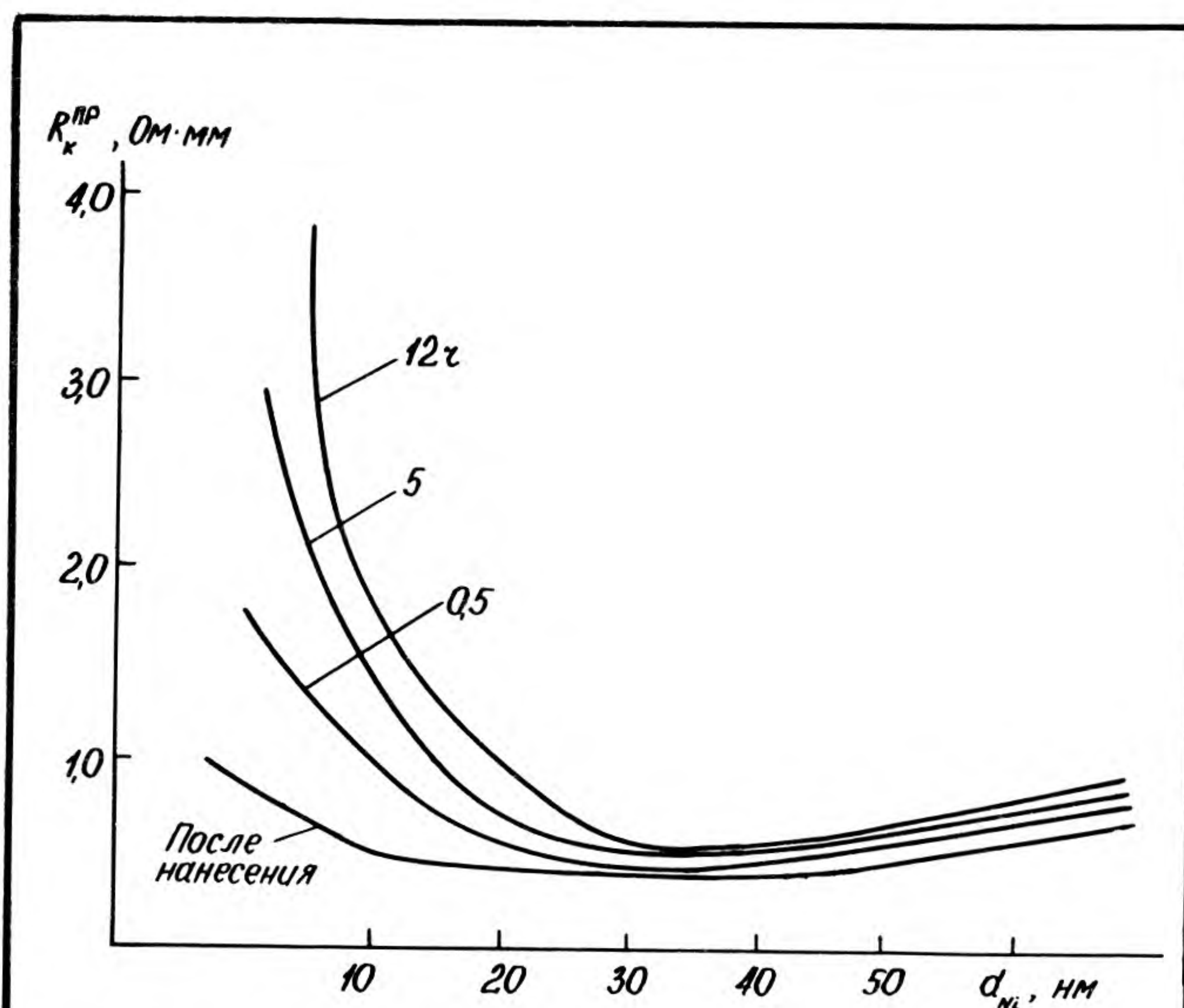


Рис. 1. Зависимость приведенного сопротивления $R_k^{\text{пр}}$ омического контакта на основе Ni/Au—Ge от толщины слоя никеля d_{Ni} при различных временах термообработки в атмосфере азота при $T=400^\circ\text{C}$

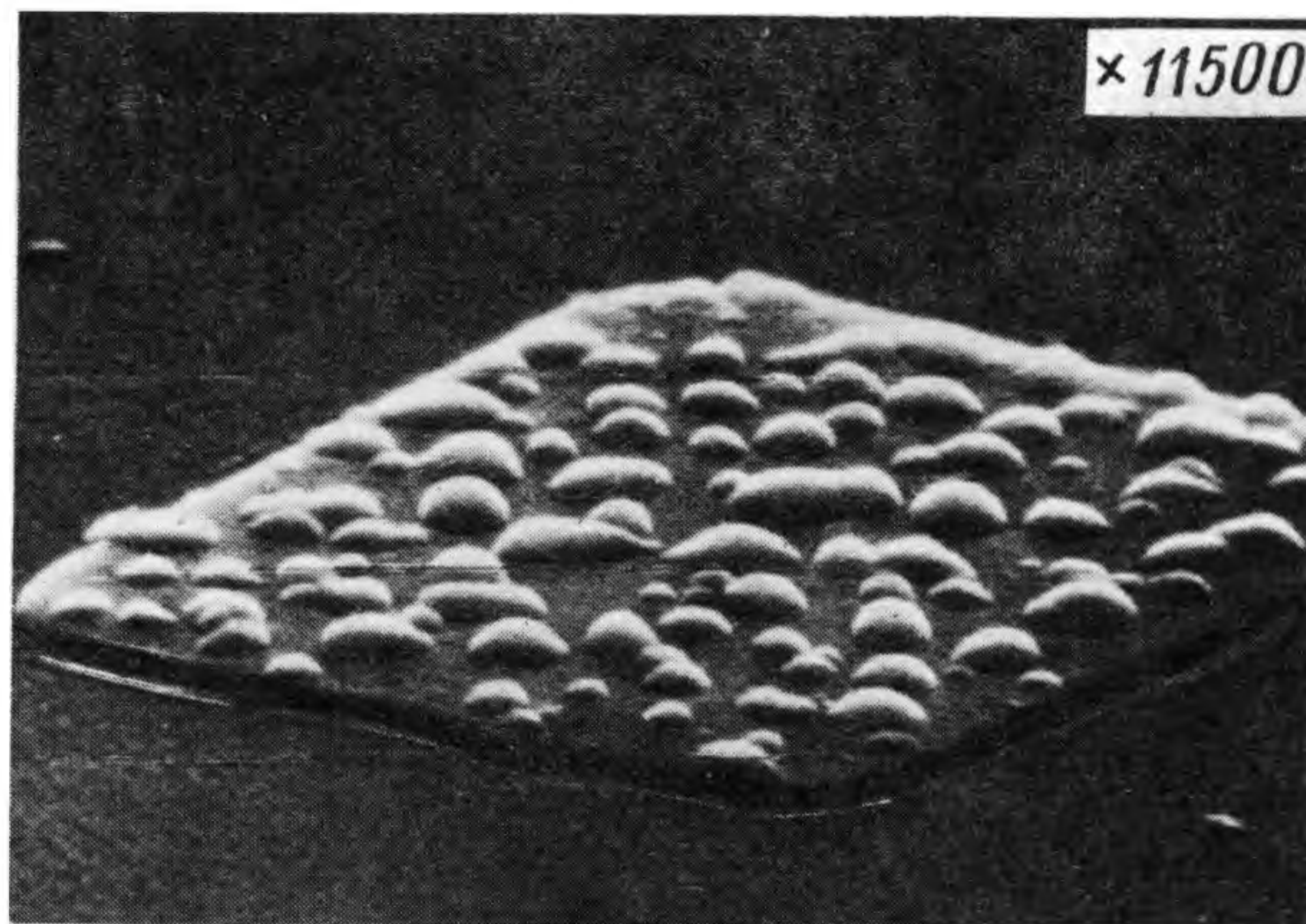


Рис. 2. Микрофотография омического контакта после вплавления, полученная на растровом электронном микроскопе «Stereoscan S-4». Толщина слоя никеля 15 нм

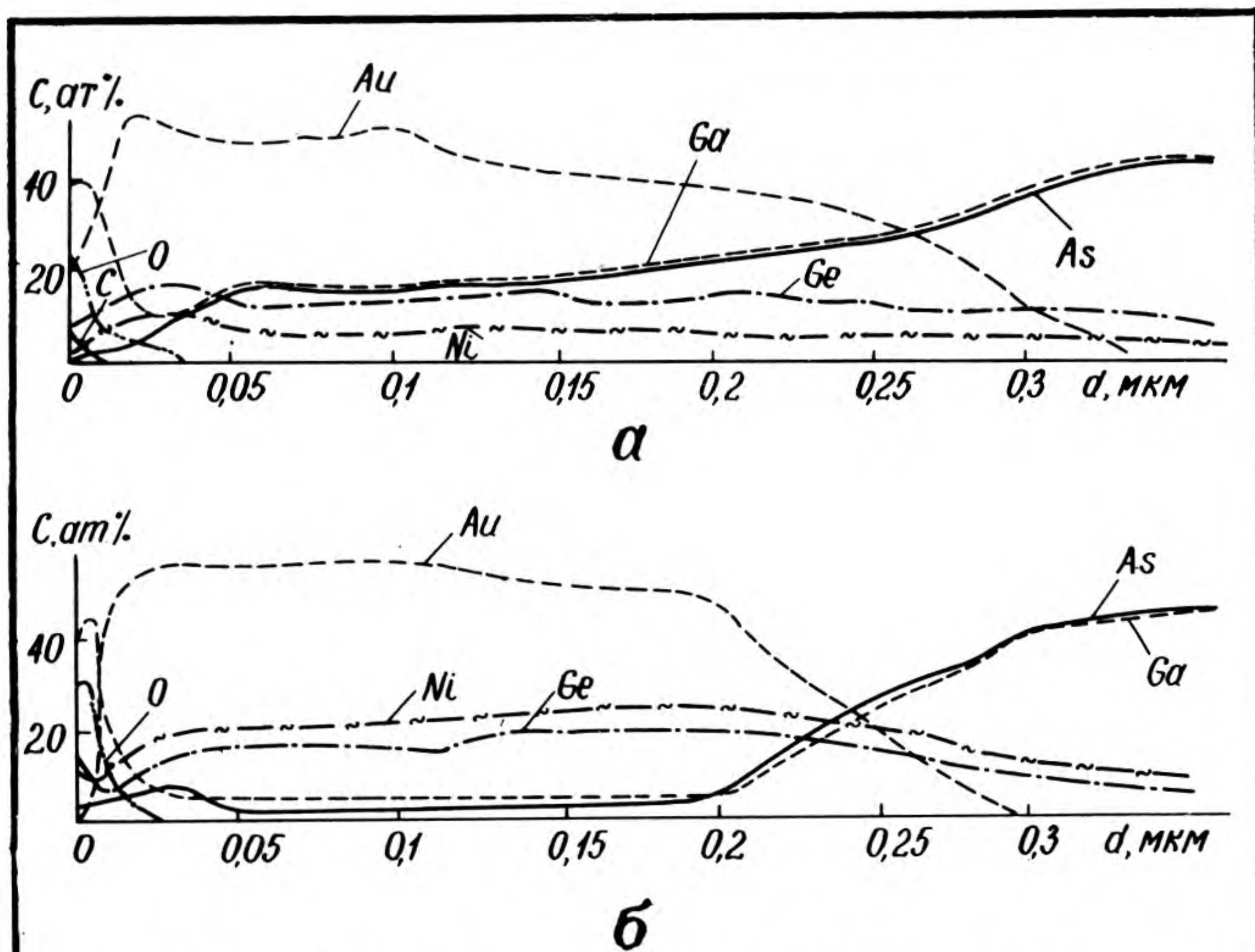


Рис. 3. Концентрационные профили распределения элементов по глубине структуры GaAs/Ni/Au—Ge после впавления контактов и их термообработки в азоте ($T=400^\circ\text{C}$, $t=12$ ч): $d_{\text{Ni}}=20$ нм (а), 100 нм (б). Толщина слоя Au—Ge 170 нм

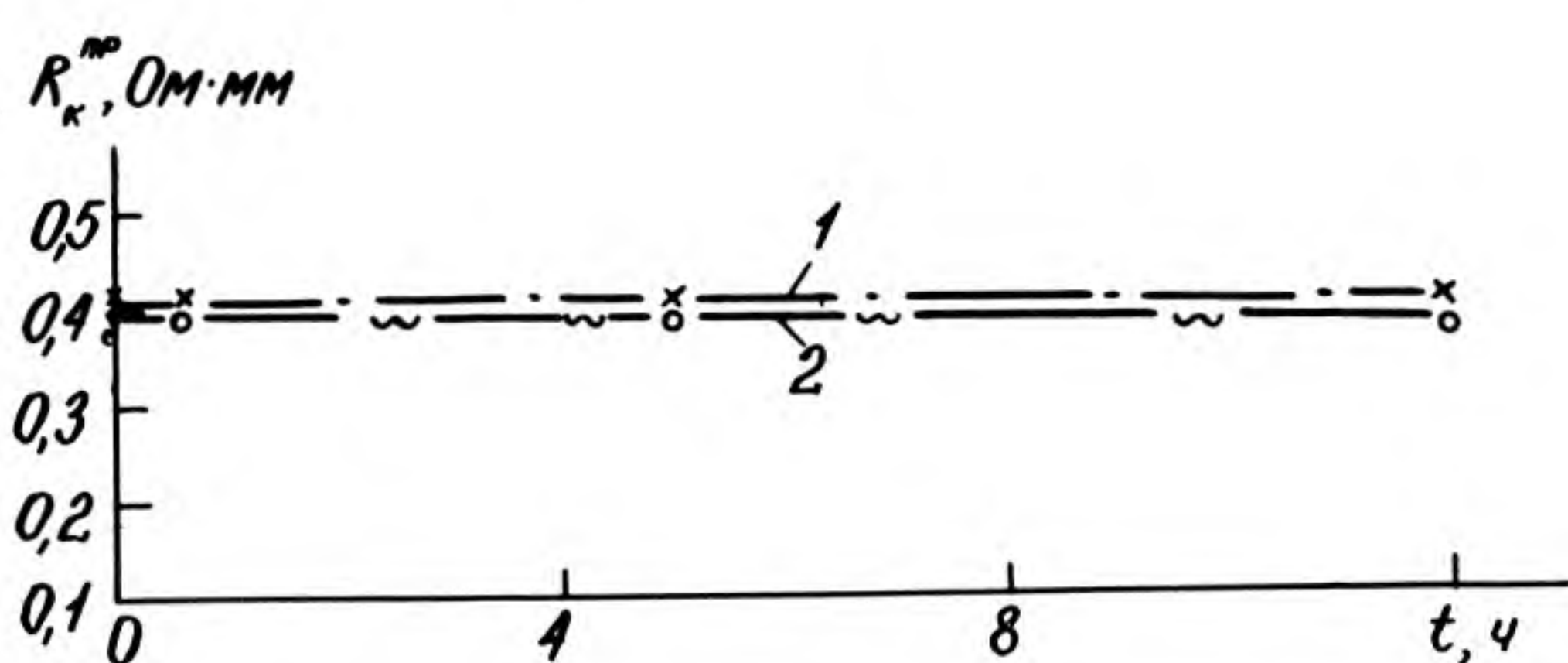


Рис. 4. Зависимость величины R_k^{np} омического контакта от времени термообработки в азоте при $T=400^\circ\text{C}$: кривая 1 — система Au—Ge/Ni, кривая 2 — система Ni/Au—Ge. Толщина слоя никеля 45 нм

слоя никеля относительно сплава Au—Ge в структурах GaAs/Au—Ge/Ni и GaAs/Ni/Au—Ge существенно не различается. Этот факт, вероятно, и определяет равноценность названных двух систем с точки зрения обеспечения термостабильности омического контакта (рис. 4).

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных показывает, что изменение порядка чередования слоев никеля и сплава Au—Ge не приводит к существенным изменениям величины R_k^{np} для эпитаксиальных структур без контактного n^+ -слоя и величины термостабильности омических контактов. Для эпитаксиальных структур с контактным n^+ -слоем использование системы Au—Ge/Ni дает существенные преимущества.

Значительное улучшение электрических параметров и морфологии омических контактов на основе системы Au—Ge—Ni может быть достигнуто при использовании термической термообработки импульсами некогерентного света [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. S u k n d e v S.G i l l, D a w s e y J.R., Rapid iK Jump alloying of nickel-based ohmic contacts on n -GaAs.— Thin Solid Films, 1988, vol. 167, p. 161—167.
2. R o b i n s o n G.Y. Metallurgical and electrical properties of alloyed Ni/Au—Ge films on n -type GaAs.— Solid-State Electron, 1975, vol. 18, N 4, p. 331—342.
3. O g a w a M. Alloying behavior of Ni/Au—Ge films on GaAs.— J. Appl. Phys., 1980, vol. 51, N 1, p. 406—412.
4. Ohmic superconducting, shallow AuGe/Nb contacts to GaAs/A.Kastalsky, S.Schwarz, D.M.Hwang et al.— J. Appl. Phys., 1986, vol. 60, N 1.
5. B e r g e r H.H. Contact resistance and contact resistivity.— J. Electrochem. Soc., 1972, vol. 119, N 4, p. 507—514.
6. B r a s l a u N. Alloyed ohmic contacts to GaAs.— J. Vac. Sci. Technol., 1981, vol. 19, N 3, p. 803—807.
7. H e i b l u m M., N a t h a n M.J., C h a n g C.A. Characteristics of AuGeNi ohmic contacts to GaAs.— Solid-State Electron., 1982, vol. 25, N 3, p. 185—195.
8. C o h e n D.D. Backscattering analysis of AuGe—Ni ohmic contacts of n -GaAs.— J. Appl. Phys., 1986, vol. 60, N 1.
9. Формирование омических контактов к ионнолегированным слоям GaAs/В.В.Курин, Л.Н.Кравченко, В.Л.Оплеснин и др.— См.наст.вып., с. 30.

Статья поступила 13 ноября 1989 г.

сравнению со структурой с более тонким слоем никеля (см. рис. 3, а).

Следует также отметить, что характер распределения элементов после длительной термообработки омических контактов с различным расположением

УДК 539.216.2:546.681.191.1

ВЫРАЩИВАНИЕ СТРУКТУР АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА

канд.техн.наук, ст.науч.сотр. Г.Ф.Лымарь,
науч.сотр. А.А.Захаров, А.Е.Шубин

Совершенные тонкослойные структуры GaAs для полевых транзисторов Шотки коротковолнового диапазона были получены химическим осаждением из металлоорганических соединений при атмосферном и пониженном давлении в установках с вертикальным реактором.

Методика парофазного химического осаждения (ПХО) с использованием металлоорганических соединений (МОС) широко применяется при изготовлении многослойных структур GaAs.

Гомоэпитаксиальные слои GaAs получали на установках с вертикальным реактором при атмосферном

(АД) и пониженном давлении (НД). Газораспределительные схемы установок идентичны, различаются только конструкцией элементов напуска газовых смесей и наличием системы откачки реакционного объема в установке НД; металлический реактор колпакового типа установки АД имеет водоохлаждаемые стенки и систему теплоотражающих экранов.

Подложкодержатель установки АД выполнен в виде полой графитовой пирамиды, обогреваемой изнутри набором ИК ламп в кварцевом чехле. Реактором установки НД служит вертикальная кварцевая труба большого диаметра. Массивный графитовый подложкодержатель нагревается индуктивным способом.

В качестве источников ростового вещества использовали эфират триметилгаллия (ЭТМГ) и смесь арсина с водородом. Легирование осуществлялось кремнием из силана и оловом из тетраэтилолова. Тран-

спортирующим газом служил водород с точкой росы не выше -70°C при использовании добавок азота с такой же влажностью.

Полуизолирующие подложки с удельным сопротивлением 10^7-10^8 Ом·см, ориентированные по (100) с отклонением к $\langle 110 \rangle$, содержали примесь хрома и кислорода либо хрома и индия, причем часть подложек, легированных только изовалентной примесью индия без специального легирования, содержала менее $1 \cdot 10^{-5}$ вес. % хрома.

После загрузки подложек реакционный объем последовательно продувался азотом, а затем водородом для надежного удаления основной массы кислородосодержащих соединений и других загрязнений, источником которых является воздушная среда. В системе с пониженным давлением последующая откачка объема реактора интенсифицирует процесс ресорбции. Операция перезагрузки проводится при температуре подложкодержателя и оснастки реактора выше 100°C , что позволяет свести к минимуму адсорбцию кислородосодержащих компонентов воздушной среды на развитой поверхности поликристаллических и аморфных осадков в объеме реактора. Во время нагрева, начиная с температуры $400-450^{\circ}\text{C}$, в ростовую зону подается арсин для предотвращения термической деструкции поверхности подложек. Отжиг подложек в среде арсина при температуре наращивания является неотъемлемой частью совокупности операций подготовки поверхности для последующего роста слоев. Естественный окисел толщиной $1-2$ нм при взаимодействии с термически активированными молекулами арсина полностью разрушается за несколько секунд и удаляется с поверхности арсенида галлия. Одновременно происходит рекристаллизация аморфизированного слоя на поверхности после химико-механической обработки. Условия термического отжига благоприятны для снятия остаточных механических загрязнений и улучшения стехиометрии рекристаллизованных слоев. В установке НД при давлении менее 4 КПа имеет место горение плазменного разряда, индуцируемого высокочастотным полем нагревателя. Отжиг в среде арсина при наличии плазменного разряда сопровождается полирующим травлением подложек.

Важную роль в формировании структурно совершенных слоев играют условия роста на начальной стадии. При малых концентрациях триметилгаллия (ТМГ) в газовой фазе и скорости роста менее $10-15$ нм/мин наблюдается декорирование дефектов на поверхности подложек, в том числе рисок, следов отмывки, дефектов структуры. Эффект декорирования обусловлен селективностью процесса наращивания по отношению к дефектам кристаллической решетки и связан с различием условий зародышеобразования на дефектах и бездефектной поверхности.

Декорирование дефектов структуры наблюдается при неоптимальном содержании в газовой фазе ЭТМГ и арсина, при снижении доли водорода в газе-носителе и даже при локальном охлаждении поверхности подложки потоком газа с ростовыми компонентами. Эффект декорирования дефектов на поверхности подложки может наблюдаться и в условиях неселективного роста — в том случае, если эти дефекты имеют аномально большую химическую активность и развитую поверхность. Такие свойства проявляют, например, аэрозольные частицы сополимеров арсина и триметилгаллия типа $[\text{Ga}(\text{CH}_3)_n]_m$, $[\text{AsH}_n\text{Ga}(\text{CH}_3)_n]_m$ частицы поликристаллического арсенида галлия и аморфного мышьяка. Закрепленная на поверхности частица активно собирает ростовое вещество с определенного ареала и таким образом экранирует его от зарастания, вплоть до полного подавления роста. В месте расположения такого

трехмерного точечного дефекта может сохраниться открытый участок поверхности подложки. Существенным преимуществом системы наращивания с динамическим вакуумом является малая вероятность образования полимерных частиц и сопутствующих им точечных дефектов.

Буферный n^- -слой. Концентрация носителей заряда в слоях арсенида галлия без специального легирования зависит от соотношения AsH_3/MOC (рис. 1, а, б). При использовании ЭТМГ выращивание буферных нелегированных полуизолирующих n^- -слоев с концентрацией носителей менее $1 \cdot 10^{14}$ cm^{-3} не связано с какими-либо затруднениями.

В системе наращивания при пониженном давлении полуизолирующие слои получают при различных соотношениях AsH_3/MOC путем подбора величин давления в ростовой камере (см. рис. 1, б). Наличие тлеющего плазменного разряда даже при введении в газовую фазу донорных примесей вызывает рост только полуизолирующих слоев с $n^- < 1 \cdot 10^{14}$ cm^{-3} и пробивным напряжением до 400 В. Содержание глубоких доноров и акцепторов в таких слоях не превышает $1 \cdot 10^{15}$ cm^{-3} .

Активный n^- -слой. Активные слои с концентрацией носителей в диапазоне $8 \cdot 10^{16} - 2 \cdot 10^{18}$ cm^{-3} получены при легировании кремнием из силана. Скоростью роста управляли путем изменения температуры питателя с ЭТМГ или варьирования потока водорода через него. Причем для воспроизводимости номинала толщины не хуже $\pm(7-8)\%$ требовалось уменьшение скорости роста до $0,03-0,01$ мкм/мин при толщине $0,15-0,05$ мкм.

Получение однородного распределения параметров по толщине и площади активных слоев в реакторе большого объема с массовой загрузкой представляет определенные трудности. Поток газа-носителя с ростовыми компонентами подают вдоль образующей пирамиды-подложкодержателя, при этом формируется одна или

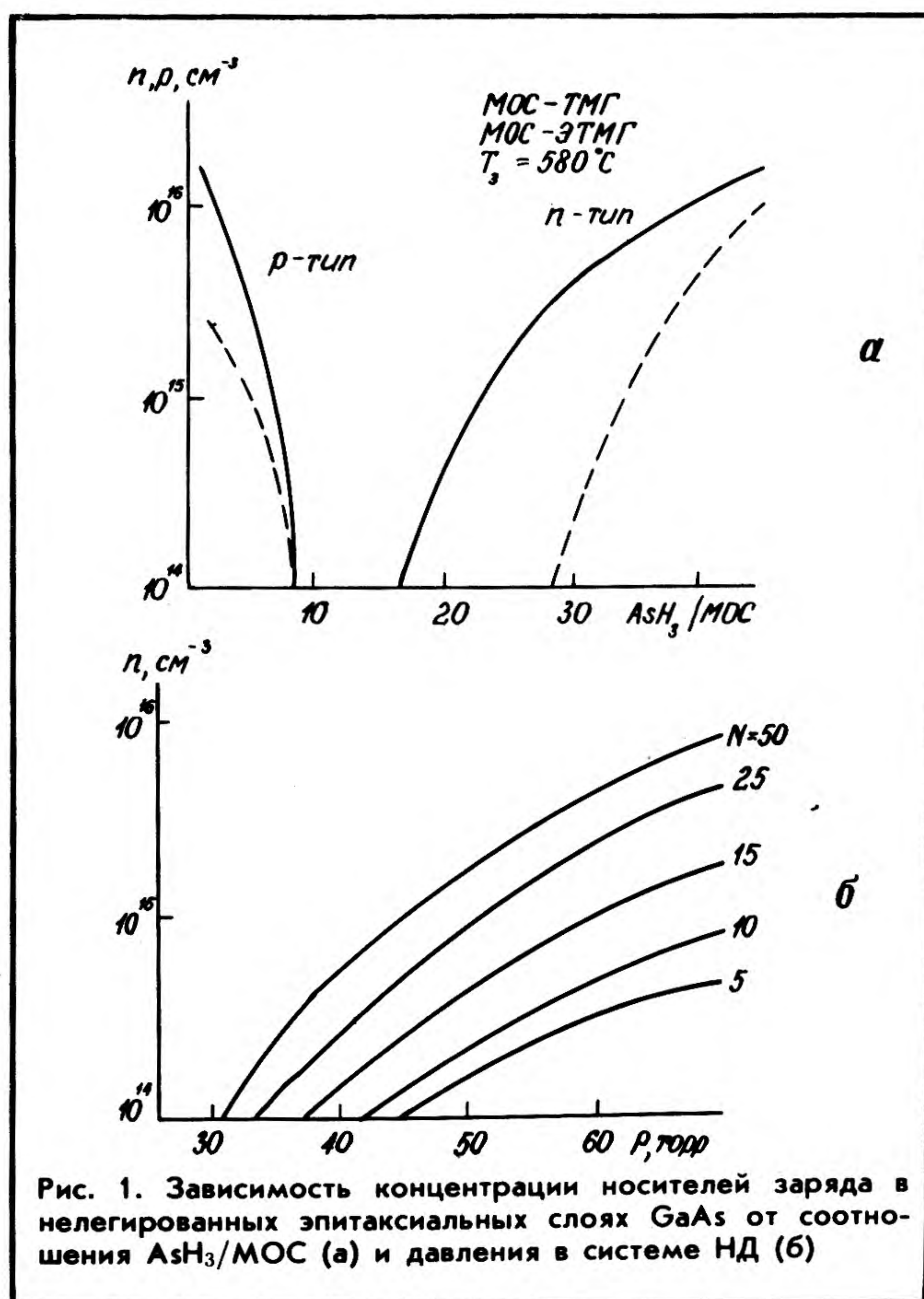


Рис. 1. Зависимость концентрации носителей заряда в нелегированных эпитаксиальных слоях GaAs от соотношения AsH_3/MOC (а) и давления в системе НД (б)

несколько локальных зон роста. Каждая подложка находится в зоне роста только часть времени — одного оборота пирамиды вокруг оси. Даже с учетом инерции процесса усвоения адсорбированного подложкой и поверхностью подложкодержателя ростового вещества часть времени подложка совершает холостой пробег в объеме реактора вне ростовой зоны. Воспринимающаяся как недостаток дискретность процесса роста на деле способствует реализации слоевого механизма роста с переходом в монослоевой механизм при низких скоростях наращивания.

Фаза холостого пробега соответствует стадии упорядочения и завершения формирования элементарного слоя, что дает возможность улучшить кристаллическую структуру слоя в целом и, как следствие, повышает подвижность носителей тока. Для улучшения однородности параметров всей партии подложек необходимо регулировать скорость вращения пирамиды с приближением времени одного оборота ко времени роста одного элементарного слоя (монослоя). Наличие конвекции вносит незначительный вклад в массоперенос при пониженном давлении и весьма существенный — при нормальном давлении. Для сведения к минимуму конвективного массопереноса в установке АД ростовую зону ограничивают с помощью экранов. Таким образом, условия роста в реакторе АД большого объема сводятся, по существу, к условиям наращивания в реакторе малого диаметра при дискретности фаз роста элементарных слоев.

Выбор линейной скорости газового потока в ростовой зоне установок АД и НД определяется компромиссом между необходимостью доставки МОС без его разложения в ростовую зону за минимальное время и неблагоприятной кинетикой процесса термоактивации силана. Кинетика активации арсина не столь существенна, поскольку арсин вводят всегда с большим избытком. В системе НД коэффициенты диффузии компонентов газовой фазы велики, пограничный слой практически отсутствует, поэтому однородность параметров по высоте грани пирамиды легко достигается подбором скорости вакуумной протяжки. В системе АД та же задача решается сложнее, поскольку приемлемый режим наращивания определяется жестко заданным сочетанием целого ряда узких диапазонов технологических параметров и сильно зависит от геометрической организации газовых потоков в реакторе. Возможности установок АД и НД по резкости концентрационных переходов и при создании сложных профилей легирования почти одинаковы.

Частотные характеристики ПТШ в значительной мере зависят от подвижности носителей заряда в канале и от изменения подвижности в области границы раздела активный слой — буфер. Для МОС-гидридной системы наращивания возможно загрязнение слоев углеродом и кислородом, причем содержание неконтролируемых примесей зависит от целого ряда технологических параметров (рис. 2). Область оптимальных температур заключена в диапазоне 590–610°C, а для системы с пониженным давлением — на 50–70°C ниже. Подвижность растет при увеличении содержания мышьяка в газовой фазе, но при соотношении As/Ga более 20 дальнейший рост подвижности не наблюдается (рис. 3).

Активные слои с толщиной 0,05–0,12 мкм и концентрацией носителей заряда $5 \cdot 10^{17}$ — $2 \cdot 10^{18}$ см⁻³ имели разброс толщины и концентрации носителей по площади менее 5%. Подвижность электронов ≥ 3000 см²/В·с.

Контактный n⁺-слой. Использование низкоомного n⁺-слоя для создания омического контакта снижает последовательное сопротивление истока, что приводит к понижению минимального коэффициента шума и повышению коэффициента усиления по мощности.

Легирование контактных слоев кремнием из той же смеси силана с аргоном связано со значительным увеличением доли аргона в газовом потоке, что отрицательно сказывается на однородности распределения параметров по высоте подложкодержателя. Принципиальным недостатком является амфотерность кремния. При повышении уровня легирования сверх $8 \cdot 10^{18}$ см⁻³ химическое содержание кремния в арсениде галлия увеличивается вплоть до 10^{20} см⁻³, а концентрация носителей заряда и их подвижность снижаются. Соответственно наблюдается рост удельного сопротивления контактных слоев. Минимальная величина удельного сопротивления контактных слоев, полученная при легировании кремнием, составила $(7-8) \cdot 10^{-4}$ Ом·см.

Контактные слои легировали в основном оловом из тетраэтилолова (ТЭО). При максимальных концентрациях носителей $(1-2) \cdot 10^{19}$ см⁻³ удельное сопротивление контактных слоев составляло $(4-6) \cdot 10^{-4}$ Ом·см. Разброс величины удельного сопротивления по площади составлял менее 20%, неоднородность распределения толщины — менее 10%.

На основе эпитаксиальных структур различных номиналов были изготовлены мощные и малощумящие ПТШ. По сравнению с результатами, полученными на серийных структурах, снизилось сопротивление омического контакта и истока, увеличилась крутизна ВАХ,

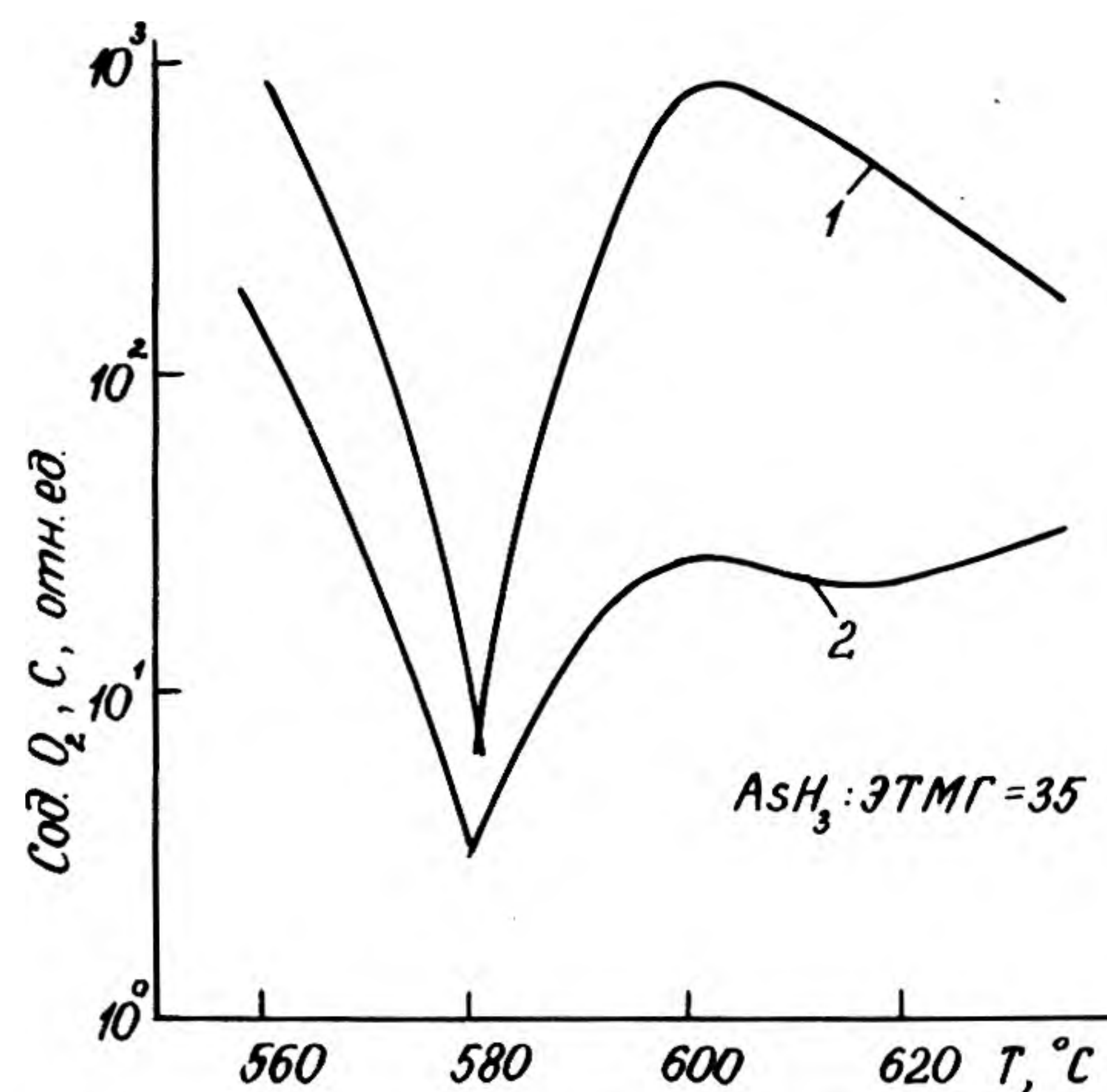


Рис. 2. Изменение содержания кислорода (кривая 1) и углерода (кривая 2) в эпитаксиальных слоях GaAs от температуры эпитаксии ($AsH_3/ЭТМГ=35$)

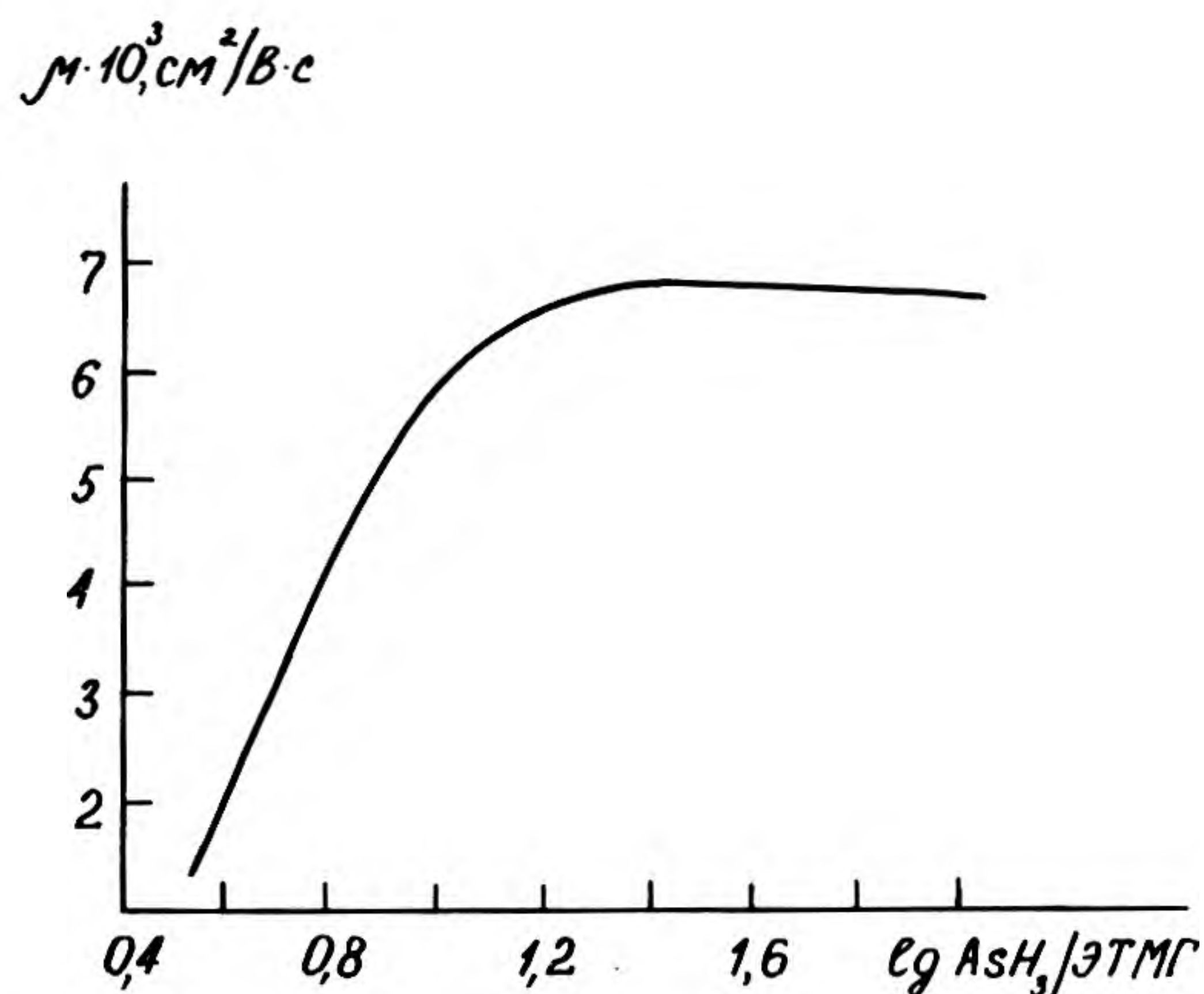


Рис. 3. Зависимость подвижности носителей заряда от соотношения $AsH_3/ЭТМГ$ в газовой фазе. $T_э = 580^\circ C$, $n = 2 \cdot 10^{15}$ см⁻³

повысилась рабочая частота и уменьшился разброс параметров между транзисторами с одной эпитаксиальной структуры.

Таким образом, установки наращивания по МОС-гидридной технологии при нормальном и пониженном давлении с вертикальным реактором большого объема могут служить основой для промышленного производства тонкослойных структур арсенида галлия различных номиналов. Отсутствие принципиальных ограничений на резкость металлургических границ позволяет создавать слои с толщиной в несколько периодов решетки с высокой воспроизводимостью параметров при массовой загрузке подложек.

Статья поступила 20 декабря 1989 г.

УДК 621.3.049.77.002

ИОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИС

**Б.В.Козейкин, В.Г.Паршков, С.А.Высоцкий,
А.Г.Гурьянов**

Предложен замкнутый технологический процесс формирования локальных селективных областей на поверхности полупроводникового кристалла, основанный на ионно-лучевой обработке. Метод обеспечивает формирование в едином технологическом цикле на одной пластине полупроводникового арсенида галлия pn^+ -слоев для ПТШ, резистивных элементов и областей межэлементной изоляции.

В настоящее время в микроэлектронике наблюдается переход от использования планарных эпитаксиальных и ионно-имплантированных структур к использованию структур со сложным топологическим рельефом, реализующим селективные области с заданными электрическими характеристиками.

Формирование локальных, многослойных и селективных областей с точки зрения материаловедения фактически реализует переход от схмотехнической к функциональной интеграции, и полупроводниковый материал становится носителем функциональных свойств прибора или схемы. Соответственно и технология полупроводниковых структур со сложным рельефом структур будет приближаться к технологии ИС, которая так или иначе сводится к локальному управлению свойствами различных материалов в составе схемы, причем не имеет значения, достигнуты эти свойства получением нового материала или приданы исходному материалу специальной обработкой. Планарная технология, составляющая основу производства интегральных схем, должна включать способы формирования технологически неоднородных сред в объеме или на поверхности одного твердого носителя (подложки), основанные на применении локально-селективных, полностью совместимых между собой операций, и единого физико-химического метода, реализующего замкнутый технологический цикл. Поэтому можно считать, что этим требованиям удовлетворяет в наибольшей степени ионно-лучевая технология локальной обработки материалов микроэлектроники [1, 2].

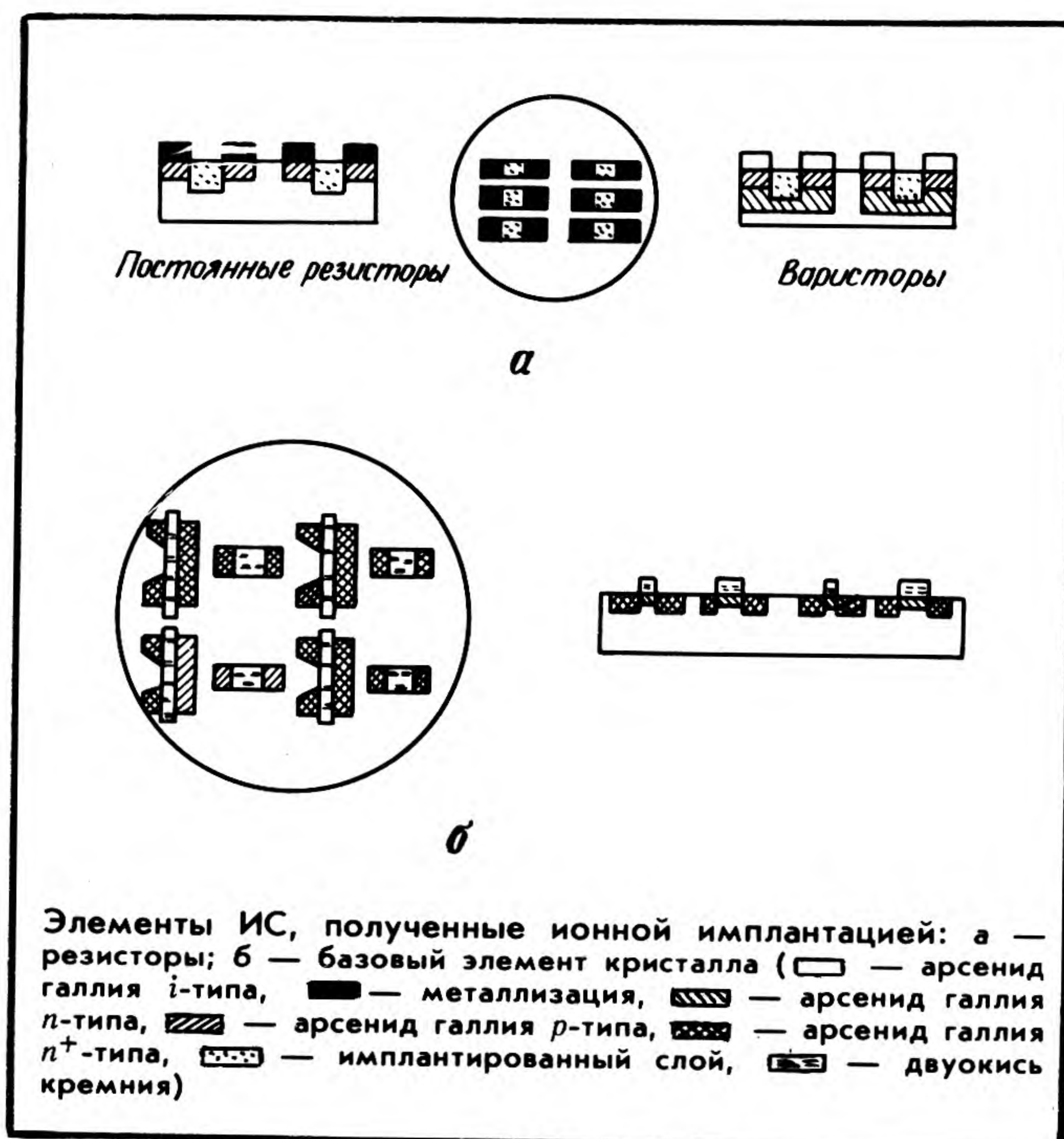
Рисунок иллюстрирует возможность ионно-лучевой технологии при формировании локально-селективных областей МИП, включая изготовление базового элемента ПТШ с барьером Шотки и резистивных элементов, в том числе варисторов. Разработанный технологический процесс изготовления локальной селективной структуры ПТШ включает в себя следующие операции:

- формирование n -слоя, ионная имплантация кремния (доза 0,8–1 мкКл/см², энергия 120 кэВ);
- нанесение двуокиси кремния;
- вскрытие окон в маске двуокиси кремния для изготовления n^+ -областей исток-сток ионной имплантацией кремния (доза 10 мкКл/см², энергия 120 кэВ);
- снятие двуокиси кремния;
- протонная изоляция по n -слою через фоторезистивную маску (доза 3–5 мкКл/см², энергия 60 кэВ);
- снятие фоторезиста;
- термообработка в атмосфере арсина в течение 30 мин при $T = 850^\circ\text{C}$.

В приведенной схеме технологического процесса двуокись кремния в области канала служит маской при формировании n^+ -областей и одновременно знаком совмещения для создания металлизации омических контактов. Описанный технологический процесс условно назван "прямой монтаж" (последовательно формируются n -слой, а затем n^+ -слой).

Опробованы и другие варианты формирования топологии транзистора. Например, формирование в первой операции литографии реперного знака из тугоплавкого контакта, что допускает использование технологии самосовмещения и элементов силицидной технологии. Такой технологический процесс, получивший название "обратный монтаж", включает в себя следующие операции:

- нанесение двуокиси кремния;
- вскрытие окон SiO_2 для формирования n^+ -областей исток-сток методом ионной имплантации кремния с дозой 10 мкКл/см², энергией 120 кэВ;
- вскрытие окон и формирование n -слоя ионной имплантацией кремния с дозой 0,8–1 мкКл/см², энергией 120 кэВ;
- снятие SiO_2 ;
- термообработка в атмосфере арсина при $T = 850^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.



При низких значениях концентрации свободных носителей заряда и их подвижности реализуется случай сильной компенсации, что характерно для ионолегированных слоев, облученных протонами или ионами инертных газов. Сильнокомпенсированные слои являются оптимальными для создания высокоомных полупроводниковых резисторов в составе интегральных монолитных схем. Использование эффекта компенсации исходной проводимости n -слоя арсенида галлия внесенными радиационными дефектами позволяет реализовать технологический процесс изготовления пассивных элементов интегральных схем.

Для изготовления резисторов на поверхность полупроводникового слоя арсенида галлия с концентрацией носителей $5 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и толщиной 0,2 мкм, сформированного на полуизолирующей подложке, наносятся металлические слои алюминия толщиной 0,1–0,2 мкм с заданной топологией, после чего проводят ионно-лучевую обработку элементов схемы ионами аргона. Схема технологического изготовления высокоомных резисторов представлена на рисунке.

В результате имплантации в канале между контактами формируется двухслойная структура из верхнего высокоомного слоя арсенида галлия, проводимость которого компенсирована ионным облучением, и нижнего низкоомного с исходной проводимостью. Диффузия радиационных дефектов, возникающих из-за частичного проникновения ускоренных ионов в приповерхностные области полупроводника под слоем металла, приводит к образованию высокоомного компенсированного подконтактного слоя, граничащего с нижележащим проводящим слоем.

При приложении электрического поля между контактными площадками сопротивление резистора определяется сопротивлением высокоомных подконтактных областей, на которые падает основная часть напряжения. По достижении критической напряженности поля ($E \geq 2,5 \cdot 10^5 \text{ В/см}^2$) происходит обратимый пробой высокоомных областей, сопротивление резистора резко уменьшается до сопротивления проводящих областей в канале резистора.

Значение номинала резистора определяется дозой, энергией внедренных ионов аргона и электрофизическими характеристиками исходного проводящего слоя арсенида галлия.

Разработанный технологический процесс обеспечивает следующие электрофизические параметры локальных селективных областей:

- концентрация электронов в n -слое составляет $(8-30) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщина – 0,1–0,3 мкм, подвижность – более $3000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
- концентрация электронов в n^+ -области составляет $(7-20) \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, толщина – 0,8–1,1 мкм;
- номинал резисторов равен $10^2 - 10^5 \text{ Ом/кв.кв}$;
- ТКС – $5 \cdot 10^{-3} \dots -0,5 \text{ К}^{-1}$;
- разброс электр. физических параметров по площади – не более 10%.

Вследствие хорошей совместимости разработанных технологических процессов ионно-лучевой обработки материалов реализуется замкнутый технологический цикл изготовления на полуизолирующей подложке селективных матричных структур арсенида галлия для транзисторных монолитных схем с топологией первого слоя, включающей n -канальные области, подконтактные n^+ -области, участки изоляции, полупроводниковые резистивные элементы, в том числе управляемые полем.

Таким образом, представленные результаты подтверждают возможность формирования локальных селективных областей МИП и в сочетании с разрабатываемыми нами ионно-лучевыми методами создания многоуровневой металлизации и безрезистной ионно-фотон-

ной литографии открывают широкие перспективы для изготовления полузаказных и заказных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. С и м о н о в В.В. Проблемы и перспективы развития оборудования ионной имплантации.— Электронная промышленность, 1989, вып. 7, с. 7—9.
2. Обзоры по электронной технике. Физико-технологические особенности ионного легирования монокристаллического и эпитаксиального арсенида галлия для монолитных СВЧ устройств/Б.В.Козейкин, В.В.Перинский и др.— М., 1983.— Вып. 5. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование.— 49 с.

Статья поступила 19 января 1990 г.

УДК 621.382.323.002

САМОФОРМИРОВАНИЕ СУБМИКРОННЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИС НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

Б.В.Козейкин, А.М.Рылов, Т.М.Баннова, С.А.Чеботарев, М.М.Волков

Разработанные варианты технологического процесса самосовмещения с использованием напыления металлических и диэлектрических пленок под углом к плоскости полупроводниковой структуры, ионно-лучевой обработки, ионно-химического и плазмохимического травления применяются при изготовлении полевых транзисторов Шотки и других элементов ИС.

Получение субмикронных размеров СВЧ активных элементов и монолитных ИС — одна из важнейших задач современной микроэлектроники. В частности, ограничение частотного диапазона полевых транзисторов с барьером Шотки (ПТШ) связано с необходимостью уменьшения размеров затвора, что достигается в настоящее время в основном методами электронно-ионно-лучевой и рентгеновской литографии. Общие недостатки этих методов — низкая производительность и малый выход годных ИС и отдельных ПТШ, использование дорогостоящего оборудования.

Поэтому наряду с названными методами формирования субмикронных топологических элементов не менее перспективны в настоящее время методы, в которых конфигурацию микроструктур получают использованием технологических процессов, именуемых "подтравом", "поперечным травлением", "самосовмещением", "краевыми эффектами маскирования". Позднее эти методы стали обозначаться единым термином — "самоформирование" [1].

На самоформировании основаны разработанные технологические варианты изготовления ПТШ и ИС с использованием напыления металлических и диэлектрических пленок под углом к плоскости полупроводниковой структуры, ионно-лучевой обработки материалов, ионно-химического и плазмохимического травления. Роль проекционной маски при напылении и ионно-лучевой пассивации материалов выполнял предварительно подготовленный рельеф поверхности структур (рис. 1).

Использование метода самоформирования для получения субмикронного затвора показано на рис. 2, где представлена последовательность технологических операций изготовления ПТШ. На полуизолирующей подложке выращивался активный слой арсенида галлия толщиной 0,5–0,6 мкм с концентрацией $(3-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Локальное травление выращенного слоя проводилось так, чтобы на поверхности структуры образовалась меза-область высотой 0,35–0,45 мкм. При этом ток насыщения ВАХ контролировался зондовым методом. Боковая стенка мезы вначале облучалась протонами, а затем на нее напылялась металлизация затвора (V–Au). При напылении структура устанавливалась

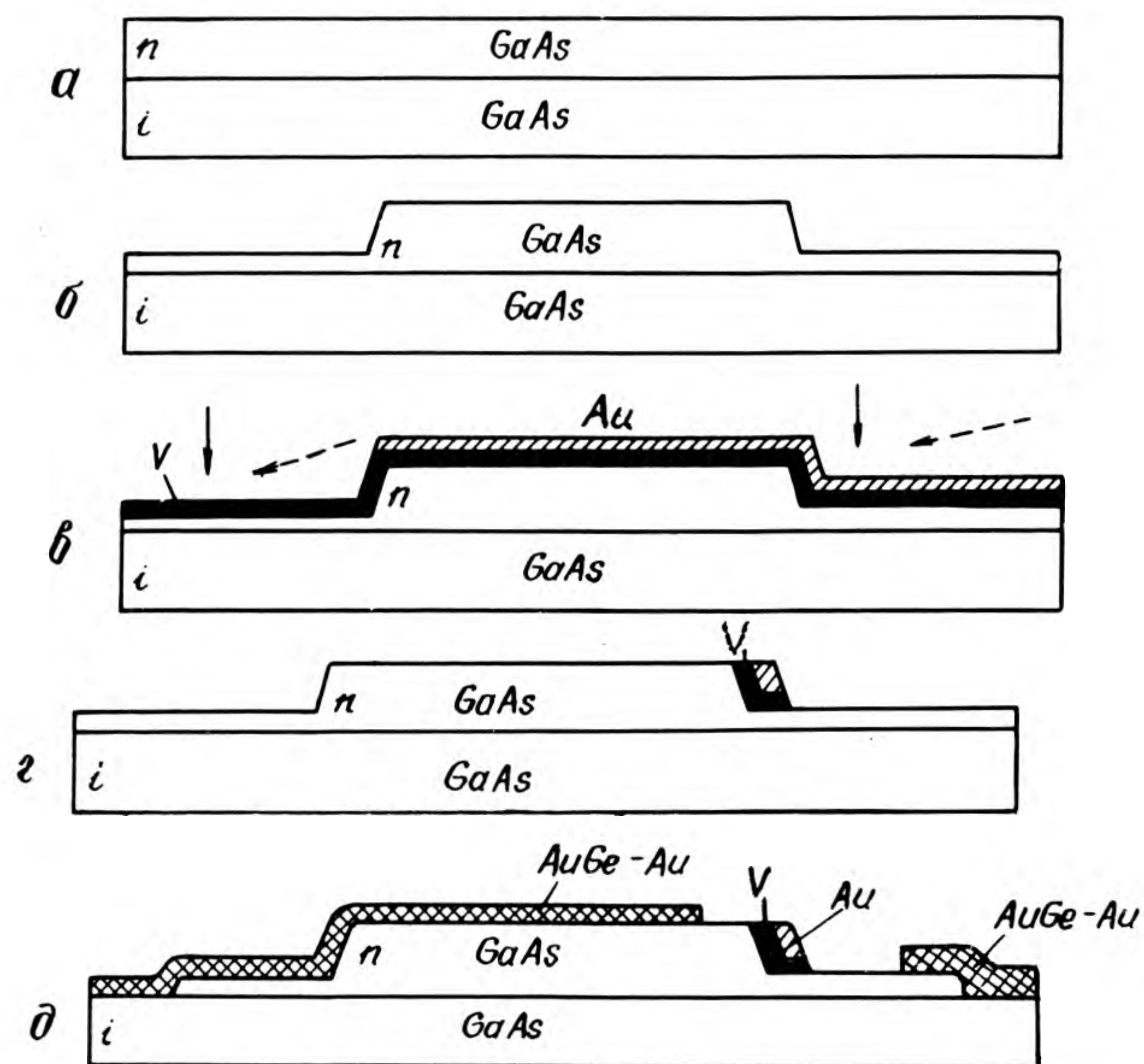


Рис. 1. Технология изготовления ПТШ с использованием метода самоформирования субмикронного затвора: а — исходная полупроводниковая структура; б — выравливание рельефа поверхности; в — напыление пленок ванадия и золота; г — ионно-химическое травление золота и плазмохимическое травление ванадия; д — локальное травление *n*-слоя, формирование контактных площадок: исток, сток, затвор

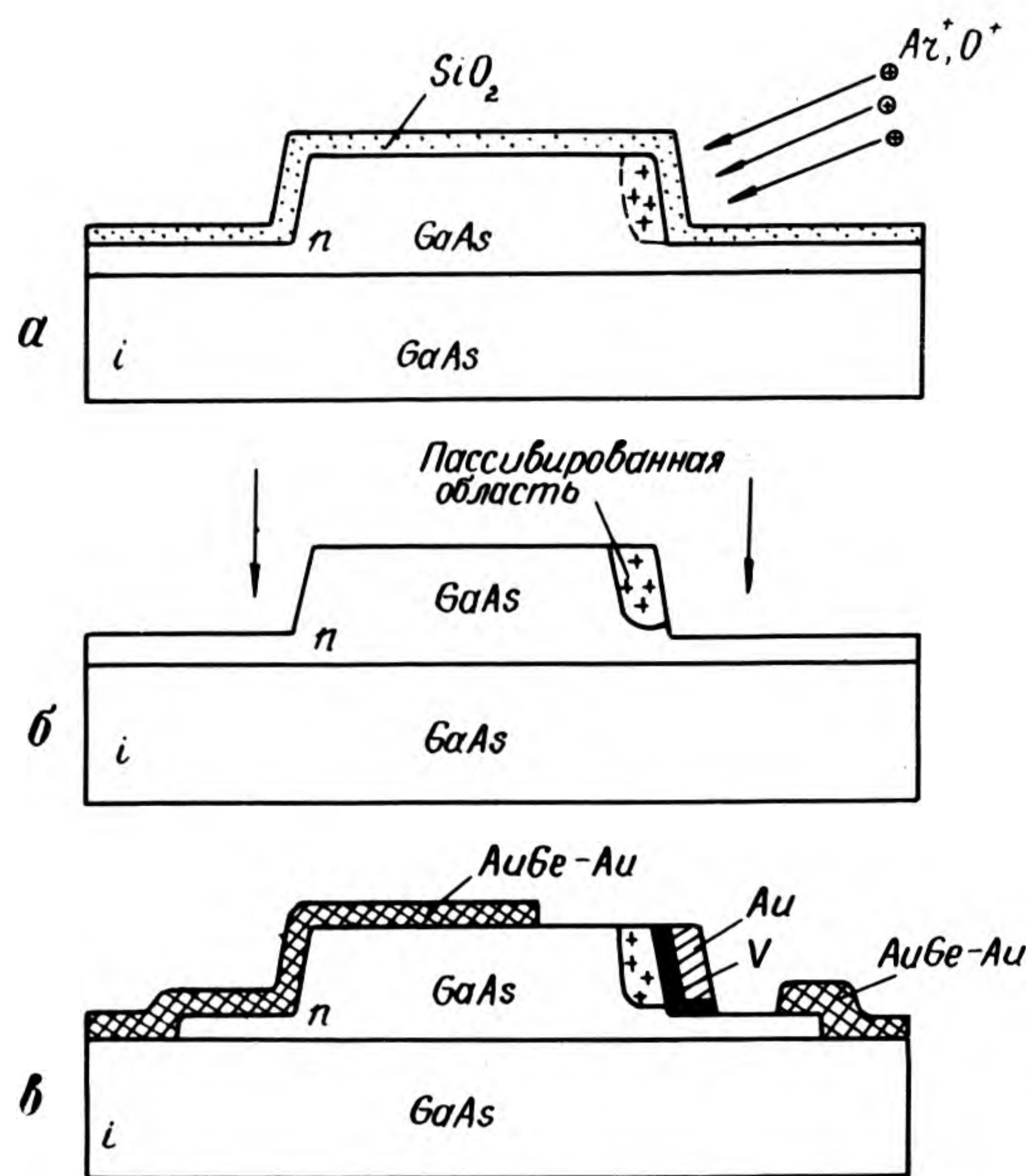


Рис. 2. Уменьшение емкости затвора: а — протонная изоляция под углом через слой двуокиси кремния толщиной 0,1 мкм; б — плазмохимическое травление двуокиси кремния; в — локальное травление *n*-слоя, формирование контактных площадок: исток, сток, затвор

под углом $\alpha = 10^\circ$ по отношению к испарителю, что обеспечивало образование на боковой стенке слоя толщиной d_M , которая зависит от времени напыления. На поверхности структуры эта величина составляет $d_M \cdot \sin \alpha$. Разность толщин позволяет получить после ионно-химического травления рисунок затвора, длина

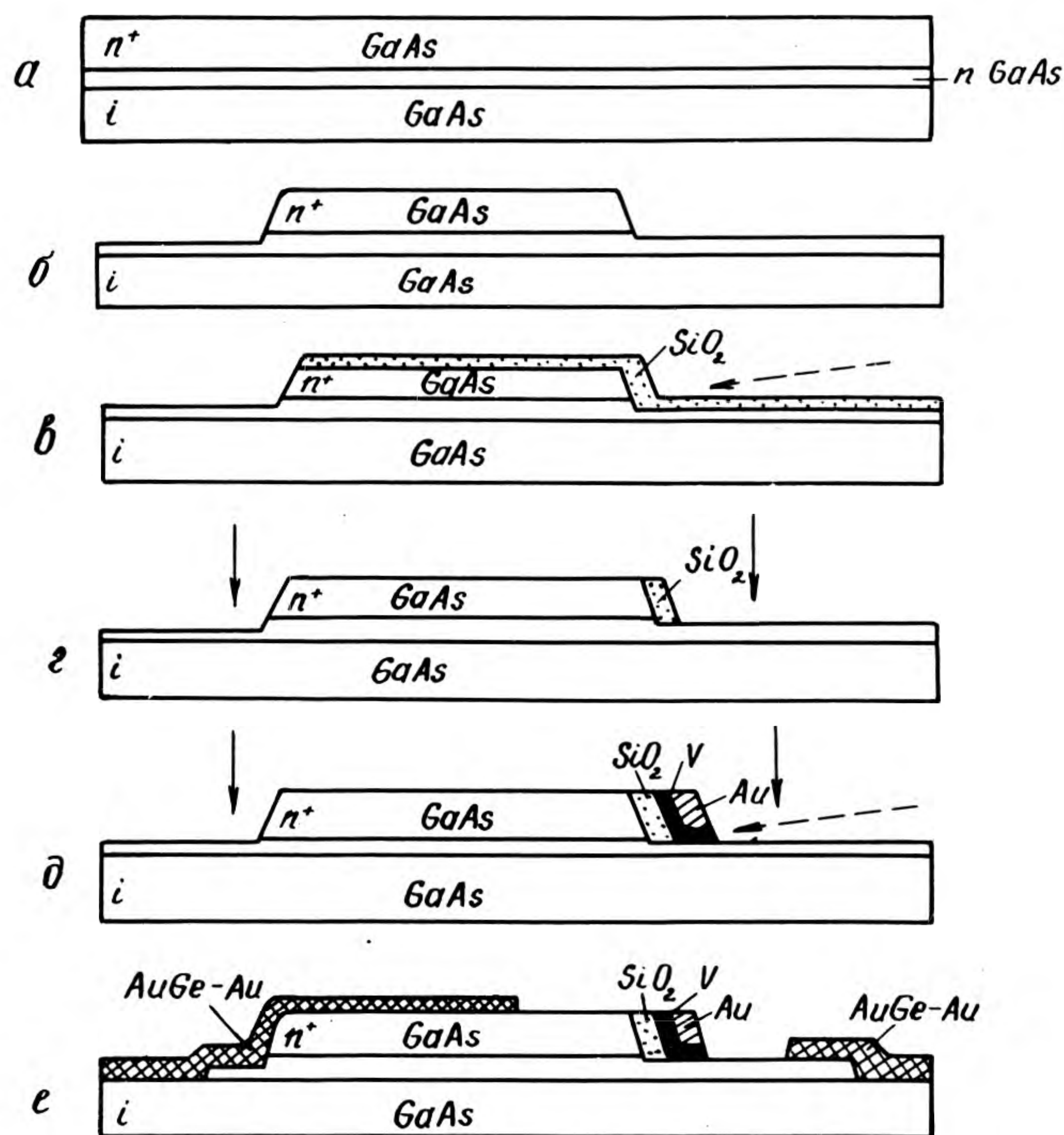


Рис. 3. Изоляция боковой стенки затвора слоем диэлектрика: а — исходная структура арсенида галлия; б — выравливание рельефа поверхности; в — напыление двуокиси кремния под углом; г — плазмохимическое травление двуокиси кремния; д — напыление и травление металлизации затвора; е — локальное травление *n*-слоя, формирование контактных площадок: исток, сток, затвор

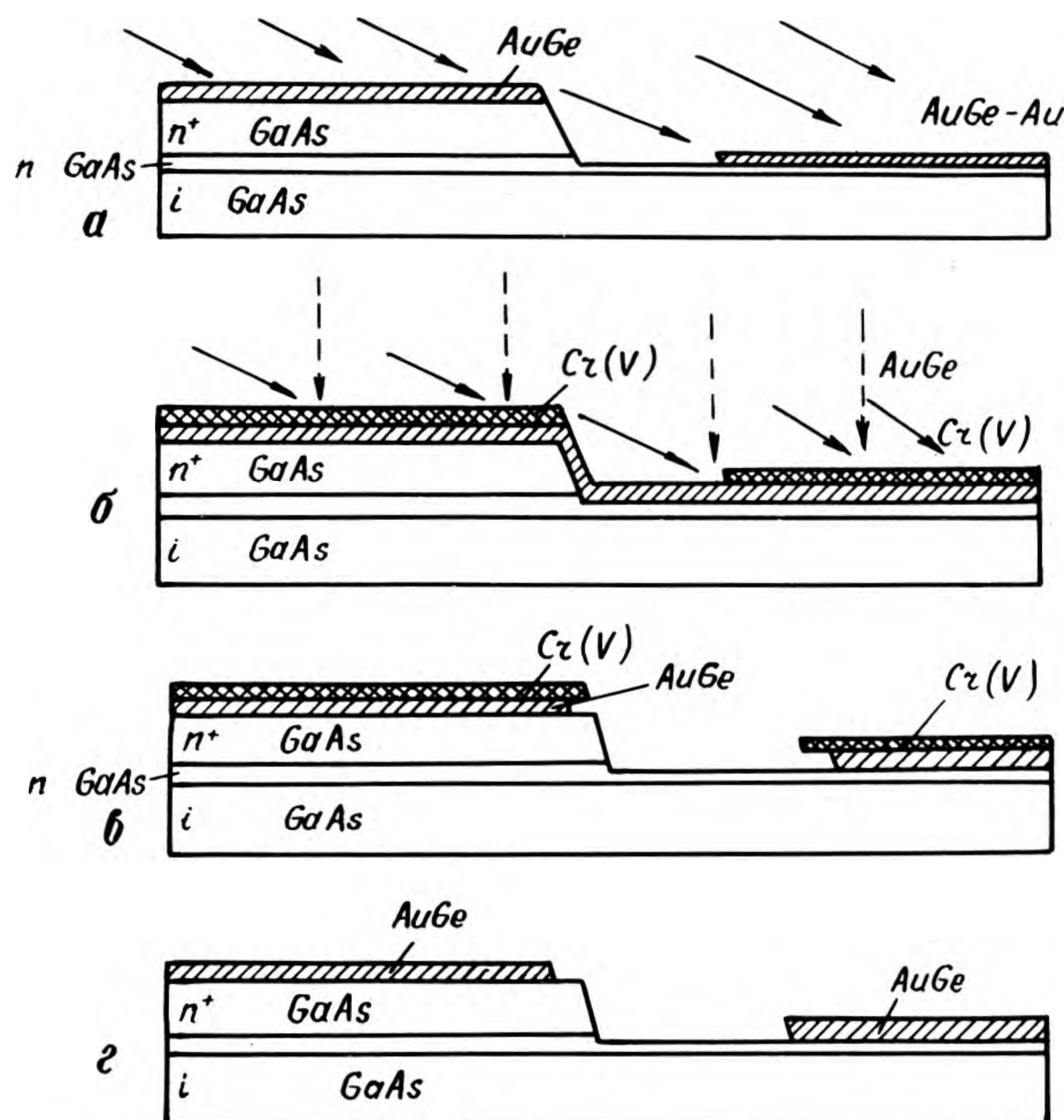


Рис. 4. Технологические варианты самоформирования зазора между истоком и стоком: а — самоформирование зазора между истоком и стоком путем напыления металлизации под углом; б — самоформирование зазора между истоком и стоком с использованием пассивации металлов ионами аргона; в — ионно-лучевое травление золота; г — снятие ванадия после засвечивания в УФ лучах

которого равна $d_m d_m \sin \alpha$. Таким образом, были получены ПТШ с длинами затворов от 0,1 до 0,3 мкм.

При использовании структур типа $n^+ - n - n - i$ возникают трудности с протонной изоляцией одновременно n^+ и n -слоев. Оптимальным в данном случае является использование для изоляции боковой стенки слоя двуокиси кремния, локально сформированного путем напыления под углом $\alpha_2 = 20^\circ$ с последующим плазмохимическим травлением (рис. 3).

Для исключения прецизионной технологической операции совмещения истока и стока с затвором разработана технология самоформирования зазора между стоком и истоком (рис. 4) [1]. В зависимости от высоты ступеньки угол напыления составлял $18-25^\circ$. В результате были получены транзисторы с расстоянием исток-сток 1–2 мкм, однако при этом возрастало удельное сопротивление контактов. В другом случае металлизация контактов напылялась по нормали к плоскости структуры, а под углом напылялся хром или ванадий, которые служили маской при травлении металлизации контактов.

Наиболее оптимальной технологией самоформирования зазора исток-сток является использование проекционной ионной литографии, в основе которой лежат эффекты управления химической активностью пассивации металлических слоев при их облучении ионами

аргона (см. рис. 4)[2]. Особенно ярко эффект пассивации выражен на металлических слоях хрома и ванадия, поэтому для создания омических контактов истока и стока использовалась металлизация золото-германий-ванадий. Энергия ионов аргона составляла 40–60 кэВ при дозах от 2000 до 4000 мкКл/см². Затемненная область удалялась при последовательном травлении вначале в плавиковой кислоте, затем в травителе на основе йода и калия. Далее ванадий использовался как защитная пленка при сплавлении омических контактов, после чего удалялся в плазме.

Разработанная технология позволяет проводить операции формирования межэлектродных зазоров с высокой точностью и не требует прецизионного совмещения, что является предпосылкой для изготовления ПТШ и ИС с высоким процентом выхода годных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Самоформирование микроструктур в технологии изготовления интегральных схем/Р.Б.Новицкас.— М.: ЦНИИ «Электроника».— 1986.— Вып. 1. Сер. 3. Микроэлектроника.
2. Обзоры по электронной технике: Субмикронная литография с применением истоков ионизирующих излучений/Б.В.Козейкин, А.И.Фролов, А.С.Чеботарев.— М.: ЦНИИ «Электроника».— 1984.— Вып. 2. Сер. 3. Микроэлектроника.

Статья поступила 26 октября 1989 г.

УДК 621.382.2.029.64

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОЩНОГО ЛАВИННО-ПРОЛЕТНОГО ДИОДА МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

канд.техн.наук, ст.науч.сотр. Г.А.Александрова,
канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр.
В.А.Вальд-Перлов,
науч.сотр. В.Б.Дружинин, Л.С.Сибирцев

Разработанный двухпролетный ЛПД, работающий в 8-миллиметровом диапазоне длин волн с выходной непрерывной мощностью более 1 Вт, предназначен для работы в генераторах и усилителях различного назначения.

Для арсенид-галлиевых ЛПД миллиметрового диапазона требуется создание субмикронных многослойных эпитаксиальных структур, легированных донорными или акцепторными примесями, с резкими переходами между слоями.

Эпитаксиальные структуры получали МОС-гидридным методом из триметилгаллия (ТМГ) и смеси 10%-ного AsH_3 в водороде в реакторе горизонтального типа при атмосферном давлении. Слои n -типа легировались кремнием из смеси моносилана (SiH_4) в аргоне. Диапазон легирования составлял $1 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при линейной зависимости уровня легирования от потока легирующей примеси. Эффекта «памяти» при легировании кремнием не наблюдалось. Моносилан как источник донорной примеси при легировании GaAs удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к лигатуре, однако он обладает значительным недостатком — уровень легирования сильно зависит от температуры (рис. 1).

Если легирование из моносилана изучено и широко применяется, то выбор акцепторной примеси затруднен из-за противоречивой информации о процессах легирования и поведении акцепторных примесей в эпитаксиальном арсениде галлия. Традиционной акцепторной примесью для легирования GaAs является цинк, по последним данным он имеет сравнительно невысокий коэффициент диффузии [1], но дает эффект накопления «памяти» [2].

Другой элемент — бериллий (Be) — обладает оптимальными коэффициентами диффузии и распределения, не вызывает эффекта «памяти» при его введении в GaAs, но имеет существенный недостаток —

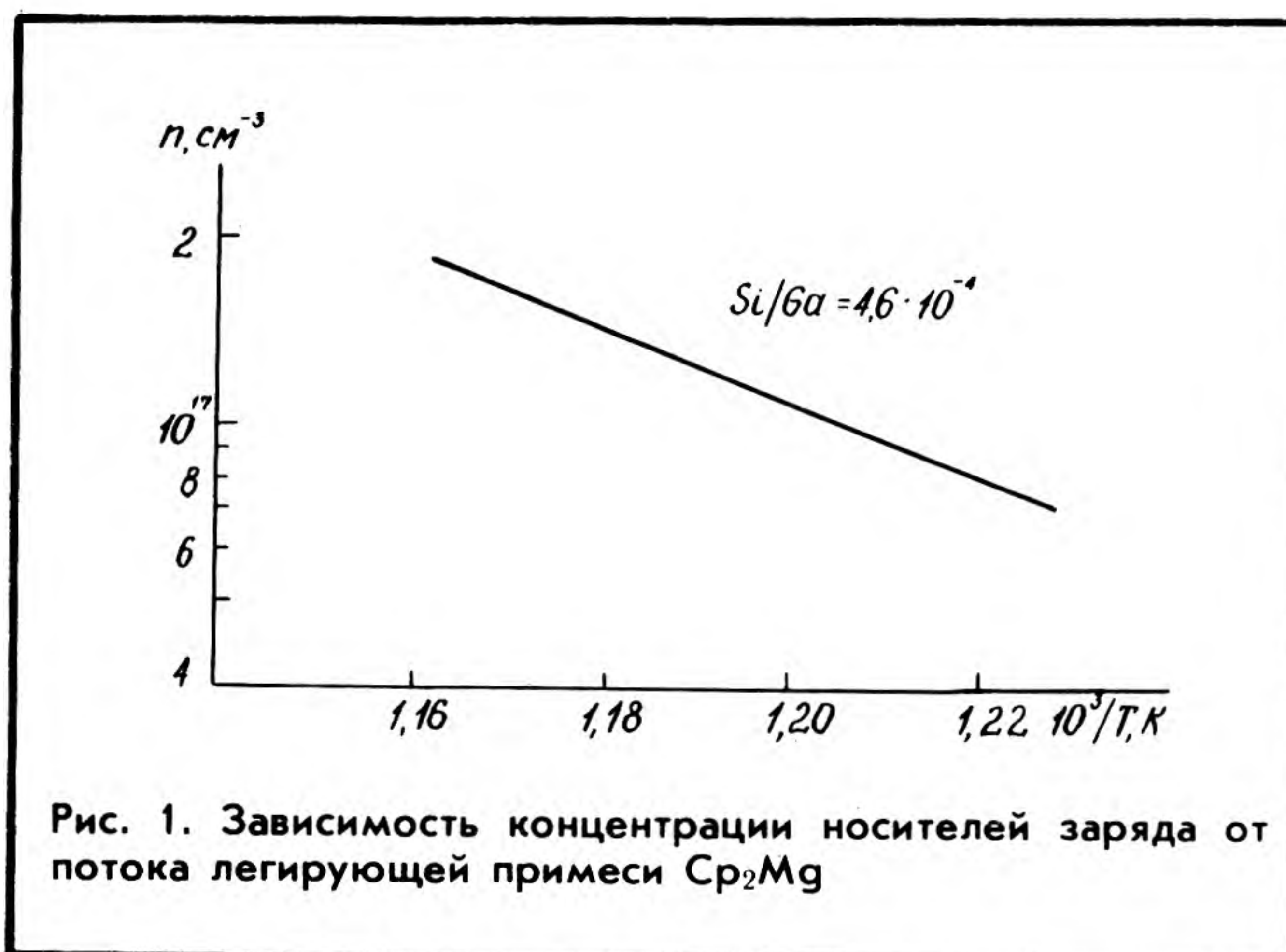


Рис. 1. Зависимость концентрации носителей заряда от потока легирующей примеси Cr_2Mg

токсичность исходных соединителей и окислов, получающихся при чистке реакторов.

Кадмий (Cd) мало используется для легирования эпитаксиального GaAs из-за сильного эффекта «памяти», малого коэффициента распределения, низкого предела легирования. Кроме того, температура разложения диметилкадмия ниже оптимальных температурных режимов МОС-гидридного процесса эпитаксии.

В качестве акцепторной примеси был выбран магний (Mg), который имеет низкий коэффициент диффузии и широкий диапазон легирования ($5 \cdot 10^{15} \dots 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) [3]. Источник легирующей примеси — бисциклопентадиэтил магния Cp_2Mg [4]. Результаты исследований процесса легирования GaAs магнием противоречивы [3—6].

Установлено, что O_2 и H_2O в эффективности легирования GaAs играют основную роль. На рис. 2 приведена зависимость уровня легирования от потока лигатуры при изменении герметичности газораспределительной системы и реактора.

При скорости натекания в систему, большей $1,33 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}^{-1}$, контролируемое легирование имеет место при концентрациях, больших 10^{18} см^{-3} , а ниже этой концентрации наблюдается квадратичная зависимость концентрации носителей от потока лигатуры (рис. 2, кривая 1). В этих условиях концентрации Mg и O_2 в газовой фазе реактора почти равны.

Уменьшение натекания в систему приводит к уменьшению геттерирования Mg кислородом и меняет вид зависимости концентрации носителей от потока легирующей примеси (рис. 2, кривая 2), причем точка перехода от квадратичной зависимости к линейной определяется герметичностью системы. Чем более герметична система, тем более зависимость уровня легирования от потока легирующей примеси приближается к линейной и тем более усиливается эффект «памяти» системы. Для получения слоев с резкими p - n -переходами следует выбирать компромиссное решение.

Еще одной отличительной особенностью процесса легирования Mg является сильная зависимость уровня легирования от температуры: при уменьшении температуры роста на $\sim 100^\circ\text{C}$ степень легирования возрастает на 1,5 порядка при одинаковом потоке легирующих веществ. При легировании GaAs магнием в отличие от легирования кремнием лимитирующую роль играют процессы адсорбции—десорбции [2].

По разработанной технологии изготовлены двухпролетные структуры с узким слоем умножения двух типов: $p^{++}-p-n^+-n-n_{\text{стоп}}^+-n_{\text{буф}}^{++}$ (гибридная структура) и $p^{++}-p-p^+-v(\pi)-n^+-n-n_{\text{стоп}}^+-n_{\text{буф}}^{++}$ (двойная ридовская структура).

С целью оптимизации структуры для эффективной работы в 8-мм диапазоне проведен расчет зависимости СВЧ параметров диода (полного сопротивления, мощности генерации и КПД) от режима работы. Численное моделирование ЛПД основывалось на инерционной диффузионно-дрейфовой модели, в которой подвижность и коэффициент диффузии носителей заряда рассматриваются как функции их средних энергий [7].

Оптимальный профиль легирования ЛПД миллиметрового диапазона (гибридная структура) показан на рис. 3.

При повышении рабочей частоты ЛПД (и одновременно — необходимости получить большую мощность) растет несоответствие между низким импедансом кристалла (активное отрицательное сопротивление менее 1 Ома) и высоким волновым сопротивлением используемых передающих линий. Для устранения этого несоответствия обычно применяют трансформаторы импеданса с высоким коэффициентом трансформации, что неизбежно приводит к появлению источника потерь.

В данной работе в качестве трансформатора импеданса используется специально спроектированная конструкция корпуса. Правильно выбранные параметры корпуса способствуют благоприятной трансформации импеданса диода и таким образом позволяют уменьшить значение потерь во внешней по отношению к диоду схеме. Установлено, что оптимальные параметры корпуса можно найти из условия:

$$\omega^2 L_k C_k \approx 1,$$

где ω — круговая частота, L — индуктивность корпуса, C_k — емкость корпуса.

При разработке диодов большой мощности и, следовательно, имеющих большую емкость диода C_d (~ 1 пФ), с целью снижения потерь следует использовать для втулки корпуса материалы с низкими диэлектрическими потерями. Для диодов 8-мм диапазона оптимальные конструкции корпусов должны обладать $L_k = 0,06$ нГн при $0,25 \text{ пФ} \leq C_k \leq 0,4 \text{ пФ}$.

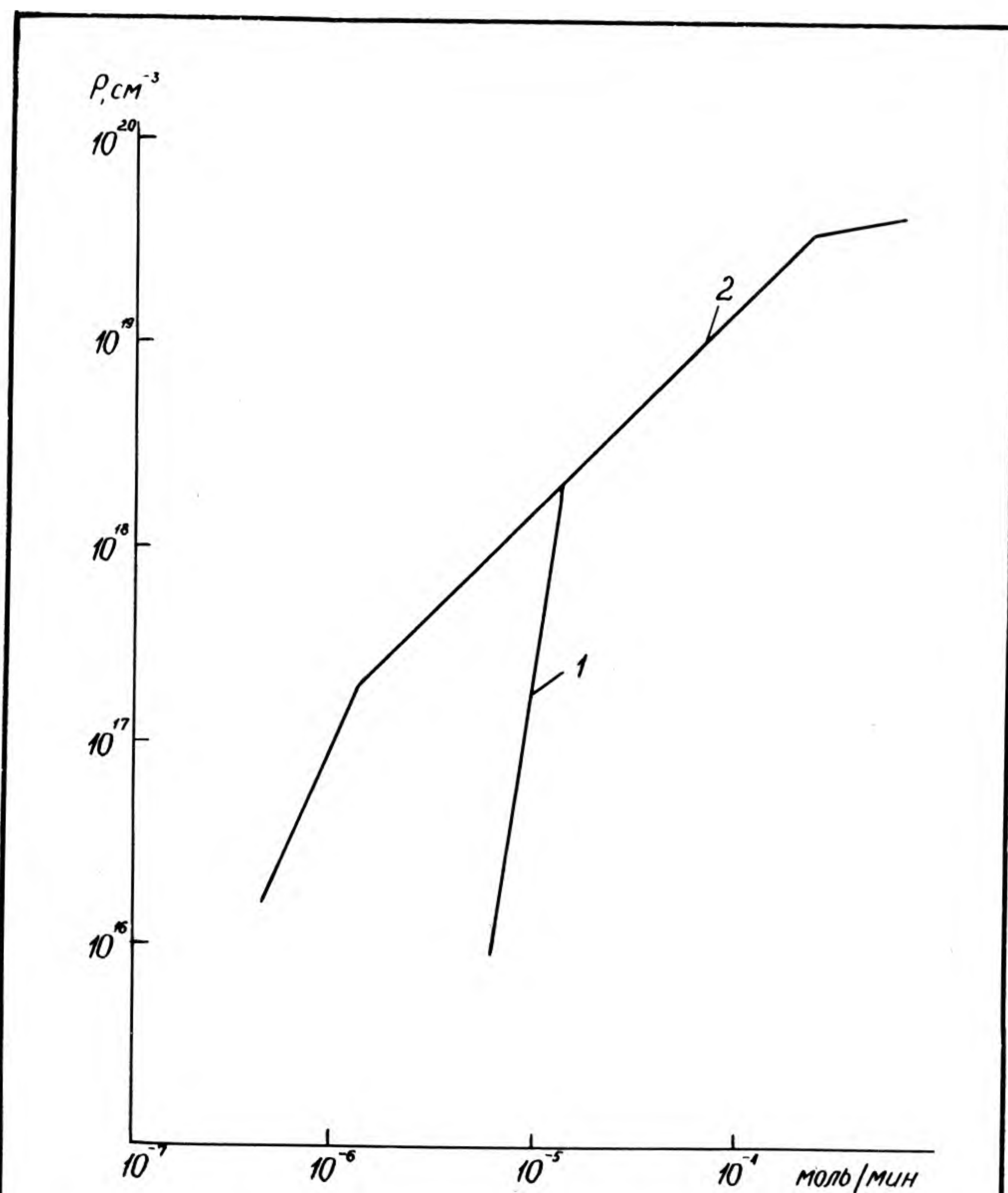


Рис. 2. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры роста при легировании из SiH_4

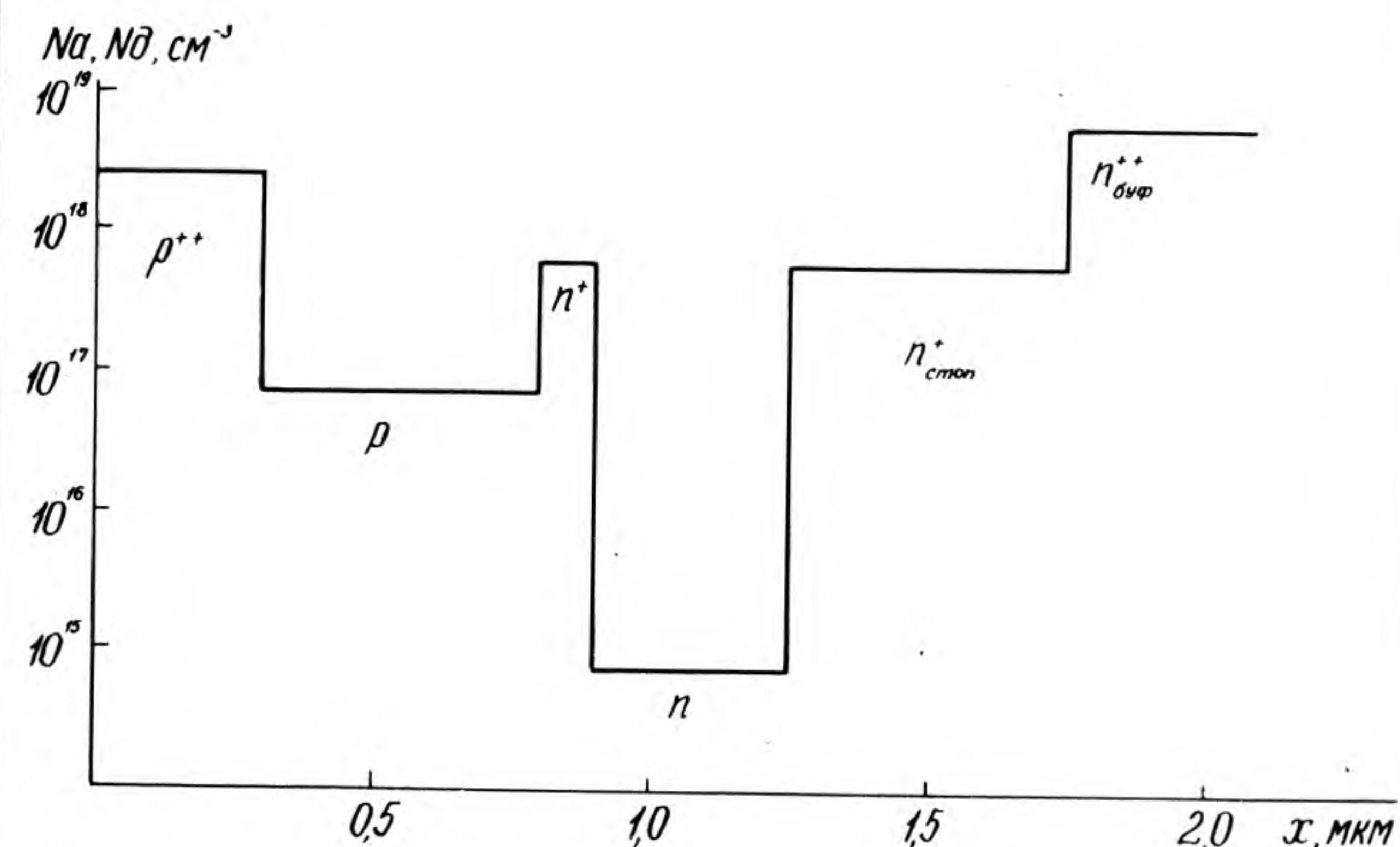


Рис. 3. Профиль легирования ЛПД

Один из основных путей повышения выходной мощности ЛПД — увеличение мощности рассеяния без увеличения температуры перегрева $p-n$ -перехода. Очевидно, что увеличение мощности рассеяния может быть достигнуто за счет снижения теплового сопротивления.

Для снижения R_T использована топология кристалла с 4-мя параллельно работающими диодными структурами, расположенными по углам квадрата со стороной «а». Расчет теплового сопротивления произведен по методу тепловых эквивалентов [8] с учетом взаимодействия тепловых потоков, вытекающих из каждой структуры, и влияния границ кристалла. Результаты расчета 4-элементной структуры дисковой (диаметром 50 мкм) и кольцевой (ширина кольца 15 мкм) геометрии для различных расстояний между структурами приведены в таблице (размер кристалла 500×500 мкм).

Тепловое сопротивление (R_T , °C/Вт) при различных размерах кристалла

Структура	100 мкм	150 мкм	200 мкм	250 мкм	300 мкм	350 мкм
Дисковая	14,2	13,2	12,7	12,3	12,1	11,8
Кольцевая	—	12,8	12,2	11,8	11,5	—

Четырехэлементные кольцевые структуры дают весьма незначительный выигрыш в величине R_T , а технически сделать такие структуры значительно сложнее, чем дисковые. Выбор был остановлен на 4-элементной дисковой структуре с диаметром диска 50 мкм и расстоянием между элементами 150 мкм.

Технологическая схема изготовления кристалла представлена на рис. 4. Готовая диодная матрица заключается в корпус коаксиальной конструкции с рубиновым диэлектрическим кольцом (рис. 5).

В режиме автономного генератора выходная непрерывная мощность диодов составляет 1—1,5 Вт при КПД 10—15% на частотах 34—37 ГГц. При $P_{\text{вых}} = 1,4$ Вт на частоте 35,5 ГГц КПД составил 15,6% и при $P_{\text{вых}} = 1,7$ Вт на частоте 33 ГГц — 18,9%. Исследования показали, что при использовании этих диодов в импульсном режиме при длительности импульса $\tau = 4$ мкс и скважности $Q = 5$ можно поднять уровень выходной мощности до 2—2,3 Вт при КПД 17—18,3%.

Спектральная плотность амплитудно-модулированного шума S_a двухпролетных ЛПД на арсениде галлия составляет — (150—155) дБ/Гц при частоте отстройки $F = 5$ кГц и $S_a = -(160—165)$ дБ/Гц при $F = 200$ кГц. Подробно шумовые свойства этих приборов описаны в работе [9].

При исследовании усилительного режима разработанных диодов применялся модуль, содержащий коаксиальный резонатор, внутренний стержень которого пересекает волновод с уменьшенной более чем вдвое высотой. Диапазонные характеристики модулей исследовались в диапазоне 34—37 ГГц. Типичная характеристика представляет собой однопиковую кривую с максимумом усиления $K_{pm} = 5$ дБ при выходной мощности 1,3 Вт, при этом полоса, определенная по уровню $P_{\text{вых}} = 1$ Вт, составляет 1,25 ГГц. Интересен характер изменения вида диапазонных характеристик модулей при увеличении уровня входной мощности. Наблюдается равномерное снижение величины K_p без существенного изменения положения максимума на кривой $K_p(f)$. Это свидетельствует о том, что рост амплитуды СВЧ напряжения на диоде дает снижение отрицательного сопротивления диода и незначительно влияет на реактивную составляющую его импеданса.

