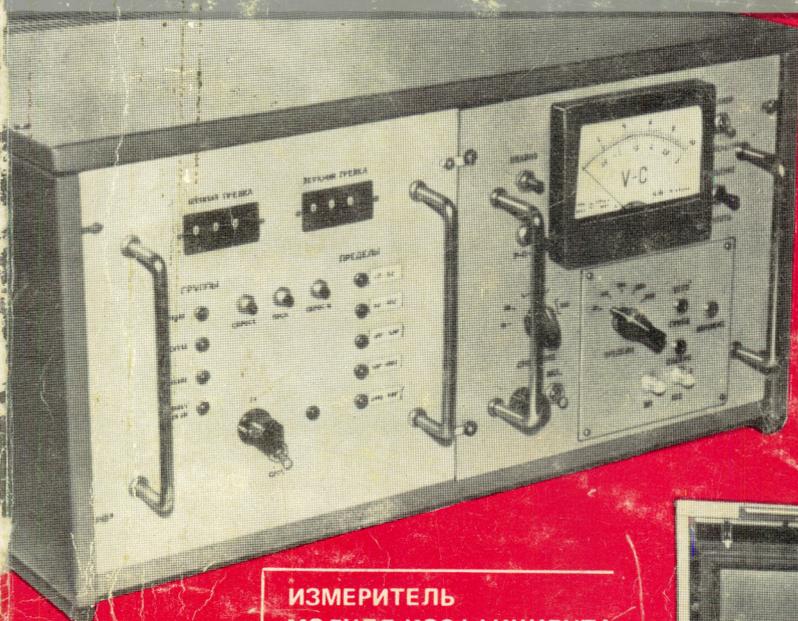


# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

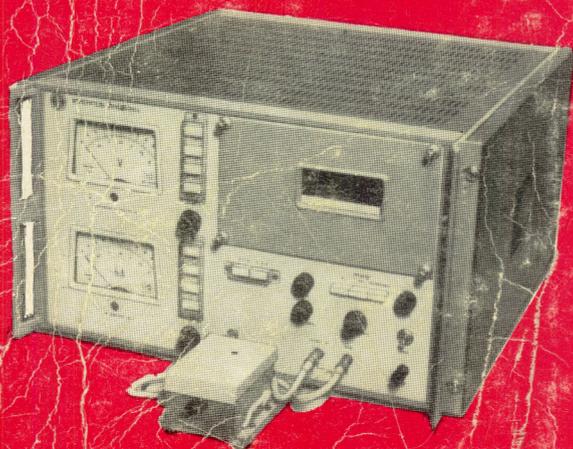
4  
1978



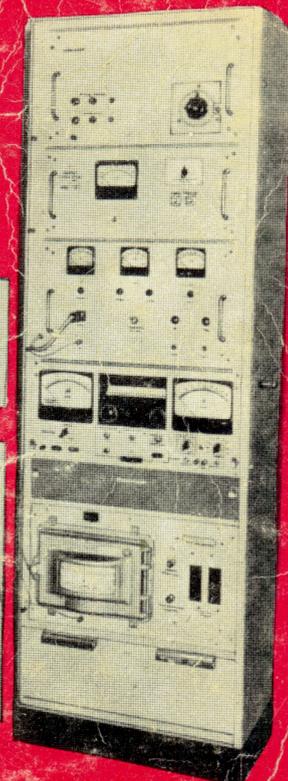
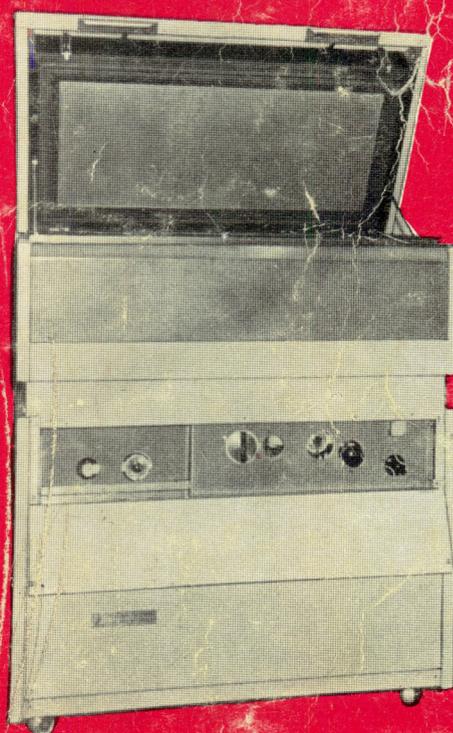
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
АППАРАТУРА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ПРИБОРОВ

КЛАССИФИКАТОР ЕМКОСТЕЙ  
МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬ  
МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
ПЕРЕДАЧИ ТОКА СВЧ  
ТРАНЗИСТОРОВ



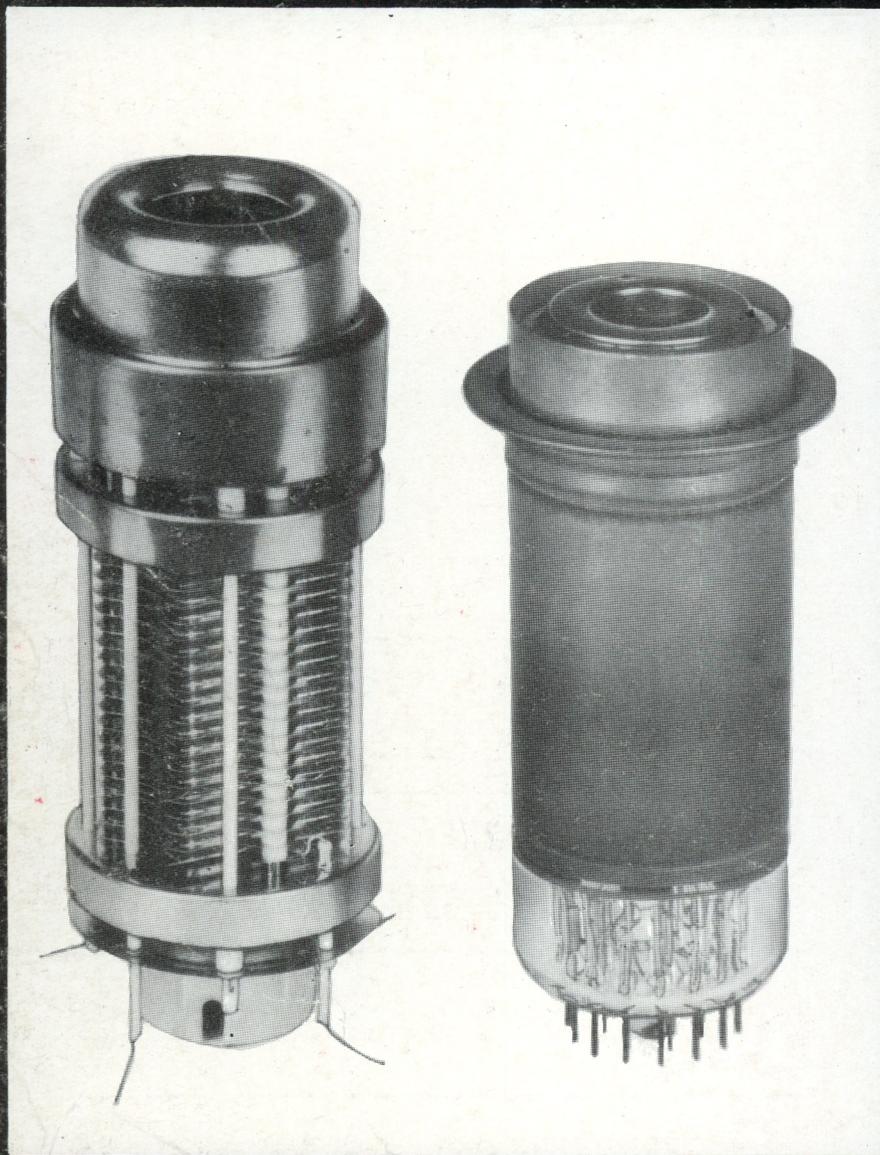
УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ ДИОДОВ



# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ГОД ИЗДАНИЯ ДЕВЯТЫЙ

МИНИСТЕРСТВО  
ЭЛЕКТРОННОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
СССР



## *В номере*

КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ МОП-СТРУКТУРЫ НА САПФИРЕ  
УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ ЛЕГИРОВАННЫХ ГРАНАТОВЫХ  
ПЛЕНОК С ЦМД  
УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ  
ДИОДОВ  
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА  
ПЕРЕДАЧИ ТОКА СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ НА ЧАСТОТЕ 3 ГГЦ

# ВАКПРОМ

ВЫПУСК  
(64) 4

# ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ПРОЛЕТАРИИ ВСЕХ СТРАН, СОЕДИНЯЙТЕСЬ!

---

изделия электронной  
техники и их применение **3**

---

исследования, разработки,  
методы расчетов **25**

---

технология **39**

---

измерения и контрольно-  
измерительная аппаратура **45**

---

обмен опытом **63**

---

технический прогресс  
и кадры **77**

---

ЦНИИ • ЭЛЕКТРОНИКА •

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

<i>Белопольский В. М., Большакова Н. Ф., Иванов В. А., Мамута В. М., Прушинский В. В., Торопов А. Д., Удовик А. П., Филиппов А. Г.</i> Интегральные логические ТТЛ схемы серии 128 . . . . .	4
<i>Блумберг М. Р., Меер В. В., Нестеров В. И., Рютель А. Р., Стриж А. А.</i> Операционный усилитель К140УД8 . . . . .	7
<i>Вартинь В. Р., Докока Ю. В., Матавкин В. В., Михеев Л. А.</i> Компаратор напряжения 521СА-3 . . . . .	10
<i>Айнбунд М. Р., Вильдгрубе Г. С.</i> Вторично-электронные умножители . . . . .	12
<i>Сидоренко В. П., Цимбал А. А.</i> Арифметическое устройство на МДП структурах . . . . .	16
<i>Буданова И. Г., Мудролюбов Ю. М., Сморяков Ю. А.</i> Миниатюрные подстроечные керметные резисторы . . . . .	19

### ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

<i>Баранов А. К., Слинкин Ю. И.</i> Управление составом легированных гранатовых пленок с ЦМД . . . . .	26
<i>Дьяконов М. Н., Муждаба В. М.</i> Возможности улучшения электрических свойств оксидного диэлектрика электролитических конденсаторов . . . . .	31
<i>Захарченко В. М., Щука А. А.</i> Голографический поиск информации . . . . .	36

### ТЕХНОЛОГИЯ

<i>Калинин А. В., Кожевникова О. М., Старенький В. А., Чесноков В. П.</i> Комплементарные МОП-структуры на сапфире . . . . .	39
<i>Копылов К. И., Кузнецов Ю. С., Миклашевский Л. Л., Окунь Е. Л., Смирнов В. М.</i> Установка УИН-1 для получения вакуумплотных изделий из порошкового стекла . . . . .	43

### ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

<i>Андреев Ю. Ф.</i> Установка для испытаний полупроводниковых СВЧ диодов . . . . .	46
<i>Васильев В. Т., Попов В. К., Харитонов В. С.</i> Измеритель модуля коэффициента передачи тока СВЧ транзисторов на частоте 300 МГц . . . . .	49

<i>Шамшин Е. Н.</i> Устройство для измерения модуля коэффициента передачи тока СВЧ транзисторов на частоте 3 ГГц . . . . .	51
<i>Горкавенко А. Ф., Горюнов А. Н., Жуков А. Г., Сторонский В. С.</i> Цветное видеоконтрольное тепловизионное устройство . . . . .	54
<i>Комарова Н. А., Обликов В. П.</i> Классификатор емкостей мощных транзисторов . . . . .	56
<i>Бондаревский А. С., Голенцов В. Н.</i> Коммутаторы для контрольно-измерительного и испытательного оборудования . . . . .	58
<i>Голенцов В. Н., Желобаев Л. В.</i> Коммутатор наносекундных импульсов . . . . .	59
<i>Плискин С. М.</i> Высоковольтный источник питания с выходным напряжением 80 кВ . . . . .	60
<i>Минаев В. И., Скосырский Г. С., Уточкина А. Ф.</i> Установка проверки на функционирование перепрограммируемых запоминающих устройств . . . . .	62