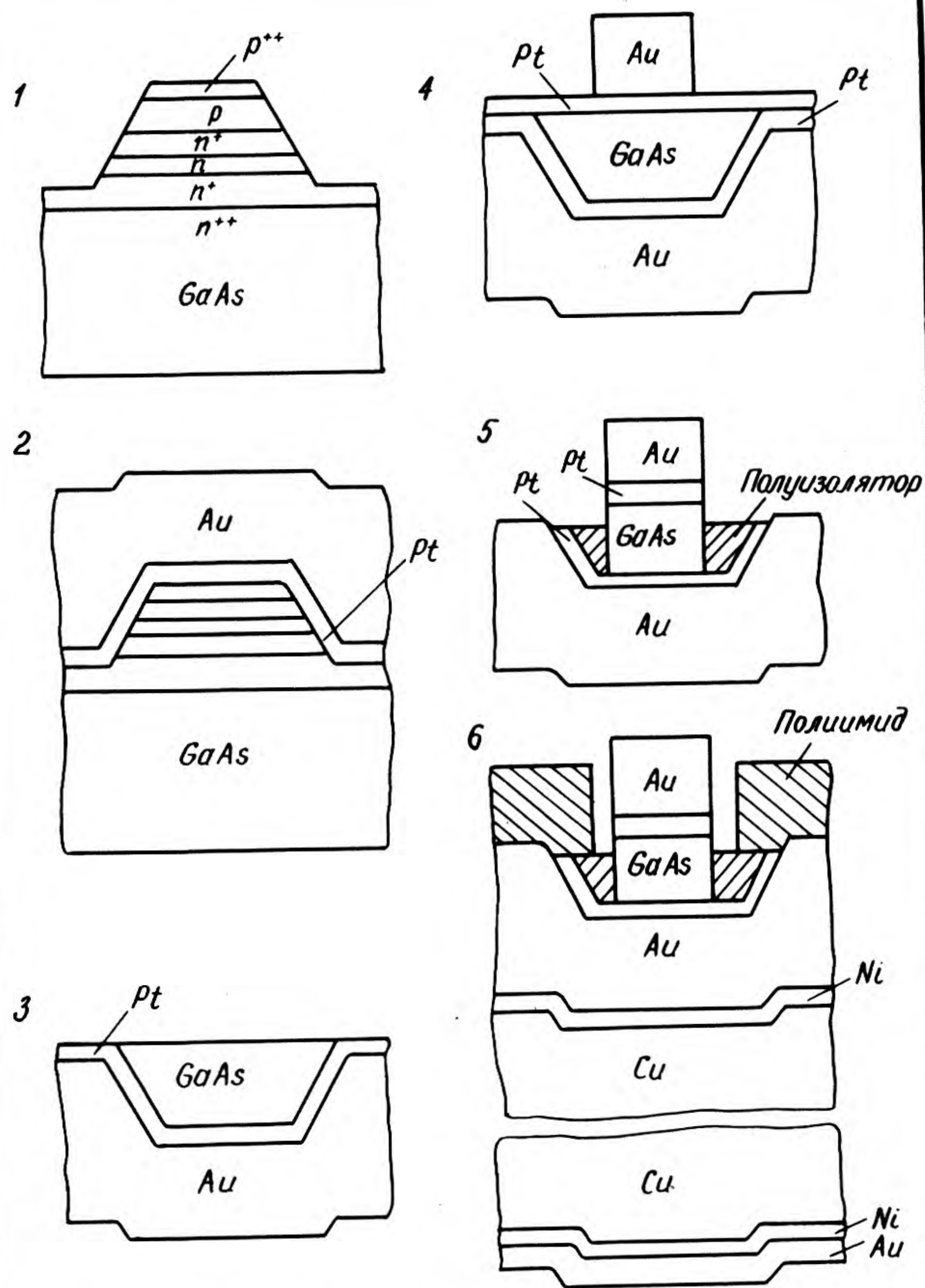


Рис. 4. Последовательность технологических процессов при изготовлении кристалла

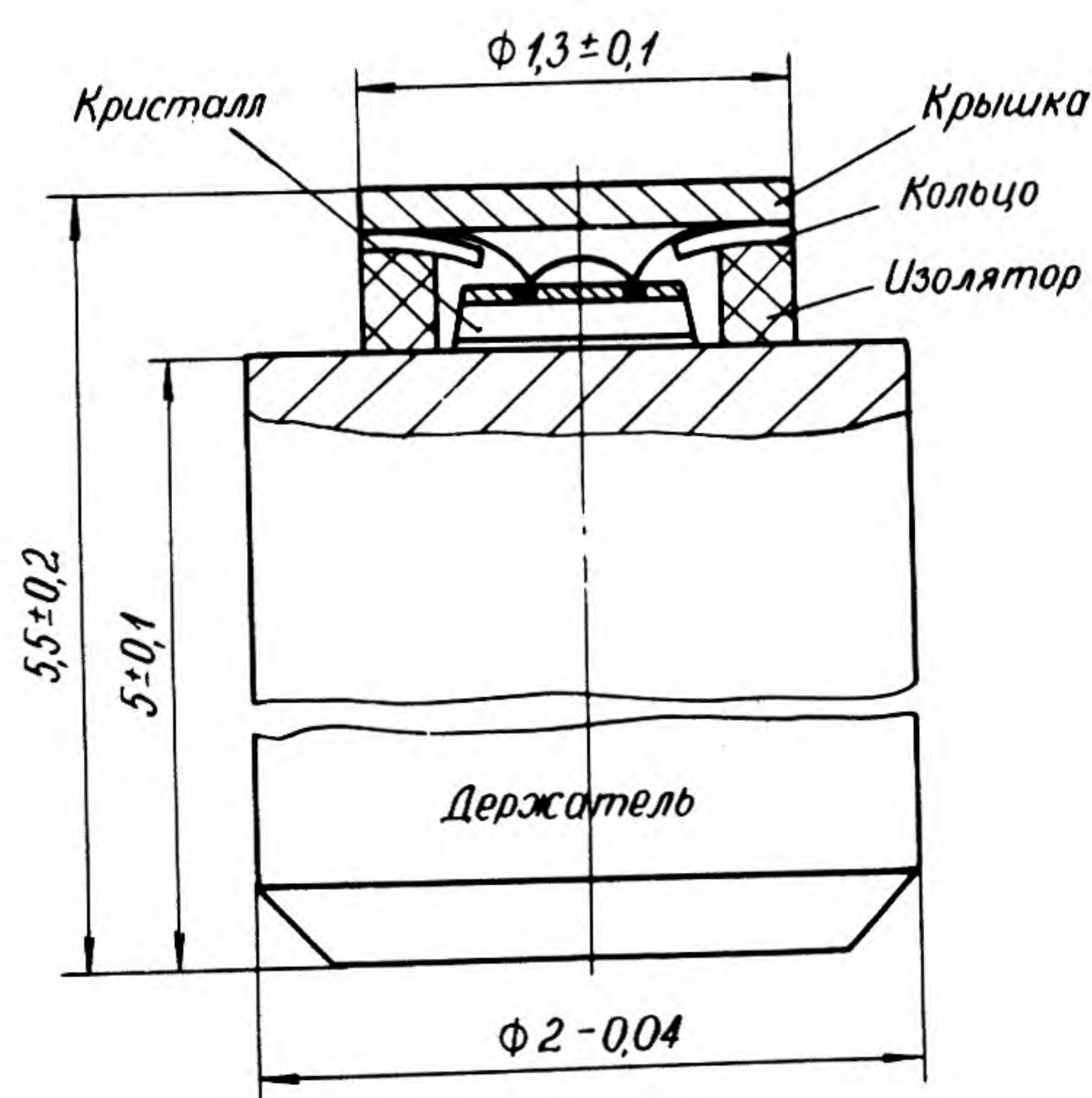


Рис. 5. ЛПД в сборке

ЛИТЕРАТУРА

1. Enguist P., Hutchby J.A., Deleon T.J. Growth and diffusion of abrupt zinc profiles in gallium arsenide and heterojunction bipolar transistor structures grown by organometallic vapour phase epitaxy.— J. Appl. Phys., 1988, N 63(9), p. 4485—4493.
2. The control and modeling of doping profiles and transients in MOVPE growth/T.F.Kuech, P.J.Wang, M.A.Tischler et al.— J. Crystal Growth, 1988, N 93, p. 624—630.
3. Lewis C.R., Dietze W.T., Ludowise M.J. The growth of magnesium-doped GaAs by the OMVPE process.— J. Electron. Mater., 1983, vol. 12, N 3, p. 507—524.

4. Roentgen P., Beneking H. Comparison between Zn and Mg doping in organometallic GaAs for growth of ultra thin multilayers.— Inst. Phys. Conf. Ser. N 79, ch. 3, p. 145—150.— Paper presented at Int. Symp. GaAs and Related Compounds, Karuizawa, Japan, 1985.

5. Magnesium doping of $(Al_x Ga_{1-x})_{0.5} In_{0.5} P$ by metalorganic chemical vapour deposition/I.Hino, A.Gomyo, S.Kawata et al.— Inst. Phys. Conf. Ser., N 79: ch 3, p. 151—156.

6. Abrupt p-type doping transitions using bis (cyclopentadienyl) — magnesium in metal-organic vapor phase epitaxy of GaAs.— J. Electron. Mater., 1988, vol. 17, N 4, p. 311—314.

7. Г а р б е р Г.Э. Метод расчета СВЧ-параметров лавинно-пролетных диодов миллиметрового диапазона.— Автоматика, 1988, вып. 3, с. 25—28.

8. З а х а р о в А.Л., А с в а д у р о в а Е.И. Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов. Метод эквивалентов.— М.: Радио и связь, 1983.— 184 с.

9. Флуктуации в генераторах на арсенидгаллиевых лавинно-пролетных диодах миллиметрового диапазона волн/С.А.Корнилов, К.Д.Овчинников, Л.С.Сибирцев и др.— Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1989, вып. 3, с. 20—26.

Статья поступила 18 декабря 1989 г.

УДК 621.38.323.029.64:621.793.162

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ GaAs ДЛЯ СВЧ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

канд.техн.наук, ст.науч.сотр. А.Л.Филатов,
канд.техн.наук, ст.науч.сотр. Г.Ф.Лымарь,
ст.науч.сотр. Л.А.Дубровская,
науч.сотр. А.А.Захаров, А.Е.Шубин

Разработанный метод получения эпитаксиальных слоев по МОС-гидридной технологии в системе с пониженным давлением перспективен для получения полевых структур со сверхтонкими сильнолегированными слоями и изготовления δ -легированных слоев.

Разработка малошумящих полевых СВЧ транзисторов требует создания новых типов эпитаксиальных структур арсенида галлия (ЭСАГ) и ужесточения норм разброса их параметров.

Для улучшения шумовых и усилительных свойств СВЧ полевых транзисторов необходимо уменьшение длины затвора, однако это сопровождается рядом отрицательных эффектов — увеличением паразитного сопротивления затвора ($C_3 \sim L_3$) и коэффициента стоячей волны по напряжению из-за уменьшения емкости затвора ($C_3 \sim L_3$), появлением так называемых короткоканальных эффектов, сопровождающихся потерей управляемости (уменьшением крутизны и увеличением выходной проводимости стока).

Подавление короткоканальных эффектов возможно при сохранении высокого отношения длины затвора к толщине канала ($L_3/d_k \geq 3$), что обеспечивается созданием ЭСАГ с более тонкими высоколегированными активными слоями. При уменьшении толщины активного слоя не только снижается влияние короткоканальных эффектов за счет увеличения крутизны и уменьшения стоковой проводимости, но и возрастает удельная емкость затвора, что позволяет получить необходимую для данного диапазона частот емкость C_3 при меньшей ширине затвора, уменьшить длину от-

дельных пальцев и их сопротивление, а также сократить число токоведущих дорожек и их паразитную емкость.

Снижение величины сопротивления истока требует повышения проводимости контактного слоя и достигается повышением уровня легирования без увеличения доли неионизированной примеси.

Рабочая точка малошумящего транзистора обычно находится вблизи отсечки. Неперекрываемая часть канала составляет 5—10 нм, поэтому ток идет фактически в переходном слое между каналом и буферным слоем. Для уменьшения эффекта управления через подложку и снижения проводимости области стока необходим сильно компенсированный буфер. Наличие примесей с глубокими уровнями приводит к снижению дрейфовой скорости электронов в переходном слое и, как следствие, к уменьшению крутизны. Поэтому буферный слой должен обладать противоречивыми характеристиками — иметь хорошие изолирующие свойства и в то же время не служить источником рассеивающих центров для переходной области активного слоя.

Таким образом, создание эпитаксиальной структуры для малошумящего полевого транзистора можно представить как типичную задачу многофакторной оптимизации процесса наращивания.

Эпитаксиальные тонкослойные структуры с сильнолегированным активным слоем изготавливались по МОС-гидридной технологии в системе с пониженным давлением.

Источниками ростовых веществ служили эфират триметилгаллия (ЭТМГ) и 10%-ная смесь арсина с водородом. Легирование активных слоев осуществляли кремнием из разбавленного аргоном силана, а контактный слой легировали оловом с использованием тетраэтилолова. Полуизолирующие подложки арсенида галлия с ориентацией (100) и отклонением 3° к $\langle 110 \rangle$ имели удельное сопротивление 10^7 — 10^8 Ом·см. Подложкодержатель в виде массивной графитовой пирамиды, помещенной в вертикальную кварцевую трубу, нагревался с помощью высокочастотного излучателя. Температура наращивания составляла 500—530°C, что на 70—90°C ниже температуры проведения этого процесса при нормальном давлении.

Полуизолирующий буферный слой с концентрацией носителей менее $1 \cdot 10^{14}$ см⁻³ получен без специального легирования. Для этого наращивание осуществляли при давлении в реакторе менее 4 КПа, в поле тлеющего плазменного разряда, генерированного высокочастотным полем нагревателя. Пробивное напряжение полученных слоев достигало 400 В. Концентрация глубоких центров в таком материале не превышала 10^{15} см⁻³, поэтому при дальнейшем наращивании активного слоя не наблюдалось обогащение переходной области буфер-активный слой примесями с глубокими уровнями, служащими центрами рассеивания.

Перед наращиванием активного слоя, как и перед последующим наращиванием контактного слоя, проводили прерывание процесса роста путем прекращения подачи ЭТМГ в реактор. Отжиг поверхности предыдущего слоя в присутствии арсина и легирующей примеси способствует упорядочению границы раздела, ее планаризации и позволяет снизить протяженность переходных областей (химических концентрационных переходов) до размеров дебаевского размытия. Для получения активных слоев с высокой подвижностью электронов при уровне легирования $(3-8) \cdot 10^{17}$ см⁻³ проведена оптимизация сочетания величин содержания ЭТМГ и соотношения арсин/ЭТМГ в газовой фазе, давления в реакторе и скорости вакуумной протяжки. Слои с номиналом толщины менее 100 нм наращивали со скоростью порядка 10 нм/мин. Разброс концентрации электронов и толщины слоев по площади структур

Измеряемый параметр	Номера и обозначения эпитаксиальных структур GaAs										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	САГ2БК ЭМ-52	САГ2БК ЭМ-57
R , Ом/кв. см	58—70	65—70	50—60	36—41	45—50	53—60	53—65	35—40	38—46	170	140
ρ , 10^{-4} Ом·см	3,8—7	7,8—8	7,5—9	5,5—7	6,75—7,5	7,4—8,4	7,4—9	4,9—5,6	4,9—6	30	21

составил менее 8%, как и в пределах партии с одного яруса загрузки.

При легировании контактных слоев кремнием до концентрации свыше $(2-3) \cdot 10^{18}$ см⁻³ вследствие политропии кремния наблюдается резкое снижение подвижности электронов и возрастание удельного сопротивления слоев. Замена кремния оловом позволила осуществить воспроизводимое легирование до концентраций выше $1 \cdot 10^{19}$ см⁻³ и получить контактные слои с удельным сопротивлением менее $5 \cdot 10^{-4}$ Ом·см. Повышение проводимости контактных слоев дало возможность снизить номинал их толщины. Благодаря этому в технологии самосовмещения уменьшилась глубина травления канала и соответственно боковое растравливание, которое определяет сопротивление наиболее высокоомного участка канала в зазоре исток-затвор.

Оптимизация разработанного процесса изготовления ЭСАГ позволила значительно повысить точность воспроизведения номинальных параметров и их однородность по площади структур, что упростило выполнение технологических операций при изготовлении транзисторов и способствовало увеличению выхода годных приборов.

Результаты измерения поперечного сопротивления (R_s) и удельного сопротивления слоев приведены в таблице. Для сравнения в той же таблице приведены R_s серийных эпитаксиальных структур САГ2БК, изготовленных на установке ЭМОС. Обследование проводилось по методике, основанной на измерении сопротивлений в модели трансмиссионной линии.

Расчет части сопротивления области истока, определяющей потерями на контактах и на сверхсильнолегированной части зазора исток-затвор, показал, что эта составляющая в 3—4 раза меньше у экспериментальных ЭСАГ по сравнению с достигаемыми на серийных структурах результатами.

На основе экспериментальных структур по самосовмещенной технологии изготовлены малошумящие полевые транзисторы с длиной затвора 0,25 мкм и шириной 60, 300 и 420 мкм, которые были измерены на частотах соответственно 37, 12 и 4 ГГц. Разработанная методика эпитаксиального наращивания перспективна для получения полевых структур со сверхтонкими сильнолегированными слоями и изготовления δ -легированных слоев.

Статья поступила 20 декабря 1989 г.

УДК 621.315.592:539.211

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ КОНТАКТОВ С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

канд. физ.-мат. наук А. П. Вяткин,
 науч. сотр. В. И. Кравцов, канд. физ.-мат. наук,
 ст. науч. сотр. Л. М. Красильникова,
 канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Н. К. Максимова,
 П. В. Панасенко, А. Г. Поздняков, В. И. Филатов,

Одним из базовых активных элементов арсенид-галлиевых ИС является полевой транзистор с барьером Шотки (ПТШ). В связи с тем, что в качестве верхней металлизации применяется золото, важно найти металл для электрода затвора, который мог бы предотвратить диффузию золота в арсенид галлия.

Эта проблема часто решается путем использования переходных металлов, считающихся инертными по отношению к GaAs.

Для ряда таких металлов (Ti, V, Hf, Mo, Re) выполнен комплекс исследований по влиянию межфазных взаимодействий в структурах Au/Me/GaAs и Au/Me₁/Me₂/GaAs, происходящих при напылении покрытий и в процессе термического отжига, на элект-

рические свойства контактов, их надежность. Нанесение металлов осуществляли на установке электронно-лучевого напыления, термообработку образцов проводили в атмосфере водорода в интервале температур 100—600°C в течение 10 мин. Элементный и фазовый состав контактов исследовался с помощью масс-спектрометрии вторичных ионов (МСВИ), электронной оже-спектроскопии (ЭОС), рентгеноструктурного анализа (РСА), электронографии на отражение (ЭГО), электронной микроскопии (ЭМ). Методики послойного анализа аналогичны описанным в работах [1, 2], структурные методы — в работе [3]. Измерение вольт-амперных характеристик в интервале температур 77—300 К осуществляли с помощью специально разработанного автоматизированного устройства [4]. Особое внимание уделялось анализу избыточных токов при малых прямых смещениях в области низких температур (77—150 К), поскольку их наличие свидетельствует о потенциальной ненадежности ПТШ.

Экспериментальные исследования показали, что одни металлы препятствуют проникновению золота

к поверхности полупроводника (Mo, Re), другие — нет (V, Ti, Hf). Структурно-фазовые превращения в контактах, содержащих переходные металлы с различными свойствами, исследовались на системах Au/Hf/GaAs и Au/Mo/Hf/GaAs.

При физическом анализе методом МСВИ в напыляемых металлических покрытиях наблюдаются ионы Ga_2^+ , т.е. можно предположить, что при напылении

происходит диссоциация GaAs и обратная диффузия Ga и, по-видимому, As. Кроме того в слоях переходных металлов присутствуют углерод и кислород. Форма и энергетическое положение оже-пиков кислорода соответствуют его связанному состоянию и свидетельствуют о наличии окислов. Наблюдается проникновение гафния в слой молибдена.

В системе Au/Hf/GaAs продукты термически стимулированных межфазных взаимодействий методами МСВИ и ЭОС наблюдаются при температуре 400—600°C, в системе Au/Mo/Hf/GaAs — при 500—600°C.

В контактах Au/Hf/GaAs фаза $AuGa_2$ проникает на глубину 1—1,8 мкм, т.е. золото диффундирует сквозь слой гафния, оттесняя при этом Hf к внешней поверхности и взаимодействуя с Ga (рис. 1).

В структуре Au/Mo/Hf/GaAs основную роль играет обратная диффузия Ga и As с образованием $AuGa_2$ вблизи поверхности в слое Au и фазы Mo—As (точная химическая формула не установлена) на границе Au/Mo. При температуре 600°C происходит размытие границы Hf/GaAs.

После термообработки во всех структурах переходным металлам сопутствуют углерод и кислород, при $T_{отж} \geq 350^\circ C$ формируется, по-видимому, диоксид HfO_2 , имеющий высокое электросопротивление.

Поверхность покрытий, не подвергнутых термической обработке, имеет ярко выраженную зернистую структуру (рис. 1, 2). Размер зерна в случае Au/Hf 0,1—0,3 мкм, на некоторых участках — 0,4—0,7 мкм (рис. 2,а). Рельеф Au/Mo/Hf — мелкодисперсный (размер зерна 0,1—0,15 мкм) и имеются скопления более крупных частиц (до 0,3—0,5 мкм), рис. 3,а. Перестройка структуры контактов начинается при 400°C: на поверхности Au/Hf видны ограненные кристаллы (рис. 2,б), на поверхности Au/Mo/Hf происходит укрупнение зерна (рис. 3,б). По мере повышения температуры отжига неоднородность рельефа усиливается (рис. 2,в—д, рис. 3, в,г). В образцах Au/Hf/GaAs наблюдаются включения размером ≤ 15 мкм, содержащие по данным ЭОС большое количество золота (по-видимому, $AuGa_2$) и проникающие в GaAs на глубину до 1,8 мкм.

Исследование термостабильности электрических характеристик диодных структур показывает, что в Au/Hf/GaAs при температуре 300°C, а в Au/Mo/Hf/GaAs при 350—400°C появляются избыточные токи в области малых прямых смещений, особенно заметные при низких температурах измерения (рис. 4). Природа такого рода аномалий ВАХ-диодов с барьером Шотки связана с наличием в контактах локаль-

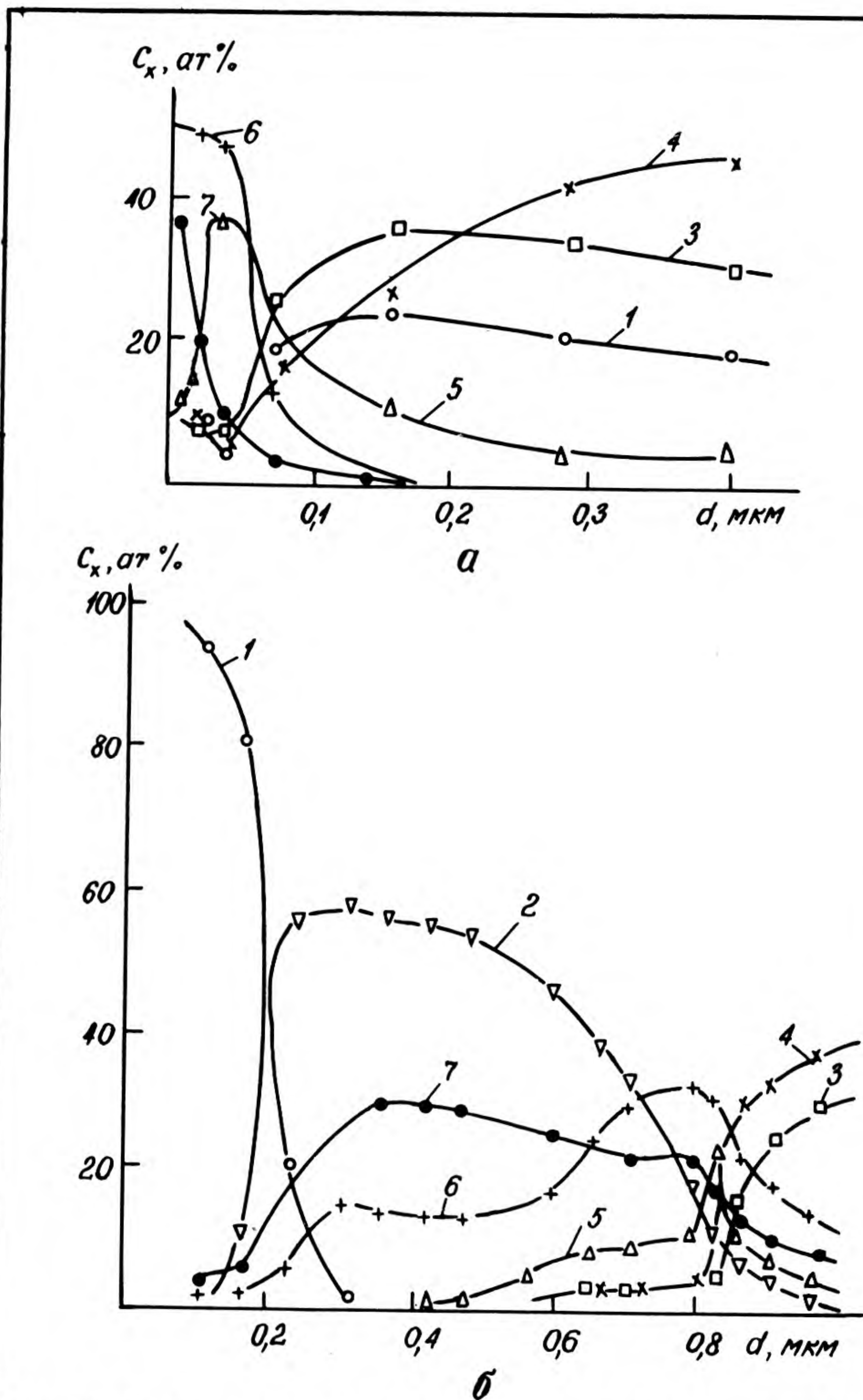


Рис. 1. Профили распределения концентрации элементов при послойном оже-анализе образцов Au/Hf/GaAs (а) и Au/Mo/Hf/GaAs (б), обработанных при 500°C: 1 — Au, 2 — Mo, 3 — Ga, 4 — As, 5 — Hf, 6 — O, 7 — C

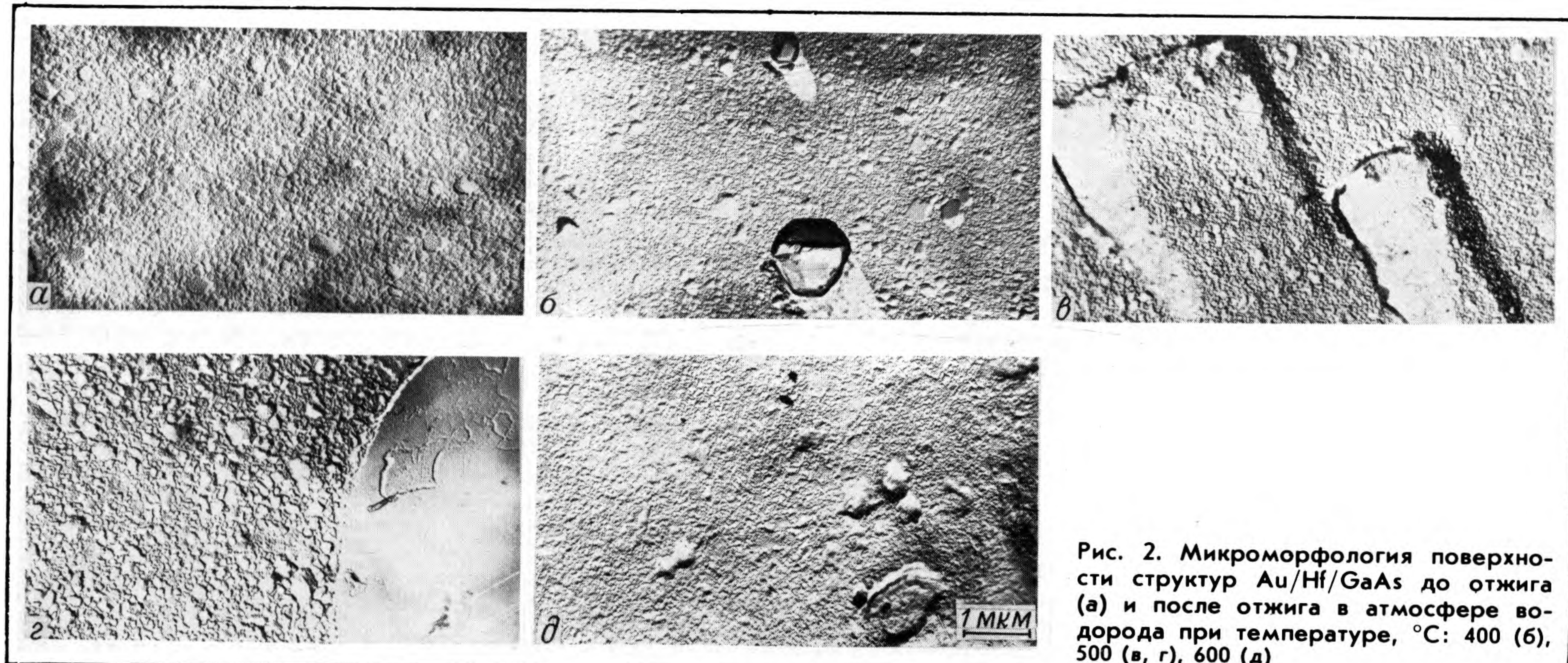


Рис. 2. Микроморфология поверхности структур Au/Hf/GaAs до отжига (а) и после отжига в атмосфере водорода при температуре, °C: 400 (б), 500 (в, г), 600 (д)



Рис. 3. Микроморфология поверхности структур Au/Mo/Hf/GaAs до отжига (а) и после отжига в атмосфере водорода при температуре, °С: 400 (б), 500 (в), 600 (г)

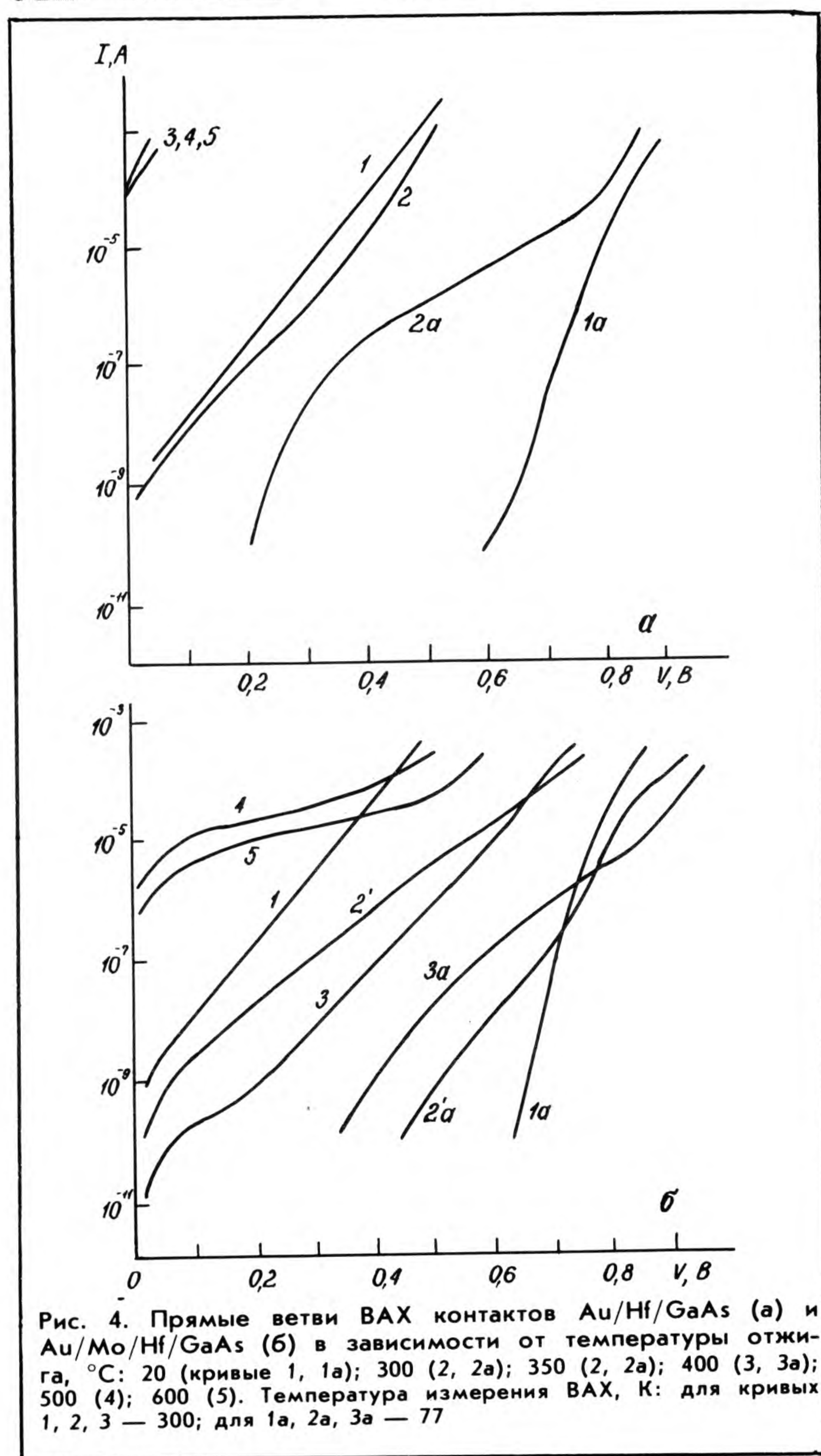


Рис. 4. Прямые ветви ВАХ контактов Au/Hf/GaAs (а) и Au/Mo/Hf/GaAs (б) в зависимости от температуры отжига, °С: 20 (кривые 1, 1а); 300 (2, 2а); 350 (2, 2а); 400 (3, 3а); 500 (4); 600 (5). Температура измерения ВАХ, К: для кривых 1, 2, 3 — 300; для 1а, 2а, 3а — 77

ных механических напряжений, сосредоточенных вблизи структурно-фазовых неоднородностей, имеющих в исходных контактах и развивающихся при термообработке. Эти напряжения, взаимодействуя с дефектами и примесями в полупроводнике, усиливают их неоднородное распределение [5].

В системе Au/Hf/GaAs роль концентраторов напряжений могут играть включения $AuGa_2$, формирование которых в наиболее дефектных участках возможно раньше, чем фиксируется МСВИ и ЭОС. Эти включения вызывают, по-видимому, искажение ВАХ при $T_{отж} = 300^\circ C$ и их деградацию при более высоких температурах.

В структурах Au/Mo/Hf/GaAs после отжига при температуре 350—400°C наблюдается изменение типовой ВАХ (рис. 3), характерное для контакта с тонким диэлектрическим зазором. Появление такого зазора обусловлено образованием диоксида HfO_2 , локализованного вблизи границы с GaAs. При этих же температурах в локальных участках начинается, по-видимому, диссоциация GaAs, обратная диффузия Ga и As и проникновение Mo и Hf в арсенид галлия. При повышении температуры отжига эти процессы становятся более интенсивными (фиксируются МСВИ и ЭОС), способствуют развитию трехмерной границы и деградации характеристик контактов (рис. 4, б).

Таким образом, использование переходных металлов в качестве затворных электродов обеспечивает устойчивость параметров полевых транзисторов Шотки только до температур 300—400°C. При более высоких температурах за счет локальных взаимодействий металлов с GaAs в наиболее дефектных участках развиваются структурно-фазовые неоднородности в контактом слое, приводящие к деградации электрических характеристик полевых транзисторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние подслоев Ga и As на структуру и свойства контактов Ni—GaAs/И.Д.Романова, Н.К.Максимова, Л.Ю.Потахова и др.— Изв. вузов. Физика, 1987, № 2, с. 46—51.
2. Процессы дефектообразования при межфазном взаимодействии в структурах металл—GaAs/А.П.Вяткин, В.И.Кравцов, Н.К.Максимова и др.— Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1988, вып. 1, с. 80—84.
3. Процессы твердотельной перекристаллизации в структурах Ni—GaAs, Pd—GaAs/Л.М.Красильникова, И.В.Ивоинин, М.П.Якубеня и др.— Изв. вузов. Физика. 1989, № 3, с. 60—65.
4. Ф и л о н о в Н.Г. Запись в полулогарифмическом масштабе вольт-амперных характеристик полупроводниковых структур.— ПТЭ, 1982, № 1, с. 216—217.
5. Упругая и пластическая деформация в структурах металл—GaAs/Н.К.Максимова, А.М.Мисик, Л.М.Красильникова и др.— Электронная техника. Сер. 6. Материалы, 1989, вып. 3, с. 24—28.

СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СЧЕТЧИКИ НА ОСНОВЕ GaAs

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
В.Н.Пархоменко, М.Ю.Родионов,
 канд. техн. наук, доц. **В.И.Суэтинов**

В схемах на D-триггерах с логическими элементами на полевых транзисторах с буферными каскадами и с истоково-связанными логическими схемами возможно получение максимальной рабочей частоты 1,8 ГГц.

Схемотехническими базисами быстродействующих GaAs схем являются логические элементы (ЛЭ) на полевых транзисторах с буферными каскадами (ЛБК) и истоково-связанные логические схемы (ИСЛ) [1, 2]. В ЛБК и ИСЛ для запираания управляющих транзисторов необходима специальная схема сдвига уровня, которая может быть выполнена на повторителях напряжения с диодами Шотки. В связи с этим для питания ЛЭ ЛБК и ИСЛ требуется два источника напряжения противоположной полярности.

Наиболее высокие скоростные характеристики ЛЭ на основе ПТШ реализуются в схемах с регулярной логической структурой, например в делителях частоты и двоичных счетчиках. Самым высоким быстродействием обладают динамические (регенеративные) делители частоты. Достигнутая максимальная рабочая частота таких схем на ЛБК при длинах затворов ПТШ 0,3 мкм составляет 20 ГГц [3]. В статических делителях частоты, которые нашли наибольшее применение, получена максимальная рабочая частота 15 ГГц при длинах затворов ПТШ 0,3 мкм [1].

Повышение этой величины у делителей частоты и двоичных счетчиков возможно за счет применения новых схемотехнических решений или уменьшения длин затворов ПТШ.

Разработанные двухразрядные двоичные счетчики построены на основе двух счетных триггеров с парафазным управлением. Для согласования внешних и внутренних логических уровней служат входные и выходные каскады. Буферные каскады повышают нагрузочную способность счетных триггеров. Каждый из них образован двумя D-триггерами с парафазным управлением. Ввиду того, что быстродействие двоичных счетчиков в основном определяется именно этими элементами, их анализу следует уделить особое внимание.

Электрические принципиальные схемы двух вариантов D-триггеров в базисе ЛБК и D-триггера в базисе ИСЛ представлены на рис. 1–3. Высокое быстродействие в схеме обеспечивается тем, что переключение всех D-триггеров происходит за время задержки распространения сигнала в одном ЛЭ. Недосток 1-го варианта D-триггера в базисе ЛБК [4] — высокая чувствительность к парафазности сигналов управления. При уровнях сигнала "лог. 0" на входах синхронизации или информационных входах происходит сбой в работе данного триггера. От этого недостатка свободен 2-й вариант D-триггера в базисе ЛБК [5]. Повысить быстродействие этих триггеров можно двумя способами: во-первых, применением разной ширины затвора в транзисторах, управляющих записью и хранением информации, что позволяет снизить чувствительность D-триггеров к парафазности сигналов управления; во-вторых, использованием одного диода в цепях сдвига логических уровней, что снижает логический перепад.

D-триггеры на элементной базе ИСЛ построены по типу двухъярусных ЭСЛ-схем [6]. При построении

этих триггеров использовались следующие схемотехнические решения: применение источников тока в качестве нагрузок, а также диодов, ограничивающих величину логического перепада, использование обратной связи для управления генератором тока, задающим суммарный ток плеч двухъярусного переключателя тока. Их реализация компенсировала более низкое значение крутизны полевых транзисторов, чем биполярных, и обеспечила поддержание управляющих транзисторов в активном режиме.

Наряду с обычным двухразрядным двоичным счетчиком в базисе ЛБК разработан двоичный счетчик в коде Джонсона. Составляющие его элементы, аналогичны элементам, на которых построен двухразрядный двоичный счетчик, и имеют те же функции.

Схемотехническое моделирование переходных процессов в схемах двоичных счетчиков с учетом их конструктивного исполнения проводилось с использованием САПР "Кулон-84". При моделировании использовалась математическая модель ПТШ, параметры

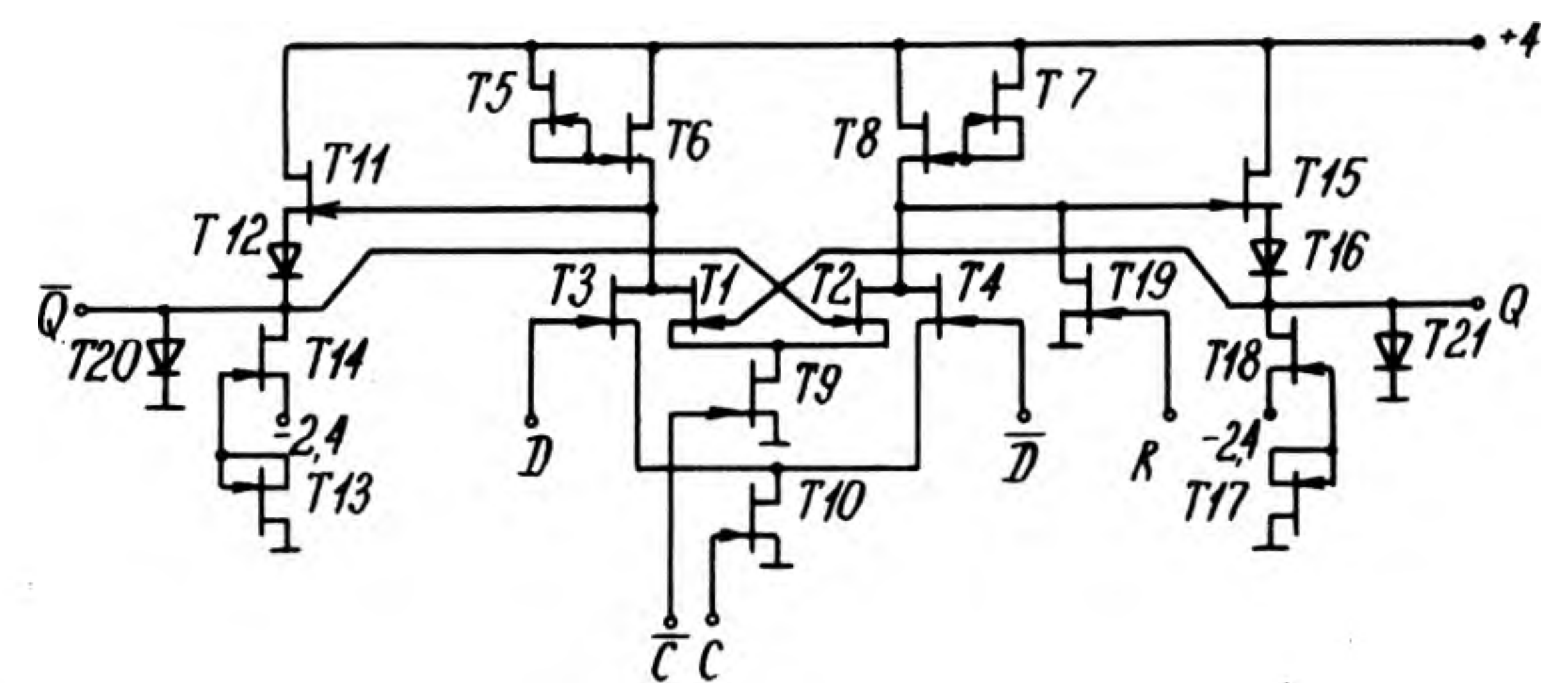


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема 1-го варианта D-триггера в базисе ЛБК

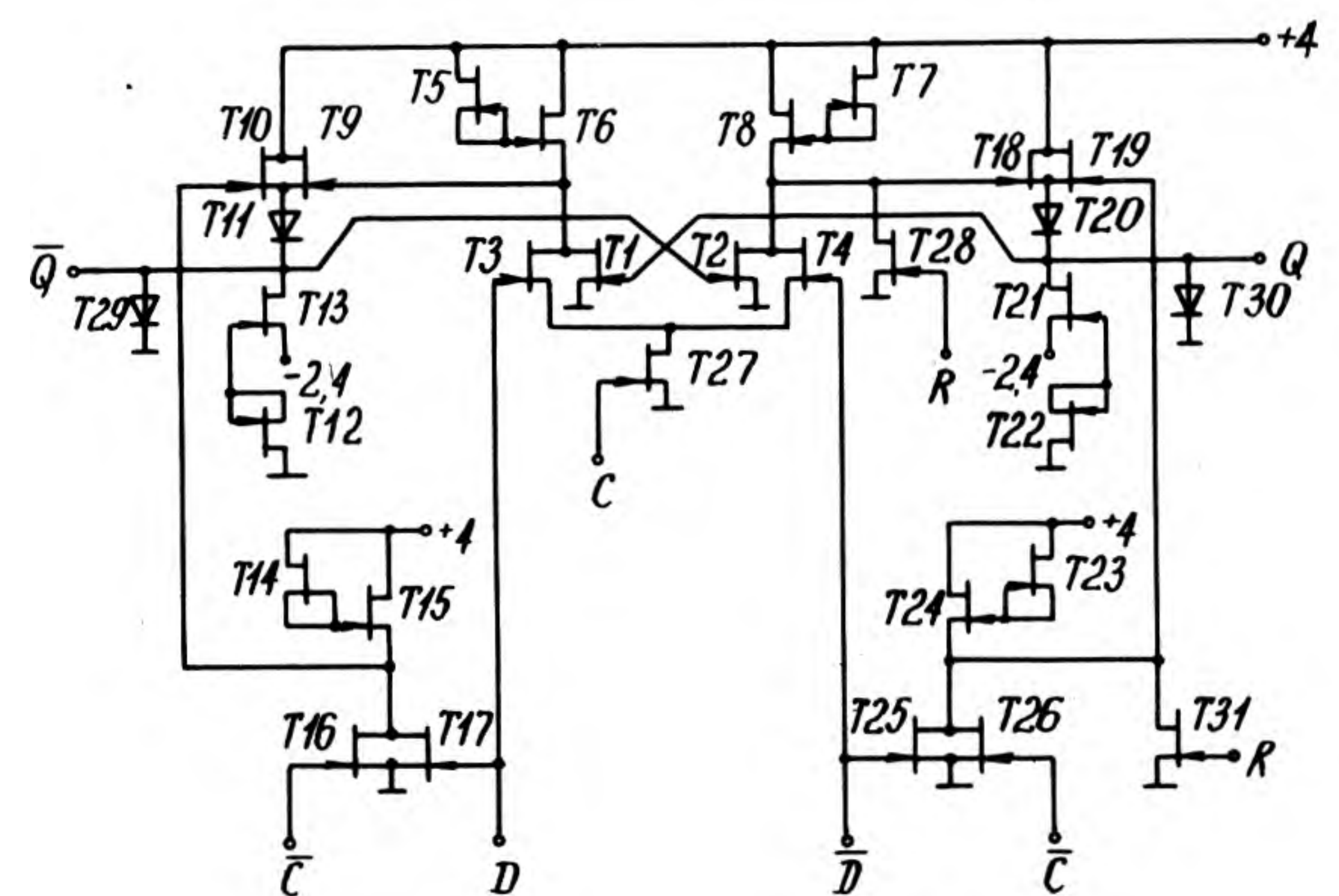


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема 2-го варианта D-триггера в базисе ЛБК

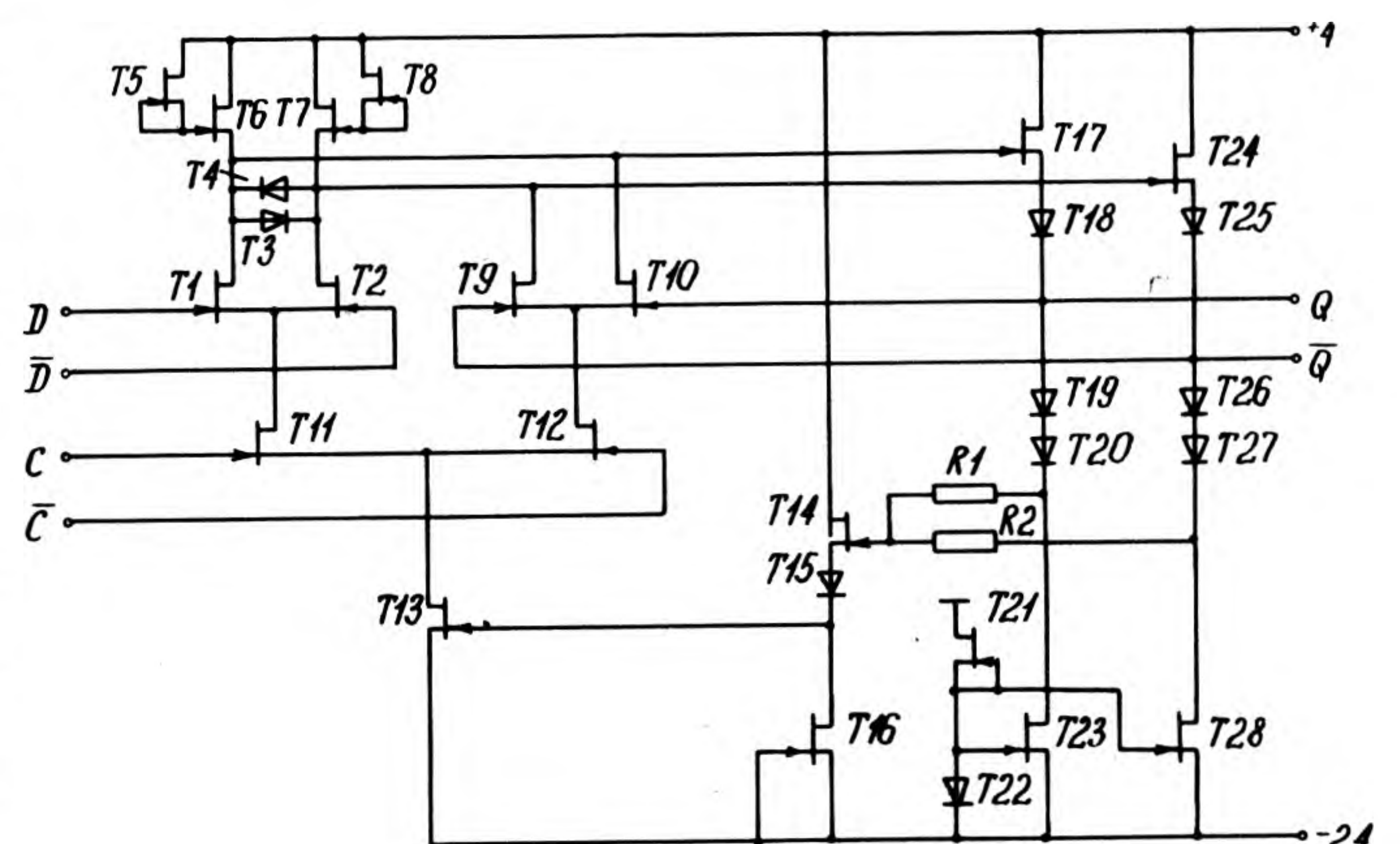


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема D-триггера в базисе ИСЛ

которой определялись по экспериментальным характеристикам приборов. При длине затворов 1,2 мкм эти параметры имели следующие значения: пороговое напряжение — 0,6 В, максимальный ток стока — 185 мА на 1 мм ширины затвора, напряжение насыщения — 0,65 В, средняя крутизна ВАХ — 120 мСм на 1 мм ширины затвора, боковая емкость обедненной области 5 пФ на 1 мм ширины затвора, максимальная емкость обедненной области — 40 пФ на 1 мм ширины затвора.

Моделирование показало, что максимальная рабочая частота двоичных счетчиков ограничена быстродействием входного транслятора, у которого на частотах, близких к максимальным, парафазность сигналов управления нарушается. При длинах затворов ПТШ, равных 1,2 мкм, расчетная величина максимальной рабочей частоты достигает 2,3 ГГц для счетчиков на основе ЛБК и 2 ГГц для счетчиков на основе ИСЛ при рассеиваемой мощности порядка 1 Вт.

Двоичные счетчики изготавливались с применением фотолитографии для формирования затворов ПТШ длиной 1,2 мкм и с применением электронно-лучевой литографии для формирования субмикронных затворов ПТШ длиной 0,6 мкм. Кристаллы счетчиков герметизировались в планарные металлокерамические корпуса типа 4118.24-1. Для проведения измерений корпуса помещались в контактирующее устройство с согласованными микрополосковыми линиями. На кристаллы подавались питающие напряжения +4 и -2, 4 В. Логические уровни на согласованных микрополосковых линиях составили 0,1 и 0,9 В.

Были реализованы схемотехнические варианты двоичных счетчиков, выполненные на основе ЛБК и ИСЛ. Измерения показали, что при длине затворов ПТШ, равной 1,2 мкм, максимальная рабочая частота двоичного счетчика с 1-м вариантом Д-триггера в базе ЛБК и Д-триггером в базе ИСЛ составила 1,8 ГГц, а при 0,6 мкм — 3,6 ГГц для ЛБК и 3,4 ГГц для ИСЛ. Счетчик со 2-м вариантом Д-триггера при длине затворов ПТШ, равной 1,2 мкм, показал максимальную рабочую частоту 1,5 ГГц. У двоичного счетчика в коде Джонсона с первым вариантом Д-триггеров в базе ЛБК при длине затворов ПТШ 1,2 мкм она составила 1,2 ГГц.

Быстродействие двоичных счетчиков на основе GaAs в значительной степени определяется быстродействием входных трансляторов. Снижение максимальной рабочей частоты в экспериментальных образцах по сравнению с моделированием на ЭВМ происходит из-за наличия паразитных реактивностей в корпусах микросхем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старосельский В.И., Суэтинов В.И. Сверхскоростные арсенид-галлиевые ИС на полевых транзисторах с затвором Шотки.— Зарубежная радиоэлектроника, 1988, № 7.
2. Арсенид галлия в микроэлектронике/Под ред. Н.Айнспрука, У.Уиссмана/Пер. с англ. под ред. В.Н.Мордковича.— М.: Мир, 1988.
3. 20 GHz dynamic frequency divider with GaAs advanced sient and airbridge technology/K.Ocafune, T.Enoki, M.Muraguchi, K.Ohwada.— Electron. Lett., 1987, vol. 23, N 6, p. 300—301.
4. GaAs ultra-high-frequency dividers with advanced sient FET's/K.Ocafune, T.Enoki, K.Irmasaki, K.Ohwada.— IEEE Trans., 1986, vol. MTT-34, N 12, p. 1528—1531.
5. А.с. № 1529418 (СССР). Статический D-триггер с парафазным управлением/Л.Н.Кравченко, В.И.Старосельский, В.И.Суэтинов, В.П.Тимошенко.— Оpubл. в Б.И., 1989, № 46.
6. Патент США № 4616189.

Статья поступила 4 июля 1989 г.



А. Л. Филатов — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории в НИИ "Пульсар". Окончил МЭИ, электромеханический факультет. Тема кандидатской диссертации: "Исследование вопросов конструирования современных германиевых усилительных маломощных ВЧ и СВЧ транзисторов". Имеет 70 печатных работ, 16 авторских свидетельств, 7 патентов. Круг научных интересов — в области материаловедения полупроводниковых приборов.



А. А. Удалов — инженер, работает в НИИМЭ им. Ф. В. Лукина. Окончил МИЭТ в 1982 г. по специальности "Полупроводниковое и электровакuumное машиностроение". Занимается вопросами разработки технологии ИС на GaAs.



В. М. Вальд-Перлов — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории НИИ "Пульсар". В 1953 г. окончил радиофизический факультет Горьковского госуниверситета. Имеет около 70 печатных работ и 13 авторских свидетельств. Предмет исследований — твердотельная электроника СВЧ.



В. Н. Пархоменко — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИИМЭ. Закончил МФТИ в 1977 г. Диссертацию на тему "Исследование и оптимизация функциональных блоков сверхпроводниковых запоминающих устройств" защитил в 1980 г. Автор 9 научных работ, имеет пять авторских свидетельств. Занимается проектированием цифровых схем на GaAs.



М. Ю. Родионов — инженер, закончил МИЭТ в 1989 г. Тема дипломного проекта: "Схемотехническое проектирование и исследование сверхбыстродействующих ИМС счетных устройств на основе арсенида галлия". Место работы — НИИМЭ.



В. И. Суэтинов — кандидат технических наук, доцент, работает на кафедре физики и технологии ИМС в МИЭТе. В 1970 г. закончил МИФИ. В 1976 г. защитил диссертацию: "Разработка и исследование интегральных входных устройств стробоскопических преобразователей". Имеет 56 печатных работ, 25 авторских свидетельств. Круг научных интересов: вопросы разработки ИС на GaAs.



Л. С. Сибирцев — начальник сектора НИИ "Пульсар". Окончил факультет электронной техники МЭИ в 1962 г. Имеет около 50 печатных работ и 10 авторских свидетельств. Круг научных интересов — в области твердотельной электроники СВЧ.

А. Е. Шубин — ведущий инженер-технолог, работает в НИИ "Пульсар", Окончил МИТХТ им. М. В. Ломоносова, факультет технологии полупроводниковых материалов. Автор 20 печатных работ, имеет 8 авторских свидетельств. Занимается технологией полупроводников типа $A^{III}B^V$.



А. А. Захаров — научный сотрудник НИИ "Пульсар". Окончил МИРЭА, факультет электронно-квантовых приборов по специальности "инженер по полупроводниковым и микроэлектронным приборам". Опубликовано 19 научных работ, имеет два авторских свидетельства. Работает в области материаловедения полупроводников.

Л. Н. Кравченко — кандидат технических наук, начальник отделения в НИИМЭ им. Ф. В. Лукина. В 1971 г. защитил диссертацию на тему "Исследование возможности создания логических ИС на эффекте Ганна". Автор 123 научных работ, имеет четыре авторских свидетельства.



В. В. Курин — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, работает в НИИМЭ им. Ф. В. Лукина. Диссертацию "Особенности технологии изготовления биполярных ИС с диэлектрической изоляцией компонентов" защитил в 1984 г. Имеет 20 публикаций. Круг научных интересов — технология изготовления ИС на $GaAs$.

В. Л. Оплеснин — кандидат технических наук, начальник лаборатории, работает в НИИМЭ им. Ф. В. Лукина. "Разработка процессов получения эпитаксиальных слоев нитрида галлия" — тема кандидатской диссертации (1976 г.). Предмет исследования в настоящее время — технология изготовления приборов на арсениде галлия.



Б. А. Лапшинов — кандидат технических наук, старший преподаватель, работает в МИЭМ. Диссертацию по технологии обработки полупроводниковых структур импульсной термообработкой защитил в 1986 г. Опубликовано 20 работ. Область научных интересов — импульсная термическая обработка, оборудование и технология.

В. Б. Дружинин — научный сотрудник НИИ "Пульсар". В 1982 г. окончил инженерно-физический факультет Грузинского политехнического института им. В. И. Ленина. Автор 10 печатных работ и двух изобретений. Работает в области технологии полупроводниковых материалов $A^{III}B^V$.



Г. Г. Кирпиленко — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. В 1972 г. окончил МИЭТ. Кандидатскую диссертацию защитил в 1984 г. Имеет 25 печатных работ и два авторских свидетельства. Занимается исследованием физикохимии процессов в технологии ИС на материалах $A^{III}B^V$.

А. Б. Камнев — кандидат физико-математических наук, доцент, работает в МИЭМ. Тема кандидатской диссертации: "Потенциал взаимодействия атомов инертных газов". Автор 45 научных работ по импульсной термической обработке.



Г. Ф. Лымарь — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории в НИИ "Пульсар". Окончил физический факультет МГУ по специальности "физика". Автор 105 печатных работ, имеет 8 авторских свидетельств. Занимается вопросами материаловедения полупроводников.

Г. А. Александрова — кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИ "Пульсар". Физико-химический факультет МХТИ им. Д. И. Менделеева окончила в 1958 г. Имеет около 70 печатных работ и 11 авторских свидетельств. Занимается технологией полупроводниковых материалов.





Н. С. Самсонов — доктор технических наук, профессор, лауреат премии Ленинского комсомола, директор НИИ физических проблем им. Ф. В. Лукина, зав. кафедрой микроэлектроники МФТИ. Крупный специалист в области проектирования и физико-технических исследований сверхскоростных ИС. В последние годы занимается проблемами сверхпроводниковых электронных устройств, организацией экспериментальной базы для создания новых изделий микроэлектроники, много внимания уделяет подготовке научных кадров высокой квалификации, член редколлегии нашего журнала.

Э. А. Полторацкий — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. Окончил физический факультет МГУ в 1961 г. В 1987 г. защитил докторскую диссертацию по специальности "Физика полупроводников и диэлектриков". Имеет около 100 печатных работ и 30 авторских свидетельств на изобретения. Занимается вопросами разработки микроэлектронных устройств на материалах $A^{III}B^V$, в частности, созданием новой элементной базы ИС, интеграцией электронных и оптоэлектронных компонентов.



А. В. Емельянов — доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор. Работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина с 1970 г. В 1960 г. окончил МТХТИ им. Д. И. Менделеева. Докторскую диссертацию по специальности "Твердотельная электроника и микроэлектроника" защитил в 1985 г. Автор 150 печатных работ, имеет 50 авторских свидетельств на изобретения. Круг научных интересов: физико-химические основы создания микроэлектронных приборов и ИС.

Э. А. Ильичев — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. Факультет физической и квантовой электроники МФТИ окончил в 1974 г. Диссертацию по специальности "Физика полупроводников и диэлектриков" защитил в 1987 г. Имеет около 50 печатных работ и 20 авторских свидетельств. Круг научных интересов: исследование полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$, многослойных полупроводниковых структур.



Г. С. Рычков — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. В 1976 г. защитил диссертацию по специальности "Математическая кибернетика". Автор 60 печатных работ, имеет 25 авторских свидетельств. Круг научных интересов: качественная теория диффузионных уравнений; разработка ИС с большой степенью интеграции и с высоким быстродействием; новые подходы к разработке ССИС на базе квантовых ям.

П. Т. Лещенко — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. В 1982 г. окончил факультет физической и квантовой электроники. Диссертацию по специальности "Твердотельная электроника и микроэлектроника" защитил в 1989 г. Автор 17 печатных работ. Занимается разработкой физико-технологических аспектов микроэлектроники.



В. Н. Инкин — в НИИФП им. Ф. В. Лукина работает с 1977 г. Московский институт стали и сплавов по специальности "Физика металлов" окончил в 1971 г. Имеет 17 печатных работ и 19 авторских свидетельств на изобретения. Занимается вопросами разработки технологии производства ИС на материалах $A^{III}B^V$.

И. А. Ахинько — инженер, работает в НИИФП им. Ф. В. Лукина. Окончил Московский институт электронной техники по специальности "Электроника и автоматика" в 1986 г. Имеет 5 печатных работ и три авторских свидетельства. Круг научных интересов: разработка технологии ИС на соединениях $A^{III}B^V$.



УДК 621.3.049.77.002.72

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИС НА ОСНОВЕ ПРОВОЛОЧНОГО МОНТАЖА

В.А.Зенькович, В.Т.Кулешов, С.Б.Школьник

В области автоматизации сборочного производства ИС можно выделить три основных этапа развития.

Первый этап характеризовался созданием автономного автоматического оборудования, в котором была автоматизирована только основная технологическая операция. Оператор все еще являлся обязательным участником процесса производства, на его долю приходилось выполнение многочисленных вспомогательных операций, загрузка и разгрузка обрабатываемых изделий и контроль за работой систем оборудования. Но напряженность его труда в связи с введением систем технического зрения заметно уменьшилась, что создало возможность многопостового обслуживания. В дальнейшем с увеличением технического интеллекта оборудование оснащалось автодиагностикой неисправностей основных устройств, в первую очередь систем управления, но оператор по-прежнему обслуживал оборудование.

В этот период была создана первая полуавтоматическая установка термокомпрессионного присоединения выводов ИС ЭМ-490 (рис. 1), на базе которой разработан первый в отрасли полный автомат монтажа золотых выводов ЭМ-490Б (рис. 2). Параллельно разработано оборудование для ультразвукового присоединения алюминиевых выводов — полуавтомат ЭМ-4020 (рис. 3) и полный автомат ЭМ-4020Б (рис. 4). Операция монтажа кристаллов была автоматизирована в установке ЭМ-4085 (рис. 5).

Следующий шаг в развитии автоматического оборудования монтажа проволочных выводов — создание качественно нового автомата ЭМ-4060 (рис. 6), построенного на использовании линейных шаговых приводов, обеспечивших удвоение быстродействия по сравнению с автоматом ЭМ-490Б.

Второй этап автоматизации характеризуется образованием связи между оборудованием или объединением ряда последовательных операций через объединение серийных сборочных автоматов в автоматические сборочные участки («островки автоматизации»). Оборудование в этом случае оснащается автоматическими устройствами загрузки и разгрузки полуфабрикатов и накопительными устройствами для них с целью обеспечения непрерывного функционирования вне связи с работой автомата, выполняющего предыдущую операцию.

Сборочный участок соединяется с микроЭВМ, которая обеспечивает сбор

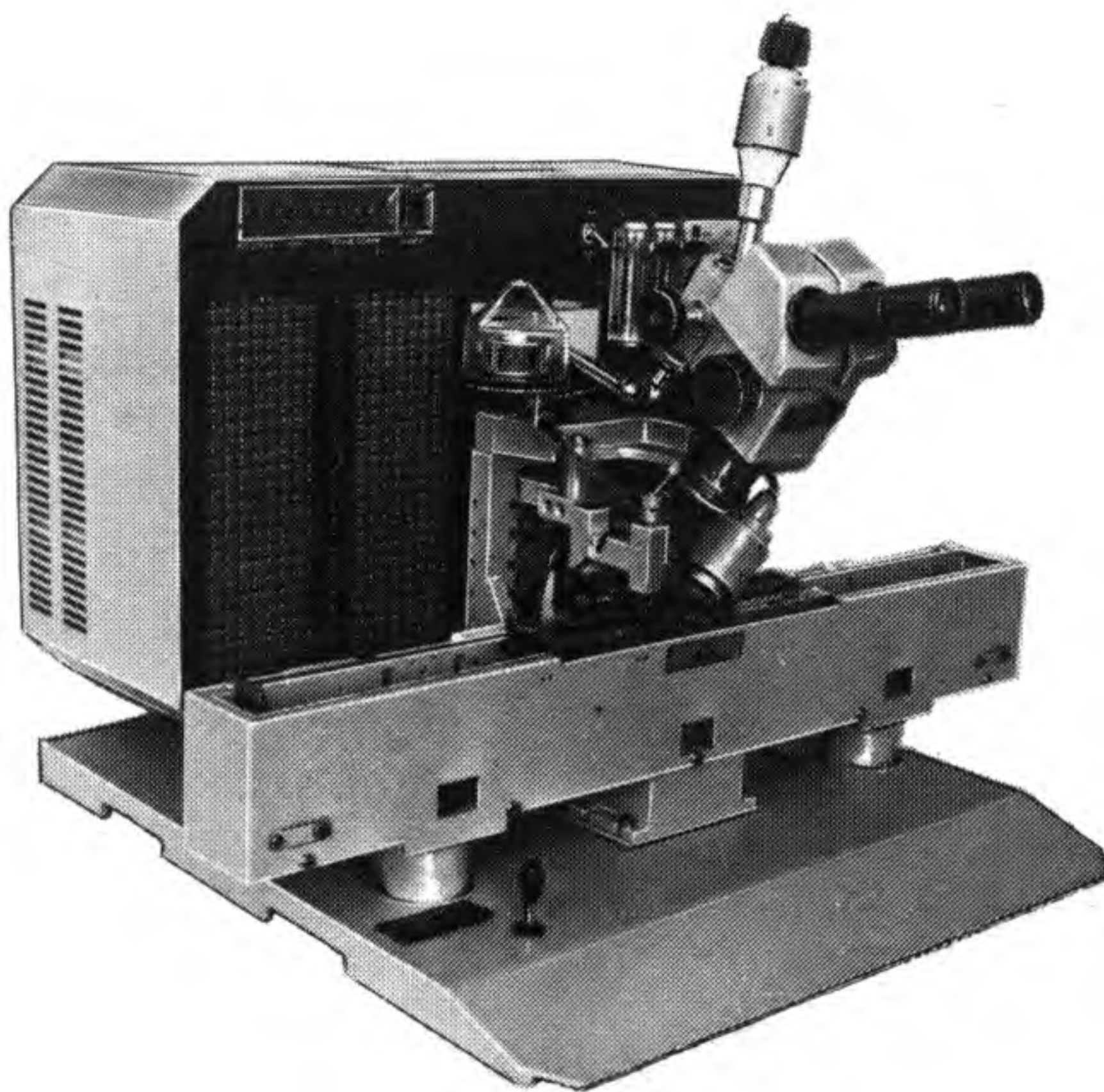


Рис. 1. Полуавтоматическая установка термокомпрессионного присоединения выводов ИС ЭМ-490

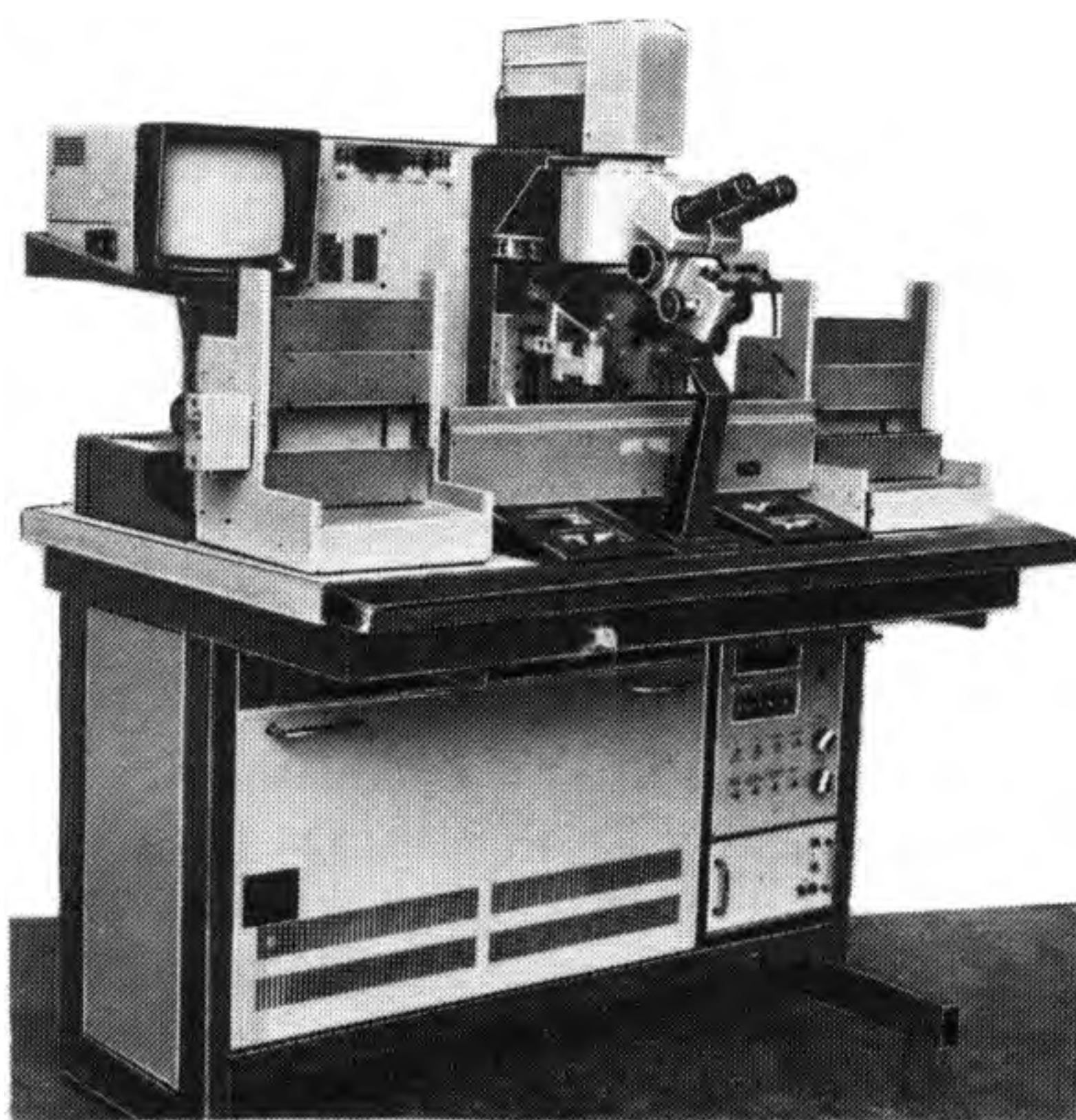


Рис. 2. Автомат монтажа золотых выводов ЭМ-490Б

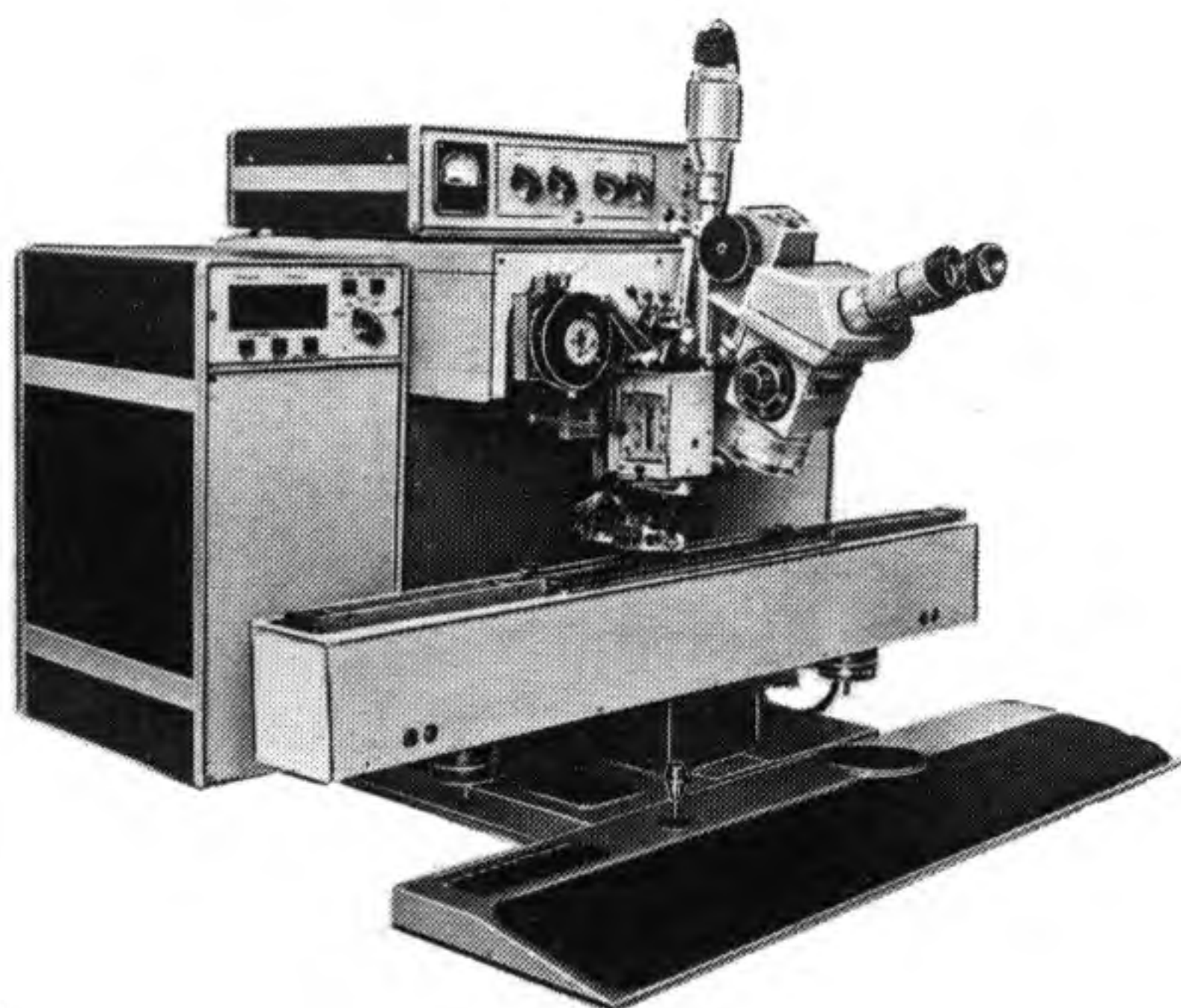


Рис. 3. Полуавтомат ультразвукового присоединения алюминиевых выводов ЭМ-4020

оперативных данных о прохождении обрабатываемых полуфабрикатов через определенные операции, о времени фактической работы оборудования и времени простоев, а также управление материальным потоком в случае использования роботизированных средств для загрузки и разгрузки. Кроме того, предусматривается получение информации об отклонениях от технологических режимов и автоматической диагностике отказов основных устройств. Все это увеличивает продолжительность работы оборудования, положительно влияет на качество выполнения технологических операций и позволяет сок-

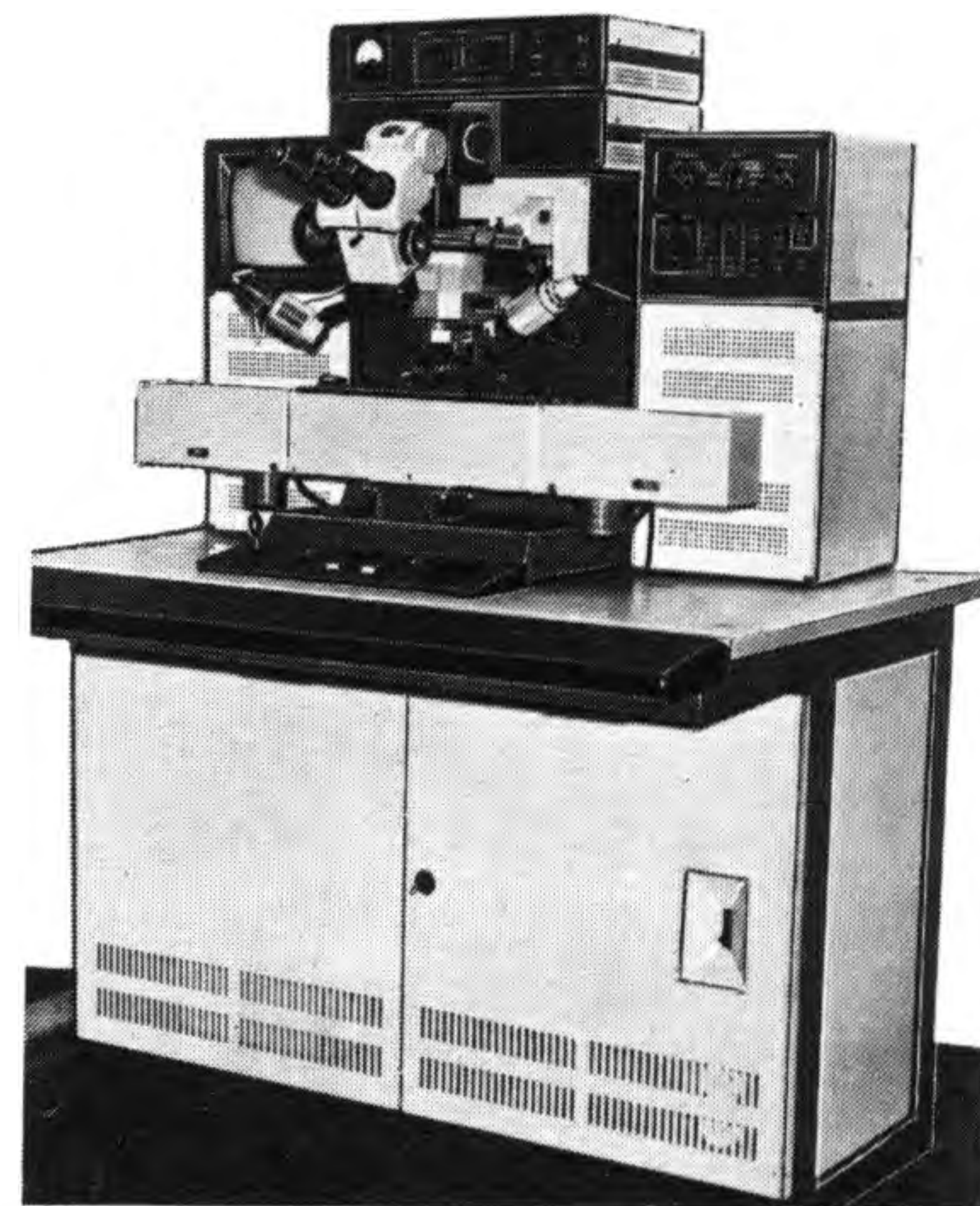


Рис. 4. Автомат ультразвукового присоединения алюминиевых выводов ЭМ-4020Б

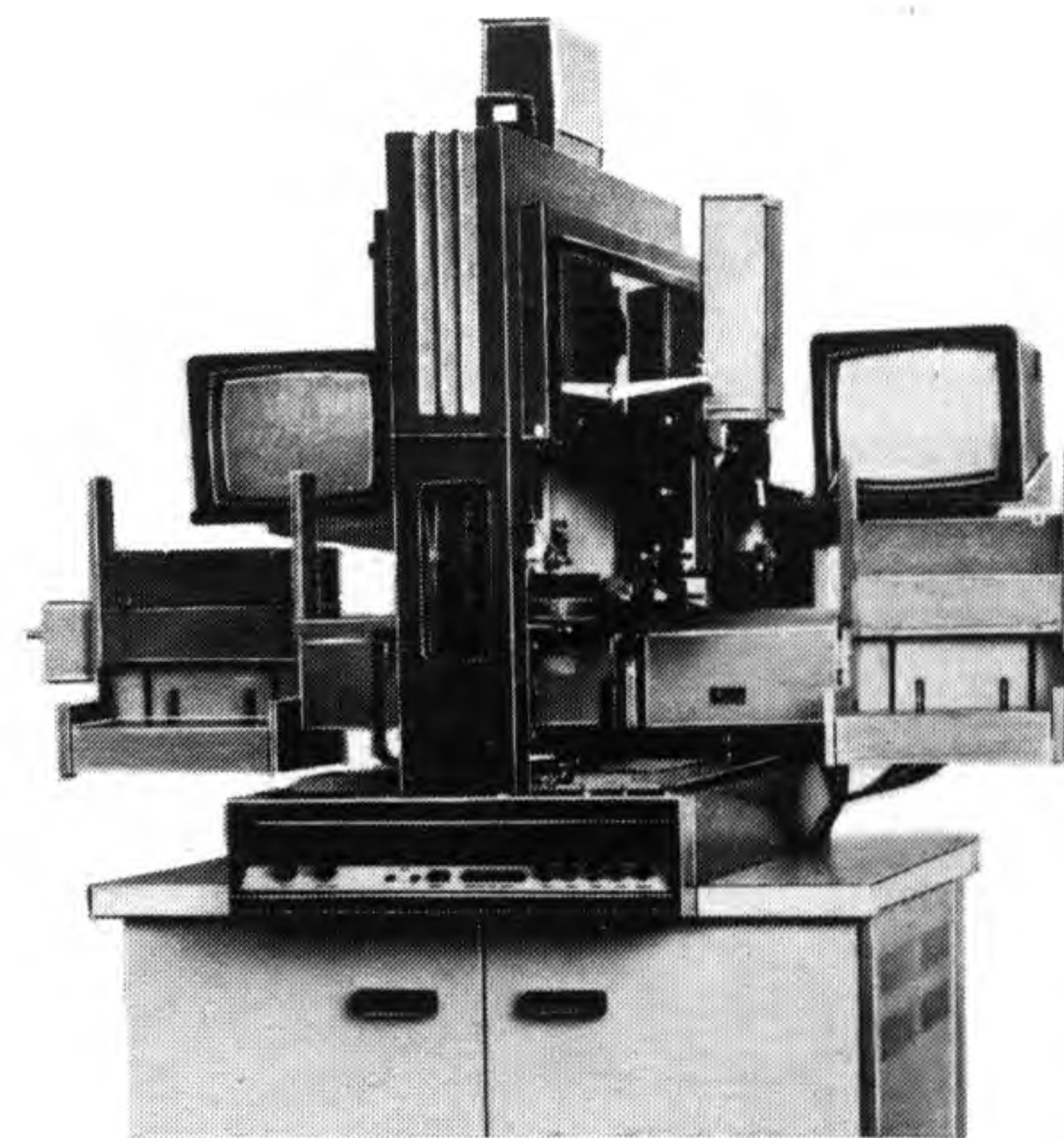


Рис. 5. Установка монтажа кристаллов ЭМ-4085



Рис. 6. Автомат монтажа проволочных выводов ЭМ-4060



Рис. 8. Линия сборки ИС в пластмассовых ДИП-корпусах

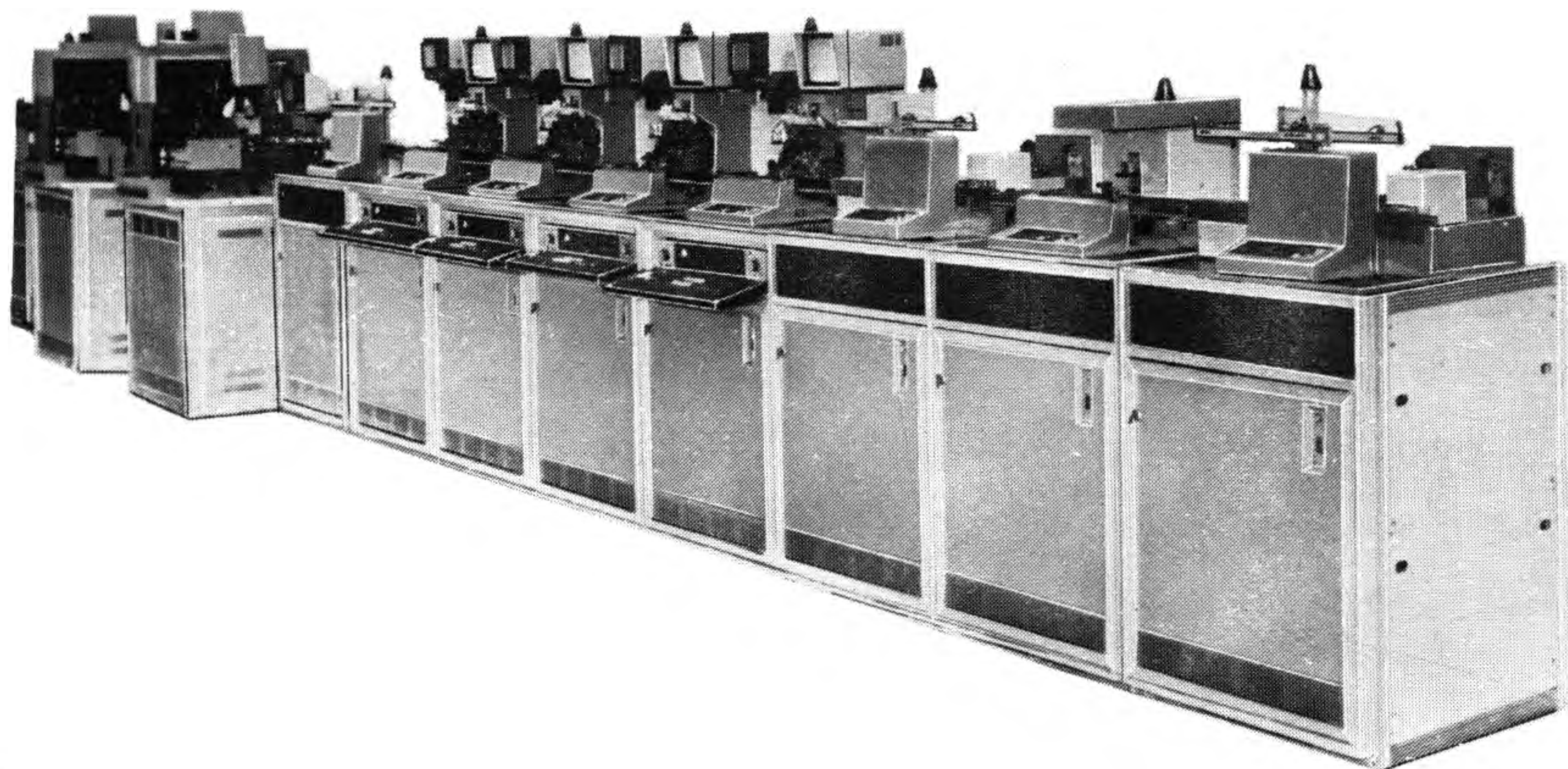


Рис. 7. Линия сборки ИС ЭМ-0403

ратить число операторов, работающих на таких участках.

При переходе от автономных автоматов к автоматизированным комплексам было опробовано два пути их построения: жестко связанные автоматические линии и несвязанные. Основная область применения жестко связанных линий — массовое изготовление ИС ограниченной номенклатуры. Наиболее известна линия мод. SIL-1001 фирмы Shinkawa (Япония), которая реализуется на следующих принципах: размещение оборудования в линейку, минимальное вмешательство оператора, управление с помощью компьютера, гибкость оборудования для ограниченного ряда изделий.

Разработана линия сборки ИС ЭМ-0403, выполняющая монтаж кристаллов, присоединение проволочных выводов и предварительную защиту (рис. 7). В линии использован принцип независимого функционирования оборудования. С этой целью группы автоматов монтажа кристаллов, присоединения проволочных выводов и предварительной защиты соединены между собой последовательно через межоперационный накопитель, а автоматы однофункционального назначения — по принципу параллельного

агрегатирования. Каждый технологический пост подпитывается отрезками выводных рамок по мере их обработки через единую транспортную ветвь. Линия имеет трехуровневую систему управления. На низшем уровне обеспечивается управление автоматами, выполняющими отдельные технологические операции. На следующем, более высоком уровне управления осуществляется взаимосвязь оборудования и определяется маршрут обрабатываемого изделия. Высший уровень управления относится к цеховой системе управления. Однако несмотря на обеспечение независимости работы технологических постов, линия обладает ограниченными возможностями в быстрой переналадке с одного типа обрабатываемого изделия на другой. По-видимому, время подобных линий уже прошло, и в настоящее время и в будущем будут создаваться гибкие несвязанные линии.

Примеры таких линий уже есть как в СССР, так и за рубежом. За рубежом по этому пути пошла фирма Kulicke and Soffa (США), разработав линию, управляемую компьютером с большой информационной насыщенностью. В линии предусмотрена общая связь с системой управления более высокого уровня. Фирма разрабо-

тала систему управления сборкой, которая регламентирует рабочий режим линии, режимы входа и выхода из работы, а также возможность анализа сообщений для обеспечения статистического контроля технологического процесса в реальном масштабе времени.

В отрасли создан участок автоматической сборки ИС в пластмассовых ДИП-корпусах. В составе участка функционирует линия (рис. 8) сборки мощностью 25 млн. ИС в год, которая построена по принципу так называемой несвязанной линии. Основу линии составляют гибкие производственные модули (ГПМ) монтажа кристаллов ЭМ-4085А и присоединения проволочных выводов ЭМ-4060-2, разработанные на базе серийного оборудования ЭМ-4085 и ЭМ-4060. ГПМ оснащены загрузочно-разгрузочными устройствами (ЗРУ) увеличенной емкости (3600 14—16-выводных рамок). Загрузка выводных рамок на оборудование и перемещение их в пределах линии осуществляются с помощью подвесного транспортного робота.

В оборудовании предусмотрены системы технического зрения для автоматического поиска годных кристаллов и автоматического совмещения сварочного инструмента с контактными площадками кристалла, цифровое управление перемещением исполнительных механизмов по координатам X, Y, Z, диагностические и тестовые программы, стандартный обмен сообщениями с ведущей ЭВМ, ЗРУ для подачи отрезков выводных рамок, а также межоперационная тара в виде кассеты с шестью двадцатиручьевыми контейнерами, причем кассеты сохраняют свои размеры при изменении размеров выводных рамок.

Автоматизированная система управления линии является многоуровневой иерархической системой управления. Низший уровень обеспечивает управление составными частями ГПМ, в частности, их ЗРУ. Следующий уровень осуществляет управление ГПМ в целом и его связь с транспортно-складской системой и цеховой ЭВМ. Два низших уровня реализованы на модулях микропроцессорной системы на базе микро-

процессора КР580ВМ80А, два последующих представлены мини-ЭВМ типа «Электроника 100-25». Связь между уровнями обеспечивается с помощью протокола логического обмена, эквивалентного стандартам связи оборудования для производства полупроводниковых изделий.

Система управления линии обеспечивает

- централизованное управление оборудованием: выбор конфигурации линии (числа и номенклатуры включаемых в состав линии модулей для обработки данной партии изделий), пуск и останов линии;

- управление материальными потоками полуфабрикатов и изделий;

- контроль за состоянием оборудования, учет причин и времени простоев;

- накопление и статистическую обработку результатов работы.

Хотя в разработанной линии сборки и в другом современном серийном оборудовании сокращено время на переналадку при смене обрабатываемого изделия (с помощью регулируемых ЗРУ), предусмотрено программирование параметров проволоочной петли и ввод данных о координатах сварных точек на кристалле и корпусе в режиме «самообучения», данное оборудование имеет еще недостаточную гибкость, что усложняет переход к изготовлению изделия другого типа. Даже при использовании регулируемых ЗРУ приходится затрачивать не менее 2—3 ч на переналадку. Еще сложнее переналадка автоматов монтажа на другой размер кристалла, когда кроме переналадки ЗРУ необходимо вручную заменить инструмент и корректирующие губки ориентатора кристаллов. При сегодняшнем состоянии производства это устраивает потребителей (такое положение характерно и для западных фирм), но в ближайшем будущем, когда безлюдные производства станут необходимостью, следует подойти по-новому к разработкам очередного поколения сборочного оборудования.

Третий этап автоматизации — современный период разработок. Он характеризуется, прежде всего, изменением подхода к приоритетам технических параметров. Если раньше первое место в перечне параметров неизменно занимала производительность, то на современном этапе, кроме того, должны быть обеспечены гибкость оборудования и надежность, так как снижение временных затрат, связанных с простоем оборудования, благодаря надлежащей гибкости и приемлемой надежности обеспечит весьма значительное повышение фактической производительности.

При создании оборудования нового поколения основное внимание будет уделено разработке методов и систем встроенного контроля параметров технологического процесса, повышению гибкости оборудования и транспортных средств, обслуживающих его, автоматизации вспомогательных операций, повышению быстродействия и точности приводов, повышению точности, быстродействия и достоверности показаний систем технического зрения и совершенствованию систем управления.

Сложные и меняющиеся условия сборки ИС требуют постоянного контроля режимов работы технологического оборудования. Без специализированных

управляющих систем технологиче не в состоянии установить оптимальный режим эксплуатации оборудования, что приводит к повышению брака и снижению производительности труда. Эта задача может быть решена путем разработки и внедрения автоматизированных систем контроля и управления технологическим процессом. Основная трудность при создании таких систем состоит в разработке алгоритмов контроля качества сварки и управления процессом. Для этого нужно установить количественную связь между прямыми показателями качества и параметрами режима сварки.

Разрабатываемое оборудование и создаваемые на его базе гибкие автоматические линии (ГАЛ) сборки обеспечат программируемый переход от одного типа изделия к другому при неизменном типе корпуса. Программирование будет осуществляться с поста управления ГАЛ или по каналу связи с цеховой ЭВМ. Изменение типа корпуса вызовет необходимость регулирования трактов ЗРУ ГПМ и замены кассеты с контейнерами для межоперационного перемещения корпусов ИС. Но использование большого числа двигателей и датчиков с целью решения этой задачи пока значительно усложнит ЗРУ и, как следствие, снизит их надежность.

Пост управления ГАЛ обеспечит гибкий ввод рабочих программ, исключив необходимость индивидуального программирования на каждом технологическом посту, а также управление межоперационным транспортным роботом с оптимизацией маршрутов обслуживания, выполнение функций диспетчирования, управления, сбора и анализа информации о прохождении технологического процесса, диагностику состояния оборудования.