### ОБМЕН ОПЫТОМ

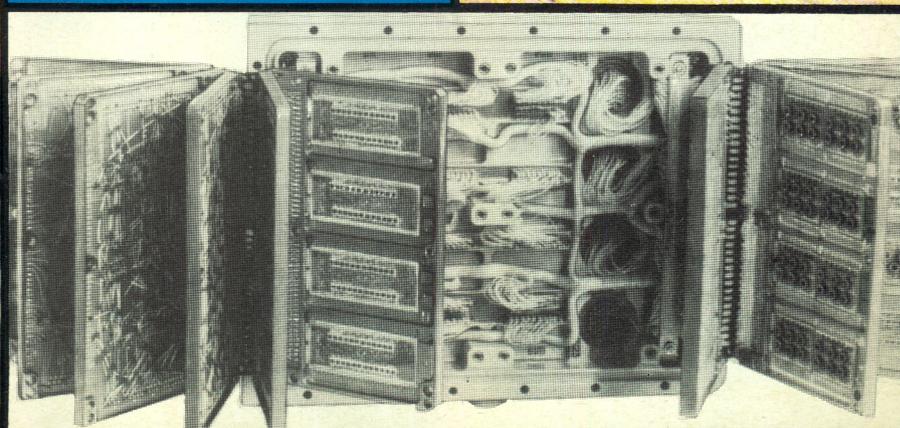
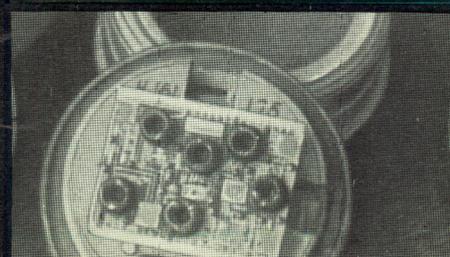
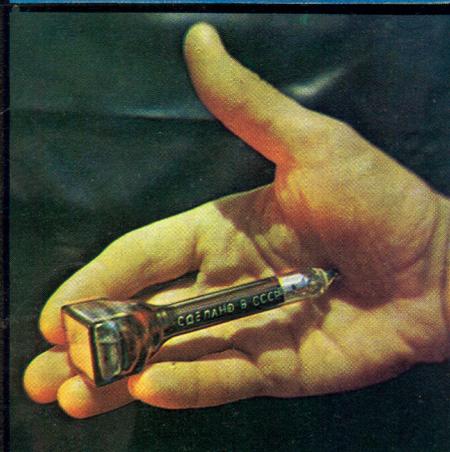
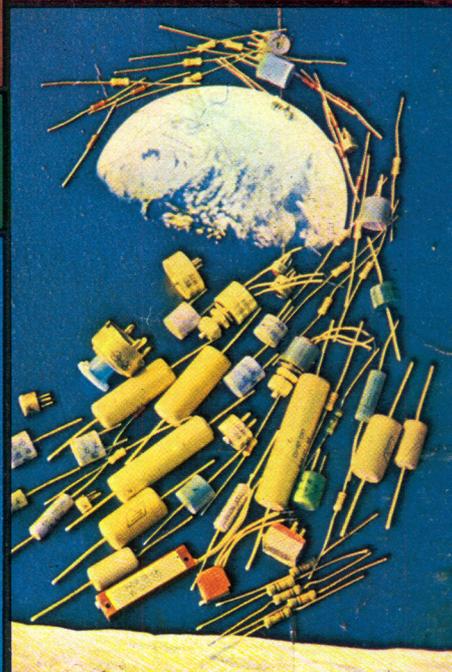
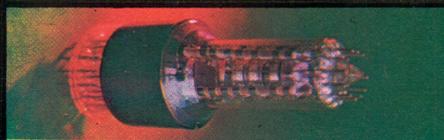
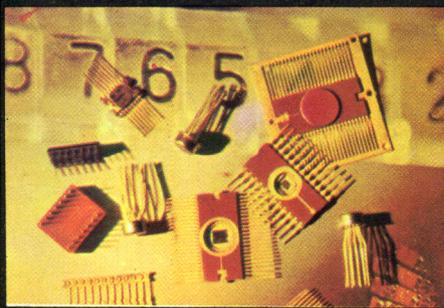
<i>Крылов И. М., Сиваков П. М., Чунин Д. А., Шмырева М. Ф.</i> Стеклометаллические платы для матричных и мозаичных систем . . . . .	64
<i>Макаров В. А., Максакова Л. И.</i> Применение полимерных порошковых материалов для герметизации микросхем . . . . .	66
<i>Ройzman В. П., Хавкин М. И.</i> Электротензометрический метод исследования компаундов . . . . .	67
<i>Кудрин В. М.</i> Контроль и регистрация обрывов микропроводов в стеклянной изоляции . . . . .	69
<i>Соколов В. С.</i> Контроль чистоты технологических жидкостей . . . . .	70
<i>Завьялов В. Н., Морозов И. В.</i> Устройство для регистрации твердых частиц в технологической воде . . . . .	73
<i>Пуусепп М. Э., Фрид М. И., Хансен Э. А., Хедреярв Х. Х.</i> Качество деинизованной воды, используемой в производстве микросхем . . . . .	75

### ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ

<i>Трофимова А. Ф.</i> Всегда в поиске . . . . .	77
Люди трудовой славы	
Евгений Евгеньевич Беляев . . . . .	78
Алексей Павлович Воронин . . . . .	78
Из ЦК профсоюза сообщают . . . . .	79

# ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

# 3



# ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ТТЛ СХЕМЫ СЕРИИ 128

В.М. БЕЛОПОЛЬСКИЙ, Н.Ф. БОЛЬШАКОВА, В.А. ИВАНОВ, В.М. МАМУТА,  
В.В. ПРУШИНСКИЙ, А.Д. ТОРОПОВ, А.П. УДОВИК, А.Г. ФИЛИППОВ

**СИНХРОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ТТЛ СХЕМЫ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ И ДРУГОЙ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ.**

УДК 681.325.65

Обеспечить надежную работу цифровых устройств в течение длительного времени (2–5 лет) с вероятностью безотказной работы  $P \geq 0,9$  невозможно только путем совершенствования технологических процессов. Эту задачу в настоящее время можно решить введением структурной избыточности, в частности путем резервирования на уровне небольших групп интегральных схем (по 5–20 ИС), т.е. глубокого резервирования.

Для оценки эффективности резервирования был проведен расчет надежности упрощенной структуры вычислительного устройства последовательного типа. На рис. 1 приведена зависимость времени безотказной работы устройства, резервированного по методу троированного мажоритирования, от глубины резервирования. Число ИС в одном канале устройства  $N = 500$ , интенсивность отказов условно принята равной  $10^{-7} \text{ ч}^{-1}$ . Из графика видно, что при охвате резервированием каждой группы из 5

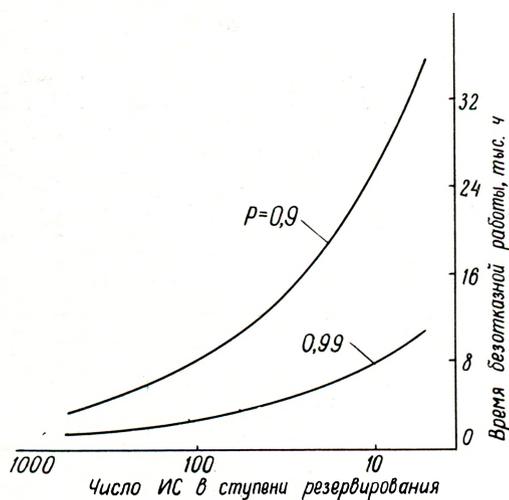


Рис. 1. Зависимость времени безотказной работы устройства от глубины резервирования

интегральных схем время безотказной работы составляет 36 тыс. ч при вероятности безотказной работы  $P = 0,9$ , в то время, как при охвате резервированием устройства в целом время безотказной работы составляет лишь 3,6 тыс. ч.

Интегральные схемы серии 128 разрабатывались специально для применения в глубокорезервированной аппаратуре.

## Состав серии 128

- 128ЛС3 – две логические, комбинированные с  $D$ -триггером схемы 2И-ИЛИ/3И-ИЛИ, расширяемые по ИЛИ, (т.е. два  $D$ -триггера с входной логикой 2И-ИЛИ, 3И-ИЛИ, расширяемой по ИЛИ);
- 128ЛК1 – логическая, комбинированная с  $D$ -триггером схема 3-3И-2ИЛИ/3-3И-2ИЛИ-НЕ, расширяемая по ИЛИ;
- 128ЛС4 – логическая, комбинированная с  $D$ -триггером схема 3-3-4И-3ИЛИ;
- 128ЛС5 – логическая, комбинированная с двухступенчатым  $D$ -триггером схема 3-3И-2 ИЛИ, расширяемая по ИЛИ;
- 128ЛД3 – два четырехходовых расширителя по ИЛИ;
- 128ЛД4 – восьмивходовый расширитель по ИЛИ;
- 128ИР1 – сдвигающий 8-разрядный регистр с входной логикой 2-3И-2ИЛИ с возможностью расширения по ИЛИ, с выходами на семь разрядов (прямым) и на восемь разрядов (прямым и инверсным);
- 128УП1 – мощный усилитель-формирователь синхронизирующих импульсов.

Интегральные схемы серии 128 позволяют осуществлять синхронизацию каждого логического элемента. С этой целью логический элемент выполнен в виде комбинации синхронизируемой логической схемы И-ИЛИ с синхронным  $D$ -триггером (рис. 2) [1, 2].

Наличие синхронизации позволяет осуществлять глубокое резервирование логических структур; устранить проблему гонок и критических состязаний; упростить проектирование логических устройств, а следовательно, сократить сроки разработок, уменьшить стоимость и повысить их качество; упростить наладку и эксплуатацию устройств;

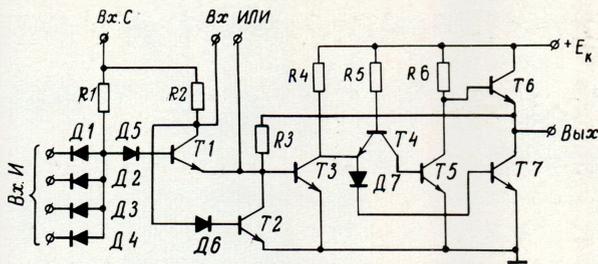


Рис. 2. Схема базового логического элемента серии 128

исключить специальные цепи синхронизации на триггерах, тем самым уменьшить общее число ИС в устройствах и повысить быстродействие.

*D*-триггер и схема И-ИЛИ выполнены функционально как единое целое, благодаря чему уменьшено количество интегральных компонентов в схемах, увеличено быстродействие, снижена потребляемая мощность.

В логических элементах устранены выбросы тока по цепям питания при переключении элементов, что обеспечивается применением в выходном каскаде схемы сложного инвертора, принципиально отличающейся от широко распространенной в ТТЛ схемах [3]. Благодаря этому потребляемая ИС мощность практически не изменяется с ростом частоты переключения. В выходном каскаде обеспечены малое выходное сопротивление в состояниях "0" и "1" и возможность работы на большую емкостную нагрузку ( $C_H = 100-150$  пФ). Кроме того,

сведены к минимуму помехи по шинам питания, что дает возможность резко сократить на них количество фильтрующих конденсаторов.

В разработанных ИС предусмотрена двухфазная синхронизация, позволяющая ввести глубокое резервирование без потери быстродействия и повысить помехозащищенность устройств.

По уровням "0" и "1" интегральные схемы полностью совместимы с ТТЛ схемами других серий.

Интегральные схемы серии 128 разработаны на основе трех базовых кристаллов. На первом базовом кристалле заложены схемы двух *D*-триггеров и трех логических схем И-ИЛИ. С помощью различных шаблонов металлизации на основе этого кристалла получено 6 модификаций логических ИС. На втором кристалле выполнен 8-разрядный сдвигающий регистр [4], а на третьем — мощный усилитель-формирователь синхронизирующих импульсов [5].

Основные электрические параметры ИС приведены в табл. 1 и 2. Как следует из табл. 1, частота синхронизирующих импульсов составляет 4 МГц при емкости нагрузки 50 пФ и при наилучших электрических режимах и условиях эксплуатации, а рассеиваемая мощность на рабочей частоте 4 МГц равна 4,5 мВт для схемы И-ИЛИ, комбинированной с *D*-триггером. Для 8-разрядного регистра потребляемая мощность на рабочей частоте составляет 32 мВт.

Таблица 1

Тип схемы	T, °C	I <sup>0</sup> <sub>вх</sub> , мкА, не более	I <sup>1</sup> <sub>вх</sub> , мкА, не более	Коэффициент объединения по входу И	Коэффициент объединения по входу ИЛИ	Выходные уровни, В		Емкость нагрузки C <sub>H</sub> , пФ при N = 10 и f = 4 МГц	Помехоустойчивость при максимальной нагрузке, В		Рабочая частота синхронизирующих импульсов f <sub>с</sub> , МГц, не менее	Суммарная типовая мощность потребления на рабочей частоте P, мВт
						U <sup>0</sup> <sub>вых</sub> , не более	U <sup>1</sup> <sub>вых</sub> , не менее		U <sup>+</sup> <sub>п</sub> , не менее	U <sup>-</sup> <sub>п</sub> , не менее		
128ЛС3*	-60	0,3	5	8	4	0,4	2,3	50	0,8	0,5	4	2 × 4,5
	+25	0,3	5	8	4	0,27	2,6	50	0,73	1,0	5	2 × 4,5
	+125	0,3	5	8	4	0,4	2,4	50	0,3	1,0	4	2 × 4,5
128ИР1	-60	0,3	5	8	4	0,4	2,3	50	0,8	0,5	4	32
	+25	0,3	5	8	4	0,27	2,6	50	0,73	1,0	5	32
	+125	0,3	5	8	4	0,4	2,4	50	0,3	1,0	4	32

\* Для микросхем типа 128ЛК1, 128ЛС4, 128ЛС5 электрические параметры аналогичны.

Таблица 2

Тип схемы	T, °C	I <sup>0</sup> <sub>вх</sub> , мА, не более	I <sup>1</sup> <sub>вх</sub> , мА, не более	Выходные уровни, В		Импульсный ток нагрузки, мА		Емкость нагрузки, C <sub>H</sub> , пФ		Длительность фронта t <sub>ф</sub> <sup>+</sup> , t <sub>ф</sub> <sup>-</sup> , нс, не более	Длительность задержки t <sub>з</sub> <sup>01</sup> , t <sub>з</sub> <sup>10</sup> , нс, не более	Максимальная частота формирования импульсов, МГц
				U <sup>H</sup> <sub>ост</sub> , не более	U <sup>B</sup> <sub>ост</sub> , не более	I <sup>0</sup> <sub>H</sub> , не менее	I <sup>1</sup> <sub>H</sub> , не менее	при f = 4 МГц	при f = 16 МГц			
128УП1	-60	6,6	2,8	1,2	0,7	20	100	300	200	15	15	16
	+25	6,6	2,8	0,85	0,42	20	100	300	200	15	15	16
	+125	6,6	2,3	0,85	0,7	20	50	300	100	15	15	16

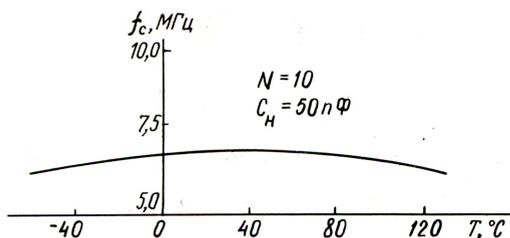


Рис. 3. Среднестатистическая зависимость частоты синхронизирующих импульсов от температуры

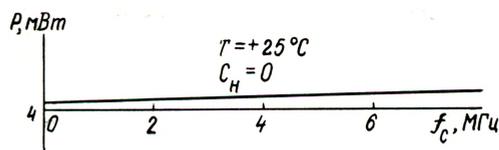


Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности от частоты переключения

В табл. 1 указаны наихудшие значения допустимой статической помехи. Среднестатистические значения допустимой помехи составляют 1,1 В при температуре 20°C и 0,6 В в диапазоне температур от -60 до +125°C. Среднестатистическое значение входной емкости по логическим входам равно 1 пФ.