Непрерывная работа автоматического оборудования невозможна без автоматизации вспомогательных операций (дозаправки проволоки в инструмент, замены инструмента и т.д.). Например, заправка проволоки, оборвавшейся в процессе выполнения межсоединений, производится в настоящее время оператором с помощью пинцета, занимает до 2—3 мин и в среднем может повторяться 10—15 раз в смену, приводя к значительному простоям оборудования. Поэтому автоматизация наиболее часто встречающихся вспомогательных операций в условиях безлюдного производства весьма актуальна.

С целью повышения быстродействия и точности приводов для сборочного оборудования в разрабатываемых образцах будет использоваться линейный шаговый двигатель (ЛШД) как привод, обладающий рядом конструктивных и технологических достоинств. Совершенствование этого хорошо зарекомендовавшего себя в условиях производства и эксплуатации привода намечено провести путем применения новых материалов, введения в систему управления обратной связи и разработки новой конструкции с обеспечением сквозного магнитного потока. Вместе с тем для отдельных исполнительных органов будет использован привод постоянного тока.

Системы технического зрения, став неотъемлемой составной частью современного автоматического сборочного оборудования, в значительной степени начали определять его основные пока-

затели: производительность, точность, процент брака. Совершенствуя алгоритмы обработки изображения и внедряя более быстродействующие микропроцессорные средства вычислительной техники, разработчики стремятся достичь повышения точности и быстродействия систем технического зрения, увеличения их адаптивности в условиях нестабильности светотехнических характеристик объектов. Существенно улучшить эксплуатационные характеристики оборудования должна автоматизация вспомогательных операций первичного обучения систем технического зрения по «эталонному объекту».

При сохранении выбранной концепции многоуровневой иерархической распределенной системы управления ГАЛ основными путями ее развития считается переход на более быстродействующие 16-разрядные микропроцессорные средства, использование однокристалльных ЭВМ в контроллерах составных частей ГПМ, дальнейшее развитие логических протоколов обмена на основе стандартов SECSI, II. Существенным фактором, сдерживающим развитие систем управления ГАЛ, следует признать отсутствие в отрасли надежной управляющей ЭВМ для работы на высших уровнях управления ГАЛ. Создание комплекса сборки и автоматизированной линии для монтажа кристаллов и присоединения проволоочных выводов в составе сборочного участка ГАП ИС в пластмассовых корпусах было в целом удачной попыткой реализации двух концепций автоматизации сборки ИС. Обе линии строились на базе серийно выпускаемого оборудования, что в конечном счете предопределило их относительно быстрое внедрение.

Дальнейшую автоматизацию технологического процесса сборки предполагается провести следующим образом. Первый шаг современного этапа — разработка нового поколения ГПМ монтажа кристаллов и проволоочных выводов, отвечающих вышеизложенным требованиям. В области монтажа кристаллов при сохранении высокого быстродействия — 0,5 с на кристалл (как, например, в серийно выпускаемом автомате ЭМ-4085) основное внимание будет обращено на обеспечение гибкости при переходе с одного размера кристалла на другой (путем введения автоматической замены инструмента и использования точного позиционирования с помощью двухкоординатного стола взамен механической ориентации кристалла), а также автоматизации контроля технологического процесса (проверкой качества посадки кристаллов с одновременным контролем на наличие сколов и трещин кристалла). Для обеспечения высокой точности монтажа кристаллов будет введена система технического зрения для определения положения монтажной площадки корпуса или выводной рамки, расширен диапазон размеров кристаллов (до 15×15 мм) и увеличен до 200 мм диаметр полупроводниковой пластины.

ГПМ присоединения выводов целесообразно построить по модульному принципу, имея в виду реализацию двух наиболее распространенных в настоящее время методов сборки ИС — ультразвуковой сварки (УЗС) алюминиевых

проводников и термозвуковой сварки (ТЗС) золотых проводников — практически в одном автомате путем замены необходимых узлов и устройств. При этом быстродействие автоматов повышается в 1,5—2 раза (до 25 тыс. сварок в час для УЗС алюминия и 50 тыс. — для ТЗС золота). Предусматривается возможность сборки СБИС с числом выводов не менее 300 и размерами кристалла до 25×25 мм на нескольких уровнях сварки и возможность автоматического определения координат каждого вывода корпуса. Много внимания уделяется обеспечению неразрушающего контроля качества сварки. Расширяется область автодиагностики неисправности функциональных систем и устройств.

Следующий шаг — создание транспортных средств ГАЛ и систем управления. В связи с этим необходимо решить две задачи: создание гибких ЗРУ, встраиваемых в ГПМ, и транспортного робота для организации материального потока в пределах ГАЛ и связи ее со складом.

До последнего времени как в СССР, так и за рубежом нет единого мнения о целесообразности использования средств роботизации для перемещения обрабатываемых полуфабрикатов. Если 2—3 года назад роботизация рассматривалась как обязательный атрибут современного производства, то сейчас с переходом предприятий на хозрасчет и самофинансирование качество и стоимость становятся главными критериями производства.

Специалисты многих предприятий считают, что операторы все еще нужны на современных автоматических сборочных участках, чтобы осуществлять контроль за оборудованием, перемещать обрабатываемые полуфабрикаты и решать еще много других производственных проблем. Это связано не только с недостаточной надежностью автоматического оборудования, но, скорее, с неготовностью предприятий к полной автоматизации и недостаточной квалификацией обслуживающего персонала, а также с уровнем отработанности технологии, реализуемой на оборудовании, и, что особенно важно, с соответствием конструкции обрабатываемых изделий и материалов в целом требованиям автоматической сборки. Поэтому, не игнорируя подобные мнения и принимая во внимание, что будет расти число предприятий, стремящихся к более полной автоматизации, решено, что ЗРУ разрабатываемых ГПМ сборки должны отвечать требованиям автономного использования (оборудование при этом будет связано посредством протокола типа SECS I и II с высшим уровнем управления), а также встраиваться в ГАЛ, объединенную единым транспортом и системой управления.

Автоматизация сборки ИС с приемлемым уровнем экономической эффективности не может быть реализована только путем создания современного оборудования. При этом необходимо решение ряда сопутствующих задач, в частности, приведение качества собираемых изделий в соответствие с требованиями автоматической сборки. Существенно сдерживающим фактором являются пластины с низким выходом годных кристаллов, так как производительность автоматов монтажа кри-

сталлов прямо связана с количеством годных кристаллов на пластине. Длительный поиск годного кристалла приводит к перегреву выводной рамки для корпуса ИС, что неизбежно отражается на качестве присоединения проволочных выводов.

Предлагаются два решения этой проблемы, связанные с введением дополнительного оборудования в технологический процесс сборки. Первое предусматривает использование между операциями дисковой резки пластин на кристаллы и монтажа кристаллов кристаллоукладчика (ЭМ-4018) для автоматической укладки годных кристаллов в жесткую кассету или в кассету с липкой пленкой, в которой пластина разрезается на кристаллы). Второе решение не предполагает механической переукладки годных кристаллов с пластины в кассету, а связано с определением координат годных кристаллов на пластине и записью их на каком-нибудь носителе информации (т.е. созданием карты годных кристаллов) с последующим использованием этой карты на автомате монтажа кристаллов, что исключает необходимость контроля каждого кристалла. В настоящее время разрабатывается автомат картографирования.

Непрерывным условием автоматизации сборки является унификация стыковки устройств различного технологического оборудования и транспортных роботов, или стандартизация так называемого интерфейса материального потока. Решение данной задачи может быть значительно облегчено, если будет проведена стандартизация размеров выводных рамок (ширины, шага кадра, расположения базовых отверстий) и особенно корпусов ИС. Так, разработана единая выводная рамка для 14—16-выводных ИС, полностью отвечающая требованиям автоматизации. В настоящее время, когда увеличивается число различных многовыводных БИС, стандартизация должна распространиться и на эти изделия. Это может привести к некоторому увеличению расхода материала рамок, но сокращение трудоемкости сборки компенсирует увеличение стоимости.

Проведение сборочных операций на технологических линиях без длительной сушки требует разработки для монтажа кристаллов быстро отвердевающих адгезионных материалов. Перевод сборочного оборудования с малых размеров кристаллов на большие или наоборот делает необходимым использование липких пленок с управляемой адгезией.

Новый подход к решению проблемы автоматизации связан с обеспечением гибкости, сочетающейся с высоким уровнем автоматизации и с дальнейшей интеллектуализацией оборудования, а также со снижением роли человека в обеспечении качества выполнения процесса. Непростые задачи стоят и перед потребителями оборудования — приведение изделия к соответствию требованиям автоматизации и, главное, повышение квалификации обслуживающего персонала и заинтересованности его во внедрении сложной техники.

Статья поступила 15 ноября 1989

УДК 621.384.6:533.913

ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ДЛЯ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ ИЭТ

С.В.Наталочка

Анализ плазменных ускорителей с азимутальным дрейфом электронов, применяющихся для ионной обработки, показал ряд существенных особенностей, сужающих возможности их применения в некоторых технологических процессах. Предложена модель и описан принцип действия ускорителя с разделенными зонами ионизации и ускорения ионов, имеющего ряд преимуществ.

При создании современного оборудования для производства ИЭТ большое значение имеет практическая реализация новых технологических процессов с использованием ионно-плазменных устройств. Широкое распространение получили процессы, основанные на химическом и физическом взаимодействии заряженных частиц с поверхностью твердого тела, что обеспечивается применением низкотемпературной плазмы инертных и активных газов, электронных и ионных ускоренных потоков. В ионно-плазменных устройствах широко используются газовые разряды в скрещенных электрическом и магнитном полях. Так, использование замкнутого дрейфового движения электронов для возбуждения разряда у катода—мишени определило качественный скачок в технике нанесения тонкопленочных покрытий — появление магнетронных распылительных систем [1].

Одним из наиболее эффективных ионно-плазменных устройств для получения плотных ионных потоков является плазменный ускоритель [2], в котором происходит преобразование электромагнитной энергии в кинетическую энергию плазменной струи. Поскольку кинетическая энергия направленного движения электронов в ускоренной струе плазмы пренебрежимо мала по сравнению с кинетической энергией ионов (порядка m/M), то основная функция плазменного ускорителя состоит в ускорении ионов и преобразовании электрической энергии в энергию направленного упорядоченного движения ионов. Тип ускорителя определяется механизмом ускорения ионов, условия реализации которого связаны с динамикой электронного компонента плазмы, воспринимающего энергию электромагнитного поля и передающего ее ионам. В электростатических или электрических системах ускорение ионов осуществляется продольным электрическим полем.

Для решения технологических задач обработки поверхностей ионными пучками все шире применяются плазменные ускорители с азимутальным дрейфом электронов (УАД) и им подобные устройства [3]. Основные достоинства УАД — отсутствие ионно-оптической системы, простота системы электропитания и отсутствие физических ограничений на плотность ионного тока ускоренного компенсированного пучка. Ха-

рактальной особенностью УАД является наличие кольцевой области скрещенных электрического и магнитного полей, в которой происходит замкнутый электронный дрейф. Эта кольцевая область формируется полюсными наконечниками магнитной системы на постоянных или электромагнитах. Полюсные наконечники находятся под отрицательным потенциалом и обычно защищены экранами из тугоплавкого материала или расположены с внешней стороны кольцевых диэлектрических втулок, образующих диэлектрический ускорительный канал. Кольцевой анод размещен соосно с полюсным наконечником со стороны межполюсного зазора, обратной обрабатываемому изделию.

Устройство [4], примененное для обработки пластин в установке нанесения пленок катодным распылением, в том числе и с использованием магнетронного распылительного устройства, представляет собой плазменный источник магнетронного типа для генерации плазмы инертного (например, аргон) или активного (например, азот или кислород) газа или смеси газов при низком давлении. Область скрещенных полей в устройстве может быть как кольцевой, так и овальной. Электрическое поле приложено между анодом, который может быть выполнен в виде трубки с возможностью циркуляции внутри нее хладагента, и двумя цилиндрическими соосными деталями-катодами, находящимися под отрицательным потенциалом. Между катодами формируется кольцевая область магнитного поля с помощью магнитной системы на постоянных магнитах, например с радиальным намагничиванием, или электромагнитами с полюсными наконечниками. На торцах магнитов размещены изолирующие накладки. Внутри межэлектродного промежутка может устанавливаться дополнительный накаливаемый катод — источник электронов. Между устройством и обрабатываемой пластиной установлен дополнительный коллектор, на который, по необходимости, можно подавать положительный или отрицательный потенциал. При подаче положительного потенциала он выполняет функцию коллектора электронов (из кольцевого канала, образованного соосными цилиндрическими катодами, выходит поток положительных ионов), при подаче отрицательного потенциала — функцию коллектора ионов (поток имеет отрицательный заряд, т.е. в основном это поток электронов). Таким образом, устройство может выполнять функции источника ионов, например для распыления мишени, и источника электронов для обработки подложки или подачи дополнительного потока электронов в магнетронный или другого типа разряд над распыляемой мишенью. При отсутствии потенциала на дополнительном электроде выходящий поток содержит ионы и электроны, поэтому может быть использован как для обработки пластин, так и для распыления мишени. Устройство имеет несколько конструктивных исполнений: торцевое и радиальное, с различными конфигурациями поверхностей анода и катодов. Катодные поверхности ориентированы друг относительно друга под углом от 0 до 360°.

Ускоритель плазмы с металлическими стенками кольцевого ускорительного канала с замкнутым холловским то-

ком может быть снабжен дополнительным катодом-нейтрализатором, расположенным на выходе ускорительного канала [5]. Из всех систем, не имеющих сеток ионной оптики, холловский ускоритель является наиболее эффективным устройством для ионного распыления материалов. Радиальное магнитное поле создается полюсными наконечниками кольцевого магнита, которые также представляют собой катоды. Кольцевой анод расположен соосно полюсным наконечникам в ускорительном канале, где находится накаливаемый разрядный катод — источник электронов. Дополнительный катод-нейтрализатор размещен на выходе ускорительного канала.

Ускоряющая ионы разность потенциалов приложена между анодом и катодом-нейтрализатором, поставляющим электроны для нейтрализации положительного заряда, выходящего из ускорительного канала пучка, и для разряда в ускорительном канале. Радиальное магнитное поле заставляет электроны дрейфовать по циклоидальным траекториям (ток Холла). Прямолинейная составляющая скорости зависит от различных столкновений в плазме. Для улучшения эффективности процесса ускорения ионов необходимо, чтобы незначительная доля электронов двигалась из катода-нейтрализатора прямо в разряд. Эксперименты показали, что эта доля должна составлять один электрон на каждый ион, ускоряемый из кольцевой области скрещенных электрического и магнитного полей ускорительного канала. При использовании ускорителя с диаметром пучка 100 мм была получена плотность ионного тока до 3 мА/см² при напряжении 75 В. Такое значение плотности ионного тока при низком напряжении намного превышает возможности ионно-лучевых источников с сеточной ионной оптикой. Разброс средней энергии ионов (50 эВ) составляет около 20%, что вполне допустимо для пластин. Возможно также фокусирование пучка с применением полюсных наконечников специальной формы.

В устройстве «Радикал» подача рабочего газа в межэлектродный промежуток осуществляется через канал в центральной части магнитопровода [6].

Обычно в ускорителях плазмы с азимутальным дрейфом электронов подача рабочего газа происходит через полый анод тороидальной формы с отверстиями, равномерно размещенными по его поверхности, обращенной в ускорительный канал, или с кольцевой прорезью.

Ускоритель с азимутальным дрейфом электронов и протяженной зоной ускорения (УЗДП) имеет диэлектрические стенки ускорительного канала между полюсными наконечниками магнитной системы. Величина ионного тока пучка этого ускорителя, как и ускорителей с узкой зоной ускорения, пропорциональна расходу рабочего газа и ограничивается мощностью откачных систем технологических установок.

Разработанные устройства такого типа [7, 8] приспособлены для работы с малыми расходами рабочего газа (например, расход ксенона 0,05—0,2 см³/с). При этом необходимая скорость откачки вакуумной камеры составляет (2...5) · 10³ л/с. Источник плазмы для создания аксиального пучка имеет средний диаметр канала

25 мм, ширину канала 7 мм, длину — 23 мм. Источник, формирующий радиальный пучок, имеет ширину канала 7 мм, диаметр среза канала 90 мм. Источники имеют примерно одинаковые технические характеристики:

Энергия ионов, эВ	50—500
Ионный ток, А	0,1—1,0
Плотность ионного тока, мА/см ²	<100
Расходимость пучка, град	± 20
Индукция магнитного поля, Тл	0,01—0,02
Рабочее давление остаточных газов, Па	0,1—10 ⁻⁴

Для нейтрализации положительного заряда пучка используются термоэмиссионный или плазменный катод-нейтрализатор.

Планетарное вращение пластин относительно пучка [9] или прямолинейное поступательное перемещение пластин под прямолинейными участками устройства овально-протяженной геометрии [10] обеспечивает необходимую равномерность обработки пластин.

Ускорители плазмы с азимутальным дрейфом электронов как технологические устройства имеют значительные преимущества: отсутствие сеточной ионной оптики, высокую плотность ионного тока на обрабатываемой поверхности, возможность получения низкоэнергетических ионных потоков. Однако следует отметить и существенные недостатки, которые ограничивают технологические возможности этих устройств. Так, ускоритель с металлическими стенками ускорительного канала или ускоритель с анодным слоем (УАС) имеет следующие недостатки:

- характерные величины разрядного напряжения в рабочих режимах УАС составляют более 0,5 кВ (для большинства конструкций более 1 кВ). Соответствующие величины энергии имеют и ионы образующегося пучка;

- для работы с малыми расходами газа (минимальными для установления рабочего режима) УАС должен иметь малые размеры, малый диаметр ускорительного канала (кольцевого межполюсного зазора), а следовательно, должна быть мала и площадь поверхности изделия, обрабатываемая ионным пучком;

- поскольку в межполюсном зазоре необходима большая индукция магнитного поля (выше 0,1 Тл), при малых размерах УАС требуется использование сильных постоянных магнитов малых размеров, например, из самарий-кобальтовых сплавов;

- при работе с малыми расходами газа значительно снижается ток разряда (который прямо пропорционален расходу газа), ионный ток пучка, плотность ионного тока на обрабатываемой поверхности, а значит, уменьшается и производительность технологического УАС. Этот эффект значительно усиливается при малой величине скорости откачки из рабочей камеры, в которой осуществляется ионная обработка;

- для обеспечения нормальной работы УАС необходима юстировка положения анода относительно межполюсного зазора, а также обеспечение высокой азимутальной однородности подачи рабочего газа в ускорительный канал, что усложняет устройство. Кроме того, система подачи газа (которая имеет обычно нулевой потенциал) должна быть электроизолирована от

анода, на который подается высокое напряжение.

Наличие накального катода и изолирующей кольцевой втулки в межполюсном зазоре УЗДП позволяют снизить рабочие напряжения до 100—400 В при значениях индукции магнитного поля в ускорительном канале 0,01—0,04 Тл. Однако, как указывалось выше, при малых расходах газа зона обработки и ионный ток пучка малы. Кроме того, возможное растрескивание усложняющей устройство кольцевой втулки из жаропрочного диэлектрика, загрязнение ее поверхности и появление пристеночной проводимости электронов на анод снижает надежность УЗДП.

Устройство, рассмотренное в работе [6], по физическим принципам действия относится к УАС. Наличие канала для подачи газа в центральном катоде — полюсном наконечнике магнитной системы — позволяет упростить устройство, поскольку кольцевой анод можно выполнить конструктивно простым и водоохлаждаемым, а систему подачи рабочего газа соединить с каналом для прохода газа в центральном катоде, так как катоды ускорителя (центральный и внешний, кольцевой) соединены с заземленной рабочей камерой, в которой размещается ускоритель. Однако отдельные, перечисленные выше недостатки УАС, присущи и этому устройству.

Была исследована возможность увеличения площади поперечного сечения формируемого ионного пучка при малых расходах рабочего газа и малой скорости откачки из рабочей камеры, снижения энергии ионов пучка за счет уменьшения напряжения на разрядном промежутке, а также возможность регулировки плотности ионного тока пучка без существенного изменения энергии ионов, расхода газа и давления в рабочей камере. С этой целью центральный катод ускорителя был выполнен на уровне анода, который находился у нижнего дискового основания. Магнитная система была расположена под внешним, кольцевым катодом — полюсным наконечником. Для исключения образования паразитных разрядных областей и распыления нерабочих поверхностей внутри ускорителя могут быть установлены экраны из диэлектрического материала или проводящего, но изолированные от электродов ускорителя.

В разрядном пространстве ускорителя формируется магнитное поле расходящейся конфигурации типа сопла с областью аксиального магнитного поля внутри и областью дугообразного, расходящегося магнитного поля на выходе ускорителя. От центрального катода замагниченные электроны перемещаются в аксиальном направлении, вращаясь вокруг силовых линий магнитного поля и участвуя в дрейфовом движении в азимутальном направлении. Возникающий в результате дрейфового движения электронный дрейфовый ток, взаимодействуя с аксиальным вектором индукции магнитного поля, вызывает пинчевание, сжатие разрядной плазмы к приосевой области. Наличие катодного потенциала и аксиального градиента магнитного поля обеспечивают отражение электронов от центрального катода и их перемещение к вы-

ходной части магнитного сопла. В выходной части, в области расходящегося магнитного поля с изогнутыми силовыми линиями и наличием аксиального и радиального градиентов происходит расширение разрядной плазмы с соответствующим уменьшением концентрации электронов в аксиальном направлении.

Ускорение ионов в этой области в основном происходит за счет силы Ампера, обусловленной взаимодействием азимутального дрейфового тока Холла с радиальной составляющей вектора индукции магнитного поля. Радиальная составляющая силы Ампера способствует частичной фокусировке ионного потока.

От потенциала кольцевого катода на выходе ускорителя электроны вновь поступают внутрь, на аксиальный участок магнитного поля вплоть до их отражения от потенциала центрального катода на входе ускорителя, через канал, в котором подается рабочий газ. Высокие концентрации нейтралов и электронов обеспечивают эффективную ионизацию, начиная непосредственно у вы-

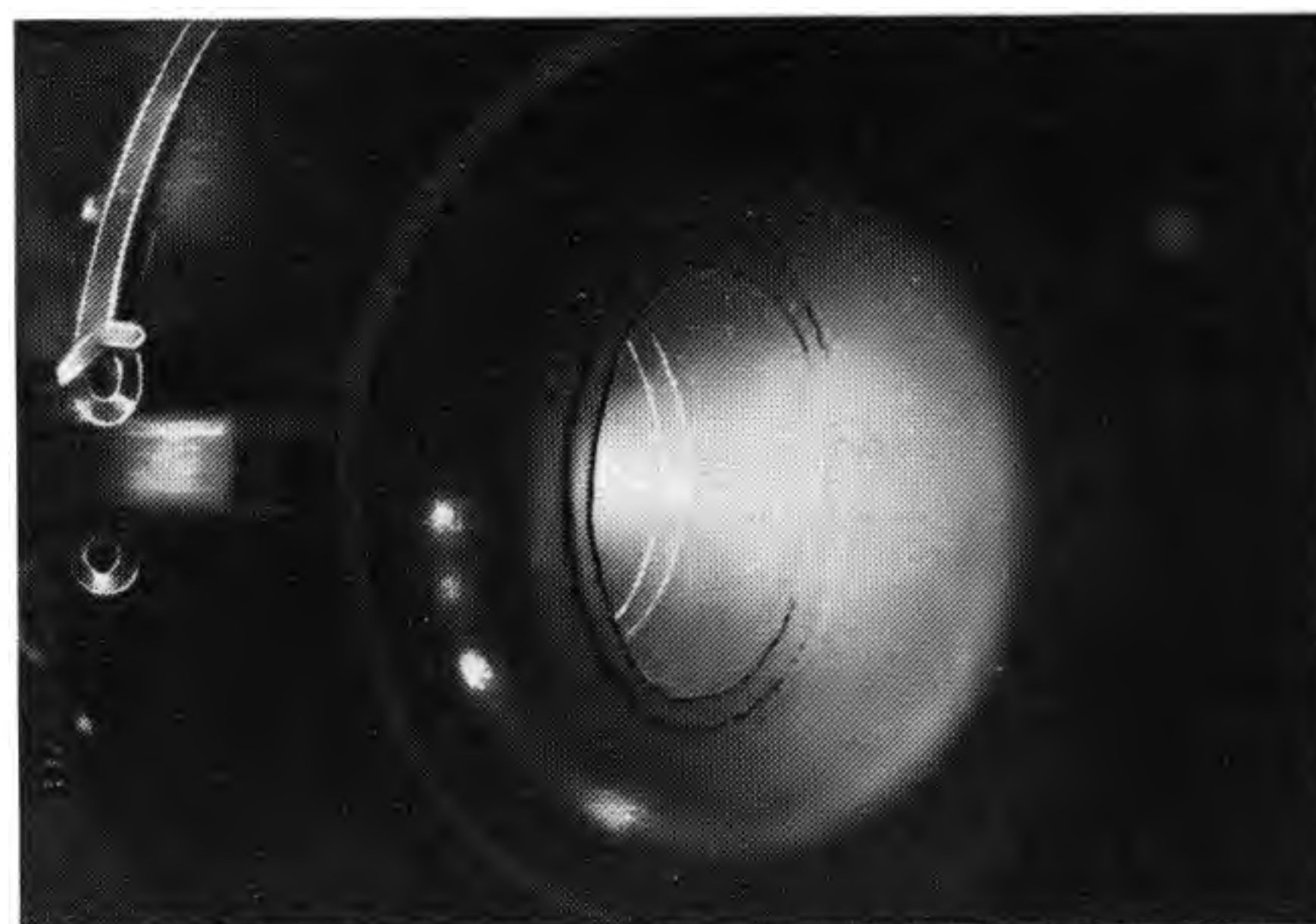


Рис. 1. Разряд в ускорителе кольцевой геометрии (рабочий газ — аргон)



Рис. 2. Разряд в ускорителе овально-протяженной геометрии (рабочий газ — аргон)

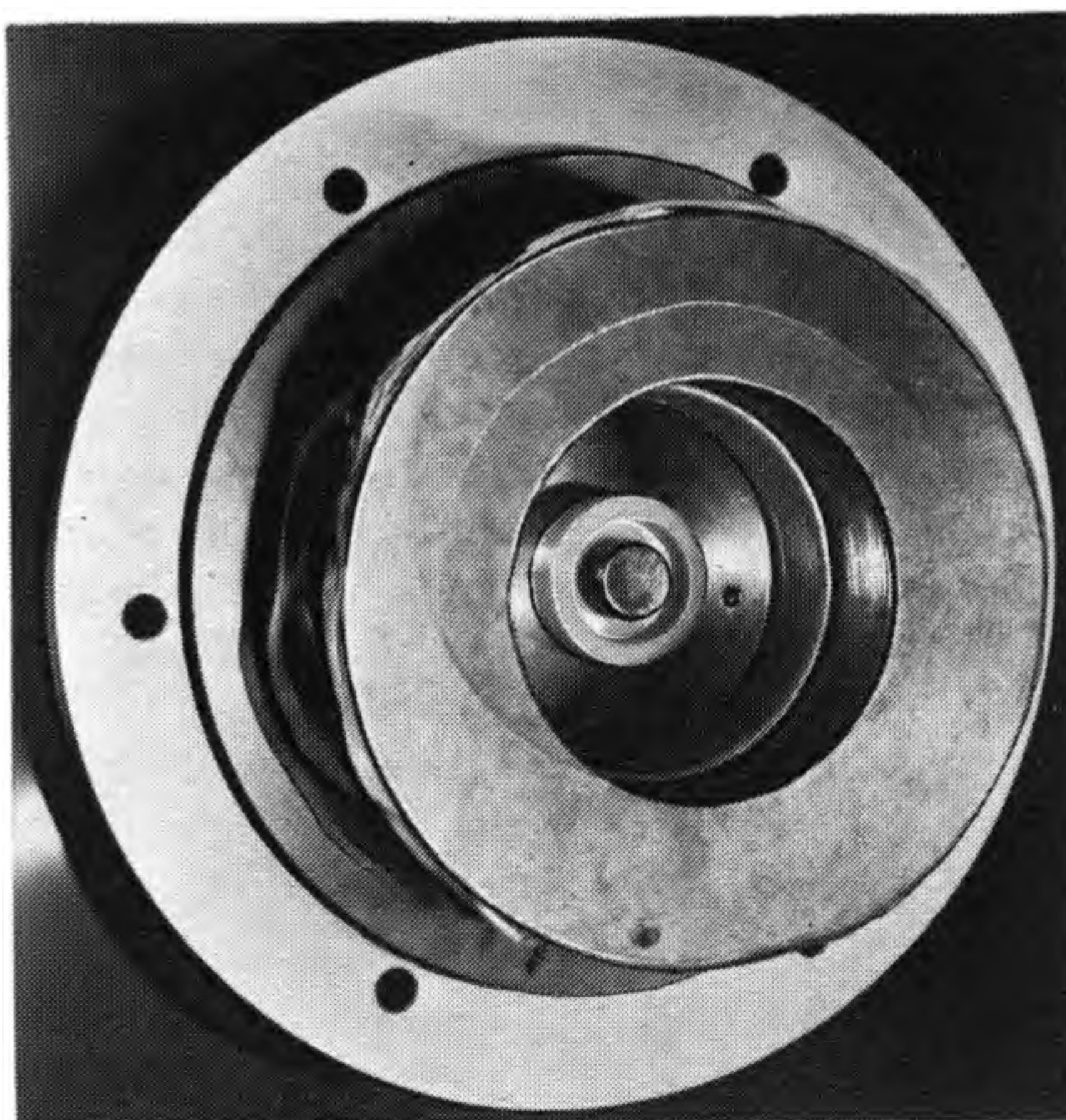


Рис. 3. Ускоритель кольцевой геометрии

ходного сечения канала для подачи газа в центральном катоде.

Анализ работы ускорителя показал, что плазма разряда локализована в приосевой области аксиального участка магнитного поля внутри ускорителя, и основной процесс генерации ионов происходит в этой зоне ионизации нейтралов. Зоной ускорения является область расходящегося магнитного поля на выходе ускорителя (рис. 1).

Ионизация нейтралов в аксиальной части магнитного поля обеспечивает высокую степень ионизации рабочего газа, слабую зависимость разрядных параметров от расхода газа и зависимость их в основном от давления в рабочей камере, крутую вольт-амперную характеристику разряда, малые разрядные напряжения, достаточно большие разрядный и ионный токи, небольшую величину магнитной индукции, возможность увеличения габаритов устройства и зоны обработки ионным пучком.

Ускорение ионной компоненты в области расходящегося магнитного поля с использованием холловского механизма ускорения позволяет получить высокую эффективность ускорения ионов до необходимых значений энергии и возможность формирования пучка достаточно высокой плотности тока.

Благодаря подаче рабочего газа непосредственно в приосевую разрядную область не требуется обеспечивать азимутальную однородность подачи газа, юстировку анода относительно ускорительного канала и изолировать систему подачи газа от анода.

Крутая вольт-амперная характеристика позволяет без существенного изменения энергии ионов регулировать скорость ионной обработки поверхности изменением ионного тока пучка без изменения расхода и давления газа. При высокой степени ионизации газа и слабой зависимости разрядных параметров от расхода газа в условиях малой скорости откачки из рабочей камеры габаритные размеры ускорителя и соответственно зоны обработки могут быть достаточно большими. Низкое разрядное напряжение позволяет формировать низкоэнергетические ионные потоки. Использование зоны генерации ионов прямолинейной, а зоны ускорения — овально-протяженной конфигурации позволяет формировать ленточные пучки, т.е. с прямолинейными по одной координате участками равномерного распределения плотности ионного тока в плоскости обрабатываемого изделия (рис. 2).

С целью определения разрядных и технологических параметров плазменного ускорителя с разделенными зонами генерации и ускорения ионов (рис. 3) были проведены его испытания на вакуумном стенде с системой откачки на базе диффузионного паромасляного насоса Н-2К. Скорость откачки из рабочей камеры через основной высоковакуумный затвор с диафрагмой составляла 100 л/с, через обводную магистраль — 10 л/с. Давление в рабочей камере определялось по вакуумметру ВИТ-2. Для измерений величины магнитного поля использовался измеритель магнитной индукции Ш1-8. Скорость ионного распыления оценивалась по изменению толщины слоя окисла на кремниевых пластинах диаметром 100 и 125 мм. Измерения толщины слоя окисла проводились на авто-

матическом лазерном эллипсомере.

Внутренний диаметр кольцевого катода составлял 102 мм, высота магнитной системы 52 мм, диаметр центрального катода 14 мм, высота 15 мм. Постоянные магниты изготовлены из сплава ЮНДК. Величина индукции магнитного поля в области аксиального магнитного поля составляла 0,03—0,05 Тл.

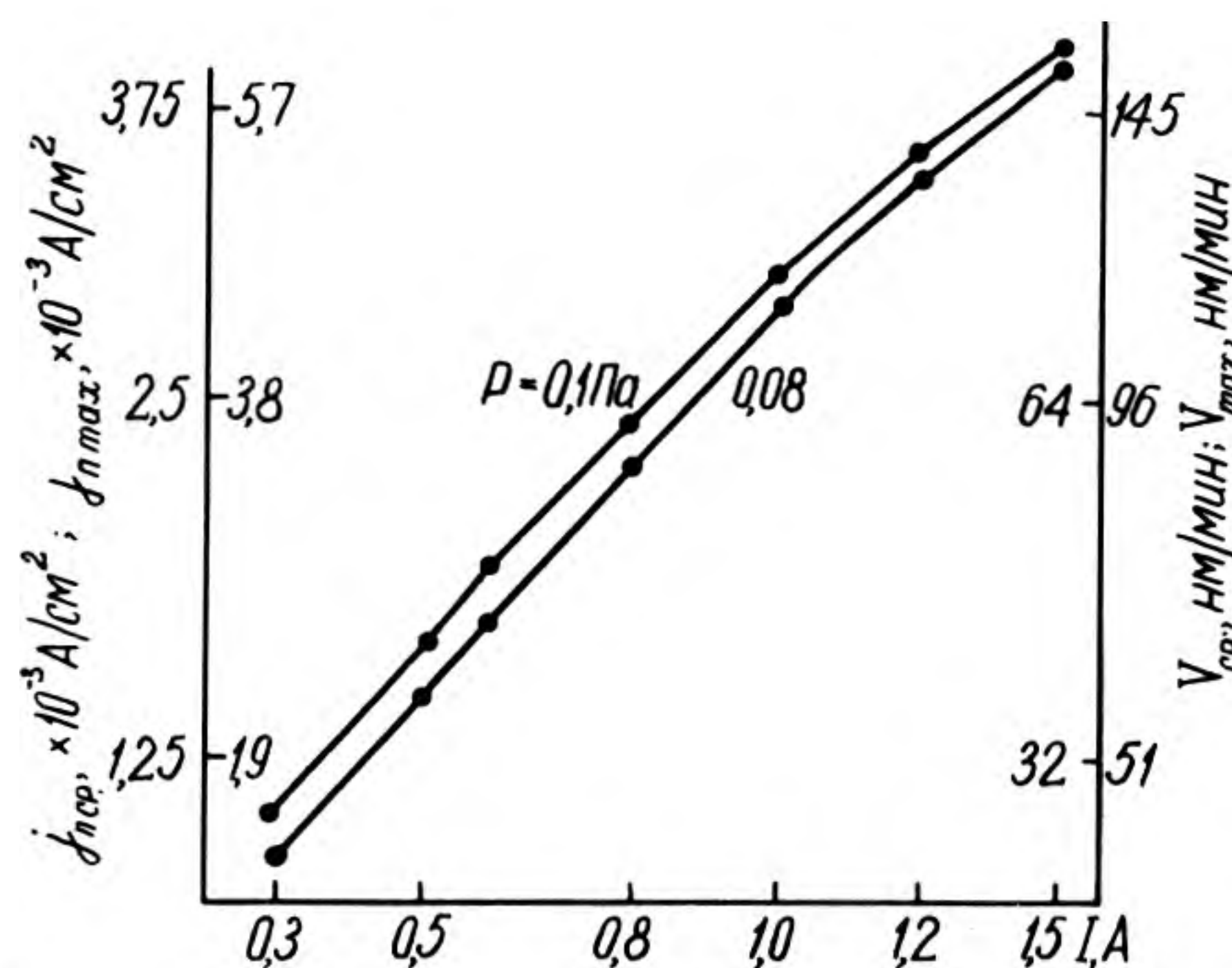


Рис. 4. Зависимость средней и максимальной плотности ионного тока на подложкодержатель от тока разряда при скорости откачки 10 л/с, магнитной индукции 0,04 Тл, давлении аргона 0,08 и 0,1 Па

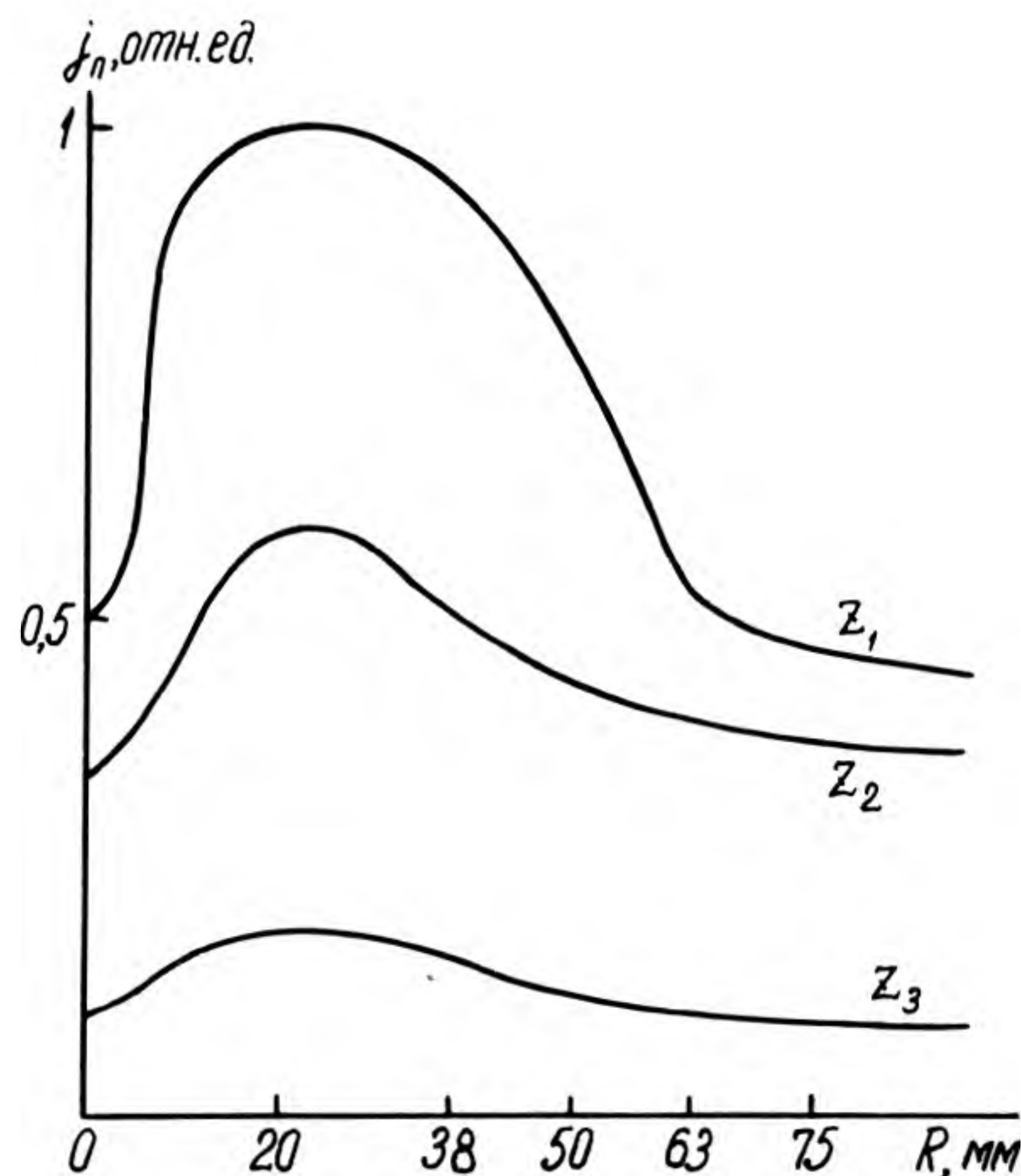


Рис. 5. Распределение плотности ионного тока по подложкодержателю в радиальном направлении для различных расстояний Z от подложкодержателя до ускорителя ($Z_3 > Z_2 > Z_1$)

При возбуждении и стабилизации разряда наблюдалась локализация разрядной плазмы в приосевой области внутри ускорителя с ее последующим расширением в области расходящегося магнитного поля на выходе ускорителя. Исследования показали, что вольт-амперные характеристики ускорителя достаточно крутые — при изменении напряжения разряда всего на несколько процентов ток разряда изменяется в несколько раз. При испытаниях ускорителя в рабочей камере со скоростью откачки 1000 л/с при тех же значениях давления аргона и таких же изменениях напряжения разряда ток разряда изменялся на порядок. Таким образом, можно говорить о наличии экстремальной вольт-амперной характеристики.

Для одного диапазона давлений при изменении скорости откачки из рабочей камеры от 10 до 100 л/с также на порядок изменяется и расход аргона через ускоритель. Однако при таком значительном различии расхода изменения в параметрах разряда, как показали вольт-амперные характеристики, незначительные. ВАХ в основном определяются давлением аргона, что наблюдается и в разряде с осциллирующими в скрещенных электрическом и магнитном полях электронами с контрагированием разряда в приосевой области — в разрядной ячейке Пеннинга с аксиальным магнитным полем. Это позволяет предположить, что зависимость ВАХ в основном от давления определяется особенностями зоны ионизации на аксиальном участке магнитного поля ускорителя.

На рис. 4. показана зависимость средней и максимальной плотности ионного тока на подложкодержатель, установленный на расстоянии 60 мм от выходного торца ускорителя, от тока разряда, плотность ионного тока достаточно высока. Приведены также значения максимальной и средней скоростей распыления двуокси кремния.

Поскольку ускоритель имел кольцевой анод внутри кольцевой магнитной системы, максимум в распределении плотности ионного тока по поверхности подложкодержателя (рис. 5) приходится на диаметр, соответствующий среднему диаметру кольцевого анода ускорителя. Это показывает, что ос-

новной механизм ускорения ионов в области расходящегося магнитного поля на выходе устройства связан с силой Ампера за счет взаимодействия кольцевого дрейфового тока с радиальной составляющей вектора магнитной индукции.

Таким образом, разделение зон ионизации и ускорения в плазменном ускорителе по указанному выше принципу позволяет улучшить параметры ускорителя как технологического устройства для ионной обработки изделий в вакууме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные магнетронные распылительные устройства/ В.А.Лабунов, Н.И.Данилович, А.С.Уксусов, В.Е.Минайчев.— Зарубежная электронная техника.— 1982, № 10, с. 3—62.
2. Гришин С.Д., Лесков А.В., Козлов Н.П. Плазменные ускорители.— М.: Машиностроение, 1983.— 231 с.
3. Обзоры по электронной технике: Реактивное ионное травление/ Б.С.Данилин, В.Ю.Киреев, Д.А.Назаров.— М., 1984.— Вып. 1. Сер. 3. Микроэлектроника.— 72 с.
4. Патент 4434038 (США).
5. Кауфман Н.Р., Ситто J.J., Харпер М.Е. Technology and application of broad-beam ion sources used in sputtering. Part I. Ion Source technology.— J. Vac. Sci. Technol., 1982, vol. 21(3), p. 725—736.
6. Обзоры по электронной технике: Оборудование для плазменной обработки материалов изделий электронной техники/ В.М.Таран, В.И.Орлов.— М., 1988.— Вып. 16. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование.— 51 с.
7. Левченко Ю.М., Илюхина Г.П., Цибизов М.А. Технологические модели УЗДП.— IV Всесоюзная конференция по плазменным ускорителям и ионным инжекторам. Тезисы докладов.— М.: ВНИИЦ, 1978, с. 409—410.
8. Применение УЗДП для обработки полупроводников и диэлектриков/ С.К.Кузнецов, Ю.М.Золотарев, Ю.М.Левченко, А.В.Трофимов.— Труды III Всесоюзной конференции по плазменным ускорителям и ионным инжекторам.— М.: ВНИИЦ, 1978, с. 411—412.
9. Киреев В.Ю., Данилин Б.С., Кузнецов В.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление микроструктур.— М.: Радио и связь, 1983.— 128 с.
10. Исследование структуры ионного потока на выходе УЗДП/ В.М.Гаврюшин, В.Ким, В.И.Козлов, Д.Д.Севрук.— IV Всесоюзная конференция по плазменным ускорителям и ионным инжекторам. Тезисы докладов.— М.: ВНИИЦ, 1978, с. 53—54.

Статья поступила 3 октября 1989 г.

УДК 621.316.82

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РОТОРНЫЕ ЛИНИИ — СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЭТ

С.Н.Мальгин, С.Т.Манукян,
канд.техн.наук, проф. О.Ф.Полтавец

Массовый выпуск переменных резисторов, относительно малые геометрические размеры и сравнительно высокая точность определяют специфические требования к проблеме автоматизации их производства. Потребность народного хозяйства обуславливает высокие темпы роста переменных непроволочных резисто-

ров, в том числе наиболее сложных, в состав которых входит много деталей (около 20) и для которых требуется высокий удельный вес механообработки (до 40%). Наиболее трудоемкими в изготовлении являются детали типа втулки, вала, крышки, корпуса. Они имеют ряд общих свойств:

- корпусные детали изготавливаются в основном из цветных металлов марок Д18; Д16Т; АД1; АМЦ; ЛС 59-1, что позволяет применять к ним при обработке прогрессивные технологические методы воздействия;
- габаритные размеры находятся в пределах: 8 —

20 мм, 3 — 6 мм, 10 — 20 мм, наблюдается тенденция к уменьшению размеров;

— величина допуска на посадочные размеры находится в пределах $\delta = 40 \dots 300$ мкм. Существует тенденция к уменьшению величины допуска до 18—20 мкм;

— величина допуска взаимного расположения ответственных поверхностей находится в пределах от 60 до 100 мкм;

— величины шероховатости R_a посадочных поверхностей изменяются от 1,25 до 40 мкм, наблюдается тенденция к уменьшению этой величины до 0,63 мкм;

— изготавливаемые детали миниатюрны, обладают малым весом, который колеблется от 0,5 до 3,0 г для алюминиевых и от 1,5 до 6 г для латунных деталей;

— трудоемкость изготовления деталей составляет от 1 до 4 н.ч. на 1000 шт.

Кроме этого, детали должны соответствовать следующим требованиям, диктуемым условиями автоматической сборки: недопустимости забоин, вмятин и заусенцев на посадочных поверхностях, стабильности размеров во времени или на данной партии и др.

Наиболее широкое применение в резисторостроении нашли следующие технологические методы:

— листовая холодная штамповка деталей типа шайб, лепестков, выводов на быстроходных прессах-автоматах с нижним приводом (мод. СН-138, СН-188, СН-311), что обеспечивает производительность до 200 тыс. шт./ч при многоместной оснастке;

— холодная объемная штамповка деталей типа заклепок, втулок корпусов, токосъемников, контактов на холодно-высадочных автоматах с разъемной матрицей (мод. В99757) и цельной матрицей (мод. 7206, АА-120, А-1216), обладающих производительностью от 3000 до 14500 шт./ч в зависимости от сложности детали;

— поперечно-клиноватая прокатка деталей типа тел вращения с небольшими буртиками и канавками на профиленкатных автоматах (мод. СНДА-100-1) с числом ходов от 20 до 50 в минуту;

— изготовление деталей типа валов на автоматах продольного точения (мод. 1А10П, 1А12П, 1ВР6А, 1Б10В), обладающих производительностью 60—250 шт./ч, и втулок — на токарно-револьверных автоматах (мод. 1М-116, 1Б-118, 1Д-118) производительностью 150—200 шт./ч.

Применение универсальных машин для обработки малогабаритных деталей показало довольно низкие экономические характеристики, малый коэффициент использования металла, значительное количество применяемого оборудования, большие производственные площади. Общий уровень механизации составил 75—80%.

Производительность оборудования, применяемого для изготовления деталей, различна, что приводит к необходимости увеличения количества отдельных типов станков в общем потоке для обеспечения производственной программы. Это еще больше ухудшает экономические характеристики производства, так как увеличиваются потери при транспортных операциях, сортировке и складировании. Качество деталей имеет тенденцию к снижению из-за появления рисков забоин, царапин вследствие увеличения технологического цикла.

Анализируя эти данные, можно сделать вывод, что при существующих принципах построения технологических процессов изготовления деталей и применяемого для них оборудования для увеличения объема выпуска требуются большие затраты. Данный путь — малоэффективен и не может быть основным.

Более совершенным является путь, при котором технология и средства для ее реализации служат элементами системы преобразования заготовки в деталь, тогда технологический процесс определяет требования к оборудованию.

Для повышения эффективности производства в резисторостроении технологический процесс должен характеризоваться:

— увеличением доли прогрессивных формообразующих операций, обладающих минимальными отходами материала, максимальной производительностью (даже за счет увеличения энергоемкости);

— непрерывностью и автоматизацией преобразования исходного материала в заготовку и далее в готовую деталь (без промежуточного складирования и хранения).

Требованиям технологии для деталей простых конфигураций, какие применяются в резисторостроении, удовлетворяет оборудование, построенное по методу параллельного агрегатирования. Такой подход предусматривает не полное дублирование одинаковых станков, а повторение лишь отдельных целевых механизмов и инструментов, которые устанавливаются на одной общей станине, имеют единый механизм привода, систему управления и др. Такой метод позволяет снижать затраты на оборудование, экономить производственные площади, сокращать обслуживающий персонал и др.

Опыт проектирования и эксплуатации, накопленный в различных отраслях производства, показывает, что наиболее эффективно применение роторных машин (а также роторных линий) для изготовления малогабаритных деталей простой формы [1, 2].

Автоматические роторные линии (АРЛ) по сравнению с другими видами технологических машин имеют следующие достоинства:

— высокую степень концентрации технологических операций (многопозиционную и многоинструментальную обработки, совмещенные во времени), что формирует высокий технологический потенциал производительности;

— непрерывность, безынерционность транспортирования предметов обработки совместно с обрабатывающим инструментом, что сводит к минимуму или совсем устраняет непроизводительно затраченное время на несовмещенные вспомогательные операции, в частности обслуживание, замену и наладку обрабатывающего инструмента [1].

Анализ АРЛ для механообработки позволил установить допустимые параметры этого класса машин:

— простая форма деталей типа "тел вращения" с диаметром до 40 мм и длиной менее 250 мм;

— точность размеров не более Н11;

— годовой выпуск деталей свыше 1,0 млн. шт.

Анализ создания новых видов оборудования показал большое количество разрабатываемых роторных машин для механической обработки (в Минавтопроме — 93, в Минстанкопроме — 25, в Минчермете — 23, в Минрадиопроме — 10).

Ряд зарубежных фирм, в частности "Metal Box" (Великобритания); "Reynolds Can Machinery", "Incon Contratinal Inc.", "Crilf and Western" (США); "Resvin-Richerch" (Франция), К. К. Накимура Сейсакусе" (Япония) широко применяют роторные линии штамповки с совмещенными операциями, такие как механообработка, обрезка, калибровка и др.

В резисторостроении нет необходимости создавать для изготовления каждой детали свою роторную линию, поскольку работы по унификации конструкции резисторов могут свести число типовых конструктивных решений к четырем-пяти наименованиям.

Использование автоматических роторных линий позволяет достичь высоких технико-экономических показателей при автоматизации различных технологических процессов. Полностью удовлетворяя необходимым условиям перехода к автоматическим системам, роторные линии могут являться основой для комплексной автоматизации в электронной промышленности.

Поэтому приняты следующие направления развития производства переменных резисторов, повышающие его эффективность:

— использование в технологическом процессе большей доли формообразующих операций с исключением стружкообразования, что позволяет сократить длительность воздействия инструмента на деталь и увеличивает производительность;

— комплексное решение технологической проблемы, охватывающее все стадии цикла (съем и подачу в оборудование, транспортировку и др.), исключающее межоперационные запасы деталей;

— использование оборудования, построенного по принципу параллельного и смешанного агрегатирования, в том числе АРЛ и автоматических роторно-конвейерных линий (АРКЛ);

— применение типовых конструкций АРЛ (за счет смены рабочего органа) с целью расширения их возможностей и уменьшения номенклатуры разрабатываемого оборудования;

АРЛ и АРКЛ создают широкие возможности получения необходимой и экономически целесообразной производительности на всех участках производства и могут служить технической базой для его комплексной автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии.— М.: Машиностроение, 1982.— 236 с.

2. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов.— М.: Машиностроение, 1983.— 640 с.

Статья поступила 24 мая 1989 г.

УДК 621.793.182

МАГНЕТРОННАЯ УСТАНОВКА НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ

канд. физ.-мат. наук А.Е.Оганов



Для получения прозрачных проводящих оксидных пленок используются различные методы: пиролиз металлоорганических соединений, реактивное напыление, гидролиз хлоридов и др. [1]. Состав и структура пленок зависят от методов и конструкции устройства нанесения [2, 3].

В производстве видеоконвекторов на входные окна наносят пленку на основе оксида индия, легированного оловом. Для этой цели используются установки катодно-реактивного напыления в среде аргона и кислорода. При нанесении входные окна видеоконвекторов неподвижно расположены над катодом из сплава $In + 5\% Sn$, который находится под напряжением 1,5 кВ, давление газовой смеси составляет $\sim 6,5$ Па.

Исследования структуры и состава пленок $In_2O_3; Sn$, нанесенных на сигнальные пластины катодно-реактивным методом, показали, что атомарное содержание

свободного индия составляет до 0,9%, размер зерна около 20 нм, прозрачность 85%. Сопротивление пленок, полученных за один цикл нанесения, находится в диапазоне 1—15 кОм в зависимости от положения подложки относительно центра катода.

Для получения сигнальных пластин, обладающих одинаковыми свойствами, минимальным содержанием металлического индия, более прозрачных и менее загрязненных примесями, создана установка ЦЕМ2300032 нового поколения [3], работающая по принципу магнетронно-реактивного напыления на базе безмасляного откачного поста «Вершина» КЫМ 2.300.047 ТУ. Подколпачное устройство установки оборудовано двумя плоскими магнетронно-распылительными устройствами, дроссельной откачкой с регулируемым сечением, обеспечивающим постоянную откачку газовой смеси в процессе напыления при неизменном давлении. Высокая степень окисления распыляемого материала катода достигается за счет периодического вывода нагретых подложек из зоны разряда в объем, заполненный газовой смесью (инертный газ-кислород). Конструкция установки позволяет составлять газовые смеси различной концентрации в баллонах-смесителях (предусмотрено два баллона) и подавать их в рабочий объем. Напуск требуемых газов может проводиться также от магистральных газопроводов.

Наличие двух магнетронно-распылительных устройств и возможность варьирования давления и составов газовых смесей позволяет без разгерметизации, за один цикл напыления наносить двухслойные оксидные покрытия на основе различных металлов. Это дает возможность использовать установку как для производственных, так и для исследовательских целей.

Техническая характеристика

Температура нагрева подложек, К	не более 773
Производительность (для подложек $\varnothing 26$ мм), подложек/цикл	108
Число циклов за смену	не менее 3
Давление газовой смеси, кПа	500
Давление газообразного азота особой чистоты по ГОСТ 9293-74, кПа	20—25
Давление сжатого воздуха, кПа	400—600
Давление холодной водопроводной или рециркуляционной воды по ГОСТ 2874-73, кПа	200—400
Максимальная потребляемая мощность, кВт · А	не более 7
Масса, кг	не более 800
Габаритные размеры, мм	1790 × 1100 × 1780

Анализ пленок In_2O_3 , Sn и SnO_2 ; Sb , полученных на установке, показал, что размер зерна составляет около 7 нм. Атомарное содержание свободного индия в пленках In_2O_3 ; Sn не превышает 0,2%. Прозрачность пленок 87–90,5%. Прозрачность этих пленок в синей области спектра в 2 раза выше, чем у пленок, полученных катодно-реактивным методом. Производительность установки более чем в два раза выше по сравнению с установкой катодно-реактивного напыления. Кроме того, использование установки магнетронно-реактивного напыления позволяет в 3–4 раза уменьшить расход материала катода. Установку можно использовать для получения как металлических, так и оксидных пленок трудно расплаваемых металлов.

Исследовались пленки In_2O_3 ; Sn , которые наносились катодно- и магнетронно-реактивными методами на подложки из стекла К-208, прошедшего электронно-лучевую полировку. Электрофизические свойства исследовались методом Холла (см. таблицу).

Тип установки	Проводимость, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	Подвижность электронов, $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Концентрация электронов $\times 10^{19}$, см^{-3}
Магнетронный	171,32	25,7	5,0
	184,92	26,15	5,35
Катодный	123,57	14,56	4,07
	93,29	18,36	3,25

Сравнение электрофизических характеристик пленок показало, что магнетронная установка позволяет получать более чистые пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. V o s s e n J.L. Transparents conducting films. — Physics of Thin Films, 1977, vol. 8, p. 1–71.
2. T h e u w i s s e n A.J., D e c l e r c k G.J. Optical and electrical properties of reactively D.C. magnetron-sputtered In_2O_3 ; Sn films. — Thin Solid Films, 1984, vol. 121, p. 109–119.
3. О г а н о в А.Е., К у ч у к о в В.М. Установка нанесения пленок In_2O_3 с заданными свойствами. — Тезисы докладов НТ конференции по проблемам строительства и машиностроения. Нальчик, 1986, с. 33–34.

Статья поступила 10 ноября 1989 г.

УДК 621.793.16

НОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ «ОРАТОРИЯ-5»: НАНЕСЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА КРУПНОФОРМАТНЫЕ ПОДЛОЖКИ

Канд.техн.наук, ст.науч.сотр. Л.А.Сейдман,
В.Н.Фомичев

Широко распространенная напылительная установка «Оратория-5» пригодна не только для нанесения металлических покрытий, но после небольшой модернизации и для нанесения диэлектрических покрытий. Нанесенные на подложки большого формата диэлектрические покрытия по своим параметрам не уступают покрытиям, полученным другими методами.

При изготовлении некоторых изделий микроэлектроники возникает необходимость равномерного нане-

сения диэлектрических покрытий на подложки больших размеров, например, 150×150 мм. Задача усложняется дополнительным ограничением температуры нанесения, что связано со свойствами используемой подложки и созданных на ней структур.

Для получения диэлектрических покрытий был выбран метод реактивного магнетронного нанесения, так как установки газофазного химического осаждения и электронно-лучевые не способны обеспечить получение покрытий на квадратных подложках указанного формата.

В работе [1] показано, что основные закономерности процесса реактивного магнетронного нанесения пленок SiO_2 и Si_3N_4 совпадают. Эти пленки можно получать в одной установке на одном магнетроне с кремниевой мишенью путем добавления к аргону азота или кислорода [1].

Поскольку процесс предназначен для промышленного применения, он разрабатывался на серийно выпускаемой установке высокопроизводительного нанесения металлических пленок «Оратория-5», для чего потребовалась ее модернизация. Были изменены газовая система установки, схема управления током разряда и подколпачное устройство.

После модернизации подача всех трех газов (аргона, азота, кислорода) стала осуществляться в один магнетрон через общий ввод. Потоки газов регулировали отдельными для каждого газа электромагнитными натекателями. При этом имеющиеся в установке цепи обратных связей между током разряда и потоком аргона были отключены, так как при наличии обратной связи изменение тока разряда потоком реактивного газа меняло бы поток аргона, что сделало бы реактивный разряд трудно управляемым.

Мишень магнетронного источника, представляющая собой кольцо из монокристаллического кремния с внешним диаметром 190 мм и внутренним 60 мм, укладывалась на водоохлаждаемое металлическое основание. Источник питания магнетрона не был изменен.

Рабочая камера магнетрона в установке «Оратория-5» отделена от остальной вакуумной камеры стенками «банки» с небольшими отверстиями, через которые идет откачка. Быстрота откачки обычно достаточна при получении металлических пленок, но недостаточна для реализации устойчивого реактивного процесса [2]. Поэтому быстрота откачки рабочей камеры была увеличена до 60–100 л/с.

Планетарная система установки рассчитана на круглые подложки диаметром 76–100 мм. Для подложек существенно большего размера и квадратной формы потребовалось изменить конструкцию кассет. Нанесение диэлектрического покрытия проводили одновременно на три подложки.

Равномерность толщины полученных покрытий благодаря планетарному движению подложек была не хуже 2–3% в рабочей зоне размерами 100×100 мм. Толщина покрытия снижалась к краю подложки на 10%. Перед нанесением пленок подложки с низкой теплопроводностью прогревались до температуры примерно 300°C в течение 1 ч. Столько же времени длилось их охлаждение. В связи с этим производительность установки снизилась до 18 подложек в смену. (Производительность той же установки при нанесении двухслойного покрытия нитрид кремния (0,1 мкм) + двуокись кремния (0,1 мкм) на кремниевые пластины диаметром 76 мм достигает 500 пластин в смену).

В процессе нанесения пленки в рабочей камере установки поддерживали постоянное давление аргона 0,4 Па, достаточное для устойчивой работы магнетронного источника. Режим реактивного разряда устанавливали так же, как в работе [1]. Сначала устанавливали заданную мощность разряда в аргоне 160–200 Вт. Затем напускали один из реактивных газов (азот или кислород) так, чтобы мощность разряда возросла до

400—600 Вт при том же напряжении разряда. В указанном режиме скорость нанесения пленки диэлектрика достигала 0,7 нм/с. Заданная скорость поддерживалась регулировкой режима с точностью до 10%. Толщина нанесенных пленок контролировалась по их цвету на контрольных кремниевых пластинах.

Электрическая прочность покрытий, которая оценивалась на МДП-структурах с алюминиевыми электродами площадью 0,1 мм², находилась в диапазоне $(4...7) \cdot 10^6$ В/см, что соответствовало современному уровню технологии получения диэлектрических покрытий [3].

Количество сквозных дефектов в полученных диэлектрических покрытиях оценивали электролизным методом. В этом случае подложками служили кремниевые пластины КЭФ-1,0 (111). На покрытие наносили капли электролита (деионизованной воды). Между каплями и подложкой прикладывалось напряжение 20—30 В. В местах сквозных дефектов покрытия из-за электролиза воды выделялись пузырьки газа, благодаря

чему дефекты становились видимыми. Число их подсчитывалось с помощью микроскопа при увеличении 12 крат.

Рассматривались три вида покрытия: SiO₂ толщиной 0,10—0,12 мкм, Si₃N₄ толщиной 0,12—0,14 мкм и двухслойные SiO₂+Si₃N₄. Плотность дефектов у всех покрытий оказалась практически одинаковой и составляла 0,6—0,9 мм⁻².

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейдман Л.А., Спектор А.А. Низкотемпературное нанесение пленок двуокиси кремния.— Электронная промышленность, 1988, вып. 7, с. 13—14.
2. Kadlec S., Musil J., Vyskočil J. Influence of the pumping speed on the hysteresis effect in the reactive sputtering of thin films.— Vacuum, 1987, vol. 37, N 10, p. 729—738.
3. Prampik D. CVD dielectric films for VLSI.— Semicond. Internat., 1988, vol. 11, N 7, p. 94—99.

Статья поступила 3 ноября 1989 г.

УДК 621.3.049.77.002:621.793

УСТАНОВКА МНФЭ-12-003 ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ СУХОГО ЭЛЕКТРОННОГО РЕЗИСТА

А.Т.Буравцев, Л.Н.Каплин,
канд. техн. наук, доц. Г.Х.Сатаров

Высококачественное нанесение пленок сухого резиста ЭВН-1 (ВТ-8) на подложки диаметром 100, 125 и 150 мм осуществляется с помощью специального формирователя потока пара — термического испарителя на автоматическом модуле МНФЭ-12-003 с микропроцессорным управлением на базе микроЭВМ «Электроника 60».

Электронрезист ЭВН-1 (ВТ-8) характеризуется высокими химической стойкостью, адгезией к подложке, температурной стабильностью, стойкостью к последующим ионно-плазменному или плазмохимическому травлению. Установка МНФЭ-12-003 позволяет получать тонкие электронрезистивные пленки толщиной 0,3—1,5 мкм с удовлетворительной разрешающей способностью при минимальной вероятности образования дефектов.

В основу работы установки положен принцип нанесения резистивных пленок на неподвижную вертикально расположенную пластину методом термического испарения (сублимации) при давлении $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па с помощью щелевидного формирователя потока пара.

Установка предназначена для работы в составе линии для производства БИС с загрузкой подложек из вакуумно-транспортной системы, содержит откатную систему и рабочую камеру с поворотным столиком. Реакционная камера с водоохлаждаемой рубашкой снабжена двухсекционным термическим нагревателем формирователя потока пара и соединенного через сиффон баллона с резистом.

Толщина наносимой пленки измеряется с помощью лазерного датчика. В состав установки входят также электрический и газовый шкафы и дисплей.

Установка МНФЭ-12-003 стыкуется с вакуумно-транспортной системой, снабженной пассивной ветвью и подъемной рамкой.

Обе секции нагревателя выходят на заданный температурный режим 165 и 180°C одновременно за 15 мин, температура стабильна. Воздействия нагревателей друг на друга не наблюдается.

Техническая характеристика

Толщина наносимой пленки, мкм	$(0,3...1,5) \pm 5\%$
Диапазон регулирования температуры испарителя, °С	50—300
Погрешность поддержания температуры, °С	± 3
Производительность, пластин/ч	12

Установлено, что процент использования электронрезиста становится выше с увеличением числа напыленных пластин.

Исследовалось влияние материала тигля на процесс сублимации. Навески электронрезиста были загружены в лодочки, изготовленные в виде полых цилиндров, которые затем закрывались крышками с отверстиями для сублимации вещества при температуре 180°C и давлении остаточных газов $1 \cdot 10^{-3}$ Па. Определялся вес несублимированных остатков.

Нагрев резиста ЭВН-1 в тиглях, изготовленных из молибдена, меди, нике-

ля и нержавеющей стали, практически не приводит к его разложению.

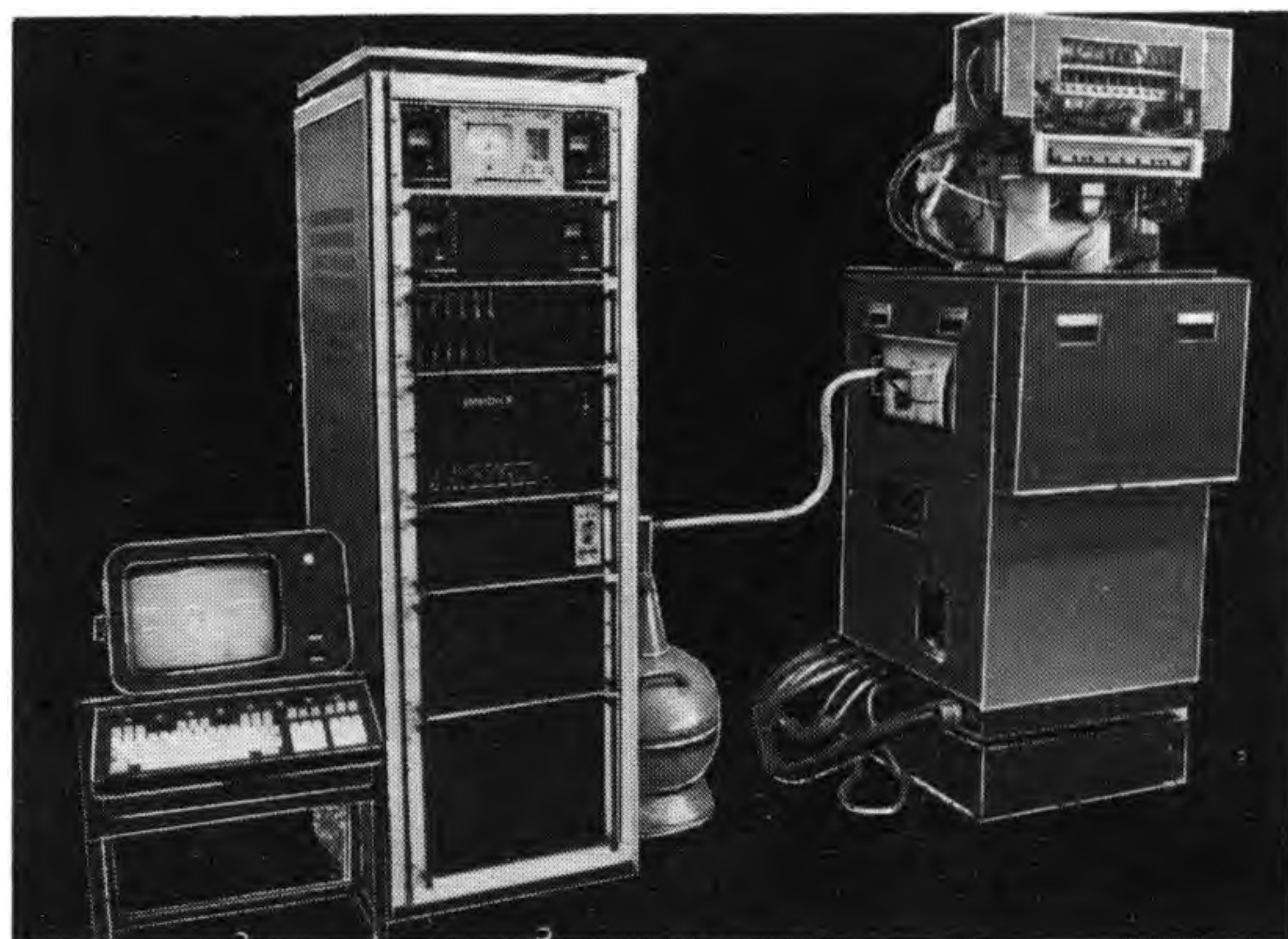
Наименее пригоден для тиглей алюминий, наилучшие результаты получены при использовании меди, покрытой никелем.

Термическая устойчивость резиста ЭВН-1 определялась с помощью нагрева навесок в вакуумированных ампулах, запаянных при давлении $1 \cdot 10^{-3}$ Па. Нагрев резиста ЭВН-1 в течение 2 ч при температуре 140—200°C не приводит к термическому разложению. Нагрев более 16 ч при температуре выше 180° приводит к образованию на поверхности резиста пленки, препятствующей сублимации. Вес образовавшегося за это время несублимированного остатка не превышает 5% от исходного вещества.

Проверка неравномерности и воспроизводимости нанесения резиста ЭВН-1 на кремниевые пластины диаметром 100 мм проводилась с помощью прибора «Напосрес» с показателем преломления 1,5 при температуре 180°C и давлении остаточных газов $1 \cdot 10^{-3}$ Па.

Среднее значение толщины пленки, оцененное по 10 пластинам, составило 0,3387 мкм (при заданной 0,3 мкм). Неравномерность толщины пленки по пластине не превысила 4%. Воспроизводимость толщины пленки от пластины к пластине составила $\pm 3,5\%$.

Статья поступила 3 октября 1989 г.



УСТАНОВКА ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИТО-18М

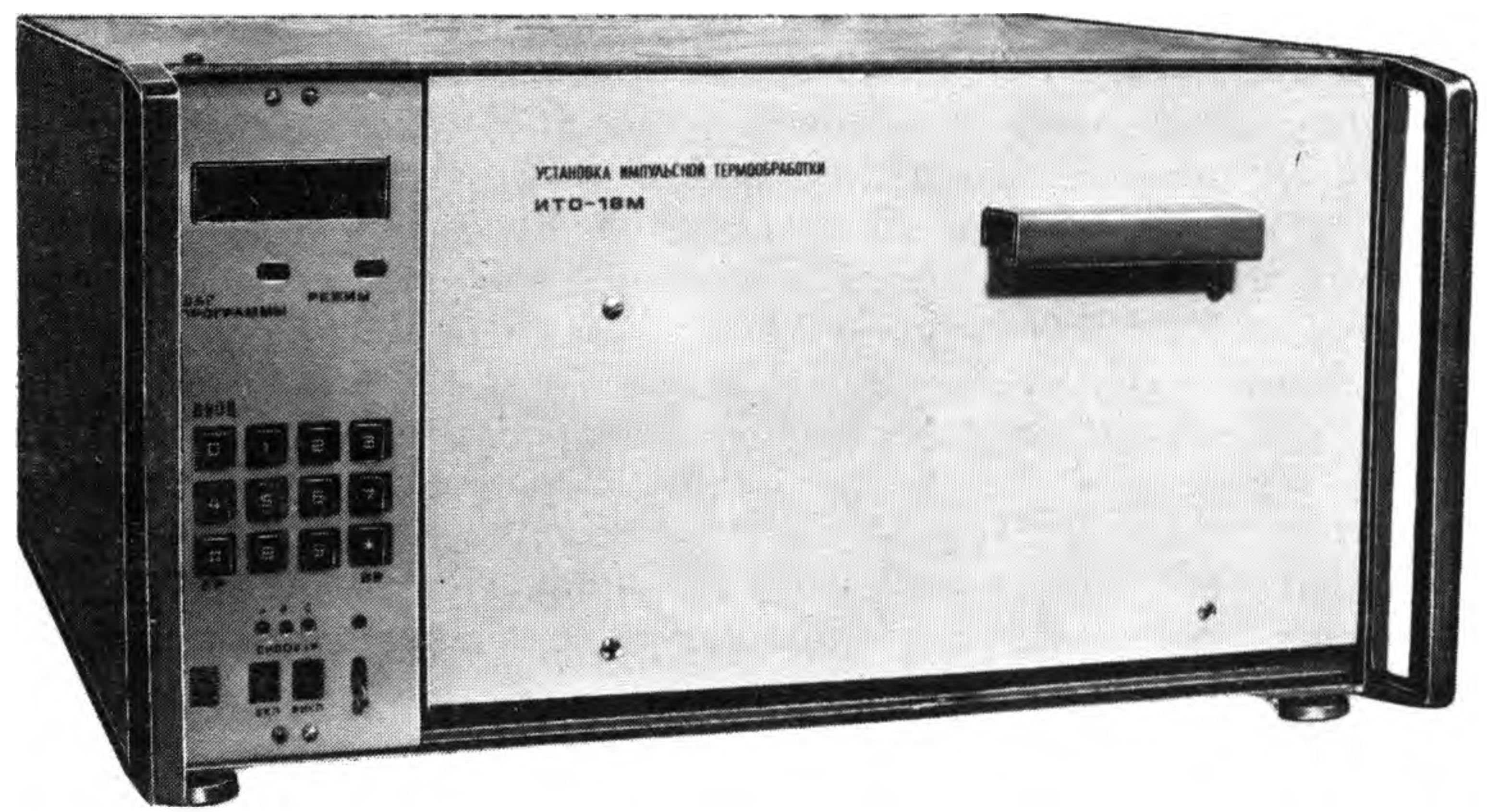
Импульсная термообработка применяется для очистки поверхности, улучшения электрофизических свойств диэлектрических пленок, отжига ионно-легированных слоев и поликристаллических пленок, вжигания контактов и формирования силицидов, стабилизации параметров пленочных структур, улучшения адгезии фоторезиста [1–3].

Установка ИТО-18М настольного типа предназначена для индивидуальной импульсной термообработки полупроводниковых пластин диаметром 76 и 100 мм излучением галогенных ламп. В ее состав входят: корпус унифицированного базового типа УТК-АСЭТ; блок микропроцессорного управления; силовой блок; блок реактора; датчики температуры (пирометрический и терморезисторный).

Блок микропроцессорного управления состоит из модулей источника питания, управления тиристорами, микропроцессора, запоминающего устройства и устройства управления [4]. Модуль источника питания собран на одной плате со схемой управления тиристорами и представляет собой бестрансформаторный сетевой преобразователь и стабилизаторы напряжения. Схема управления тиристорами включает устройства выделения нуля по каждой фазе питающей сети, трехканальный цифровой программируемый таймер и три оконечных усилителя сигналов управления тиристорами.

Микропроцессор по своей организации и системе команд полностью соответствует процессору микроЭВМ "Электроника 60 М". Для хранения программного обеспечения установки использован модуль запоминающих устройств. Объем ОЗУ/ПЗУ составляет 4Кх16 бит, что является достаточным для обеспечения работы установки. Для хранения информации, записанной в ОЗУ/ПЗУ, использовано аккумуляторное питание, что позволяет при очередном включении продолжить работу по запрограммированному режиму.

Блок реактора является водоохлаждаемым и включает в себя собственно реактор "книжной" конструкции с расположенным внутри излучателем из



12-ти металлогалогенных ламп типа КГ-220-1500 и держатели полупроводниковых пластин. С целью снижения прогиба пластины при высокотемпературной обработке устанавливаются вертикально. Обработку пластин можно осуществлять на воздухе и в газовой среде.

Основной режим работы — программируемый; представляет собой ряд дискретно заданных значений температуры нагрева пластины, соответствующий заданным точкам отсчета времени. Параметры термоциклограмм следующие: число шагов от 2 до 40; диапазон задаваемых температур — от 400 до 1300°C; диапазон задаваемых скоростей нагрева — от 0 до 200°C в секунду; диапазон задаваемых длительностей одного шага — от 0,1 до 10 с; длительность термоцикла — до 40 с; погрешность воспроизводимости параметров термоциклограммы не превышает ±1%. Производительность установки в зависимости от условий обработки и диаметра пластин — от 30 до 40 пл/ч. В установке предусмотрена индикация режима работы, шага выполнения программы, текущих параметров процесса и наличия электропитания. Потребляемая мощность в режиме нагрева составляет 18 кВт, в режиме ожидания 40 Вт.

Установка ИТО-18М предназначена для выполнения кратковременных высокотемпературных технологических операций изготовления ИС. Особенно перспективно ее применение для изготовления ИС с микронными и субмикронными размерами элементов, а также на тех операциях, где предъявляются повышенные требования к стабильности электрофизических свойств исходного материала и сформированной на предыдущих

операциях структуры БИС. Кроме этого, установка может быть использована для отжига пленочных резисторов, металлизации и формирования межслойного и защитного диэлектрика в гибридных интегральных микросхемах. Микропроцессорное управление режимами импульсной термической обработки расширяет возможности установки и позволяет улучшить качество обрабатываемых структур ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л а б у н о в В.А., Б о р и с е н к о В.Е., Г р и б о в с к и й В.В. Импульсная термообработка материалов полупроводниковой электроники некогерентным светом. — Зарубежная электронная техника, 1983, № 1, с. 57.
2. П и л и п е н к о В.А., П о п о в Ю.П. Использование фотонных технологических процессов при изготовлении биполярных интегральных микросхем. — Электронная промышленность, 1988, вып. 5, с. 3–9.
3. Установка импульсной термической обработки «Импульс-6»/Г.А.Крысов, С.А.Лапшин, А.Д.Матвеев и др. — Электронная промышленность, 1988, вып. 5, с. 27.
4. С в е т л и ч н ы й А.М., Б р а ж н и к В.А., В о р о н ц о в Л.В. Микропроцессорное управление установкой импульсной термообработки полупроводниковых структур. — Тезисы докладов 12 Всесоюзной конференции по микроэлектронике. Часть 6. Тбилиси, 1987.

доц. А.М.Светличный, д-р техн.наук,
проф. Д.А.Сеченов, В.М.Бурштейн,
В.А.Бражник, В.В.Поляков,
И.В.Мачульский, Е.В.Жидкова

ВАКУУМНЫЕ РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

А.С.Шувалов

Рассмотрены тенденции развития работ в области вакуумных уплотнений, приведены основные характеристики новых сверхвысоковакуумных уплотнений разъемных соединений, прогреваемых до 450°C.

Состояние работ в области сверхвысоковакуумных фланцевых соединений (СВВФС), прогреваемых до 450°C, проанализировано по ряду публикаций за послед-

ние 10 лет. Рассмотрен процесс герметизации таких вакуумных уплотнений [1]. Для большинства цельнометаллических соединений напряжения в зоне уплотнения по достижении герметичности стыка находятся в диапазоне 220–1000 МПа, деформация прокладки составляет 0,3–1,0 мм, удельные усилия герметизации 200–500 Н/мм. Показано, что нагревание прокладки приводит к уменьшению нагрузки и деформации. Компенсировать эти изменения можно подбором материалов с соответствующими коэффициентами термического расширения.

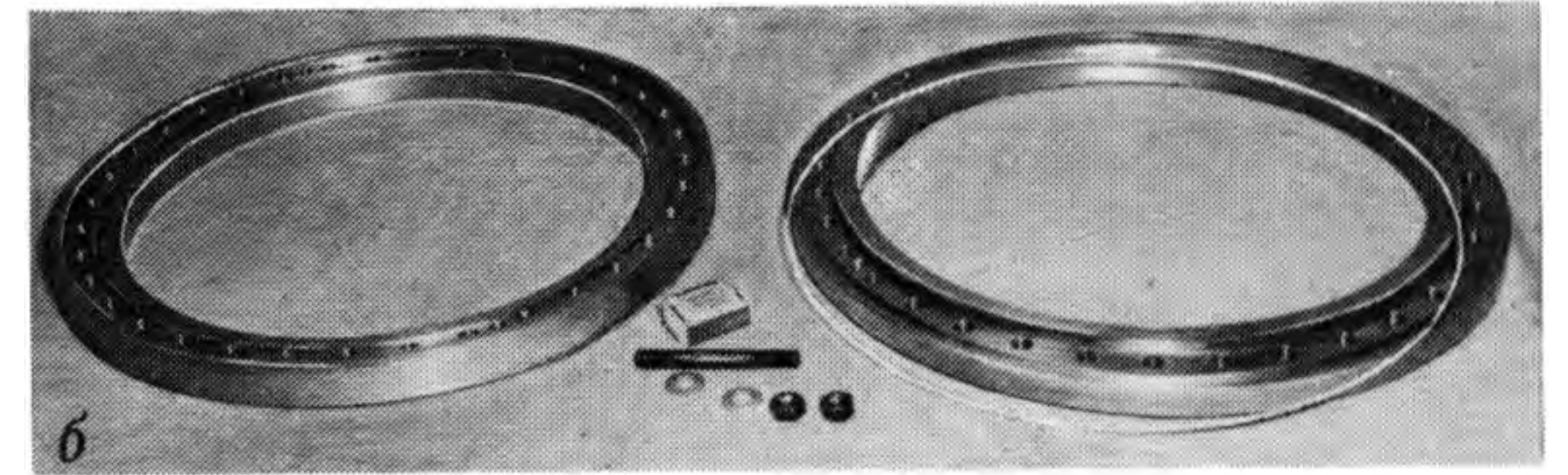
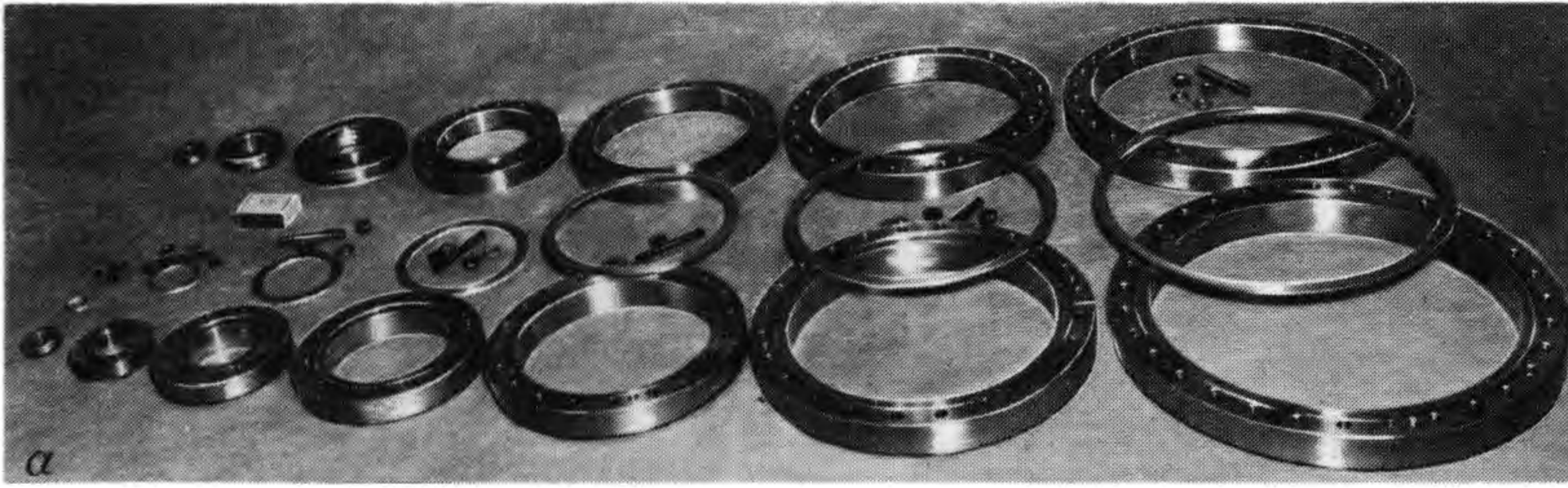


Рис. 1. Фланцевые соединения Ду 16, 40, 63, 100, 160, 200, 250 (а); Ду 400 (б)

Получены и исследованы основные зависимости для определения допусковых по критерию вакуумной плотности внешних нагрузок фланцевых соединений Ду 16–Ду 250 мм при воздействии растягивающего усилия, изгибающего и крутящего моментов [2, 3].

Рассмотрена оценка качества СВВФС с использованием новых научно обоснованных методик и определены значения коэффициентов весомости различных параметров СВВФС [4]: герметичность – 0,1838; температура прогрева – 0,1473; наружный диаметр – 0,0416; суммарная высота фланцев – 0,0334; число шпилек – 0,0328; диаметр шпилек – 0,0347; масса фланцев – 0,0508; толщина (диаметр) уплотнителя – 0,0265; масса уплотнителя – 0,0252; минимальная температура охлаждения – 0,0574; число переборок – 0,0784; удельное усилие герметизации – 0,0979; момент затяжки шпилек – 0,0713; универсальность (число вариантов) уплотнений – 0,0688; симметричность фланцев – 0,0501.

В ГОСТ 26526-85 (СТ СЭВ 4773-84) на фланцевые соединения (рис. 1) для сверхвысоковакуумных систем за основу приняты конструкции с уплотнениями Уилера [5, 6]. Соединения Ду 10–Ду 250 называют соединениями с уплотнением Конфлат (CF) [6]. Это высококачественные сверхвысоковакуумные фланцевые соединения (СВВФС) из специально подобранных материалов, получившие широкое распространение в зарубежном сверхвысоковакуумном оборудовании.

Однако фланцевые соединения CF имеют и недостатки. Основной из них – растекание материала уплотнителя из зоны уплотнения, обусловленное гарантированным зазором между посадочным местом во фланцах и наружным диаметром плоского уплотнителя, что при термоциклировании приводит к ослаблению затяжки крепежных элементов и разгерметизации стыка соединения. Ослаблению приложенного усилия герметизации способствует неравномерность напряжений в зоне уплотнения (рис. 2) [7]. Стендовые испытания и эксплуатационная проверка фланцевых соединений CF подтвердили указанный выше недостаток. В работе [8] отмечается, что соединения CF с медным уплотнителем при температурах выше 450°С дают течь после 53-го термоцикла.

При стендовых определительных испытаниях отмечена низкая надежность соединений Ду 250. Эти соединения дают течь уже при первом-втором прогреве.

Для повышения надежности герметичности стыка в этих соединениях целесообразно делать так называемую тепловую развязку, представляющую собой проточку шириной 5 мм и глубиной 20 мм с задней стороны фланца. Аналогичную развязку рекомендуется делать и в соединениях CF Ду 200. Тепловыми развязками снабжены также новые фланцевые соединения Ду 200 и 250 с уплотнением Комби (KM) [9]. Наличие тепловой развязки обуславливает компенсацию дополнительных

Рис. 2. Напряжения сжатия в зоне уплотнения соединений CF [7, 8]

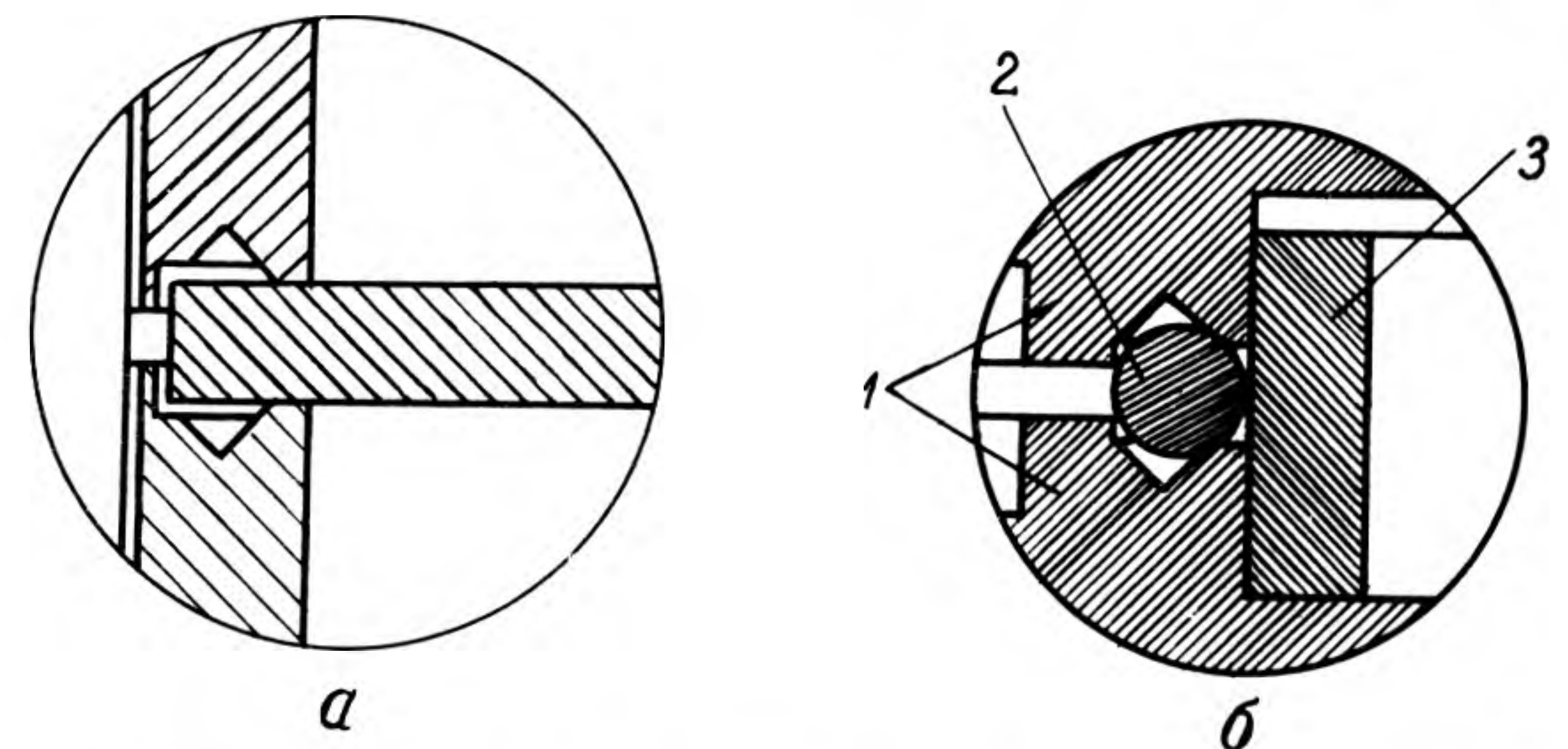


Рис. 3. СВВФС с уплотнением Комби: соединение KM с плоским (а) и с проволочным (б) уплотнителем: 1 – фланцы, 2 – уплотнитель; 3 – направляющее кольцо

усилий, возникающих в конструкции вследствие нагрева ее и системы и предотвращает нарушение герметичности в зоне уплотнения.

Новые конструкции СВВФС с уплотнением Комби (рис. 3) не уступают по надежности стандартизованным фланцевым соединениям, а по эксплуатационным характеристикам (скоростям нагрева и охлаждения, ослаблению моментов затяжки крепежных элементов, использованию наряду с плоскими проволочных уплотнителей) превосходят их.

В таких конструкциях уплотняющий профиль снабжен ограничителем деформации для уменьшения растекания материала уплотнителя. Ограничитель представляет собой поясok шириной 0,2 мм, выполненный по периферии уплотняющего профиля на глубине 0,2 мм. Работает ограничитель следующим образом. При комнатной температуре, когда проводится монтаж соединения, после достижения герметичности стыка происходит касание материала уплотнителя с ограничителем. При нагреве в результате увеличения текучести материала уплотнителя происходит его растекание и фланцы сближаются за счет запасенной энергии в упругой системе конструкции, вследствие чего герметичность стыка сохраняется. Затем благодаря рабочей поверхности ограничителя площадь контакта увеличивается (поэтому приложенного при герметизации усилия недостаточно для дальнейшего деформирования уплотнителя).

Таблица

Силловые характеристики вакуумных уплотнений

Схема уплотнения	Материал уплотнения	Толщина или диаметр уплотнителя	Удельное усиление герметизации, Н/мм	Давление герметизации, М·Па
	Свинец	0,6	44	
	Алюминий	0,2	330	
	Медь	1,0	58	
		0,4	330	
		0,5	260	
	Никель	0,1	97	
0,3		283		
	Алюминий	1,5	49	
	Медь + индий	1,5	32	
		2,0	52	
	Медь + свинец	1,5	52	
		2,0	68	
	Медь + серебро	1,5	84	
		2,0	105	
	Медь	1,5	88	
		2,0	100	
	Серебро	1,0	42	
1,5		73		
2,0		100		
	Медь	3	150	
	Золото	0,5-0,75	280-500	
	Медь	4	150	
	Медь	2	200	
	Алюминий	0,5	29	
		0,8	35	
	Медь	0,5	77	
		1,5	147	
	Медь	1,5	120	

Продолжение таблицы

Схема уплотнения	Материал уплотнения	Толщина или диаметр уплотнителя	Удельное усиление герметизации, Н/мм	Давление герметизации, М·Па
	Медь	0,5	400-450	
	Алюминий	0,5	300-450	
	Индий	1,0	4-10	
	Медь + индий	0,9	50	
	Медь	2	152	
	Медь	0,5	100	
	Медь	2	150	
	Медь	2	170	
	Медь	0,5	190	
	Медь	0,5-2	200	
	Медь	2	300	
	Медь	5	102	
			132	
	Медь	5	125	
	Медь	0,5	125	250
	Тантал	0,25	540	1080
	Медь	5	125	
	Нержавеющая сталь	10	25	
	Медь	0,5	50	
	Нержавеющая сталь		240	

Схема уплотнения	Материал уплотнения	Толщина или диаметр уплотнителя	Удельное усилие герметизации, Н/мм	Давление герметизации, М·Па
	Индий	0,6–1,0	5–6	5–6
	Алюминий	5	14,7	246
	Медь		16,7	278
	Алюминий		70	350
	Медь		66	330
	Алюминий	5	31,7	
	Резина 7889	5x (2÷5)	1,2	0,2
	Резина 51–1735	5x5	8,5	1,7
		3x3	9,4	3,5
	Резина ИРП-2043	5x5	6,4	1,3
	Резина 51–1735	5,7	11,9	2,6
		5	3,5	1,3
	Резина ИРП-2043	5	2,66	
		3	3	
		3	2,46	
	Медь	2	150	
	Медь	2	150–175	
	Медь	3	262	

В результате наступает равновесное состояние сопрягаемых элементов при неизменной герметичности стыка. Плоская площадка на выступе профиля обуславливает постоянство напряжений в зоне уплотнения, что также улучшает условия сохранения герметичности стыка. СВВФС с уплотнением Комби могут стыковаться с фланцевыми соединениями, имеющими уплотнения Конфлат, без каких-либо дополнительных переходников (рис. 4).