По другим параметрам интегральные схемы серии 128 соответствуют выпускаемым промышленностью сериям ТТЛ.

Для ИС типа 128ЛСЗ, полностью нагруженной по входам ИЛИ и выходу, частота синхронизирующих импульсов составляет около 7 МГц при нормальной температуре и с понижением или повышением температуры почти не изменяется (рис. 3). Наличие сложного инвертора обеспечивает слабую зависимость частоты синхронизирующих импульсов  $f_c$  от емкости нагрузки. Так, при увеличении  $C_n$  от 10 до 50 пФ величина  $f_c$  снижается на 15%. Характерной особенностью элементов серии 128 является весьма слабая зависимость потребляемой мощности от частоты переключения (рис. 4). С повышением частоты синхронизирующих импульсов от 1 до 8 МГц потребляемая мощность увеличивается на 6%, что обусловлено наличием паразитных емкостей. Следовательно, при проектировании вычислительных устройств на разработанных ИС можно практически пренебречь зависимостью потребляемой мощности от частоты переключения.

Опыт создания аппаратуры на базе ИС серии 128 показал эффективность их применения в высоконадежных устройствах с глубоким резервированием на любом уровне (вплоть до 3-5 схем), что

возможно благодаря синхронному принципу обработки информации.

ИС серии 128 могут быть также эффективно использованы при построении вычислительных устройств последовательного и параллельно-последовательного действия без резервирования. При этом обеспечивается экономичное (по числу схем и потребляемой мощности) построение структуры и достаточно высокое быстродействие. Так, при частоте синхронизирующих импульсов 4 МГц, 16-разрядном слове и разбивке его на 4 группы по 4 разряда в каждой обеспечивается быстродействие арифметического устройства 1 млн. коротких операций в секунду с использованием "конвейерного" метода обработки информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов А.Г., Белкин О.С. Проектирование логических узлов ЭВМ. М., "Сов. радио", 1974.
2. Филиппов А.Г., Никишин В.И., Удовик А.П., Белопольский В.М., Торопов А.Д., Паукова Л.П. Патент США № 3808457, 1974.
3. Филиппов А.Г., Пронин С.А., Белопольский В.М., Прушинский В.В., Удовик А.П., Мамута В.М. Сложный инвертор. Авт. свидетельство № 417909. - "БИ", 1974, № 8.
4. Филиппов А.Г., Прушинский В.В., Белопольский В.М., Удовик А.П., Иванов В.А., Савлук А.С., Мамута В.М. N-разрядный сдвигающий регистр. Авт. свидетельство № 444249. - "БИ", 1974, № 35.
5. Филиппов А.Г., Прушинский В.В., Большаков В.А., Пронин С.А., Удовик А.П., Савлук А.С. Составной сложный инвертор. Авт. свидетельство № 420124. - "БИ", 1974, № 10.

Статья поступила 18 апреля 1977 г.

#### НОВАЯ КНИГА

##### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПАМЯТИ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУРАХ

К. К. ВАЛИЕВ, А. А. ОРЛИКОВСКИЙ

М., "Сов. радио", 1978, 18 л.

Рассматриваются конструктивно-технические принципы построения, схемотехника и вопросы проектирования биполярных интегральных схем памяти. Основное внимание уделяется ИС оперативной памяти. Отдельные главы посвящены схемотехнике постоянной и ассоциативной памяти. Описана логическая структура, излагаются основные принципы проектирования и выбора режимов работы интегральных накопителей и схем управления накопителями. Анализируются свойства функционально-интегрированных биполярных приборов для накопителей. Рассматриваются перспективы увеличения емкости и быстродействия биполярных ИС памяти.

Книга может быть полезной инженерам, работающим в области радиоэлектроники и приборостроения.

# ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ К140УД8

М. Р. БЛУМБЕРГ, В. В. МЕЕР, В. И. НЕСТЕРОВ, А. Р. РЮТЕЛЬ, А. А. СТРИЖ

ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ВНУТРЕННЕЙ ЦЕПЬЮ КОРРЕКЦИИ МОЖЕТ ПРИМЕНЯТЬСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКИ, АВТОМАТИКИ, ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.

УДК 621.375.447.3

Операционный усилитель (ОУ) выполнен на кристалле размером  $2,5 \times 2,5$  мм по планарно-эпитаксиальной технологии с изоляцией элементов двуокисью кремния. В качестве активных элементов используются биполярные  $n-p-n$  транзисторы,  $p-n-p$  транзисторы с боковой инжекцией и  $p$ -канальные полевые транзисторы с диффузионным затвором.

Конструктивно ОУ оформлен в металlostеклянном восьмивыводном корпусе типа 301.8-2.

Основные параметры операционного усилителя

К140УД8 при  $E_{пит} = 15$  В,  $T = 25^\circ\text{C}$

	Минимальные Типовые Максимальные		
Коэффициент усиления при разомкнутой цепи обратной связи, $K_y$ , дБ	94	102	—
Скорость нарастания выходного сигнала, В/мкс	2	9	—
Входной ток, нА	—	0,11	0,2
Разность входных токов, нА	—	0,03	0,06
Напряжение смещения нуля, мВ	—	15	80
Размах выходного напряжения, В	$\pm 10$	$\pm 12$	—
Коэффициент ослабления синфазного входного сигнала, $K_{ос,сф}$ , дБ	64	87	—
Температурный коэффициент напряжения смещения нуля, мкВ/град	—	15	—
Ток потребления, мА	—	2,3	5

В двухкаскадном ОУ (рис. 1) применена внутренняя отрицательная обратная связь (повторители на транзисторах Т3, Т8, Т9) и следящая цепь (Т12, Т13), в результате чего снижается чувстви-

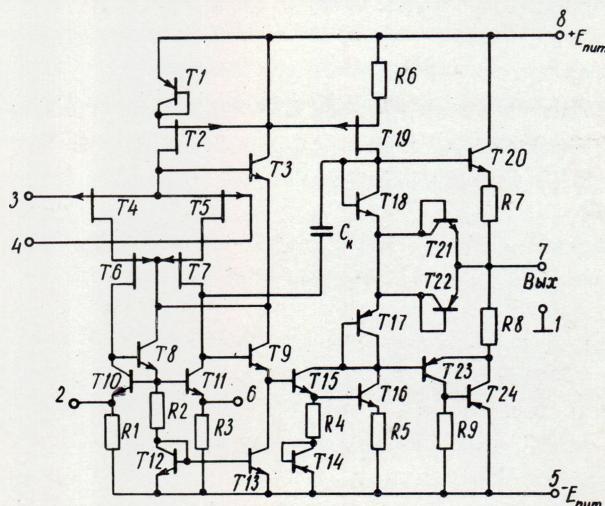


Рис. 1. Принципиальная схема двухкаскадного операционного усилителя

тельность характеристик усилительных каскадов к технологическому разбросу параметров элементов и повышается температурная стабильность усилителя [1]. Входной каскад выполнен по четырехтранзисторной дифференциальной схеме (Т4, Т5, Т6, Т7) с автосмещением (Т2 и Т3), благодаря чему значительно возрастают коэффициент усиления первого каскада и коэффициент ослабления синфазных помех; емкости по обоим входам постоянны и не зависят от коэффициента усиления; улучшается добротность дифференциального усилительного каскада.

К особенностям схемы ОУ относится наличие цепи защиты (Т21, Т22) от перегрузок, которая обеспечивает автоматическое ограничение токов транзисторов Т20 и Т24 выходного повторителя. Токосоставляющая ЭДС шумов резко снижена благодаря применению полевых транзисторов

T4, T5 во входной цепи. Кроме того, предусмотрена возможность компенсации приведенного напряжения смещения  $U_{CM}$  с помощью потенциометра (10 кОм), подключаемого к балансирующим выводам 2,6 и к выводу 5.

Реактивный элемент внутренней частотной коррекции – МОП-конденсатор  $C_K$  емкостью 30 пФ – включен между высокоомными выходами первого и второго каскадов, что создает эффект динамического увеличения  $C_K$  пропорционально коэффициенту усиления второго каскада с автоматическим гашением побочных полюсов [2]. Благодаря этому усилитель обладает практически однополюсной передаточной функцией, что в сочетании с большим запасом по фазе (порядка  $70^\circ$ ) обеспечивает его устойчивость без дополнительной коррекции в схемах различных решающих усилителей и динамических аналогов.

Динамические характеристики усилителя – частота среза  $f_{срз}$  в режиме малого сигнала и ско-

рость нарастания выходного напряжения  $V_{U_{ВЫХ}}$  в режиме большого сигнала – находятся в обратной пропорциональной зависимости от величины емкости  $C_K$ :

$$f_{срз} = S (2\pi C_K)^{-1}; V_{U_{ВЫХ}} = I_2 C_K^{-1}, \quad (1)$$

где  $I_2$  – ток источника смещения, выполненного на транзисторе T2, а  $S$  – крутизна характеристики транзисторов T4 и T5 в рабочей точке.

Для обеспечения работы первого каскада с малым тепловым дрейфом были выбраны такие геометрические размеры элементов, при которых достигнуто рекомендуемое в работе [2] соотношение  $I_2 S^{-1} = 0,63$  В, и выражение (1) принимает вид

$$V_{U_{ВЫХ}} = 1,26 \pi f_{срз}. \quad (2)$$

На рис. 2 приведены характеристики, показывающие ослабленную зависимость параметров ОУ от напряжения питания, что достигнуто введением

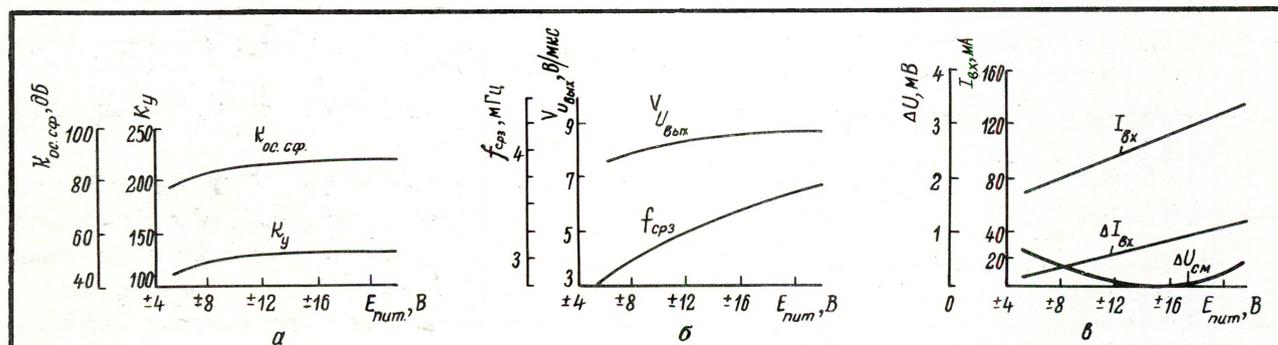


Рис. 2. Зависимость параметров ОУ от напряжения источника питания при  $T = 25^\circ\text{C}$ : а – коэффициента ослабления синфазного входного сигнала и коэффициента усиления напряжения; б – частоты среза и скорости нарастания выходного напряжения; в – абсолютного приращения напряжения смещения нуля и входного тока

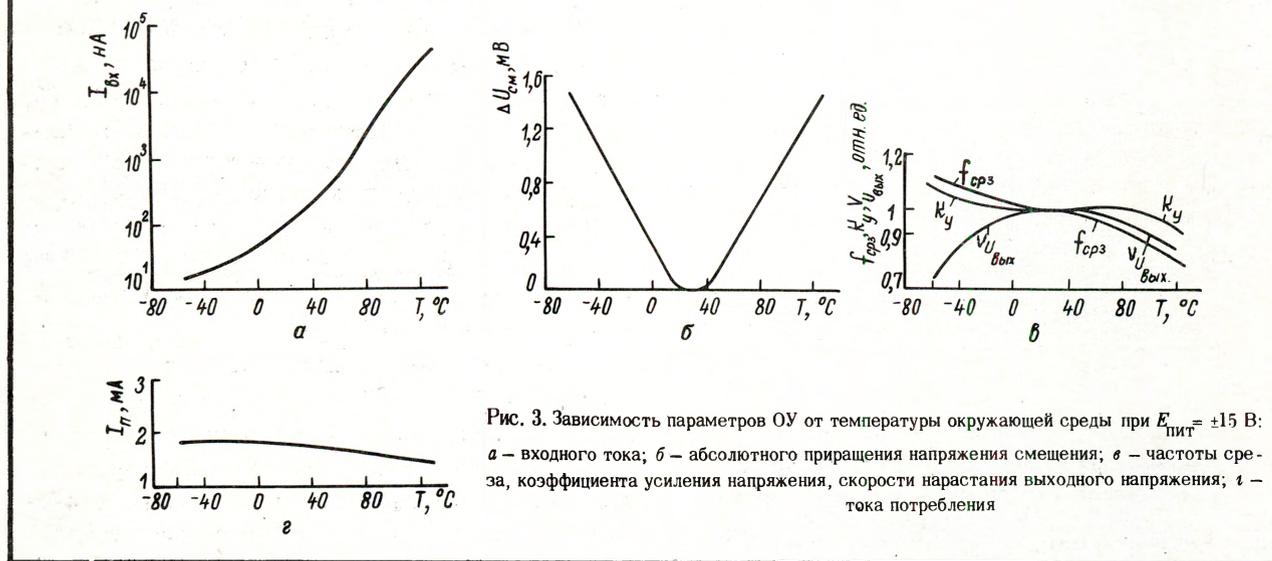


Рис. 3. Зависимость параметров ОУ от температуры окружающей среды при  $E_{пит} = \pm 15$  В: а – входного тока; б – абсолютного приращения напряжения смещения; в – частоты среза, коэффициента усиления напряжения, скорости нарастания выходного напряжения; г – тока потребления