Следует отметить, что соединения D_y 400 и 630, включенные в ГОСТ 26526-85, имеют недостаточную надежность при термоциклировании [7]. Но известны конструкции СВВФС такого же типоразмера, отличающиеся от предлагаемых ГОСТ 26526-85 повышенной надежностью. Это соединение с плоскими уплотняющими поверхностями и проволочными уплотнителями [10].

Сравнительные испытания СВВФС показали, что средние скорости нагрева и охлаждения для соединений КМ больше, чем для СФ, выполненных по ГОСТ 26526-85 (рис. 5). Остаточный момент затяжки крепежных элементов после прогревов также больше в соединениях КМ (рис. 6) [9]. В таблице приведены силовые характеристики, полученные при исследовании различных уплотнительных пар, а также результаты работ [11, 12].

Фланцы для сверхвысоковакуумных систем изготавливаются из стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 26526-85 [5]. Из этой же стали (другого сортамента) изготавливаются крепежные элементы, которые для предотвращения схватывания сульфидируются или цианируются. Вместо стали 12Х18Н10Т может быть использована сталь 10Х14Г14Н4Т.

За рубежом для изготовления фланцев применяется нержавеющая сталь типа 18–8 (соотношение хрома

Рис. 4. Стыковка уплотняющих профилей Комби (1) и Conflat (2)

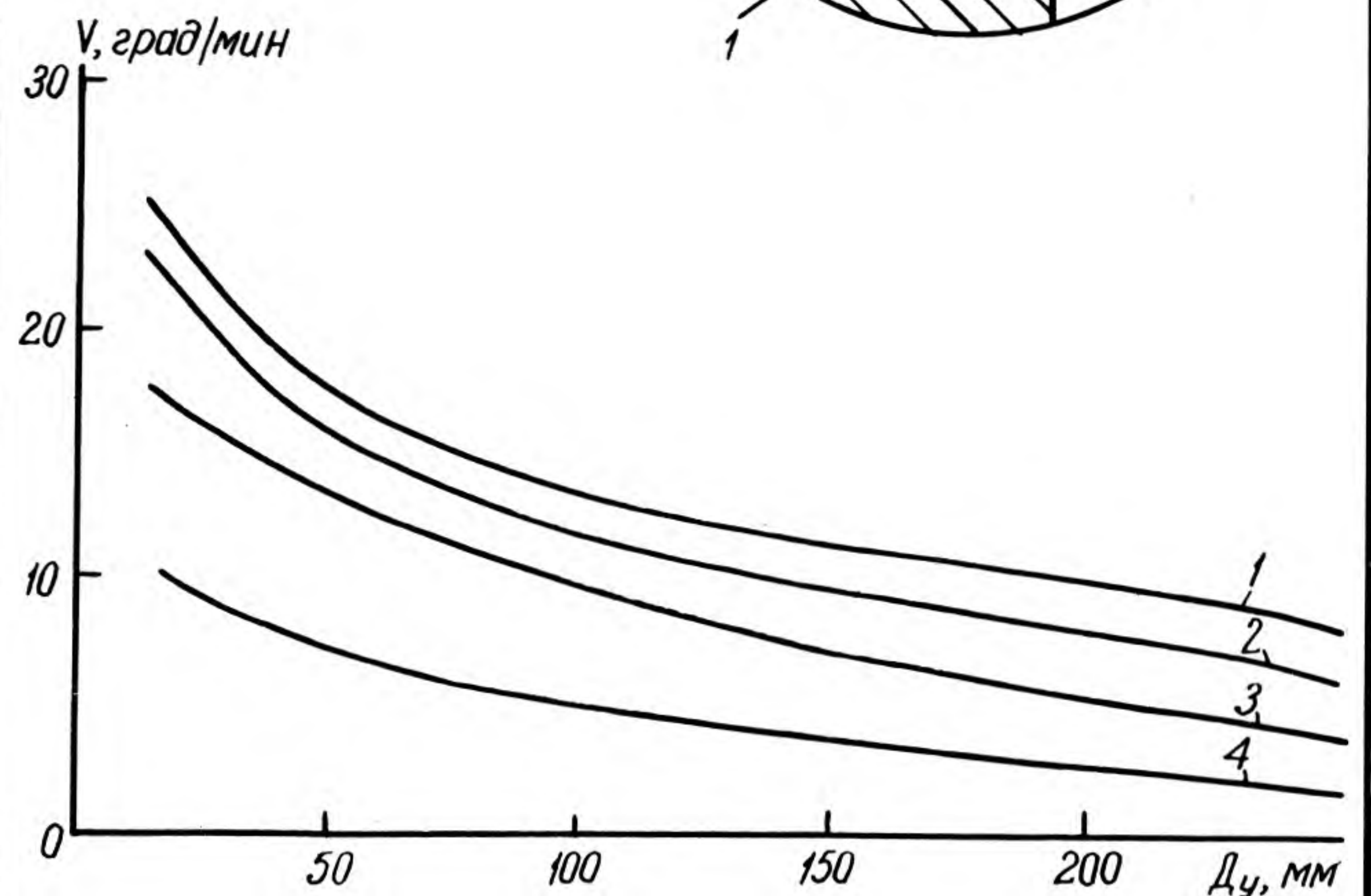
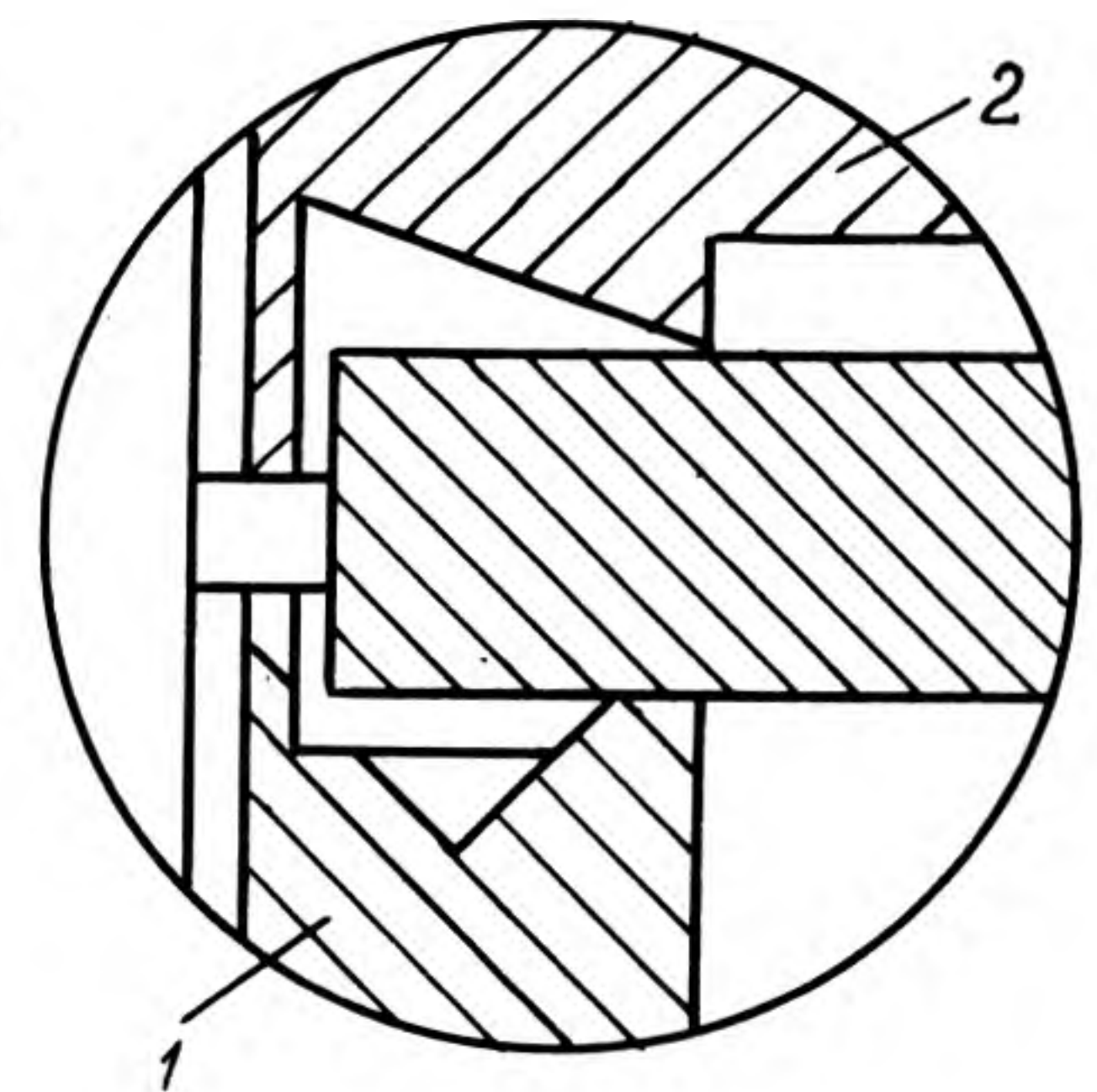


Рис. 5. Средние скорости нагрева и охлаждения фланцевых соединений: 1, 3 — с уплотнением КМ; 2, 4 — с уплотнением по ГОСТ 26526-85

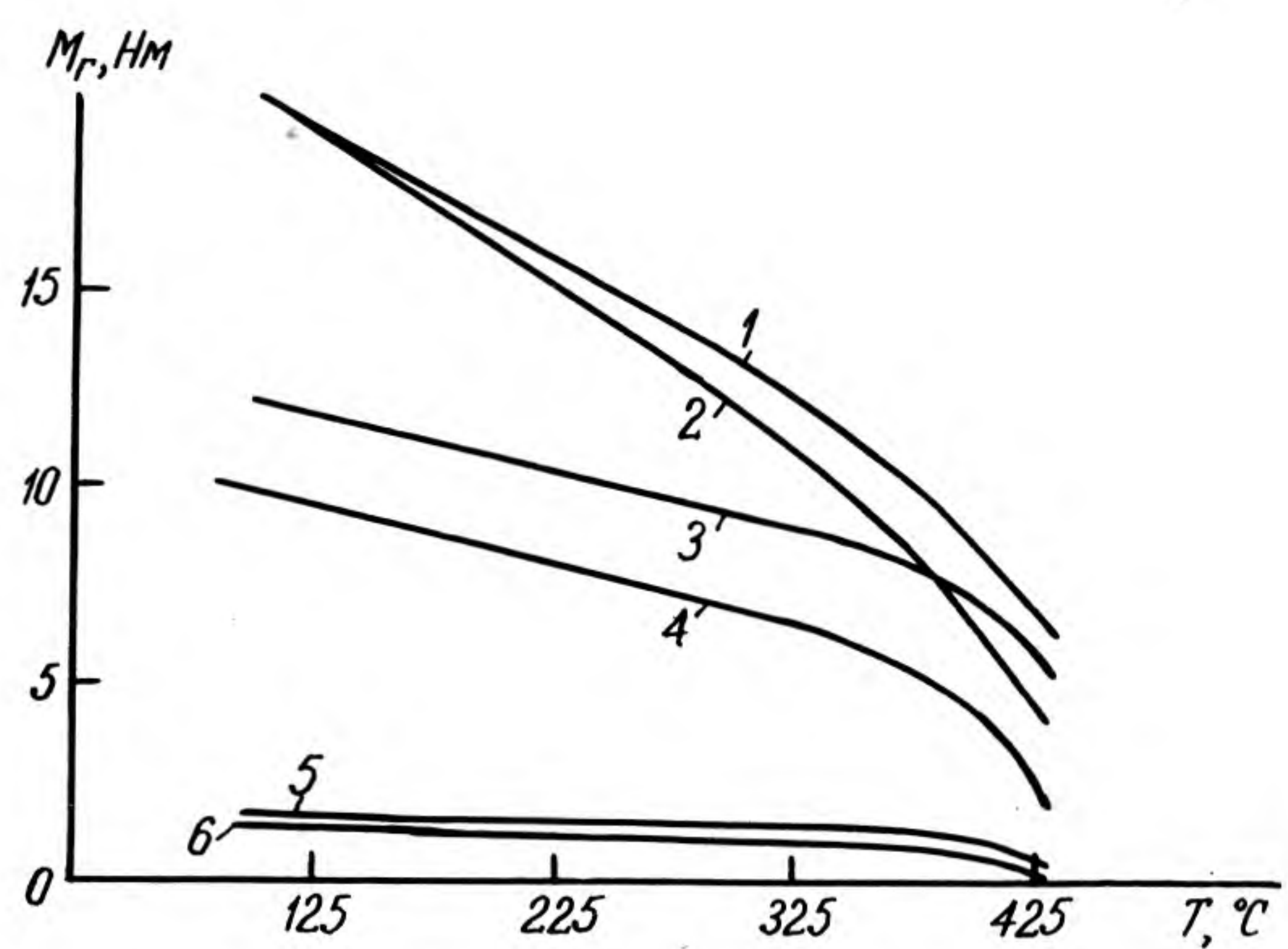


Рис. 6. Зависимость момента затяжки крепежных элементов СВВФС от температуры: 1, 3, 5 — соответственно D_y 63 и 100, 40 и 16 с уплотнением КМ; 2, 4, 6 — D_y 63 и 100, 40, 16 с уплотнением СФ по ГОСТ 26526-85.

и никеля) марки 304 [13], которая по своим характеристикам близка к стали 12X18H10T, а для крепежных элементов — сталь типа 18-8 марки 300.

В СВВФС для уплотнителей рекомендуется использовать медь с малым содержанием кислорода марок М06 и М1 при температурах прогрева до 450°C. Для уплотнителей СВВФС применяется бескислородная медь OFHC [13]. При температурах прогрева до 300°C материалом уплотнителя в СВВФС служит алюминий и его сплавы [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Roth A. Sealing mechanisms in bakeable vacuum seals. — Journal of Vacuum Science and Technology. 1983, June, A1(2), p. 211—219.
2. Львов Б.Г., Шувалов А.С. Современные сверхвысоковакуумные уплотнения. — М.: Высшая школа, 1984. — 70 с.
3. Волошин А.А., Григорьев Г.Т. Расчет и конструирование фланцевых соединений. — Л.: Машиностроение, 1979. — 125 с.
4. Львов Б.Г., Рябов В.В., Шувалов А.С. Оценка качества сверхвысоковакуумных разъемных соединений. — Электронное машиностроение, робототехника, технология ЭВП. Межвузовский сборник, МИЭМ, 1986, с. 16—22.
5. ГОСТ 26526-85 (СТ СЭВ 4773-84). Оборудование ва-

куумное. Соединения фланцевые для сверхвысоковакуумных систем. Издательство стандартов, 1985.

6. Wheeler W.R., Carlsson M. Ultra-high vacuum flanges. — Transactions of the 8-th Vacuum Symposium, 1962, vol. 2, p. 1309—1318.
7. Wheeler W.R. The design of large vacuum seals for nuclear fusion machines. — Proc. 7-th Intern. Vac. Congr. and 3-rd Intern. Conf. Solid Surfaces (Vienna, 1977), Vienna, 1977, vol. 1, p. 251—254.
8. Fupete A.O. Thermal cycling and torque analysis of an ultrahigh vacuum flange. — J. Vac. Sci. Technol., 1983, April—June, A1(2), p. 221—223.
9. Львов Б.Г., Шувалов А.С. Техническое обслуживание новой вакуумной коммутационно-регулирующей аппаратуры. — М.: Высшая школа, 1987, с. 74.
10. Балцкий А.В. Технология изготовления вакуумной аппаратуры. — М.: Энергия, 1974, с. 277—293.
11. Домрачев С.Н., Моисеев В.Я., Саксаганский Г.Л. Конструирование разъемных вакуумных соединений с металлическими уплотнителями. — Электронная техника. Сер. 4. Электровысоковольтные и газоразрядные приборы. 1975, вып. 3, с. 67—75.
12. Рот А. Вакуумные уплотнения/Пер. с английск.; под ред. А.И.Фигнера. — М.: Энергия. 1971. — 461 с.
13. Розберг Ф. Справочник по вакуумной технике и технологии/Пер. с английск. — М.: Энергия, 1972. — с. 240—257.

Статья поступила 15 мая 1989 г.

Средства автоматизации

УДК 621.3.049.77.002.5:681.325.5

СТАНДАРТ SECS ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Канд. техн. наук Т.Н.Егорова,
Е.В.Зенкина

Приведены основные характеристики и возможности стандарта SECS, а также отражен опыт применения стандарта в оборудовании для производства ИЭТ.

Проблема выбора протоколов связи в многомашиных и распределенных системах управления встала и перед разработчиками автоматизированного специального технологического оборудования (СТО). Избыточность сетевых стандартных протоколов и нерентабельность их реализации в системах управления СТО послужили основными причинами появления множества нестандартных протоколов связи, что привело к непереносимости программного обеспечения и значительным затратам на согласование и отладку средств связи между отдельными системами управления при коллективном решении комплексных задач.

Для организации межмашинной связи в распределенной микропроцессорной системе управления установкой ионной имплантации IV поколения выбран стандарт SECS, предложенный фирмой SEMI для применения в интеллектуальном оборудовании при производстве интегральных схем. Стандарт SECS нашел применение на ряде предприятий отрасли, например, в линиях ГАП СБИС ЦМД.

В качестве источника информации используется сборник стандартов*.

Стандарт SECS имеет два уровня: первый — протокол канала (алгоритм обслуживания канала приема-передачи данных), второй определяет формат и значение данных. Этот стандарт устанавливает дуплексную передачу сообщений и соответствует распределенной системе управления, выполненной по схеме «звезда».

В системе управления ионного имплантера задействованы блоки микропроцессорного управления (БМУ), которые осуществляют управление локализованными узлами установки: вакуумной системой, источником, системами вытягивания и формирования пучка, приемным устройством. В качестве центральной ЭВМ, координирующей действия БМУ, используется комплекс ДВК-2.

Первый уровень протокола SECS-I — протокол канала — выполняет следующие функции: определяет порядок связи между центральной ЭВМ и локальными системами управления. Предполагается, что в начальный момент работы оба конца линии находятся в состоянии ожидания, вывод из которого может осуществиться одно из следующих действий:

передачу сообщения; незапланированное чтение — прием информации от противоположного конца линии, запланированное чтение — прием информации, затребованной передающей стороной.

Сеанс связи между двумя концами линии (транзакция) начинается с обмена одиночными символами, посылаемыми в определенном направлении в заданный момент времени. Используются четыре стандартных символа в коде ASCII.

Порядок обмена информацией между принимающей и передающей сторонами показан на рис. 1.

На уровне SECS-I определен формат заголовка сообщения (рис. 2). Стандартному сообщению предшествует заголовок из десяти байтов. Заголовок содержит: идентификатор устройства, идентификатор сообщения, номер блока и системную область.

Байты 1—2, исключая R-бит, определяют номер БМУ в распределенной системе управления. R-бит указывает направление передачи и устанавливается в «0» для сообщений от ведущего устройства и в «1» для сообщений ведомому устройству.

Байты 3—4, исключая W-бит, содержат идентификатор сообщения (номер потока и номер функции). W-бит, установленный в «1», означает, что устройство передачи включило таймер и встало в режим запланированного чтения.

Байты 5—6, исключая E-бит, содержат номер блока передаваемых данных, если

* Book of SEMI standards. 1985. Vol. 2. Equipment Division semiconductor Equipment and Materials Institute, Incorporated.

массив передаваемых данных больше 244 байт. «1» в *E*-бите устанавливается в последнем блоке. В ионных имплантерах длина сообщений всегда меньше 244 байт, поэтому передаваемый блок является единственным и последним, что существенно упрощает реализацию протокола.

Байты 7—10 отведены для системных целей:

— разрешают конфликт при одновременном захвате линии с двух сторон в пользу ведущей стороны. Принято, что ведущей всегда является центральная ЭВМ, но имеется возможность замены приоритета. Если при передаче сообщения из центра навстречу пойдет запрос на передачу от локального БМУ, центральная ЭВМ запрос проигнорирует и доведет свою передачу до конца;

— обеспечивают контроль целостности аппаратной связи между устройствами и непрерывности приема сообщения во времени. При передаче сообщения посылается запрос, и передающая сторона становится на ожидание ответа, время ожидания по протоколу составляет 300 мс. Если время ожидания истекло, передатчик повторяет свой запрос столько раз, на сколько настроен счетчик повторов, после чего, в случае неудачи, канал выводится в состояние «незапланированного сообщения». В заголовке передаваемого сообщения устанавливается код ошибки. При приеме сообщения после получения байта длины начинается побайтный прием данных, причем между приемами байтов устанавливается контрольный промежуток времени 125 мс. Если контрольное время истекло, транзакция прерывается;

— контролируют целостность данных по контрольной сумме. При приеме—передаче сообщения происходит подсчет контрольной суммы как в приемнике, так и в передатчике. После данных передатчик отправляет приемнику подсчитанную контрольную сумму. Приемник сравнивает ее со своей и, в зависимости от того, совпадает она или нет, отправляет передатчику символ правильного (ACK) или неправильного (NAK) приема сообщения. Получив символ NAK, передатчик повторяет сообщение по счетчику повторов;

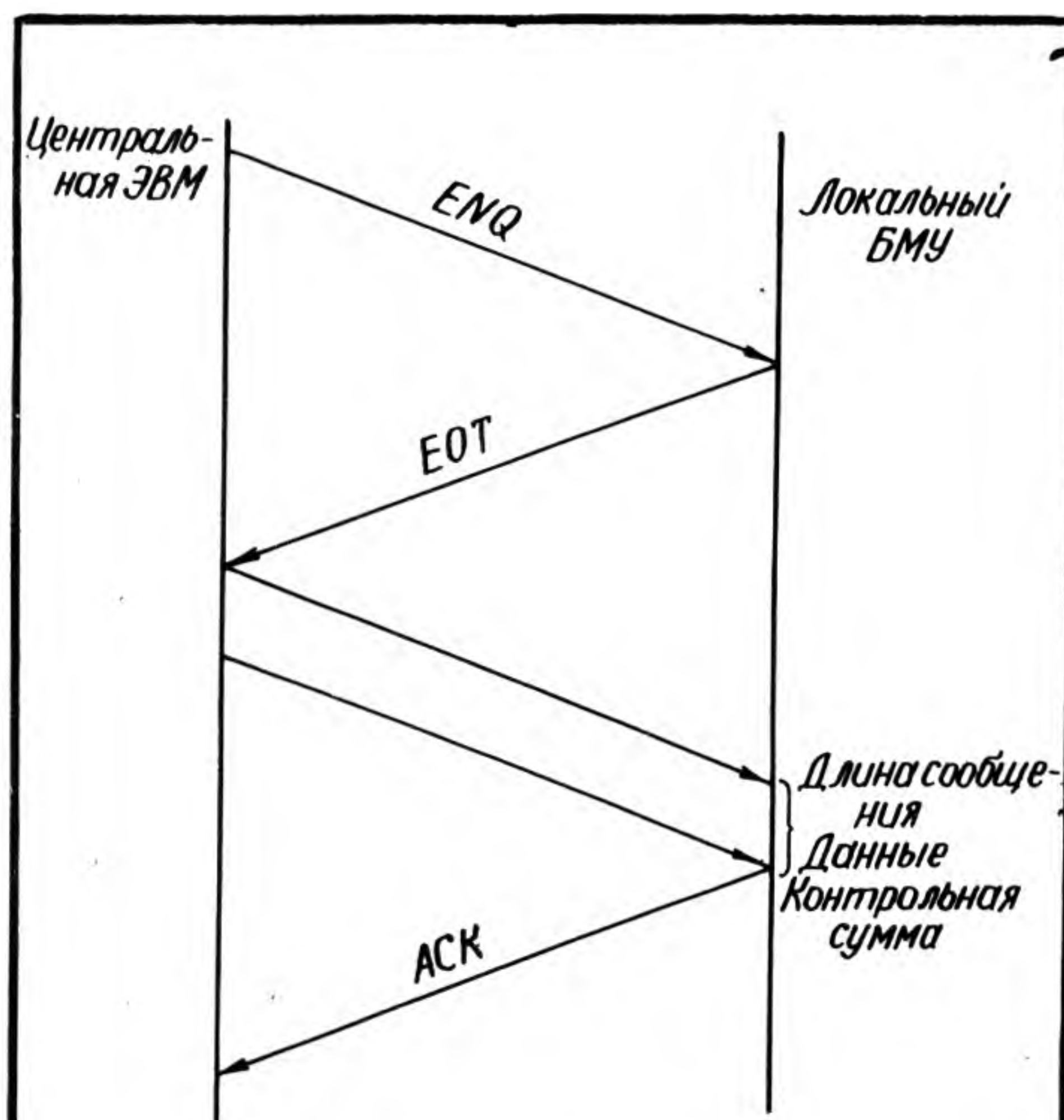


Рис. 1. Схема приема-передачи сообщения

Байт	1	R	ID устройства (старший байт)
	2		ID устройства (младший байт)
	3	W	ID сообщения (старший байт)
	4		ID сообщения (младший байт)
	5	E	Номер блока (старший байт)
	6		Номер блока (младший байт)
	7		Системный байт
	8		Системный байт
	9		Системный байт
	10		Системный байт

Рис. 2. Формат заголовка сообщения

— осуществляют контроль завершения транзакции. Когда не принят запрос требования передачи, произошел временной сбой при передаче—приеме данных или неправильно подсчитана контрольная сумма, транзакция завершается, и канал переводится в состояние «незапланированного чтения».

Второй уровень протокола SECS-II, определяющий формат и значения данных, рекомендует использовать определенные идентификаторы потоков и функций для конкретизированных сообщений (например, поток S1 — для сообщений о состоянии оборудования, поток S2 — для связи с функциями управления и диагностики и т.д. до потока S11).

Однако неоднозначность толкования смысла стандартизованных потоков и функций разными разработчиками не позволяет исключить процесс взаимных дополнительных согласований. В результате SECS-II не нашел применения в разработках, выполняемых совместно разными коллективами. С сохранением идеологии разбиения сообщений на потоки и функции в установке ионной имплантации были приняты собственные соглашения, касающиеся смысла передаваемых сообщений.

Опыт работы при автоматизации СТО показывает, что большинство сообщений носит командный характер, для их передачи достаточно одного заголовка, несущего номер потока и номер функции и трактуемых как номер команды. Сообщения, в которых содержатся технологические параметры или диагностируется неисправность оборудования, не превышают длины одного блока данных.

Таким образом, стандарт SECS-I полностью удовлетворяет требованиям обмена информацией в распределенных системах управления СТО и практически не содержит избыточных функций. Использование SECS-I освобождает разработчиков от этапа согласования протокола канала. Стандарт SECS-II, ориентированный на производство интегральных схем, избыточен для СТО и не всегда однозначен в выборе потоков и функций. Модификация второго уровня протокола аналогична самостоятельной разработке.

Статья поступила 2 сентября 1989 г.

УДК 621.98.001.24

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТОВ В ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Канд.техн.наук доц. А.С.Баргялис, мл.науч.сотр. Р.А.Манкуте

Для осуществления сквозного цикла при оптимальном раскрое материалов с помощью ЭВМ, при проектировании штамповочных технологических процессов изготовления различных гибочных деталей и при расчете потребности материальных ресурсов целесообразно использовать разработанный программный модуль расчета разверток заготовок из листового проката. Модуль может работать как в комплексном, так и в автономном режиме.

В электронной промышленности используются разнообразные гибочные детали, поэтому для автоматизированного расчета разверток с помощью ЭВМ потребовалось выявить системообразующие факторы. Это было реализовано на основе созданного классификатора, в котором все гибочные детали

распределены на два класса: с прямыми составными элементами (12-й подкласс), и с радиусными (15-й подкласс).

При расчетах используется переменная информация, структура которой имеет следующий вид:

$$KL | P1 | \Delta P1 | P2 | \Delta P2 | P3 | \Delta P3 | \alpha | S | R1 | R2 | \begin{cases} [R3 | \Delta R3 |] \\ [D | \Delta D |] \\ [R3 | R4 |] \\ [P4 | \Delta P4 |] \\ [P4 | \Delta P4 | P5 | \Delta P5 |], \end{cases}$$

где *KL* — класс детали по классификатору; *P1*—*P5* — размеры детали, мм; $\Delta P1$ — $\Delta P5$, ΔD — допуск размера, мм; α — угол наклона, град.; *S* — толщина детали, мм; *R1*—*R4* — радиусы гибки, мм; *D* — диаметр гибочного элемента детали, мм.

Если гибка осуществлена также по второй оси, формируется аналогичный набор исходных данных.

При расчете длины развертки определяется и ее допуск:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i'|}{n},$$

где Δ_i' — допуск *i*-го гибочного элемента детали, $\Delta_i' = \Delta_i / 2$ —

если отклонения размера гибочного элемента — симметричные, $\Delta i' = \Delta i$ — если отклонение размера — положительное или отрицательное; n — число размерных элементов гибочной детали.

Программный модуль расчета длины развертки реализован на СМ ЭВМ, используется операционная система ОСРВ, программы написаны на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV

(около 800—1000 операторов) и занимают не более 40 Кбайт слов оперативной памяти. Объем внешней памяти не более 0,5 Мбайт.

Данный программный модуль внедрен на различных предприятиях машино- и приборостроения.

УДК 621.52.011.56.012.3

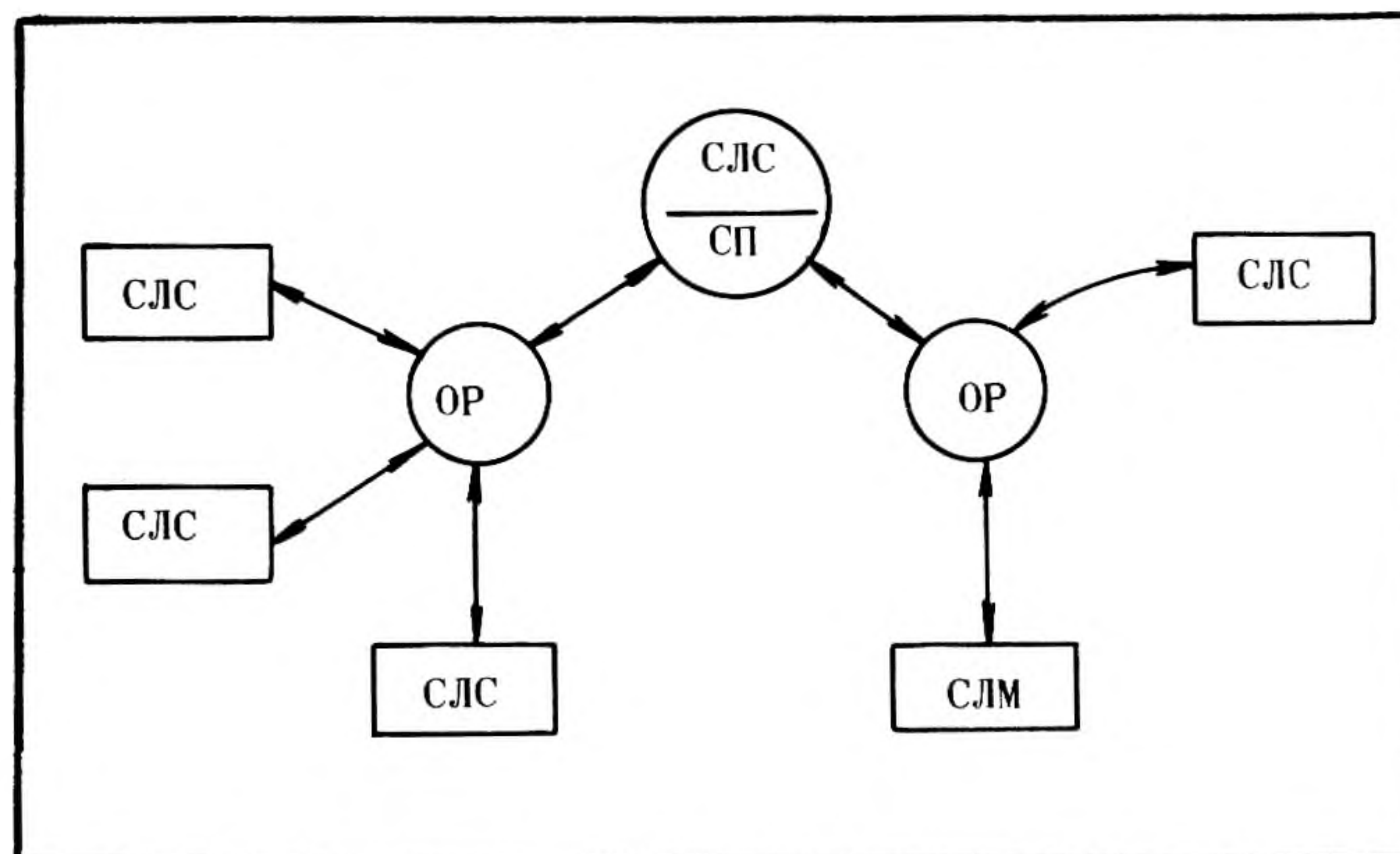
ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ АСУ ТП И ГПС

Особенность сетей АСУ ТП и ГПС состоит в том, что они функционируют в реальном масштабе времени, что в свою очередь требует обработки поступающей информации и выдачи сигналов управления в ходе реально протекающего процесса. Нарушение реального масштаба времени рассматривается в подобных системах как событие исключительное, способное привести к нарушению производства. Сети АСУ ТП и ГПС в отличие от вычислительных и учреждений должны сохранять высокую надежность и живучесть в условиях электромагнитного поля.

Предлагаемые для построения таких сетей технические средства стандарта MIL-STD-1553B позволяют успешно реализовать предъявляемые требования. В соответствии со стандартом кодирование информации осуществляется фазоманипулированным кодом "Манчестер-II", что обеспечивает:

- проверку достоверности принимаемой информации, начиная с побитовой обработки;
- пословную обработку сообщений и всего сообщения в целом;
- передачу информации короткими пакетами длиной от 1 до 32 слов разрядностью в 16 бит и дополнительным битом контроля по четности;
- организацию распределенного управления, детерминированного метода доступа к среде передачи, гарантирующего максимальное время доставки сообщений;
- широковещательный режим: наличие большого числа команд управления, включая команды синхронизации, переключения на резерв, передачи управления и пр., выдачу квитанции станцией — приемником информации — на каждый полученный пакет, а также достаточно высокую скорость передачи в мультиплексном канале — 1 Мбит/с.

Применение в качестве моноканала оптоэлектронного тракта обеспечивает возможность работы сетей в условиях производства, позволяет учесть требования электромагнитной совместимости устройств, входящих в распределенную систему управления. На рисунке



приведен пример состава и структуры оптоэлектронной локальной сети (ОЭЛС), созданной на основе стандарта MIL-STD-1553B (СЛС — станция локальной сети, СП — селективный повторитель, ОР — оптический разветвитель). Оптоэлектронные элементы ОЭЛС позволяют реализовывать моноканал с топологией шины, звезды, дерева. Этот стандарт предоставляет лишь средства для построения систем, не ограничивая разработчика в решениях, т.е. не делает разрабатываемую систему однозначно определенной.

В соответствии с приведенным описанием архитектуры ОЭЛС, ее структуры, алгоритмов функционирования создан образец сети со следующими основными характеристиками:

- Метод доступа к среде передачи — маркерный
- Скорость передачи по тракту — 1 Мбит/с
- Мощность потребления одной станции — не более 4 Вт
- Число станций сети — не более 31
- Программное обеспечение — в ОС R_T-11
- Максимальная транзитная задержка — ограничена
- Топология сети — древовидная
- Число станций в одном сегменте — не более 8
- Максимальное расстояние между станциями — не более 300 м
- Интерфейс сопряжения станции с абонентом — МПИ по ОСТ 11 305.903-80
- Напряжение питания — 220 В
- Частота тока — 50 Гц
- Потребляемый ток — 0,05 А
- Диапазон рабочих температур составляет —10...+50°С

Е.В.Титов, Е.И.Ерохов, В.И.Клюшин, В.А.Скуратов

14—21 июня 1990 г. в Свердловске
состоится выставка
Конторские машины и оборудование

УДК 631.029

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФТОРОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

**В.И.Беклемышев, А.Е.Дарьюшкин,
И.И.Махонин, канд.хим.наук Н.А.Рябинин,
канд.хим.наук, ст.науч.сотр. К.И.Серушкин**

С переходом к производству БИС и СБИС, когда степень интеграции повышается до 10^6 элементов на кристалл, а размер самих элементов уменьшается до 1,0 мкм и менее, одной из главных проблем, стоящих перед изготовителями, остается проблема очистки поверхности полупроводниковых пластин от механических микрочастиц. При производстве простого МОП-транзистора кремниевая пластина подвергается промывке около тридцати раз — перед операциями окисления диффузии, нанесения фоторезиста и после удаления резистивного слоя [1].

Основные виды очистки:

- в различных химических растворах (травящих, моющих и т.д.);
- высокоскоростной струей жидкости;
- гидромеханическая и мегазвуковая.

Однако ни один из этих методов не обеспечивает необходимой степени чистоты поверхности. Это связано не только с недостатками каждого из них, но и с тем фактом, что при уменьшении размера частиц возрастает их концентрация (из общего числа микрозагрязнений на поверхности пластины доля частиц размером меньше 0,2 мкм составляет 85—95%), и резко увеличивается сила адсорбции частиц к поверхности. Это можно показать на примере расчета прочности контакта с поверхностью кремниевой подложки частиц размером 1,0 и 0,1 мкм.

Согласно микроскопической теории Гамакера и Де-Бура [2] работу адгезии можно определить, суммируя дисперсионные взаимодействия между молекулами, содержащимися в объектах микрочастиц и подложки. Притяжение между двумя молекулами описывается уравнением:

$$U(x) = C_1/x^6,$$

где величина $C_1 = 3/4(h\nu_0)a^2$ учитывает только дисперсионные взаимодействия; $h\nu_0$ — энергия ионизации молекулы адсорбата; a — поляризуемость молекулы адсорбата; x — расстояние между молекулами.

Тройное интегрирование по объему бесконечной пластины дает следующее выражение для энергии взаимодействия между пластиной и молекулой:

$$U(x) = (\pi/6) (n_1 C_1/x^3),$$

где n_1 — концентрация атомов в 1 см^3 подложки.

Интегрированием по объему шарика получим энергию притяжения сферической частицы r к пластине бесконечной толщины:

$$U = (A^*/12) \cdot (4r/h + 4r/(h+4r) + 2\ln(h/(h+4r))),$$

где A^* — постоянная Гамакера, которая включает

произведение концентраций и поляризуемостей (α) взаимодействующих молекул; h — зазор между взаимодействующими поверхностями сферической частицы и подложки.

В выражении для энергии взаимодействия частицы с пластиной вторым и третьим членом (при $h \ll r$) можно пренебречь. Тогда выражение энергии можно записать в следующем виде:

$$U = (A^*/12) \cdot (4r/h) = A^*d/6h,$$

где $d = 2r$ — диаметр сферической частицы.

Для большинства дисперсных систем $A^* = 10^{-19}$ Дж. При зазоре $h = 10 \text{ \AA}$ энергия сцепления микрочастицы размером $\sim 1,0 \text{ мкм}$ с пластиной составит $\sim 1,5 \cdot 10^{-17}$ Дж.

Сила взаимодействия микрочастицы с пластиной равна $F = A^*d/6h^2$. Сила сцепления микрочастицы размером 1,0 мкм с пластиной при зазоре $\sim 1 \text{ нм}$ составит $\sim 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Н} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$.

Для субмикронных частиц происходит усиление непосредственного контакта между ними и пластиной вследствие перехода от точечного соприкосновения к адгезионному взаимодействию на значительной (по сравнению с атомными размерами) площади. При этом наряду с ван-дер-ваальсовыми силами в сцеплении микрочастицы с пластиной могут участвовать близкодействующие (валентные) силы, реализуемые на площади непосредственного контакта: $F = Ne^2/b^2 4\pi\epsilon_0$, где N — число валентных связей, возникающих в контакте; e — заряд электрона; ϵ_0 — электрическая постоянная; b — период кристаллической решетки подложки. Оценим силу сцепления микрочастицы размером 0,1 мкм с поверхностью кремниевой подложки.

Предположим, что непосредственный контакт сферической микрочастицы диаметром 0,1 мкм с пластиной осуществляется на площади, равной 0,1% площади микрочастицы, т.е. $\pi/4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$.

Так как поверхностная концентрация атомов кремния составляет 10^{15} ат/см^2 , то на площади $\pi/4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$ может быть реализовано $\pi/4 \cdot 10^2$ валентных связей, возникающих в контакте.

Отсюда при $N = \pi/4 \cdot 10^2$ получим:

$$F = Ne^2/b^2 4\pi\epsilon_0 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Н} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ кг},$$

где b — период решетки кремниевой подложки.

Определим прочность контакта частиц с размером 1,0 и 0,1 мкм с подложкой, иными словами, величину, определяющую способность частиц сопротивляться при их отрыве от подложки.

Для упрощения будем считать форму частиц кубической с размером ребер 1,0 и 0,1 мкм.

Прочность контакта частицы размером 1,0 мкм составит: $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/} 10^{-8} \text{ см}^2 \approx 14 \text{ кг/см}^2$. Прочность контакта частицы размером 0,1 мкм — $4 \cdot 10^{-7} \text{ кг/} 10^{-10} \text{ см}^2 = 4 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$.

Из приведенного оценочного расчета видно, что микрочастицы на поверхности подложки удерживаются с помощью огромных сил.

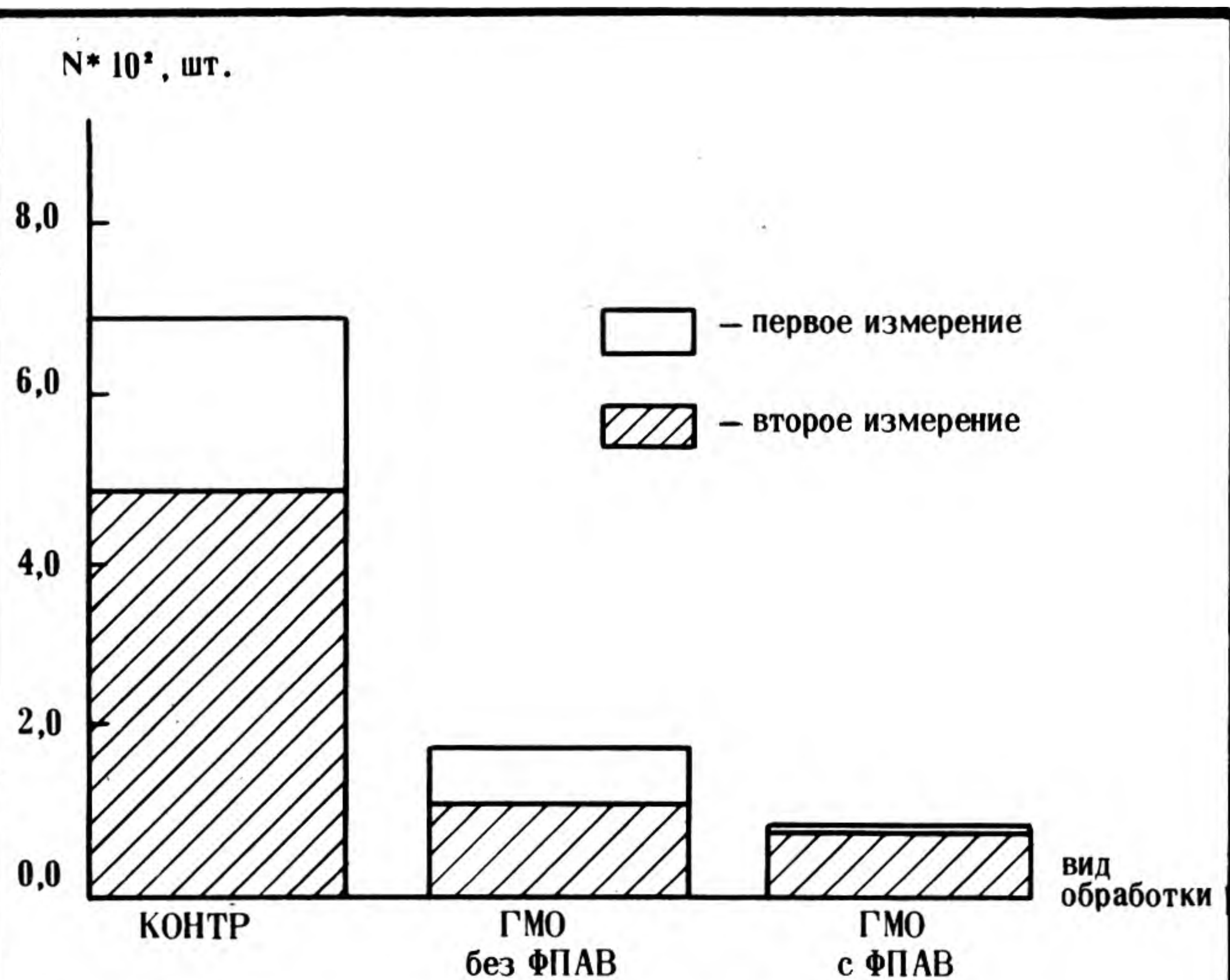


Рис. 1. Зависимость количества микрочастиц на поверхности Si от вида обработки

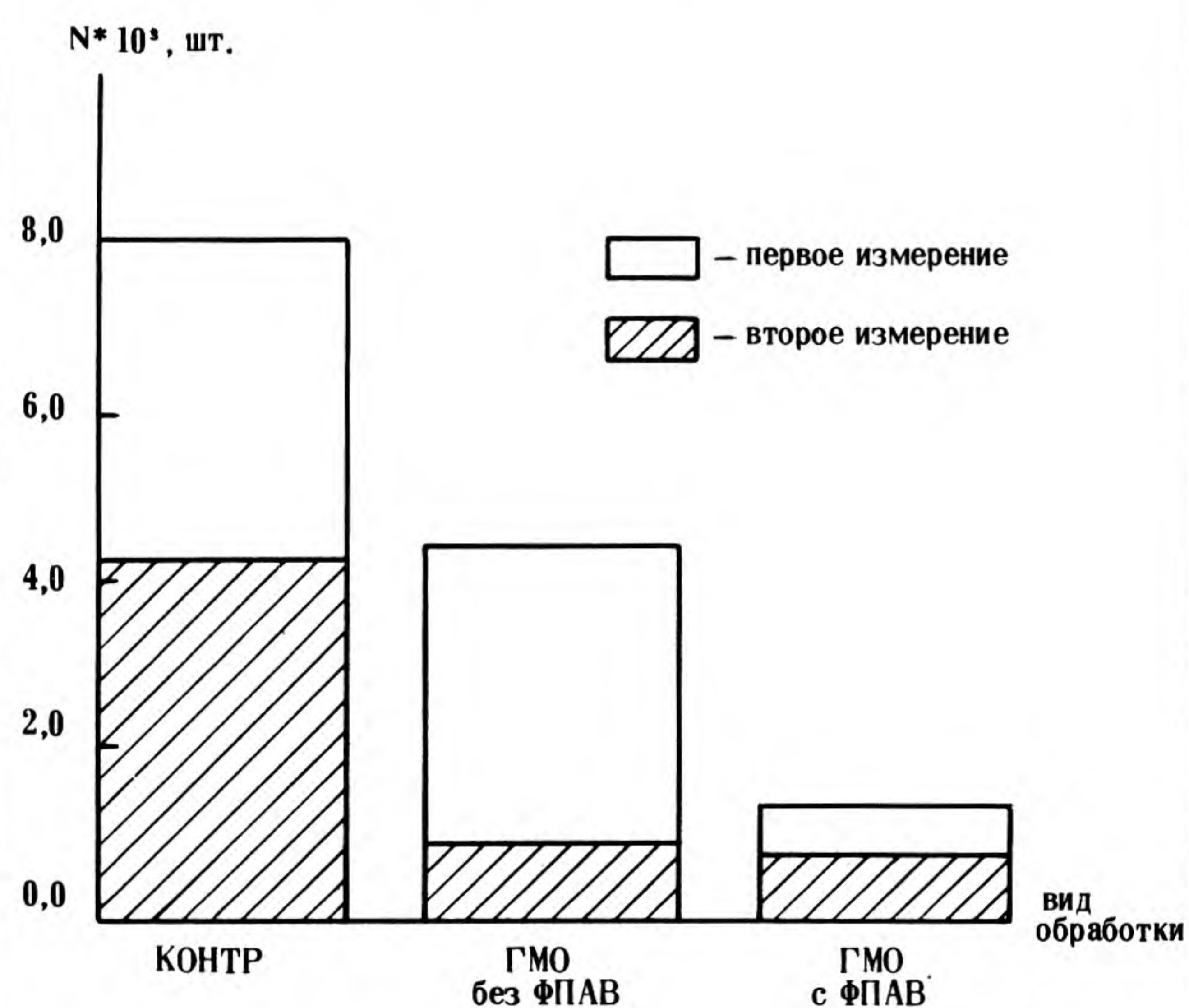


Рис. 2. Зависимость количества микрочастиц на поверхности SiO₂ от вида обработки

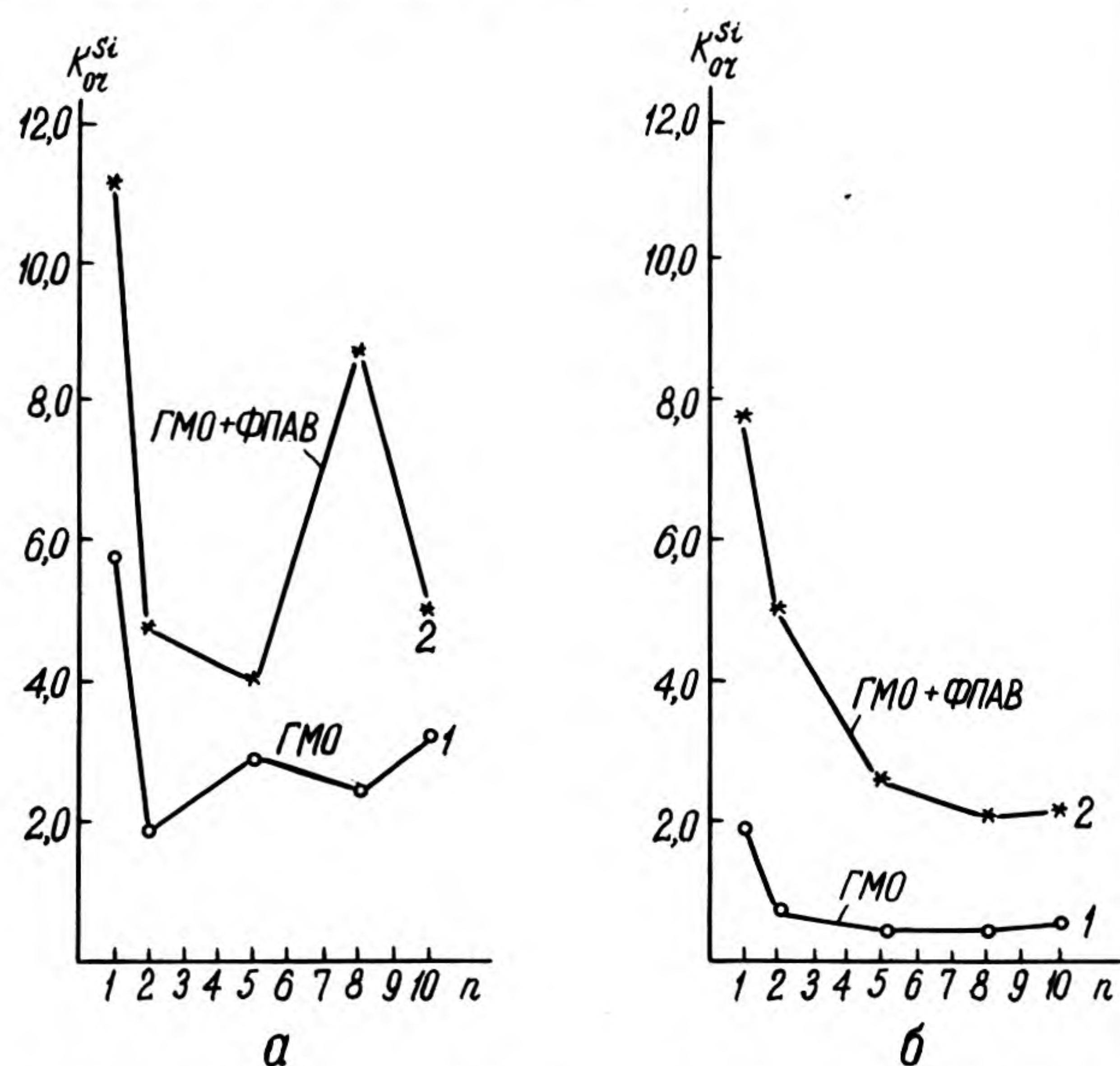


Рис. 3. Зависимость коэффициента очистки кремневой пластины для частиц различного размера (0,06—2,31 мкм²) от вида обработки: а — первое измерение; б — второе, после моделирования процесса фотолитографии

Для того, чтобы повысить эффективность обработок необходимо либо увеличить силу, действующую на микрочастицу в процессе очистки, либо уменьшить адсорбционную связь между поверхностью и частицей. Для осуществления первого необходимо реализовать на практике новые принципы воздействия на микрочастицу, адсорбированную поверхностью. Причем это воздействие должно превышать силу адсорбции — только в этом случае возможен очищающий эффект.

Предложен метод, позволяющий уменьшить адсорбционное взаимодействие между подложкой и адсорбированной на ней микрочастицей. Он заключается в добавлении в моющий раствор фторорганических поверхностно-активных веществ (ФПАВ), которые приводят к значительному снижению поверхностного натяжения последнего. Такой раствор легко проникает в пространство между частицей и подложкой, снижая их адсорбционную связь, и способствует, таким образом, более эффективному удалению загрязнений (химических, механических) с поверхности полупроводниковых пластин и функциональных слоев.

Обработка пластин проводилась на автомате микролитографии «Лада-150», анализ чистоты обработки — на лазерном анализаторе поверхности «ЛАП» с разрешением 0,2 мкм по диаметру частицы.

Из пластин кремния *p*-типа проводимости формировались две партии: «1» — структура монокристаллического кремния; «2» — структура Si—SiO₂ (толщина SiO₂ $d_{SiO_2} = 0,1$ мкм).

Каждая партия делилась на три группы: первая — контрольная; вторая — для стандартного процесса гидромеханической обработки (ГМО); третья — для процесса ГМО с добавлением в моющий раствор ФПАВ.

Партии подвергались соответствующим обработкам и проводился анализ дефектности поверхности. Результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно для поверхности Si и SiO₂. Моделировался фотолитографический процесс и партии проходили повторную обработку: первая не отмывалась; вторая отмывалась стандартным процессом ГМО; третья отмывалась методом ГМО с добавлением в моющий состав ФПАВ.

На рис. 3 и 4 представлена зависимость коэффициента очистки ($K_{оч}$) для частиц различного размера от вида обработки для двух поверхностей: Si и SiO₂. $K_{оч}$ определялся как отношение среднего количества микрзагрязнений на пластинах контрольной группы к среднему количеству микрзагрязнений на поверхности пластин, прошедших соответствующую отмывку (ГМО и ГМО с добавлением в моющий раствор ФПАВ).

Приведенные теоретическое обоснование и экспериментальные данные свидетельствуют о преимуществах раствора с добавкой ФПАВ перед обычным моющим раствором, используемым в технологии интегральных схем.

Существует еще один технологический аспект вопроса использования ФПАВ в моющих растворах — это эффект полировки поверхности полупроводниковых пластин в процессе гидромеханической очистки. Явление основано на «эффекте Ребендера», который заключается в понижении прочности твердых тел под влиянием адсорбции поверхностно-активных веществ [4]. Понятно поэтому, что добавление в моющий раствор ФПАВ должно приводить к «разрушению» неровностей и, как следствие этого, к снижению дефектности поверхности пластины.

Эксперименты проводились на автомате микролитографии «Лада-150». Контроль шероховатости поверхности пластины осуществляется лазерным

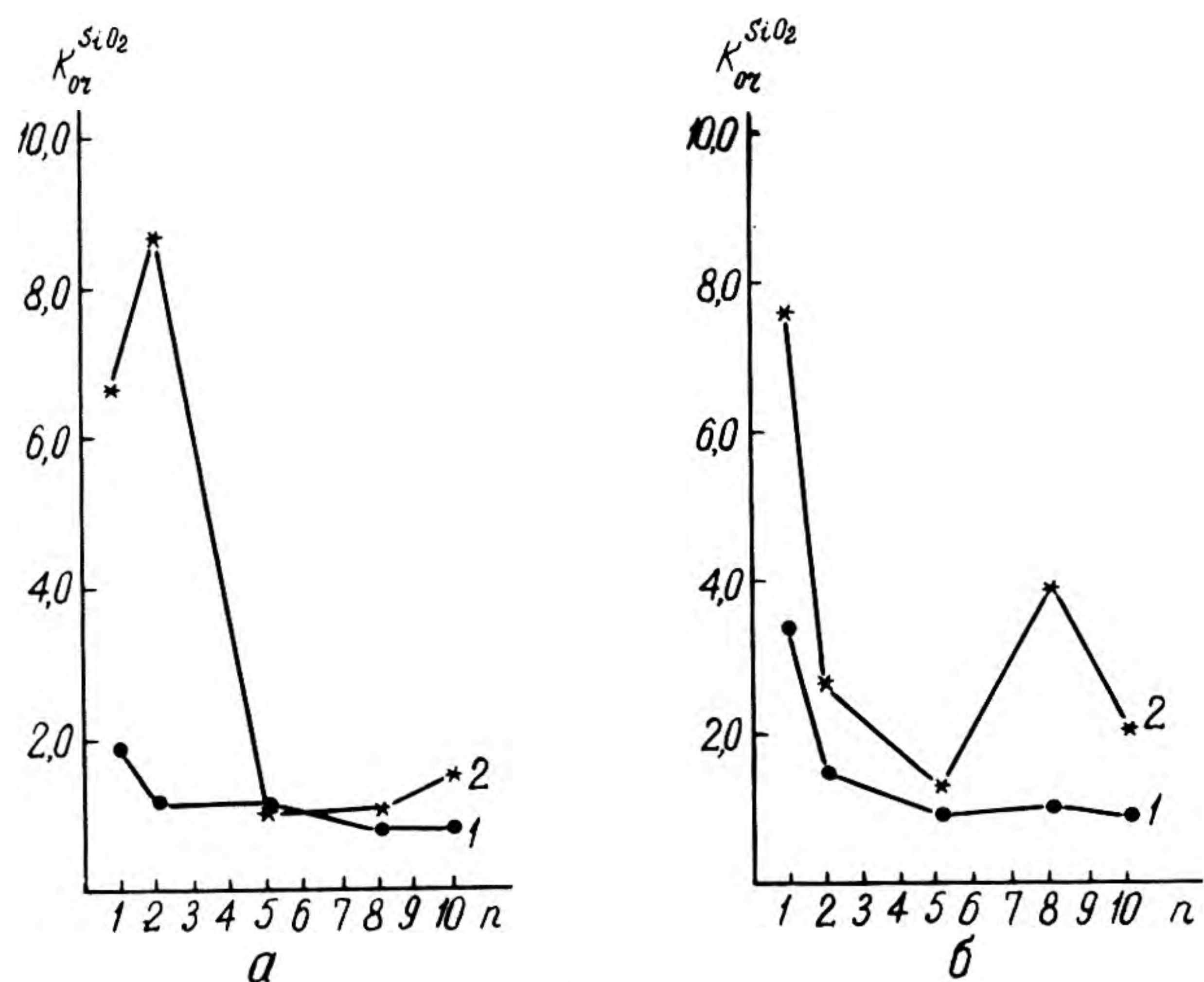


Рис. 4. Зависимость коэффициента очистки пластины с SiO_2 для частиц различного размера ($0,06$ — $2,31$ μm^2) от вида обработки: а — первое измерение; б — второе, после моделирования процесса фотолитографии

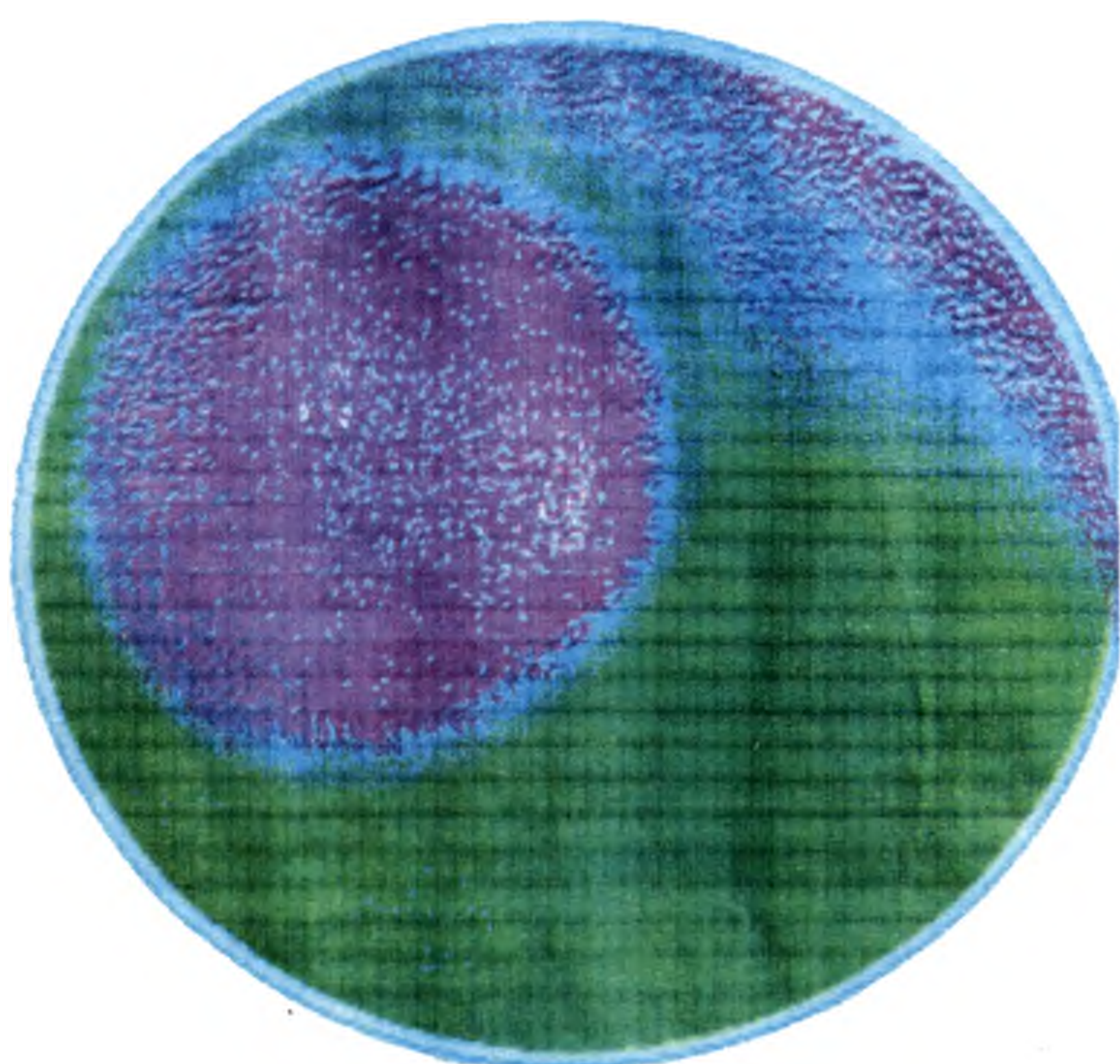


Рис. 5. Распечатка фона пластины, полученная на ЛАПе.

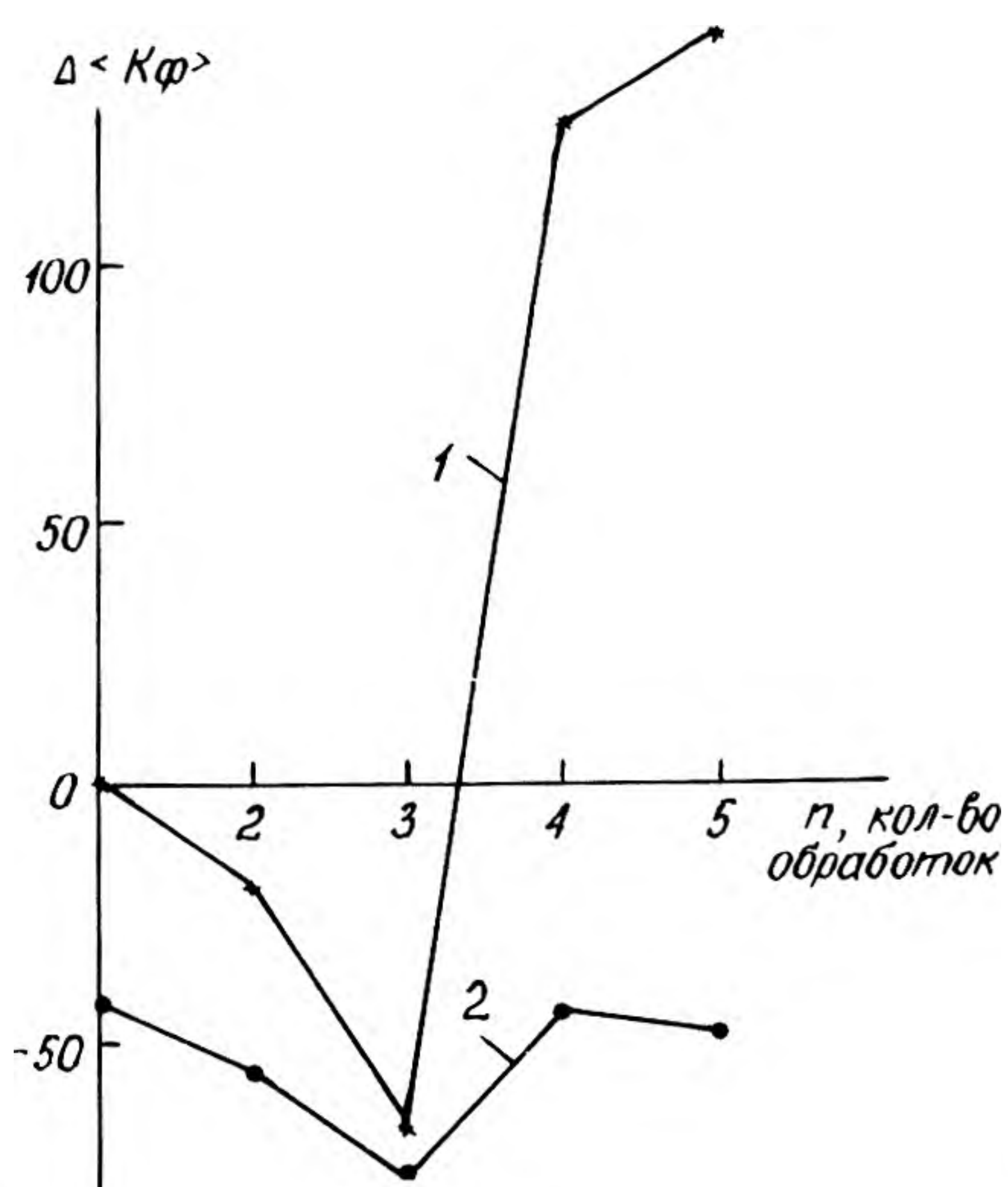


Рис. 6. Зависимость отклонения коэффициента фона от количества обработок на модуле ГМО: кривая 1 — для $\Delta\langle K_\phi^1 \rangle$ (без ФПАВ), кривая 2 — для $\Delta\langle K_\phi^2 \rangle$ (с ФПАВ)

анализатором поверхности ЛАП.

Для проведения сравнительных расчетов было введено понятие коэффициента фона поверхности: K_ϕ . При сканировании лазерным лучом по поверхности пластины происходит либо отражение падающего луча, если поверхность «идеальная», либо его рассеяние, если на ней имеется неоднородность (выпуклости, впадины и проч.). После завершения сканирования происходит выбор среднего значения фона пластины $L_{\phi c}$. Определяются три значения $L_{\phi i}$ таким образом, чтобы $L_{\phi c}$ попадало в интервал от $L_{\phi min}$ до $L_{\phi max}$. Тогда коэффициент фона определялся (рис. 5) следующим образом $K_\phi = L_{\phi c} \sum_{i=1}^3 L_{\phi i} \cdot d_{\phi i}$, где $d_{\phi i}$ — доля площади, занимае-

мая $L_{\phi i}$, относительно всей площади пластины. Партия пластин кремния p -типа проводимости обрабатывалась в перекисно-аммиачном растворе (состав $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2=1:5:1$). Пластины делились на пять групп; измерялись на ЛАПе и для каждой группы рассчитывалось значение среднего коэффициента фона $\langle K_\phi^{1,1} \rangle$. После этого пластины проходили обработку на модуле ГМО. Пластины группы «1» отмывались один раз, «2» — два раза, «3» — три, «4» — четыре, «5» — пять.

По завершении обработки пластины снова измерялись на ЛАПе и для каждой группы определялось значение $\langle K_\phi^{1,2} \rangle$. На рис. 6 представлена зависимость изменения $\langle K_\phi^1 \rangle$ от количества обработок. Отрицательное значение $\Delta\langle K_\phi \rangle$ говорит о том, что после обработки фон пластины снижается ($\langle K_\phi^{1,2} \rangle < \langle K_\phi^{1,1} \rangle$).

Вторая партия пластин кремния p -типа проводимости также предварительно отмывалась в перекисно-аммиачном растворе (состав $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2=1:5:1$). Пластины делились на пять групп и для каждой группы определялось значение $\langle K_\phi^{2,1} \rangle$. Пластины обрабатывались на модуле ГМО аналогично первой партии. В моющий раствор в этом случае добавлялось ФПАВ. Проводился расчет K_ϕ и для каждой группы пластин определялось значение $\langle K_\phi^{2,2} \rangle$. На рис. 6 представлена зависимость $\Delta\langle K_\phi^2 \rangle$ от количества обработок на модуле ГМО. Из рисунка видно, что при добавлении в моющий раствор ФПАВ, во-первых, фон пластины снижается уже после первой очистки, во-вторых, не происходит таких резких перепадов значения $\Delta\langle K_\phi \rangle$, как в случае стандартного моющего раствора.

Таким образом, добавление в моющий раствор ФПАВ приводит к значительному (более чем в 2 и 3,5 раза соответственно для Si и SiO_2) снижению микрочастиц на поверхности. При добавлении в процессе гидромеханической обработки в моющий раствор ФПАВ наряду с удалением с поверхности микрозагрязнений происходит дополнительная полировка поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- И с а к а в а Н. Новое в технологии соединений фтора.— М.: Мир, 1984.
- А д а м с о н А. Физическая химия поверхности.— М.: Мир, 1979.
- Щ у к и н Е.Д., П е р ц о в А.В., А м е л и н а Е.А. Коллоидная химия, МГУ, 1982.
- А х м а т о в А.С. Молекулярная физика граничного трения.— М.: «ФМ», 1963.

Статья поступила 1 ноября 1989 г.

Авторы выражают благодарность С.М.Безручко, С.А.Саунину, Т.В.Несмеловой за проведенные измерения на ЛАПе.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ КРЕМНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Канд. физ.-мат. наук Ю.К.Альтудов,
Т.К.Шогенов, ст.науч.сотр. З.М.Журтов,
д-р физ.-мат. наук, проф. А.А.Шебзухов

Установлена возможность получения структурно-фазовых изменений в кремнии и образования новых фаз (например, силицидов) в процессе внедрения низкоэнергетических ионов переходных материалов.

Ионная имплантация — один из наиболее распространенных методов целенаправленного изменения физико-химических свойств твердых тел. К настоящему времени сформировались в основном два направления ее применения. Первое — это заданное изменение электрических характеристик полупроводниковых структур путем имплантации ионов веществ, которые являются легирующей примесью. Такой процесс имплантации стал классическим и применяется в технологии ИС. Второе направление — это изменение физико-химических свойств металлов и конструкционных материалов путем модификации структурно-фазового состояния поверхности облучаемых объектов.

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что в последнее десятилетие наметились определенные тенденции по применению ионного синтеза в области микроэлектроники. Так, например, получил практическое применение синтез соединений, обладающих диэлектрическими свойствами, путем сверхвысокodoзированной имплантации ионов кислорода и азота в монокристаллический кремний [1]. Имплантацией ионов углерода в кремний синтезированы гетеропереходы SiC—Si [2]. Большое количество работ посвящено исследованию твердофазных превращений в гетеросистемах пленка металла—кремний, инициируемых облучением высокоэнергетическими ионами Ag, Xe, В, Р, As и других, приводящих к образованию силицидов [3, 4]. Исследованию же формирования таких соединений при прямой имплантации ионов металлов переходной группы в кремний [5] уделяется мало внимания, хотя именно в этом случае удастся полностью реализовать основные преимущества и достоинства ионной имплантации. Очевидно, трудности связаны с отсутствием имплантационного оборудования, позволяющего получать высокоинтенсивные потоки ионов тугоплавких металлов с высокими атомными номерами. Типичное значение дозы ионов составляет $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² и выше. Существенного снижения дозы можно достичь уменьшением энергии имплантируемых ионов, однако при этом уменьшается глубина проникновения ионов и толщина слоя, в котором возможны структурно-фазовые превращения, приводящие к образованию силицидов. Однако снижение энергии до 3—10 кэВ также ограничено возможностями оборудования. Метод импульсной имплантации с использованием лазерно-плазменных источников ионов позволяет решить эту проблему, так как в нем реализованы одновременно условия для ионного синтеза: высокие плотности ионного тока (порядка 10 мкА/см²) при мгновенном значении плотности тока (порядка 20 мА/см²) и низкие энергии (менее 10 кэВ).

В настоящее время ионный синтез силицидных фаз с использованием прямой имплантации низко-

энергетических ионов является альтернативным по отношению к методу ионного перемешивания би-слоевых систем.

Известно, что непосредственное внедрение ионов в твердое тело при определенных условиях может приводить к образованию новых фаз в легированном слое [6]. Согласно существующим моделям, ускоренный ион при торможении создает расплавленную область высокого давления, остывающую до средней температуры тела за время 10^{-11} с. При этом зародыш новой фазы возникает случайно в результате интенсивного атомного перемешивания. Вероятность появления зародыша возрастает в определенном диапазоне доз, что связывается с уменьшением индукционного периода, т.е. времени, необходимого для формирования зародыша (10^{-4} — 10^{-8} с), и радиуса критического зародыша при увеличении степени пересыщения.

Процессы фазообразования в этих моделях связаны либо с постепенным накоплением примеси за счет увеличения дозы внедрения, либо с превращениями в уже существующем метастабильном пересыщенном твердом растворе. В этих моделях основной параметр — удельная доза, определяемая как средняя концентрация внедренной примеси в слое толщиной, равной среднеквадратическому разбросу проективного пробега ионов. При этом величина плотности тока не является параметром, существенно определяющим кинетические процессы в имплантируемом слое.

При импульсной имплантации ионов плотности ионного тока в импульсе превышают на три и более порядка плотности тока при непрерывном облучении, а длительности импульса ионного тока сравнимы с индукционным периодом зародыша новой фазы. Величина плотности ионного тока определяет процессы распыления, радиационно-стимулированной диффузии и радиационно-стимулированных химических превращений, определяющих и кинетику фазообразования.

Импульсная имплантация низкоэнергетических (5 кэВ) ионов переходных металлов Mo, Hf, W, Ta и др. позволяет снизить дозу, при которой образуются силицидные фазы указанных металлов. Следует отметить, что переходные металлы характеризуются низкой равновесной растворимостью в кремнии, составляющей около 10^{16} — 10^{17} см⁻³, и низким коэффициентом диффузии, что создает предпосылки к образованию новой фазы.

Малая толщина исследуемого слоя создает трудности для изучения процессов, происходящих в нем при импульсной имплантации. При энергии ионов, равной 5 кэВ, величина проективного пробега ионов и их страгглинга не превышает 0,01—0,008 мкм соответственно, поэтому для анализа таких слоев применяется электронная оже-спектроскопия. Установлено, что структуры Si L_{vv}-пиков кремния и силицидов переходных металлов могут иметь различные энергетические смещения пиков и их структурирование, обусловленные изменениями энергетической структуры в валентной зоне кремния [7].

Однако такая информация только качественно отражает химическое состояние в приповерхностном слое кремния, имплантированного ионами переходных металлов. Это обусловлено тем, что распределение внедренных атомов неравномерно, а следовательно, неравномерна и стехиометрия фор-

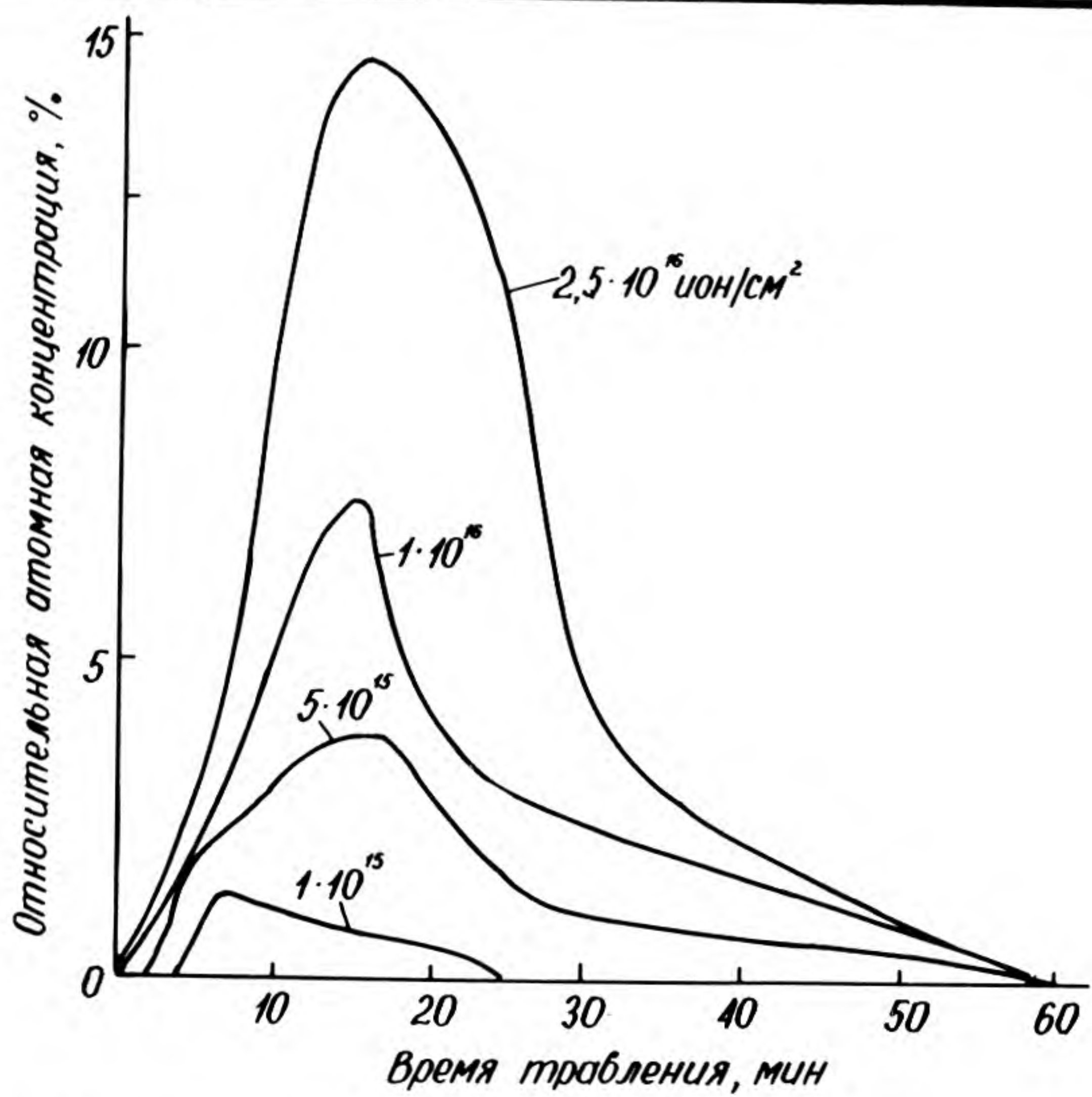


Рис. 1. Профили распределения концентрации атомов молибдена в кремнии при различных дозах внедрения. Энергия ионов Mo^{+} 5 кэВ

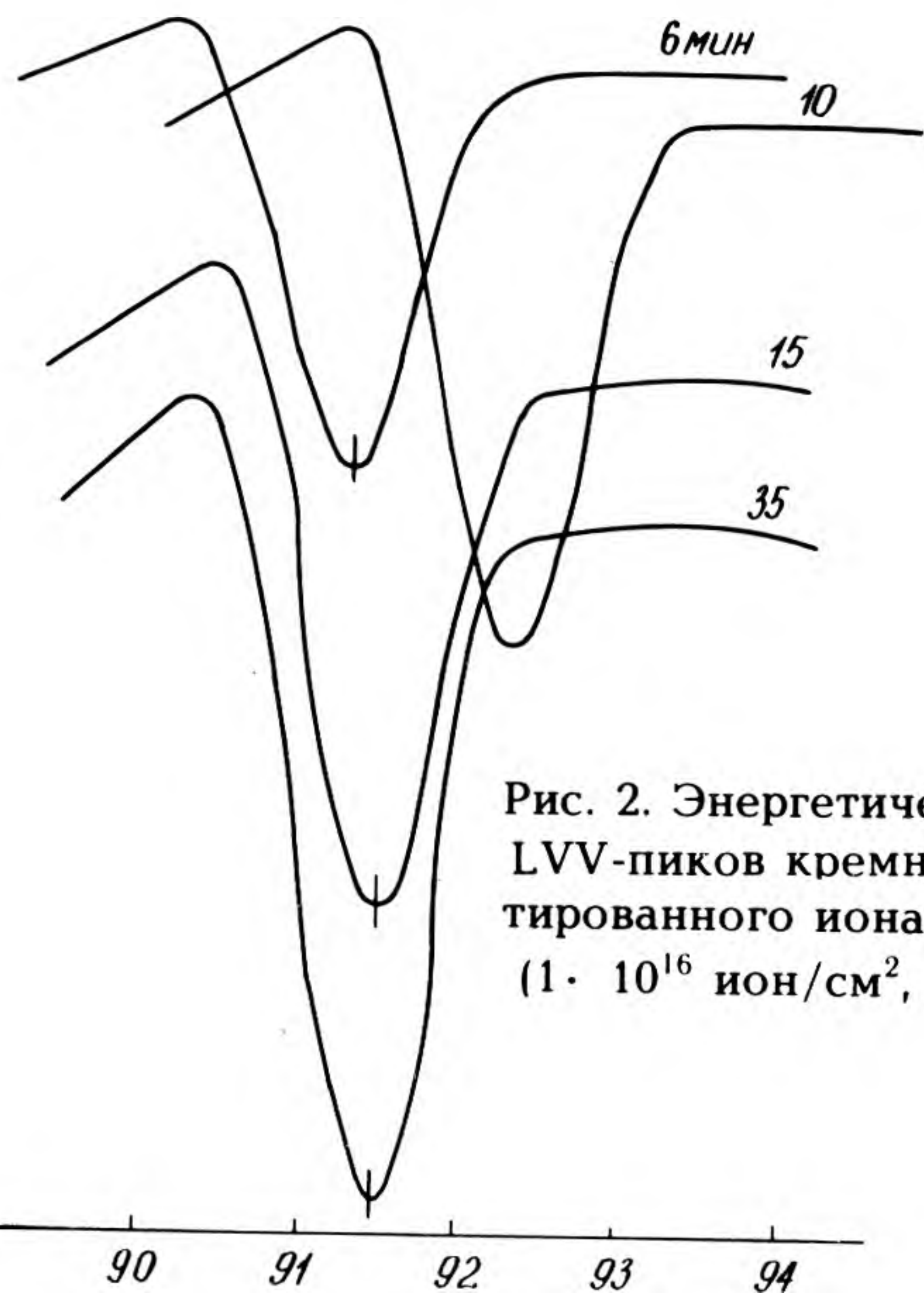


Рис. 2. Энергетические спектры LVV-пиков кремния, имплантированного ионами гафния ($1 \cdot 10^{16}$ ион/см², 5 кэВ)

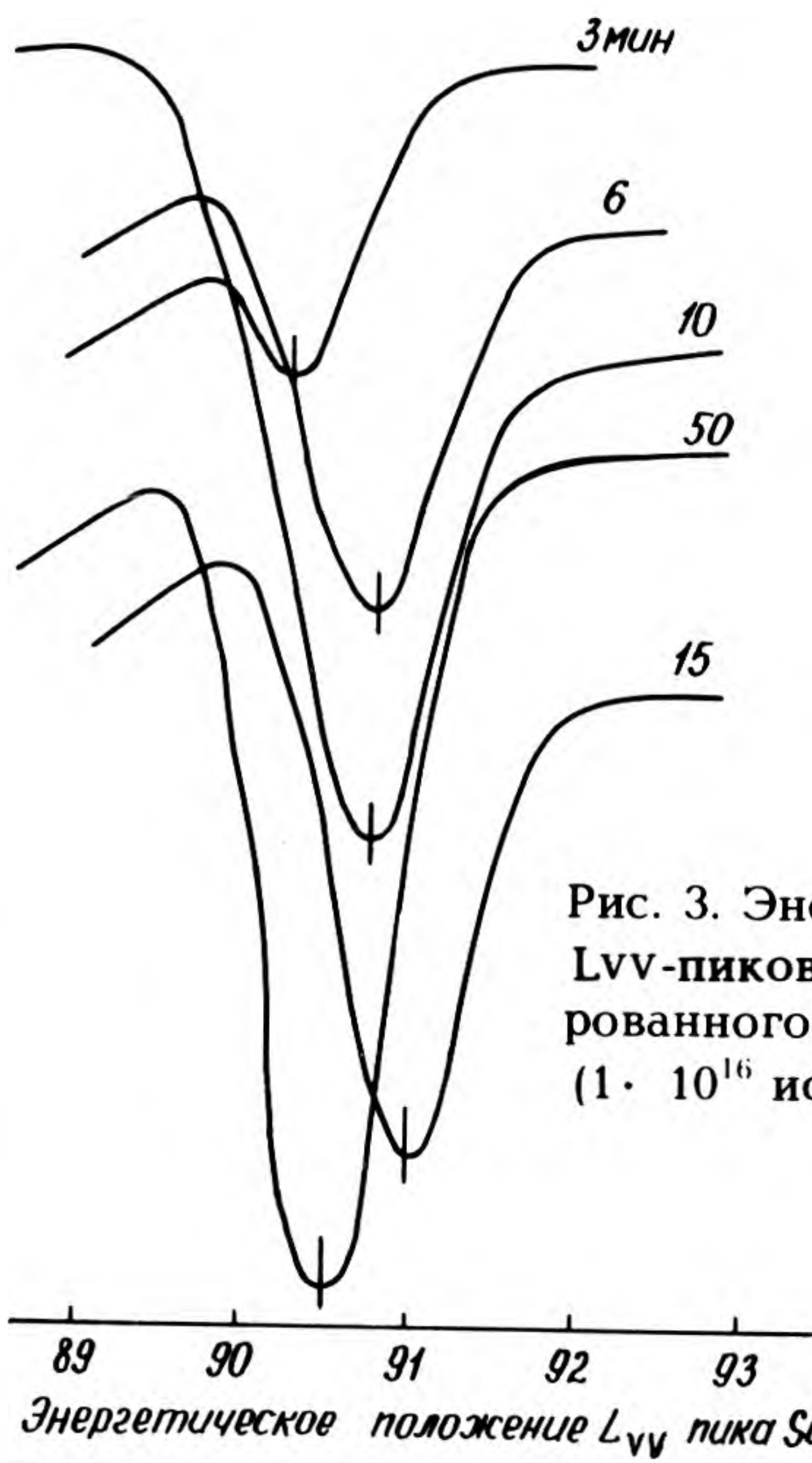


Рис. 3. Энергетические спектры LVV-пиков кремния, имплантированного ионами тантала ($1 \cdot 10^{16}$ ион/см², 5 кэВ)

мирующихся соединений. Кроме того, формируемые фазы представляют собой не сплошной слой, а включения фаз силицидов в объеме кремния, причем фазы неоднородны по составу и по глубине.

Использовался кремний *n*-типа проводимости КЭФ-1 с ориентацией (111). Имплантация ионов молибдена, гафния, тантала, вольфрама проводилась при энергии 5 кэВ, в диапазоне доз $5 \cdot 10^{14}$ — $5 \cdot 10^{16}$ ион/см², при плотности ионного тока в импульсе 4 мА/см², длительности импульса 15 мкс на полувысоте от максимума. Для выяснения возможностей образования новых фаз непосредственно в процессе имплантации послеимплантационный отжиг не проводился.

Исследования проводили на оже-спектрометре с энергоанализатором типа «задерживающее поле». Ток пучка первичных электронов составлял 8,5 мкА, энергия первичных электронов — 2 кэВ, напряжение модуляции — 1,2 В. Послойное травление анализируемого слоя осуществлялось ионами аргона (энергия 0,5 кэВ, ток 20 мкА). Концентрационные профили внедренных атомов переходных металлов, структура и энергетическое положение Si LVV-пиков в легированных слоях приведены на рис. 1. Максимум распределения располагается примерно на глубине 0,009—0,01 мкм при скорости травления около 60—80 нм/мин, что совпадает с табличным значением проективного пробега.

Смещения энергетического положения минимума Si LVV-пика на распределении $N'(E)$ наблюдаются для всех образцов кремния, имплантированных ионами переходных металлов, величина сдвига коррелирует с временем послойного травления. На рис. 2, 3 представлены спектры оже-электронов кремниевых образцов, имплантированных ионами гафния и тантала и не подвергавшихся послеимплантационному отжигу. Пики кремния имеют ярко выраженные сдвиги, составляющие в максимуме концентрационного распределения 0,8 эВ для $\text{Si}\langle\text{Hf}^+\rangle$ и 0,5 В для $\text{Si}\langle\text{Ta}^+\rangle$. Расщепления пиков не наблюдалось при разрешении до энергии 0,1 эВ.

Для установления влияния аморфизации приповерхностного слоя на энергетические смещения пиков были подготовлены образцы кремния, имп-

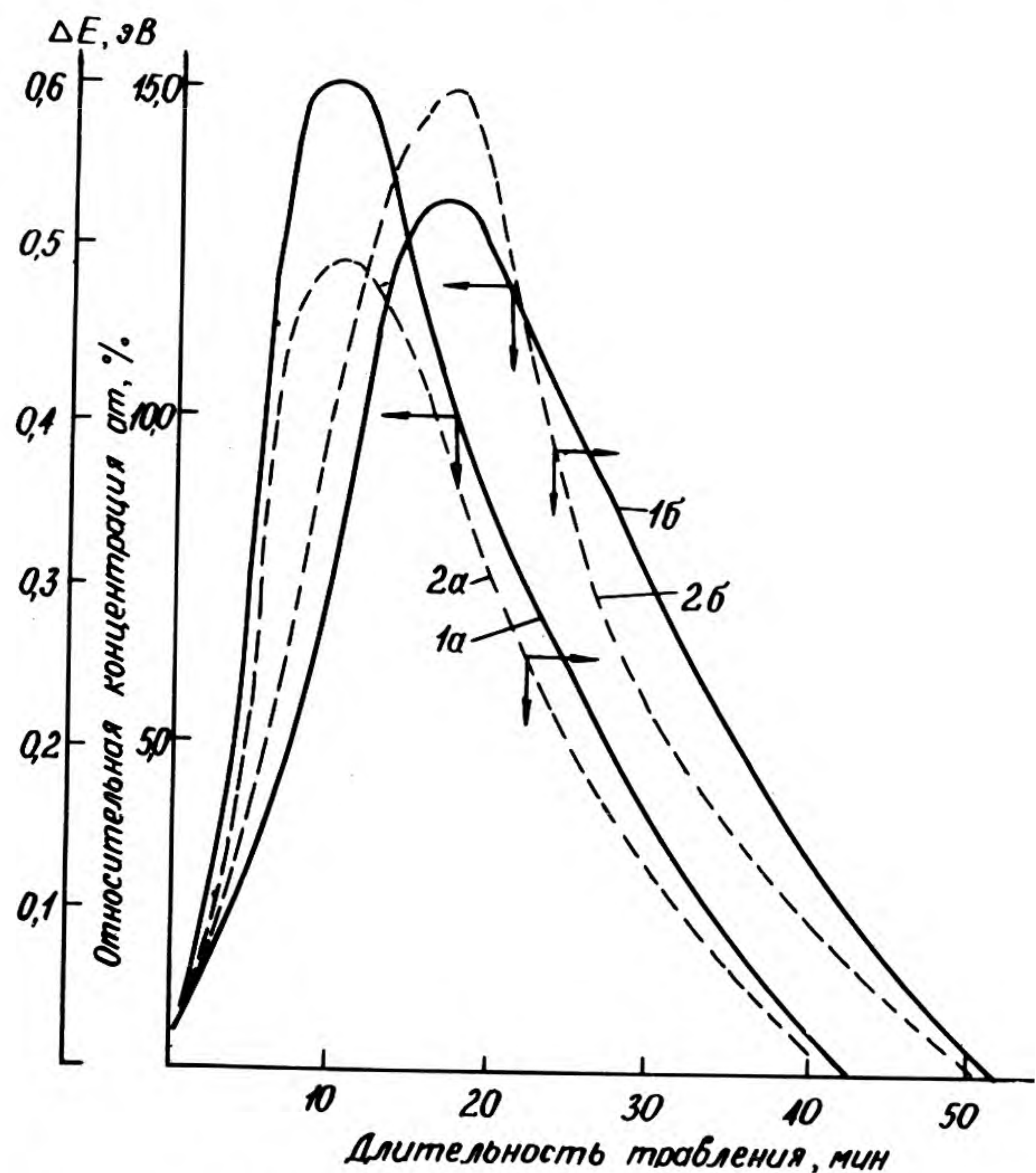


Рис. 4. Профили распределения концентрации атомов молибдена (1) и энергетического смещения LVV-пика кремния (2)

лантированные ионами кремния Si^+ с энергией 5 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Анализ этих образцов показал, что энергетическое положение пиков Si L_{VV} для $\text{Si} \langle \text{Si}^+ \rangle$ соответствует положениям для чистого кремния.

Зависимость энергетического сдвига Si L_{VV} -пиков от величины дозы для кремния, имплантированного ионами молибдена с энергией 5 кэВ в диапазоне доз $5 \cdot 10^{14}$ — $5 \cdot 10^{16}$ ион/см², носит линейный характер. Увеличение энергетического смещения с повышением дозы облучения может быть обусловлено увеличением количества новой фазы, растворенной в кремнии, или изменением стехиометрии химических соединений. Для исследованных пиков кремния расщепления спектральных линий не наблюдалось.