в каждый усилительный каскад источников постоянного тока смещения и динамических нагрузок. Ток потребления  $I_{\Pi}$  не зависит от  $E_{\text{пит}}$  в пределах от  $\pm 5$  до  $\pm 22$  В, при этом  $U_{\text{Вых. max}}$  и напряжение синфазного входного сигнала  $U_{\text{Сф. max}}$  соответственно изменяются в пределах от  $\pm 3$  до  $\pm 20$  В практически линейно. На рис. 3 приведены зависимости параметров ОУ от температуры, причем с ее ростом  $I_{\Pi}$  убывает при крутизне характеристики

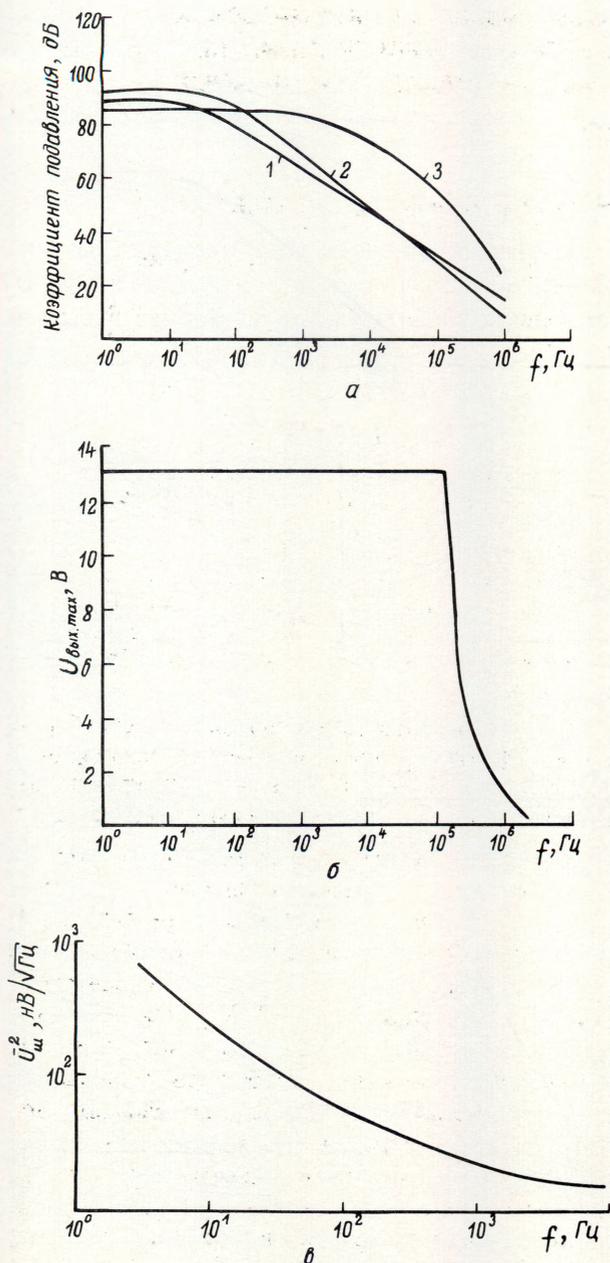


Рис. 4. Зависимость параметров ОУ от частоты при  $E_{\text{пит}} = \pm 15$  В,  $T = 25^\circ\text{C}$ : а — коэффициент подавления (1 — синфазного входного сигнала; 2 — помехи по  $U_{\Pi}^-$ ; 3 — помехи по  $U_{\Pi}^+$ ); б — амплитуда выходного напряжения; в — спектральная плотность напряжения шума

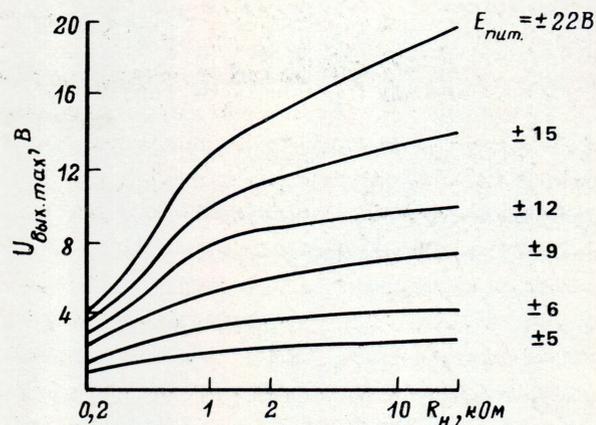


Рис. 5. Нагрузочные характеристики при  $f = 3$  Гц и  $T = 25^\circ\text{C}$

порядка 0,14% на градус. На рис. 4 показаны частотные зависимости параметров ОУ, а на рис. 5 — нагрузочные характеристики, причем особенно —стью данного ОУ является неизменность  $U_{\text{Вых max}}$  от нагрузочной емкости в пределах 200 пФ.

Совокупный показатель качества ОУ  $\xi = \frac{V_U}{U_{\text{Вых}}} (I_{\text{Вх}} U_{\text{СМ}})^{-1}$ , по крайней мере, на два порядка больше, чем у других отечественных усилителей серий 140 и 153.

Таким образом, разработанный операционный усилитель К140УД8 благодаря пониженной чувствительности параметров к изменению питающих напряжений, температуры и частоты в широких пределах, малым уровням входных токов и собственных шумов, высокому коэффициенту подавления синфазных помех по цепям питания в широком частотном диапазоне может найти применение в качестве многофункционального элемента различных прецизионных устройств радиоэлектроники, автоматики, вычислительной и измерительной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Меер В.В., Нестеров В.И., Баскакова И.В. Дифференциальный усилитель. Авт. свидетельство №437193. "БИ", 1973, № 27.
2. Грем Дж., Тообби Дж., Хьюлсман Л. Проектирование и применение операционных усилителей. М., "Мир", 1974.

Статья поступила 21 июня 1977 г.



# КОМПАРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ 521СА-3

В.Р. ВАРТИНЬ, Ю.В. ДОКОКА, В.В. МАТАВКИН, Л.А. МИХЕЕВ

УДК 621.3.049.77:621.317.72.083.6

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА КОМПАРАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ 521СА-3 ОБЕСПЕЧИВАЕТ БОЛЬШУЮ ТОЧНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПО СРАВНЕНИЮ С СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫМИ СХЕМАМИ 521СА-1 И 521СА-2. БЛАГОДАРЯ МАЛОМУ ЗНАЧЕНИЮ ВХОДНЫХ ТОКОВ И БОЛЬШОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ УСИЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СХЕМА МОЖЕТ ПОДКЛЮЧАТЬСЯ К ВЫСОКООМНЫМ ДАТЧИКАМ, ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СИГНАЛОВ, ГЕНЕРАТОРАХ ИМПУЛЬСОВ И РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.**

Основные параметры при напряжении источников питания  $U_{\text{ИП}} = \pm 15\text{В}$

Коэффициент усиления напряжения	400000
Время задержки включения (выключения) при $T=25^\circ\text{C}$ , нс	
типичное	150
максимальное	300
Максимальное напряжение смещения, мВ	
при $T=25^\circ\text{C}$	3
$T=(-60 \div +125)^\circ\text{C}$	4
Максимальный средний входной ток, нА	
при $T=25^\circ\text{C}$	100
$T=-60^\circ\text{C}$	150
Максимальная разность входных токов, нА	
при $T=25^\circ\text{C}$	10
$T=-60^\circ\text{C}$	20
Максимальный ток потребления при $T=25^\circ\text{C}$ , мА	6
Предельно допустимое дифференциальное входное напряжение, В	$\pm 15$
Предельно допустимое синфазное входное напряжение, В	$\pm 15$

Благодаря высокому входному сопротивлению обеспечивается работа входных каскадов в микро-токовом режиме. Выходной каскад выполнен на мощном транзисторе, работающем в ключевом режиме. Предусмотрена возможность совместной работы компаратора с ЭСЛ-, ТТЛ- и МОП-схемами, для чего напряжение питания на коллектор выходного транзистора подается от внешнего источника с напряжением до 30 В в зависимости от типа логики. Достигнутая нагрузочная способность (50 мА) позволяет непосредственно управлять реле и сигнальными лампочками. В выходном каскаде предусмотрена защита от короткого замыкания. Схема компаратора может работать в широком диапазоне питающих напряжений: от однополярного (+4,5 В) до двухполярного ( $\pm 16,5$  В).

Конструктивно ИС выполнена в корпусе 301.8-2.

Передаточные характеристики компаратора при двух значениях входного дифференциального сигнала (5 и 10 мВ) в режиме коллекторной нагрузки приведены на рис. 1, а, б, в режиме эмиттерного повторителя — на рис. 1, в, г.

Наличие выводов балансировки и стробирования расширяет функциональные возможности компаратора напряжения. Схема балансировки показана на рис. 2. Непосредственное подключение выводов 5 и 6 схемы к положительному источнику питания при небольшом увеличении входных токов улучшает ее динамические характеристики и ослабляет их зависимость от синфазного сигнала.

Схема включения компаратора в режиме стробирования приведена на рис. 3. Управляющее напряжение, соответствующее логической единице, обеспечивает высокий выходной уровень независимо от сигнала на входе. При выборе рабочих режимов необходимо учесть, что абсолютные значения входных напряжений не должны превышать значений питающих напряжений. При работе компаратора от однополярного источника питания ( $U_{\text{ИП}2} = 0$ ) для обеспечения работоспособности входных каскадов напряжение на входе должно быть подано и смещено по отношению к напряжению на выводе 4 не менее чем на 0,5 В.

Так как схема 521СА-3 характеризуется боль-

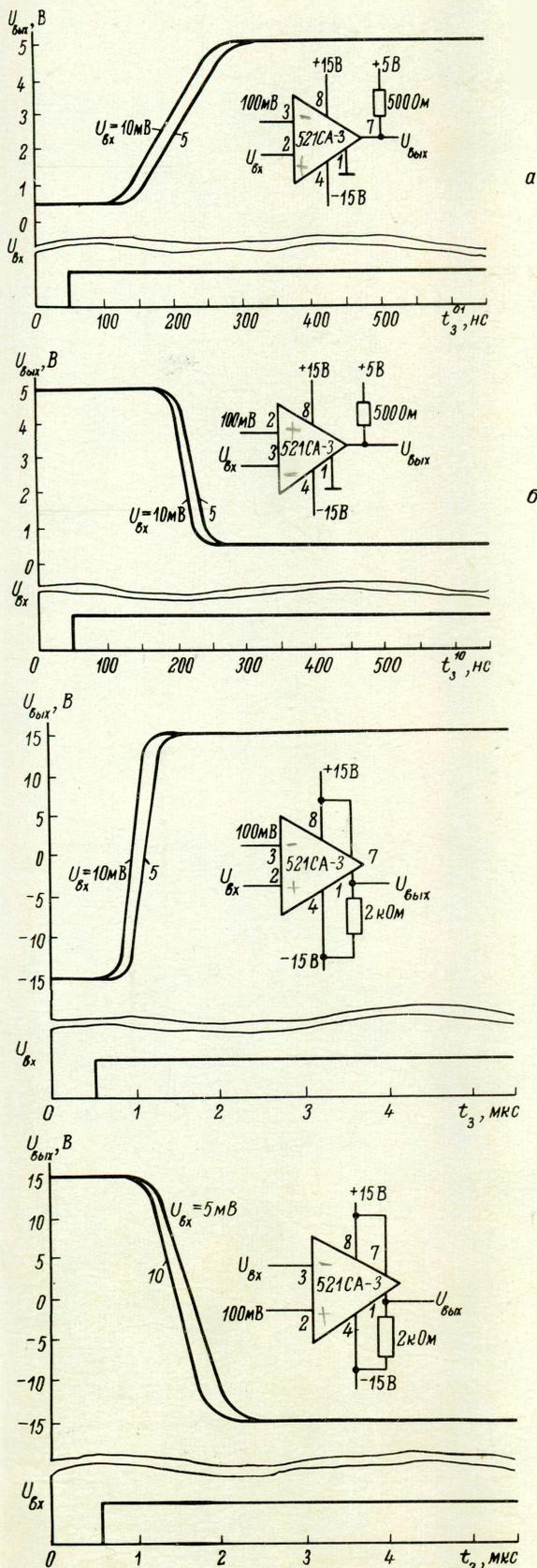


Рис. 1. Передаточные характеристики компаратора: в режиме коллекторной нагрузки при переходе от низкого выходного уровня к высокому (а), от высокого выходного уровня к низкому (б); в режиме эмиттерного повторителя при переходе от низкого выходного уровня к высокому (в), от высокого выходного уровня к низкому (г)

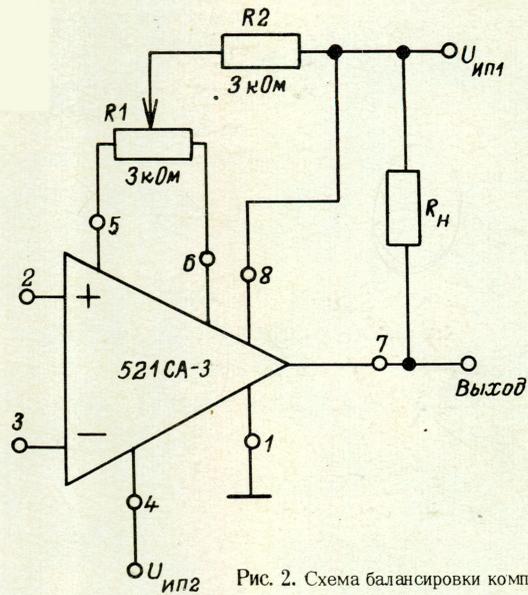


Рис. 2. Схема балансировки компаратора

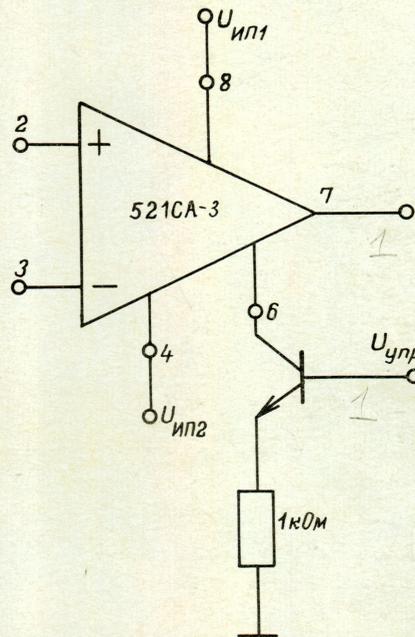


Рис. 3. Схема включения компаратора в режиме стробирования

шим коэффициентом усиления в широком диапазоне частот, то при ее монтаже в аппаратуру необходимо принимать меры, исключающие самовозбуждение ИС. Недопустимы паразитные связи между выводами 1 и 2, 3, а также выводами балансировки 5, 6 и выводом 1. В целях уменьшения паразитных емкостей возможно непосредственное соединение выводов 5, 6 схемы. Самовозбуждение схемы полностью устраняется путем введения небольшой положительной обратной связи. Благодаря своим качественным характеристикам и функциональным возможностям, а также малым габаритам и весу схема 521CA-3 найдет широкое применение в разрабатываемой радиоэлектронной аппаратуре.

Статья поступила 20 сентября 1977 г.

# ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ

М.Р. АЙНБУНД, Г.С. ВИЛЬДГРУБЕ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННЫХ ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ВЫСОКУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНУЮ РАБОТУ ПРИБОРОВ В КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ.

УДК 621.385.831



Для регистрации заряженных частиц и электромагнитного излучения разработана серия вторично-электронных умножителей, включающая жалюзийные (ВЭУ-1, ВЭУ-2, ВЭУ-3, ВЭУ-5) и каналовые (ВЭУ-4 и ВЭУ-6) конструкции. Основные параметры ВЭУ приведены в таблице.

Преобразование регистрируемого излучения в электронный поток в жалюзийных ВЭУ происходит на первом жалюзийном диноде, а в каналовых — на начальном участке канала.

ВЭУ-1, ВЭУ-2, ВЭУ-4 и ВЭУ-6 предназначены для регистрации излучения в различной аппаратуре, в том числе работающей с частым напуском воздуха,

например в масс-спектрометрах, и отличаются высокой устойчивостью параметров к длительному воздействию воздуха.

ВЭУ-1 и ВЭУ-2 имеют одинаковую конструкцию. С целью обеспечения высокой стабильности коэффициента усиления к воздействию воздуха жалюзи этих умножителей изготовлены из алюминиевой фольги, не подвергаемой специальной обработке и имеющей на поверхности естественную пленку окисла. Поскольку окись алюминия обладает невысокой вторичной эмиссией, для обеспечения коэффициента усиления  $\mu = 10^5 - 10^6$  (рис. 1) в ВЭУ-1 и ВЭУ-2 используется 25 жалюзийных динодов, анало-

Наименование параметра	ВЭУ-1 (А, Б, В)	ВЭУ-2 (А, Б, В)	ВЭУ-3	ВЭУ-4	ВЭУ-5	ВЭУ-6
Минимальный коэффициент усиления	$10^5$	$10^6$	$10^5$	$10^7$	$3 \cdot 10^6$	$10^6$
Напряжение питания, обеспечивающее минимальный коэффициент усиления, кВ	2,4–4,0	3,2–4,0	1,0–2,5	2,4–4,0	1,4–3,0	1,8–3,5
Темновой ток, приведенный к входу, А	$5 \cdot 10^{-20}$ – $1 \cdot 10^{-17}$	$0,5 \cdot 10^{-20}$ – $1 \cdot 10^{-17}$	–	–	–	–
Темновой ток на выходе, А	–	–	$1 \cdot 10^{-12}$ – $3 \cdot 10^{-9}$	–	$1 \cdot 10^{-12}$ – $2 \cdot 10^{-8}$	–
Темновой фон, имп/с	–	–	–	0,01–1	–	0,01–1
Ток питания, мкА	50–150	50–150	–	1–20	–	1–20
Предел линейности анодного тока, мкА	5–15	5–15	–	0,1–2	–	0,05–10
Предельно-допустимое напряжение питания, кВ	5	5	3	4,5	3	4
Предельно-допустимый средний анодный ток, мкА	5	5	5000	1	50	1
Допустимая температура прогрева в вакууме, °С	370	370	500	200	500	200
Габариты, мм	$\phi 46 \times 125$	$\phi 46 \times 125$	$\phi 52 \times 115$	$60 \times 36 \times 15$	$\phi 29 \times 52$	$35 \times 35 \times 20$

гичных по конструкции жалюзи в ФЭУ-81 [1]. Диаметр входного окна этих ВЭУ составляет 19 мм.

Для упрощения эксплуатации приборов в них применен встроенный делитель напряжения, позволяющий использовать всего два ввода (кроме зем-

ляного): для подачи питающего напряжения и для снятия сигнала. Делитель выполнен в виде шайб из восстановленного высокосвинцового стекла [2], расположенных двумя столбиками между рамками динодов. Ток делителя при напряжении питания 4 кВ составляет 50–150 мкА (для разных образцов), что обеспечивает линейность характеристик приборов до выходных токов не менее 5 мкА.

ВЭУ-1 и ВЭУ-2 не имеют оболочек. В целях обезгаживания допускается прогрев приборов в вакууме до 370 °С (при температурах выше 400 °С возможны необратимые изменения сопротивления делителя).

Специальная конструкция входного и анодного узлов обеспечивает малую величину темнового тока ВЭУ-1 и ВЭУ-2. На входе приборов расположен полированный колпачок обтекаемой формы, снижающий возможность автоэмиссии и защищающий вход ВЭУ от паразитных излучений. Анод закреплен на изоляторах по принципу охранного кольца внутри специального экрана, напряжение которого такое же, как на аноде, или близко к нему. В результате этого максимально снижены токи утечки, что весьма существенно при регистрации сигнала электрометрическим усилителем с большим входным сопротивлением. В модификациях ВЭУ-1А и ВЭУ-2А темновой ток на аноде равен  $(0,5 \div 5) \cdot 10^{-14}$  и  $(0,05 \div 5) \cdot 10^{-13}$  А при коэффициентах усиления  $10^5$  и  $10^6$  соответственно, что в пересчете на вход приборов составляет  $(0,5 \div 5) \cdot 10^{-19}$  для ВЭУ-1А и  $(0,05 \div 5) \cdot 10^{-19}$  А для ВЭУ-2А, т.е. не более трех электронов за 1–100 с. В модификациях ВЭУ-1Б, ВЭУ-2Б темновой ток, приведенный ко входу, составляет  $(0,5 \div 2) \cdot 10^{-18}$  А, в модификациях ВЭУ-1В, ВЭУ-2В –  $(0,2 \div 1) \cdot 10^{-17}$  А.

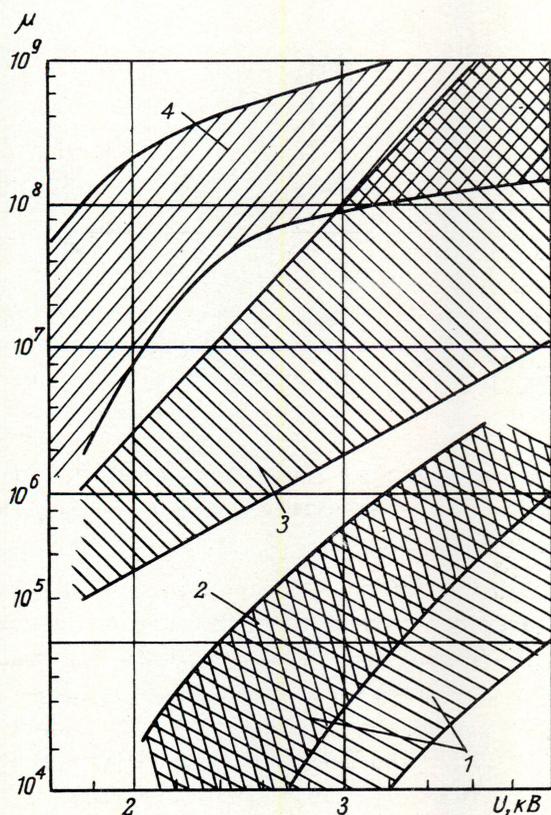


Рис. 1. Зоны разброса значений коэффициентов усиления: 1-ВЭУ-1, 2-ВЭУ-2, 3-ВЭУ-4, 4-ВЭУ-6

Каналовые ВЭУ-4 и ВЭУ-6, предназначенные в основном для регистрации слабых излучений в режиме счета, отличаются компактностью, большим усилением и низким собственным фоном, простотой в эксплуатации. Эмиттеры в них изготовлены из высокосвинцового стекла и термически обработаны в водороде [3], что обеспечивает наряду с высокой устойчивостью параметров к воздействию воздуха большие значения коэффициентов усиления (см. рис. 1).

Каналовый эмиттер ВЭУ-4 выполнен в виде изогнутой по дуге сплюсненной трубки [4] и сочетает достоинства щелевых и трубчатых каналов. Входное окно имеет размеры 2x6 мм. В ВЭУ-6 использован спиральный эмиттер с раструбом на входе. Диаметр входного окна 8–10 мм.

С помощью эпоксикремнийорганического клея к выходным торцам каналов приклеены аноды из никрома, а сами каналы закреплены внутри керамических корпусов, имеющих три жестких ввода для подачи напряжения питания на вход и выход канала и снятия сигнала с анода. При этом в ВЭУ-4 вводы расположены со стороны входа, а в ВЭУ-6 — на боковой поверхности корпуса. Максимально допустимая температура прогрева каналовых умножителей в вакууме составляет 200°C.

Резистивный вторично-эмиссионный слой на каналовых эмиттерах благодаря специальному смещению контактов на выходе [5] выполняет функции делителя напряжения, что максимально упрощает схему питания этих приборов. Ток питания 1–20 мкА.

Распределение амплитуд импульсов  $\frac{\Delta N}{\Delta \mu}$  на аноде ВЭУ-4 практически экспоненциальное (рис. 2), на характеристиках отдельных образцов, имеющих усиление более  $10^8$ , наблюдается слабо выраженный пик. ВЭУ-6 обладает четко выраженным пиком в амплитудном распределении выходных импульсов, при этом амплитудное разрешение достигает 30–50%.

Для снижения собственного фона у всех ВЭУ целесообразно заземлять вход. В режиме счета сигнал ВЭУ-4 и ВЭУ-6 можно регистрировать как на аноде, так и непосредственно на выходе и входе каналов. Наибольшую амплитуду имеет сигнал с анода, а наилучшее амплитудное распределение импульсов — с выхода канала [6].

При кратковременной работе (десятки часов при скорости счета  $10^3$ – $10^4$  имп/с) более высокой стабильностью характеризуется ВЭУ-6, а при длительной (в течение сотен часов) — ВЭУ-4, имеющий благодаря щелевой форме большой периметр сечения и большую токоустойчивость.

$\Delta N/\Delta \mu$ , отн. ед.

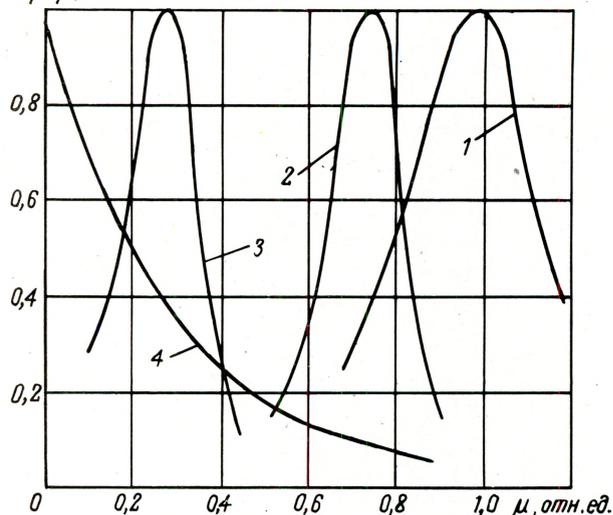


Рис. 2. Амплитудное распределение импульсов в сигнале, снимаемом с анода (1), непосредственно с выхода (2) и входа (3) канала ВЭУ-6 и с анода ВЭУ-4 (4)

В процессе работы каналовых умножителей характер зависимостей коэффициента усиления от напряжения питания меняется мало, но с течением времени характеристики сдвигаются в сторону больших напряжений питания, причем тем сильнее, чем больше интенсивность регистрируемого сигнала. Повышая напряжение питания на 150–200 В, можно восстановить прежние значения коэффициента усиления.

Характеристики ВЭУ линейны до величин выходных токов, не превышающих 5–10% величины тока питания. В результате этого жалюзийные ВЭУ-1 и ВЭУ-2, уступающие каналовым ВЭУ-4 и ВЭУ-6 по габаритам и коэффициенту усиления (а также ВЭУ-6 — по амплитудному разрешению) превосходят их по площади входного окна и максимальным выходным токам (загрузкам) в линейном режиме.

Жалюзийные ВЭУ-3 и ВЭУ-5 предназначены для регистрации заряженных частиц в отпаянных вакуумных приборах.

ВЭУ-3 включают 19 жалюзийных динодов типа ФЭУ-16 [1], закрепленных на 22-вводной стеклянной ножке, и коваровый баллон в виде цилиндра с фланцем для приварки ВЭУ к корпусу вакуумного прибора. Диаметр входного окна 16 мм.