Механизм ионного синтеза в изолированных тепловых пиках предполагает неупорядоченное расположение зародышей новой фазы. Кроме того, в связи с тем, что ионный синтез осуществляется при дозах, значительно превосходящих пороговую дозу аморфизации, облучение ионами приводит к исчезновению дальнего и ближнего порядка в матрице. Поэтому для завершения процесса получения нового материала необходим высокотемпературный отжиг. Считается, что при отжиге структура новой фазы упорядочивается и происходит увеличение занимаемого ею объема.

Влияние послеимплантационного отжига на процесс образования силицидных фаз исследовалось на образцах кремния КЭФ-1 с ориентацией (111), имплантированного ионами молибдена с дозой $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² и энергией 5 кэВ. Послеимплантационный отжиг (10—60 мин) проводился в вакууме при давлении остаточных газов $5 \cdot 10^{-7}$ Па, температура отжига изменялась от комнатной до 900°C.

Повышение температуры отжига не приводит к значительному изменению энергетического положения Si L_{VV} -пиков (рис. 4). Образцы имплантировались ионами молибдена с энергией 5 кэВ и дозой $2,5 \cdot 10^{16}$ ион/см². Кривые 1а и 2а соответствуют неотожженному образцу, а кривые 1б и 2б — отожженному при температуре 750°C в течение 40 мин в вакууме.

Исследование поведения расположения минимума пика Si L_{VV} в зависимости от длительности послеимплантационного отжига (температура 750°C, длительность менялась от 10 до 60 мин) показывает, что увеличение длительности послеимплантационного отжига не приводит к существенному увеличению энергетического положения.

Таким образом, профили распределения атомов переходных металлов, в частности молибдена, соответствуют расчетным и не имеют аномалий, связанных с импульсным характером имплантации. Влияние радиационно-стимулированной диффузии из полученных зависимостей не обнаруживается. Энергетическое смещение Si L_{VV} -пиков обусловлено изменением химических связей в образцах, имплантированных переходными металлами и не подвергнутых послеимплантационному отжигу. Увеличение энергетического смещения

Si L_{VV} -пиков с повышением дозы ионов молибдена, вероятно, связано с увеличением количества новой фазы и с изменением стехиометрии химических соединений.

Проведение послеимплантационного отжига не приводит к значительному изменению энергетического сдвига пика кремния. Вероятно, это связано с тем, что основное количество новой фазы образуется уже во время имплантации. Кроме того, энергия активации процесса упорядочения новой фазы должна быть достаточно мала, чтобы воздействие внешнего фактора (высокотемпературный от-

жиг) приводило метастабильную систему (сильно пересыщенный твердый раствор) в энергетически более выгодное состояние, в результате чего увеличилось бы количество новой фазы и, следовательно, изменялся бы энергетический сдвиг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д а н и л и н А.Б. Реактивная ионная имплантация как метод создания структур кремний на изоляторе.— Зарубежная электронная техника, 1986, вып. 4, с. 62—81.
2. Исследование образования монокристаллических слоев SiC на Si методом высокоинтенсивного ионного легирования/П.А.Александров, Е.К.Баранова, А.С.Игнатъев и др.— Физика и техника полупроводников, 1987, т. 21, вып. 5, с. 920—922.
3. T s a i M.Y., P e t e r s o n C.S., D' H e u r l e F.M. Refractory metal silicide formation induced by As^+ implantation.— Appl. Phys. Lett., 1980, v. 37, N 3, p. 295—298.
4. Refractory metal silicide formation by ion implantation/K.L.Wang, S.W.Chang, F.Bacon, R.F.Reihle.— Thin Solid Films, 1980, v. 74, N 2, p. 239—244.
5. З а р и п о в М.М., П е т у х о в В.Ю., Х а й б у л и н И.Б. Применение ионной имплантации для синтеза тонких пленок силицидов.— Электронная промышленность, 1985, вып. 2, с. 37—39.
6. Г о р о д е ц к и й А.Е., К а ч у р и н Г.А., С м и р н о в А.С. Кинетика образования новой фазы при ионной бомбардировке.— Физика и техника полупроводников, 1968, т. 2, вып. 7, с. 927—931.
7. Л и ф ш и ц В.Г. Электронная спектроскопия и атомные процессы на поверхности кремния.— М.: Наука, 1985.— 200 с.

Статья поступила 10 ноября 1989 г.

УДК 621.382.002

КАВИТАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Канд. физ.-мат. наук Ю.К.Альтудов,
канд. техн. наук С.А.Ашинов, Д.В.Бобылев,
д-р техн. наук Л.И.Волчкевич, А.А.Кушхов

В технологии производства полупроводниковых пластин все более широкое применение находят нетрадиционные методы обработки, к числу которых можно отнести кавитационно-динамическую очистку.

Для того, чтобы удалить микрочастицы с поверхности пластин, необходимо преодолеть силы адгезии, расчетные значения которых приведены ниже [1].

Диаметр частиц, мкм	Молекулярная сила, Н	Расклинивающая сила, Н
0,25	$2,51 \cdot 10^{-13}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
1,0	$6,31 \cdot 10^{-14}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$

Удаление микрочастиц затруднено из-за наличия пограничного слоя у поверхности пластин, причем чем больше толщина этого слоя, тем труднее нарушить силы адгезии и оторвать микрочастицу. Для уменьшения толщины пограничного слоя требуются высокие гидродинамические параметры: скорость 150 м/с и давление 32 МПа/см² [2].

Обработка пластин кавитационно-динамической струей жидкости значительно увеличивает эффективность процесса очистки пластин от микрочастиц.

Сочетание статической обработки с периодическим воздействием турбулентного потока жидкости приводит к возникновению в жидкости высокочастотных колебаний (до 27 кГц), зафиксированных пьезодатчиком (рис. 1). Происходит диссипация и обмен энергией между основным и возмущающим потоками жидкости. Колебания в жидкости приводят к возникновению отрицательных напряжений,

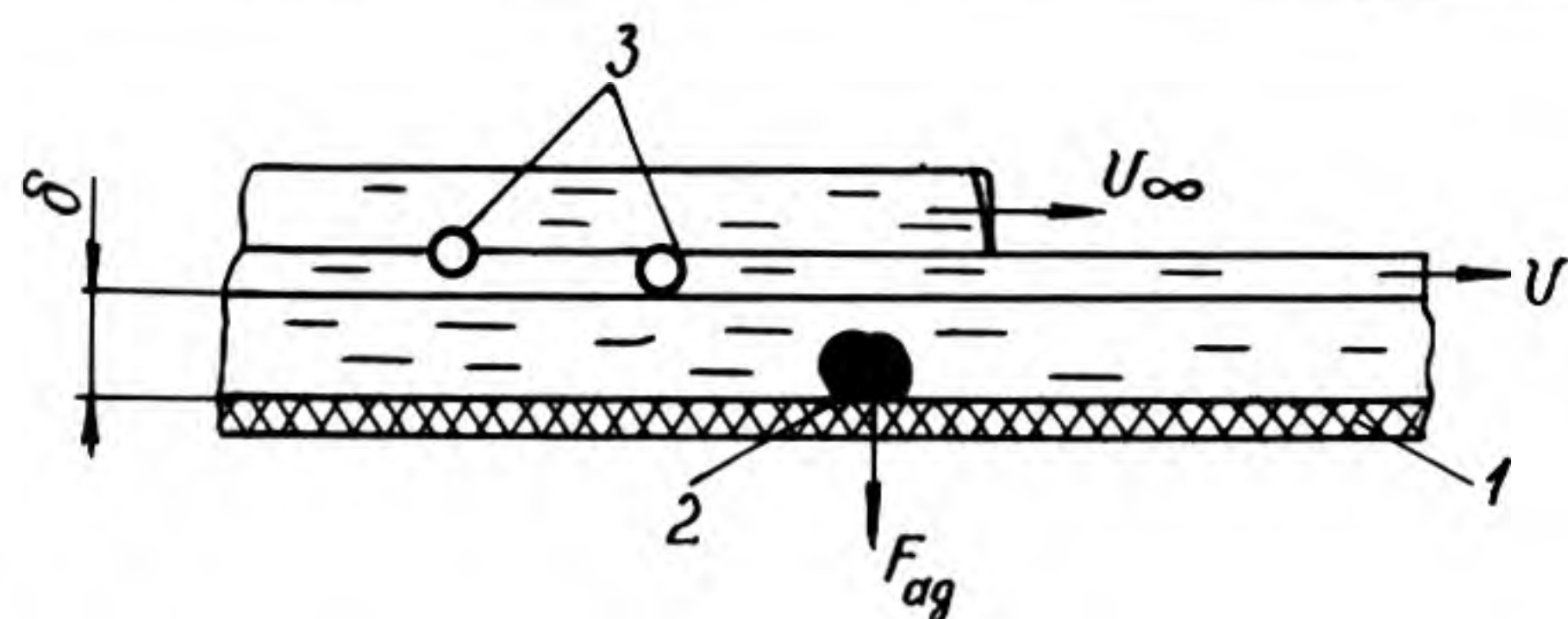


Рис. 1. Схема взаимодействия статического и турбулентного потока жидкости: 1 — полупроводниковая пластина; 2 — микрочастица; 3 — каверна

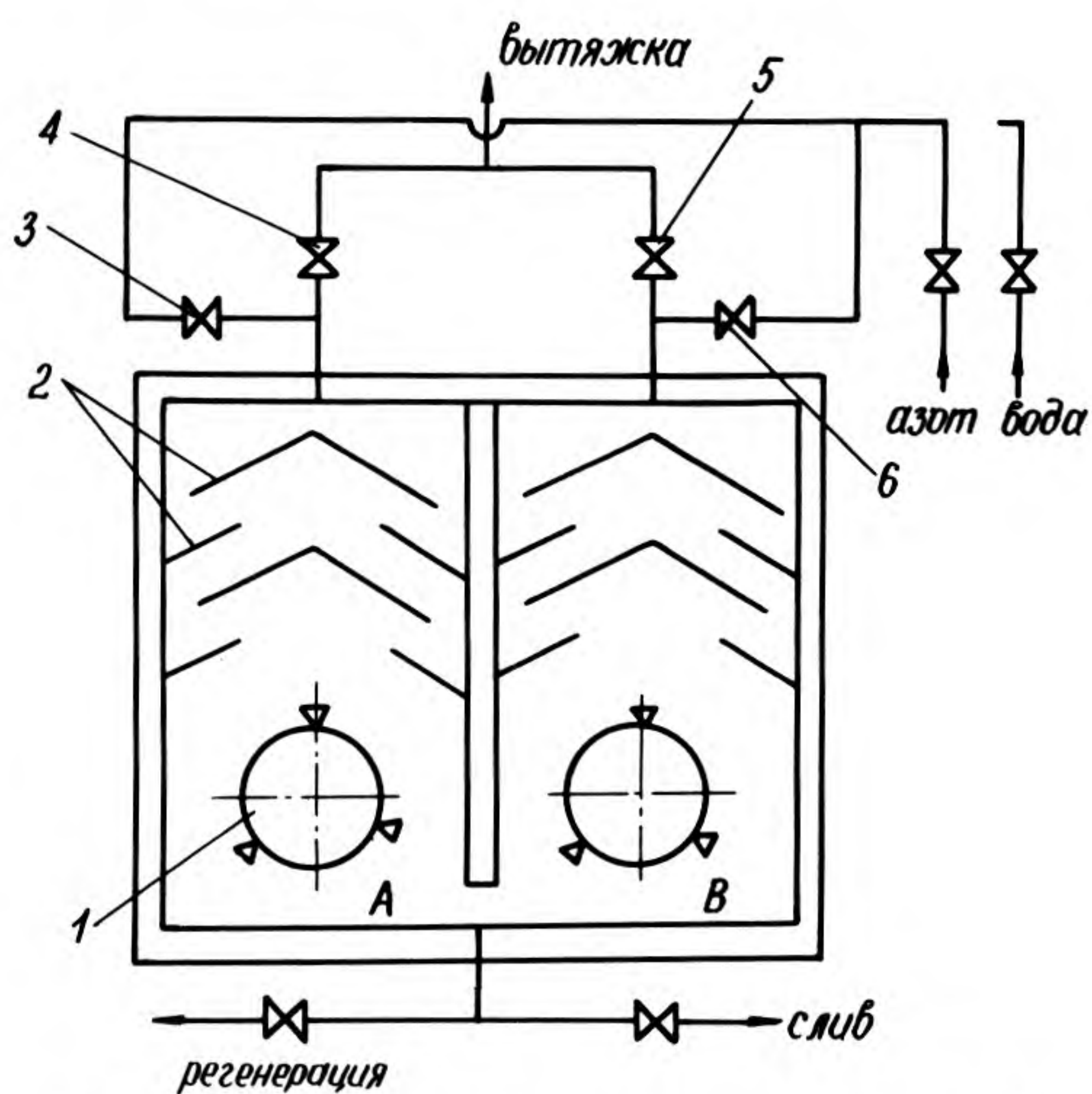


Рис. 2. Схема установки кавитационно-динамической обработки: 1 — обрабатываемые изделия; 2 — система защиты; 3, 4, 5, 6 — клапаны

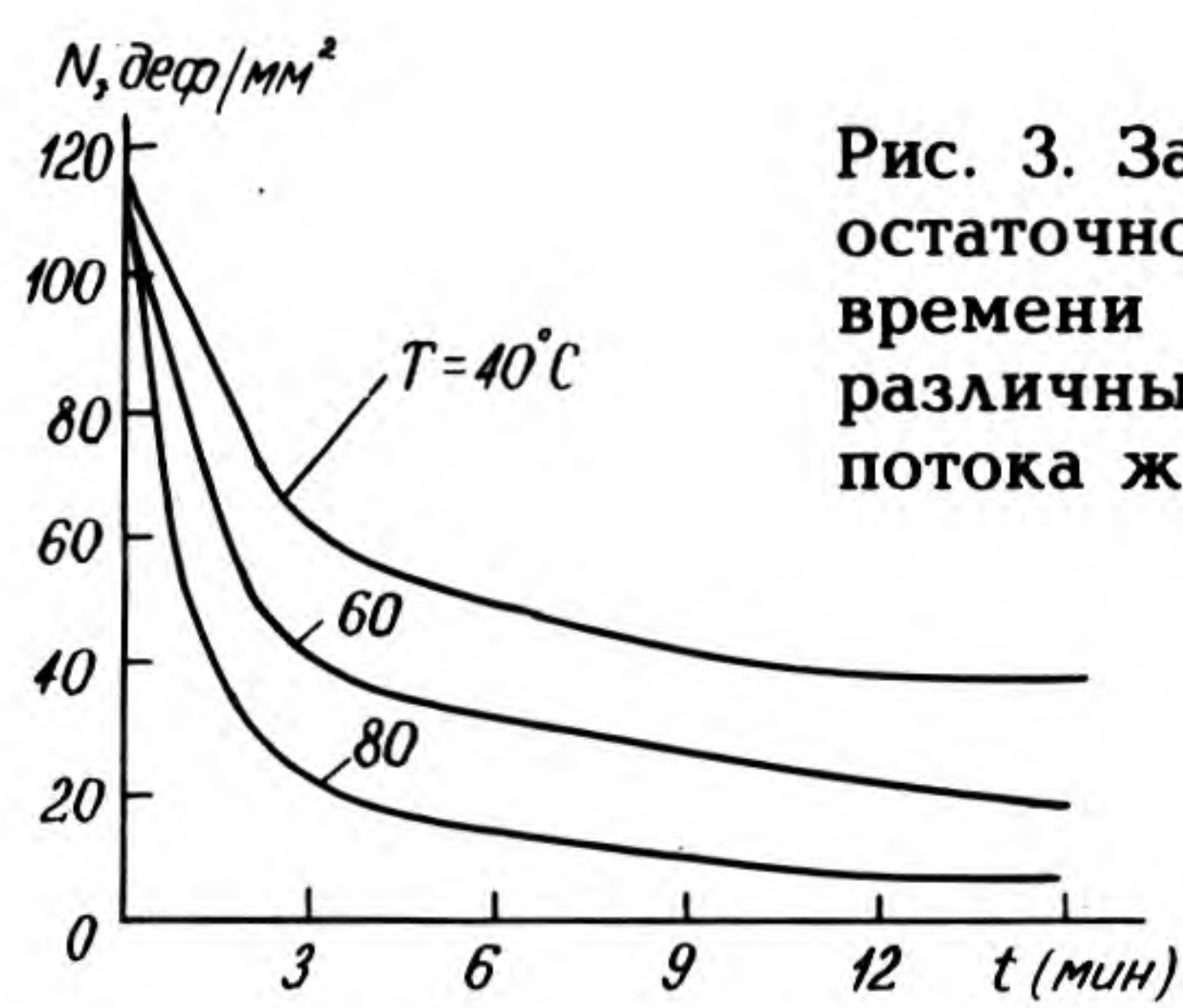


Рис. 3. Зависимость уровня остаточной дефектности от времени обработки при различных температурах потока жидкости

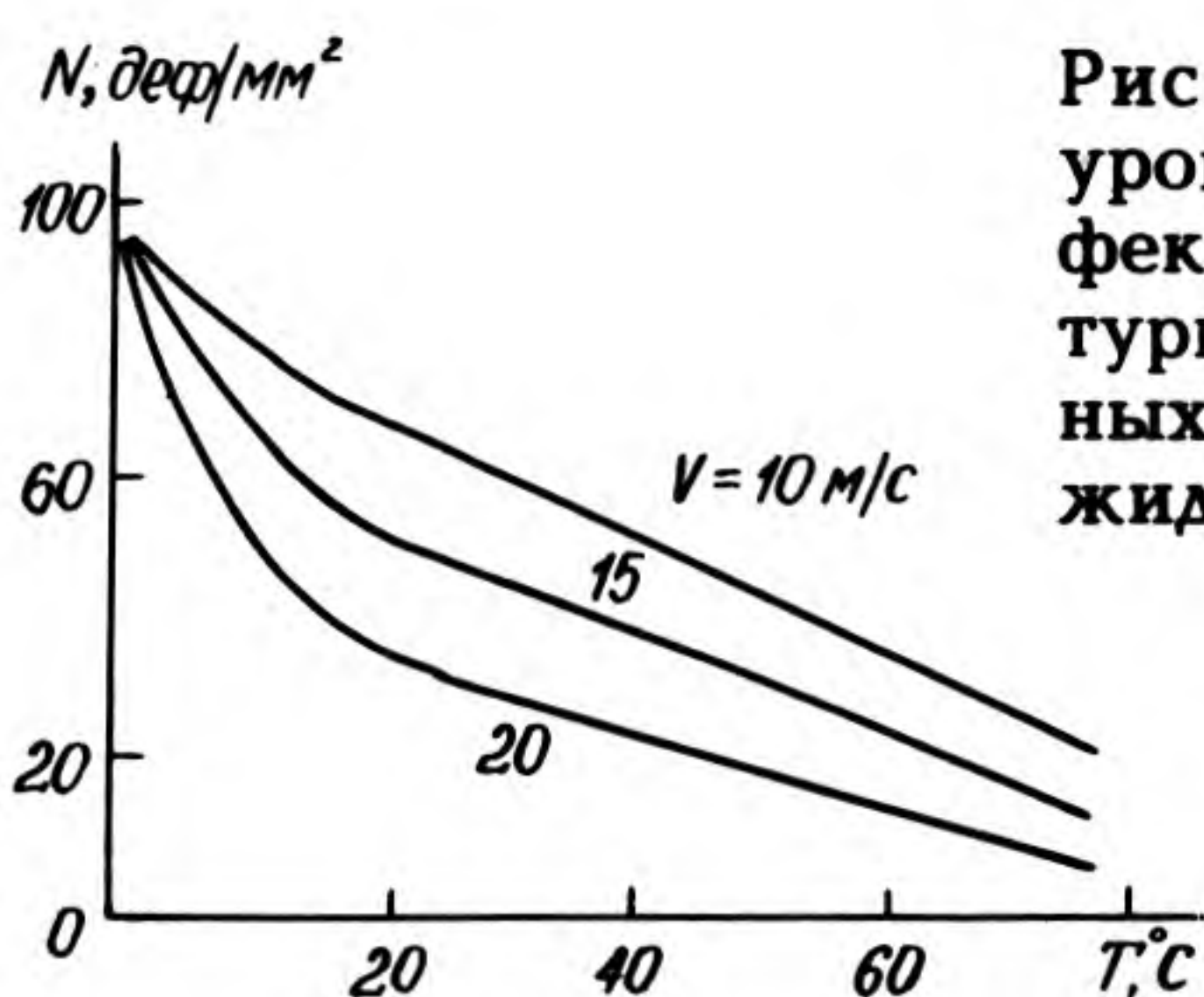


Рис. 4. Зависимость уровня остаточной дефектности от температуры среды при различных скоростях потока жидкости

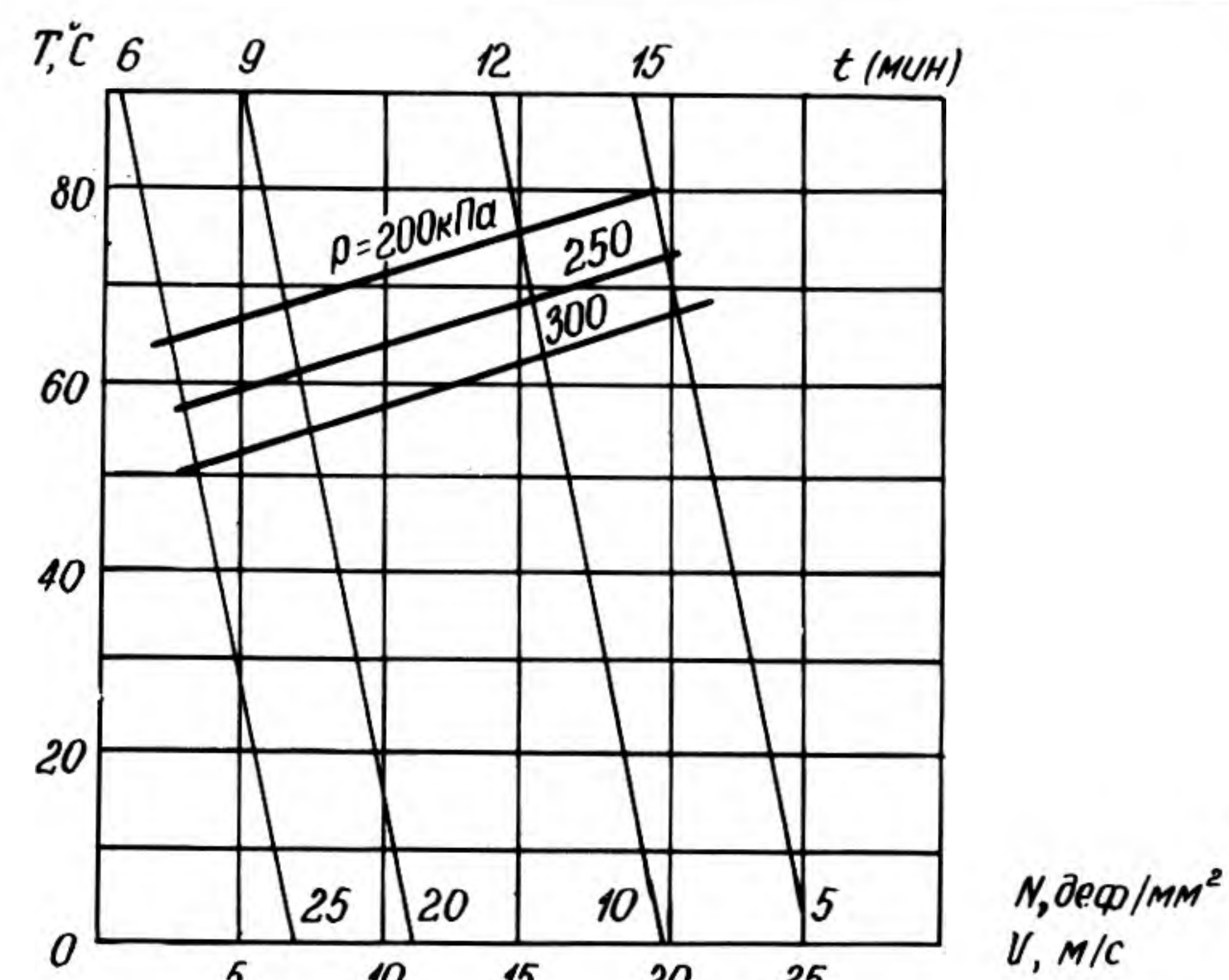


Рис. 5. Номограмма для определения уровня остаточных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин по параметрам технологического процесса

и, как следствие, образуются «слабые» места в сплошности потока жидкости, а это одна из причин появления каверн в жидкости, а также вблизи пограничного слоя. При вскрытии каверны мгновенно повышается давление, распространяющееся в пограничный слой и частицы отрываются от поверхности. Для реализации кавитационно-динамического эффекта разработана установка (рис. 2). Кассеты с плоскими изделиями помещают в рабочие объемы А и В реакционной камеры, затем происходит заполнение камеры рабочим агентом, нагретым до заданной температуры. Через клапан подают несущий газ под большим давлением в объем А до тех пор, пока давление в объемах А и В не уравнивается, при этом жидкость находится в объеме В. В момент открытия клапана вытяжной системы образуется перепад давлений в А и В и жидкость начинает перетекать с большой скоростью в объем А. Возникает турбулизация потока жидкости, приводящая к образованию кавитационного эффекта, способствующего очистке плоских изделий от микрочастиц.

На рис. 3, 4 приведены результаты, полученные при обработке полированных кремниевых пластин (КДБ-10) диаметром 76 мм. Контроль уровня остаточных микрочастиц проводился в темном поле микроскопа при двухсоткратном увеличении.

Была построена номограмма для определения уровня остаточных дефектов на поверхности кремниевых пластин по параметрам технологического режима (рис. 5). Чтобы получить уровень остаточных дефектов на поверхности пластины — 5 деф./мм² при давлении $P=200$ кПа, параметры технологического процесса должны быть следующие: скорость потока жидкости — 20 м/с, температура жидкости — 80°C и время обработки — 15 мин.

Приведенные данные подтверждают высокую эффективность процесса кавитационно-динамической обработки и дают возможность выбрать параметры технологического процесса очистки полупроводниковых пластин от микрочастиц.

ЛИТЕРАТУРА

- 3 и м о н А.Д. Адгезия пыли и порошков. Изд. 2-е.— М.: Химия, 1976.— 430 с.
- Очистка поверхности кремниевых пластин от механических загрязнений/Ю.Р.Аветисов, А.П.Дынников, А.А.Завалишин, Л.В.Монакова.— Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1982, вып. 6, с. 26—28.

Статья поступила 10 ноября 1989 г.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕДРЕННОЙ ПРИМЕСИ В КРЕМНИИ ПОСЛЕ ОКИСЛЕНИЯ

канд. физ.-мат. наук Ю.К.Альтудов, Т.К.Шогенов

Импульсная имплантация низкоэнергетических ионов переходных металлов (W) в кремний приводит к образованию в приповерхностной области облучаемого образца фаз, идентичных по своим свойствам силицидам. При последующих высокотемпературных операциях состояние образовавшихся ионно-синтезированных силицидов изменяется.

В результате изучения механизма и кинетики окисления силицидных фаз, сформированных традиционными квазиравновесными методами, была предложена модель процесса окисления силицидов, которая представляется как совокупность четырех процессов: перенос атомов кремния через слой силицида, взаимодействие на границе раздела силицид—кремний, химическая реакция образования SiO_2 на границе раздела силицид—окисел, диффузия окислителя через растущий слой окисла.*

Для разработки модели поведения ионно-синтезированных фаз при высокотемпературном окислении проводилось изучение процессов перераспределения атомов внедренной примеси (W) на межфазной границе Si— SiO_2 .

Исследования процессов перераспределения внедренных атомов проводились на образцах кремния КЭФ-1 с ориентацией (111), имплантированных ионами вольфрама (доза имплантации $1 \cdot 10^{16}$ ион/см², энергия ионов 5 кэВ). Затем образцы подвергались окислению в сухом кислороде. Сформированный окисел ($d=0,12$ мкм) удаляли жидкостным методом в водном растворе плавиковой кислоты (1:10 HF).

Образцы анализировались на оже-спектрометре методом послойного травления, т.е. на них измерялся профиль распределения вольфрама и соответствующее данной точке энергетическое положение оже-пика кремния SiL_{VV} .

Несмотря на сравнительно большую толщину формирующегося окисла и малую глубину проникновения исходно-внедренного вольфрама (около 10 нм), в приповерхностной области образцов было обнаружено значительное количество вольфрама. Энергетическое смещение оже-пика SiL_{VV} , коррелирующее с профилем распределения атомов вольфрама (рис. 1), свидетельствует о том, что атомы вольфрама находятся в состоянии, связанном с атомами кремния.

Распределение вольфрама на границе Si— SiO_2 после окисления приведено на рис. 2. Исследование проводилось методом вторично-ионной масс-спектрометрии. Видна ярко выраженная сегрегация вольфрама на границе раздела Si— SiO_2 .

Важно отметить, что уровень сигнала в пике атомов вольфрама лишь незначительно уменьшается для образца, окисленного при температуре 1100°C, за счет диффузионного расширения профиля распределения. Отсутствие на поверхности образцов атомов вольфрама, вероятно, свидетельствует об образовании летучих соединений типа WO_x .

Таким образом, можно предположить следующую модель. В процессе имплантации ионов вольфрама образуются его силициды. Последующее окисление приводит к разрыву связей W—Si и диффузии вольфрама в объем кремния, при этом происходит окисление крем-

* Королев М.А., Райнова М.Ю., Шевяков В.И. Окисление силицидов тугоплавких металлов и его применение в технологии полупроводниковых приборов и ИС. Обзоры по электронной технике. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1988, вып. 12.— 29 с.

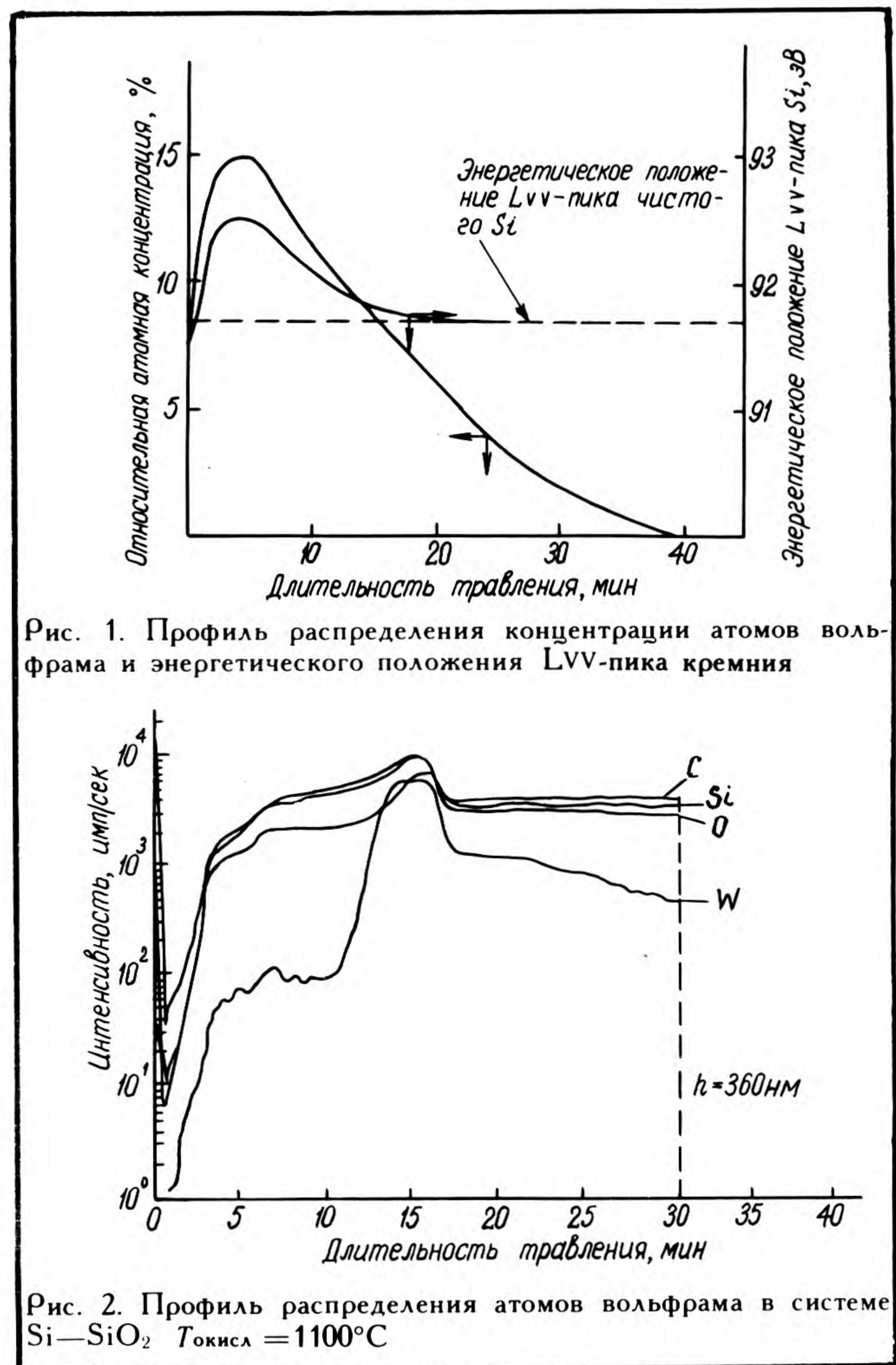


Рис. 1. Профиль распределения концентрации атомов вольфрама и энергетического положения L_{VV} -пика кремния

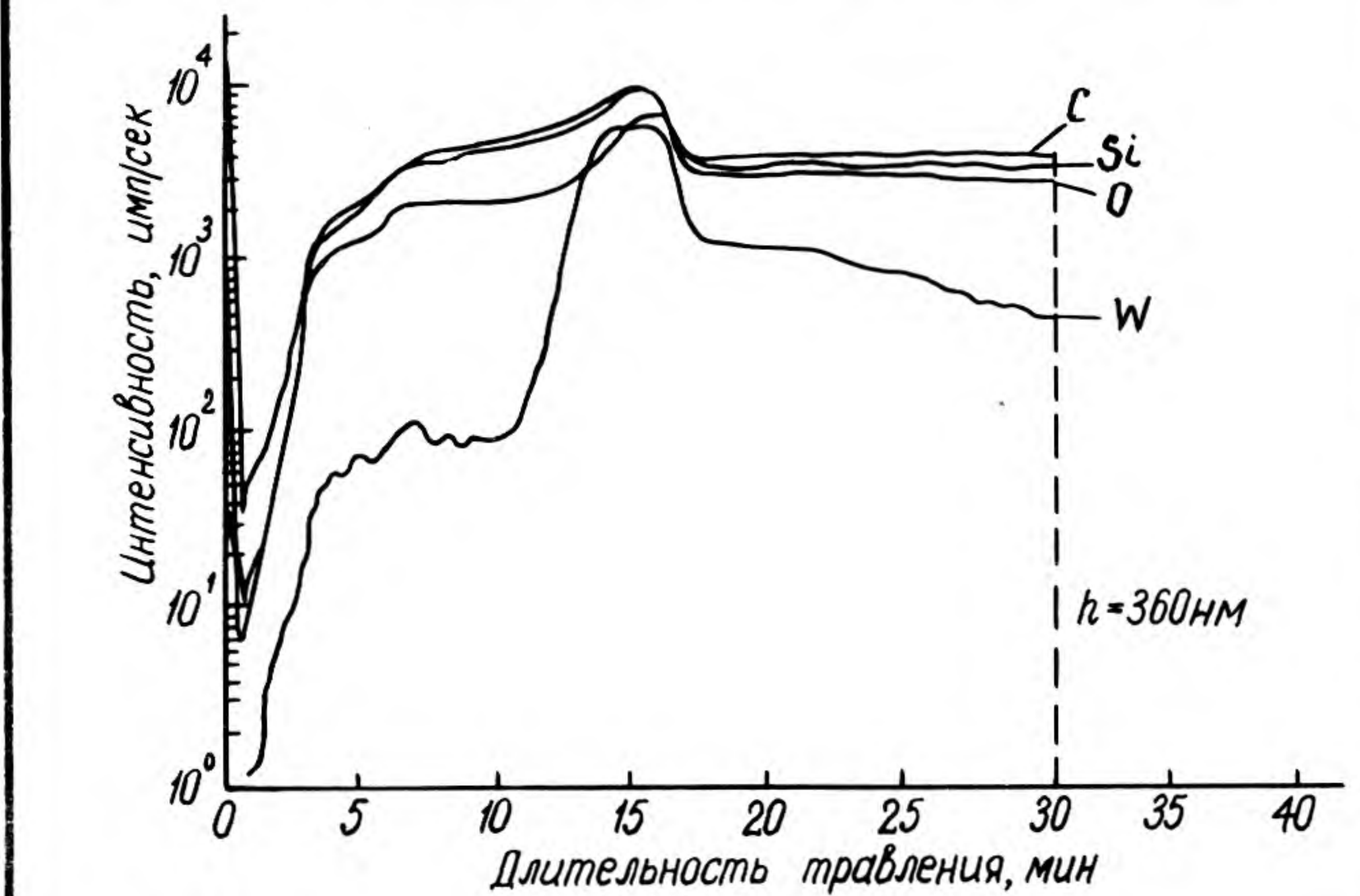


Рис. 2. Профиль распределения атомов вольфрама в системе Si— SiO_2 $T_{\text{окисл}} = 1100^\circ\text{C}$

ния и образование летучих соединений WO_x , образование новых химических связей продифундированного вольфрама с кремнием.

Статья поступила 10 ноября 1989 г.

ЭП СООБЩЕНИЕ ЭП

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА СТЕКЛА

Разработан метод лазерной сварки стеклянных элементов в производстве ЭВП. Предлагается применять его на операции приварки входного окна к трубке при изготовлении видиконов с окисно-свинцовой фотомишенью. Сварка осуществляется с помощью лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм при вращении деталей. Детали, предназначенные для сварки, предварительно нагреваются до температуры 560°C. Скорость формирования шва 100 мм/мин.

Весь процесс сварки стеклооболочки диаметром 30 мм занимает не более 3,5 мин. К тому же он экологически чист и работа на установке лазерной сварки в полуавтоматическом режиме не требует от оператора высокой квалификации.

Метод может быть использован при изготовлении стеклооболочек электровакуумных приборов с высокой степенью сохранения геометрии свариваемых деталей.

В.Т.Ширяев, Б.Ф.Сытник

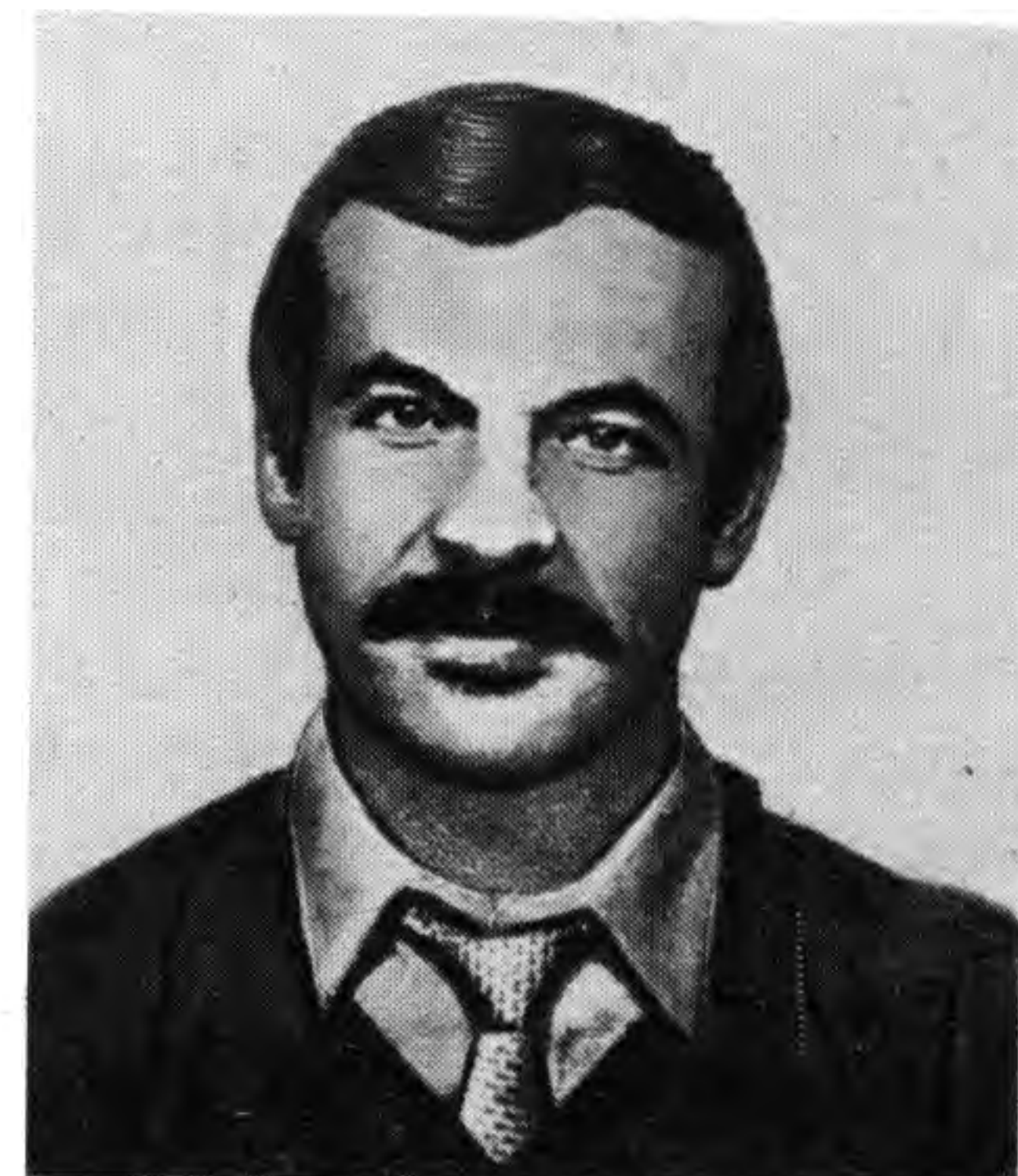
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ КАК УСЛОВИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО- ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО КЛИМАТА В ТРУДОВОМ КОЛЛЕКТИВЕ

Ш.Ш.Губаев

Формирование оптимизма как особо благоприятного социально-психологического состояния трудового коллектива приобретает в настоящее время решающее значение для активизации его трудовой деятельности. Это связано с тем, что многие из существующих моральных и материальных стимулов к труду в значительной степени исчерпаны и необходимо изыскать принципиально новые подходы к повышению творческого потенциала коллектива. Сближение и интеграция интересов производства и коллектива через улучшение, например, условий труда и системы управления, реализация социально-экономической политики в пользу работающих на предприятии благотворно воздействуют на социальное самочувствие работников. Следует учитывать, что зарождение и укрепление оптимизма — процесс довольно длительный, имеющий интегральный характер, тогда как для резкого снижения его уровня достаточно устойчивого действия одного негативного фактора. Детальный разбор производственных ситуаций, складывающихся внутри различных групп трудового коллектива, с выявлением их особых интересов позволит администрации своевременно скорректировать кадровую политику в направлениях, наиболее актуальных для каждой из них.

Реализация поставленной задачи связана с возможностью организации и проведения регулярных опросов общественного мнения и других видов социологического обследования всех работающих на предприятии. Только так можно обеспечить грамотные с точки зрения особенностей современного общественного развития и социально эффективные управленческие решения.

С учетом новых требований были произведены определенные изменения прежде всего в системе работы с кадрами. До недавнего времени деятельность отдела кадров носила преимущественно статистико-учетный характер. Большой объем ежедневно нарастающей ин-



Ш. Ш. Губаев — начальник отдела НПО "Электрон". Окончил юридический факультет Казанского государственного университета им. В. И. Ульянова-Ленина. Имеет публикации по проблемам социологии и психологии труда, перехода на новые принципы хозяйствования, по изучению условий формирования социально-го оптимизма в трудовом коллективе.

формации, требующей упорядочения и фиксации, делал невозможным ее качественную интерпретацию. Между тем усложнение процессов движения кадров диктовало необходимость своевременного обобщения и адекватной трактовки всех поступающих в распоряжение кадровой службы материалов. Это потребовало углубления анализа статистических данных по трем актуальнейшим проблемам производства — текучести кадров, дисциплине труда и подготовке резерва кадров. В результате объединенных усилий отдела кадров, социологов и юридической службы была разработана программа ежемесячного, квартального и годового анализа текучести кадров и дисциплины труда по всем подразделениям и предприятию в целом.

В ходе изучения проблем функционирования объединения в новых условиях хозяйствования выяснилось, что задержка внедрения внутрицехового хозрасчета привела к оттоку с предприятия в кооперативы тех работников, которые были настроены на немедленное удовлетворение своих материальных интересов. В связи с этим решено было активизировать работу экономических служб в направлении пересмотра всех норм труда и его оплаты, а также рассмотреть возможности по ускорению внедрения внутрицехового хозрасчета и прежде всего по организации арендного подряда.

Значительная текучесть наблюдалась и среди мастеров — из-за отсутствия четких критериев при установлении им заработной платы. По отдельным подразделениям их заработная плата составляла от 150 до 205 руб. Реализация ряда мер: сокращение штата мастеров, увеличение их общего заработка путем доплат за расширение зоны деятельности, введение надбавок за классность с учетом объема и сложности выполняемых работ, стажа работы в должности и на предприятии, образова-

тельного уровня, а также специфики подразделений — позволила отчасти стабилизировать положение.

Существенного внимания требовали и так называемые "адаптанты" — те, кто работает на предприятии не более 1—3 лет. Высокий уровень текучести среди этой категории работающих объяснялся довольно низкими расценками на детали и операции, из-за которых молодые рабочие при первоначально низкой или средней производительности труда не могли иметь хороших заработков. В настоящее время все поступающие на предприятие, независимо от уровня квалификации, получают возможность работать в бригаде, где им гарантирована удовлетворительная заработная плата.

Комплексный анализ текучести кадров, позволивший учитывать как общие, так и специфические для каждого подразделения мотивы увольнений, стал возможным при внедрении в практику опроса увольняющихся и поступающих на работу по специальным бланкам. В частности, было установлено, что 75% устраивающихся на работу привлекает возможность иметь более высокую заработную плату. Около 40% вновь прибывших на предприятие хотели бы переквалифицироваться.

Эти вопросы находятся в ведении отдела технического обучения (ОТО), работающего в тесном сотрудничестве с отделом кадров. Контролируя предоставление всем желающим сменить профессию или специальность возможности различного вида обучения, ОТО добился значительного снижения текучести по этой причине.

Были выявлены и проблемы, которые пока находятся только в стадии решения. Так, оказалось, что 35% работников объединения увольняется из-за удаленности работы от места жительства, что свидетельствует о крайне неудовлетворительной работе служебного транспорта.

Таким образом, более последовательная реализация программы стабилизации кадров с учетом тенденций текучести кадров и малейших изменений ее характера становится объективной необходимостью для нормальной жизни производства и трудового коллектива.

Неоднозначного подхода требовала и система изучения резервов укрепления трудовой дисциплины. Из интервью с работниками выяснилось, что в предприни-

маемой борьбе с нарушителями отсутствовал дифференцированный к ним подход и ступенчатость применяемых наказаний. В результате работники, нарушившие дисциплину не более одного раза, и злостные нарушители трудовой дисциплины были поставлены в равное положение и подвергались целому комплексу наказаний без учета тяжести дисциплинарного проступка. Складывалась ситуация, когда применяемые меры борьбы с нарушителями на самом деле как бы санкционировали их последующие нарушения или, во всяком случае, не препятствовали им. За один случай несоблюдения трудовой дисциплины работник мог быть наказан сразу и лишением премии за квартал, и выговором, и депремированием по итогам года, и передвижением очереди на жилье. Поэтому в дальнейшем, ввиду исчерпанности основных мер дисциплинарного воздействия, факторов, удерживающих от нарушений, уже не было. В конечном счете такая "комплексная" система наказания способствовала утрате профилактической значимости каждой отдельной меры воздействия на нарушителей и препятствовала эффективному управлению трудовой дисциплиной.

Интересно, что весь коллектив в целом, включая и нарушителей, и работников, не нарушавших трудовую дисциплину, был не удовлетворен создавшейся обстановкой. 70% опрошенных высказались за самые строгие, но справедливые меры борьбы с нарушителями. 55% из них подчеркнули, что отсутствие эффективной системы по укреплению дисциплины объясняется снисходительным отношением к нарушителям, слабой воспитательной работой и недостатками руководства коллективом. Это приводило к тому, что из 80% случаев наиболее злостных нарушений трудовой дисциплины — появления в нетрезвом состоянии на территории предприятия — лишь 2% регистрировались непосредственно в подразделениях.

Следует отметить, что 45% опрошенных пока не придает должного значения трудовой дисциплине, что является результатом отсутствия коллективной ответственности за каждого нарушителя, обязательной в условиях функционирования цехов в режиме хозрасчет-

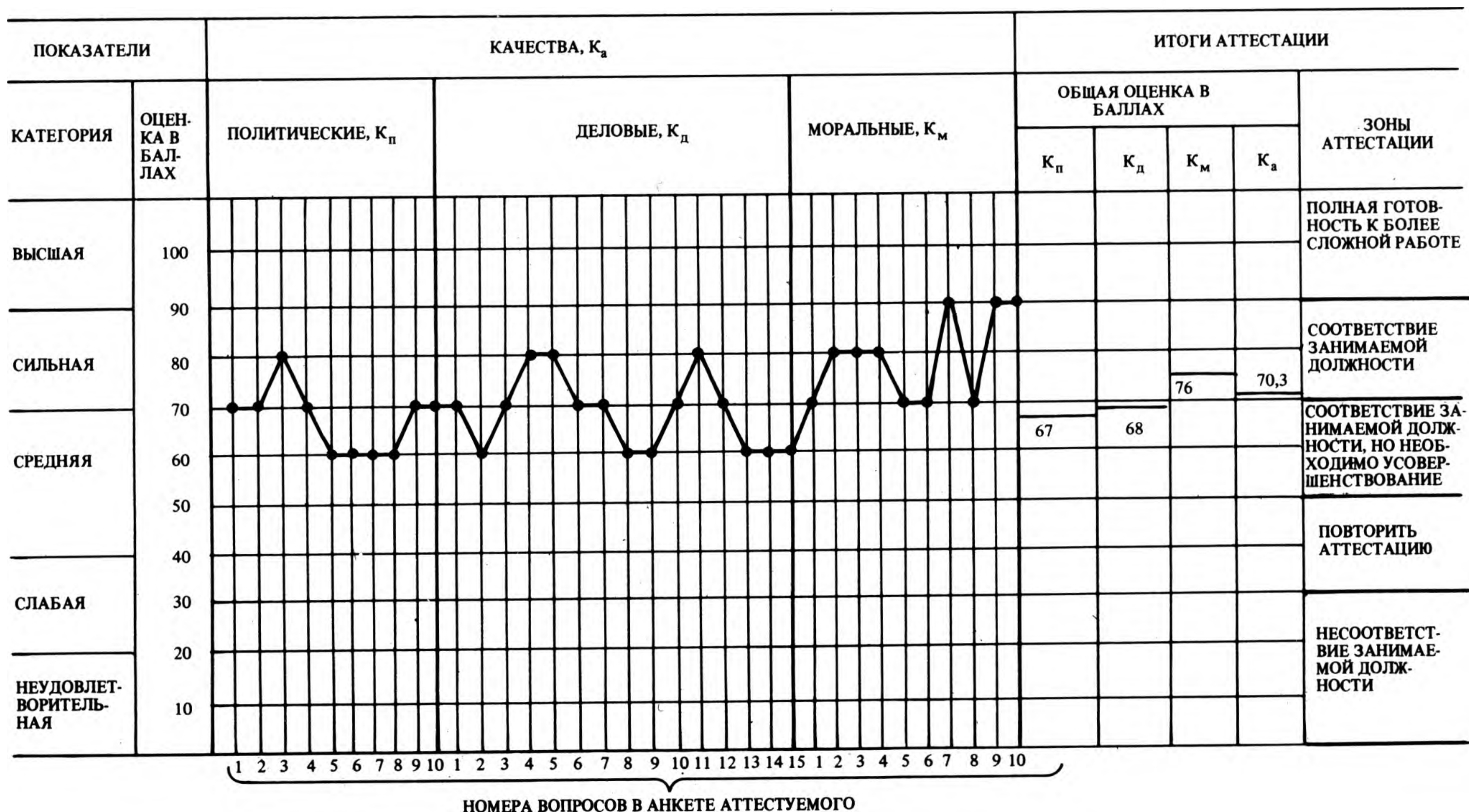


Диаграмма характеристики (аттестации) руководителя

ных отношений. Сейчас уже ведется строгий учет не только количества нарушений трудовой дисциплины, но и потерь рабочего времени, связанных с ними. Это позволит трудовому коллективу в будущем реально оценить последствия каждого дисциплинарного отклонения и своевременно принять меры по его пресечению.

Неменьшая значимость для повышения уровня социального самочувствия в коллективе придавалась и созданию новой методики оценки деловых и личностных качеств руководителей. По результатам изучения резерва кадров 1988 года было установлено, что часть руководителей подразделений не обладает необходимым комплексом профессионально-организационных качеств. Более того, отдельные кандидатуры, выдвинутые в резерв, набрали большую сумму баллов по всем параметрам оцениваемых качеств, чем руководители подразделений. Недостатки в расстановке и использовании управленческого персонала непосредственно сказывались на уровне руководства, усиливая неудовлетворенность коллектива условиями, организацией и стимулированием труда. Это потребовало пересмотра существующей системы подбора руководителей, причем особая роль стала отводиться методике групповой оценки личности, разработанной на основе апробированного графического метода аттестации кадров (см. рисунок). Данный метод позволяет получить характеристики в виде диаграммы с оценочными показателями и выводами о степени соответствия занимаемой должности. Результаты аттестации могут быть использованы для: обоснования передвижения руководителей, имеющих низкие оценки деловых и личностных качеств и неспособных обеспечить плановые производственно-экономические показатели вверенных им подразделений, на нижестоящую должность; направления на обучение и повышение квалификации по теории и практике управления; перевода наиболее сильных и пользующихся заслуженным авторитетом коллектива руководителей на более ответственную должность; направления на стажировку наиболее перспективных из зачисленных в резерв руководителей или исключения из этого списка лиц, не соответствующих установленным требованиям, и т. д.

В процессе совершенствования кадровой политики на объединении возникла проблема своевременной обработки значительного объема разнопорядковой информации. Ее решение предусматривало использование возможностей компьютерной техники, в частности БК0010, изготавливаемой на нашем объединении. С этой целью были подготовлены математические программы "сквозного" обчета и корреляционного анализа данных по текучести кадров, дисциплине труда и резерву кадров. Их внедрение в ближайшем будущем позволит существенно повысить эффективность всех реализуемых в этом направлении мер.

Важную роль в активизации трудовой деятельности коллектива объединения играет совершенствование социально-бытового обеспечения работников, способного сыграть на фоне неблагоприятных производственных и непроизводственных условий роль компенсационного фактора. Так, установлено, что количество оптимистично настроенных работников в коллективах, где уделяют значительное внимание социально-бытовым вопросам и где, наоборот, не придают им должного значения, составляет соответственно 64 и 30%. По мнению опрошенных, резкое снижение уровня их удовлетворенности работой в целом объясняется низкой эффективностью деятельности цеховых профсоюзных организаций. В связи с этим 45% работников высказались за необходимость более частой смены руководителей этих общественных организаций путем выборов, а 35% потребовали оставить за коллективом право решать большинство социально-бытовых проблем.

Предпринятое комплексное обследование мнений работников объединения позволило уточнить задачи деятельности руководства по оптимизации системы социально-бытового обеспечения. В соответствии с данными опроса основным фактором, определяющим настроение людей, их уверенность в будущем, а следовательно, и работоспособность, является тревога за свое здоровье. Об этом свидетельствовали 63% ответов. Потребовалось дополнительное исследование — для выявления путей повышения эффективности медицинского обслуживания работников. Его результаты были учтены при корректировке долговременной программы "Здоровье", действующей на объединении, разработке дополнительных мероприятий по укреплению здоровья трудящихся и совершенствованию материально-технической базы медицинского обслуживания. В частности, в целях сокращения потерь свободного и рабочего времени работников отрегулирована система предварительной записи к врачам-специалистам; открыт дополнительный заводской здравпункт; введена практика приема больных на территории предприятия специалистами различного профиля; в непосредственной близости от предприятия начала действовать вторая из двух поликлиник, располагавшаяся ранее на значительном от него расстоянии. Для получения разносторонней амбулаторной и стационарной медицинской помощи, включающей водолечение, физиотерапию, массаж, лечебную физкультуру, фитотерапию и многое другое, открыт комфортабельный центр реабилитации.

Существенных изменений требовала и система общественного питания на предприятии. Около 60% регулярно посещающих заводской комбинат питания были не удовлетворены ею, и многие предпочитали обедать за пределами предприятия. Часть работников довольствовалась неполноценным обедом в буфете, что самым отрицательным образом сказывалось на их настроении, здоровье и работоспособности. В результате обобщения претензий работников к системе питания было решено перевести комбинат общественного питания, обслуживающий работников объединения, на баланс предприятия. В настоящее время комбинат переходит на хозяйственные отношения и прямые связи с сельскохозяйственными предприятиями; начинает действовать система безличного обслуживания посетителей; осуществляются и другие меры по улучшению работы комбината.

Перечисленные направления деятельности администрации объединения "Элекон", где генеральным директором А. И. Ларюшин, представляют собой только часть той огромной работы с коллективом, без которой сегодня уже немыслимо функционирование нового хозяйственного механизма, формирование нового типа мышления и поведения людей. Человеческий фактор, определяющий судьбу перестройки, требует в нынешних условиях особого к себе отношения и принципиально новых решений. Единственно верный путь здесь не в декларировании тезиса о единстве общественных и личных интересов, а в неутомимом поиске путей их действительного, реального сближения.

Статья поступила 2 сентября 1989 г.

ЭЛЕКТРЕТНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК ВИБРАЦИИ

Позволяет изучать вибрационные характеристики микро- и макрообъектов и оценивать частоты их механических резонансов по изменению амплитуды и фазы колебаний путем преобразования механических колебаний в электрический сигнал.

Может быть использован как датчик перемещений, скорости и ускорений объектов (металлических и неметаллических) различного назначения, в том числе при создании экологической и медицинской аппаратуры.

Характеризуется:

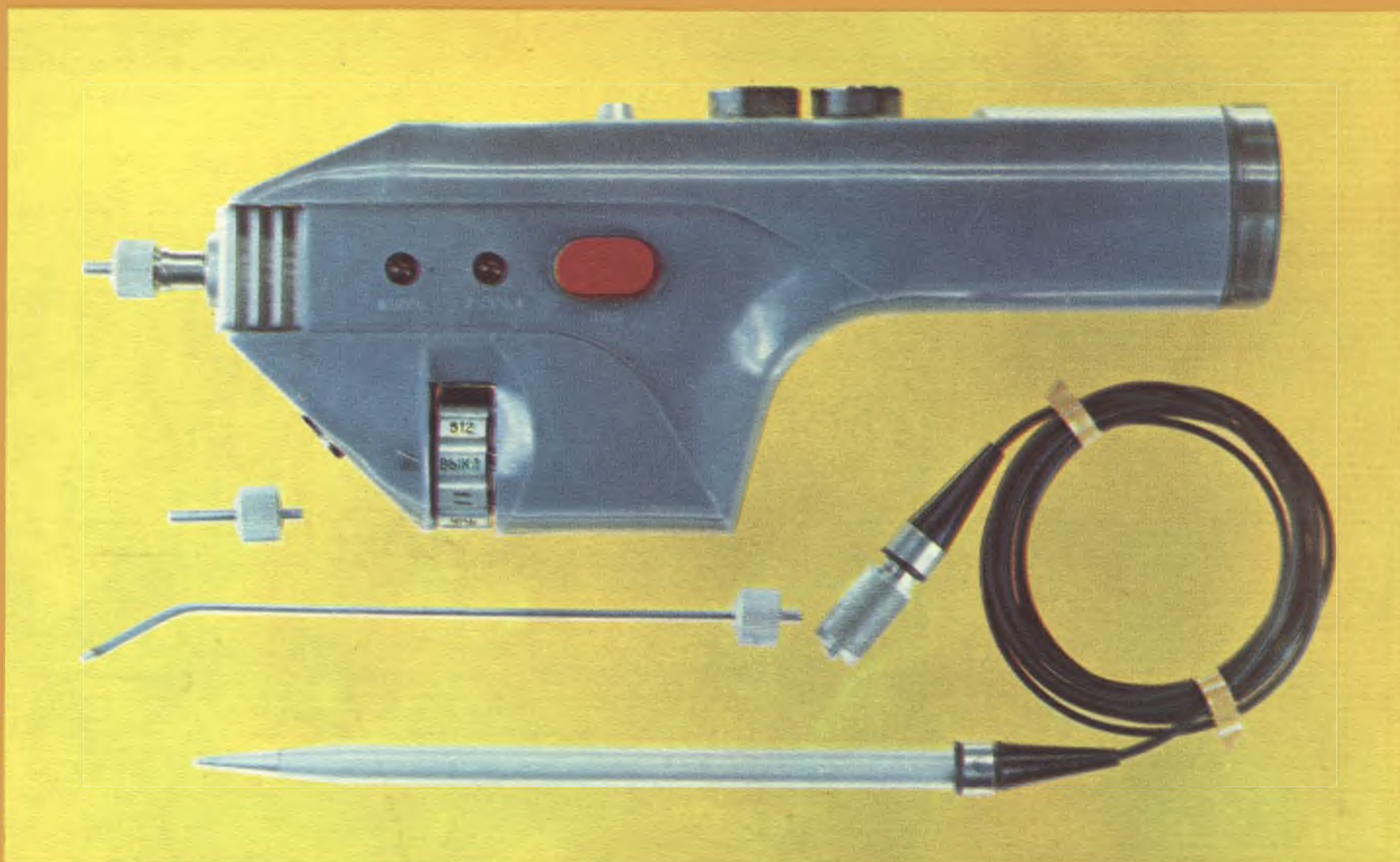
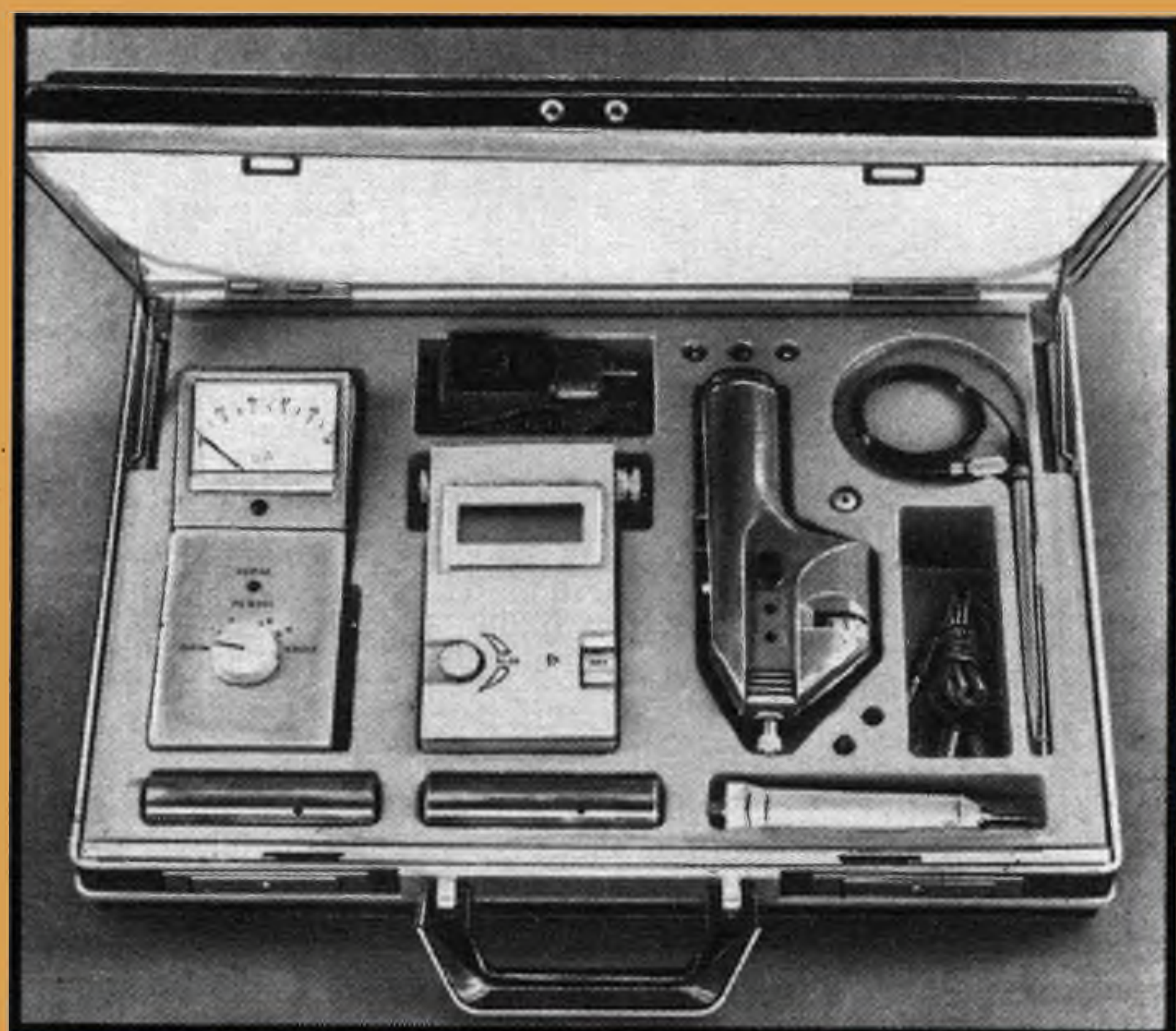
- повышенной разрешающей способностью и чувствительностью;
- возможностью измерений при различных направлениях колебаний объектов;
- отсутствием искажений, присущих навесным датчикам вибрации;
- простотой конструкции;
- надежностью в эксплуатации.

Диапазон индикации резонансных частот, Гц	10—20000
Минимальный размер (диаметр) исследуемого объекта, мкм	20
Погрешность определения частоты механического резонанса, %, не более	0,5
Минимальная амплитуда ускорения исследуемого объекта в диапазоне вибрации 40—20000 Гц (обнаружительная способность датчика), m/s^2 , не более	10
Напряжение питания, В	± 15
Масса, г	300

Объекты исследований: элементы и узлы ИЭТ и РЭА, машины и станки, роботы, летательные аппараты и другие объекты, где знание частот механических резонансов или уровня вибрационных нагрузок позволяет избежать опасных ситуаций.

По желанию заказчика могут быть изготовлены датчики различных модификаций для применения в различных средах и оказана методическая помощь по использованию датчиков с обучением персонала.

*Стоимость датчика определяется на договорной основе.
Обращаться по адресу: 194021, г. Ленинград, ул. Курчатова, 10,
Хозрасчетный Центр научно-технических услуг «Позитрон»,
тел. 552-98-94.*



НОВЫЙ КОМПЛЕКТ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ И ДИАГНОСТИКИ «КОЛОКОЛЬЧИК»

Рациональная конструкция, простота управления, автономность питания, малые габариты и масса позволяют врачу работать с каждым из входящих в комплект устройств в палате, на дому, в машине «скорой помощи», в полевых условиях.

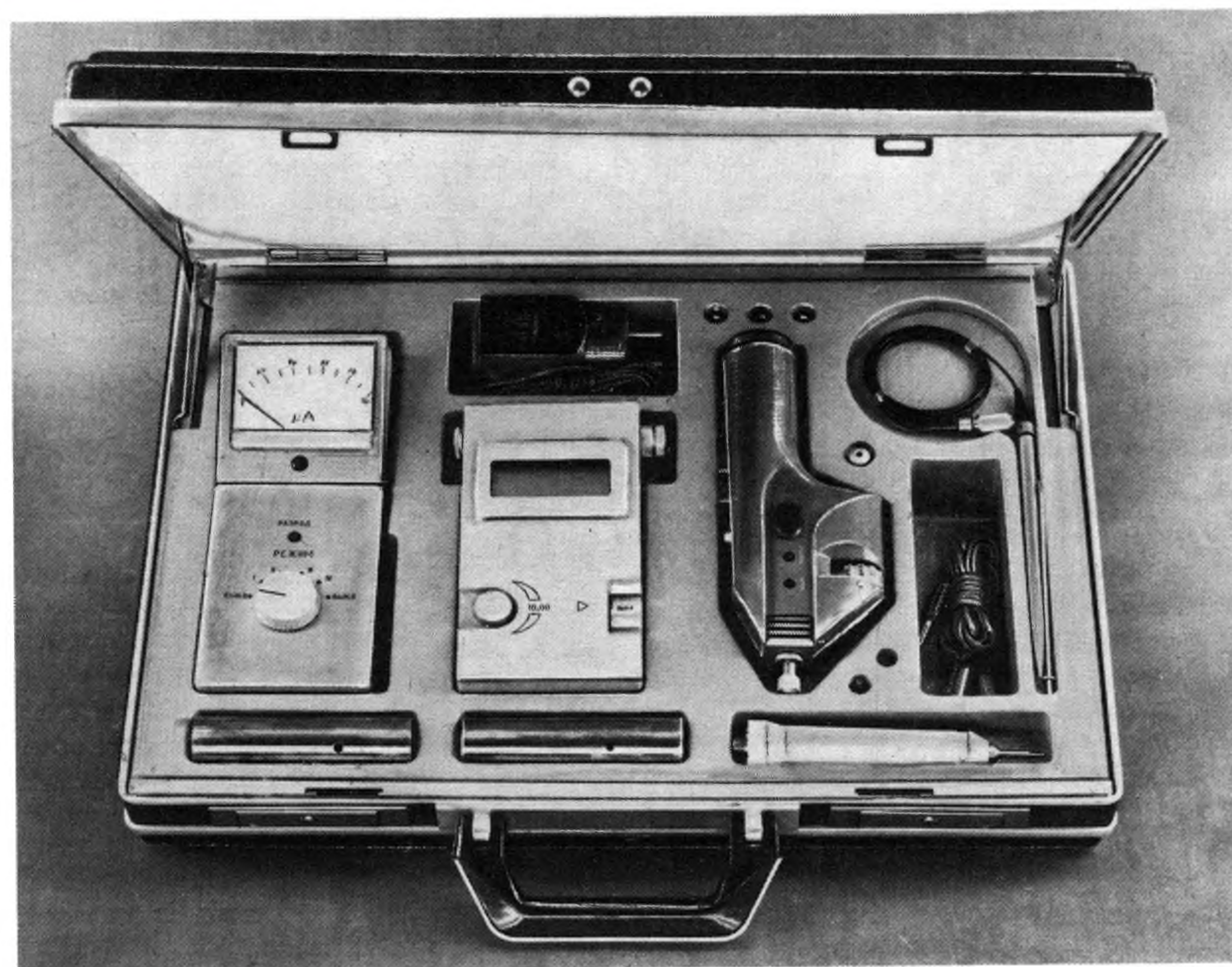
В комплект «Колокольчик» входят: устройства лазерной терапии, диагностические устройства, измеритель мощности лазерного излучения, оптические насадки.



Для эндоскопического и акупунктурного применения устройства «Колокольчик» используются насадки с волоконнооптическим кабелем.

НОВЫЙ КОМПЛЕКТ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ И ДИАГНОСТИКИ

В.П.Саранцев, В.И.Швейкин, В.А.Шейченко



Лазерная терапия и диагностика с использованием низкоэнергетического лазерного излучения находят широкое применение в различных областях практической и научной медицины.

Наряду с используемыми в медицинской практике «традиционными» лазерами с длиной волны излучения 0,63 мкм все большее внимание врачей привлекает излучение в ближнем ИК диапазоне — начиная с 0,78 мкм и выше — и перспективные источники этого излучения — полупроводниковые лазеры.

С ростом длины волны излучения в ближнем ИК диапазоне вплоть до 1,4 мкм, где начинает сказываться поглощение излучения водой, увеличивается глубина проникновения излучения в биоткань. При этом диапазон длин волн 0,6—1,3 мкм называют «терапевтическим окном» [1].

Наиболее эффективными источниками излучения в ближнем ИК диапазоне, предназначенными для диагностики и терапии, являются полупроводниковые лазеры. Это связано с достаточно малой шириной их спектра излучения, широким диапазоном мощностей излучения, высоким (до 20—40%) КПД, малым размером тела свечения, что позволяет эффективно вводить излучение лазера в оптическое волокно, а также с высокой надежностью, малыми габаритами и массой.

Лазерное излучение в ближней ИК области эффективно применяется в рефлексотерапии, кардиологии, урологии, неврологии, ревматологии, стоматологии, для лечения ожогов, язв (в том числе с помощью эндоскопических насадок), ЛОР-органов, панкреатитов, холециститов, язв желудка и двенадцатиперстной кишки, артритов, артрозов и т.д.

При облучении с целью биостимуляции больших зон — крупных суставов, ожогов пищевода, желудка, ран и т.п. — наиболее эффективно использование длины волны $0,85 \pm 0,05$ мкм. При

этом для достижения необходимой плотности мощности излучения полупроводниковый лазер должен иметь мощность излучения до нескольких десятков милливольт. В процессе облучения биоткани повторяемость результатов терапии достигается стабилизацией мощности излучения с помощью отрицательной обратной связи по свету. Воздействие излучения на точки акупунктуры (ТА) в ближнем ИК диапазоне, как правило, не требует мощностей излучения, превышающих 1—2 мВт. Большое значение для определения дозы воздействия имеет при этом выбор длины волны излучения. С целью определения оптимальной, с точки зрения повторяемости результатов, ее величины был исследован спектр излучения китайских полынных сигарет с помощью оптического анализатора спектра [2, 3]. Из результатов этого исследования, представленных на рисунке, следует, что в спектре излучения полынной сигареты в «терапевтическом окне» имеется максимум на длине волны 1,3 мкм. Излучение на этой длине волны достаточно глубоко проникает в биоткань и, по всей вероятности, определяет лечебный эффект от применения полынных сигарет на ТА, поскольку излучение на длинах волн больше 1,4 мкм значительно поглощается водой (длина экстинкции ~ 40 мкм) [4].

Недостаток применения полынных сигарет состоит в том, что в процессе горения в течение нескольких секунд поверхность конуса покрывается пеплом, экранирующим тепловое излучение в ближнем ИК диапазоне. На рисунке отчетливо заметно резкое увеличение мощности излучения на длинах волн 1,2 мкм и некоторое увеличение амплитуды пиков на длинах волн 1,3 и 1,5 мкм —

это вызвано сдуванием пепла с конуса сигареты струей воздуха в процессе снятия спектра излучения. К другим недостаткам рассматриваемого метода относятся повышение температуры кожи, вызванное полным поглощением мощности излучения с длинами волн свыше 1,4 мкм в поверхностном слое кожи, причиняющее сильную боль, и наличие дыма, вызывающего аллергические реакции у большинства пациентов.

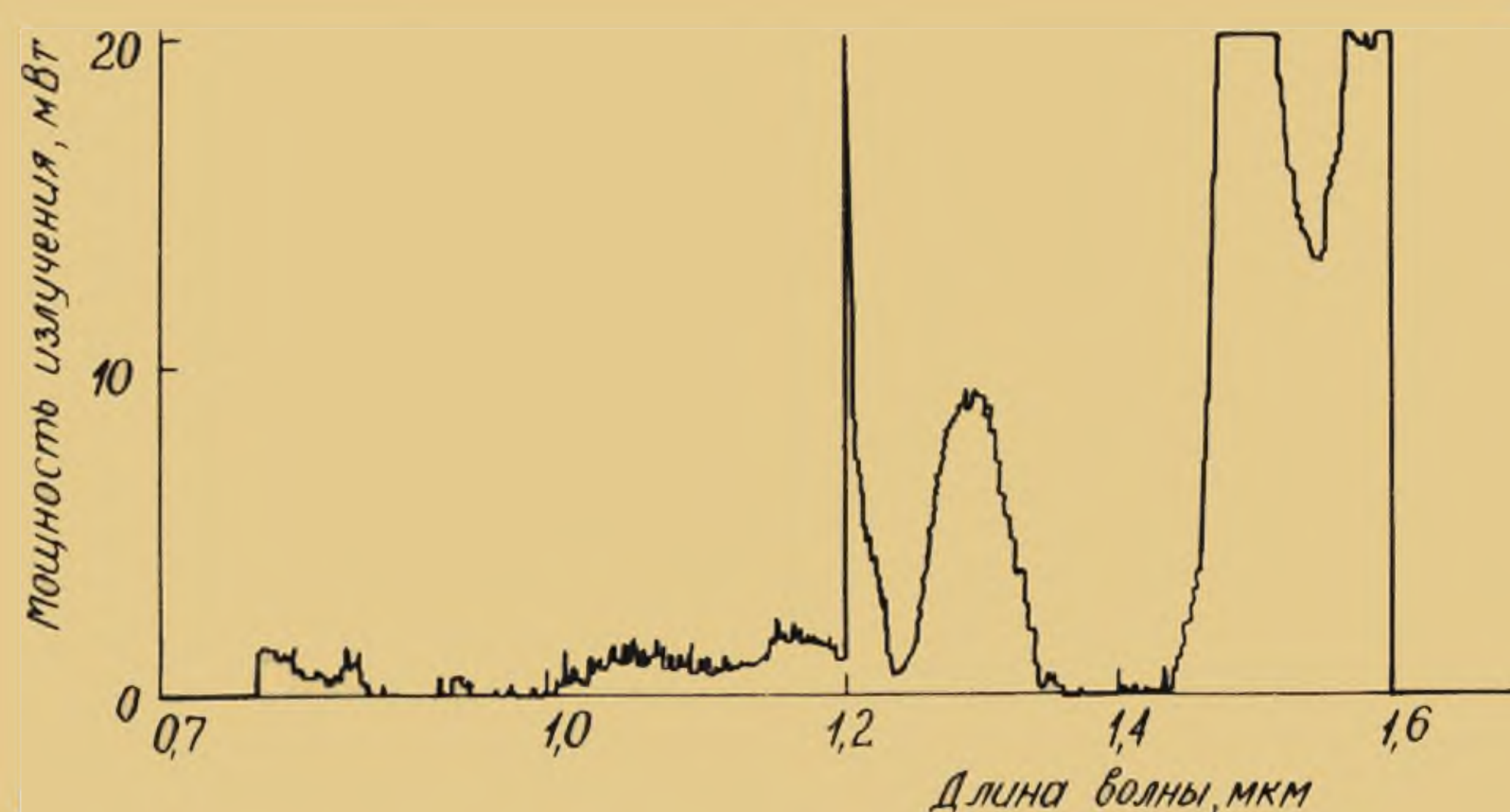
В связи с отсутствием зарубежных и отечественных публикаций по применению излучения с длиной волны 1,3 мкм в рефлексотерапии проводились исследования эффективности воздействия на ТА СВЧ излучения, а также излучения He—Ne-лазера и полупроводникового InGaAsP/InP-лазера на этой длине волны. Большая эффективность стимуляции ТА таким излучением была подтверждена инструментально [2, 3].

С учетом полученных результатов этой работы и опыта применения прибора «Светлана» был разработан комплект «Колокольчик» для лазерной терапии и диагностики. В его состав входят устройства лазерной терапии на основе полупроводниковых лазеров непрерывного действия с длиной волны излучения 0,85 или 1,3 мкм, измеритель мощности лазерного излучения, устройство для зарядки аккумуляторов, пять сменных насадок для подвода лазерного излучения к биоткани, в комплект может быть включено и устройство для диагностики состояния меридианов.

Сменные насадки к устройству лазерной терапии позволяют формировать излучение в виде параллельного пучка диаметром 1,5 мм или конуса с углом 30°. Стоматологическая насадка дает возможность вводить лазерное излучение в полость рта. В двух насадках эндоскопического и акупунктурного применения использован волоконно-оптический кабель с диаметром сердцевины 400 и 50 мкм.

Устройство лазерной терапии и измеритель мощности лазерного излучения имеют входы и выходы для подключения интегрирующей сферы и могут использоваться для измерения коэффициентов отражения биоткани на длинах волн 0,85 или 1,3 мкм. Результат выводится непосредственно на шкалу измерителя мощности лазерного излучения.

Диагностическое устройство обеспечивает измерение проводимости в точках акупунктуры в диапазоне токов 2—12 мкА и возможность анализа состояния меридианов с помощью ЭВМ.



Спектр излучения китайской полынной сигареты в диапазоне длин волн 0,7—1,6 мкм

Наличие сменных оптических насадок позволяет подводить лазерное излучение к ТА, к очагам поражения на коже и — с помощью стоматологической насадки и эндоскопов — к внутренним полостям. Применение в качестве насадки волоконнооптического кабеля позволяет проводить инвазивную лазерную терапию. Широкий диапазон регулировки мощности и времени воздействия, возможность непрерывного и импульсного режимов работы, стабилизация установленной мощности и частоты импульсов излучения позволяют врачам отрабатывать оптимальные методики лечения заболеваний.

Практические результаты применения прототипов устройства «Колокольчик» показали их высокую эффективность. Использование одного из них — с длиной волны излучения 0,85 мкм — в НИИ скорой помощи им. Склифосовского МЗ СССР позволило предупредить развитие стриктур, возникающих в 73% случаев при химических ожогах верхнего отдела желудочно-кишечного тракта, благодаря чему было снижено число оперативных вмешательств.

В НИИ лазерной хирургии МЗ СССР разработаны различные терапевтические методики с использованием излучения полупроводниковых лазеров непрерывного действия на длинах волн 0,85 и 1,3 мкм для лечения функциональных нарушений центральной и периферической нервной системы, органов желудочно-кишечного тракта и других заболеваний с эффективностью 85—97%.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА

Длина волны, мкм	0,85; 1,3
Мощность непрерывного излучения, мВт	
на длине волны 0,85 мкм	0—30
1,3 мкм	0—3
Частота модуляции, Гц	1; 2; 4; 16; 32; 64; 128; 256; 512
Время экспозиции, устанавливаемое таймером, с	10—60
Длительность непрерывной работы, ч	1—3
Средняя наработка на отказ, ч	12 тыс.
Габариты, мм	180×80×40
Масса, г	220
Питание	аккумуляторная батарея (5 аккумуляторов Д-0,26)

По вопросам приобретения комплекта «Колокольчик» обращаться по адресу: 117342, Москва, ул. Введенского, 3, НПО «Полюс».

В заказе указывается длина волны устройства — 0,85 или 1,3 мкм.

Стоимость устройства «Колокольчик» 1900 руб. комплекта «Колокольчик» — 3500 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parrish J.A., Deutsch T.F. Laser photomedicine.— IEEE Journal of Quantum Electronics, 1984, Dec., vol. QE-20, N 12, p. 1386—1396.
2. Рефлекторное влияние низкоинтенсивного лазера на состояние конъюнктивной микроциркуляции/В.И.Швейкин, В.А.Буйлин, В.И.Козлов, В.П.Саранцев, О.А.Терман.— В кн.: Применение лазеров в хирургии и медицине. Ч 1.: Тезисы Международного симпозиума по лазерной хирургии и медицине, 18—20 октября 1988 г., г. Самарканд/Под ред. О.К.Скобелкина.— М.: 1989, с. 569—571.
3. Лазерная и СВЧ рефлексотерапия/В.А.Буйлин, В.И.Козлов, Г.Д.Литвин, И.М.Пушкарева, В.П.Саранцев, В.И.Швейкин.— Электронная промышленность, 1989, вып. 6, с. 38—39.
4. Martiniuk R., Mc Kean J.D.S. et al. Effect of Nd:YAG Laser at 1,44 mkm on rabbit brain.— In: Laser Optoelectronics in Medicine: Proceedings of the 7-th Congress Int. Soc. for laser surgery and medicine laser 87.— Munich, p. 108—112.

УДК 621.3.049.77

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ МАЛОМОЩНЫЕ ЦИФРОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНО- ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ С ДИОДАМИ ШОТКИ **СЕРИИ КР1533**

А.В.Прибыльский, А.И.Сухопаров, С.В.Якубовский, С.А.Ельцова

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533ИД4

Конструктивно микросхема выполнена в 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

Микросхема КР1533ИД4 может выполнять функции: двойного дешифратора с 2 на 4; двойного демультимплек-

сора с 1 на 4; дешифратора с 3 на 8; демультимплектора с 1 на 8.

Микросхема имеет два адресных входа SE1 и SE2 (выводы 3, 13), которые предназначены для одновременного управления выходными состоя-

Микросхема КР1533ИД4, выполненная по ТТЛ-технологии с диодами Шоттки, представляет собой сдвоенный дешифратор-демультимплексор.

Таблицы истинности КР1533ИД4 в режиме работы «Дешифратор 2×4 или демультимплексор 1×4»

Входы				Выходы			
SE2	SE1	$\overline{1C}$	1D	$\overline{1Y0}$	$\overline{1Y1}$	$\overline{1Y2}$	$\overline{1Y3}$
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H
L	H	L	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	H	L	H
H	H	L	H	H	H	H	L
X	X	X	L	H	H	H	H

Входы				Выходы			
SE2	SE1	$\overline{2C}$	$\overline{2D}$	$\overline{2Y0}$	$\overline{2Y1}$	$\overline{2Y2}$	$\overline{2Y3}$
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	L	H	L	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H
H	H	L	L	H	H	H	L
X	X	X	H	H	H	H	H

Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 15	1D, $\overline{2D}$	Информационные входы
2, 14	$\overline{1C}$, $\overline{2C}$	Входы стробирования
3, 13	SE1, SE2	Входы выбора данных
4, 5, 6, 7 9, 10, 11, 12	1Y0, 1Y1, 1Y2, 1Y3 2Y0, 2Y1, 2Y2, 2Y3	Выходы
8	OV	Общий вывод
16	Ucc	Вывод питания

Таблица истинности КР1533ИД4 в режиме работы «Дешифратор 3×8 или демультимплексор 1×8»

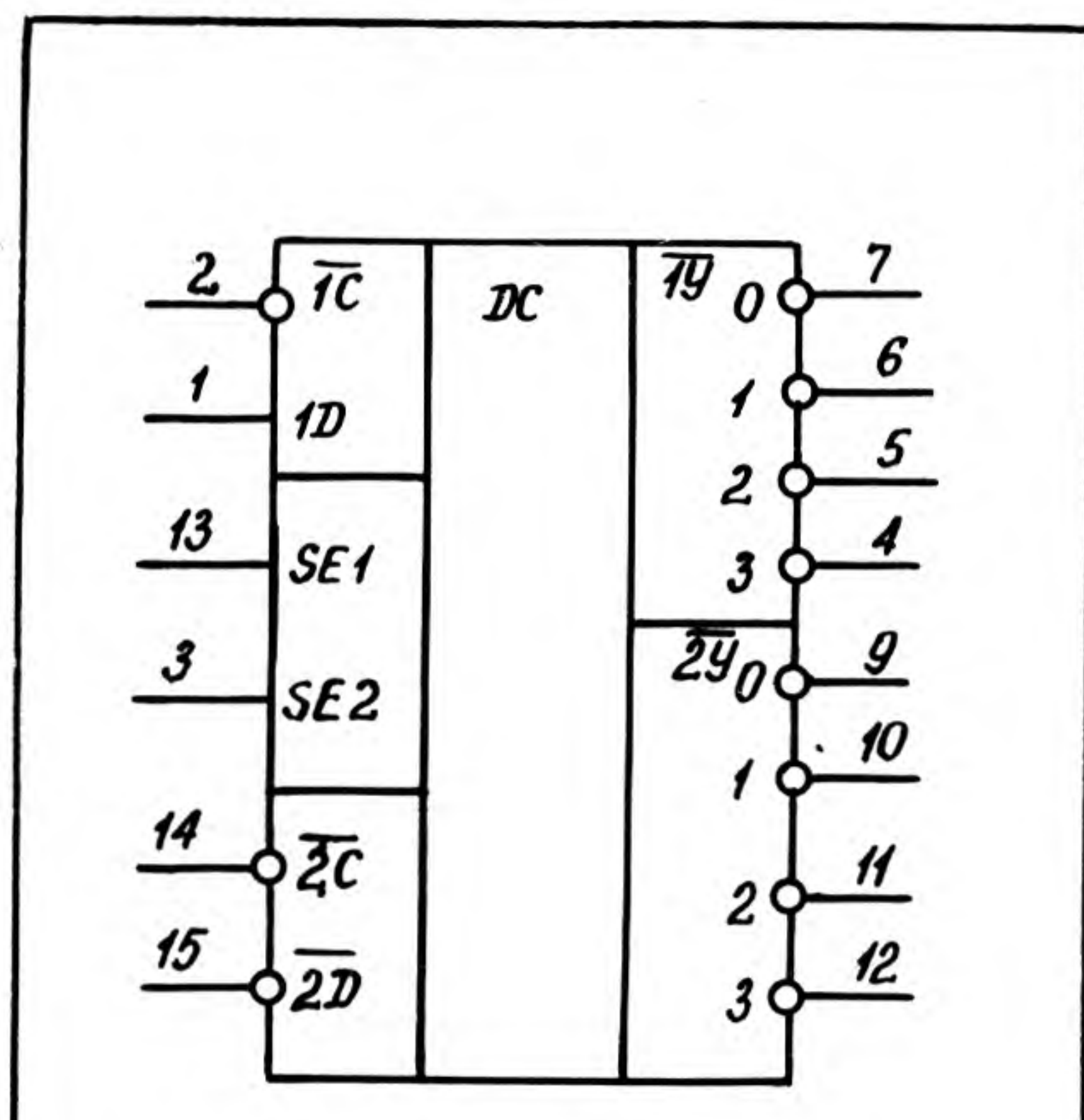
Входы				Выходы							
D	SE2	SE1	\overline{C}	$\overline{2Y0}$	$\overline{2Y1}$	$\overline{2Y2}$	$\overline{2Y3}$	$\overline{1Y0}$	$\overline{1Y1}$	$\overline{1Y2}$	$\overline{1Y3}$
X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	H	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H
H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L

H — высокий логический уровень; L — низкий логический уровень; X — безразличное состояние (H или L); D — входы 1D и $\overline{2D}$ соединены вместе; \overline{C} — входы $\overline{1C}$ и $\overline{2C}$ соединены вместе.

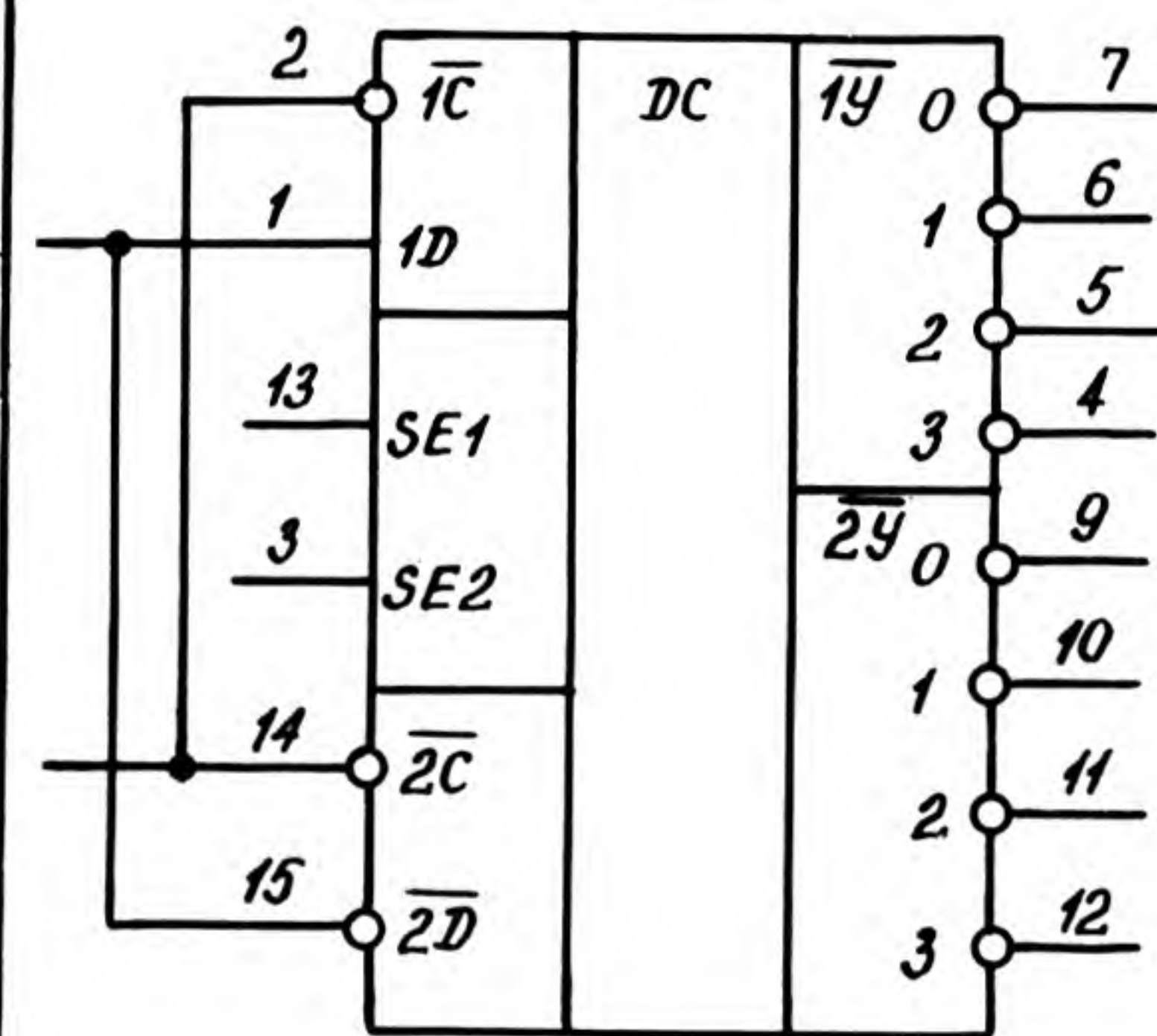
ниями дешифраторов каждой из двух частей схемы. В каждой части схемы есть отдельный стробирующий вход $\overline{1C}$, $\overline{2C}$ (выводы 2, 14). Имеется два информационных входа $1D$, $\overline{2D}$ (выводы 1, 15), по одному информационному входу для каждой части схемы.

Основные электрические параметры

Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее (при выходном токе 0,4 мА) 2,5
 Выходное напряжение низкого уровня, В, не более (при выходном токе 4 мА) 0,4
 Входной ток, мкА, не более
 высокого уровня 20
 низкого уровня | -200 |
 Ток потребления, мА, не более 7
 Время задержки распространения при включении
 (выключении), нс, не более 28



В режиме работы «Дешифратор 2×4 или демультиплексор 1×4»



В режиме работы «Дешифратор 3×8 или демультиплексор 1×8»

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ КР153ЗИП6, КР153ЗИП7

Микросхемы КР153ЗИП6, ИП7 — четырехшинные приемопередатчики. ИС типа ИП6 имеет инверсные выходы, типа ИП7 — прямые.

Конструктивно микросхемы выполнены в 14-выводном пластмассовом корпусе 201.14-1.

Приемопередатчик осуществляет передачу информации в прямом или в противоположном направлении.