ВЭУ-5 является малогабаритным вариантом ВЭУ-3, имеет 10 жалюзийных динодов типа ФЭУ-54 [1], смонтированных на металлокерамической ножке с металлическим фланцем для приварки к корпусу вакуумного прибора. Размеры входного окна 6,5x6,5 мм.

Жалюзи ВЭУ-3 и ВЭУ-5 изготовлены из медно-алюминий-магниевого сплава, обычно используе-

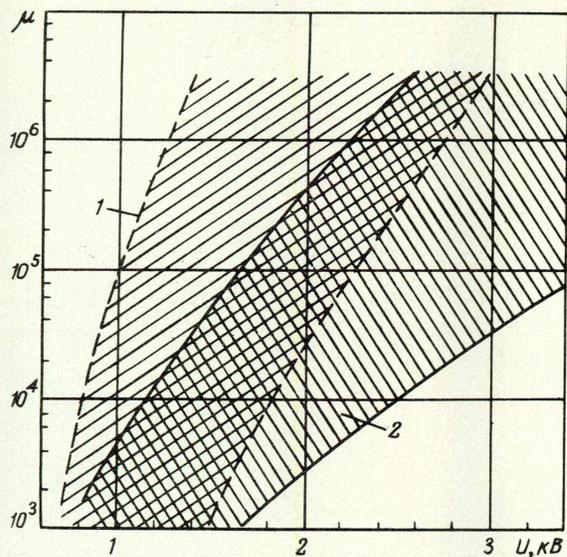


Рис. 3. Зоны разброса значений коэффициентов усиления ВЭУ-3 (1) и ВЭУ-5 (2) после прогрева при температуре 400–500°С в атмосфере остаточных газов в течение 25–35 ч

мого в отечественных жалюзийных ФЭУ. Активирование ВЭУ-3 и ВЭУ-5 происходит в среде остаточных газов в процессе их обезгаживания совместно с вакуумным прибором. В результате обработки при температуре 400–500°С в течение 10–60 ч при давлении остаточных газов  $1,33 \cdot 10^{-1}$ –4 Па [7] были

получены коэффициенты усиления приборов более  $10^5$  (рис.3), а темновые токи  $1 \cdot 10^{-12}$ – $1 \cdot 10^{-10}$  А.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вильдгрубе Г.С., Далиненко Н.К., Дунаевская Н.В., Шекунов А.Н. Вторично-электронный умножитель. Авт. свидетельство №205157. — "БИ", 1967, №23.
2. Файнберг Е.А., Пановкина В.И., Дунаевская Н.В., Айнбунд М.Р., Глуховской Б.М. Способ изготовления элементов внутренних делителей напряжения. Авт. свидетельство №202278. — "БИ", 1967, №19.
3. Сиприков И.В., Ощепков П.К., Гречаник Л.А., Чуйко Г.А., Файнберг Е.А. Способ изготовления эмиттеров для электронных умножителей. Авт. свидетельство №153979. — "БИ", 1963, №8.
4. Айнбунд М.Р., Вильдгрубе Г.С., Гусакова Н.Г., Жихарев В.Н., Кожинская Э.В. Каналовый электронный умножитель. Авт. свидетельство №442533. — "БИ", 1974, №33.
5. Айнбунд М.Р. Электронный прибор с каналовым умножителем. Авт. свидетельство №334919. — "БИ", 1972, №23.
6. Поленов Б.В., Айнбунд М.Р., Коваленко В.Г. Детектор излучения на основе каналового электронного умножителя. Авт. свидетельство №405090. — "БИ", 1973, №44.
7. Юхвидин Я.А., Тагер Т.Н., Дунаевская Н.В., Айнбунд М.Р. Способ активировки вторичных эмиттеров. Авт. свидетельство №190499. — "БИ", 1967, №2.

Статья поступила 25 февраля 1977 г.

#### НОВАЯ КНИГА

Планируется к выпуску в 1978 г.

А.Л.РАЙКИН

#### ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Под ред. И.А.УШАКОВА

Изд. 2-е, перераб. и доп.

М., "Сов. радио", 1978, 18 л.

Изложены методы построения моделей функционирования восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем при различных способах контроля и обнаружения неисправностей, проведения ремонта и организации замены отказавших элементов. Имеется раздел, посвященный оптимизации контроля исправности и эксплуатационного обслуживания. Приведены справочные и вспомогательные таблицы.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков систем и изделий различного назначения, специалистов в области надежности и управления качеством.

# АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО НА МДП СТРУКТУРАХ

В.П. СИДОРЕНКО, А.А. ЦИМБАЛ

ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНОЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ АВТОМАТАХ.

УДК 681.325.55

Арифметическое устройство (АУ) выполняет операции сложения и вычитания двоично-десятичных чисел с последующей коррекцией полученного результата. Операция вычитания реализуется аппаратно, что исключает необходимость дополнительных преобразований прямых кодов в инверсные.

Функциональная схема арифметического устройства К501ИЛ1 показана на рис. 1. В устройстве осуществляются следующие микрооперации:

– установка всех регистров и триггеров коррекции в состояние "0";

– установка команд сложения или вычитания и обмена слагаемых, а также команд разрешения прохождения чисел на входные цепи АУ; эта операция, как и три последующие, повторяется четыре раза в соответствии с количеством двоичных разрядов, представляющих десятичную цифру;

– поразрядное суммирование или вычитание двоично-десятичных чисел, начиная с младшего разряда тетрады, и определение суммы (разности) с учетом переносов в тетраде;

– запись результата суммы (разности) в 4-разрядный регистр числа и запись сигнала переноса, сформированного в результате операции над двумя двоичными знаками, или запись сигнала внешнего переноса;

– установка регистров числа и переноса;

– формирование сигнала  $\text{сумма (разность)} > 9$  и запись его (задержка на 1 бит) в регистр переноса;

– формирование сигнала признака коррекции (установка  $R-S$  триггера по входам  $T_1$  и  $\Phi_1$  в соответствии с состоянием регистра переноса);

– вычитание 10 из суммы или сложение 10 с разностью при наличии сигнала коррекции (выпол-

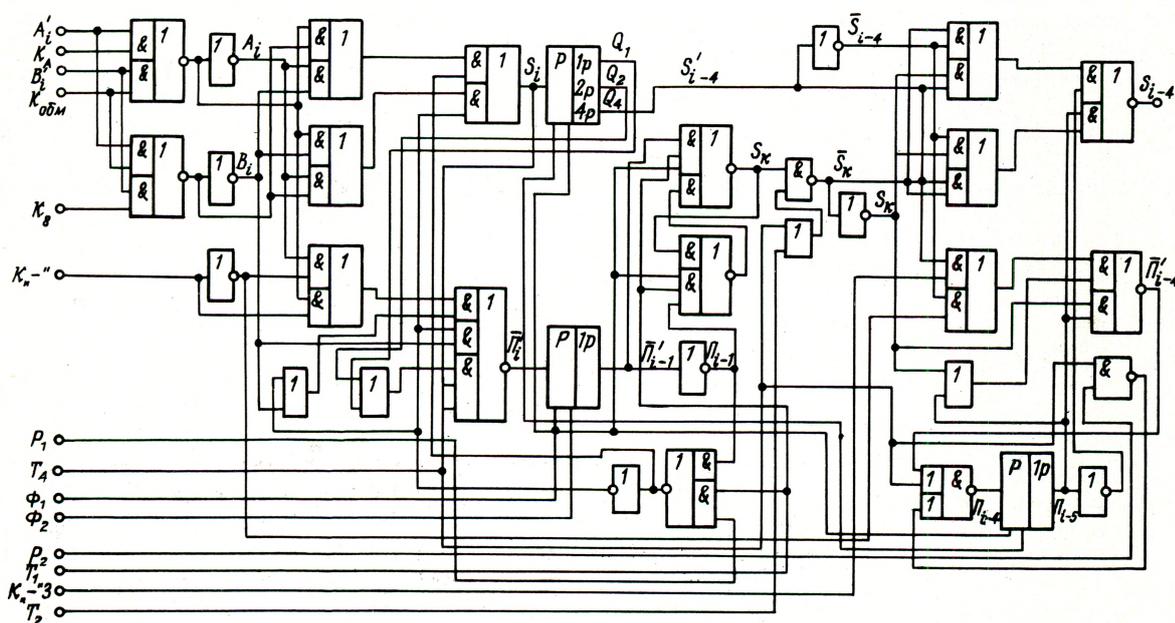


Рис. 1. Функциональная схема арифметического устройства

няются аналогично операциям без сигнала коррекции, но в последующих четырех тактовых периодах);

— образование переноса из младшей тетрады в старшую.

В арифметическое устройство входят следующие узлы:

1. Входные комбинационные логические схемы, управляющие вводом чисел и установкой режима работы АУ, на выходах которых реализуются функции  $A_i$ ,  $B_i$  (см. рис. 1):

$$A_i = A'_i K_A \vee B'_i K_{\text{обм}},$$

$$B_i = B'_i K_B \vee A'_i K_{\text{обм}},$$

где  $A_i$ ,  $B_i$  — двоичные знаки;  $K_A$ ,  $K_B$  — команды разрешения прохождения чисел  $A'_i$  и  $B'_i$  на входы сумматора-вычитателя;  $K_{\text{обм}}$  — команда обмена (подается при условии  $A < B$  в режиме вычитания  $A-B$ ;  $A$ ,  $B$  — десятичные цифры).

2. Первый трехходовый сумматор-вычитатель, на выходе  $S_i$  которого реализуется функция

$$S_i = (A_i B_i \vee \bar{A}_i \bar{B}_i) \Pi_{i-1} \vee (\bar{A}_i B_i \vee A_i \bar{B}_i) \Pi_{i-1} \vee \Pi_{i-1} \quad (1)$$

где  $S_i$  — сумма  $i$ -го разряда с учетом переноса, образованного в предыдущем ( $i-1$ ) разряде;  $\Pi_{i-1}$  — сигнал переноса в старший разряд из младшего.

3. Схема формирования переноса, функция на выходах  $\Pi'_i$ ,  $\Pi_{i-1}$  которой имеет вид:

$$\begin{aligned} \Pi'_i &= (A_i \bar{K}_{i-1} \vee \bar{A}_i K_{i-1}) (B_i \vee \Pi_{i-1}) \vee \Pi_{i-1} B_i \vee (Q_1 \vee Q_2) S_i T_4, \\ \Pi_{i-1} &= \Pi'_{i-1} \vee \Pi_1 T_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $K_{i-1}$  — команда вычитания.

4. Четырехразрядный квазистатический сдвиговый регистр с последовательным входом и параллельными выходами  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_4$  для записи и хранения нескорректированного значения суммы (разности) двоично-десятичных чисел.

5. Одноразрядный квазистатический сдвиговый регистр для задержки сигнала переноса на 1 бит (выход  $\Pi'_{i-1}$ ).

6. Корректор для хранения признака коррекции и формирования кода коррекции. В состав корректора входят триггер с заданным законом функционирования

$$\left. \begin{aligned} q_K &= \bar{\Pi}'_{i-1} T_1 \Phi_1 \vee \bar{q}_K \\ q_K &= \Pi'_{i-1} T_1 \Phi_1 \vee q_K \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

и логическая схема, на выходе которой реализуется функция  $S'_K = q_K (T_2 \vee T_4)$ , где  $T_2$ ,  $T_4$  — тактирующие сигналы, используемые для формирования числа 10.

7. Второй сумматор-вычитатель с выходом  $S_{i-4}$ , на котором реализуется функция

$$S_{i-4} = (\bar{S}'_{i-4} \bar{S}'_K \vee S'_{i-4} S'_K) \bar{\Pi}_{i-5} \vee (\bar{S}_{i-4} S_K \vee S'_{i-4} \bar{S}'_K) \Pi_{i-5},$$

где  $S'_{i-4}$  — сумма (разность), образованная в предыдущих четырех тактах;  $\Pi_{i-5}$  — перенос, образованный в предыдущем такте цикла коррекции результата суммы (разности).

8. Схема формирования переноса в процессе коррекции результата суммы (разности); функция на выходе  $\bar{\Pi}_{i-4}$  имеет вид:

$$\bar{\Pi}_{i-4} = (S'_{i-4} K_{i-3} \vee \bar{S}'_{i-4} \bar{K}_{i-3}) (S_K \vee \Pi_{i-5}) \vee S_K \Pi_{i-5},$$

где  $K_{i-3}$  — задержанная команда вычитания;  $K_{i-3}$  — команда вычитания;  $\Pi_{i-5}$  — задержанный на 1 бит перенос  $\Pi_{i-4}$ ;  $\Pi_{i-4} = \Pi'_{i-4} T_4 \vee T_4 P_2$ ;  $P_2$  — внешний сигнал переноса.

9. Квазистатический регистр задержки на 1 бит сигнала  $\Pi_{i-4}$ . На выходе регистра образуется сигнал  $\Pi_{i-5}$ .

Основные электрические параметры К501ИЛ1 приведены в таблице.