ИС состоит из десяти логических элементов. Два логических элемента являются управляющими, один из которых инвертирующий, остальные восемь логических элементов включены попарно. В каждой паре вход первого А, соединенный с выходом второго В, составляет один вывод ИС, а выход первого А, соединенный с входом второго В, образует другой вывод ИС. Эти два вывода образуют одну шину приемопередачи.

При подаче на управляющие входы \overline{EZA} и \overline{EZB} напряжения высокого уровня передача информации осуществляется в направлении от выходов В к входам А. Так при подаче на выход В напряжения низкого уровня на соответствующем входе А появится

**Основные электрические параметры
КР153ЗИП6, ИП7**

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более
 при выходном токе 12 мА 0,4
 при выходном токе 24 мА 0,5
 Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее
 при выходном токе 3 мА 2,4
 при выходном токе 15 мА 2,0
 Входной ток, мкА, не более
 низкого уровня | -100 |
 высокого уровня 20

	ИП6	ИП7
Ток потребления, мА, не более		
при низком уровне выходного напряжения	21	30
при высоком уровне выходного напряжения	16	25
в состоянии «Выключено»	22	32
Время задержки распространения при включении, нс, не более	10	11
Время задержки распространения при выключении, нс, не более	11	11

Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1,13	\overline{EZA} , \overline{EZB}	Вход разрешения состояния высокого импеданса
3, 4, 5, 6	A1, A2, A3, A4	Вход/выход
7	OV	Общий вывод
8, 9, 10, 11	B1, B2, B3, B4	Вход/выход
12	—	Свободный
14	U_{cc}	Вывод питания

Таблица истинности КР153ЗИП6

Входы		Направление передачи данных
\overline{EZA}	\overline{EZB}	
L	L	A → \overline{B}
H	H	\overline{B} → A
H	L	Z
L	H	A = \overline{B}

Таблица истинности КР153ЗИП7

Входы		Направление передачи данных
\overline{EZA}	\overline{EZB}	
L	L	A → B
H	H	B → A
H	L	Z
L	H	A = B

H — высокий логический уровень; L — низкий логический уровень; Z — состояние высокого импеданса; A → B — передача уровня напряжения (H или L) из шины A в шину B; B → A — передача уровня напряжения (H или L) из шины B в шину A.

напряжение низкого уровня для ИС типа ИП7 и высокого уровня для ИП6.

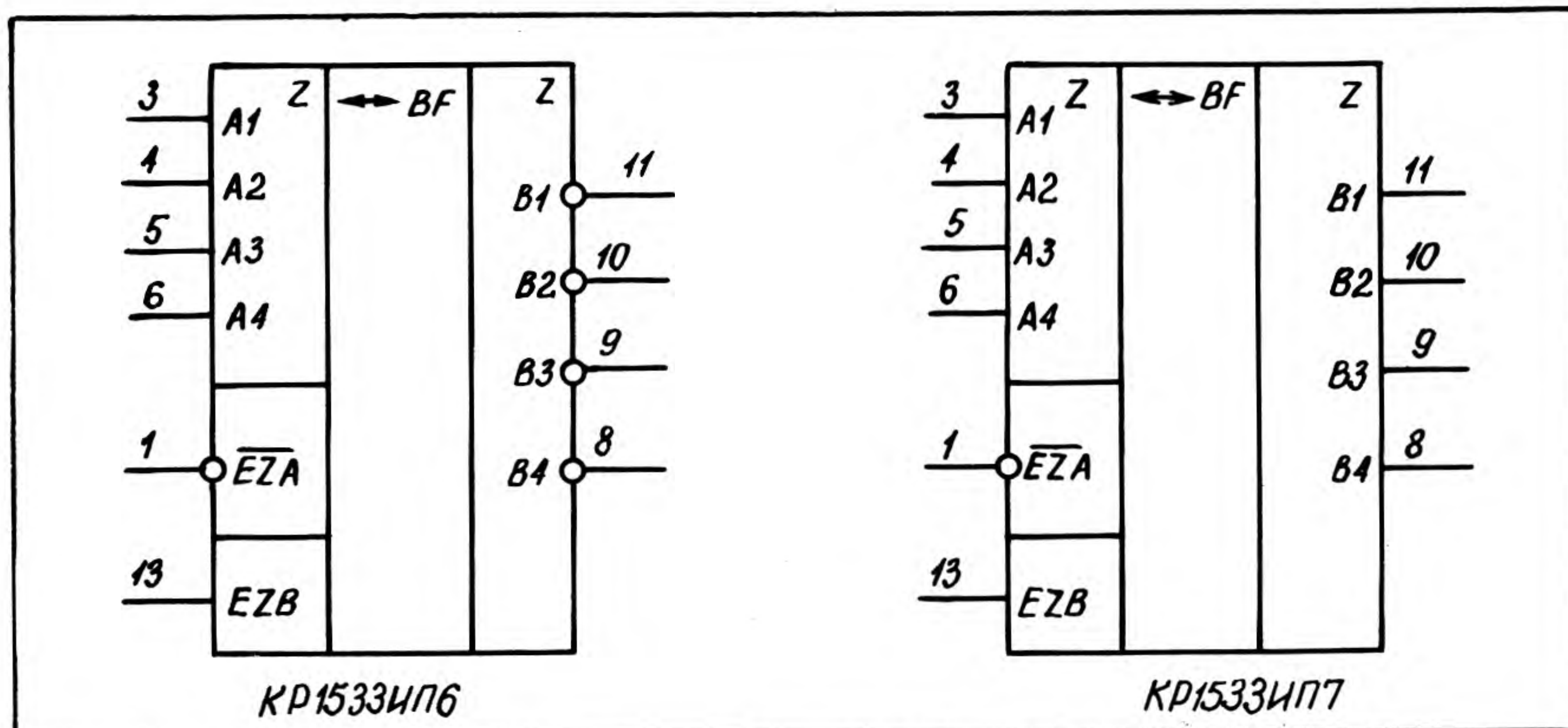
При подаче на управляющие входы \overline{EZA} и EZB напряжения низкого уровня передача информации осуществляется в направлении от входов А к выходам В.

При подаче на инвертирующий управляющий вход \overline{EZA} напряжения высокого уровня, а на неинвертирующий управляющий вход EZB напряжения низкого уровня на выходах управляющих логических элементов установится напряжение низкого уровня, которое все остальные логические элементы переведет в отключенное состояние, т.е. входы А и выходы В будут отключены друг от друга.

При подаче на вход \overline{EZA} напряжения низкого уровня, а на вход EZB

напряжения высокого уровня осуществляется разрешение передачи информации в обоих направлениях, что

может привести к ослаблению колебаний. Такое сочетание управляющих сигналов не допускается.



СЕЛЕКТОРЫ-МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ

Мультиплексоры организованы в виде двухступенчатых устройств на базе логических элементов «НЕ» и «И-ИЛИ-НЕ».

Первая ступень инверторов обеспечивает дешифрацию адреса канала передачи (одного из восьми, из четырех, из двух) и выполнена на инверторах, формирующих сигналы разрешения каждого данного канала высокого уровня при последовательной смене цифрового кода на входах адреса.

Вторая ступень мультиплексора выполнена на логических элементах «И-ИЛИ-НЕ» для мультиплексоров с инверсией информации и элемента «И-ИЛИ» — без инверсии. Она использует стробирующие функции «И» аргументов канала информации и адреса и объединяет свойства функции «ИЛИ» нескольких каналов на одном выходе. При высоком уровне напряжения на шинах адреса канала сборки на элементе «И» разрешена передача информации данного канала на общий выход мультиплексируемых каналов.

Мультиплексор включает вход управления с разрешением передачи при низком уровне напряжения на этом входе и запретом передачи при высоком уровне.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533КП15

Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 2, 3, 4	D3, D2, D1, D0	Информационные входы
5	У	Выход прямой
6	\overline{W}	Выход инверсный
7	\overline{EZ}	Вход управления установки выходов в состояние высокого импеданса
8	OV	Общий вывод
9, 10, 11	SE3, SE2, SE1	Вход выбора
12, 13, 14, 15	D7, D6, D5, D4	Информационные входы
16	U_{cc}	Вывод питания

Микросхема КР1533КП15 — восьмивыводный селектор-мультиплексор с тремя устойчивыми состояниями.

Конструктивно микросхема выполнена в 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

Мультиплексор КР1533КП15 имеет организацию мультиплексирования

восьми каналов в один со входом разрешения и в режиме запрета имеет выключенное состояние по обоим выходам.

Основные электрические параметры

- Выходное напряжение низкого уровня, В, не более
 - при выходном токе 12 мА 0,4
 - при выходном токе 24 мА 0,5
- Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее
 - при выходном токе 0,4 мА 2,5
 - при выходном токе 2,6 мА 2,4
- Входной ток, мкА, не более
 - низкого уровня | -100 |
 - высокого уровня 20
- Ток потребления, мА, не более 10
- Ток потребления в состоянии «Выключено», мА, не более 14
- Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более 24

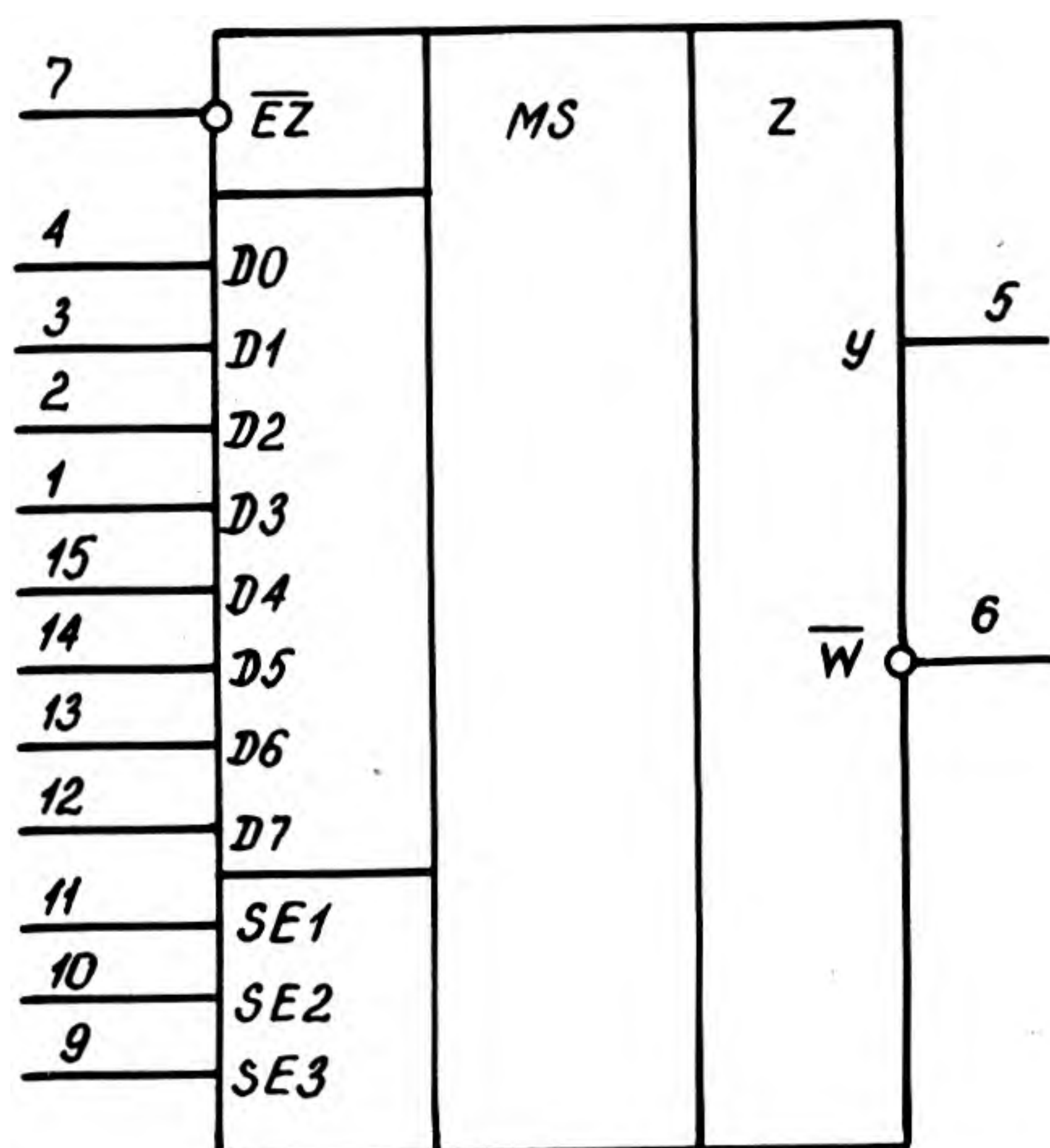


Таблица истинности

Входы				Выходы	
SE1	SE2	SE3	\overline{EZ}	у	\overline{W}
X	X	X	H	Z	Z
L	L	L	L	D0	$\overline{D0}$
H	L	L	L	D1	$\overline{D1}$
L	H	L	L	D2	$\overline{D2}$
H	H	L	L	D3	$\overline{D3}$
L	L	H	L	D4	$\overline{D4}$
H	L	H	L	D5	$\overline{D5}$
L	H	H	L	D6	$\overline{D6}$
H	H	H	L	D7	$\overline{D7}$

H — высокий логический уровень;
 L — низкий логический уровень;
 X — безразличное состояние (H или L);
 Z — состояние высокого импеданса;
 D0—D7 — информация по входам D0—D7

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА KR1533KP7

Микросхема KR1533KP7 — селектор-мультиплексор.

Конструктивно микросхема выполнена в 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

ИС KR1533KP7 представляет собой восьмиканальный коммутатор со

стробированием. В зависимости от кода, набранного на адресных входах SED1, SED2, SED3, прохождение сигнала на выход осуществляется только от одного из восьми информационных входов D0—D7. При наличии сигнала высокого уровня на ин-

Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 2, 3, 4 12, 13, 14, 15	D3, D2, D1, D0 D7, D6, D5, D4	Вход информационный
5, 6	у, \overline{y}	Выход
7	\overline{C}	Вход стробирования
8	OV	Общий вывод
9, 10, 11	SED3, SED2, SED1	Вход «Выбор данных»
16	U _{cc}	Вывод питания

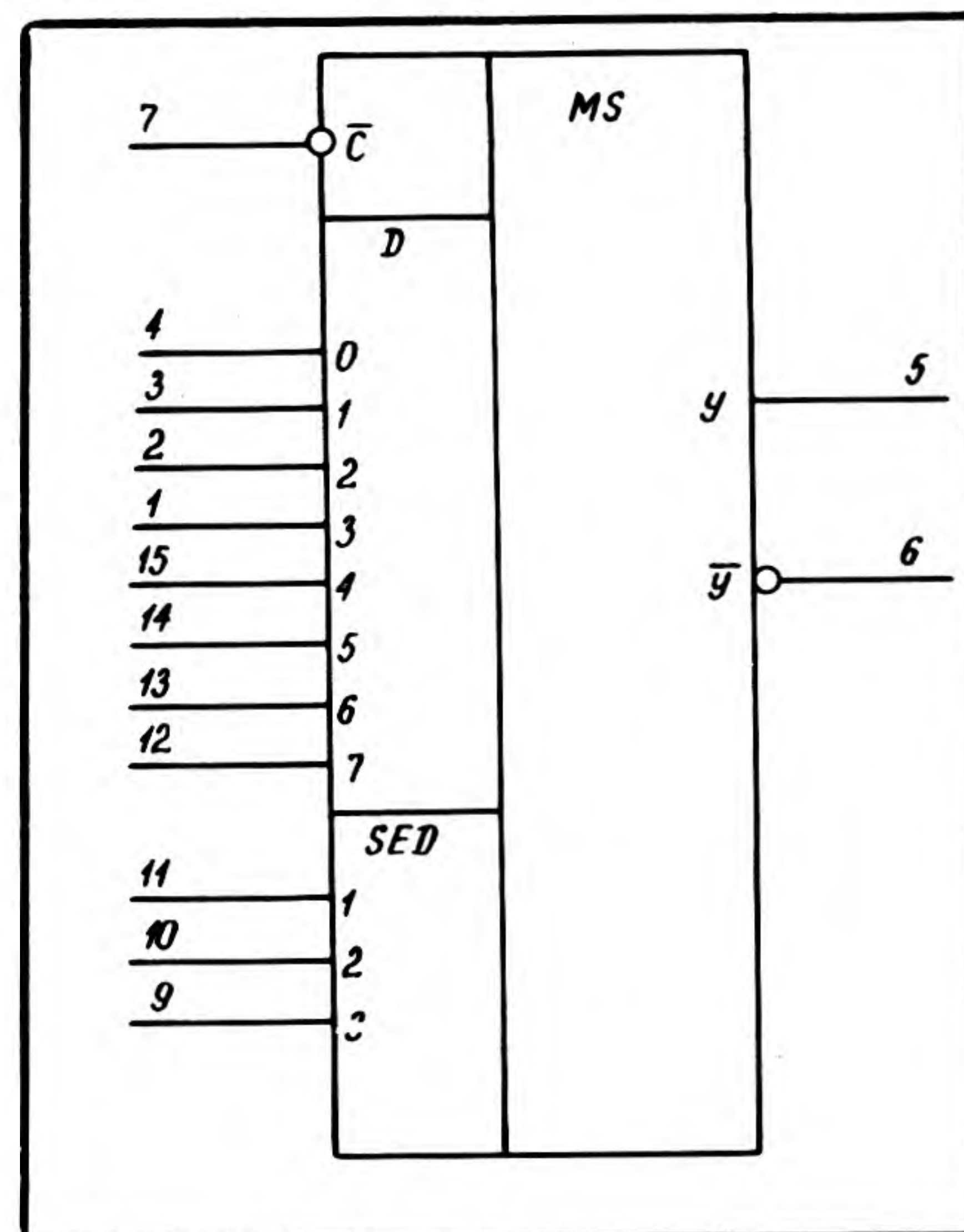
Основные электрические параметры

- Выходное напряжение низкого уровня, В, не более
 - при выходном токе 12 мА 0,4
 - при выходном токе 24 мА 0,5
- Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее
 - при выходном токе 0,4 мА 2,5
 - при выходном токе 2,6 мА 2,4
- Входной ток, мкА, не более
 - низкого уровня -100
 - высокого уровня 20
- Ток потребления, мА, не более 12
- Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более 24

Таблица истинности

Входы				Выходы	
SED1	SED2	SED3	\overline{C}	у	\overline{y}
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\overline{D0}$
H	L	L	L	D1	$\overline{D1}$
L	H	L	L	D2	$\overline{D2}$
H	H	L	L	D3	$\overline{D3}$
L	L	H	L	D4	$\overline{D4}$
H	L	H	L	D5	$\overline{D5}$
L	H	H	L	D6	$\overline{D6}$
H	H	H	L	D7	$\overline{D7}$

L — низкий логический уровень; H — высокий логический уровень; D0—D7 — информация по входам.



формационном входе, соответствующем выбранному двоичному коду на адресных входах, на выходе \overline{y} появляется сигнал с низким уровнем. При этом сигналы от остальных семи информационных входов на выход не проходят. Коммутатор со стробированием имеет стробирующий вход \overline{C} , разрешающий прохождение сигнала на выход только при подаче на него низкого уровня, и выход \overline{y} , информация на котором обратна информации на выходе y . В режиме запрета прямой выход находится в состоянии низкого уровня, а инверсный \overline{y} — высокого уровня.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1533КП2

Основные электрические параметры КР1533КП2

Микросхема КР1533КП2 — сдвоенный цифровой селектор-мультиплексор 4—1.

Конструктивно микросхема выполнена в 16-выводном пластмассовом корпусе 238.16-1.

Микросхема КР1533КП2 выполняет логическую операцию, которая обеспечивает автоматическое распределение электрических сигналов с любого информационного канала. Она позволяет осуществлять следующие функции:

Выходное напряжение низкого уровня, В, не более	при выходном токе 12 мА 0,4
	при выходном токе 24 мА 0,5
Выходное напряжение высокого уровня, В, не менее	при выходном токе 0,4 мА 2,5
	при выходном токе 2,6 мА 2,4
Входной ток, мкА, не более	низкого уровня —100
	высокого уровня 20
Ток потребления, мА, не более 14
Время задержки распространения при включении (выключении), нс, не более 21

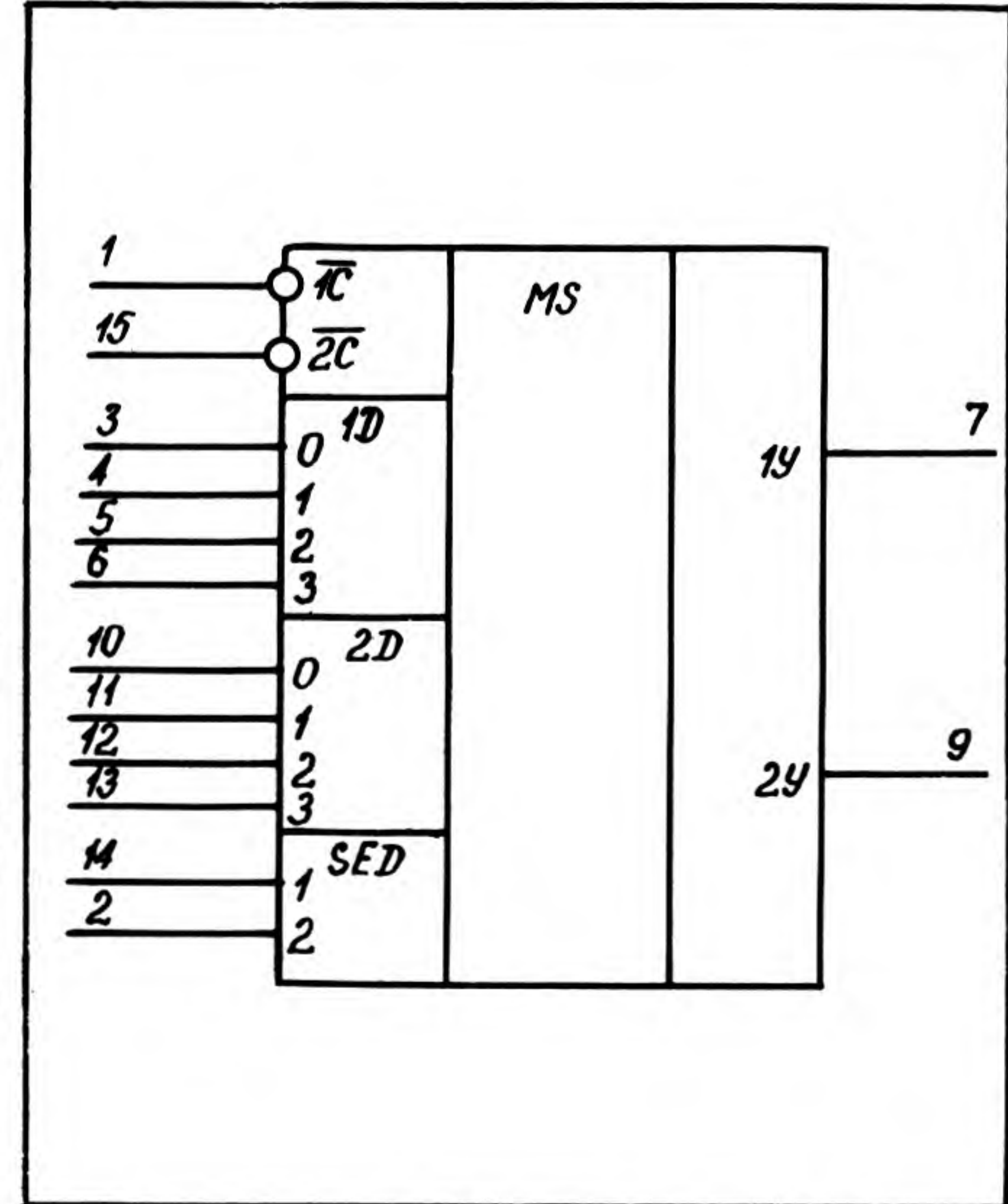


Таблица истинности

Входы						Выход	
SED1	SED2	D0	D1	D2	D3	\bar{C}	\bar{Y}
X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	X	X	X	L	L
L	L	H	X	X	X	L	H
H	L	X	L	X	X	L	L
H	L	X	H	X	X	L	H
L	H	X	X	L	X	L	L
L	H	X	X	H	X	L	H
H	H	X	X	X	L	L	L
H	H	X	X	X	H	L	H

Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1, 15	$\bar{1C}$, $\bar{2C}$	Вход стробирования
2, 14	SED2, SED1	Вход «выбор данных»
3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13	1D0, 1D1, 1D2, 1D3, 2D0, 2D1, 2D2, 2D3	Вход информационный
16	U_{cc}	Вывод питания
7, 9	1Y, 2Y	Выход
8	OV	Общий вывод

H — высокий логический уровень;
L — низкий логический уровень;
X — безразличное состояние (H или L).

мультиплексирования с N линий на 1; выполнение каскадирования с N линий на n с помощью стробирования.

ИС представляет собой два селектора-мультиплексора, каждый из которых имеет по четыре информационных входа 1D0—1D3 и 2D0—2D3 соответственно. Два адресных входа SED1 и SED2 управляют одновременно двумя селекторами-мультиплексорами.

Каждый селектор-мультиплексор имеет свой стробирующий вход ($\bar{1C}$ и $\bar{2C}$). Код, набранный на адресных входах SED1 и SED2, разрешает работу только одного из информационных входов каждого селектора-мультиплексора. Сигнал с выбранного информационного входа появляется на выходе только при наличии на стробирующем входе \bar{C} низкого уровня.

ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "ДЕЙТОН" ОКАЗЫВАЕТ УСЛУГИ

научным учреждениям, промышленным предприятиям, объединениям, учебным заведениям и кооперативам, разрабатывающим, выпускающим и ремонтирующим радиоэлектронную аппаратуру, в которой применяются интегральные схемы и полупроводниковые приборы.

Информационные услуги и научно-техническая продукция ЦКБ "Дейтон" — это гарантия получения знаний о номенклатуре интегральных схем и полупроводниковых приборов, выпускаемых промышленностью, и передовом опыте их применения.

В перечне информационных услуг — каталоги интегральных схем и полупроводниковых приборов, рекомендации по применению этих изделий, устные и письменные консультации.

Среди предлагаемой научно-технической продукции — автоматизированные информационно-поисковые системы по номенклатуре интегральных схем и полупроводниковых приборов, разработка рекомендаций по правильному применению этих изделий, оказание помощи при составлении программ их испытаний и исследований, инженерно-техническое сопровождение аппаратуры, проведение физико-технического анализа отказавших ИЭТ на базе Центральной лаборатории анализа отказов в Москве и региональных центров в городах Харькове, Минске, Свердловске, Киеве.

Предприятиям и организациям, разрабатывающим аппаратуру по лицензиям, эксплуатирующим импортное оборудование, организующим совместные с иностранными фирмами предприятия, оказываются услуги по определению возможности замены зарубежных интегральных схем и полупроводниковых приборов на изделия отечественного производства.

Лучший способ взаимодействия с ЦКБ "Дейтон" — заключение договора.

Адрес: 103460, Москва, ЦКБ "Дейтон".

Телефоны: 534-89-71; 534-32-81.

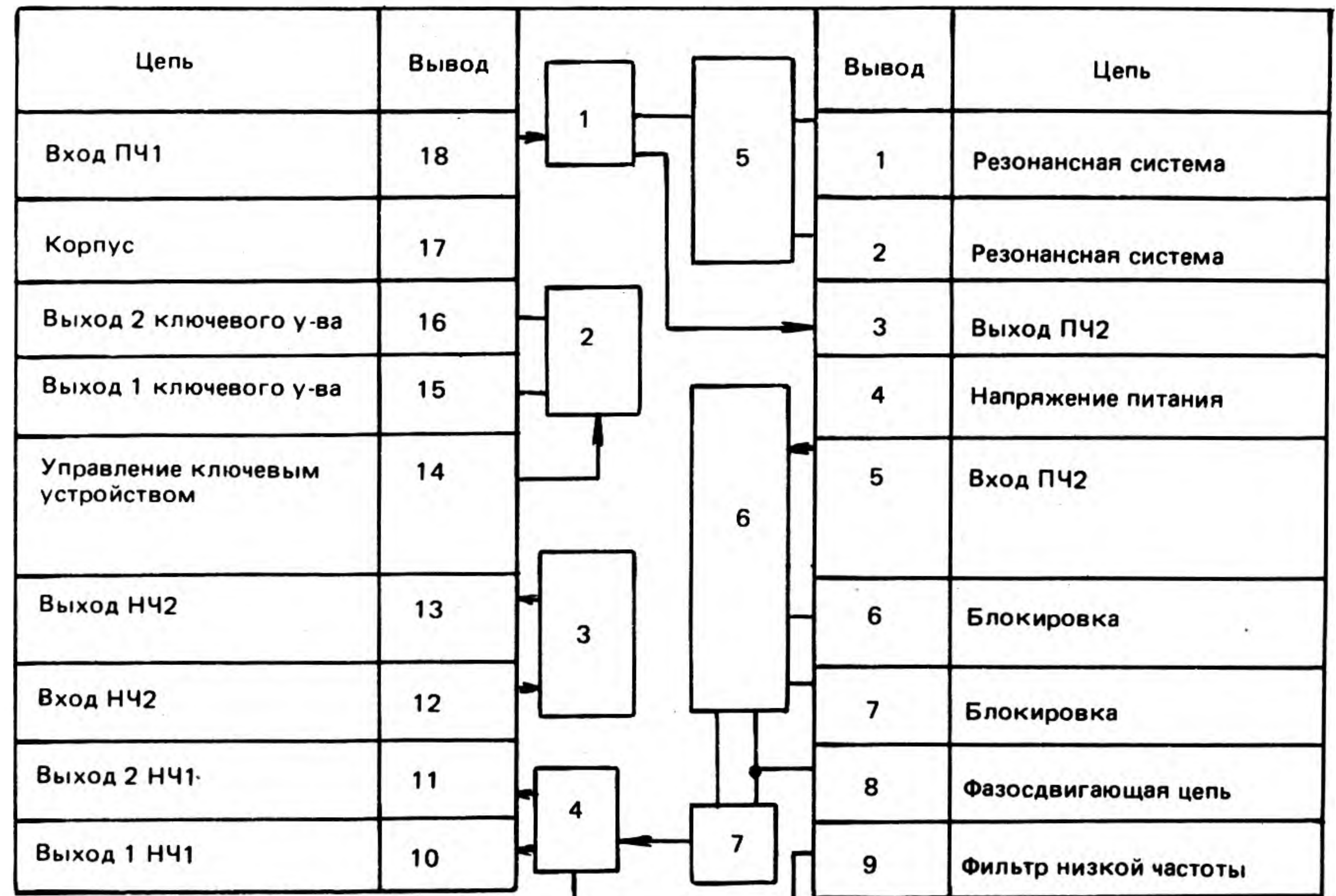
ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА К174ХА26

Микросхема К174ХА26 предназначена для работы в ЧМ трактах радиоприемных устройств. Микросхема выполняет функции преобразования частоты, усиления и ограничения промежуточной частоты, частотного детектирования, предварительного усиления низкой частоты, бесшумной настройки.

Основные параметры К174ХА26

Номинальное напряжение питания микросхемы, В	6
Допустимое отклонение значения напряжения питания от номинального, %	±10
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С	-45...70
Входное напряжение ограничения, мкВ, не менее	8
Выходное напряжение низкой частоты, В, не менее	0,45
Ток потребления, мА, не более	6
Коэффициент усиления напряжения усилителя НЧ, дБ, не менее	40
Коэффициент ослабления амплитудной модуляции, дБ, не менее	40

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МИКРОСХЕМЫ К174ХА26



1 — Смеситель; 2 — Ключевое устройство; 3 — Усилитель НЧ2; 4 — Усилитель НЧ1; 5 — Гетеродин; 6 — Усилитель-ограничитель; 7 — Частотный детектор

Входное напряжение, В, не более	0,5
Выходной ток, мА, не более	4
Входное сопротивление (вывод 18), кОм	3,5/тип. зн.

Микросхема может быть использована в сканирующих СВЧ-приемниках, радиотелефонных устройствах, уз-

кополосных ЧМ системах, принимающих аналоговую или цифровую информацию. Кристалл микросхемы изготовлен по эпитаксиально-планарной технологии с ионным легированием.

Конструктивно микросхема выполнена в 18-выводном пластмассовом корпусе типа 238.18-3.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА КР1413УК2

Интегральная микросхема КР1413УК2 представляет собой малозумящий дифференциальный широкополосный усилитель с высоким входным сопротивлением, выполненный по планарной технологии на эпитаксиальных структурах со скрытым слоем изоляции компонентов обратнорасположенным p-n-переходом.

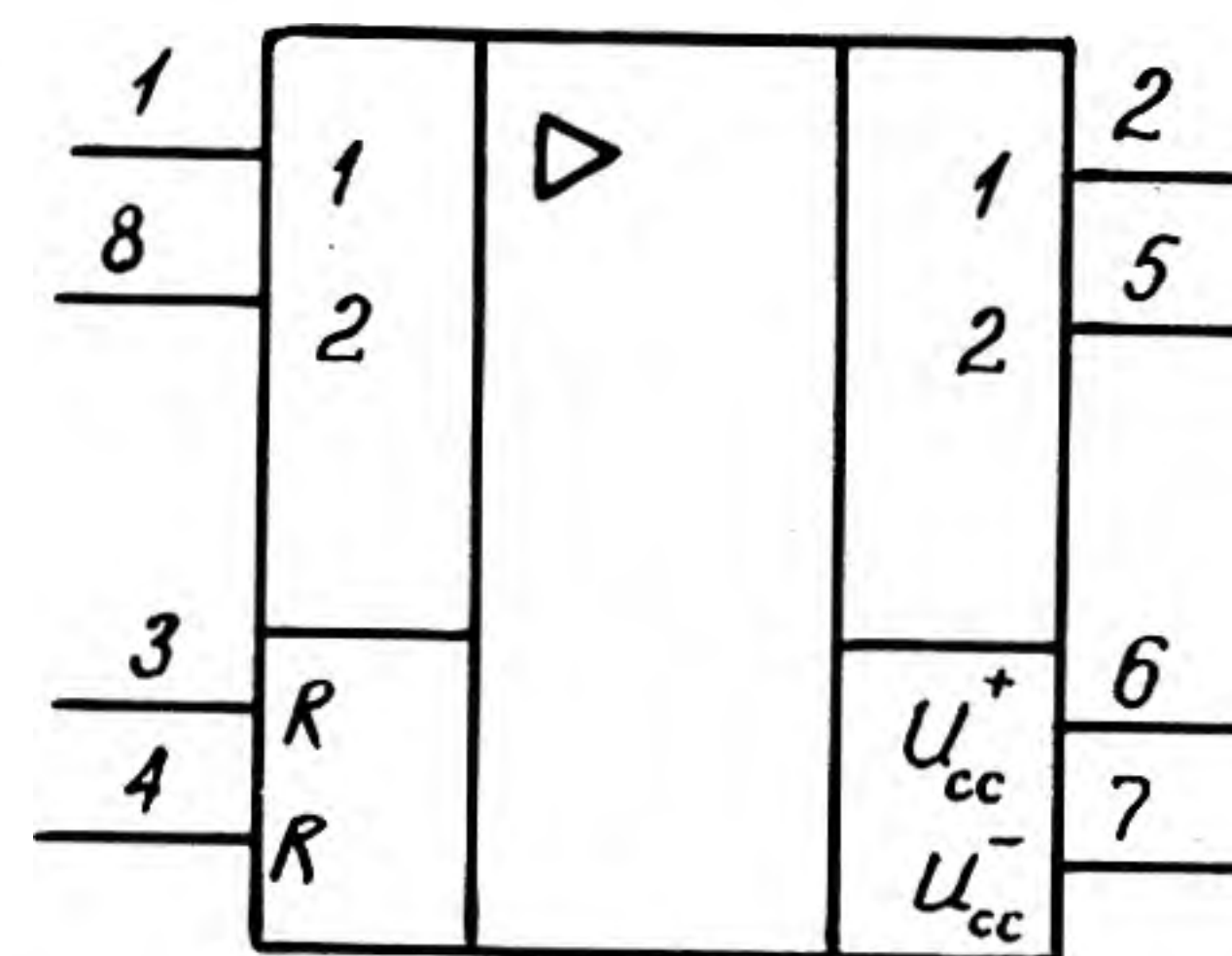
Конструктивно микросхема выполнена в восьмивыводном пластмассовом корпусе типа 2101.8-1.

Таблица выводов

Вывод	Назначение
1,8	Вход 1,2
2,5	Выход 1,2
3,4	Установка усиления
6,7	Напряжение питания $+U_{cc}, -U_{cc}$

При эксплуатации используются цепи коррекции частотной характеристики микросхемы. Питание осуществляется от источника любой полярности с заземлением его плюсовой или минусовой шины.

Применение микросхемы возможно в диапазоне напряжений питания от -4,6 до -12В при условии $P_{рас} = 325$ мВт. Ток, протекающий через делитель, определяющий опорное напряжение на входе микросхемы, должен быть не менее 400 мкА.



Основные параметры

Номинальное напряжение питания, В	-9
Номинальное входное опорное напряжение, В	-4,5
Допустимое отклонение напряжения питания и опорного напряжения от номинальных значений	±10%
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С	-25...70

Нормированное напряжение шума при $f = 500$ кГц и $R_{Г} = 0$, нВ/Гц, не более	8
Коэффициент усиления напряжения при $U_{вх} = 1$ мВ, $f = 10$ кГц, не менее	50
Коэффициент усиления напряжения при $U_{вх} = 1$ мВ, $f = 10$ кГц, не более	120
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений при $U_{вх} = 100$ мВ, $f = 10$ кГц, дБ, не менее	60
Коэффициент гармоник при $U_{вых} = 0,3$ В, $f = 10$ кГц, %, не более	5
Ток потребления, мА, не менее	10
Ток потребления, мА, не более	40
Входное сопротивление, при $U_{вх} = 1$ мВ, $f = 10$ кГц, кОм, не менее	20
Входное напряжение, В, не более	±2,5
Сопротивление нагрузки, Ом, не менее	100
Емкость нагрузки, пФ, не более	15
Выходной ток, мА	4
Коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения нуля, дБ, при $U_{cc} = -8,1$ В	50
Граничная частота полосы пропускания верхняя, МГц	16
Граничная частота полосы пропускания нижняя, кГц	0,1
Входная емкость, пФ	6

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА К174ХА31

Микросхема К174ХА31 предназначена для использования в цветных телевизорах в качестве декодера сигналов цветности системы СЕКАМ.

В состав микросхемы входит усилитель сигналов цветности с автоматической регулировкой усиления, схемой опознавания цвета, коммутатор прямого и задержанного сигналов, схема коррекции низкой частоты предискажений, схема гашения, демодуляторы цветоразностных сигналов.

Микросхема выполнена по биполярной технологии с изоляцией компонентов *p-n*-переходами на кремнии.

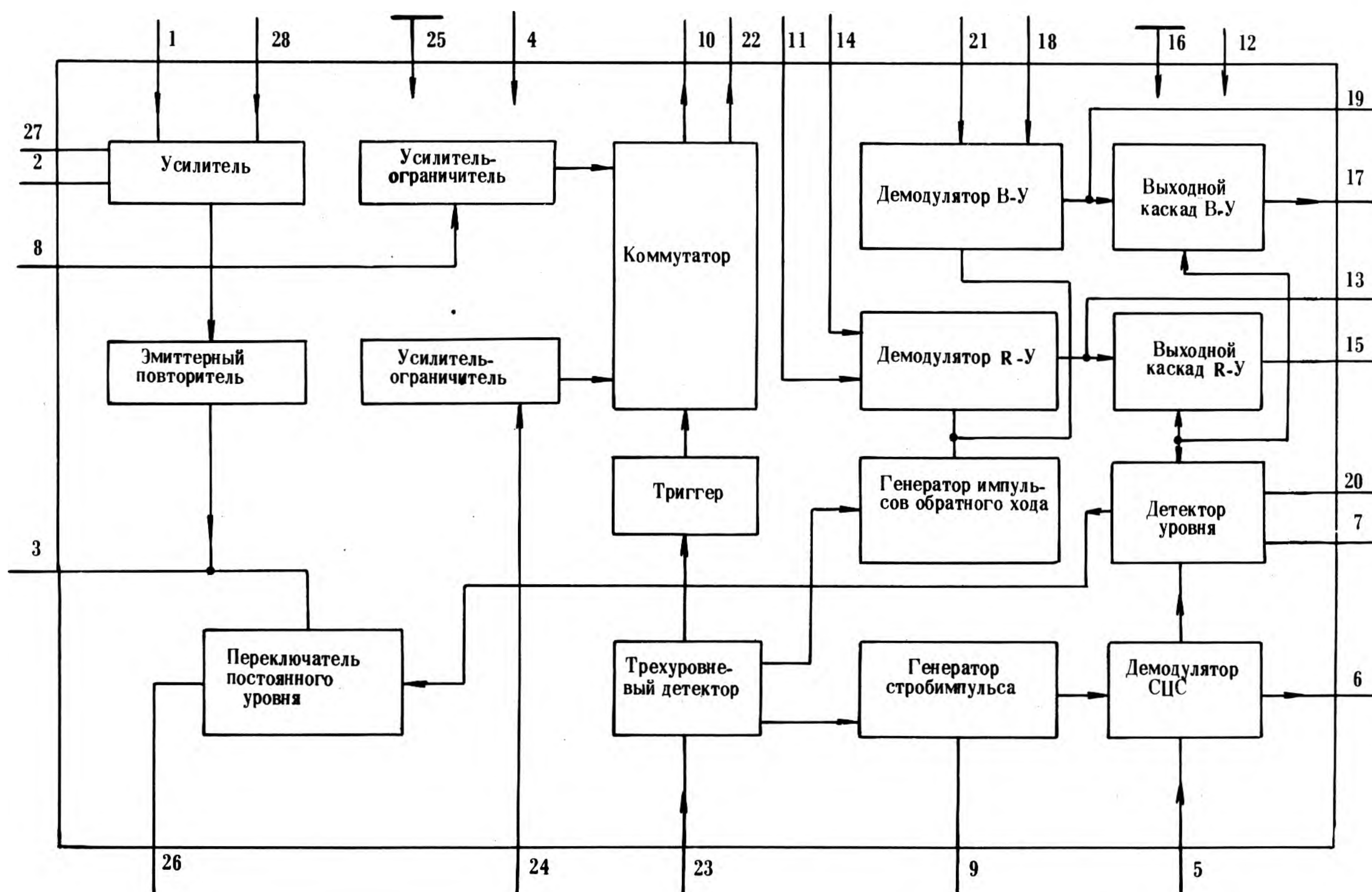
Конструктивно микросхема располагается в пластмассовом 28-выводном корпусе типа 2121.28-12.

Основные параметры К174ХА31

Номинальное напряжение питания микросхемы, В	12
Допустимые отклонения значения напряжения питания от номинального, %	±10
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С	10...70
Размах выходных цветоразностных сигналов при $U_{\text{строб}} = 8\text{В}$, $U_{\text{вх}} = 0,3\text{В}$	
по каналу R-Y	0,7 - 1,48
по каналу B-Y	0,9 - 1,88
Подавление сигнала СЕКАМ по выводу 26, дБ	40
Размах цветовой поднесущей по выводам 15 и 17, мВ	150
Подавление перекрестных искажений, дБ	33
Ток потребления, мА, не более	130
Входное напряжение, В, не более	0,6
Ток нагрузки, мА, не более	
по выводу 7	10
по выводам 15, 17	1
Потребляемая мощность, Вт, не более	1,7

Назначение выводов

Номер вывода	Функциональное назначение выводов
1,28	Вход видеосигнала
2,27	
3	Автоматическая регулировка усиления
4,12	Выход эмиттерного повторителя
5	
6	Напряжение питания +12В
7	Вход частотного детектора СЦС (СХ цветовой синхронизации)
8	Интегрирующая цепь СЦС
9	Управление режекторным фильтром
10,22	Вход прямого сигнала коммутатора
11,14	
13,19	Выбор типа цветовой синхронизации
15, 17	
16	Выход коммутатора R-Y, B-Y
18,21	Вход частотного детектора R-Y
20	
23	Коррекция НЧ предискажений R-Y, B-Y
24	Выход R-Y, B-Y
25	
26	Общий
	Вход частотного детектора B-Y
	Отключение цвета
	Вход трехуровневого импульса
	Вход задержанного сигнала коммутатора
	Общий
	Выход на линию задержки



БЛОК ПАЛ-ДЕКОДЕРА «ФОН-14»

Предназначен для установки в цветные телевизоры системы СЕКАМ второго и третьего поколений серий УПИЦТ (УПИМЦТ) и УСЦТ, например: Рубин Ц-202, Рубин Ц-381, Рекорд ВЦ-311, Рекорд Ц-381 и др. с целью получения цветного изображения системы ПАЛ.

Устройство выполнено в виде платы, собрано на одной интегральной схеме и десяти транзисторах. Обеспечивает декодирование сигналов цветности системы телевизионного вещания ПАЛ, автоматическое переключение ПАЛ/СЕКАМ и дистанционное включение напряжения питания.

Основные электрические параметры

Выходное напряжение сигнала ПАЛ при входном напряжении 1,0 В, В	
по каналу R—Y, не менее	0,75
по каналу B—Y, не менее	0,95
Напряжение питания, В	10,8—13,2
Напряжение коммутации ключа питания, В	12—28
Ток потребления, мА, не более	90
Выходное напряжение сигнала СЕКАМ, В	
по каналу R—Y при входном напряжении 1,05 В, не менее	0,95
по каналу B—Y при входном напряжении 1,33 В, не менее	1,2
Масса, кг, не более	0,25
Габаритные размеры, мм	140x62x28

Питание блока осуществляется от внутреннего источника стабилизированного напряжения телевизора +12 В.

УДК 621.3.049.77

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА К174ХА10

ИС К174ХА10 предназначена для малогабаритных приемников и представляет собой однокристалльный АМ/ЧМ-приемный тракт с демодулятором и усилителем низкой частоты (УНЧ).

ИС К174ХА10 состоит из двойного балансного смесителя для АМ-тракта с отдельным гетеродином, АМ/ЧМ-транзисторного демодулятора схемы АРУ, усилителей низкой и высокой частоты, усилителя промежуточной частоты, работающего как усилитель с АРУ при приеме АМ-сигналов и как усилитель-ограничитель при приеме ЧМ-сигналов.

Основные электрические параметры

Напряжение питания, В	3—12
Типовое значение тока потребления на холостом ходу, мА при напряжении питания	
6 В	14
9 В	17
12 В	20
Коэффициент усиления УНЧ, дБ при типовом значении частоты сигнала 1 кГц	40
Выходная мощность УНЧ, мВт при сопротивлении нагрузки 8 Ом и напряжении питания	
6 В	450
9 В	700
Напряжение ограничения УПЧ ЧМ, мкВ	50
Выходное напряжение ЧМ-детектора, мВ	80
Коэффициент усиления УПЧ АМ-диапазона, дБ	70
Диапазон АРУ АМ-тракта, дБ	70

Интегральная схема может найти применение не только в АМ/ЧМ-радиоприемниках, но и в телевизионных приемниках в трактах промежуточной частоты звука и УНЧ, а также в приемопередающих радиостанциях. Может быть использована в качестве приемника радиостанций с фиксированной частотой.

Использование УПЧ схемы в качестве микрофонного усилителя с АРУ в передатчике малогабаритной радиостанции обеспечивает оптимальный уровень модуляции независимо от уровня звукового сигнала.

УДК 621.3.049.77

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА К174ХА24

Предназначена для работы в цветных телевизионных приемниках в качестве схемы синхронизации и управления транзисторной строчной и кадровой развертками. Осуществляет формирование строчных и кадровых синхросигналов, автоподстройку частоты строчного генератора, формирование импульса выделения цветовой поднесущей и импульсов гашения строчной и кадровой частот и идентификацию входного видеосигнала.

Основные электрические параметры

Напряжение включения ФАПЧ-2 и схемы формирования строчного гасящего импульса, В	2,5—3,5
Остаточное выходное напряжение (вывод 4), В, не более	0,5
Выходное напряжение, В строчного управляющего импульса (вывод 4), не менее	10

импульса выделения цветовой поднесущей (вывод 6), не менее	10	
строчного гасящего импульса (вывод 6)	4,2	4,9
кадрового гасящего импульса (вывод 6)	2,15	3,0
кадрового синхроимпульса (вывод 9), не менее	10	
импульсов синхросмеси (вывод 9) менее	10	
на выводе 7, не более	0,5	
на выводе 12 при отсутствии видеосигнала, не более	1	
на выводе 12 при наличии видеосигнала, не менее	7	
Напряжение срабатывания схемы защиты, В		
высокий уровень	7,2—8,8	
низкий уровень	3,6—4,4	
Напряжение питания для подавления выходного импульса (вывод 4), В, не менее	3,5	
Ток потребления, мА	25—65	
Выходной ток кадрового гасящего импульса, мА		
минимальный	2,0—2,6	
максимальный	3,0—3,7	
Полоса захвата ФАПЧ-1, Гц, не менее	± 600	
Длительность выходного строчного импульса, мкс	27,5—30,5	
Длительность импульса выделения цветовой поднесущей, мкс	3,7—4,3	
Длительность кадрового синхроимпульса, мкс	160—220	
Диапазон перестройки частоты задающего генератора, кГц		
верхняя частота генерирования, не менее	16,5	
нижняя частота генерирования, не более	14,3	
Нестабильность частоты задающего генератора		
от напряжения питания, не более	± 0,1	
при снижении напряжения питания до 5 В, не более	0,17	
от температуры 1/°С, не более	± 10 ⁻⁴	

УДК 621.3.049.771.14.002

БАЗОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ КРИСТАЛЛЫ КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ЦИФРОВЫХ БИС

Е.В.Коннов, В.И.Медведев, А.В.Силин,
А.И.Сухопаров

Базовые матричные кристаллы (БМК) КР1574ХМ1 и КР1575ХМ1, выполненные на основе КМОП-элементной базы, предназначены для создания цифровых мало-мощных полужаказных интегральных БИС с функциональной сложностью до 2000 и 1000 эквивалентных вентилях.

БМК КР1574ХМ1 имеет бесканальную структуру и представляет собой матрицу из 13000 внутренних базовых ячеек, размещенных в 50 рядов (рис. 1). Внутренняя базовая ячейка состоит из одного p - и одного n -канальных МОП-транзисторов с поликремниевым затвором с изоляцией запертыми транзисторами между однотипными транзисторами базовых ячеек и предназначена для реализации логических элементов на нескольких базовых ячейках [1]. Исходя из того, что для реализации логического элемента с функцией 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ необходимы три базовых ячейки (две для реализации элемента и одна для изоляции) и 50% базовых ячеек для организации межсоединений, функциональная сложность БМК КР1574ХМ1 эквивалентна 2000 вентилям типа 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ. По периметру матрицы размещены 62 буферных ячейки, содержащие по пять n - и одиннадцать

p -канальных мощных МОП-транзисторов для реализации функций ВЫХОД и по восемь n - и p -канальных кольцевых МОП-транзисторов для реализации функций ВХОД.

Разводка связей между ячейками БМК осуществляется двумя уровнями металлизированных межсоединений изменяемой конфигурации. Трассы межсоединений прикладываются поверх незадействованных базовых ячеек ("бесканальная" структура), причем над каждой ячейкой допускается прокладка семи трасс в первом уровне вдоль рядов базовых ячеек и одной трассы во втором уровне перпендикулярно рядам базовых ячеек. Между матрицей базовых ячеек и буферными ячейками размещен канал трассировки на 16 трасс в обоих уровнях металлизации. Для защиты выводов БИС в состав буферной ячейки введены элементы защиты. Конструктивно БИС на основе БМК КР1574ХМ1 оформляются в 64- и 48-выводных пластмассовых корпусах с планарным расположением выводов.

БМК КР1575ХМ1 имеет канальную структуру [2] и представляет собой матрицу из 980 базовых ячеек, размещенных в 14 рядах, между которыми расположены каналы трассировки (рис. 2). Базовая ячейка содержит по два p - и n -канальных МОП-транзистора с поликремниевыми затворами, предназначенных для реализации одного логического элемента с функцией 2И-НЕ,

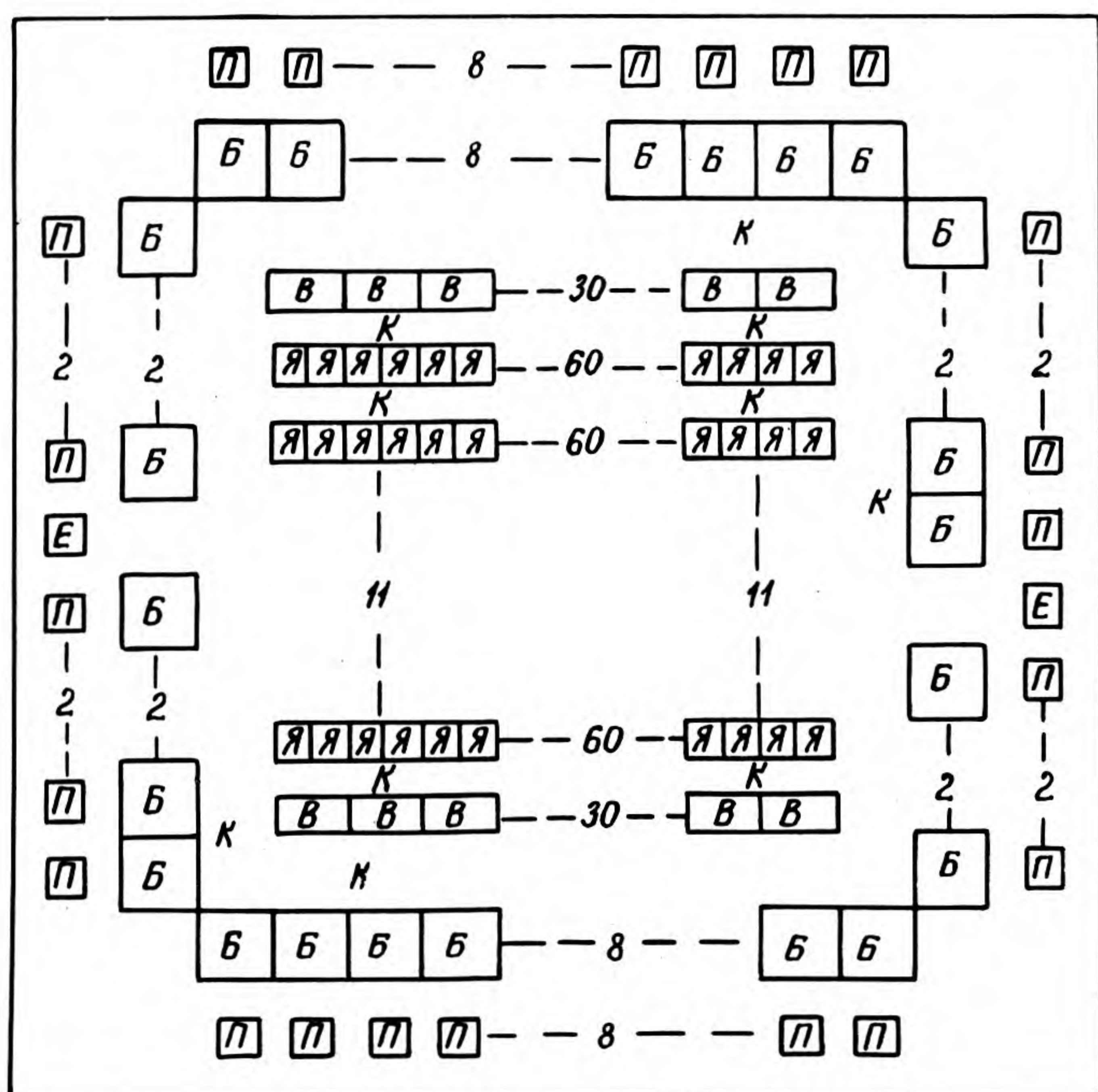


Рис. 1. Общий вид базового матричного кристалла КР1575ХМ1 (Я — базовая ячейка, В — вспомогательная ячейка, Б — буферная ячейка, К — каналы трассировки межсоединений, П — контактные площадки выводов буферных ячеек, Е — контактные площадки питания)

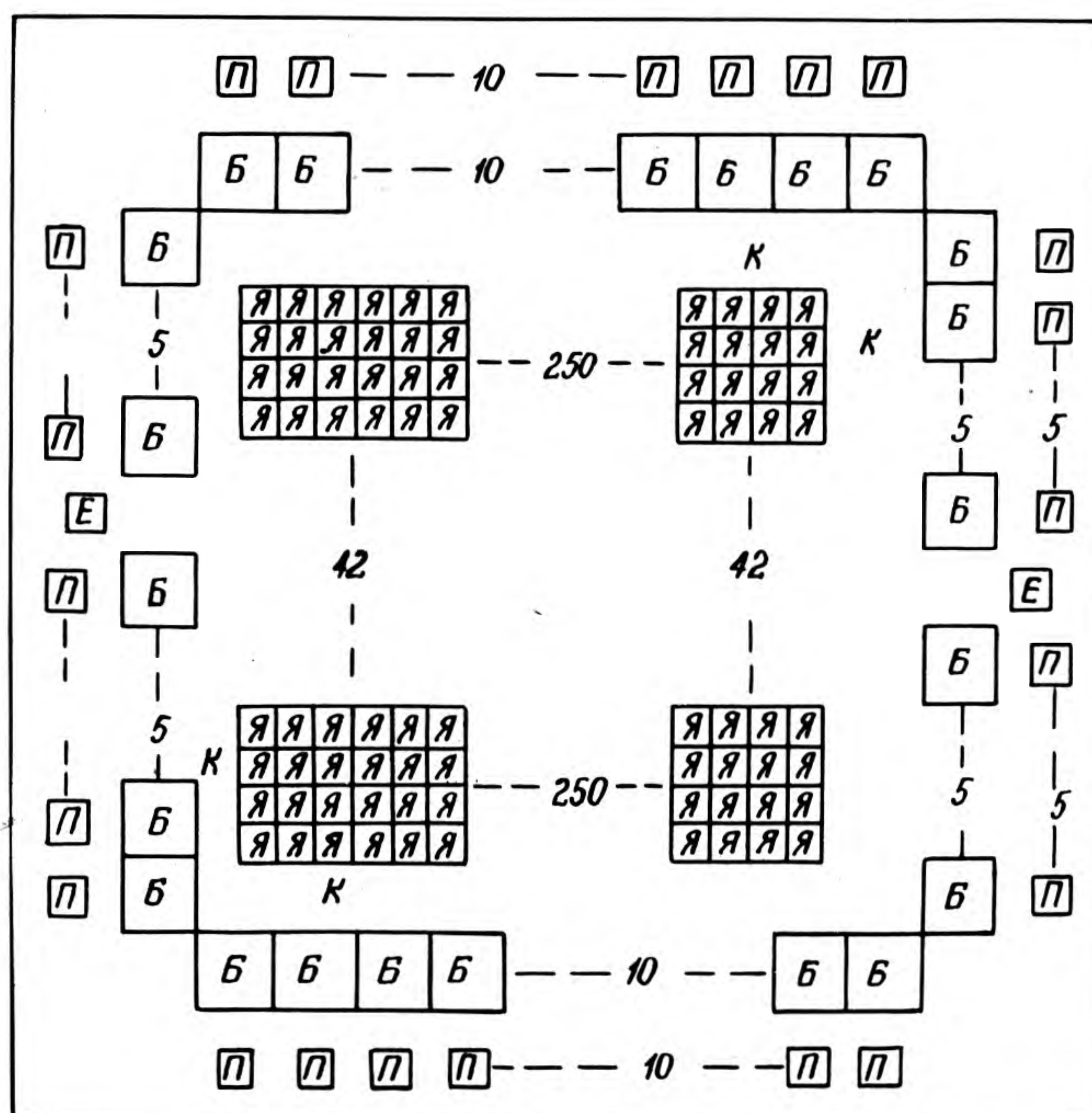


Рис. 2. Общий вид базового матричного кристалла КР1574ХМ1 (Я — базовая ячейка, Б — буферная ячейка, К — каналы трассировки, П — контактные площадки выводов буферных ячеек, Е — контактные площадки питания)

2ИЛИ-НЕ или более сложных логических элементов, реализуемых в нескольких ячейках. Затворы каждой комплементарной пары МОП-транзисторов объединены и выведены в каналы трассировки. Сверху и снизу матрицы базовых ячеек размещены два ряда вспомогательных ячеек по 35 в каждом; ячейки предназначены для реализации элементов синхронизации, задерживающих фронт или срез сигнала, и отличаются по конфигурации от базовых. По периметру матрицы базовых ячеек размещено 46 буферных ячеек, содержащих по два мощных p - и n -канальных МОП-транзистора, предназначенных для реализации функций ВЫХОД и по два p - и n -канальных МОП-транзистора для реализации функций ВХОД.

Разводка связей полузаказных микросхем осуществляется двумя уровнями межсоединений, первым из которых являются поликремниевые шины, имеющие фиксированную структуру, а вторым — металлизированные шины изменяемой структуры. Канал трассировки между рядами базовых и вспомогательных ячеек рассчитан на 6 трасс, а между матрицей и буферными ячейками — на 10. Для защиты выводов микросхемы в состав буферной ячейки введены элементы защиты. Конструктивно микросхемы на основе БМК КР1575ХМ1 оформляются в 42-выводном пластмассовом корпусе с планарным расположением выводов. Технические характеристики БМК серий КР1574ХМ1 и КР1575ХМ1 приведены ниже.

	КР1574ХМ1	КР1575ХМ1
Напряжение питания, В	5±5%	5±5%
Время задержки переключения, нс, не более		
базового элемента 2И-НЕ	7	15
буферной входной ячейки	7	15
буферной выходной ячейки	10	20
Выходное напряжение, В		
низкого уровня, В, не более	0,4	0,4
высокого уровня, не менее	($U_{cc} - 0,4$)	($U_{cc} - 0,4$)
Входное напряжение, В		
высокого уровня, не менее	($U_{cc} - 0,8$)	($U_{cc} - 0,8$)
низкого уровня, не более	0,8	0,8
Выходной ток, мА		
низкого уровня	2,0	0,8
высокого уровня	2,0	0,4
Входной ток, мкА		
низкого уровня	5	5
высокого уровня	5	5
Диапазон температур, °С	-10...+70	-10...+70
Размер кристалла, мм	6,7x6,5	5,4x4,6
Число эквивалентных логических элементов типа 2И-НЕ	4300	980

Проектирование полузаказных БИС на основе БМК КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 осуществляется символьным методом на основе библиотек функциональных элементов БМК с использованием ЕС ЭВМ и системы автоматизированного проектирования 15УТ-4-017. Несмотря на существенные конструктивные различия оба БМК имеют практически единый функциональный состав библиотек функциональных элементов и маршрут проектирования полузаказных БИС, что позволяет унифицировать разработку БИС, а применение символьных обозначений функциональных элементов в условно-графическом виде позволяет формализовать процесс проектирования топологии БИС до уровня формирования связей между символьными обозначениями.

Функциональный состав библиотек базовых функциональных ячеек (БФЯ)

1. БФЯ, выполняющие логические функции.

- 1.1. Инвертор.
- 1.2. 2И-НЕ.
- 1.3. 4И-НЕ.
- 1.4. 2ИЛИ-НЕ.
- 1.5. 4ИЛИ-НЕ.
- 1.6. 2/2И-ИЛИ-НЕ.
- 1.7. 2/2ИЛИ-И-НЕ.
- 1.8. 2И-2ИЛИ-НЕ.
- 1.9. 3И-ИЛИ-НЕ.
- 1.10. "Равнозначность".
- 1.11. "Сложение по модулю 2".
- 1.12. Инвертор-ключ с тремя состояниями выхода.

2. БФЯ памяти.

2.1.—2.10. $R-S$ -триггер (10 типов) с прямыми и инверсными логическими уровнями установки, расширением по R - или S -входам и стробированием выдачи информации.

2.11.—2.18. Статический D -триггер (8 типов) с прямыми или инверсными выходами "сбросом" или "установкой" и стробированием выдачи информации.

2.19—2.21. Динамический D -триггер (2 типа со "сбросом" и со "сбросом" и "установкой").

3. БФЯ, реализуемые на буферных ячейках КР1574ХМ1.

- 3.1. Входной каскад с функцией "инверсия".
- 3.2. Выходной каскад с функцией "инверсия" и тремя состояниями выхода.
- 3.3. Двухнаправленный каскад вход—выход с функцией "инверсия".

4. БФЯ, реализуемые на буферных ячейках КР1575ХМ1.

- 4.1. Выходной каскад с функцией "инверсия".
- 4.2. Выходной каскад с функцией "повторная".
- 4.3. Выходной каскад с функцией "инверсия".
- 4.4. Выходной каскад с функцией "инверсия" и тремя состояниями выхода.
- 4.5. Двухнаправленный каскад вход—выход с функцией "инверсия".

5. БФЯ, реализуемые на вспомогательных ячейках.

- 5.1. Повторитель с задержанным фронтом выходного сигнала.
- 5.2. Повторитель с задержанным срезом выходного сигнала.

Для БМК КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 разработан комплект средств проектирования полузаказных БИС, в состав которых входят инструкции по проектированию полузаказных БИС, библиотеки проектирования БМК, графическая информация неизменяемой части БМК и программное обеспечение описания редактирования и контроля функциональных схем и топологии полузаказных БИС.

Программирование БМК в соответствии с требуемой функциональной схемой осуществляется фотошаблонами двух слоев для БМК КР1575ХМ1 и четырех слоев для БМК КР1574ХМ1; эта операция завершает процесс изготовления кристалла.

Использование БМК КР1574ХМ1, КР1575ХМ1 в устройствах вычислительной техники широкого применения позволяет сократить время разработки широкой номенклатуры полузаказных БИС, улучшить энергетические и массогабаритные характеристики и производительность вычислительных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Semicustom LSI's: New Technology leads to larger market.— JEE, 1987, Oct., p. 26—31.
2. Автоматизированное проектирование СБИС на базовых кристаллах/А.И.Петренко и др.— М.: Радио и связь, 1988.— 160 с. (Массовая б-ка инженера «Электроника»).

УДК 681.3.06

ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА БУФЕРА ГЛАВНОЙ ДИСПЛЕЙ-КОНСОЛИ В БАЗОВОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Описан способ программной реализации буфера главной дисплей-консоли, расширяющий функциональные возможности базовой операционной системы ОС 7 ЕС.

Отсутствие дисплей-консоли в штатном обеспечении базовой ОС и связанное с этим отсутствие буфера главной дисплей-консоли (ГДК) не позволяет некоторым программным средствам, разработанным для ОС 6 ЕС, полностью реализовать свои функции в среде базовой ОС.

В статье предлагается метод программной поддержки буфера, аналогичного по структуре и назначению, а также по способу адресации буферу ГДК в ОС 6 ЕС. Суть метода заключается в использовании для перехвата и накопления сообщений, поступающих на консоль ВМ БОС, стандартных выходов из программ комплекса WTO/WTOR/MLWTO (SVC 35), предусмотренных для передачи данных в подсистему планирования заданий КРОС (HASP).

Программная поддержка буфера ГДК предполагает решение следующих задач. Перехват сообщений БОС. Подсистема планирования заданий КРОС ориентирована на большие системы пакетной обработки со значительным объемом системного ввода/вывода /1/. Ее применение требует специальной генерации управляющей программы /2/ и в среде базовой ОС не предусмотрено /3/. В то же время программы комплекса WTO/WTOR/MLWTO, формирующего сообщения для консоли базовой ОС, сохранили выходы в подсистему КРОС. Эти выходы можно активизировать, поместив адрес списка с адресами соответствующих программ-обработчиков в поле CVTHJESA таблицы векторов связи CVT.

Определение типа сообщения. Программы комплекса WTO/WTOR/MLWTO помещают сообщения, подготовленные для выдачи на консоль, в элементы очереди сообщений (WQE). При входе в программу-обработчик регистр 1 (R1) для сообщения, сформированного макрокомандой MLWTO (многострочная WTO), содержит либо нуль (при первом входе), либо адрес минорного WQE (при последующих входах в программу-обработчик). В последнем случае WQE по смещению 4 содержит байт с характерным кодом X'21',

идентифицирующим минорный WQE.

Для сообщений, сформированных по макрокомандам WTO/WTOR, R1 содержит адрес списка параметров соответствующей макрокоманды, отличный от нуля. В случае WTO первый байт списка обязан быть нулевым.

Определив тип сообщения, можно приступить к выделению текста сообщения из элемента WQE. Адрес WQE для сообщения типа WTO/WTOR передается в нулевом регистре (R0). Длина сообщения содержится во втором слове WQE. Текст начинается с третьего слова WQE.

Макрокоманда MLWTO помимо главного WQE, адрес которого передается также в регистре R0, порождает один или несколько минорных элементов WQE. В программу-обработчик последовательно передаются сначала главный WQE, а затем главный WQE вместе с очередным минорным WQE. На присутствие минорных WQE указывает младший бит 4-го байта главного WQE. Сам текст начинается по смещению 20 от адреса главного WQE.

Цепочка минорных WQE адресуется регистром R1, причем первое слово каждого WQE содержит адрес WQE нижнего уровня или 0. Минорный WQE, относящийся к последней фиктивной строке MLWTO, не содержит текста (значение X'10' в пятом байте WQE).

Структура буфера ГДК. Буфер ГДК состоит из 22 записей по 84 байта каждая. Первые 4 байта записи отведены под служебные цели, оставшиеся 80 содержат текст сообщений, поступающих на консоль. При добавлении записи содержимое буфера сдвигается на одну строку вверх; при этом первая запись пропадает, а в освободившуюся последнюю заносится поступившее сообщение. В ОС 6 ЕС буфер ГДК расположен в ядре системы, то есть в памяти, защищенной нулевым ключом и доступной по чтению любой задаче. Для создания таких же условий в базовой ОС достаточно поместить буфер в пользовательскую SVC-программу.

Стандартная адресация буфера ГДК. Адресная цепочка обеспечивающая доступ к буферу ГДК в операционной системе ОС 6 ЕС, начинается в поле CVTCUCB табли-

цы векторов связи CVT:

L R3,16 указатель таблицы CVT
L R3,100(R3) адрес модуля UCM
L R3,72(R3) адрес входа для главной консоли

L R3,28(R3) адрес адреса модуля DCM

Это поле в базовой ОС нулевое. Именно сюда записывается адрес, продолжающий цепочку адресов для буфера ГДК:

L R3,0(R3) адрес модуля DCM
LM R3,R4,48(R3) загрузка адресов буфера ГДК

Последняя операция загружает в регистр R3 адрес начала буфера ГДК, а в регистр R4 - конечный адрес буфера.

На основании рассмотренного метода разработано программное средство (ПС) для поддержки буфера ГДК в БОС. ПС включает два модуля. Один из них представляет описанную SVC-программу пользователя. В нем размещен буфер ГДК и часть стандартного адресного пути к нему. Второй модуль включает программу-обработчик для обращений из комплекса WTO/WTOR/MLWTO в подсистему КРОС. Модуль выполняет следующие действия:

- обращается к SVC-программе пользователя и восстанавливает стандартный адресный путь к буферу ГДК;

- заносит в таблицу CVT адрес для активизации выходов из комплекса WTO/WTOR/MLWTO в подсистему КРОС;

- получает управление из программ комплекса WTO/WTOR/MLWTO, анализирует структуру элементов WQE и пересылает сообщение из WQE в буфер ГДК;

- завершает работу по команде оператора STOP. При этом отключает выходы из комплекса WTO/WTOR/MLWTO в подсистему КРОС, обнуляя поле CVTHJESA таблицы CVT, и размыкает стандартную адресную цепочку для буфера ГДК.

Предложенный в данной статье метод программной поддержки буфера ГДК позволяет сформировать в области ядра БОС буфер, который по структуре, способу адресации и частоте обновления аналогичен буферу ГДК ОС 6 ЕС. Метод основан на стандартных принципах работы БОС и не требует изменения в управляющих таблицах или в логике функционирования модулей БОС.

ПС для поддержки буфера ГДК работает под управлением БОС версий 2.2 и 3.0 и расширяет функциональные возможности данных операционных систем. Количество команд, активно выполняющихся при работе ПС, не превышает нескольких десятков, поэтому замедление, вносимое ПС в работу БОС, можно считать несущественным.

А.В.Давыдов

ДЕПОНИРОВАНИЕ

УДК 621.3.049.77:621.375.087.9

В. И. Махлай. Метод прямого контроля максимальных выходных напряжений операционных усилителей. — 7 с. (Рукопись деп. в ЦНИИ "Электроника" в 1990 г., № Р-5312).

Предлагается метод прямого контроля максимальных выходных напряжений операционных усилителей одновременно с контролем коэффициента усиления. Проведена оценка показателей точности предлагаемого метода. Даны рекомендации по его применению.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АГРЕГАТИРУЕМЫЙ ИМИТАТОР СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Минский радиотехнический институт
совместно со Всесоюзным НИИ
радиоаппаратуры
разработал и подготовил к производству
уникальный по своим метрологическим
характеристикам
и функциональным возможностям
имитатор случайных процессов.

Наличие в составе имитатора средств сопряжения с интерфейсами различных типов позволяет при организации автоматизированных систем управления научными исследованиями, испытаниями и моделированием использовать в качестве управляющих ЭВМ любые мини- или профессиональные персональные ЭВМ (ПП ЭВМ).

Предлагаемый имитатор представляет собой принципиально новое вычислительное устройство, позволяющее формировать широкий класс импульсных и непрерывных процессов (случайных и детерминированных) с требуемыми программно-управляемыми вероятностными, корреляционными, спектральными и временными характеристиками.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАТОРА:

- создание автоматизированных систем управления испытаниями;
- построение аппаратно-программных систем статистического моделирования;
- создание средств имитации электромагнитной обстановки при исследовании электромагнитной совместимости РЭА и РТС;
- имитация помех с требуемыми характеристиками;
- имитационное моделирование каналов связи;
- построение аппаратных моделей сложных систем;
- проведение инженерно-психологических исследований.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ. Структура имитатора организуется путем агрегатирования восьми функционально законченных модулей, часть из которых может быть использована в качестве модулей функционального расширения и профессиональной ориентации ПП ЭВМ. Путем агрегатирования модулей можно изменять число одновременно формируемых процессов, вводить управляемые авто- и взаимные корреляционные связи, осуществлять протоколирование с повторением реализаций случайных процессов, осуществлять статистический анализ; всего может быть организовано до 96 модификаций имитирующей аппаратуры.

Имитатор реализован в конструктивном блоке процессора ПП ЭВМ ЕС 1840/41. Каждый модуль имитатора выполнен в стандарте этих ПП ЭВМ и представляет собой двустороннюю печатную плату размером 200×240 мм.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ. При формировании импульсных процессов обеспечивается возможность управления амплитудами (A) и длительностями (τ) сигналов, интервалами (T) между соседними импульсами в потоке, поляризациями (p) и формами сигналов $\Phi(t)$. Параметры A , τ , T , p , $\Phi(t)$ могут быть как случайными, так и детерминированными (в произвольных сочетани-

ях); случайные параметры могут подчиняться любым требуемым функциям распределения вероятностей и иметь заданные программно-управляемые корреляционные свойства. Формы $\Phi(t)$ импульсных сигналов — произвольные, программно-управляемые (число точек задания формы — до 4096). Предусмотрен режим генерирования импульсных процессов со случайным чередованием сигналов разных форм из заранее подготовленных наборов форм.

Могут формироваться процессы, значения параметров которых изменяются во времени по любому требуемому закону; это позволяет использовать имитатор для формирования самых разнообразных последовательностей сигналов со случайными или детерминированными параметрами.

Предусмотрена возможность формирования непрерывных случайных процессов с управляемыми спектральными плотностями мощности (СПМ) в диапазоне частот до 1250 кГц. Требуемая функция СПМ задается по 4096 точкам.

Может быть реализовано сложение формируемых различными каналами имитатора процессов с программно-управляемыми весовыми коэффициентами; может осуществляться амплитудная модуляция одного процесса другим.

Создана диалоговая система, упрощающая процесс управления имитатором и допускающая его эксплуатацию лицами с минимальной профессиональной подготовкой.

Основные технические характеристики имитатора

Число каналов формирования случайных процессов	1—8
Форма представления информации	цифровая, аналоговая
Число различных форм сигналов в одном процессе	2—1024
Интенсивность потока импульсов, Гц	0— $5 \cdot 10^4$
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)
Мощность, потребляемая одним каналом, В·А	40
Габаритные размеры, мм	$450 \times 300 \times 145$
Масса (с источником питания), кг	6

По вопросу приобретения документации на имитатор или его изготовления и поставки обращаться по адресу: 220600, Минск, ул. П.Бровки, 6, МРТИ, отдел научно-технической информации. Телефон ОНТИ 32-71-15. Телефоны разработчиков: 39-89-77, 39-89-56, 33-16-64.

УДК 621.382.333

КРЕМНИЕВЫЙ МОЩНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ $n-p-n$ -ТРАНЗИСТОР ТИПА КТ885А, КТ885Б

Транзистор КТ885А, КТ885Б предназначен для работы в схемах источников вторичного электропитания и других ключевых схемах радиоэлектронной аппаратуры.

Транзистор изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе КТ-9.

Транзистор КТ885А, КТ885Б рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60°C до температуры корпуса 125°C , при вибрационных нагрузках на частоте от 1 до 5000 Гц с ускорением до $40g$, многократных ударных нагрузках до $150g$ (длительность от 1 до 5 мс), одиночных ударных нагрузках до $1500g$ (длительность от 0,1 до 2 мс) и линейных нагрузках до $500g$.

Масса транзистора — не более 20 г.

Основные характеристики транзистора при $t_{\text{корп}} = (25 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ приведены на рисунках, а электрические параметры при той же температуре корпуса и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

При увеличении температуры корпуса до 125°C максимальная мощность снижается по формуле:

$$P_{k \text{ max}} = \frac{I_{n \text{ max}} - I_{\text{корп}}}{R_{\text{т, п-к}}}, \text{ Вт}$$

где $R_{\text{т, п-к}} = 0,84^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, $I_{n \text{ max}} = 150^{\circ}\text{C}$.

- Обратный ток коллектора, $I_{кб0}$, мА, при $U_{кб} = 500 \text{ В}$, не более 1
- Обратный ток эмиттера, $I_{эб0}$, мА, при $U_{эб} = 5 \text{ В}$, не более 50
- Статический коэффициент передачи тока, $h_{21э}$ при $U_{кэ} = 5 \text{ В}$, $I_{к} = 20 \text{ А}$, $t_{и} = 100 \text{ мкс}$, $Q \geq 200$, не менее 12
- Граничное напряжение, $U_{кэ0 \text{ гр}}$, В при $I_{к} = 0,1 \text{ А}$, $L = 29 \text{ мГн}$, не менее
КТ885А 400
КТ885Б 500
- Напряжение насыщения коллектор—эмиттер, $U_{кэ \text{ нас}}$, В, при $I_{к} = 30 \text{ А}$, $I_{б} = 6 \text{ А}$, $t_{и} = 100 \text{ мкс}$, $Q \geq 200$, не более 2,5
- Напряжение насыщения база—эмиттер, $U_{бэ \text{ нас}}$, В, при $I_{к} = 30 \text{ А}$, $I_{б} = 6 \text{ А}$, $t_{и} = 100 \text{ мкс}$, $Q \geq 200$, не более 3,5
- Время спада, $t_{сп}$, мкс, при $U_{кэ} = 200 \text{ В}$, $I_{к} = 30 \text{ А}$, $I_{б1} = 6 \text{ А}$, $I_{б2} = 9 \text{ А}$, не более 0,5
- Время рассасывания, $t_{рас}$, мкс, при $U_{кэ} = 200 \text{ В}$, $I_{к} = 30 \text{ А}$, $I_{б1} = 6 \text{ А}$, $I_{б2} = 9 \text{ А}$, не более 2,0
- Время включения, $t_{вкл}$, мкс, при $U_{кэ} = 200 \text{ В}$, $I_{к} = 30 \text{ А}$, $I_{б1} = 6 \text{ А}$, не более 0,5
- Емкость коллекторного перехода, $C_{к}$, пФ, при $U_{кб} = 100 \text{ В}$, $f = 1000 \text{ кГц}$, не более 200
- Емкость эмиттерного перехода, $C_{э}$, пФ, при $U_{эб} = 5 \text{ В}$, $f = 300 \text{ кГц}$, не более 4500
- Граничная частота коэффициента передачи тока, $f_{гр}$, МГц, при $I_{к} = 0,5 \text{ А}$, $U_{кэ} = 5 \text{ В}$, не менее 15

Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} = -60$ до $t_{\text{корп}} = 125^{\circ}\text{C}$

Постоянное напряжение, В
коллектор—эмиттер, $U_{кэ \text{ max}}$ или $U_{кэR \text{ max}}$ при запирающем смещении $U_{эб} = -1,5 \text{ В}$ или $R_{бэ} \leq 10 \text{ Ом}$

КТ885А 400
КТ885Б 500

Эмиттер—база, $U_{эб \text{ max}}$, В 5

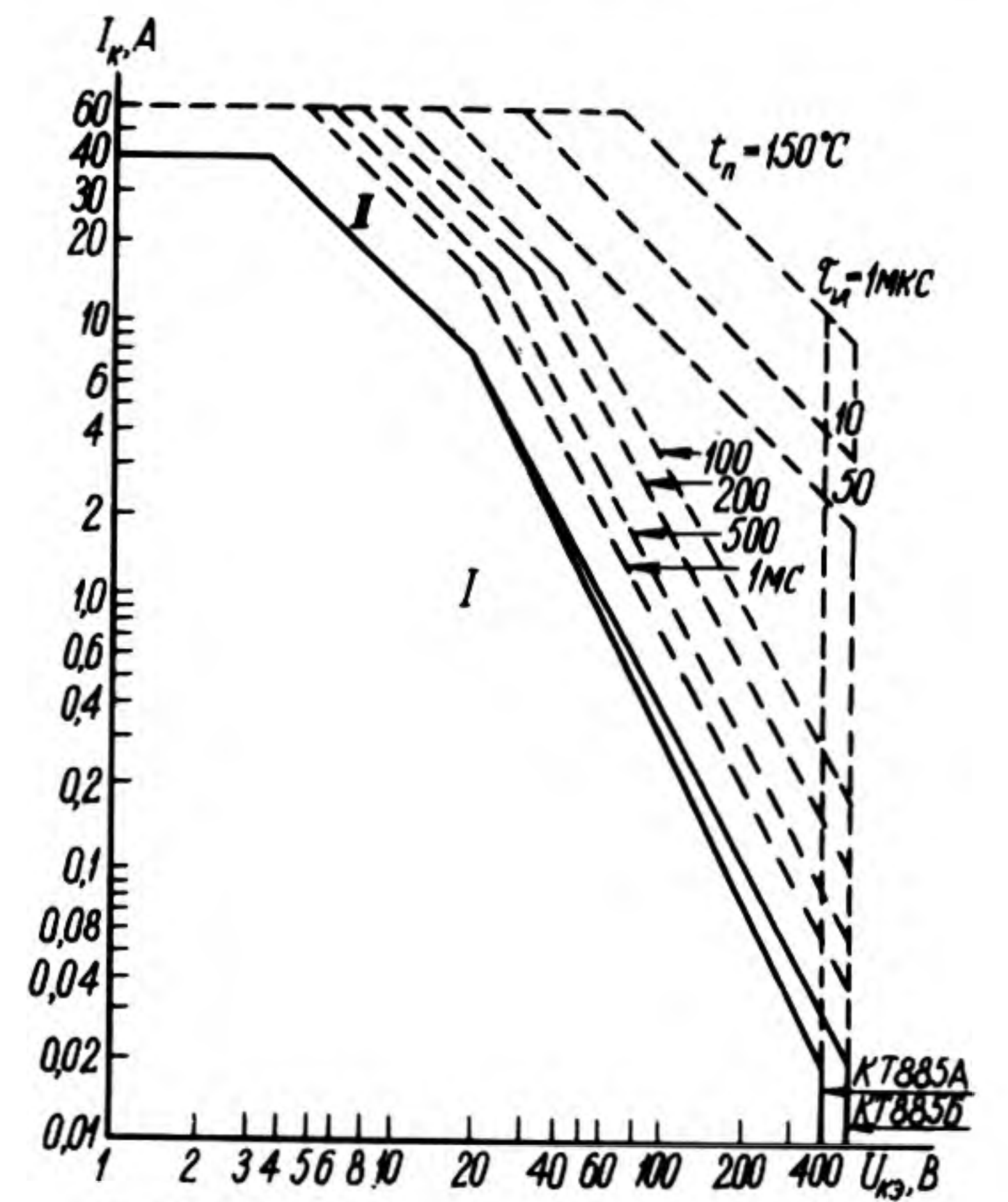
Импульсное напряжение, В
коллектор—эмиттер, $U_{кэ \text{ и max}}$ или $U_{кэR \text{ и max}}$ при $t_{и} \leq 20 \text{ мкс}$, $Q \geq 2$, $t_{ф} \geq 0,5 \text{ мкс}$ 800

коллектор—база, $U_{кб}$, и $t_{и}$, $t_{и} \leq 20$, $Q \geq 2$ 800

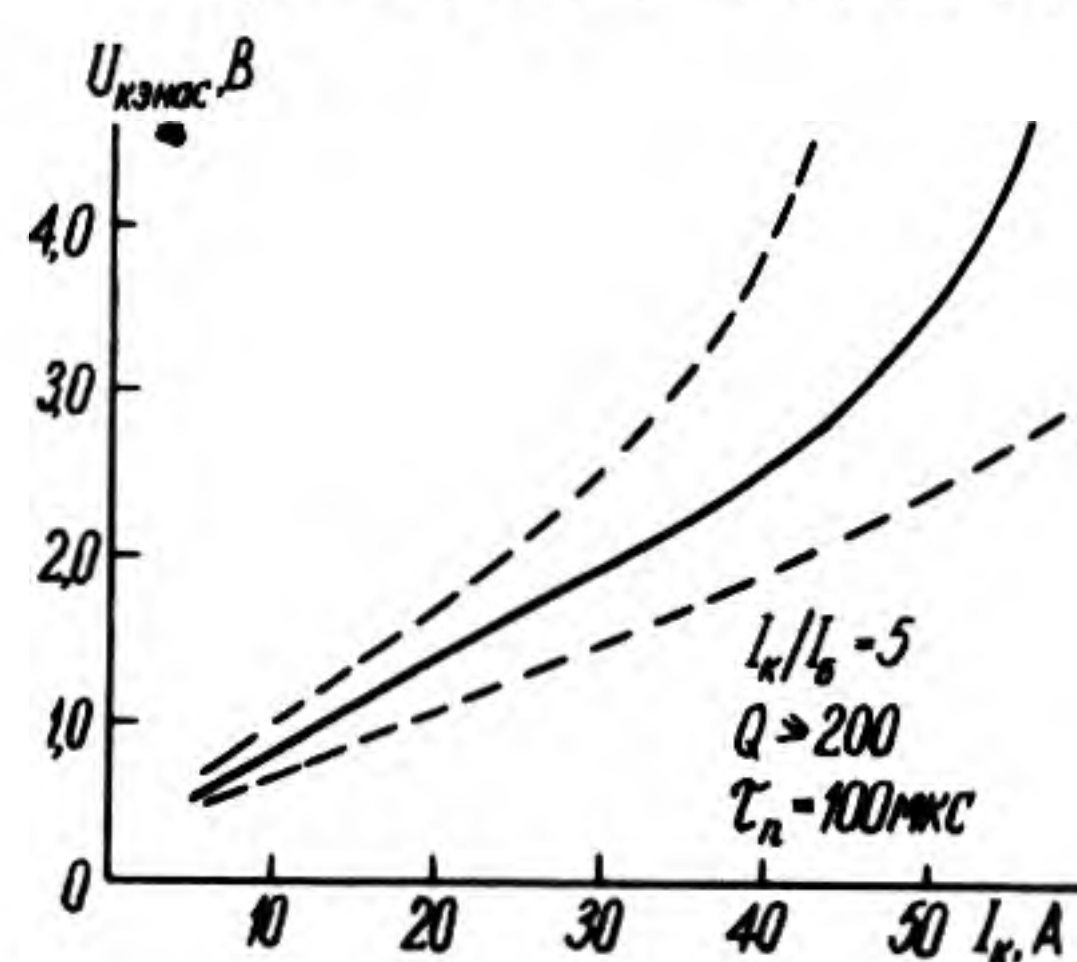
Постоянный ток, А
коллектора, $I_{к \text{ max}}$ 40
базы, $I_{б \text{ max}}$ 10

Импульсный ток, А
коллектора, $I_{к \text{ и max}}$ при $t_{и} \leq 20 \text{ мкс}$, $Q \geq 10$ 60
базы, $I_{б \text{ и max}}$, $t_{и} \leq 20$, $Q \geq 2$ 20

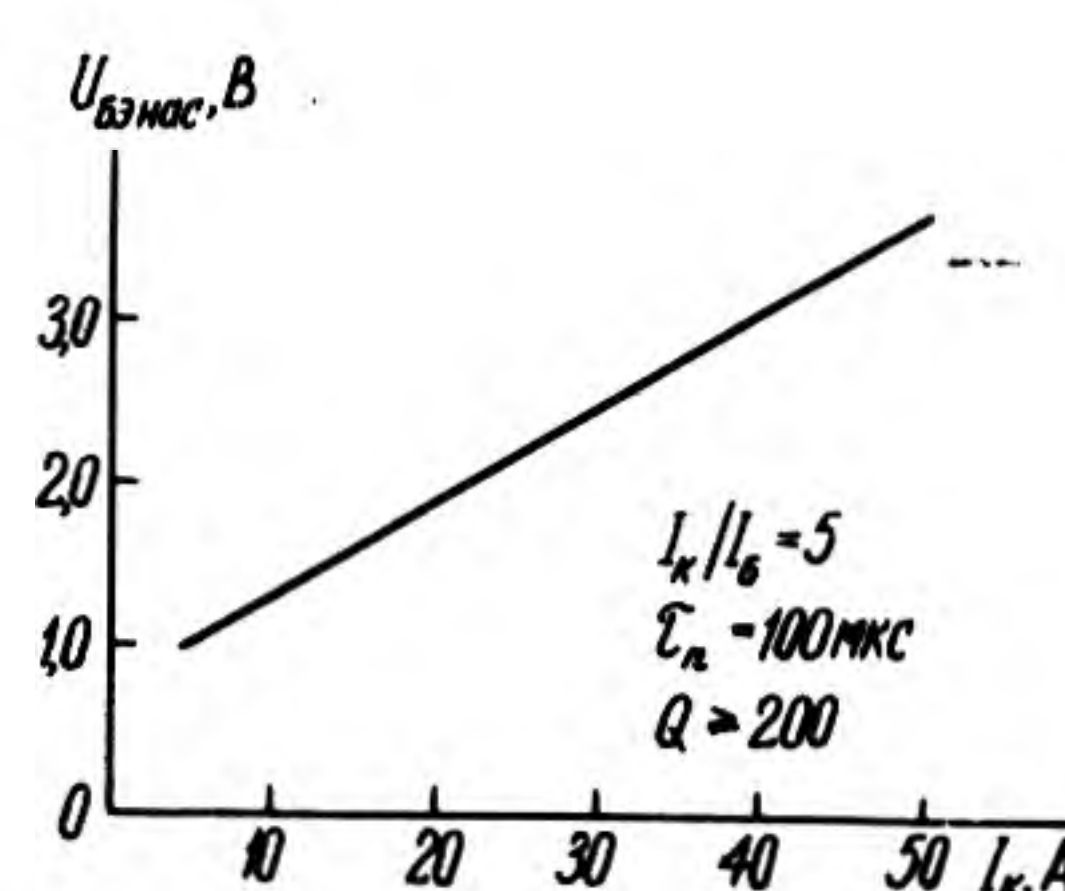
Постоянная рассеиваемая мощность коллектора, $P_{к \text{ max}}$, Вт в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} = -60$ до $t_{\text{корп}} = 25^{\circ}\text{C}$ 150



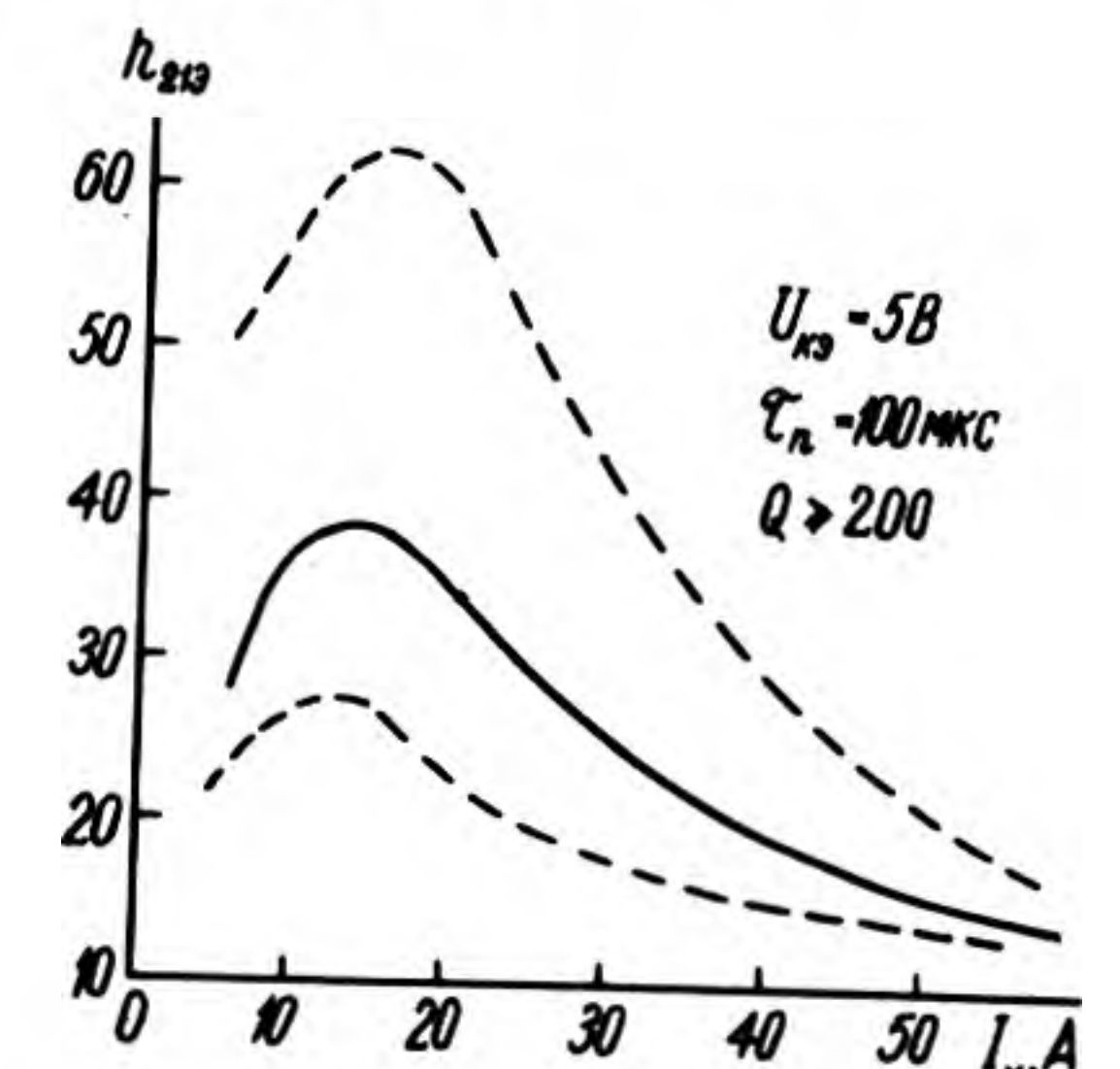
Область безопасной работы при прямом смещении транзистора (I — статический режим, II — импульсный режим)



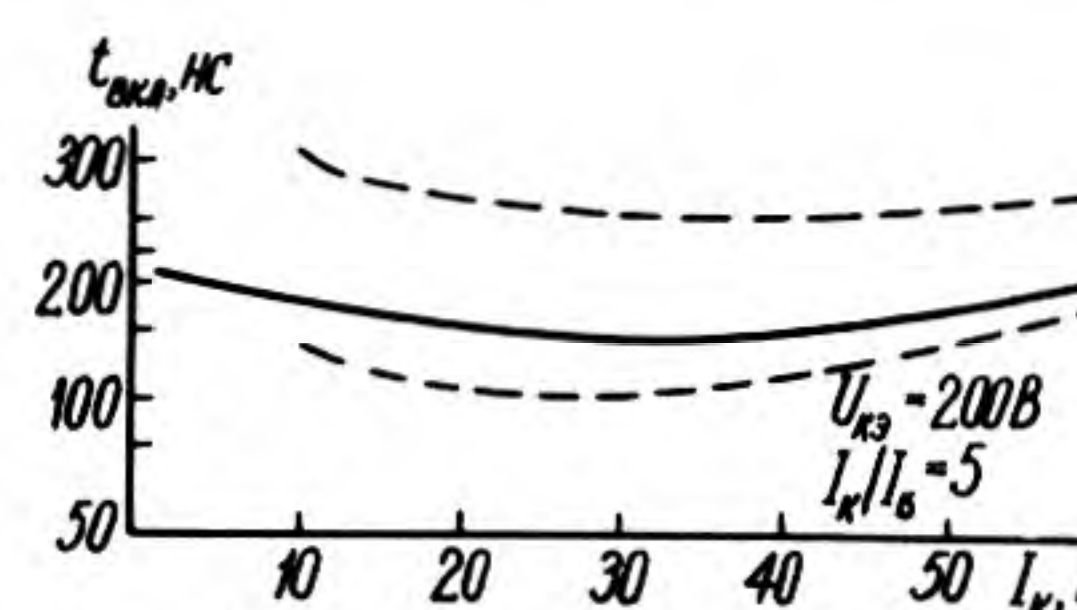
Зависимости напряжения насыщения коллектор—эмиттер от тока коллектора (— типовой, --- границы 95%-ного разброса)



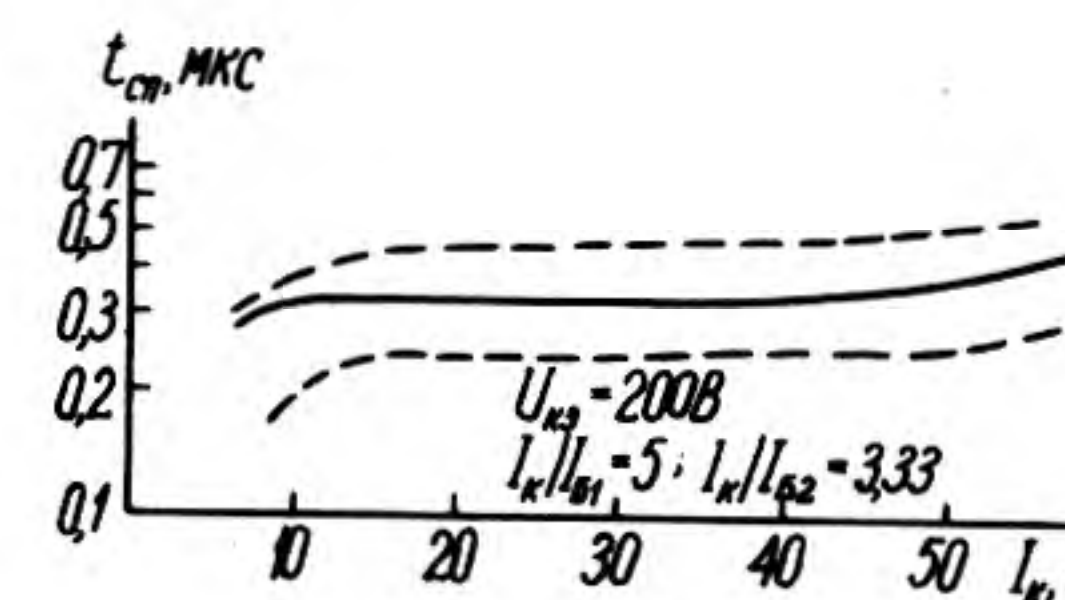
Зависимость напряжения насыщения база—эмиттер от тока коллектора



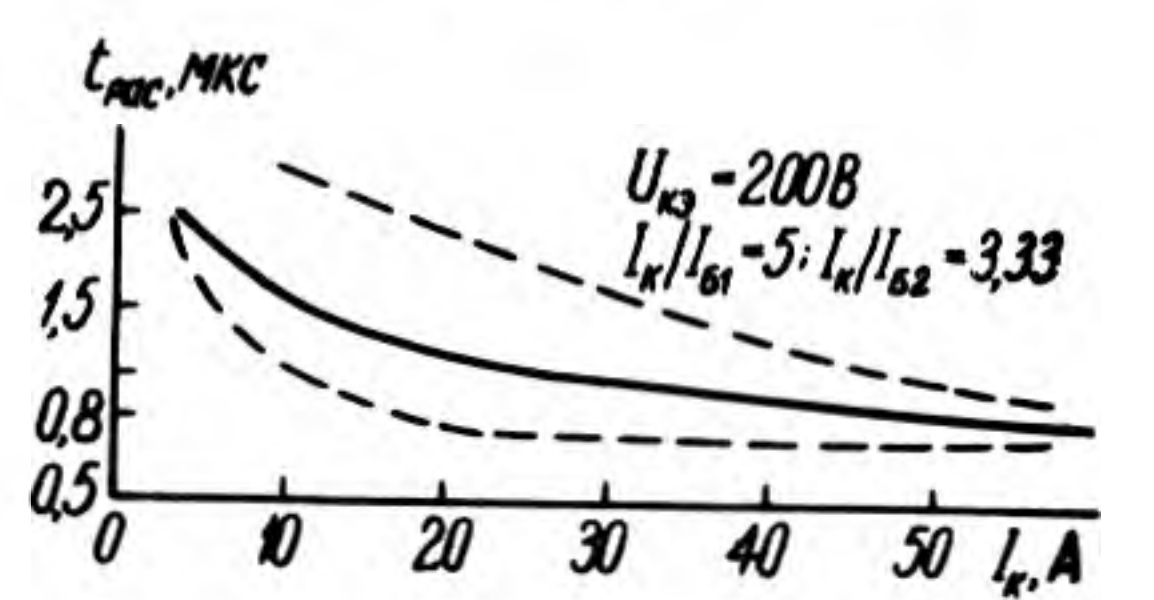
Зависимости статического коэффициента передачи тока от тока коллектора (— типовой, --- границы 95%-ного разброса)



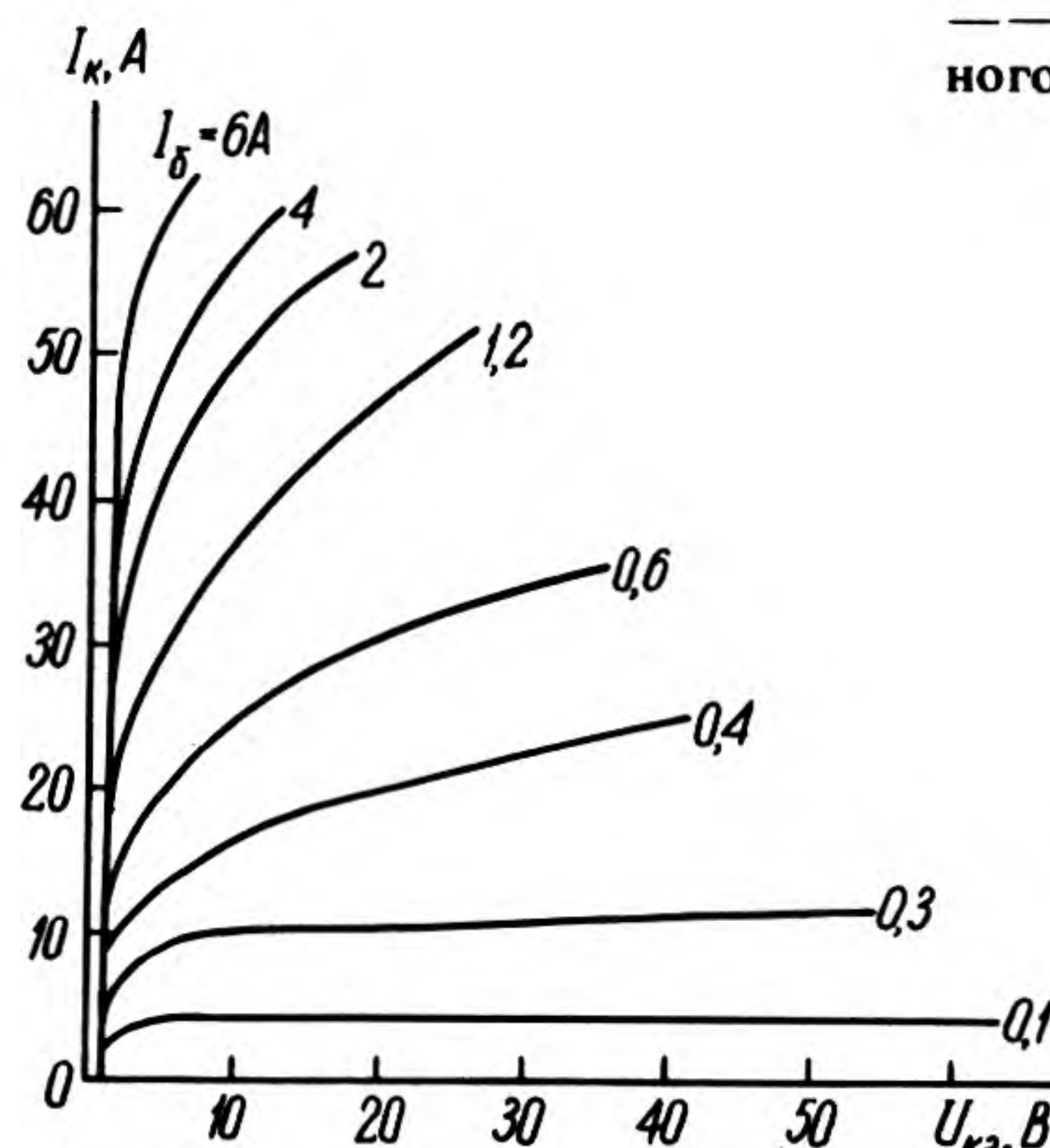
Зависимости времени включения от тока коллектора (— типовой, --- границы 95%-ного разброса)



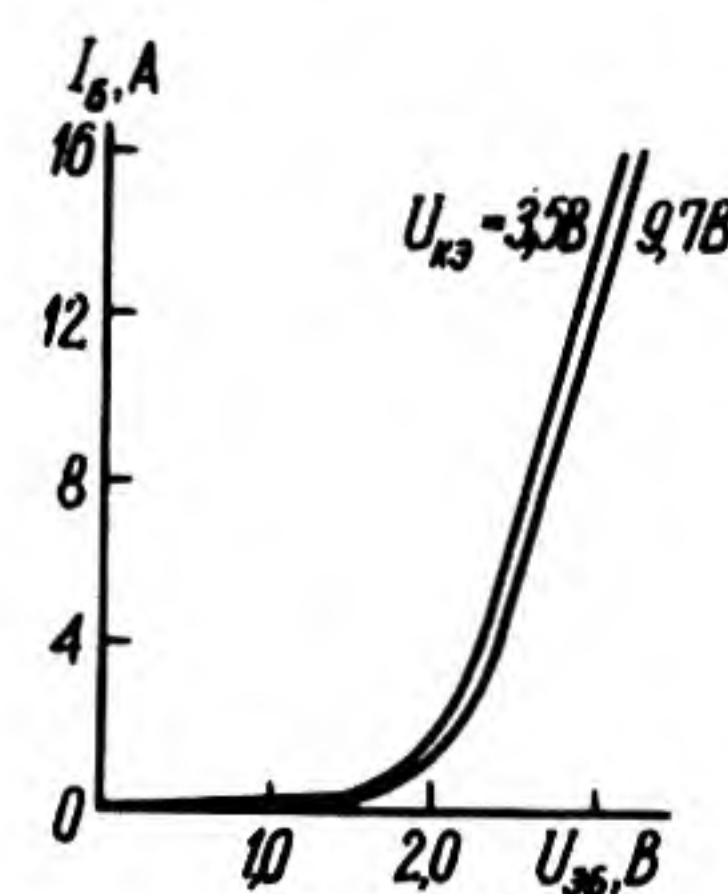
Зависимости времени спада от тока коллектора (— типовой, --- границы 95%-ного разброса)



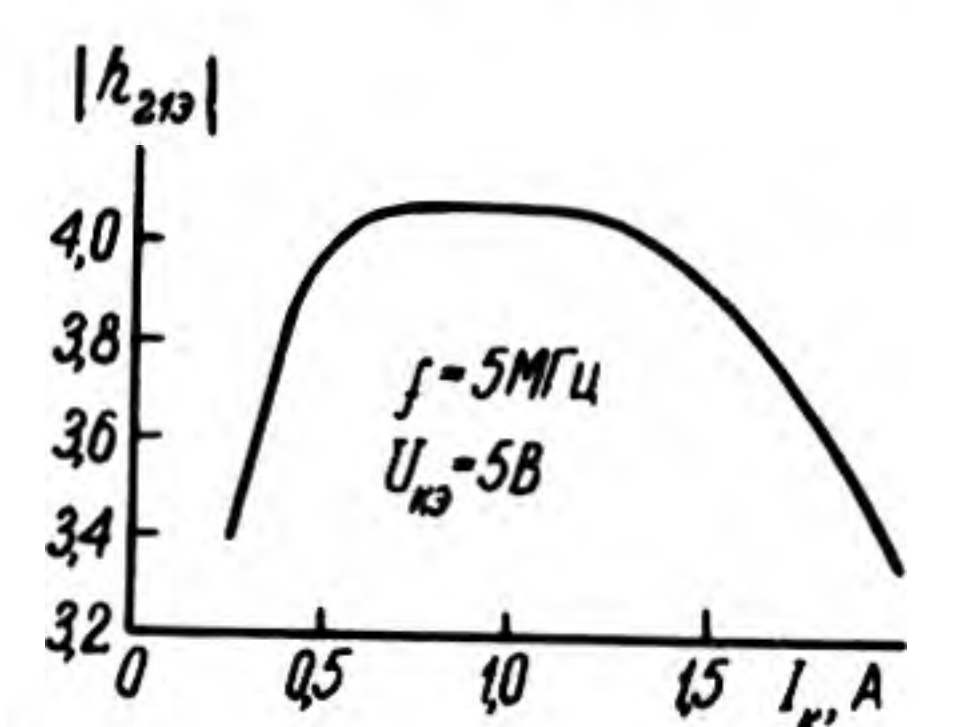
Зависимости времени рассасывания от тока коллектора (— типовой, --- границы 95%-ного разброса)



Типовые выходные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



Типовые входные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



Типовая зависимость модуля коэффициента передачи тока на высокой частоте от тока коллектора

Л.Н.Афонин, Е.И.Гантман,
Ю.А.Кузнецов, Е.З.Мазель,
Б.Л.Перельман

УДК 621.382.333

КРЕМНИЕВЫЙ МОЩНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ $n-p-n$ -ТРАНЗИСТОР ТИПА КТ874А, КТ874Б

Л.Н.Афонин, Е.И.Гантман,
Ю.А.Кузнецов, Е.З.Мазель,
Б.Л.Перельман

Транзистор предназначен для работы в схемах источников вторичного электропитания. Изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе КТ-48.

Транзистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до 125°C на корпусе, при вибрационных нагрузках на частоте от 1 до 5000 Гц с ускорением до 40g, многократных ударных нагрузках до 150g (длительность от 1 до 5 мс), одиночных ударных нагрузках до 1500g (длительность от 0,1 до 2 мс) и линейных нагрузках до 500g. Масса транзистора не более 7 г.

Основные характеристики транзистора при $t_{\text{корп}} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ приведены на рисунках, а электрические параметры при той же температуре корпуса и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

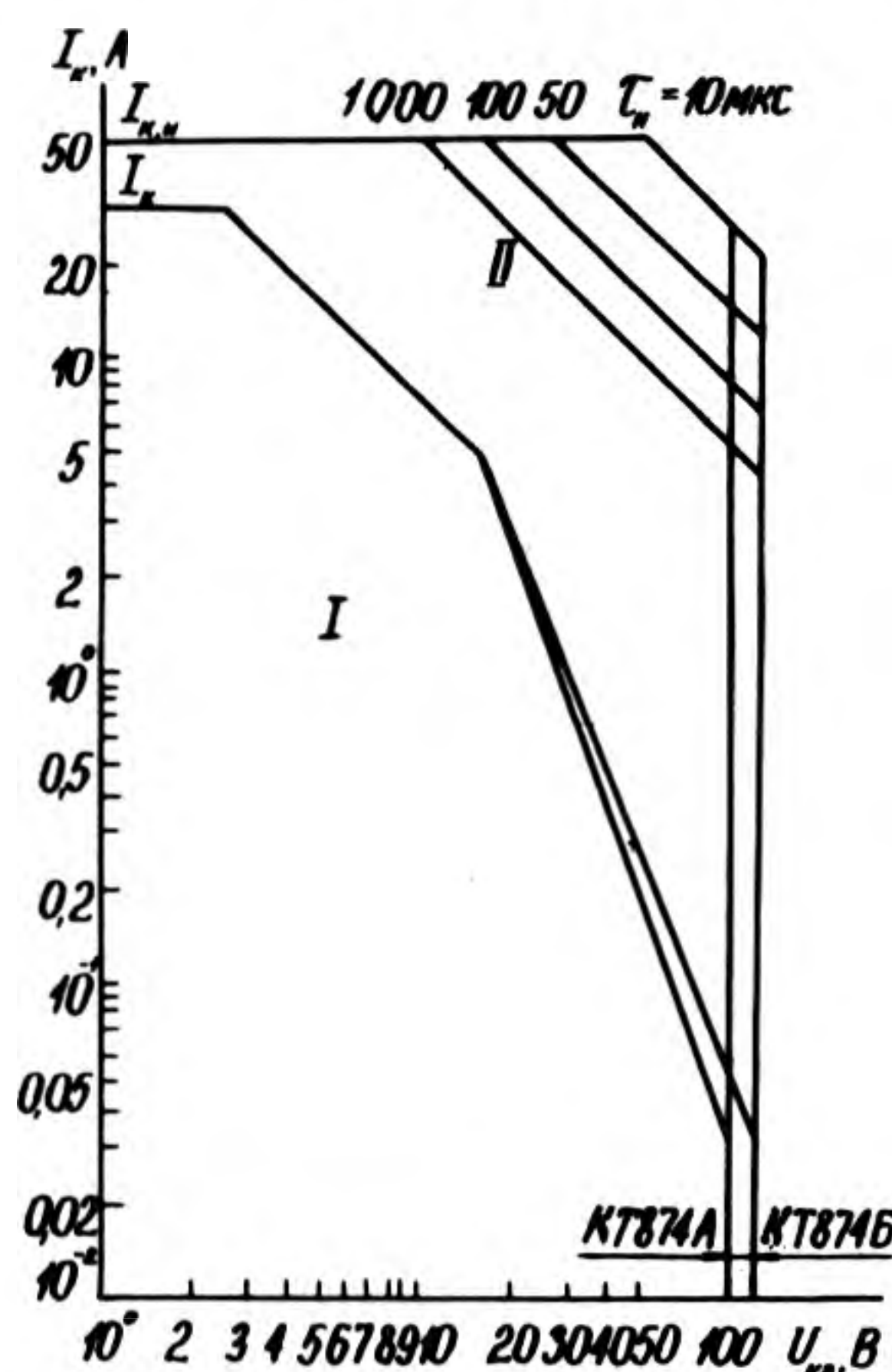
Обратный ток коллектора, $I_{кб0}$, мА при $U_{кб} = 150$ В, не более 3
Обратный ток эмиттера, $I_{эб0}$, мА при $U_{эб} = 5$ В, не более 10
Статический коэффициент передачи тока, $h_{21э}$ при $U_{кэ} = 5$ В, $I_k = 30$ А,

$t_{и} = 100$ мкс, $Q \geq 200$, не менее	
КТ874А	15
КТ874Б	10
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте, $h_{21э}$, при $U_{кб} = 10$ В, $I_k = 0,2$ А, $f = 5$ МГц, не менее	4
Напряжение насыщения коллектор—эмиттер, $U_{кэ\text{нас}}$, В, при $I_k = 30$ А, $I_b = 5$ А, $t_{и} = 100$ мкс, $Q \geq 200$, не более	1
Напряжение насыщения база—эмиттер, $U_{бэ\text{нас}}$, В, при $I_k = 30$ А, $I_b = 5$ А, $t_{и} = 100$ мкс, $Q \geq 200$, не более	1,5
Граничное напряжение, $U_{кэ\text{гр}}$, В, при $I_k = 0,1$ А, $L = 25$ мГн, не менее	
КТ874А	100
КТ874Б	120
Время спада, $t_{сп}$, мкс, при $U_{кэ} = 30$ В, $I_k = 30$ А, $I_{б1} = I_{б2} = 5$ А, не более	0,2
Время рассасывания, $t_{рас}$, мкс, при $U_{кэ} = 30$ В, $I_k = 30$ А, $I_{б1} = I_{б2} = 5$ А, не более	0,5
Время включения, $t_{вкл}$, мкс, при $U_{кэ} = 30$ В, $I_k = 30$ А, $I_b = 5$ А, типовое	0,6
Время нарастания, $t_{н}$, мкс, при $U_{кэ} = 30$ В, $I_k = 30$ А, $I_b = 5$ А, типовое	0,1
Емкость коллекторного перехода, C_k , пФ, при $U_{кб} = 100$ В, $f = 1$ МГц, типовое	200
Емкость эмиттерного перехода, $C_э$, пФ, при $U_{эб} = 5$ В, $f = 300$ кГц, типовое	3500

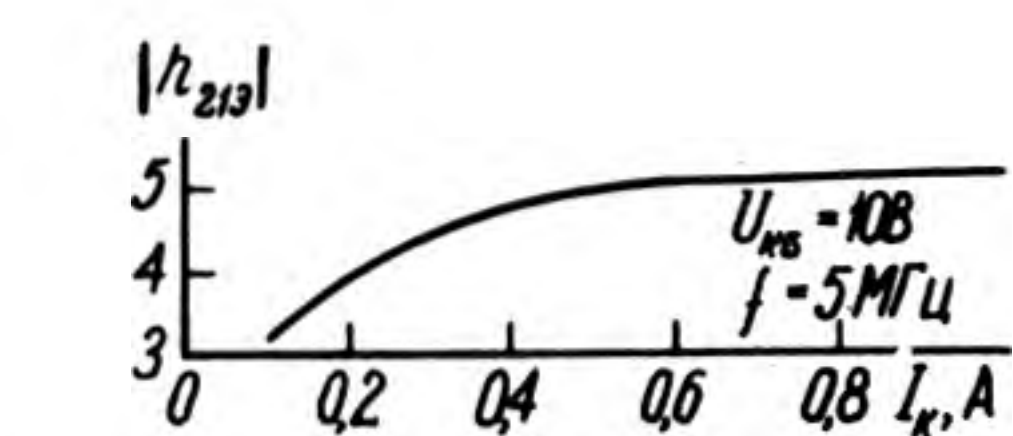
Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} = -60$ до $t_{\text{корп}} = 125^\circ\text{C}$

Постоянное напряжение, В	
коллектор—эмиттер, $U_{кэ\text{max}}$ или $U_{кэR\text{max}}$, при запирающем смещении $U_{эб} = -1,5$ В или $R_{бэ} \leq 10$ Ом	
КТ874А	100
КТ874Б	120
коллектор—база, $U_{кб\text{max}}$	150
эмиттер—база, $U_{эб\text{max}}$	5
Импульсное напряжение, В при $t_{и} \leq 20$ мкс, $Q \geq 10$	
коллектор—эмиттер, $U_{кэ\text{max}}$, и $t_{и\text{max}}$ или $U_{кэR}$, и $t_{и\text{max}}$ при запирающем смещении $U_{эб} = -1,5$ В или $R_{бэ} \leq 10$ Ом	150
эмиттер—база, $U_{эб}$, и $t_{и\text{max}}$	7
Постоянный ток, А	
коллектора, $I_k\text{max}$ в диапазоне от $t_{\text{окр}} = -60^\circ\text{C}$ до $t_{\text{корп}} = 100^\circ\text{C}$	30
коллектора, $I_k\text{max}$, при $t_{\text{корп}} = 125^\circ\text{C}$	20
базы, $I_b\text{max}$	8
Импульсный ток, А, при $t_{и} \leq 20$ мкс, $Q \geq 10$	
коллектора, I_k и $t_{и\text{max}}$	50
базы, I_b и $t_{и\text{max}}$	15
Постоянная рассеиваемая мощность, P_{max} , в диапазоне температур от $t_{\text{окр}} = -60$ до $t_{\text{корп}} = 25^\circ\text{C}$, Вт	75

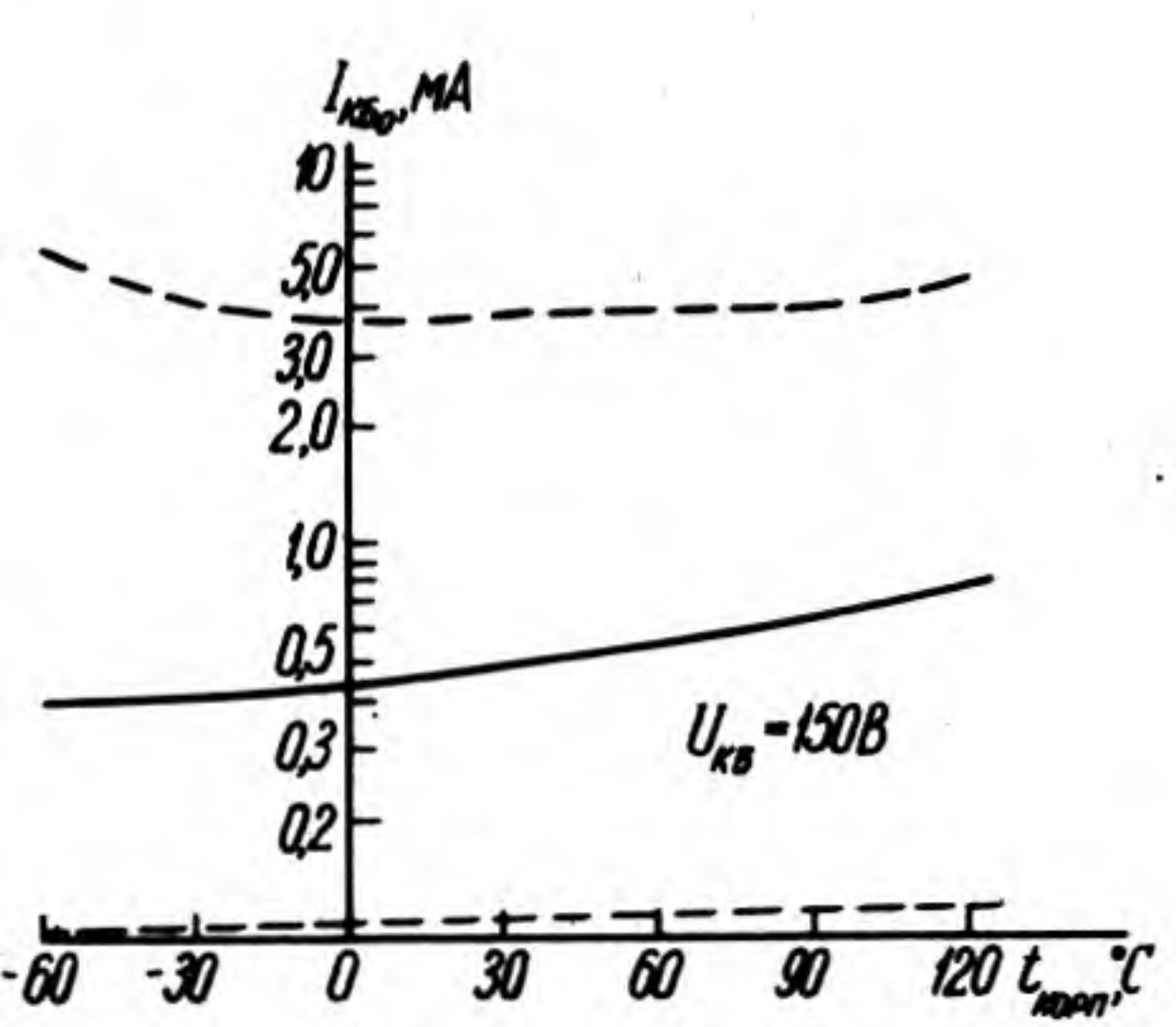
При увеличении температуры корпуса до 125°C рассеиваемая мощность транзистора P_{max} снижается по линейному закону $P_{\text{max}} = \frac{t_{п\text{max}} - t_{\text{корп}}}{R_{т, п-к}}$, Вт, где $R_{т, п-к} = 2^\circ\text{C/Вт}$, $t_{п\text{max}} = 175^\circ\text{C}$.



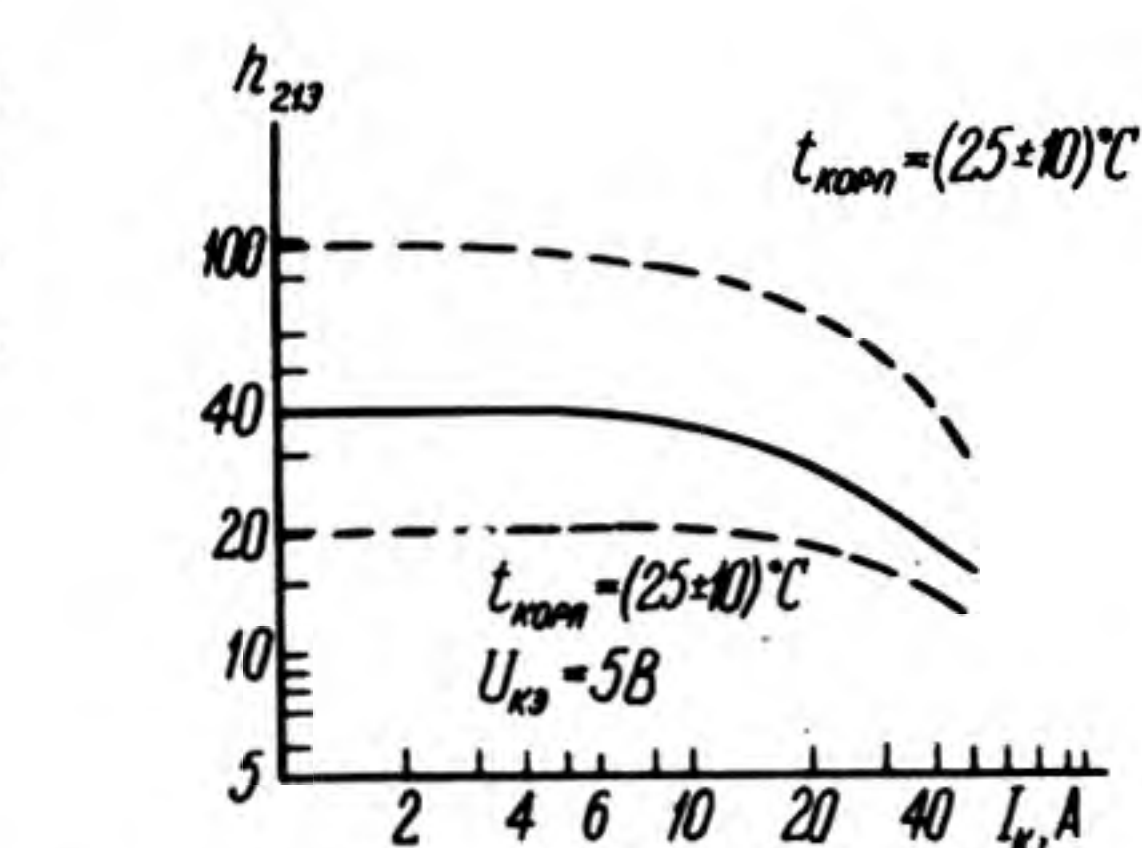
Область безопасной работы при прямом смещении транзистора (I — статический режим, II — импульсный режим)



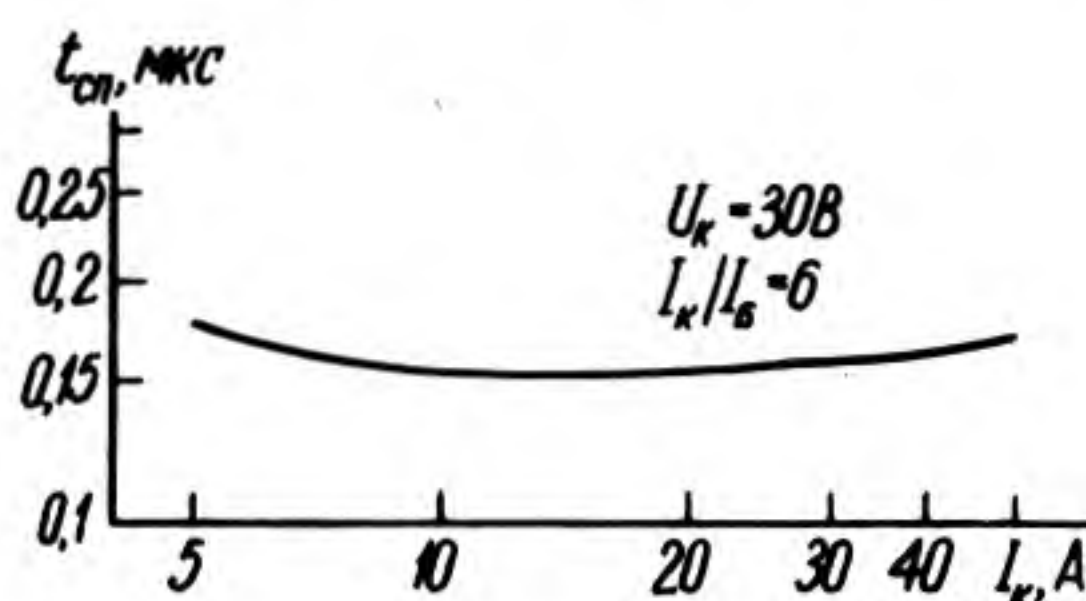
Типовая зависимость модуля коэффициента передачи тока от тока коллектора



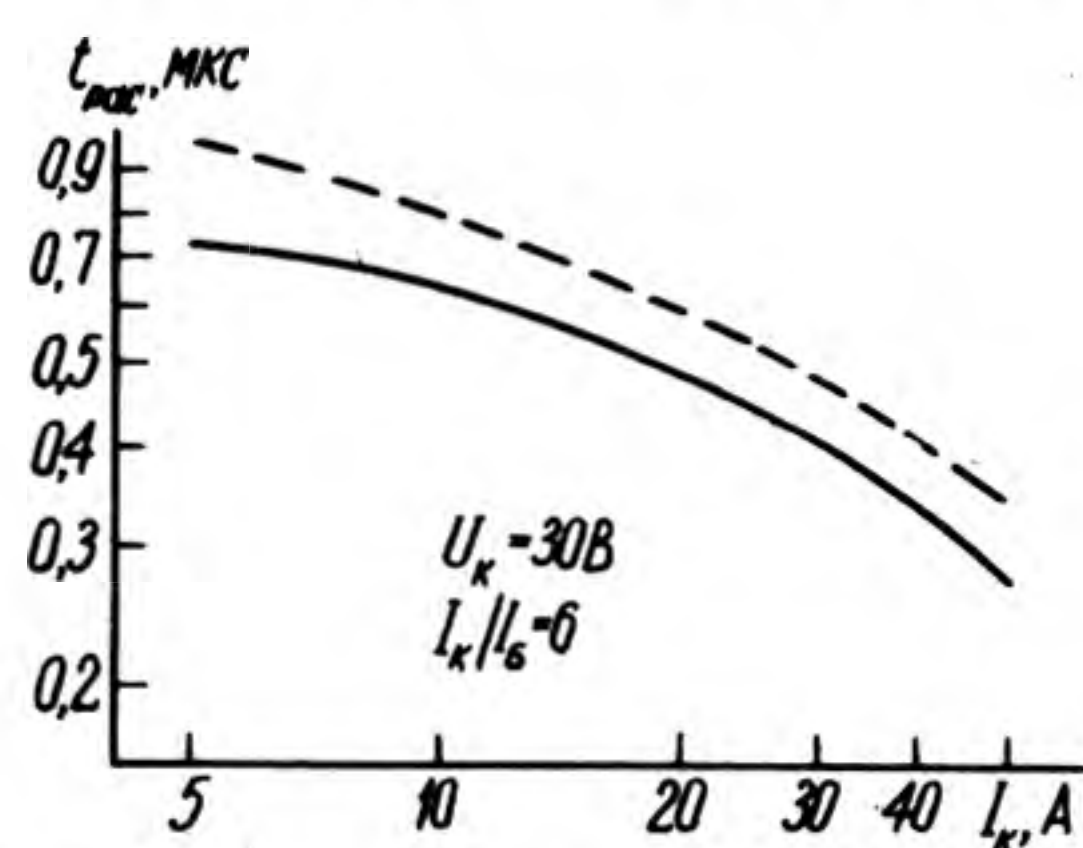
Зависимости обратного тока коллектор—база от температуры корпуса (— типовая, - - - границы 95%-ного разброса)



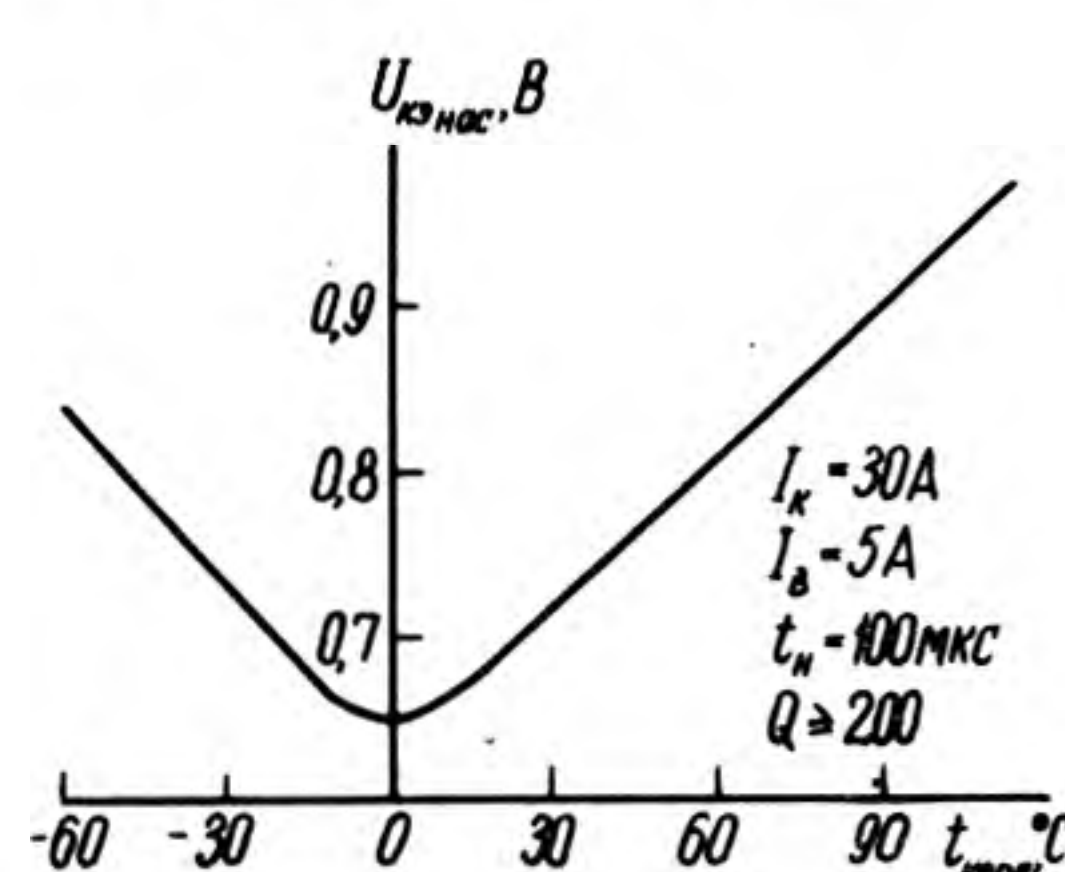
Зависимости статического коэффициента передачи тока от тока коллектора (— типовая, - - - границы 95%-ного разброса)



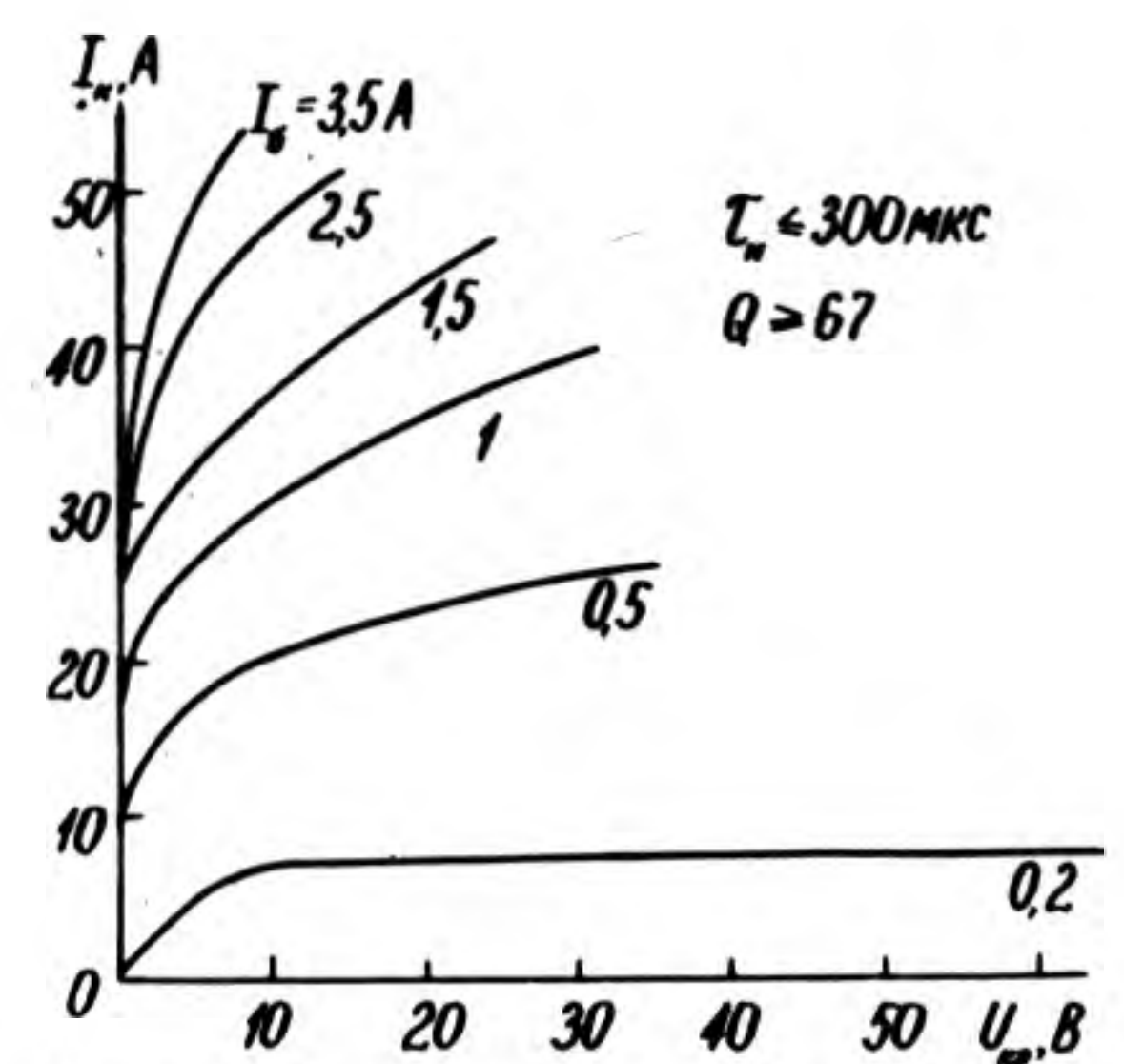
Типовая зависимость времени спада от тока коллектора



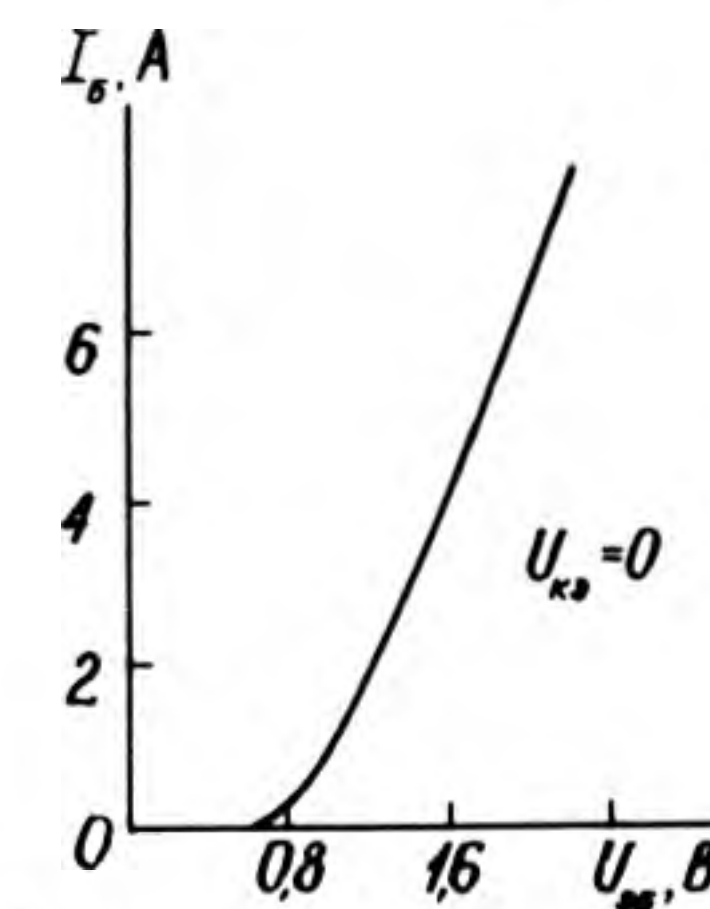
Зависимости времени рассасывания от тока коллектора (— типовая, - - - границы 95%-ного разброса)



Типовая зависимость напряжения насыщения коллектор—эмиттер от температуры корпуса



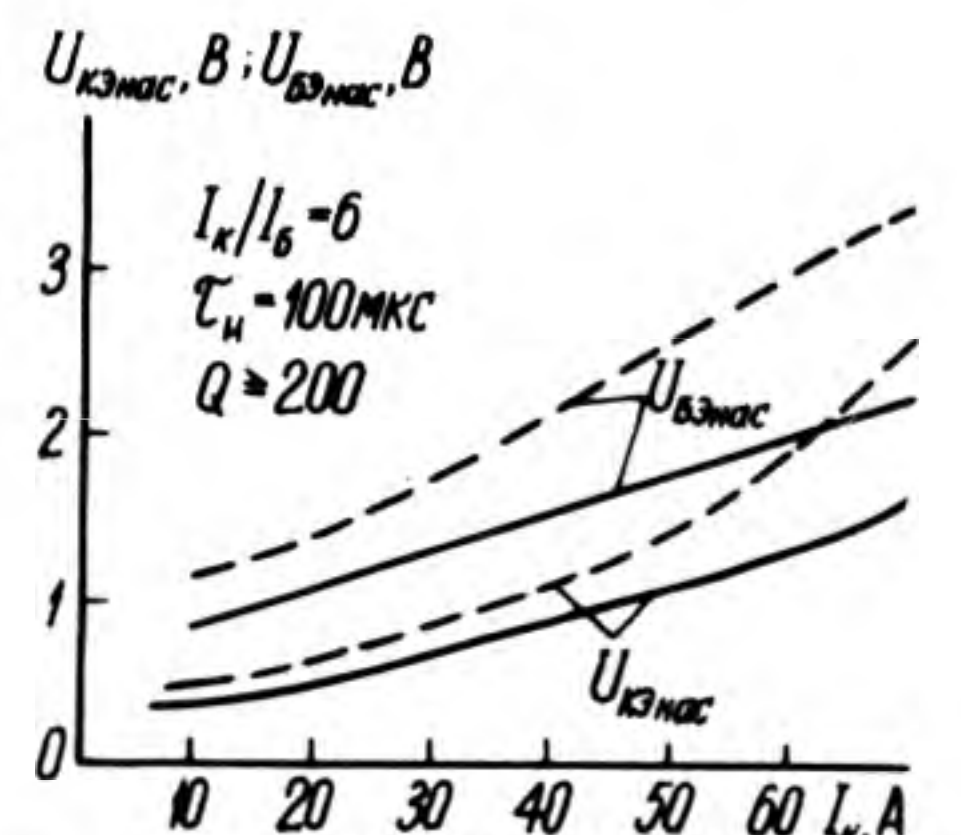
Типовые выходные вольт-амперные характеристики в схеме с общим эмиттером



Типовая входная вольт-амперная характеристика в схеме с общим эмиттером



Типовая зависимость времени включения от тока коллектора



Зависимости напряжения насыщения коллектор—эмиттер и база—эмиттер от тока коллектора (— типовая, - - - границы 95%-ного разброса)

Научно-исследовательский технологический институт ИЩЕТ ПАРТНЕРА

для сотрудничества на хоздоговорной основе

по изготовлению высокоэффективного специального технологического оборудования (СТО) для предприятий приборо- и агрегатостроения, точного машиностроения, радио- и электронной промышленности:

Комплекса машин отделочно- зачистного

обработки деталей после литья и штамповки, для механо- и термообработки печатных плат после сверления.

Полуавтоматов ПДС-901(902) сварки давлением на воздухе

инструментальных, конструкционных и других сталей без образования грота и с минимальной остаточной деформацией.

Установок УЦСМ-901(902) промывки деталей

водными, техническими моющими растворами с центробежно-струйной активацией процесса.

НИТИ обеспечит:

передачу технической документации на СТО, изготовленное на уровне мировых стандартов, защищенное патентами и авторскими свидетельствами СССР;

рынок сбыта в СССР оборудования в объеме годового выпуска на 3—5 млн. руб.;

повышение технического уровня СТО путем модернизации и разработки оборудования новых поколений;

конструкторское ведение установочной партии и сопровождение выпуска;

изучение рынка сбыта за рубежом.

Партнер обязуется

ежегодно выпускать высококачественное СТО, в том числе в экспортном исполнении, общей стоимостью 3—5 млн. руб., периодически модернизировать СТО.

УДК 621.382.333

КРЕМНИЕВЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ И *p*-КАНАЛОМ, ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЙ КП703А, КП703Б

Т.И.Давыдова, Ю.А.Кузнецов,
А.А.Новохатко, Б.Л.Перельман

Транзистор предназначен для работы во вторичных источниках питания, переключающих и импульсных устройствах, а также ключевых стабилизаторах и преобразователях напряжения.

Транзистор изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе с полосковыми выводами.

Транзистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$, при вибрационных нагрузках на частоте $1-5000$ Гц с ускорением до $40g$, многократных ударных нагрузках до $150g$ (длительность $1-5$ мс), одиночных ударных нагрузках до $1500g$ (длительность $0,1-2$ мс) и линейных нагрузках до $500g$.

Основные характеристики транзистора приведены на рисунках, а электрические параметры при $t_{\text{окр}} = 25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

Крутизна характеристики, S , мА/В, не менее при $U_{\text{си}} = -30$ В; $I_c = 1$ А, $t_{\text{и}} = 600$ мкс, $Q = 200$

Начальный ток стока, $I_{\text{с нач}}$, мА, не более при $U_{\text{си}} = -30$ В, $U_{\text{зи}} = 0$

Пороговое напряжение, $U_{\text{пор}}$, В, не более при $U_{\text{си}} = -10$ В; $I_c = 0,001$ А

Сопротивление сток—исток в открытом состоянии транзистора, $R_{\text{си откр}}$, Ом, не более

КП703А
КП703Б

Остаточный ток стока, $I_{\text{с ост}}$, мА, не более при $U_{\text{зи}} = 10$ В;

$U_{\text{си}} = -150$ В (для КП703А); $U_{\text{си}} = -100$ В (для КП703Б)

Ток стока, I_c , А, не менее при $U_{\text{си}} = -30$ В, $U_{\text{зи}} = -30$ В

$t_{\text{и}} = 600$ мкс, $Q = 200$

Проходная емкость, $C_{12\text{и}}$, пФ, не более при $U_{\text{си}} = -30$ В;

$U_{\text{зи}} = -10$ В; $f = 1,0$ МГц

Емкость затвор—исток $C_{\text{зио}}$, пФ, не более при $U_{\text{зи}} = -30$ В

Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$

800	Напряжение, В	
	затвор—исток, $U_{\text{зи max}}$	-30
5,0	сток—исток, $U_{\text{си max}}$	
	КП703А	-150
	КП703Б	-100
9,0	затвор—сток, $U_{\text{зс max}}$	
	КП703А	-160
	КП703Б	-110
0,85	Постоянная рассеиваемая	
0,7	мощность, * P_{max} , Вт от $t_{\text{окр}} -60$ до	
	$t_{\text{корп}} +50^{\circ}\text{C}$	60

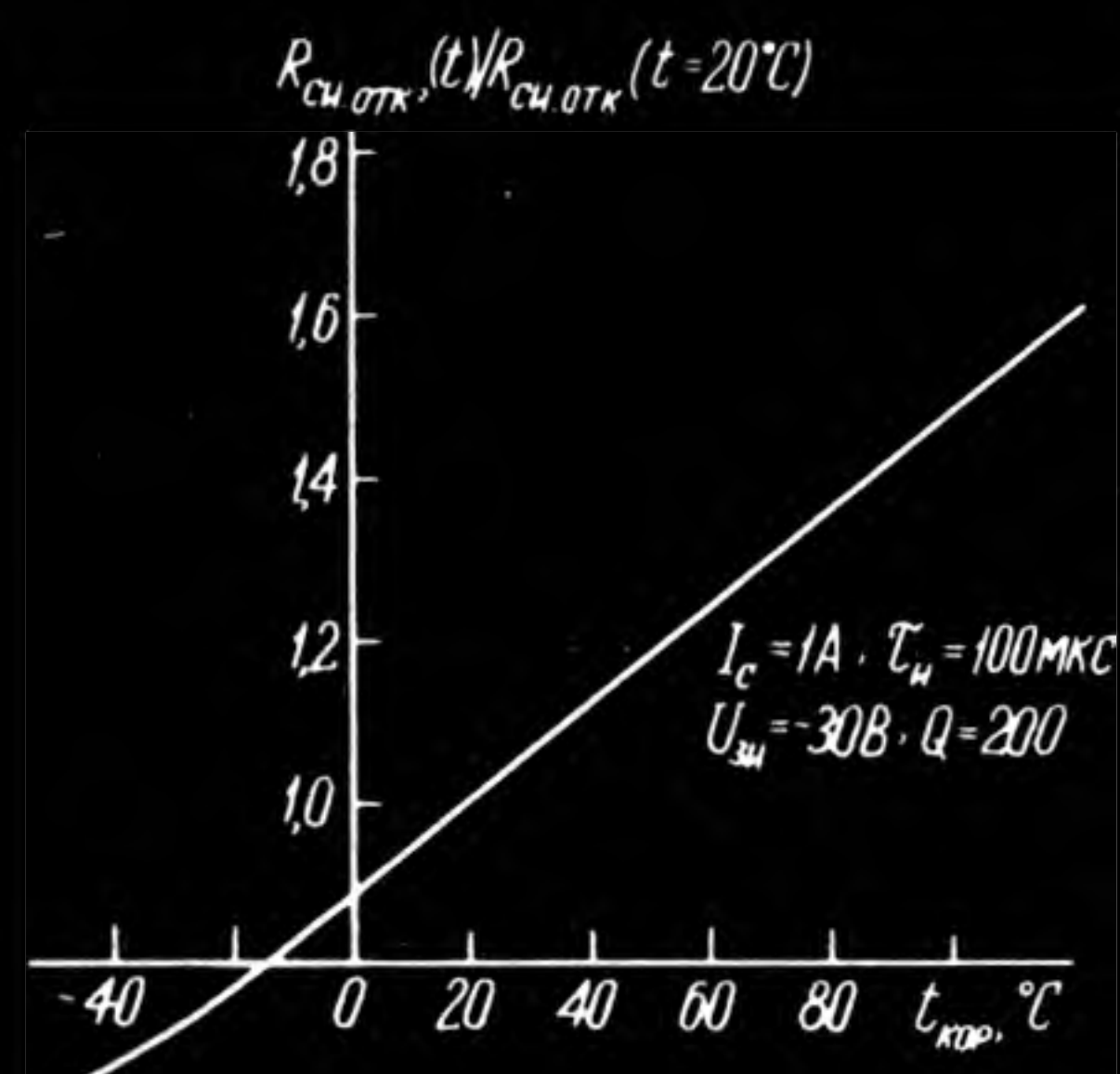
* В диапазоне температур корпуса от $+50$ до $+125^{\circ}\text{C}$ мощность линейно снижается по формуле: $P_{\text{max}} = \frac{150 - t_{\text{корп}}}{R_{\text{т, п-к}}}$, где $R_{\text{т, п-к}} = 1,7^{\circ}\text{C/Вт}$

10,0

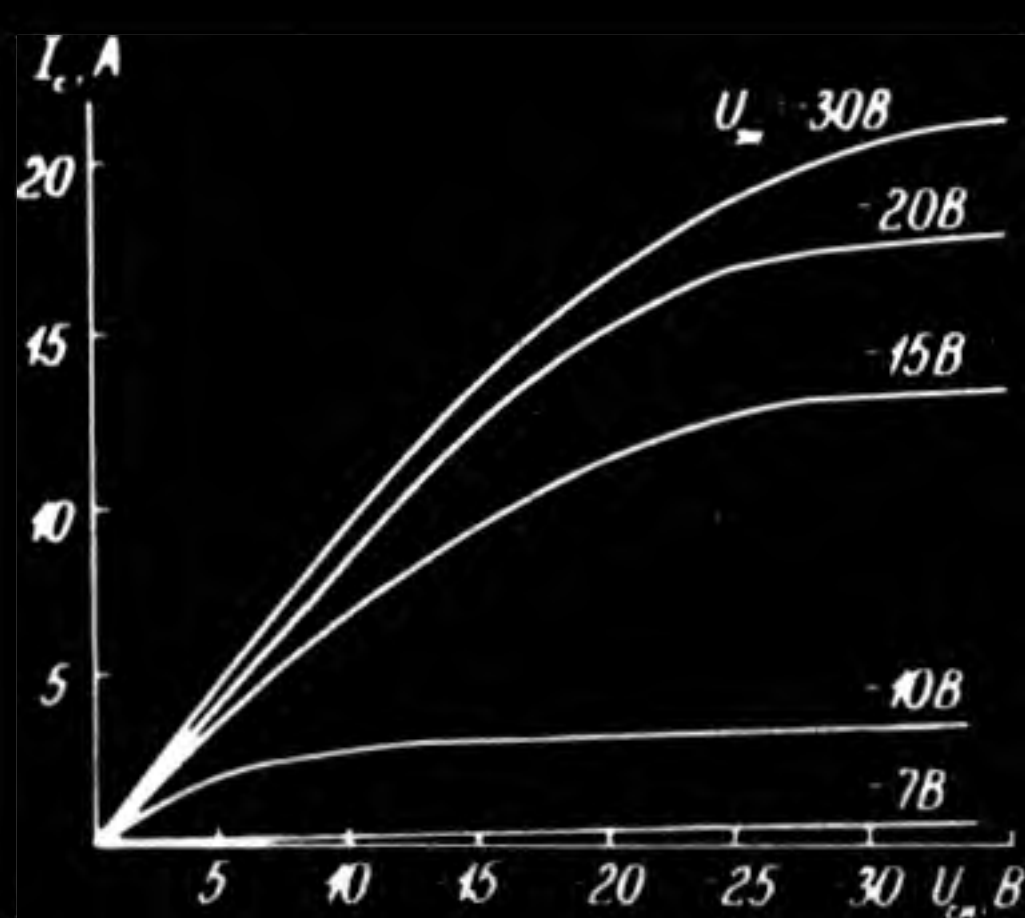
12

30

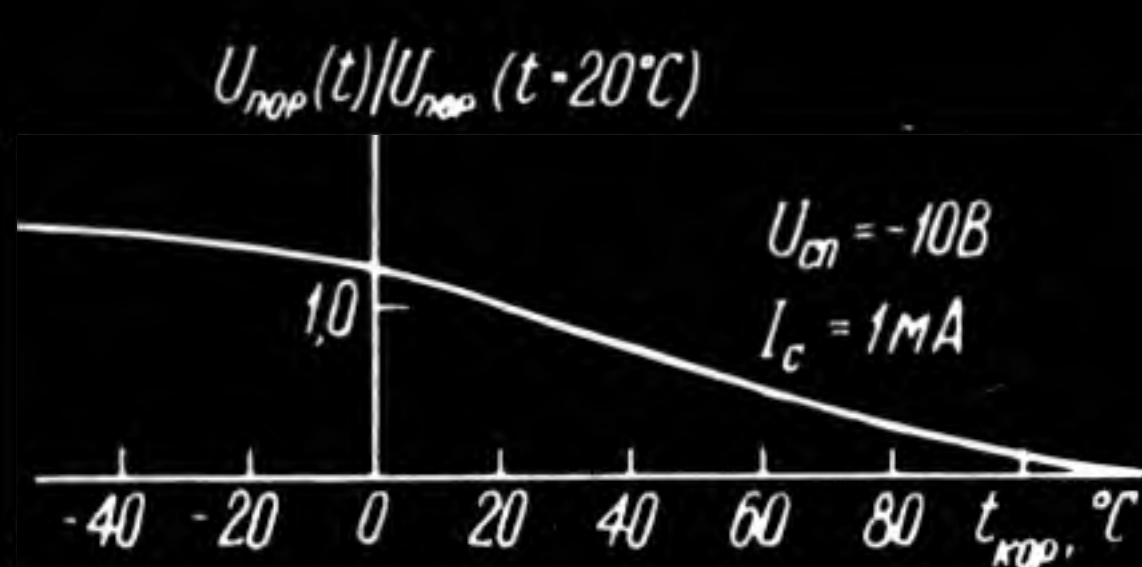
1500



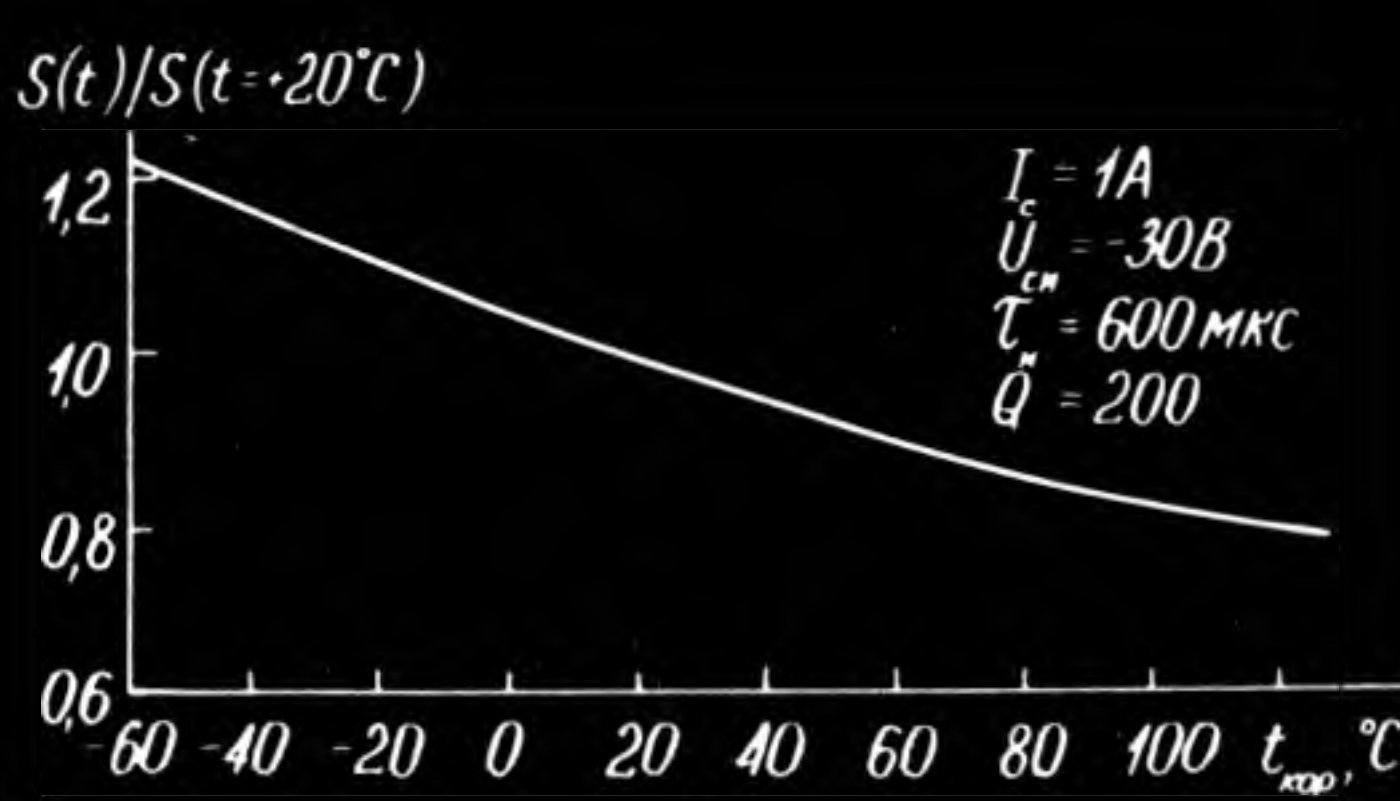
Типовая зависимость сопротивления сток—исток в открытом состоянии от температуры корпуса



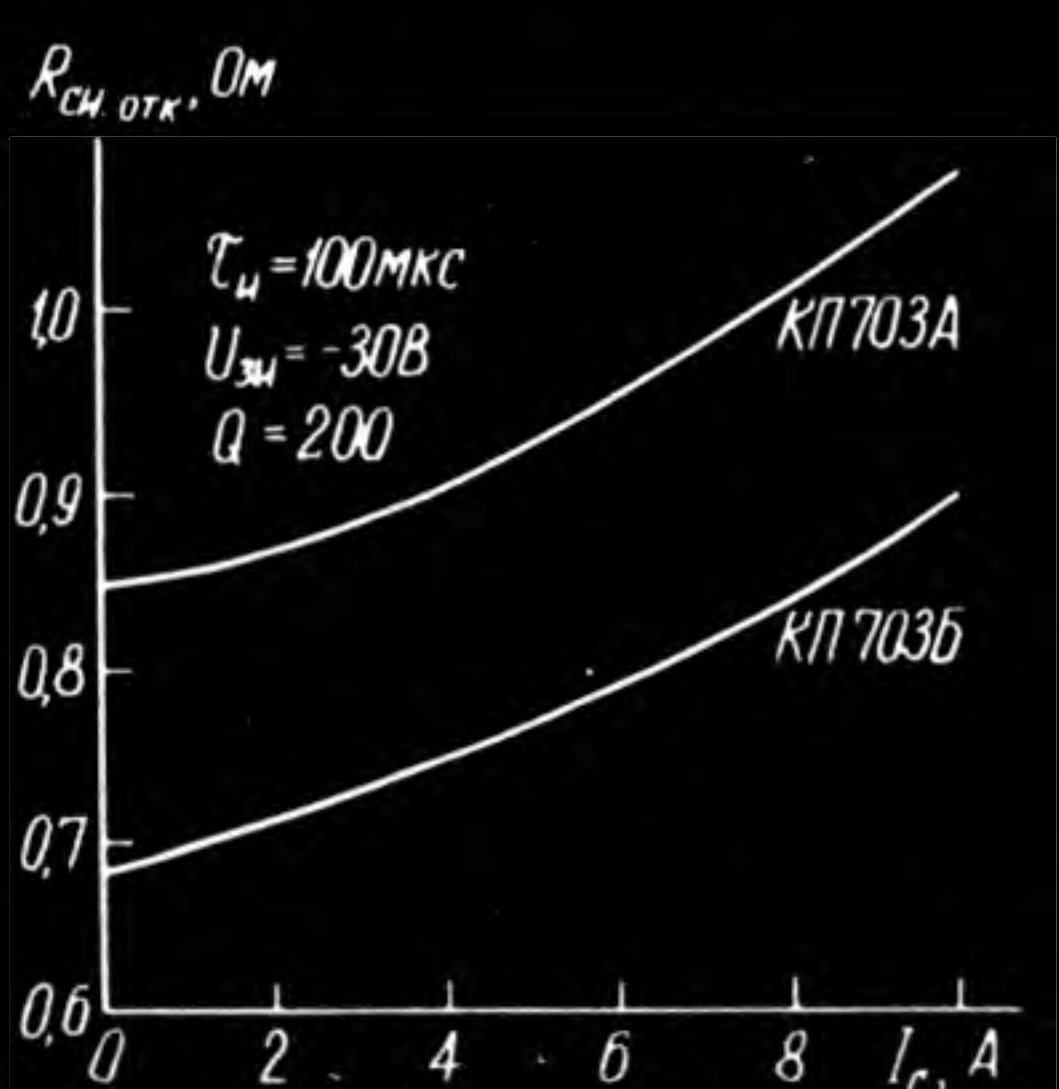
Типовые выходные характеристики



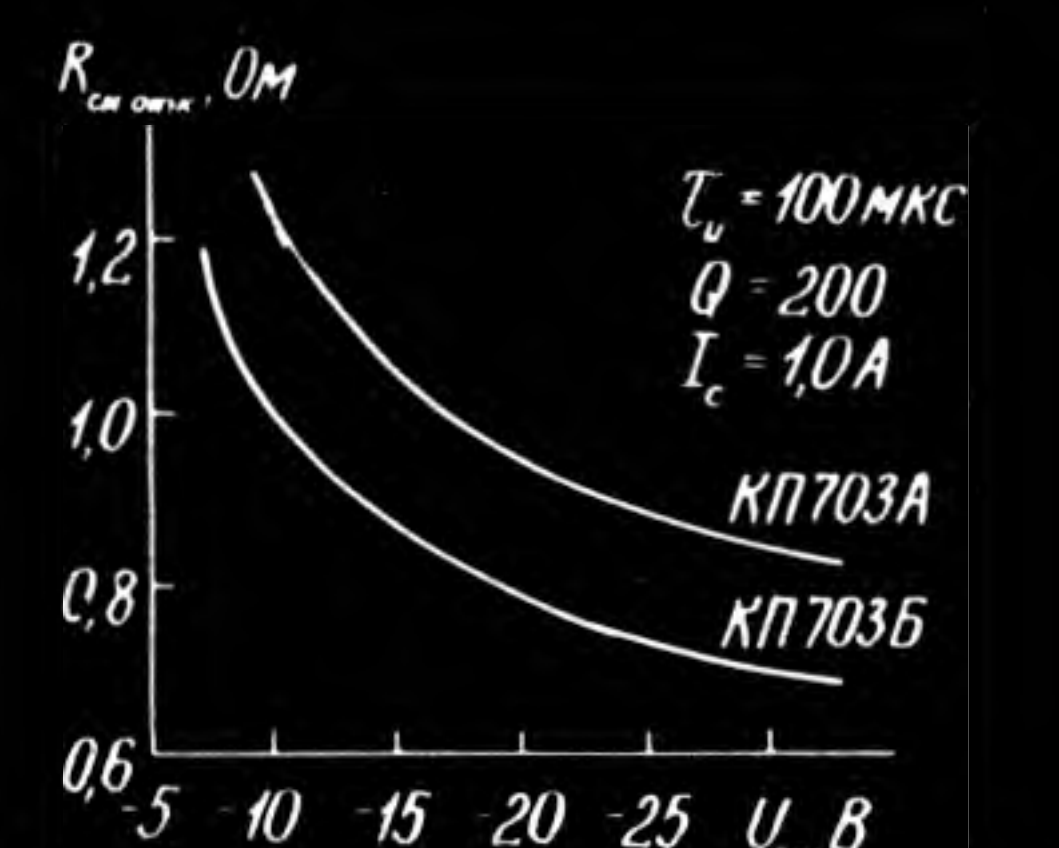
Типовая зависимость порогового напряжения от температуры корпуса



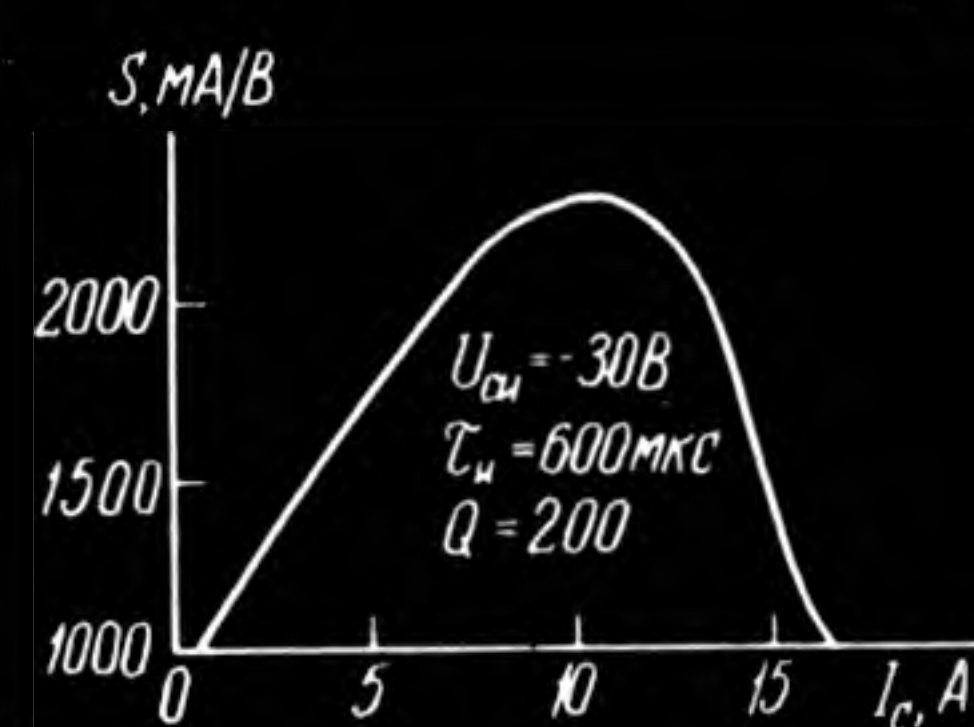
Типовые зависимости начального и остаточного токов от температуры корпуса



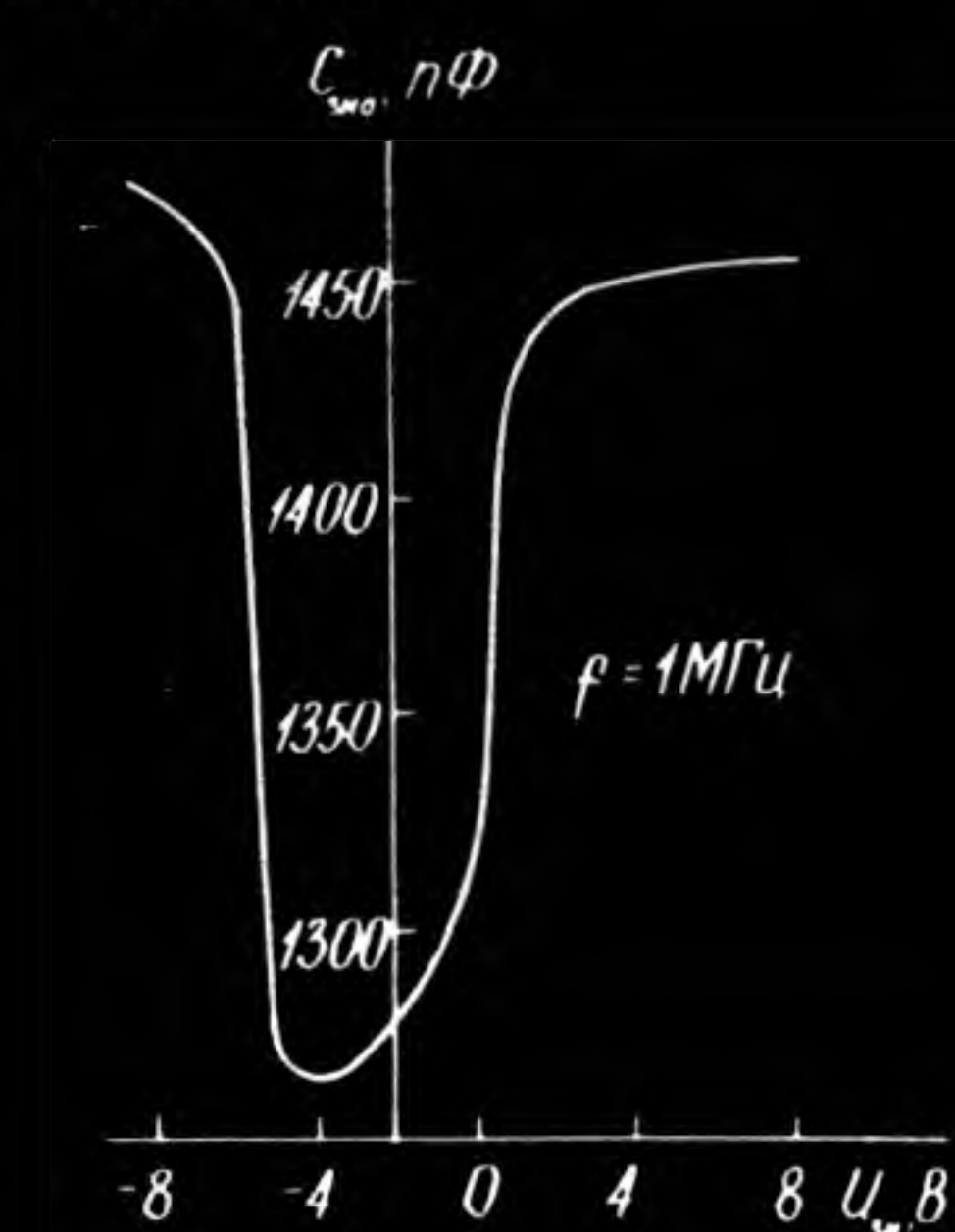
Зависимость сопротивления сток—исток от тока стока



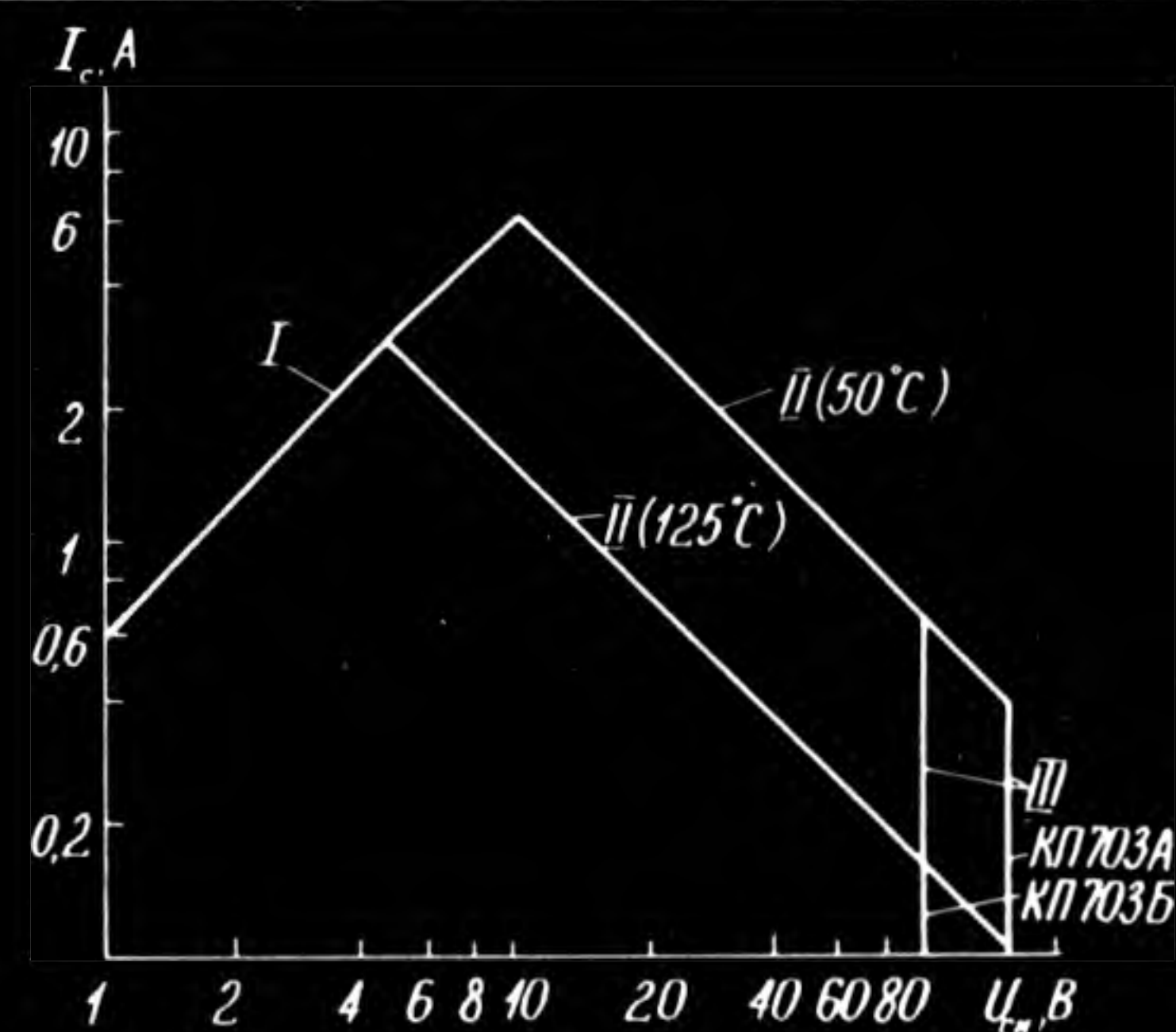
Типовая зависимость сопротивления сток—исток от напряжения затвор—исток



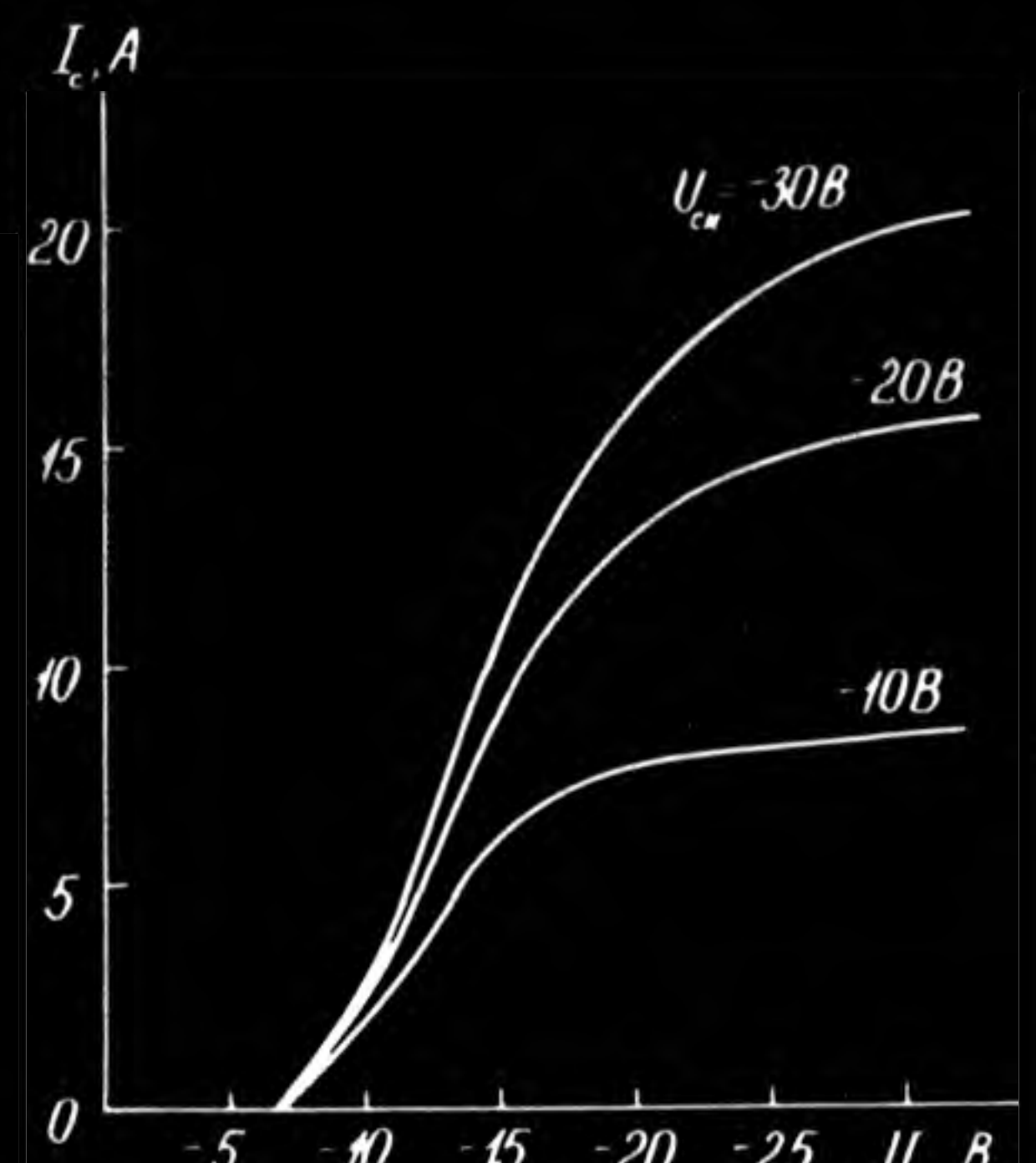
Типовая зависимость крутизны характеристики от тока стока



Типовая зависимость входной емкости от напряжения затвор—исток



Область безопасной работы в статическом режиме транзистора при температуре корпуса 50 и 125°C (I — сопротивление сток—исток в открытом состоянии, II — максимально допустимая мощность рассеивания, III — максимально допустимое напряжение на стоке)



Типовые передаточные характеристики

При создании
высококачественных и
надежных печатных плат
используйте **ИНТРОМЕТ**,

МОДЕЛЬ

ИТМ-10 —

бесконтактный вихретоковый
измеритель толщины медного
покрытия в отверстиях печатных
плат.

ИНТРОМЕТ осуществляет технологический и вход-
ной контроль.

Обеспечивает контроль

- с любой стороны однослойной и многослойной
платы, не требуя двустороннего доступа к отвер-
стиям
- до и после травления рисунка платы
- под защитным слоем олово-свинец на готовой
плате.

Высокое качество гарантируется.

Толщина медного покрытия, мкм	5—50
Диаметр контролируемого отверстия, мм	0,8;1,0;1,3 (1,0;1,3;1,5)
Погрешность измерения, мкм	5

ИНТРОМЕТ прошел государствен-
ные испытания и внесен в Гос-
реестр приборов СССР.

Заказы направлять по адресу:
105835, г. Москва, ГСП, Краснока-
зарменная, 14, кафедра ЭИ,
НТЦ МЭИ.
Телефон 362-78-69, телекс 411610.

УДК 621.382.3.029.64:546.28

КРЕМНИЕВЫЙ УСИЛИТЕЛЬНЫЙ СВЧ ЛИНЕЙНЫЙ $n-p-n$ -ТРАНЗИСТОР ТИПА КТ9137А

Предназначен для работы в усилителях класса А в схеме с общим эмиттером в аппаратуре с повышенными требованиями к линейности усиления на частотах до 2,3 ГГц.

Изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно выполнен в металлокерамическом герметичном корпусе с заземленным эмиттером и полосковыми базовыми и коллекторными выводами.

Масса транзистора не более 3 г.

Транзистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур от -60 до 125°C , при вибрационных нагрузках на частоте 1—5000 Гц с ускорением до 40 g, многократных ударных нагрузках до 150 g (длительность 1—5 мс), одиночных ударных нагрузках до 1500 g (длительность 0,1—2 мс), линейных нагрузках до 500 g.