Основные электрические параметры ИС К501ИЛ1 при  $U_{\text{ип1}} = -12$  В,  $U_{\text{ип2}} = -27$  В,  $U_{\text{тф1}} = U_{\text{тф2}} = 27$  В

Наименование параметра	Значение параметра		
	Минимальное	Типовое	Максимальное
Ток, потребляемый от источника $U_{\text{ип1}}$ , мА	2,5	3,5	4,0
Ток, потребляемый от источника $U_{\text{ип2}}$ , мА	4,0	4,5	5,2
Входное напряжение, В соответствующее "1"	8,5	—	20
соответствующее "0"	0	—	2
Выходное напряжение, В соответствующее "1"	9,5	10	13,2
соответствующее "0"	0	0,5	1,0
Частота следования сигналов фаз $\Phi_1$ , $\Phi_2$ , кГц	0*	—	500
Длительность сигнала фазы $\Phi_1$ на частоте, отличной от нуля, мкс	1,0	—	0,01
Время нарастания выходного сигнала, мкс	—	—	1,2
Время спада выходного сигнала, мкс	—	—	1,0

\* Значение получено при  $U_{\text{тф1}} = 0$  В;  $U_{\text{тф2}} = 27$  В

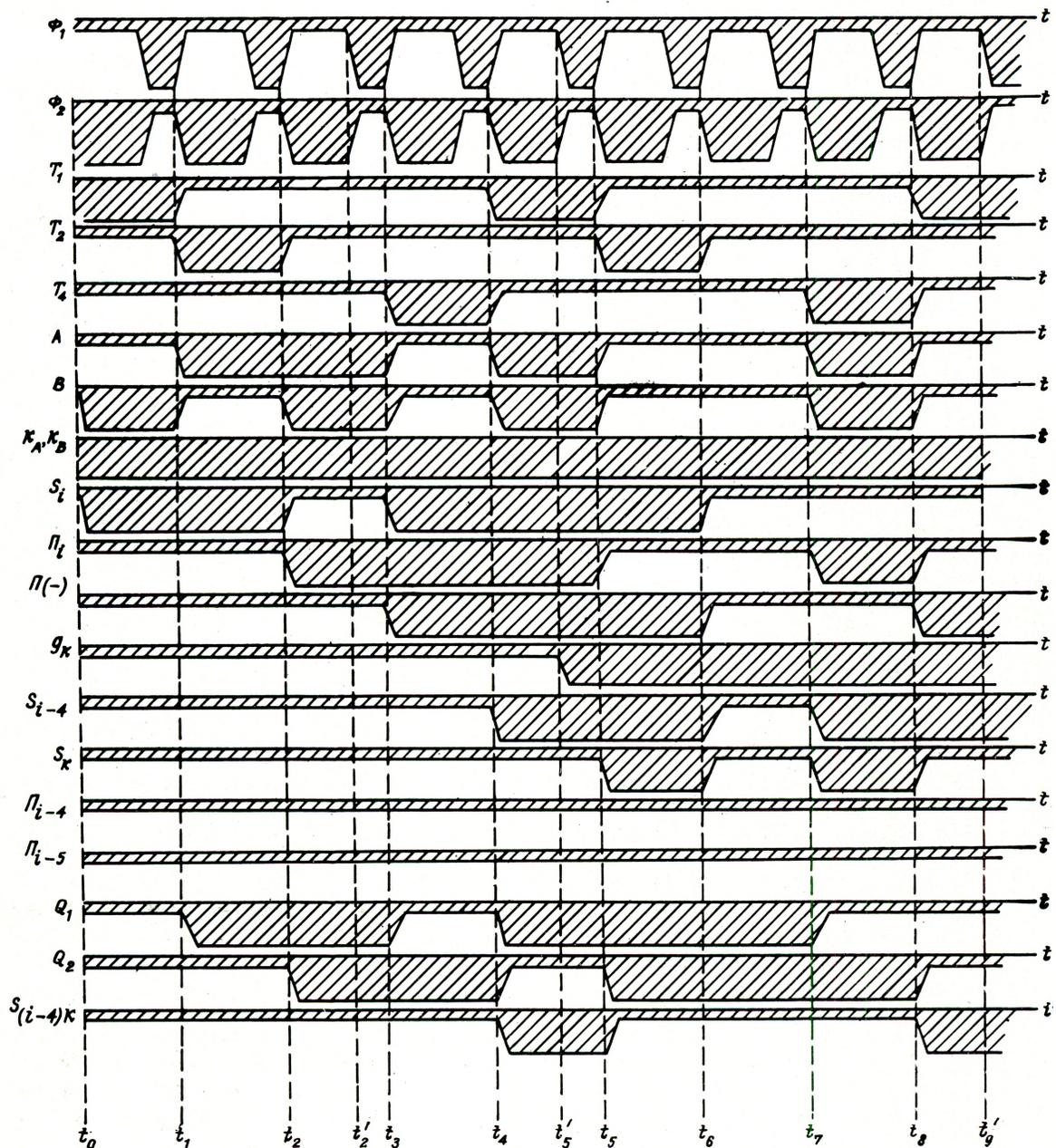


Рис. 2. Временные диаграммы работы АУ

Работа АУ синхронизируется двумя фазовыми сигналами  $\Phi_1, \Phi_2$  и тремя тактовыми  $T_1, T_2, T_4$ , при - вязанными к фазам сигналов  $\Phi_1, \Phi_2$  (рис. 2). Входная информация, поступающая на входы АУ, изменяется по переднему фронту сигнала  $\Phi_2$ . Команды  $K_A, K_B, K_{обм}, K_{"_{"3}}, P_1, P_2$  задаются постоянными логическими уровнями или сигналами соответствующей длительности в зависимости от режима работы АУ. На рисунке приведен пример сложения ( $K_{"_{"3}} = K_{"_{"3}} = 0$  и  $K_A = K_B = 1$ ) двух чисел (96 и 95), которые представлены в двоично-десятичном коде (10010110 и 10010101). Непосредст-

венно перед выполнением действий над числами все регистры и триггер коррекции устанавливаются в состояние "0", для чего на входы А и В или  $K_A$  и  $K_B$  подается уровень "0" в течение четырех фазовых периодов (на временной диаграмме этот момент не изображен).

С выходных узлов  $A_i, \bar{A}_i, B_i, \bar{B}_i$  входных схем двоичные сигналы поступают на входы первого сумматора-вычислителя и схемы формирования переноса, на выходах которых в соответствии с (1) и (2) образуются значения сигналов суммы и переноса  $S_i, \bar{P}_i$  для выбранных чисел  $S_1 = S_2 = 1$  и  $\bar{P}_1 = \bar{P}_2 = 0$ , периоды времени соответственно  $t_0 - t_1$  и  $t_1 - t_2$

(см. рис. 2). Сигнал переноса  $\Pi_i = 1$  появляется в третьем периоде ( $t_2 - t_3$ ). Образованный сигнал переноса  $\Pi_3$  записывается по сигналу  $\Phi_1$  в квазистатистический регистр, что соответствует промежутку времени  $t'_2 - t_3$ . В последующем периоде  $t_3 - t_4$  по переднему фронту  $\Phi_2$  формируется задержанный на 1 бит сигнал переноса  $\Pi_{i-1}$ , который суммируется с четвертым двоичным разрядом чисел  $A$  и  $B$ .

С выхода  $S_i$  числа поступают на вход 4-разрядного квазистатистического регистра, на выходе  $Q_4$  которого образуется задержанный на четыре периода сигнал суммы  $S'_{i-4}$ . Выходы  $Q_1, Q_2, S_i$  используются для анализа значения суммы двоично-десятичного числа ( $Q_1$  — старший разряд). Если результат суммы больше 9, то на выходе  $\Pi'_i$  в четвертом периоде также появляется сигнал переноса.

Для выбранных чисел 5 и 6 в результате проверки условия  $T_4 (Q_1 \vee Q_2) S_i = 1$  формируется сигнал "сумма > 9" ( $t_3 - t_4$ ), которым устанавливается триггер коррекции в начале пятого тактового периода ( $t'_5$ ). Для чисел больше 15 сигнал "сумма > 9" формируется образованием переноса в четвертом двоичном разряде младшей тетрады. Задержанный сигнал "сумма > 9" с выхода  $\Pi_{i-1}$  поступает на входы триггера признака коррекции и в соответствии с (3) устанавливает его в состояние  $q_K = 1$  ( $t'_5 - t_5$ ). В таком состоянии триггер будет находиться в течение не менее четырех фазовых периодов, а сигнал с его выхода проходит на второй сумматор-вычитатель числа 10, формируемого из  $T_2$  и  $T_4$  (выход  $S_K$ ). Второй сумматор-вычитатель и схема формирования переноса работают аналогично первым.

Статья поступила 6 января 1977 г.

## МИНИАТЮРНЫЕ ПОДСТРОЕЧНЫЕ КЕРМЕТНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

И. Г. БУДАНОВА, Ю. М. МУДРОЛЮБОВ, Ю. А. СМОРЯКОВ

**ПОДСТРОЕЧНЫЕ КЕРМЕТНЫЕ РЕЗИСТОРЫ СПЗ-28, СПЗ-19 И СПЗ-34 ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МАЛОГАБАРИТНОЙ АППАРАТУРЕ И В ИЗДЕЛИЯХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ. ОНИ ИМЕЮТ МАЛЫЕ ГАБАРИТЫ, ВЫСОКУЮ НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ И ПОВЫШЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.**

УДК 621.316.86

В условиях все возрастающей сложности аппаратуры большое значение придается настройке и регулировке электронных приборов и в связи с этим — различного рода подстроечным элементам.

Применяемые до недавнего времени лакоза-жевые резистивные пленки и проводящие пластмассы не обладают необходимой нагрузочной способностью и стабильностью; металлоокисные слои имеют ограниченный диапазон номинальных сопротивлений и повышенный ТКС. Миниатюрные проводочные переменные резисторы вследствие их ограниченной разрешающей способности, а также

значительной индуктивности резистивного элемента не могут быть использованы в высокочастотных цепях.

Получивший широкое распространение новый класс толстопленочных композиционных резистивных материалов — керметов, или резистивных глазурей, обладает рядом существенных преимуществ:

— возможностью получения широкого диапазона удельных сопротивлений (от единиц ом до единиц мегом на квадрат) и обеспечения малых значений ТКС;

- повышенной нагрузочной способностью (до 5–10 Вт/см<sup>2</sup>);
- высокими механической прочностью, надежностью;
- теплостойкостью (до 200–300°С) и стабильностью при воздействии электрической нагрузки и климатических факторов (в пределах единиц процентов за срок службы);
- относительно простой технологией изготовления.

Эти материалы широко применяют при создании толстопленочных интегральных и резистивных схем, постоянных, переменных и особенно подстроечных миниатюрных резисторов.

Большой объем исследований, проведенных за последние 10–15 лет, обусловил появление значительного количества керметных резистивных материалов с большим разнообразием используемых в них проводящих систем.

В последнее время наибольшее распространение получили пасты на палладиево-серебряной

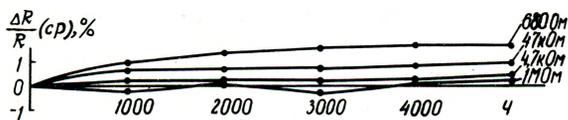


Рис. 1. Относительное изменение сопротивления резисторов во времени при нагрузке 0,5 Вт и 70°С



Рис. 2. Относительное изменение сопротивления резисторов во времени при рабочей температуре 125°С

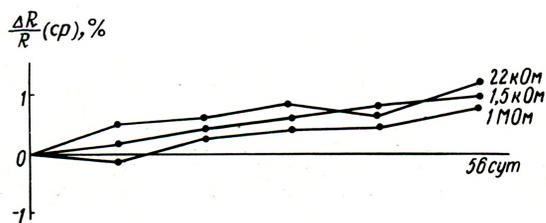


Рис. 3. Относительное изменение сопротивления резисторов во времени при температуре 40°С и относительной влажности 98%

проводящей основе. Использование их позволяет в широких пределах менять величину сопротивления резистивных слоев и управлять температурным коэффициентом сопротивления резисторов, снизив его величину до  $\pm 500 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>.

Новые разработки в этой области резисторостроения обусловили появление новых материалов, обеспечивающих более высокие характеристики резисторов: стабильность ТКС и стойкость к агрессивным средам. Широкое распространение получили глазури на основе двуокиси рутения.

Величина удельного сопротивления двуокиси рутения  $\sim 50$  мкОм·см при ТКС =  $3000 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Такая величина удельного сопротивления, характерная для полупроводникового материала, обеспечивает получение глазури с достаточно широким диапазоном сопротивлений, а чисто "металлическая" температурная зависимость проводящей фазы позволяет компенсировать зернистость, характерную для керметных материалов и особенно сильно проявляющуюся в области средних и высоких значений сопротивления (при малом объемном содержании проводящей фазы).

Проведенные исследования позволили создать технологию изготовления рутенийсодержащих глазури и повысить технические характеристики отечественных керметных резисторов (рис. 1–3).

В настоящее время эта технология базируется на следующих системах проводящих фаз:

Pd – Ag-стекло – для номинальных значений сопротивлений 10–330 Ом;

RuO<sub>2</sub> – Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-стекло – для номинальных значений 470 Ом – 47 кОм;

RuO<sub>2</sub> – Ag-стекло – для высокоомных резисторов до 1 МОм.

В качестве неорганического связующего (стеклосвязки) выбрано боросвинцовосиликатное стекло 302-6, хорошо смачивающее материалы проводящей фазы и подложки и согласующееся по коэффициенту линейного расширения с этими материалами. Материалом электродов служат палладий-серебряные пасты, материалом подложки – высокоглиноземистая керамика класса VIII-б-3 ГОСТ 5458–75.

Разработано три типа малогабаритных подстроечных керметных резисторов:

– бескорпусные безвыводные подстроечные ре-

Зисторы (чипы) СПЗ-28, пригодные для применения в составе микросхем;

миниатюрные подстроечные однооборотные резисторы СПЗ-19а и СПЗ-19б для печатного монтажа с креплением за выводы и СПЗ-19в для объемного монтажа с креплением за втулку;

многооборотные подстроечные резисторы СПЗ-34 для печатного монтажа.

Основные характеристики керметных подстроечных резисторов приведены в таблице.

Наименование параметров	СПЗ-19	СПЗ-28	СПЗ-34
Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	10–10 <sup>6</sup>	10–10 <sup>6</sup>	10–10 <sup>6</sup>
Допуск на величину сопротивления, %	±10; ±20	±10; ±20	±10; ±20
Номинальная мощность рассеяния, Вт	0,5 при 70°С	0,125 при 70°С	0,5 при 40°С
ТКС, 10 <sup>-6</sup> град <sup>-1</sup>	0–500 для R <sub>ном</sub> = 10 ÷ 330 Ом; ±250 для R <sub>ном</sub> > 330 Ом		
Износоустойчивость, циклы	500	200	500
Срок службы, ч	1500	1500	1500
Габариты, мм	φ 6,5; h=4,0	4,5×4,5×1,5	19×7×5

Использование керметного элемента позволило значительно уменьшить габариты резисторов и увеличить их стабильность и срок службы.