Основные характеристики транзистора при $t_{кр} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ приведены на рисунках, а электрические параметры при $t_{окр} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

- Граничная мощность, $P_{гр}$, при $U_{кз} = 18 \text{ В}$; $I_k = 380 \text{ мА}$; $f = 2,3 \text{ ГГц}$, Вт, не менее 2,1
- Коэффициент усиления по мощности, $K_{ур}$, при $U_{кз} = 18 \text{ В}$; $I_k = 380 \text{ мА}$; $f = 2,3 \text{ ГГц}$, $P_{вых} = P_{гр}$, дБ, не менее 5,5
- КПД коллектора, η_k , при $U_{кз} = 18 \text{ В}$; $I_k = 380 \text{ мА}$; $f = 2,3 \text{ ГГц}$, $P_{вых} = P_{гр}$, %, не менее 30
- Граничная частота коэффициента передачи тока, $f_{гр}$, при $U_{кб} = 10 \text{ В}$; $I_k = 300 \text{ мА}$, ГГц, не менее 2,7
- Обратный ток коллектор-эмиттер, $I_{кэР}$, при $U_{кз} = 22 \text{ В}$; $R_{эб} = 100 \text{ Ом}$, мА, не более 10
- Обратный ток эмиттера, $I_{эо}$, при $U_{эб} = 3,5 \text{ В}$, мА, не более 2,0
- Емкость коллекторного перехода, C_k , при $U_{кб} = 18 \text{ В}$; $f = 1 \text{ МГц}$, пФ, не более 5,5
- Емкость эмиттерного перехода, $C_э$, при $U_{эб} = 0$; $f = 1 \text{ МГц}$, пФ, не более 45

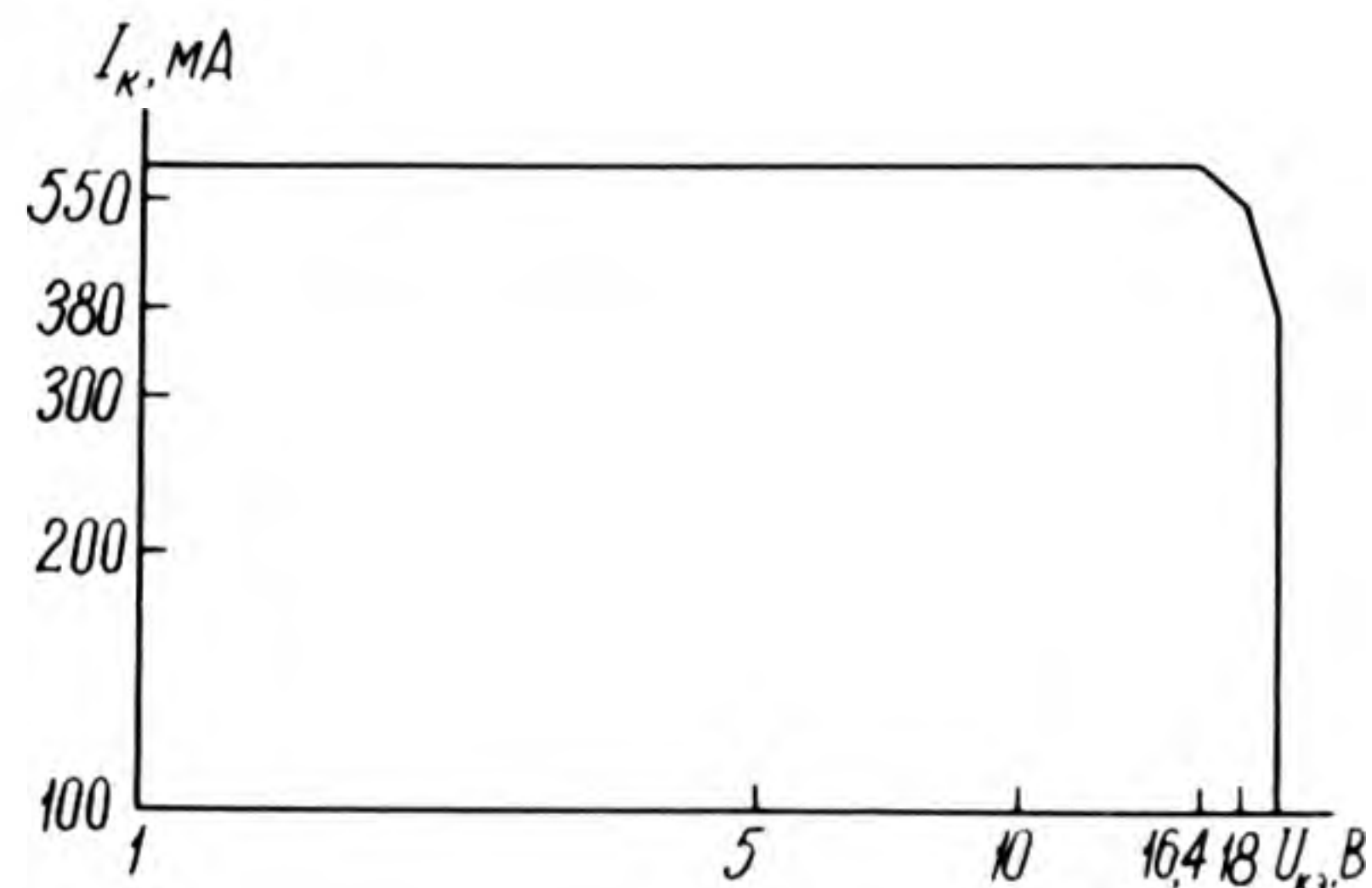
Предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от -60 до 125°C

Напряжение, В	
коллектор-эмиттер $U_{кз \text{ max}}$	22
эмиттер-база $U_{эб \text{ max}}$	3,5
Постоянный ток коллектора	
$I_k \text{ max}$, мА	550
Постоянная рассеиваемая мощность, $P_k \text{ max}$, Вт	
при $t_{корп}$ от -60 до 50°C	9*
Температура $^\circ\text{C}$	
перехода, $t_{п \text{ max}}$	150
корпуса, $t_{корп \text{ max}}$	125

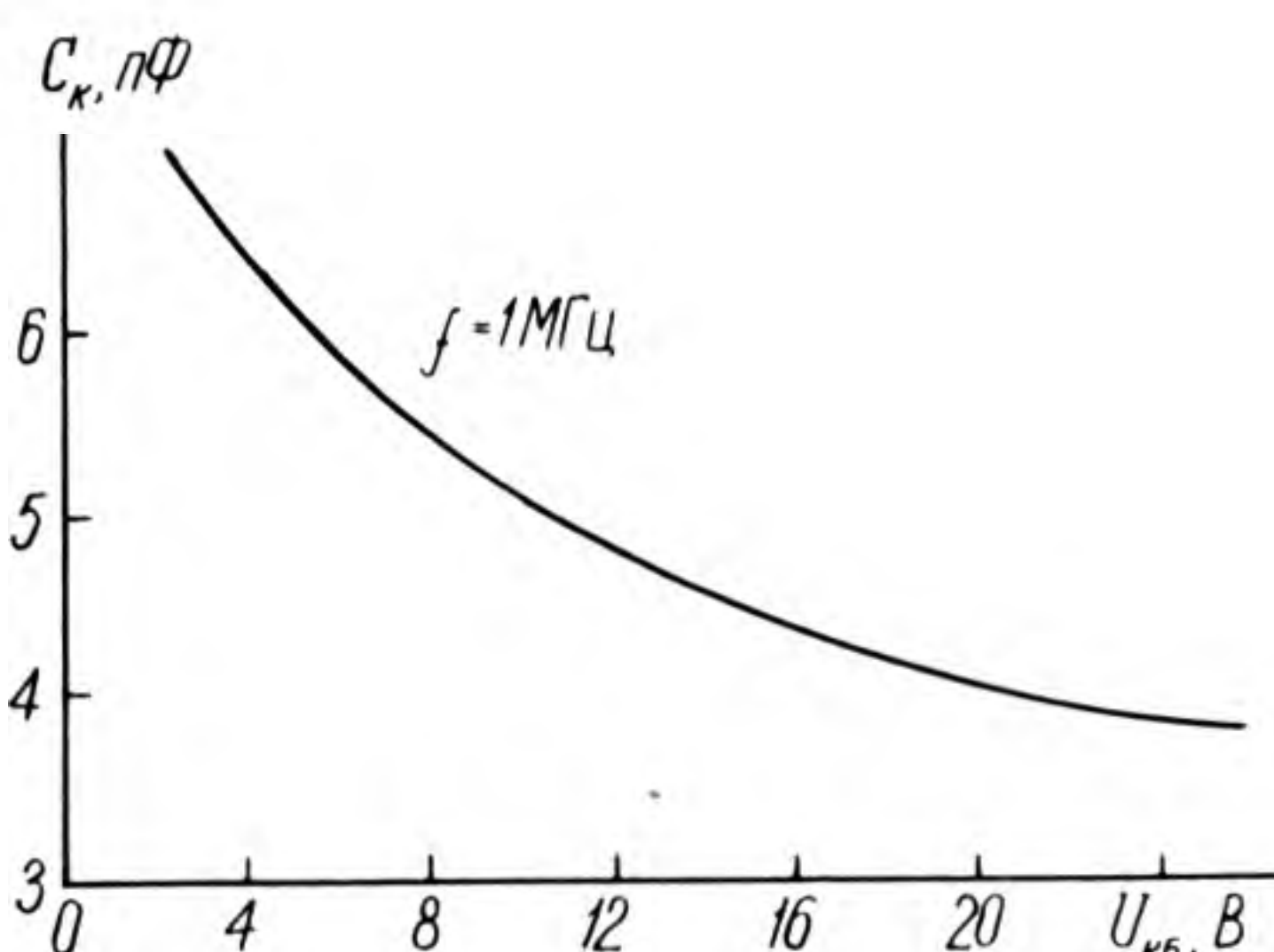
* При температуре корпуса более 50°C мощность рассчитывается по формуле

$$P_k \text{ max} = \frac{t_{п \text{ max}} - t_{корп}}{R_{т, п-к}} \text{ (Вт)},$$

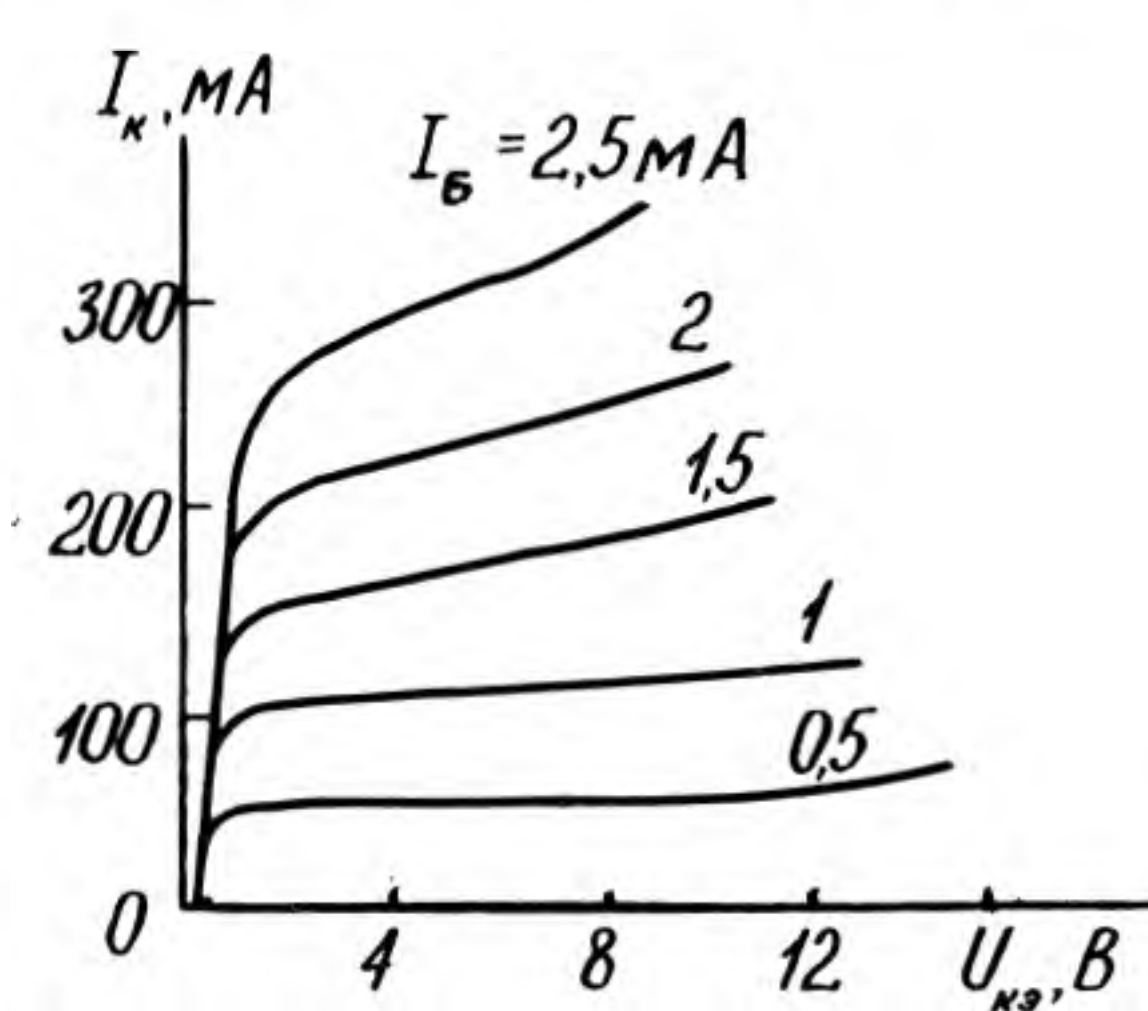
где $R_{т, п-к}$ — тепловое сопротивление переход-корпус, равное $12,2^\circ\text{C/Вт}$



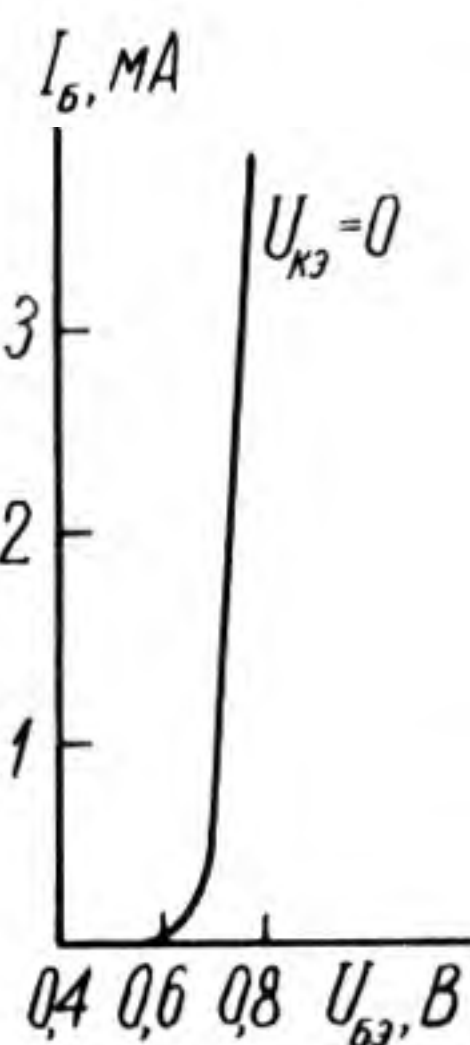
Область безопасной работы в статическом режиме при прямом смещении транзистора



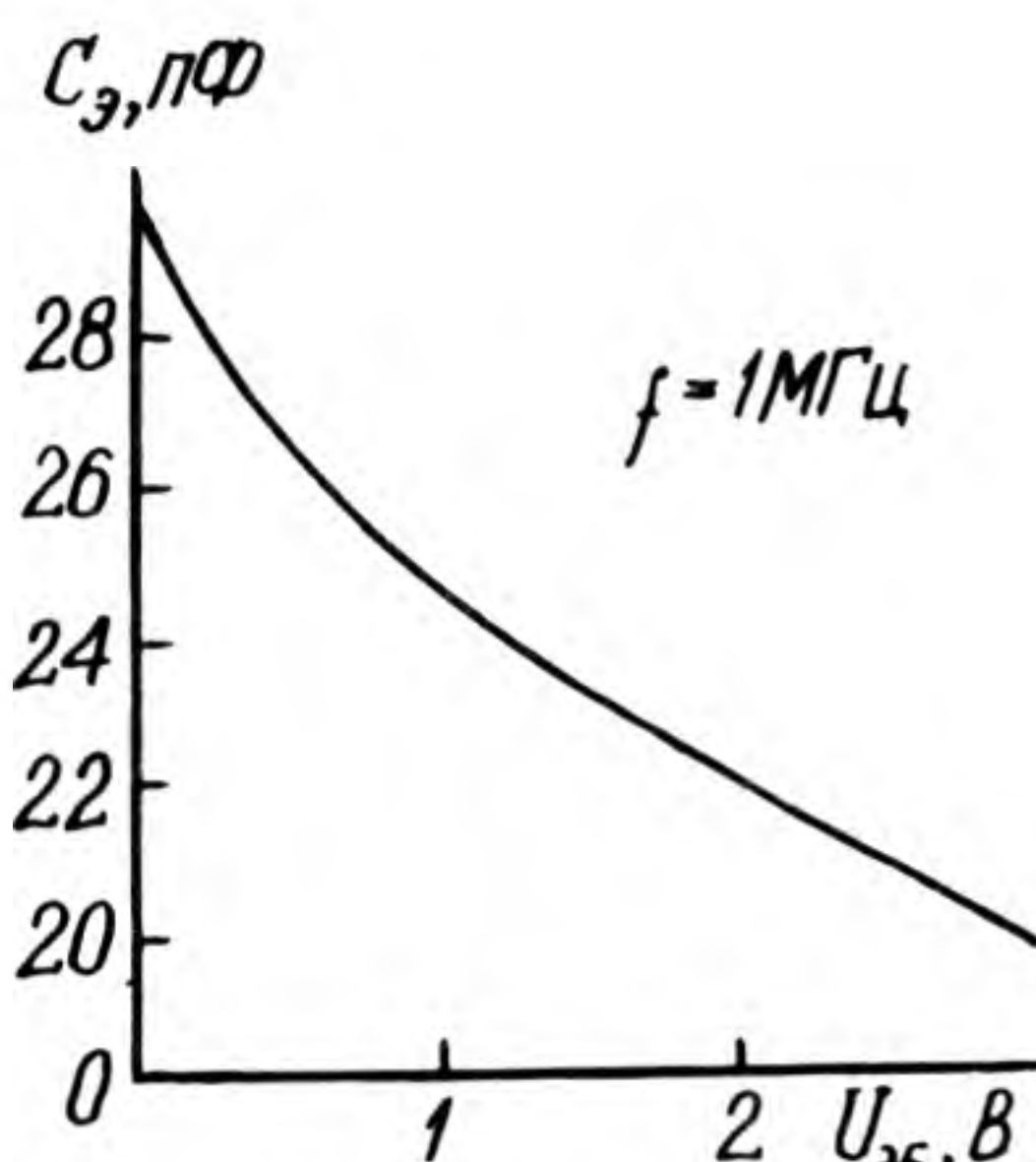
Зависимость емкости коллекторного перехода от напряжения коллектор-база



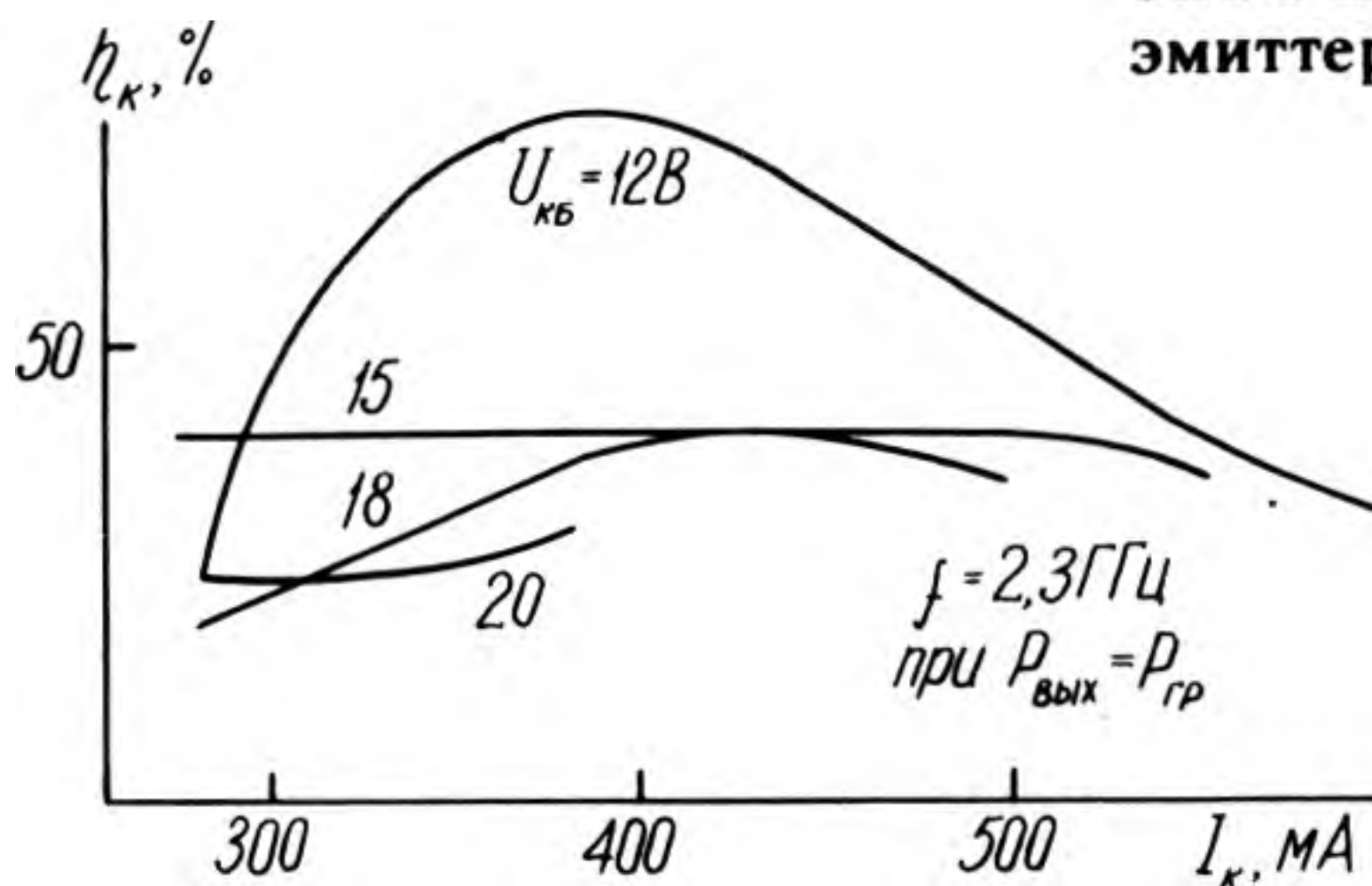
Типовые выходные вольт-амперные характеристики для схемы с общим эмиттером



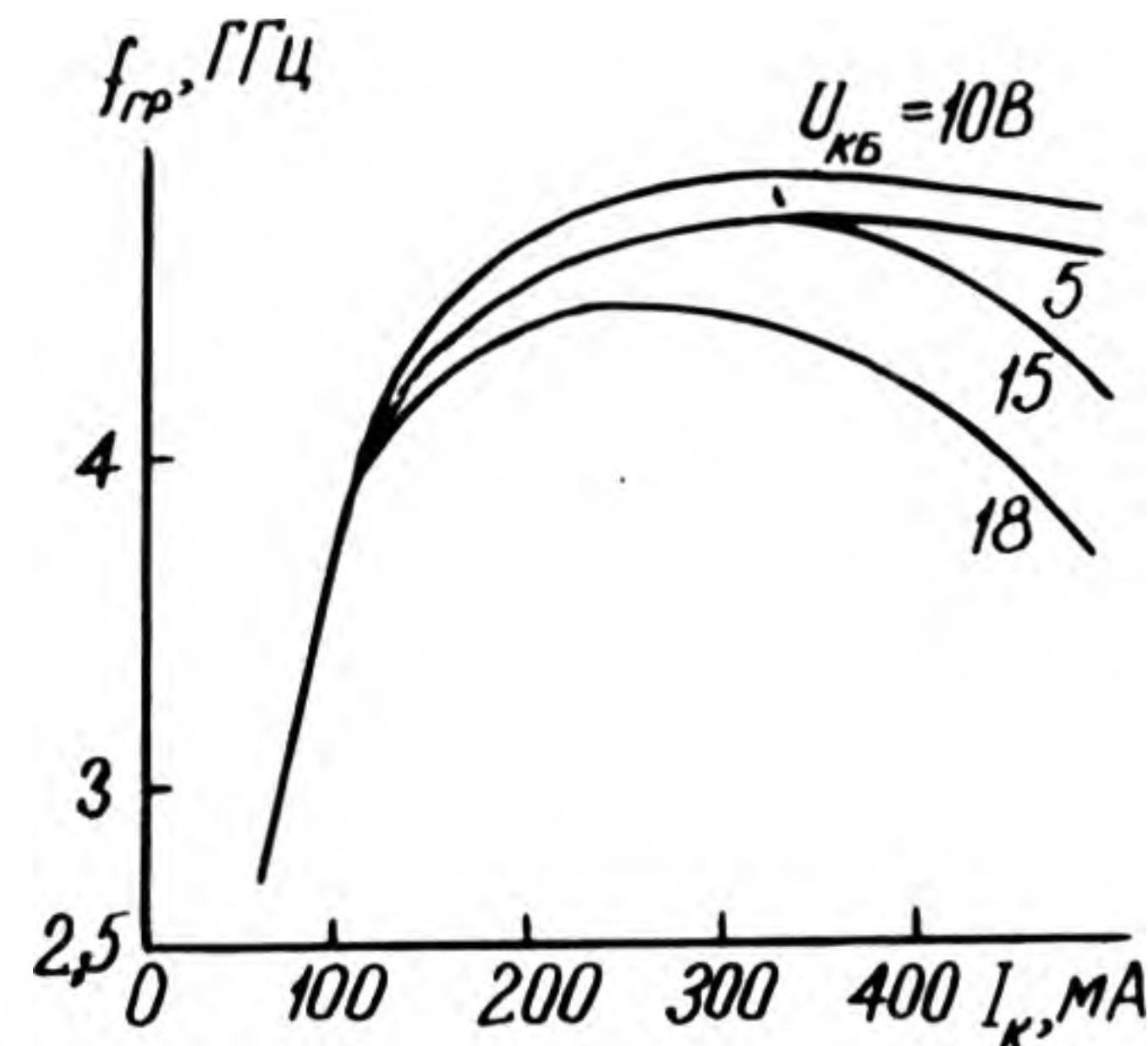
Типовая входная вольт-амперная характеристика для схемы с общим эмиттером



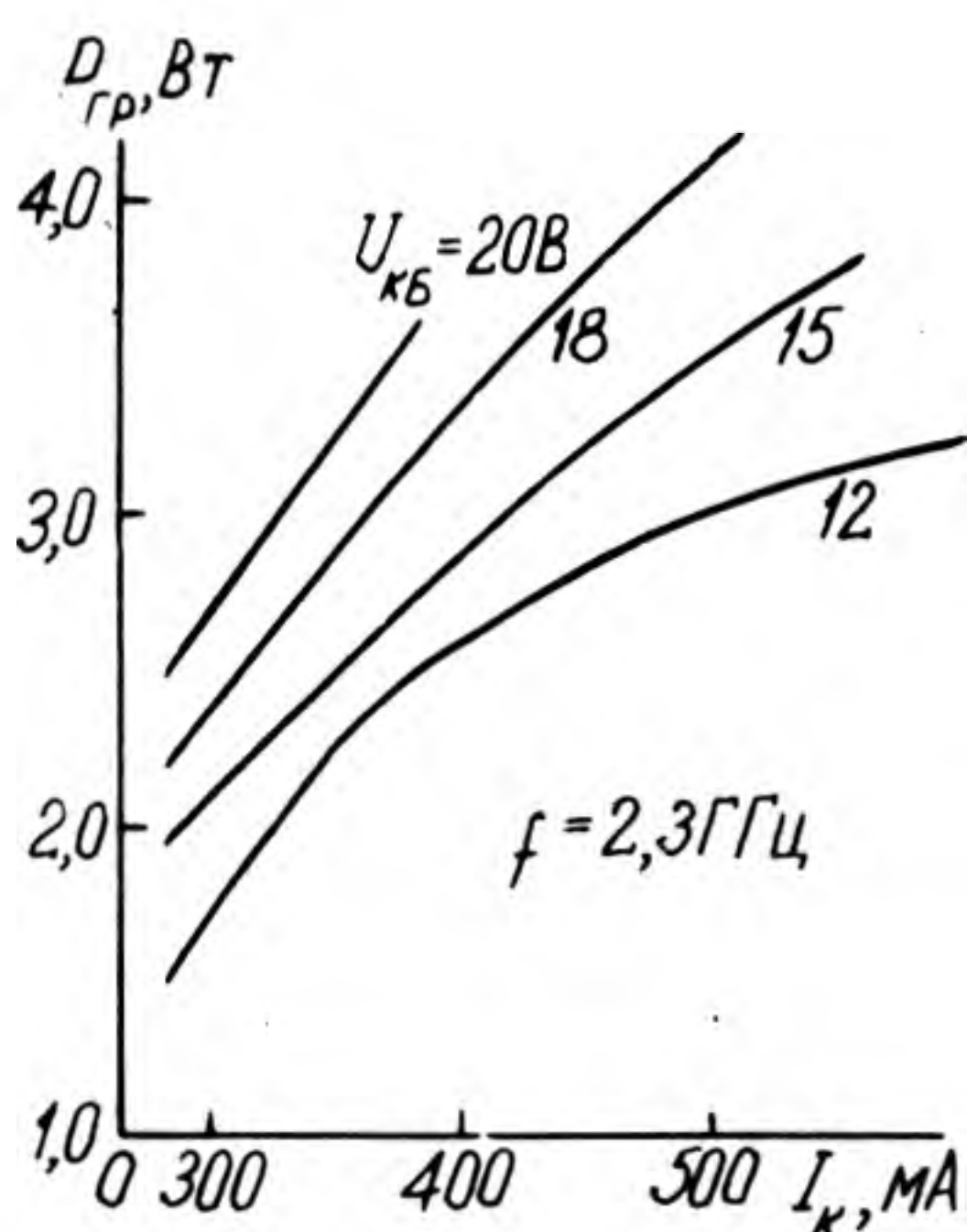
Зависимость емкости эмиттерного перехода от напряжения эмиттер-база



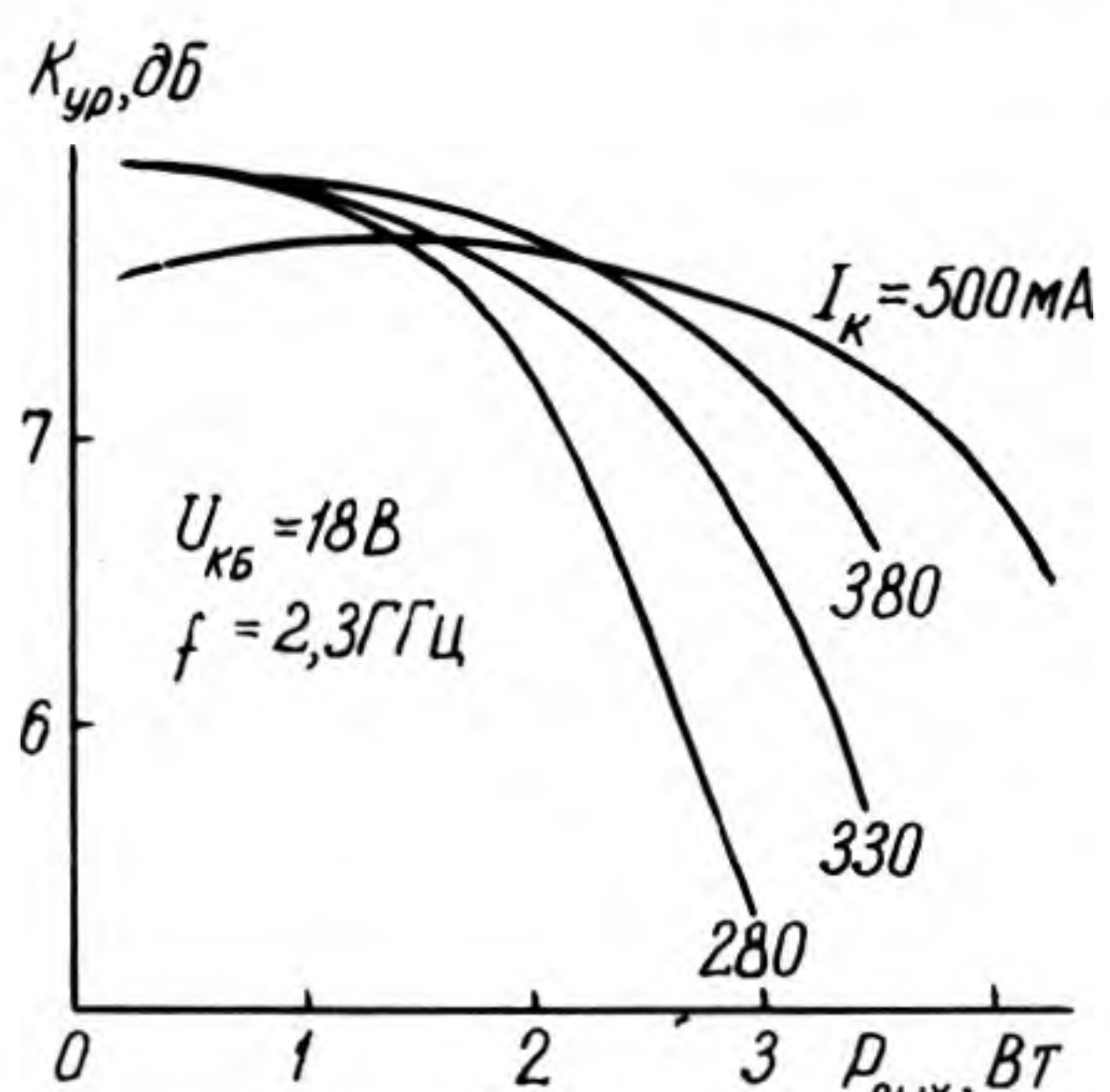
Зависимости КПД коллектора от тока коллектора



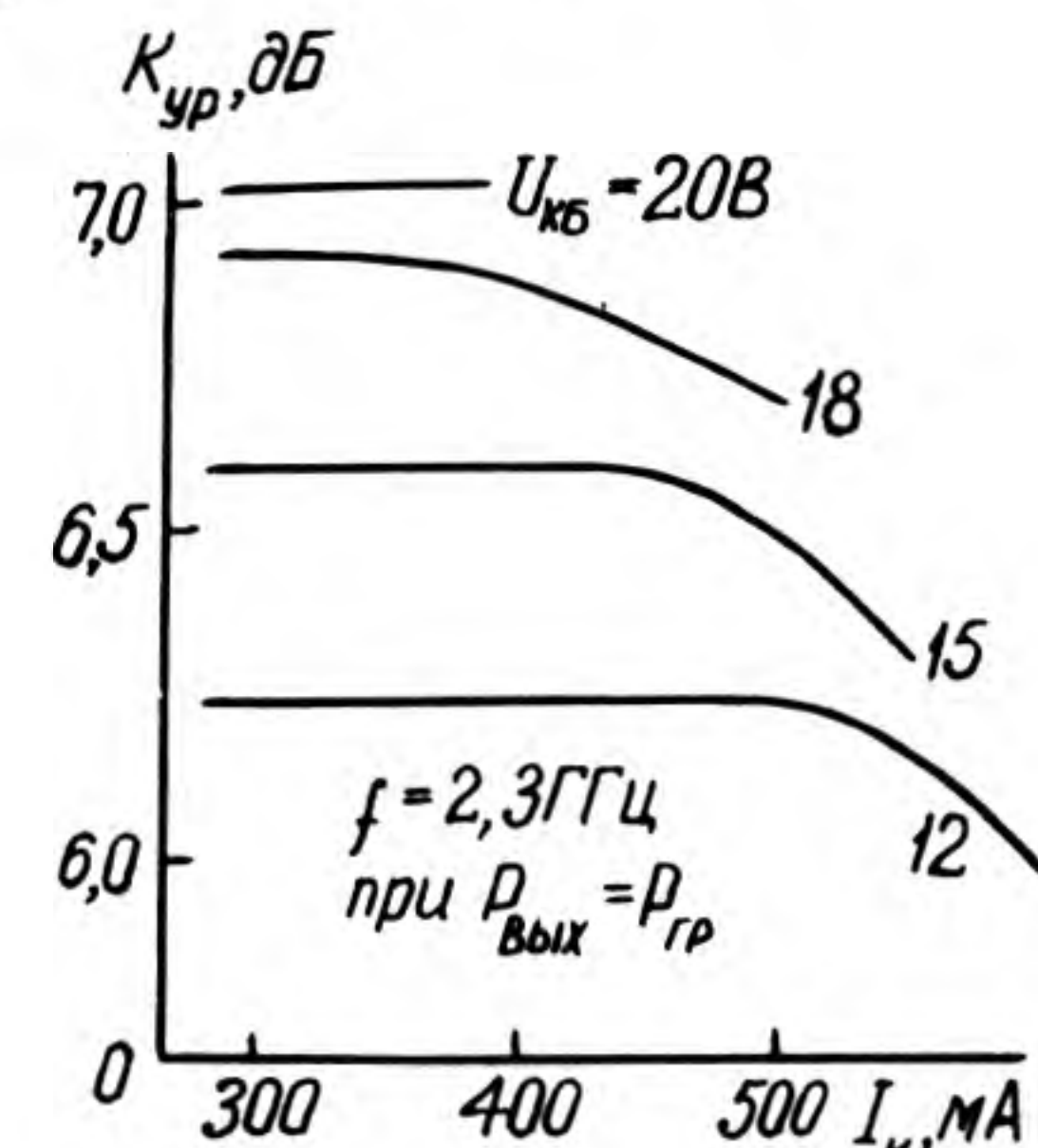
Зависимости граничной частоты от тока коллектора



Зависимость граничной мощности от тока коллектора



Зависимости коэффициента усиления по мощности от выходной мощности



Зависимости коэффициента усиления по мощности от тока коллектора

Т.И.Давыдова, Ю.А.Кузнецов, К.Б.Левицкий, Б.Л.Перельман

УДК 621.316.722.1

БАИСТОР КРЕМНИЕВЫЙ КЖ102А, КЖ102Б

Полупроводниковый прибор, состоящий из диода и резистора, температурные зависимости характеристик которых обеспечивают температурную стабилизацию рабочей точки. Предназначен для термостабилизации по постоянному току и температуре мощных линейных транзисторных ВЧ усилителей.

Изготавливается по эпитаксиально-планарной технологии. Конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе КТ-18.

Баисторы поставляют двух типов: КЖ102А — с отпаиваемым фланцем и массой не более 2 г (без фланца), КЖ102Б — с неотпаиваемым фланцем и массой не более 6 г.

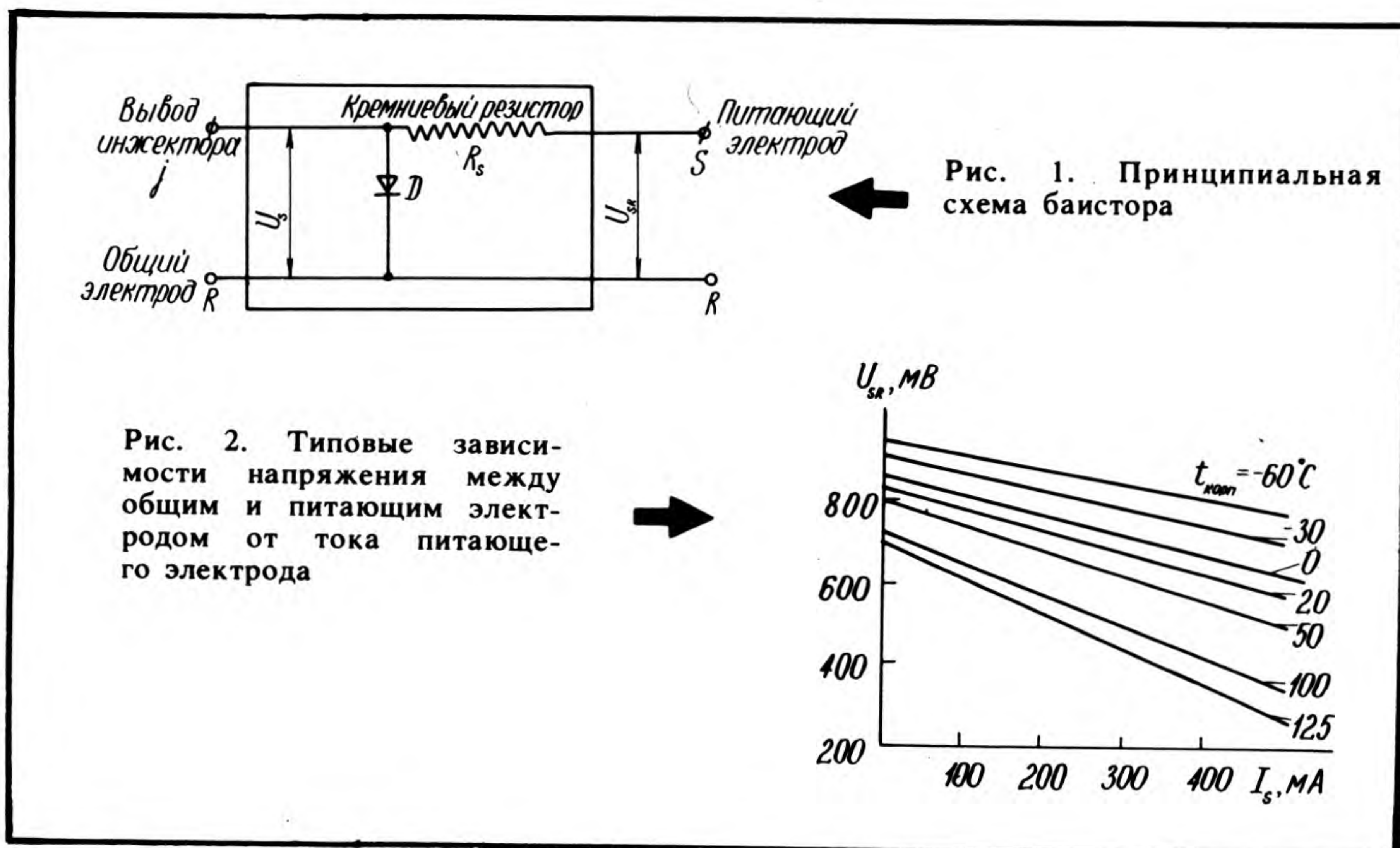
Сопротивление изоляции между выводом и корпусом баистора не менее 1 МОм.

Баистор рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -60 до 125°C на корпусе, при вибрационных нагрузках на частоте от 1 до 5000 Гц с ускорением до 40 g, многократных ударных нагрузках 150 g (длительность от 1 до 5 мс), одиночных ударных нагрузках 1500 g (длительность от 0,1 до 2 мс) и линейных нагрузках 500 g.

Принципиальная схема и основные зависимости баистора приведены на рис. 1, 2, а электрические параметры при $t_{\text{корп}} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ и предельно допустимые режимы эксплуатации — ниже.

Ток инжектора, J_j , А, не менее	0,7
Напряжение между общим и питающим электродами, U_{SR0} , В при $J_j = 0,7$ А, $J_s = 0$, не более	0,9
Снижение напряжения между общим и питающим электродами (при увеличении тока питания от 0,05 до 0,5 А, $J_j = 0,7$ А), $\Delta U_{SR(I)}$, %	от 22 до 36
Снижение напряжения между общим и питающим электродами (при увеличении $t_{\text{корп}}$ от 25 до 100°C при $J_j = 0,7$ А, $J_s = 0,5$ А), $\Delta U_{SR(T)}$, %	от 32 до 48
Сопротивление терморезистора, R_s , Ом при $J_s = 0,5$ А	
$t_{\text{корп}} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$	от 0,26 до 0,41
$t_{\text{корп}} = (100 \pm 5)^\circ\text{C}$	от 0,34 до 0,67
Предельно допустимый ток, А при $t_{\text{корп}} = (20 \pm 10)^\circ\text{C}$, не менее	
инжектора	1,2
питающего электрода	0,7

J_s — ток питающего электрода (S); J_j — ток, протекающий через вывод инжектора; U_{SR0} — напряжение на входящем в состав баистора диоде при заданной величине тока, протекающего через диод, и нулевом токе резистора; $\Delta U_{SR(I)}$ — относительное изменение (в процентах) напряжения U_{SR} для заданной величины тока инжектора при изменении тока питающего электрода от одного фиксированного значения до другого; J_s — ток, протекающий через вывод инжектора, терморезистора и питающий электрод при отключенном общем электроде, $\Delta U_{SR(T)}$ — относительное изменение (в процентах) напряжения U_{SR} для заданных величин токов инжектора и питающего электрода при изменении температуры корпуса от одной фиксированной температуры до другой.



А.Ф.Бобровников, Е.И.Гантман, Е.З.Мазель, Ю.А.Кузнецов, Б.Л.Перельман

УДК 621.383.292

КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР С КОЛЛЕКТОРОМ КЛИНЬЯ-ПОЛОСЫ

Для регистрации пороговых световых потоков на уровне одиночных фотонов разработан координатно-чувствительный детектор (КЧД) с коллектором клинья-полосы. Его можно также использовать для регистрации заряженных частиц.

КЧД представляет собой фотоэлектронный прибор. Координаты и моменты появления фотонов определяются по соотношению амплитуд и положению во времени электрических импульсов, возникающих в приборе под действием падающих фотонов.

Основные параметры КЧД

Диаметр чувствительной поверхности, мм	25
Область спектральной чувствительности, нм	400–850
Квантовая эффективность в максимуме спектральной характеристики	0,1 – 0,2
Модальное усиление	$2 \cdot 10^7$
Амплитудное разрешение импульсов, %, не более:	
для фотонов	80
для α -частиц	30
Пространственное разрешение, мкм	50
Временное разрешение, нс	1
Темновой фон при охлаждении, имп/с, не более	50
Предельная скорость счета, имп/с	$5 \cdot 10^4$

КЧД могут быть поставлены с системой пространственно-временной регистрации изображений.

Телефон для справок: 962-75-11

УДК 621.382.3:546.28

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ ТОВАРОВ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

В.Б.Грузиненко, В.А.Мартынов, Р.Н.Поспелов, Н.Е.Сергеев

Развитие современной радиоэлектронной аппаратуры связано с повышением точности, уменьшением габаритов и массы и увеличением производства бытовой аппаратуры. Соответственно резко возрастает объем поставок кварцевых резонаторов, применяемых в различных типах устройств: электрон-

ных наручных, настольных и других кварцевых часах, будильниках, технологических, бытовых таймерах и микропроцессорах, видеоманитофонах, теле- и радиоприемных устройствах с дистанционным управлением, автомобильной электронике, низовой радиосвязи, телефонии, фото- и киноаппаратуре, электронных играх, в составе тактовых генераторов устройств вычислительной техники, первичных датчиках различных физических величин. В качестве эталонов частоты и времени кварцевые резонаторы применяются в различных видах измерительной и другой РЭА.

Резонатор (тип корпуса), ТУ	Срез кварца	Частота, кГц	Точность настройки, 10^{-6}	Рабочий интервал температур, °С	Изменение частоты в рабочем интервале 10^{-6}	Сопротивление, добротность (средн.зн. $\times 10^3$)	Моночастотность, дБ
РК72(4А) ОДО.338.020ТУ	X	30,7; 31,25; 31,468 32,768	± 30	-10...+60	$\pm 50^*$ $\pm 100^{**}$	70* 40**	6 6
РК2(Э) ОДО.338.066ТУ	X	55,0—265,940	± 20 ± 30	-10...+60 -40...+70	100 150	50 520—900 Ом	25 40 50,60
РК293(Э) аЦО.338.093 ТУ	АТ	1000—6000	± 10	-30...+60 -10...+60	± 25 ± 20	100—50 Ом	55,60 70
РК180(С) ОДО.338.068 ТУ	АТ	2000, 4096—5184	± 15 ± 5 ± 10	+60...+70	± 3 $\pm 1,5$ $\pm 0,5$	300 150	40 50
РК172(МД) ОДО.338.028 ТУ	АТ	4432,200; 7156,160 8862,900	± 15	-10...+60	± 20	100...30	15
РК272 ОДО.338.063 ТУ	АТ	от 4 до 550	± 50 ± 30 ± 20	-10...+60 -20...+70 -40...+70 -60...+85	± 75 ± 100 ± 150 ± 250	25—1 кОм	30
РК233(4Д) ОДО.338.006 ТУ	X	32,768	± 30	-10...+60 -20...+30 1...+45	± 100 $\pm 11,6$ ± 40	30 кОм	6
РК104(С) ШЖЗ.380.100	АТ	5 мГц	$\pm 1,0$	+65...+75	$\pm 1,5$	25	
РК100 (КА) ОДО.338.016 ТУ	АТ	5—100 мГц	± 5 ± 10	-10...+60 -30...+60 -40...+70 -60...+85 +65...+75	$\pm 7,5; \pm 30$ $\pm 10; \pm 40$ ± 15 ± 20	20...65	6 10
РК188 (МД) ОДО.338.029 ТУ	АТ	4434,99 4432,745 3599,520	± 15	-10...+60 -30...+60	± 15 ± 30	100...60	
РК336(МД) ОДО.338.072 ТУ	АТ	3500—1000 4000—5000	± 15	-10...+60 -30...+60 -20...+70	± 20 ± 30 ± 30	100...60	
РК230(4В) ОДО.338.004	типа ДТ	256—550	± 20	-10...+60 -40...+70	+20; -50 +30; -50	70	
РК351(4В) АШПК.433510.003	АТ	3,9—12 мГц	$\pm 15,20$ 50,100 200	-10...+60	-40; +20 -30; +10	300, 100 60 Ом	
РК332 (КА) ОДО.338.069 ТУ	АТ	30—83 мГц	± 20	-10...+60	± 20	40 20	
РТ06 (4А) ОДО.338.079 ТУ	танталат лития	210—565	± 75	-10...+60	-100(Х) +200(ч)	90 Ом	

* класс А, ** класс Б

Высокие требования массового потребителя повлияли на создание в последнее время ряда резонаторов широкого применения, отвечающих современным требованиям и аттестованных на Государственный Знак качества (см. таблицу).

Кварцевые резонаторы типа РК72ЧА-А и РК233 широко применяются в наручных и настольных электронных часах типа «Электроника 12-41», «Электроника 13-11», «Электроника 7-06», «Электроника 19-02» и многих других. Резонаторы РК233 применяются в различных таймерах типа «Электроника ТК-01», а также в часах светильника ННБ-49-60-057, в декодирующем устройстве в канале цветности системы РА и СЕКАМ цветных телевизоров 4-го поколения типа ТЦ431Д, 51ЦТ434, ТЦ433, 7ТЦ433 и др. для обеспечения правильного воспроизведения. Широко используется в задающем генераторе резонатор типа РК172, отвечающий высокому требованию к фазе восстанавливаемой цветовой поднесущей при балансной модуляции. В радиоэлектронной аппаратуре нашли применение интегральные устройства пьезоэлектроники с внутренним термостатированием: резонаторы-термостаты, к которым относится РК-180Д. Высокая стабильность частоты, малые габариты, энергопотребление и время установления частоты, а также устойчивость к механическим воздействиям обусловили широкое применение РК-180Д в радиостанциях типа «Транспорт», полиграфическом обо-

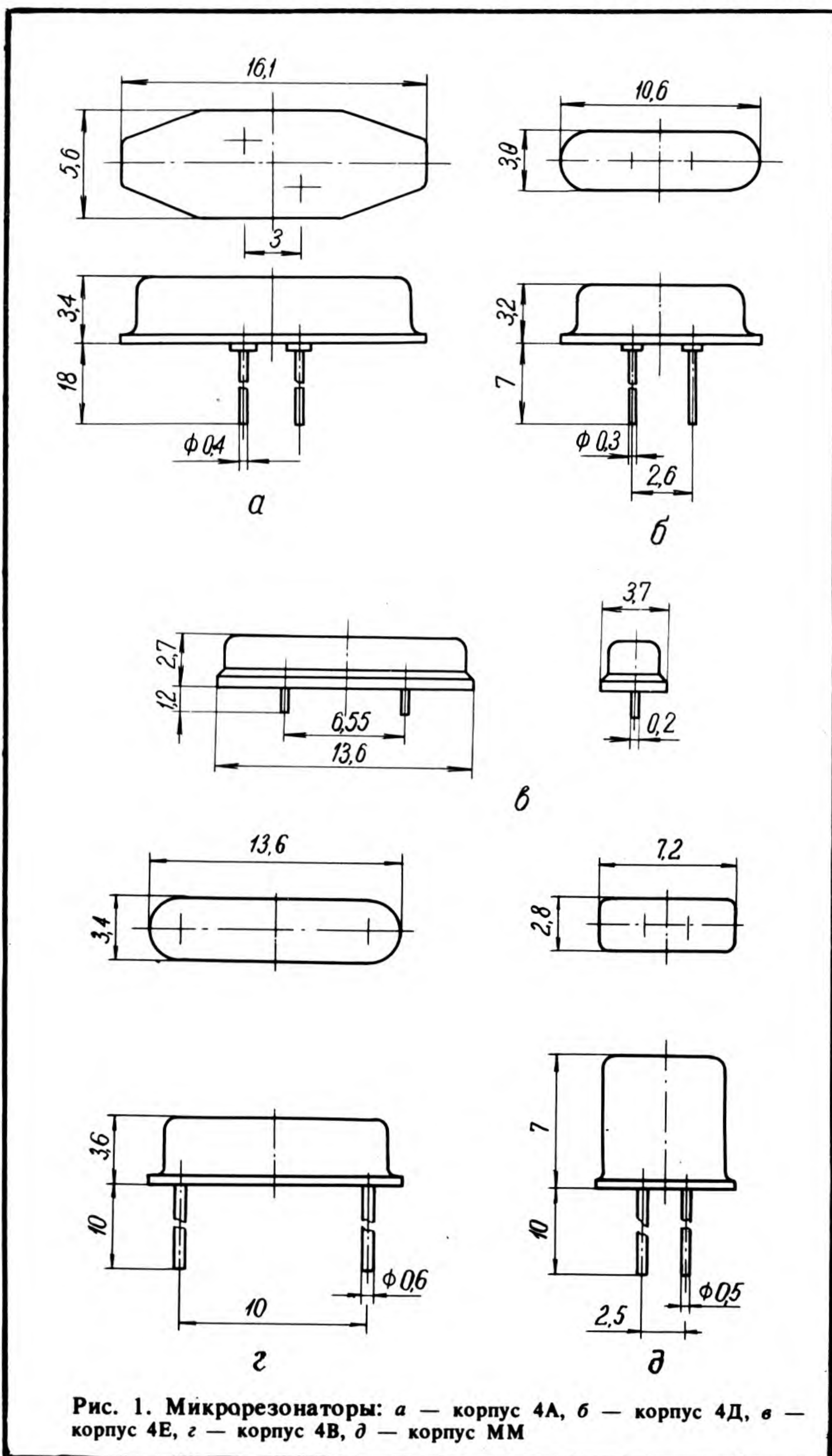


Рис. 1. Микрорезонаторы: а — корпус 4А, б — корпус 4Д, в — корпус 4Е, г — корпус 4В, д — корпус ММ

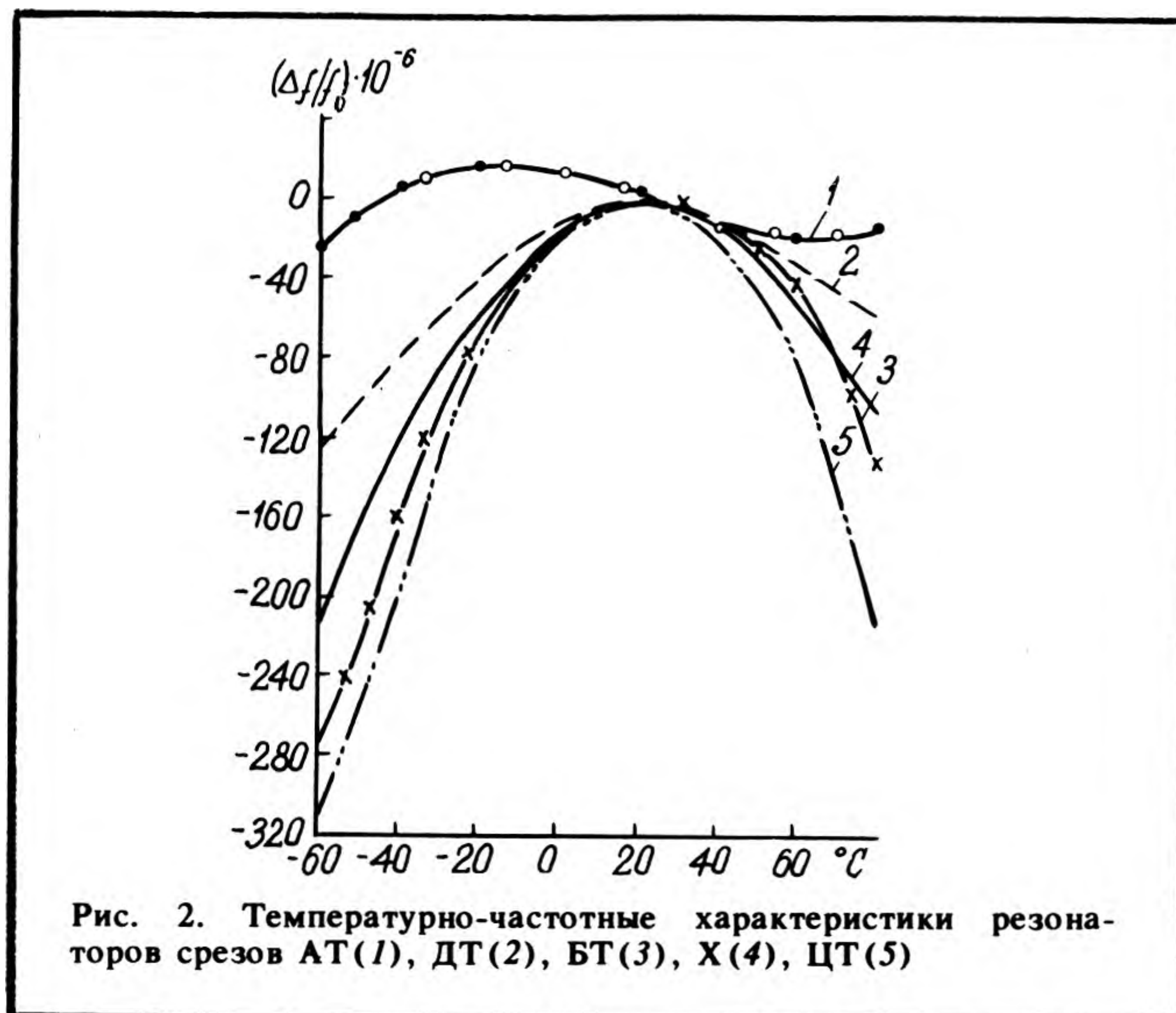


Рис. 2. Температурно-частотные характеристики резонаторов срезов АТ(1), ДТ(2), БТ(3), Х(4), ЦТ(5)

рудовании «ОКА-ГАЗЕТА», устройствах для проверки часов различных марок, а также устройствах противоаварийной защиты энергосистем.

Широкое развитие вычислительной техники, в том числе персональных и профессиональных машин типа ДВК-1, ДВК-2, ДВК-3, УКНЦ и др., а также видеоманитов типа ВМ12, ВМ15, ВМ18 обусловило применение в генераторах указанных устройств резонаторов типа РК336 и РК188, обеспечивающих высокую точность и быстродействие.

Среди многообразия измерительных устройств большое значение имеют приборы для измерения частоты — частотомеры. Нестабильность частоты опорных генераторов в частотомерах: 10^{-7} — 10^{-9} — кратковременная и $(1-2) \cdot 10^{-6}$ — долговременная — может быть обеспечена только прецизионными резонаторами типа РК104, которые широко используются в счетчиках частоты.

Развитие микропроцессорной техники для автоматизации практически всех видов производств (станки с ЧПУ, швейные машины и холодильники, металлургическое производство и т.д.) невозможно без применения высокостабильных, обладающих малыми габаритами кварцевых резонаторов РК109 и РК272. Кроме того, кварцевый резонатор РК272 нашел широкое применение в устройствах охранной сигнализации типа «Атлас», а также в устройствах «Трал», применяемых для ловли рыбы.

Кварцевые резонаторы типа РК2, РК293 и РК100 очень широко применяются в различных типах связной аппаратуры (радиостанции «Алтай», «Транспорт»).

Для широкополосных и узкополосных фильтров в системах дальней связи нового поколения разработаны микроминиатюрные вакуумные танталолитиевые резонаторы РТ-06 и высокочастотные кварцевые вакуумные резонаторы РК332, позволяющие довести количество каналов до 10800 в многоканальной связной аппаратуре. Эти резонаторы по техническому уровню превосходят зарубежные и отечественные образцы.

Некоторые типы перспективных корпусов резонаторов представлены на рис. 1. Наибольшее распространение получили металлокерамические микрокорпуса, обладающие высокой надежностью и малой скоростью натекания (тип 4В, 4А, 4Д) за счет лазерной технологии герметизации.

Для реализации высокой стабильности кварцевых резонаторов в конкретных схемах генераторов по зависимости частоты от температуры (рис. 2) определяются параметры элементов термокомпенсации и оптимальный режим термостатирования.

УДК 621.385.832

ИНДИКАТОРНАЯ ТРУБКА 36ЛМ1И

Индикаторная трубка с алюминированным прямоугольным широкоформатным экраном, с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением электронного луча. Предназначена для отображения графической и буквенно-цифровой информации в терминальных устройствах дисплейных систем и электронных телетайпов.

Экран	прямоугольный люминированный; соотношение сторон экрана по малой и большой оси 1:2
Оформление	стеклянное взрывобезопасное с боковым выводом на баллоне
Цвет свечения экрана	зеленый
Размер рабочей части экрана, мм, не менее	150x300
Светопропускание стекла (при толщине экрана 7 мм), %	52-70
Катод	оксидный косвенного накала
Угол отклонения луча по диагонали, град	110
Напряжение накала, В	6,3
Ток накала, А	0,3
Напряжение, В	
ускоряющего электрода	600
запирающее на модуляторе	от -60 до -15
модуляции, не более	36
фокусирующего электрода	0-600
Ток утечки, мкА, не более	
катод-модулятор	5
катод-подогреватель	20
Яркость свечения экрана, кд/м ² , не менее	100
Неравномерность яркости свечения экрана, %, не более	30
Ширина сфокусированной линии, мм, не более	
в центре	0,4
по краям	0,45
Электрическая прочность (количество пробоев в течение 3 мин)	отсутствуют
Положение неотклоненного пятна в круге диаметром, мм, не более	15
Емкость, пФ, не более	
катод - все остальные электроды	7
модулятор - все остальные электроды	10
анод - взрывозащитное устройство	500
Масса, кг, не более	4,5

Трубка сохраняет работоспособность при температуре окружающей среды от

70 до -60°C; относительной влажности воздуха до 98% при температуре до 25°C и при воздействии вибрации в диапазоне частот от 10 до 60 Гц с ускорением до 2g.

В процессе эксплуатации должны быть приняты меры для предотвращения повреждения рабочей поверхности трубки.

УДК 621.385.832.7

ВИДИКОН ЛИ494

Передающая телевизионная электронно-лучевая трубка (видикон) с магнитной фокусировкой и отклонением луча, с гетероструктурной фотопроводящей мишенью на основе селенида кадмия. Видикон предназначен для работы в малокадровой аппаратуре с построчным разложением изображения на 500 строк и временем кадра 2,5 с.

Ток сигнала, нА, не менее	10
Глубина модуляции тока сигнала в центре от группы 400 линий, %, не менее	50
Глубина модуляции тока сигнала в центре от группы 400 линий через 10 с хранения записанной информации, %, не менее	45
Инерционность спада через 2,5 с, %, не более	20
Темновой ток, нА, не более	0,2
Структурная помеха от тока сигнала, %, не более	7
Неравномерность тока сигнала по полю изображения, %, не более	30
Неравномерность темнового фона, %, не более	5
Ток накала, А	0,095
Время готовности, с, не более	90
Положение максимума спектральной чувствительности, нм	680-720
Ток утечки, мкА, не более	
катод-подогреватель	100
катод-модулятор	10
Рабочая площадь мишени, мм	9,5x12,7 или 11,5x11,5
Напряжение накала, В	5,7-6,9
Напряжение, В	
первого анода	270-330
второго анода	270-330
сетки	330-560
катод-подогреватель (отрицательный потенциал на подогревателе), не более	100
Масса, г, не более	60
Гарантийная наработка, ч	1000
Освещенность мишени в рабочем состоянии, лк, не более	15

УДК 621.385.832.7

ЭЛТ 50ЛК2Б

Кинескоп с прямоугольным алюминированным экраном белого свечения с углом отклонения луча по диагонали 110°, со средним временем послесвечения, с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением электронного луча, во взрывобезопасном исполнении, предназначен для черно-белого телевидения. Применяется в телевизионных приемниках III класса УХЛЗ.

Яркость свечения экрана, кд/м ² , не менее	185
Разрешающая способность, лин., не менее	
в центре	600
по углам	600
Ток накала, А	0,3
Напряжение накала, В	6,3
Напряжение, В	
фокусирующее, не более	400
запирающее	от -77 до -40
модуляции, не более	36
Ток утечки, мкА, не более	
между катодом и подогревателем (при напряжении -300 В относительно катода)	20
цепи модулятора	5
цепи анода	10
Напряжение, В	
накала (действующее значение)	5,7-6,9
анода	12000-20000
фокусирующего электрода (постоянное)	от -500 до 1000
ускоряющего электрода (постоянное)	350-700
модулятора	от -150* до 0
подогревателя	от -300** до 125
Среднее значение тока анода (катода), мкА, не более	350
Сопротивление цепи модулятора, МОм, не более	1,5
Масса, кг, не более	8,5
Гарантийная наработка, ч	10000

* Допускается кратковременный импульс напряжения модулятора до -250 В длительностью не более 1,6 мс.

** В течение 45 с после включения допускается изменение напряжения до -400 В.

Напряжения указаны относительно катода. Разрешается подавать на электроды кинескопа все напряжения питания одновременно с напряжением накала.

УДК 621.319.4.002.681.2

УСТАНОВКА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ УКЭ, КЭП-4000

Предназначена для контроля и сортировки по емкости, тангенсу угла диэлектрических потерь, по току утечки и отбраковки короткозамкнутых изделий, электролитических конденсаторов с однонаправленными выводами типа К50-35 I исполнение.

Установка выполнена на базе транспортирующего механизма агрегата 14ЭК-4000-036, измерительного прибора ПКЭ.КЭП-1-64, тренировочной планки, состоящей из 44 позиций электротренировки конденсаторов, двух измерительных позиций и трех позиций разряда конденсаторов и электронного блока памяти результатов измерения.

Конденсаторы в кассетносителях поступают на позиции электротренировки, где с помощью пружинных контактных устройств подается поляризующее напряжение к выводам конденсаторов через цепи ограничения тока на резисторах. После электротренировки конденсаторы поступают на позицию измерения короткого замыкания. В случае, если конденсатор короткозамкнутый, происходит запись результата измерения в соответствующем регистре памяти блока памяти и сигнал поступает на измерительный прибор ПКЭ.КЭП-1-64 для блокировки поляризующего напряжения на позиции измерения остальных электропараметров конденсаторов. На следующей позиции осуществляется измерение емкости конденсатора, его тока утечки и тангенса угла диэлектрических потерь. На управляющих выходах измерительного прибора имеется следующая информация об измеренном конденсаторе: «емкость больше», «емкость меньше», «брак по току утечки», «брак по тангенсу угла диэлектрических потерь» и «годные». Результаты измерения поступают в блок памяти установки и записываются в ОЗУ. Цикл работы установки построен таким образом, что информация с ячейки ОЗУ в первой половине цикла выводится на выгрузку изделия, поступившего на позицию выгрузки, а во второй половине цикла происходит запись информации в ОЗУ об изделии, только что измеренном на позиции измерения. Общее число циклов сдвига информации составляет 64, но каждый из регистров (их всего шесть) в зависимости от расстояния измерительной позиции по позиции выгрузки в нужный накопительный ящик имеет свой код. Конденсаторы выгружаются в накопительные ящики автоматически по команде с блока памяти. Время нахождения каждого из конденсаторов на позициях электротренировки составляет 1 мин.

Техническая характеристика

Диапазон измерения емкости	1—100 мкФ
Диапазон измерения тангенса угла диэлектрических потерь	5—99%
Диапазон измерения тока утечки	2,5—99,9 мкА
Поляризующее напряжение при $C_{ном} = 299,9$ мкФ	1—160 В
Кинематическая производительность установки	4000 шт./ч
Габаритные размеры	2640×680×1150 мм

Установка работает в полуавтоматическом режиме и обслуживается одним оператором. Для переналадки установки на другой номинал не требуется высокоточного оборудования (магазины емкостей, магазины сопротивлений) и переналадка осуществляется в течение 1 мин.

На установке можно проводить разбраковку по этим же параметрам и других типов конденсаторов с однонаправленными выводами, например, К53-19 II исполнение.

Разработанная установка в отличие от аналогов — полуавтоматов УХМ2.678.000 обеспечивает повышение

производительности сортировки конденсаторов К50-35 исполнение более чем в два раза. В настоящее время проводятся работы по возможности автоматизации загрузки изделий в установки.

А.А.Глухенький, Г.Х.Мельник

УДК 621.317.738

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ ПКЭ.КЭП-1-64

Предназначен для контроля величины емкости, тангенса угла диэлектрических потерь и тока утечки конденсаторов, разбраковки их на годные и брак при подаче на конденсатор поляризующего напряжения от 1 до 199,9 В.

Техническая характеристика

Диапазон измерения емкости	0,1—9999,9 мкФ
Диапазон измерения тангенса угла диэлектрических потерь	5—59%
Диапазон измерения тока утечки	3—10000 мкА
Погрешность разбраковки конденсаторов, не более, по емкости	±2% при $1000 \text{ мкФ} < C_{ном} < 1 \text{ мкФ}$ ±1% при $1 \text{ мкФ} \leq C_{ном} \leq 1000 \text{ мкФ}$
по тангенсу угла диэлектрических потерь	±(0,04tgδ+0,3%)
по току утечки	±4%
Частота измерительного напряжения	(50±0,5) Гц
Амплитуда измерительного напряжения при $C_x \geq 0,5 C_{ном}$	не более 0,6 В
Поляризующее напряжение при	
$C_{ном} \leq 99,9$ мкФ	1—199,9 В
$C_{ном} \leq 299,9$ мкФ	1—160 В
$C_{ном} \leq 999,9$ мкФ	1—100 В
$C_{ном} \leq 9999,9$ мкФ	1—63 В
Время выдержки при разбраковке	0,10,20,40 и 60 с
Время разбраковки	не более 0,19 с
Потребляемая мощность	не более 75 В·А
Напряжение питания переменного тока частотой 50 Гц	220 В
Габаритные размеры, мм	450×350×220
Масса	не более 15 кг

Прибор обеспечивает более высокое быстродействие (0,19 с) в отличие от аналогов МЦЕ-14АК (0,5—0,8 с) и ПИЭ.КДА-0,2 (0,8—1,2 с) без подачи поляризующего напряжения. Обладает способностью производить группу измерений 2, 4, 8, 16, 32, 48 или 64 раза одного или группы конденсаторов однократным запуском с последующим запоминанием результатов измерений в памяти с периодом измерения 0,16—0,19 с.

Благодаря высокому быстродействию прибора его можно применять в современных быстродействующих линиях для производства конденсаторов. Кроме того, способность измерения изделий группами 2, 4, 8, 16, 32, 48 и 64 шт. позволяет широко использовать прибор в установках и линиях с групповыми кассетами-носителями конденсаторов или в составе установки с использованием группового метода контроля электропараметров с объемом кассет на 64 изделия.

А.А.Глухенький, Г.Х.Мельник

УДК 621.373.826.038.824

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

Предназначен для входного контроля параметров постоянных резисторов и конденсаторов всех типов, выпускаемых отечественной промышленностью, кроме электролитических.

Установлено, что при 100%-ном входном контроле резисторов и конденсаторов ряд элементов не соответствуют по основным параметрам маркировке, что усложняет процесс регулировки радиоэлектронной аппаратуры и нередко является причиной брака готовых изделий.

Автоматизированный комплекс контроля резисторов и конденсаторов осуществляет контроль по допуску номинального значения, а конденсаторов — и по тангенсу угла потерь.

Техническая характеристика

Диапазон измеряемых сопротивлений	51 Ом — 1 МОм
Диапазон измеряемых емкостей	1000 пФ — 10 мкФ
по тангенсу угла потерь	0,002 — 0,999
Количество одновременно обраб. элементов	до 20
Время контроля элементов в кассете	15 с
Напряжение питания	220 В (50 Гц)
Потребляемая мощность	не более 600 Вт
Габаритные размеры	1200 × 800 × 1350 мм

В состав комплекса входят цифровой блок, дисплей, коммутатор элементов, цифровой измеритель индуктивности, сопротивления и емкости типа Е7-8, матричное печатное устройство.

Входные параметры (тип конденсатора, количество элементов в кассете, тангенс угла потерь) задаются оператором в интерактивном режиме с клавиатуры дисплея. Информация о результатах проверки элементов индицируется на экране и может распечатываться на алфавитно-цифровое печатающее устройство. Кроме того, комплекс позволяет накапливать информацию по партии деталей и проводить ее статистическую обработку.

Комплекс управляется микропроцессорной системой, построенной по магистрально-модульному принципу и выполненной на базе универсального набора модулей с использованием БИС 580 серии.

Цифровой измеритель L, C, R — типа Е7-8 позволяет проводить измерение параметров резисторов и конденсаторов в широком диапазоне номинальных значений. Результаты измерений представляются в цифровом виде и индицируются на 4-х газоразрядных индикаторах и одновременно выдаются на внешние разъемы, что позволяет подключить прибор к микропроцессорной системе.

Для обеспечения группового режима контроля разработан специальный релейный коммутатор, обеспечивающий последовательное подсоединение проверяемых элементов к прибору и индикацию расположения неисправного элемента.

Управляющая программа занимает 12 Кбайт ПЗУ. Программа решает следующие задачи: прием входных параметров, расчет допустимых границ изменения измеряемых величин, контроль режимов работы измерителя Е7-8, выбор очередного элемента для контроля, прием контролируемых параметров от измерителя; анализ этих параметров на вхождение в заданный диапазон, подсчет числа бракованных элементов по типам брака и общего числа бракованных элементов, индикация бракованных элементов на панели коммутатора, вывод результатов измерений статистики брака на экран дисплея, вывод статистики брака на печать. Программа допускает повторный контроль параметров элементов, расположенных в кассете коммутатора. Статистика брака ведется по партии деталей, не превышающей 65535 шт. Управляющая программа комплекса реализована в системе реального времени.

В перспективе данное оборудование может применяться в составе гибких производственных систем или участков на предприятиях.

М.М.Дикун, А.А.Камков, Т.П.Копытина, А.М.Хмелевский

УДК 681.785.554

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ СПЕКТРОМЕТР

Предназначен для выделения узкополосного излучения в видимой и ближней инфракрасной области спектра, преобразования световой энергии в электрический сигнал, его измерения и цифровой обработки. Спектрометр используется в вакуумных напылительных установках для контроля спектральных характеристик напыляемых покрытий в реальном масштабе времени.

В спектрометре использован акустооптический фильтр в качестве дисперсионного элемента, что позволяет производить электронную перестройку длины волны в пределах всего рабочего диапазона длин волн менее, чем за 10 мс и амплитудную модуляцию полезного сигнала с частотой до 5 кГц.

Техническая характеристика

Диапазон рабочих длин волн	500—1100 нм
Ширина оптической полосы пропускания	1—3 нм
Дискретность перестройки длины волны	0,1—0,5 нм
Минимальное время перестройки в пределах рабочего диапазона	10 мс
Динамический диапазон измерений оптического сигнала при времени измерения не более 60 мс	10 ⁵



ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫЙ ЛАЗЕР

ЛГН-221



Может использоваться в схемах управления в геодезии, строительстве, мелиорации, а также в метрологии, спектроскопии, медицине и научных исследованиях.

Малогабаритный гелий-неоновый лазер ЛГН-221А,Б — источник излучения с длиной волны 0,63 мкм, состоит из излучателя ИЛГН-217 и источника питания двух модификаций ИП-35А и ИП-35Б.

Универсальный источник питания ИП-35Б в отличие от ИП-35А, который работает только в составе систем и на постоянном токе с напряжением питания 12 В, содержит индикатор включения, выключатель, разъем для подключения напряжений 220 В (переменный ток) и 12 В (постоянный ток).

Высокая надежность вакуумной плотности излучателя обеспечивается пайкой колбы и зеркал резонатора излучателя с помощью стеклоцемента, что исключает огневую заварку и последующий отжиг спаев.

Техническая характеристика ЛГН-221

Мощность излучения в режиме ТЕМ ₀₀	не менее 1 мВт
Нестабильность мощности излучения	не более 5%
Отклонение оси диаграммы направленности от геометрической оси	
угловое	не более 10 ⁻³ рад
линейное	не более 0,25 мм
Угловая нестабильность оси диаграммы направленности после разогрева в течение 30 мин	не более 3·10 ⁻⁵ рад
Потребляемая мощность	
при напряжении 12 В	не более 11 Вт
при напряжении 220 В	не более 16 Вт
Средний технический ресурс	10000 ч
Габариты излучателя	∅44×248 мм
Масса излучателя	0,4 кг
Габариты источника питания	
ИП-35А	94×45×38 мм
ИП-35Б	140×97×58 мм
Масса	
ИП-35А	0,3 кг
ИП-35Б	1,2 кг
Ориентировочная стоимость: ЛГН 221А — 880 руб., ЛГН 221Б — 1000 руб.	

Технология изготовления кремниевых монокристаллических СВЧ ИС. На фирмах США усовершенствована технология изготовления кремниевых монокристаллических СВЧ ИС с диэлектрической изоляцией, что позволило в два раза снизить стоимость подложки и получить высокую граничную частоту биполярных транзисторов (более 8 ГГц при достаточно большой ширине эмиттера — 1,5 мкм). Разработана также технология ISOSAT, позволяющая создавать кремниевые ИС, сопоставимые по характеристикам с лучшими образцами монокристаллических GaAs СВЧ ИС на частотах более 5 ГГц.

Применение диэлектрической изоляции транзисторов в кремниевых монокристаллических СВЧ ИС вместо обычной изоляции обратносмещенным $p-n$ -переходом позволило увеличить межэлектродную проводимость, уменьшить паразитную емкость, повысить рабочее напряжение и радиационную стойкость приборов. Недостатком этой технологии (помимо малой степени интеграции ИС) является трудность соблюдения требуемых допусков на толщину коллекторной области (изолированных островков монокристаллического кремния n^+ -типа) при операциях шлифовки и полировки. Новая технология, разработанная на фирме Motorola, предусматривает изготовление коллекторной области в эпитаксиальном слое n -типа, осажденном на подложке n^+ -типа (вместо n -подложки с V -образными изолирующими канавками). Благодаря этому обеспечивается прецизионный контроль толщины коллекторной области. Кроме того, поскольку исключается операция создания диффузионных островков n^+ -типа, снижается стоимость подложки и уменьшается (в 10 раз) сопротивление коллектора.

По новой технологии создан трехкаскадный монокристаллический мощный усилитель типа MHW 2000 на шести транзисторах с встречно-ребенчатой структурой. Граничная частота транзистора превышает 8 ГГц при ширине эмиттера 1,5 мкм.

Значительным достижением в области технологии изготовления кремниевых монокристаллических СВЧ ИС является разработка на фирме AvanteK технологии ISOSAT, позволяющей улучшить контроль критических горизонтальных размеров структуры транзистора и профиля распределения легирующей примеси в переходе *мелкий эмиттер—коллектор*, что необходимо для получения высоких значений граничной частоты (15 ГГц) и максимальной частоты генерации (25 ГГц). Новая технология предусматривает использование всего четырех этапов маскирования. Она основана на таких хорошо отработанных процессах, как самосовмещение эмиттера и базы, сухое травление и ионная имплантация, позволяющая получить структуры с мелкими эмиттерами и базой шириной менее 0,1 мкм. Характерными особенностями ее являются обеспечение изоляции между транзисторами с помощью канавок и утопленных окисных слоев (благодаря чему можно создавать схемы с высокой степенью интеграции при малых значениях паразитной емкости), а также использование двухуровневых межсоединений (межсоединение второго уровня представляет собой воздушную перемычку) с целью уменьшения перекрестных искажений. На одном кристалле схемы может содержаться 200 активных компонентов.

В настоящее время на базе новой технологии разрабатывается серия монокристаллических многокаскадных маломощных усилителей с обратной связью с коэффициентом шума менее 3 дБ и коэффициентом усиления более 20 дБ на частоте 2 ГГц, созданы опытные образцы смесителя типа XAM-01, работающего на частотах до 4 ГГц, с усилением преобразования 2 дБ на частоте 1,5 ГГц и развязкой 25 дБ на частоте 3 ГГц, а также цифрового делителя частоты типа XFD-01 с рабочей частотой до 5 ГГц, коэффициентом деления 4 и малой потребляемой мощностью (125 мВт).

Получение КНС-структур высокого качества. Для изготовления ИС с элементами субмикронных размеров по КНИ-технологии нужны пленки высокого качества толщиной 0,1–0,2 мкм. Так как в настоящее время наиболее освоенным в промышленности вариантом КНИ-технологии является КНС, ученые Клемсоновского университета (Великобритания) сосредоточили усилия на выращивании высококачественных пленок на сапфировых подложках.

Метод, предложенный специалистами Клемсоновского университета, предусматривает выращивание на сапфировых подложках пленок кремния с высокой скоростью (более 4 мкм/мин, максимальная — 24 мкм/мин), что позволяет получать высококачественные слои толщиной 0,5–0,2 мкм без дополнительных обработок. Пленки осаждались на подложки диаметром 50 мм в вертикальном эпитаксиальном реакторе из смеси силана и водорода.

Процесс проводился при температуре 1050°C, толщина полученных пленок составляла 0,2; 0,5 и 1,0 мкм, неоднородность по толщине не превышала 10%. Пленки имели проводимость n -типа, концентрация электронов — 10^{14} см⁻³.

Предполагается, что благодаря высокой скорости подавляется рост монокристаллических островков, что позволяет выращивать тонкие непрерывные пленки монокристаллического материала с высокой подвижностью носителей. Отмечается, что для промышленного производства таких КНС-структур требуется автоматизировать процесс инъекции силана в камеру смешения газов с целью получения однородных по толщине пленок. Результаты свидетельствуют о возможности использования выращенных с высокой скоростью КНС-структур для изготовления КМОП/КНС СБИС.

Эпитаксия из молекулярных пучков — промышленный метод изготовления НЕМТ-БИС. Фирма Fujitsu (Япония) располагает хорошо отработанной технологией выращивания селективно легированных гетероструктур GaAlAs/GaAs методом эпитаксии из молекулярных пучков и готова начать промышленное производство СБИС на основе НЕМТ с субмикронной длиной затвора. По оценкам специалистов фирмы, месячная производительность превысит 1000 пластин диаметром 75 мм.

Гетероструктуры GaAlAs/GaAs, используемые для создания НЕМТ с субмикронной длиной затвора, должны обладать исключительно высокими характеристиками двумерного электронного газа, возможностью прецизионного контроля и сверхвысокой однородностью эпитаксиальных слоев, выращенных на подложках большого диаметра, по таким параметрам, как толщина, концентрация носителей и состав, а также низкой плотностью поверхностных дефектов и структурных несовершенств.

Разработана специальная установка, позволяющая одновременно обрабатывать три 75-мм подложки. В нее входят шесть камер, соединенных шиберами затворами: загрузки, подготовки подложки (удаления окислов и включений примесей, травления), две буферные (между камерами подготовки подложки и ростовой и между ростовой и камерой разгрузки), ростовая и разгрузки. Высокая однородность эпитаксиальных слоев, выращиваемых из твердых источников, обусловлена специальной конструкцией ростовой камеры. В установке обеспечиваются однородный (с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$) нагрев подложки с обратной стороны через пластину из пиролитического нитрида бора, а также низкие уровни механических напряжений в подложке и концентрации остаточных примесей в эпитаксиальном слое. Высокая стабильность интенсивности молекулярных потоков, достигаемая прецизионным контролем температуры эффузионных ячеек, существенно облегчает управление параметрами процесса, которое полностью осуществляется ЭВМ. На выращивание НЕМТ-структуры с толщиной слоев 0,7 мкм (включая все подготовительные и промежуточные операции) затрачивается 1,5 ч, что при 8-часовом рабочем дне соответствует месячной производительности более 300 пластин диаметром 75 мм.

Проведенные испытания готовых структур в логических схемах на полевых транзисторах с непосредственными связями показали их высокую однородность по основным параметрам: $\pm 1\%$ — по толщине и концентрации носителей ($\sim 1,2 \cdot 10^{18}$ см⁻³ для GaAs и $1,5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ для GaAlAs), $\pm 2\%$ — по подвижности электронов и поверхностной концентрации носителей, образующих двумерный электронный газ ($1,1 \cdot 10^5$ см²/(В·с) и $5,5 \cdot 10^{11}$ см⁻² при 77К соответственно).

Осуществляемые в новой установке операции очистки и травления подложки (в том числе и сухой газовой смесью HCl + H₂), обезгаживание галлиевого источника и тщательный контроль температуры его эффузионной ячейки позволили резко снизить плотность так называемых овальных дефектов, обусловленных попаданием на эпитаксиальный слой капель металлического галлия и его окислов, а также общее содержание дефектов (до 100 см⁻² против ~ 1500 см⁻² при использовании стандартной установки).

Дальнейшее уменьшение плотности поверхностных дефектов, а также создание новой высокопроизводительной технологии эпитаксии из молекулярных пучков, основанной на использовании газообразных источников, послойного управления процессом осаждения и атомно-плоской подложки, создает предпосылки для освоения производства СБИС на НЕМТ-структурах с длиной затвора менее 0,25 мкм.

Эпитаксия атомных слоев — перспективный низкотемпературный метод создания гетероструктур. По мере появления новых классов приборов на основе гетероструктур и повышения требований к электрофизическим параметрам известных приборов возникает необходимость применения строго контролируемой технологии выращивания эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений стехиометрического состава. Примером такого процесса является эпитаксия атомных слоев (ЭАС), позволяющая осаждать очень тонкие пленки с высокой однородностью по толщине на плоскостях с разной кристаллографической ориентацией, получать резкие границы раздела двух материалов, осуществлять селективную эпитаксию.

В настоящее время методом ЭАС получают полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$ и твердые растворы на их основе. Процесс ЭАС представляет собой хорошо контролируемый послойный рост пленки стехиометрического состава, при котором на начальной стадии происходит осаждение на поверхность подложки монослоя молекул металлоорганического соединения, содержащего элемент A^{III} , фрагменты которых затем реагируют с гидридами, содержащими элемент B^V . В отличие от традиционных газофазных процессов, при которых исходные вещества одновременно поступают к подложке, при ЭАС осаждаются чередующиеся монослои каждого составляющего элемента соединения.

По сравнению со стандартным процессом химического осаждения из паров металлоорганического соединения (МОХОПФ) ЭАС протекает при пониженных (445–500 против 750°C) температурах подложки. Кроме того, в отличие от МОХОПФ-метода, при котором скорость роста прямо пропорциональна потоку металлоорганического соединения (рост пленки лимитируется процессом диффузии), при ЭАС скорость практически не зависит от величины газовых потоков.

В каждом цикле выращивания формируется только один слой соединения $A^{III}B^V$. С помощью этой технологии можно выращивать пленки высокой степени однородности путем многократного повторения этого цикла осаждения. Толщина эпитаксиальной пленки при ЭАС определяется количеством циклов выращивания, а не их длительностью или величиной газового потока.

Для проведения процесса ЭАС соединений $A^{III}B^V$ пригодны стандартные для МОХОПФ-метода исходные материалы и установки. Осуществляется он при условии быстрой смены исходных газов, так как инжекция газа проводится в четыре этапа — импульсами длительностью 1 с каждый: чистого водорода, триметилгаллия (ТМГ) или триметилалюминия и водорода. Средняя продолжительность присутствия газа каждого типа в реакционной камере составляет 0,5 с при высоких газовых потоках, что позволяет свести к минимуму смешение исходных газов в рабочем объеме. В некоторых случаях для быстрого изменения температуры роста слоев может применяться ИК нагрев.

Для метода ЭАС характерна высокая однородность по толщине выращиваемого слоя. Специалистами Южно-Калифорнийского университета были получены гетероструктуры $GaAs/AlGaAs$, предназначенные для изготовления лазеров с квантово-размерной структурой (толщина активной области — 7 нм), с разбросом по толщине, не превышающей одного монослоя. При изменении режимов роста в одной установке могут быть выращены высококачественные гетероструктуры $GaAs/Al_{0,5}Ga_{0,5}As$.

Таким методом изготовлены инжекционные лазеры с квантово-размерной структурой.

Быстрая термическая обработка — универсальный технологический процесс в микроэлектронике. В настоящее время с помощью метода быстрой термообработки (БТО) изготавливаются высококачественные кремниевые и арсенидгаллиевые транзисторы, ИС и фотогальванические элементы. БТО — единственный процесс, позволяющий выполнять определенные критические этапы изготовления некоторых типов приборов на основе сложных полупроводниковых соединений (транзисторов с высокой подвижностью электронов, резонансных туннельных приборов и высокоэффективных солнечных элементов). По мнению специалистов, в будущем БТО станет основным методом прецизионного контроля состава и структуры сверхпроводниковых материалов.

Технология БТО основана на применении некогерентных источников света. Ее основными достоинствами являются: возможность точного контроля физических и химических процессов путем быстрого изменения температуры обрабатываемой структуры, а также минимальный общий температурный бюджет процесса, малая потребляемая мощность, высокие производительность и экономическая эффективность. Быстрый вывод на температурный режим (со скоростью 350°C) позволяет достичь 1000°C за 3 с. Благодаря малой длительности обработки (10^{-8} – 10^2 с) требуемый результат (рост пленки, активация легирующей примеси или отжиг дефектов) достигается без диффузии примеси, реакции материалов на границе раздела и других негативных процессов.

Метод БТО применяется для оплавления фосфоросиликатного стекла, окислов, формирования тонких пленок окислов и силицидов тугоплавких металлов, а также отжиг алюминиевых контактов на кремнии. По мнению специалистов, широкое внедрение в промышленность БТО-установок будет стимулироваться необходимостью выращивания тонких пленок силицида титана для формирования низкоомных контактов стока, истока и затвора полевых транзисторов.

Новые материалы для изготовления многокристалльных микромодулей. В настоящее время более тридцати фирм занимаются разработкой материалов для изготовления микроэлектронных устройств (МЭУ). Предложены новые, стабильные, с высокой теплопроводностью, выдерживающие повышенные влажности и температуру, керамические материалы, на которые

могут наноситься диэлектрические и металлические покрытия. Ведутся поиски новых органических диэлектрических материалов с низким значением диэлектрической постоянной, предназначенных для совместного использования с медной металлизацией в негерметичных корпусах.

Размер корпусов МЭУ с высокой степенью интеграции постоянно увеличивается, это вызывает необходимость применения материала подложек с лучшим соответствием по коэффициенту линейного термического расширения (КЛТР) кремниевым кристаллам с ИС, чем у традиционного оксида алюминия. Кроме того, большое значение диэлектрической постоянной и недостаточно хорошие термические свойства оксида алюминия не позволяют усложнить конструкцию МЭУ.

КЛТР таких материалов, как нитрид бора, окисел бериллия, графит, отличающихся хорошей теплопроводностью, не соответствует предъявляемым требованиям, поэтому эти материалы не находят применения.

Для обеспечения лучшего теплоотвода кристалл должен монтироваться на подложку с использованием очень тонкого слоя адгезива, поскольку последние характеризуются крайне низкой теплопроводностью и при использовании толстых пленок возникает большое термическое сопротивление. При использовании тонких слоев адгезива материал подложки по КЛТР должен быть близким им, в противном случае кремниевый кристалл может расколоться.

Широкое распространение для изготовления активных и пассивных элементов с помощью стандартной кремниевой технологии получили кремниевые подложки с высокой удельной теплопроводностью (150 Вт/м·град).

В качестве подложек используются и керамические материалы с высокой диэлектрической постоянной. Материал для освоения, допускающего непосредственное крепление кристалла должен иметь КЛТР, равный $\sim (2,5-3,5) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ в диапазоне температур 20–25°C. В настоящее время выделяют три пригодных для этих целей материала — муллит, нитрид алюминия и карбид кремния.

Муллит значительно уступает двум другим по теплопроводности, хотя соответствует требованиям, предъявляемым к КЛТР и диэлектрической постоянной.

При подборе материалов для изготовления многослойной металлизации в МЭУ необходимо учитывать взаимодействие электромагнитных полей соседних проводящих дорожек. В этом случае минимальное расстояние между ними определяется допустимым уровнем перекрестных помех ($\sim 10\%$) и значением характеристического сопротивления межсоединений как ЭСЛ, так и КМОП-схем (не менее 50 Ом). Учитывая, что характеристическое сопротивление из-за своего емкостного характера пропорционально толщине диэлектрика и обратно пропорционально ширине проводящих дорожек и величине диэлектрической постоянной, одним из возможных путей ослабления такого взаимодействия может стать замена традиционных диэлектриков (двуокиси кремния, эпоксидной смолы) новыми с меньшей величиной диэлектрической постоянной и одновременное уменьшение толщины диэлектрической пленки. При использовании полиимидов толщиной 15 мкм, имеющего приблизительно в два раза меньшую диэлектрическую постоянную, чем эпоксидная смола и двуокись кремния, соединительные линии шириной 15 мкм характеризуются достаточно малой паразитной емкостью. Даже при изготовлении МЭУ с полиимидной межслойной изоляцией по стандартной технологии с шириной линий 25 мкм коммутация между кристаллами может быть полностью выполнена с помощью двухуровневой металлизации (по мнению специалистов, в ближайшее время более сложные системы не потребуются).

В современных системах металлизации чаще всего используются алюминиевые и медные пленки. Однако в системе *медь-полиимид* необходимо создавать барьерный слой хром/никель для предотвращения диффузии меди в полиимид. Из-за возникновения в этом случае технологических сложностей более широко применяется система *алюминий-полиимид*, отличающаяся простотой изготовления и позволяющая получать трассы шириной 15 мкм и длиной 20 см и более. Отмечается, что полиимид абсорбирует влагу из окружающей среды, что приводит к изменению его диэлектрической постоянной.

На фирме **Dow Chemical** создан новый класс полимерных материалов, названных бензоциклобутенами (BCB) с диэлектрической постоянной 2,66 (в два раза ниже, чем у полиимидов при негерметичных условиях эксплуатации), что позволяет уменьшить расстояние между проводниками в МЭУ с 75 до 40 мкм, использовать более тонкие диэлектрические пленки при постоянной ширине проводящих дорожек. На частоте 1 кГц новый полимерный материал имеет фактор рассеяния 0,001, а полиимид в тех же условиях — 0,002. Абсорбция воды BCB материалом после погружения на 24 ч в воду при температуре 100°C составляет 0,5% от собственного веса против 2–3% для полиимидов в тех же условиях.

Дайджест "Экспресс-информации" ЦНИИ "Электроника", вып. 125, 156/157, 172, 177–179, 202, 204–206, 216 за 1989 г.

Электропроигрыватель «Электроника ЭП-017 стерео»



— Малые габариты и вес,
— электронное управление
звукоснимателем — автоматическая
установка на пластинку и возврат
в исходное положение,
— уменьшенная приведенная масса
звукоснимателя, обеспечивающая
минимальный износ грампластинки
и минимальные искажения сигнала при
проигрывании,
— электронное демпфирование
резонанса звукоснимателя
в горизонтальной плоскости,
— кварцевая стабилизация частоты
вращения грампластинки,
— двигатель с непосредственным
приводом диска — основные
достоинства электропроигрывателя
высшей (нулевой) группы сложности
«Электроника ЭП-017 стерео».

Назначение проигрывателя — воспроизведение стереофонической и монофонической грамзаписи в сочетании с высококачественным усилителем низкой частоты, имеющим вход для магнитного звукоснимателя с чувствительностью 3—5 мВ и высококачественными акустическими системами.

Благодаря облегченному тонуруму возможно применение высококачественных головок с повышенной гибкостью подвижной системы. Динамическое демпфирование основного резонанса позволяет проигрывать коробленные пластинки без заметного ухудшения качества воспроизведения, исключает перегрузки усилителя на низких частотах, улучшает разделение между стереоканалами на частотах ниже 150 Гц.

Электронное управление тонурумом предупреждает возможность случайного повреждения пластинки или подвижной системы звукоснимателя.

Корпус проигрывателя выполнен литьем из алюминиевых сплавов, что снижает чувствительность устройства к акустическим воздействиям.

Частота вращения грампластинки 33,33;
45,11 об/мин
Номинальный диапазон воспроизводимых
частот 20—20000 Гц
Чувствительность 0,7—1,7 мВ/см/с
Разделение между стереоканалами на
частоте 1000 Гц —
не хуже минус 25 дБ
Отношение сигнал/фон — не менее 70 дБ
Коэффициент детонации — не более 0,1%
Прижимная сила 7,5—12,5 мН
Питание — сеть 220 В
Потребляемая мощность 15 Вт
Габаритные размеры 120×400×340 мм
Масса 10 кг
Цена 270 руб.

Автоматизированное складское оборудование

Автоматизированные складские системы СКА-0,05 (шести модификаций) и стеллажные установки для электротермотренировки радиоэлектронной аппаратуры УСЭТТ-0,5 и УСЭТТ-0,25 (пяти модификаций) поставляет по прямым связям Производственное объединение «Тисса».

Складские системы СКА-0,05

предназначены для программируемого перемещения грузов (помещенных в технологические кассеты размерами 460×460×250 мм) штабелерами между столами приема-выдачи и ячейками стеллажа, размещения и хранения их в ячейках стеллажа.

Модель	Габаритные размеры, мм	Число ячеек, шт.	Масса, кг
СКА-0,05-1	18220×1704×3197	308	2980
СКА-0,05-2	30000×1704×3197	616	4940
СКА-0,05-3	18220×1704×4807	528	4615
СКА-0,05-4	30000×1704×4807	1056	7365
СКА-0,05-5	18000×2820×4040	594	7764
СКА-0,05-6	22000×2410×4235	576	90601

Грузоподъемность, кгс	50
Производительность, операций/ч	30
Точность позиционирования, мм	±3
Электрическая мощность, потребляемая одним штабелером, кВт	1,5
Наработка на отказ, ч	400
Средний срок службы, лет	10
Система управления автоматизированным складом — «Электроника МС-2105».	

Стеллажная установка электротермотренировки УСЭТТ-0,5

предназначена для автоматического транспортирования, размещения и подключения в стеллаже стенов СЭТТ.ИМЭ.2400.040 с тренируемыми изделиями, осуществления связи стенов с системой управления и контроля электротермотренировкой. В состав установки входят: стеллаж с электрооборудованием, штабелер, столы приема-выдачи, пульт управления.

Грузоподъемность штабелера, кгс	500
Производительность, циклов/ч	20
Точность позиционирования, мм	±5
Число ячеек стеллажа, шт.	192
Габаритные размеры ячеек стеллажа, мм	960×1170×1050
Потребляемая электрическая мощность (без стенов), кВт	15
Габаритные размеры, мм	26000×4000×10000
Масса, т	18,5

Стеллажная установка электротермотренировки УСЭТТ-0,25

предназначена для автоматизации процессов транспортирования, размещения и подключения термоспутников УТ.П-1-013 и СЭТТ.ИМЗ-2400 с тренируемыми изделиями к системе управления и контроля электротермотренировки радиоэлектронной аппаратуры в составе комплекса соответствующего оборудования.

Установка обеспечивает транспортирование и размещение термоспутников массой не более 250 кг. В процессе транспортирования штабелером термоспутников УТ.П-1-013 установка обеспечивает бесперебойную подачу на них сетевого напряжения.

Состав установки: двухсекционный стеллаж, штабелер (между секциями стеллажа) и система управления на базе микроЭВМ «Электроника 60М». Установка, поставляемая в исполнении УХЛ категории 4.1 по ГОСТ 15150-69, не предназначена для эксплуатации во взрывоопасных и пожароопасных помещениях.

Модель	Число ячеек, шт.	Потребляемая мощность ячеек, кВт	Тип размещаемого термоспутника	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
УСЭТТ-0,25-1	72	2	УТ.П-1-013	22000×3600×4200	8200
УСЭТТ-0,25-2	120	2	УТ.П-1-013	22000×3600×6300	9500
УСЭТТ-0,25-3	72	8	СЭТТ.ИМЗ-2400	22000×3600×4200	8200
УСЭТТ-0,25-4	120	8	СЭТТ.ИМЗ-2400	22000×3600×6300	9500

Грузоподъемность штабелера, кгс	250
Производительность штабелера, циклов/ч	20
Точность позиционирования, мм	±5
Напряжение питания, В	380 (50 Гц)
Потребляемая мощность (без термоспутников), кВт	8

ПО «Тисса» разрабатывает, изготавливает и поставляет транспортно-складское оборудование в соответствии с техническими требованиями заказчиков.

Обращаться по адресу: 294010, г. Ужгород Закарпатской обл., ул. Парижской Коммуны, 4, ПО «Тисса», тел. 3-70-15.