#### Условия эксплуатации резисторов

Рабочая температура, °С	-60 ÷ +125
Относительная влажность воздуха, %	до 98 (при 40°С)
Вибрация	5–5000 Гц (40 г)
Нагрузка, г	
многократные удары	150
одиночные удары	1000
линейные ускорения	500

Резисторы СПЗ-28 разработаны с учетом осуществления монтажа элемента регулировки микросхем непосредственно на микроплате. Малые размеры и конструкция резистора позволяют размещать его в корпусах схем. Выводами резистора служат металлизированные углы керамического основания. Благодаря высокой устойчивости керметного резистивного элемента к внешним воздействиям резисторы не нуждаются в специальной защите (за исключением воздействия соляного тумана).

Резисторы СПЗ-19 выполнены в трех вариантах конструкции:

СПЗ-19а – для печатного монтажа с расположением оси перпендикулярно монтажной плате;

СПЗ-19б – для печатного монтажа с расположением оси параллельно монтажной плате;

СПЗ-19в – для объемного монтажа за резьбовую втулку.

Размеры резисторов СПЗ-19а в 11 раз меньше малогабаритного резистора СП4-1 и в 18 раз меньше резистора СП0-0,5 при одной и той же номинальной мощности, что позволяет использовать их совместно с интегральными и гибридными схемами.

С целью повышения точности регулировки малогабаритных керметных резисторов были разработаны резисторы СПЗ-34, в которых полная регулировка величины сопротивления осуществляется за 20 оборотов оси, что достигается использованием винтовой пары для перемещения подвижного контакта. Резисторы заключены в прямоугольные пластмассовые корпуса и предназначены для монтажа за выводы на печатной плате.

Статья поступила 30 мая 1977 г.

### НОВАЯ КНИГА

#### ПРИБОРЫ С ПЕРЕНОСОМ ЗАРЯДА

К. СЕКЕН, М. ТОМПСЕТ

Пер. с англ. М., "Мир", 1978, 22 л.

Книга является первой монографией в мировой литературе, посвященной физике и конструированию нового перспективного класса приборов полупроводниковой микроэлектроники – приборов с переносом заряда (ППЗ). Рассматриваются физические принципы действия и основные ограничения на применения этих приборов, анализируются их конструкции, описываются применения ППЗ в качестве формирователей видеосигналов и в устройствах обработки аналоговой и цифровой информации.

Книга представляет значительный интерес для разработчиков и потребителей ППЗ, а также для студентов и аспирантов, специализирующихся в области электроники и радиотехники.

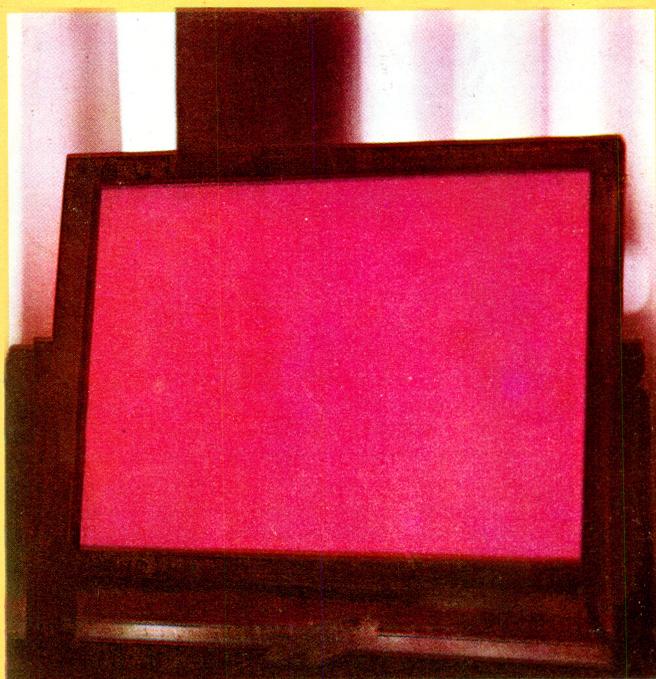
**ЭЛЕКТРО -  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ**  
светильники,  
дорожные знаки  
и указатели,  
шкалы приборов  
в автомобилях  
и самолетах

**ПОМОГАЮТ  
ОРИЕНТИРОВАТЬСЯ  
В ТЕМНОТЕ**



## **ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА**

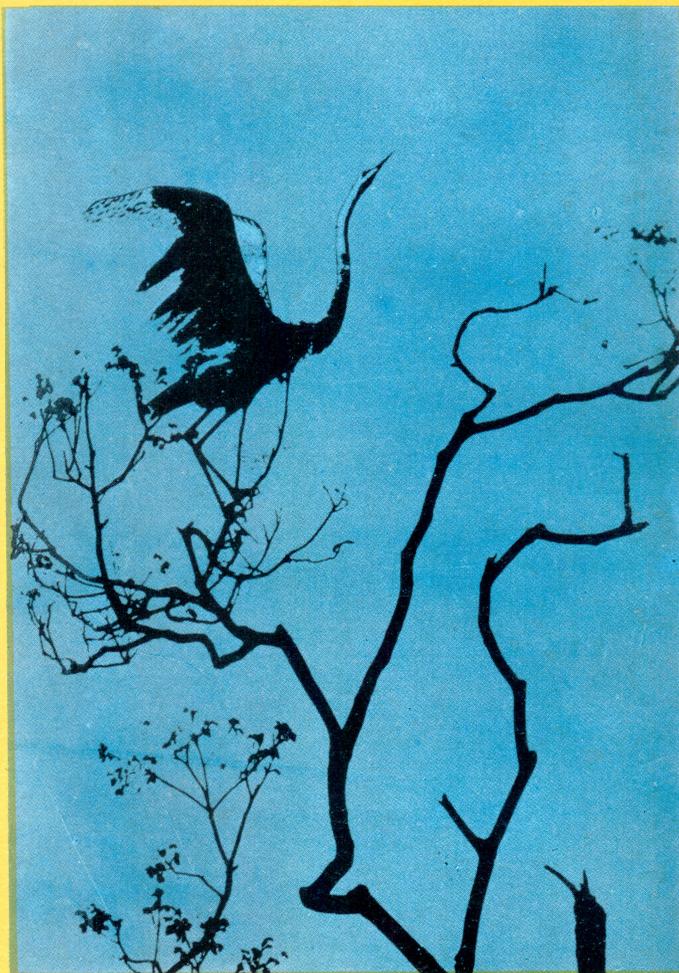
**компактны,  
надежны,  
высокоэффективны,  
не подвержены  
внезапным отказам  
и тепловому  
разогреву,  
обеспечивают высокую  
равномерность  
свечения  
на большой площади**



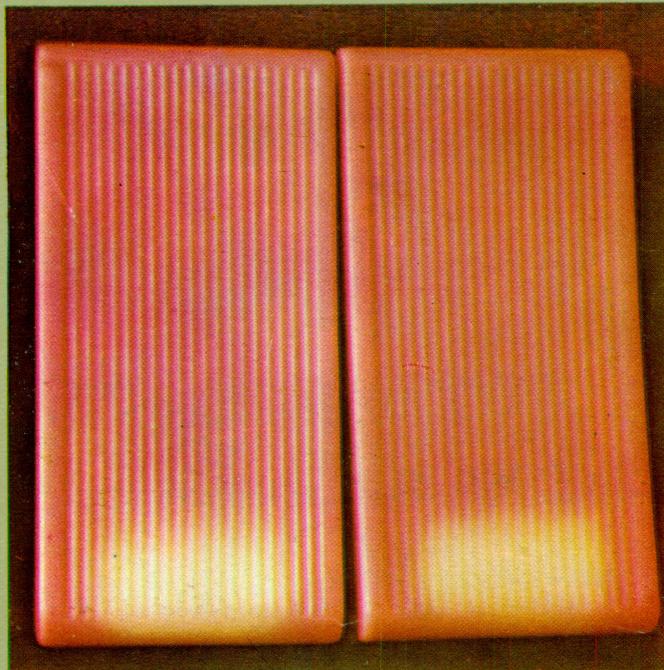
Для освещения жилых помещений предназначен *декоративный ЭЛИС*. Днем или в освещенной комнате этот светильник со штриховым рисунком, выполненным на световом поле 200х300 мм фотопечатью по слою непрозрачного лака, выглядит как гравюра. В ночное время он светится мягким голубовато-зеленым светом. Яркость свечения 6–10 кд/м<sup>2</sup>. Равномерность яркости излучения по световому полю ~10%. Мощность, потребляемая от сети, ~2 Вт. Стоимость годичной эксплуатации при ежедневном 12-часовом включении около 40 коп. На ЭЛИС можно выполнить любой рисунок, а светящийся фон сделать многоцветным.

Для любительских и промышленных фотолабораторий, фотоателье и предприятий, производящих фотоматериалы, отраслью разработан и выпускается *электролюминесцентный фонарь (ЭЛ-фонарь)*. Засветка от такого фонаря не оказывает заметного влияния на несенсибилизированные фотоматериалы, например фотобумагу "Унибром-3", в течение 128 мин, тогда как засветка от фотофонаря с лампой накаливания и красным светофильтром через 16 мин вызывает недопустимое почернение эмульсионного слоя. При освещении электролюминесцентным источником света (ЭЛИС) глаза меньше устают, чем при свете обычного красного фонаря, при выходе из фотолаборатории практически не требуется аккомодации к дневному свету. Восприятие полутонов при освещении ЭЛИС близко к реальному. Потребляемая мощность ЭЛ-фонаря 3 Вт, яркость 6–7 кд/м<sup>2</sup>. Размер освещаемого рабочего поля 210х150 мм. В процессе эксплуатации яркость электролюминесценции снижается плавно

Конструкция подставки позволяет изменять угол наклона и предусматривает как настенное крепление прибора, так и размещение его на столе. Габариты корпуса прибора составляют 200х171х10 мм, масса около 0,6 кг.

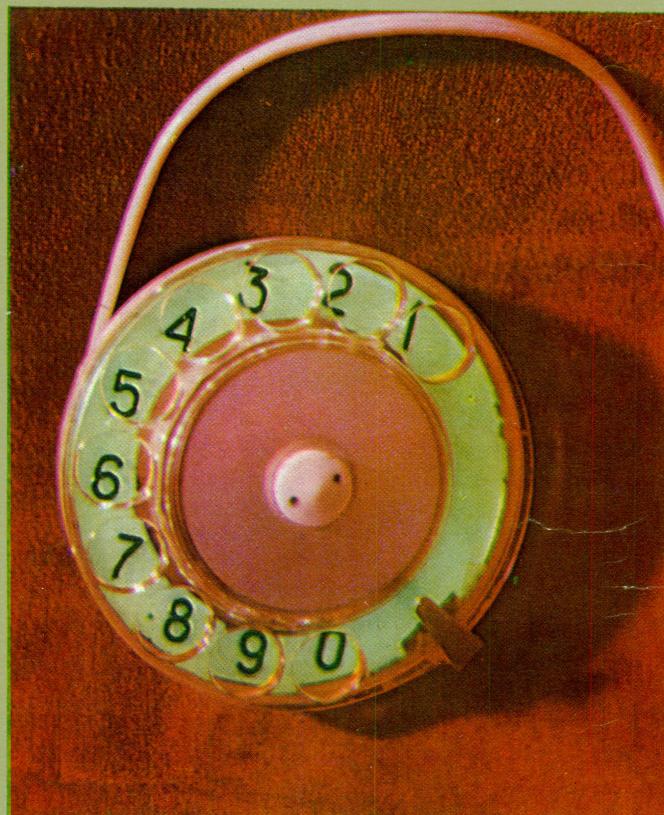


Когда возникает необходимость быстро найти выключатель в темном помещении, незаменим клавишный выключатель с электролюминесцентной подсветкой. Источник света, выполненный как электролюминесцентная панель размером 20x11 мм и толщиной 3 мм, монтируется в клавише стандартного выключателя. При выключенном освещении ЭЛИС создает подсветку с яркостью  $\sim 4$  кд/м<sup>2</sup>, что позволяет найти выключатель с расстояния несколько метров. При включении общего освещения прибор отключается. Время спада яркости до величины, обеспечивающей хорошую различимость выключателя в темноте, составляет около 30 тыс.ч. Мощность, потребляемая ЭЛИС, не больше 0,2 мВт, стоимость его годичной эксплуатации при круглосуточном включении в сеть примерно 0,1 коп.



Для удобства пользования телефоном в темном помещении разработан кольцеобразный ЭЛИС. Внутренний диаметр кольца составляет 54 мм, внешний — 77 мм. Прибор монтируется в номеронабиратель телефонного аппарата и при возбуждении напряжением 100 В с частотой 50 Гц имеет яркость не менее 1 кд/м<sup>2</sup>, вполне достаточную для того, чтобы хорошо различать цифры с расстояния 1 м. Питание ЭЛИС осуществляется от сети переменного тока напряжением 220/127 В через последовательно включенное добавочное сопротивление или от автоматической телефонной станции через преобразователь, вмонтированный в корпус телефонного аппарата. Потребляемая от сети мощность 60 мВт, стоимость годичной эксплуатации при круглосуточном включении 2,5 коп.

Электролюминесцентные приборы могут применяться в технике, медицине и в быту.



# ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

26

Управление составом  
легированных гранатовых пленок с ЦМД

31

Возможности улучшения электрических  
свойств оксидного диэлектрика  
электролитических конденсаторов

36

Голографический поиск информации

25

# УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ ЛЕГИРОВАННЫХ ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК С ЦМД

А. К. БАРАНОВ, Ю. И. СПИНКИН

ПОЛУЧЕНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ НАХОДИТЬ КОНЦЕНТРАЦИЮ ПРИМЕСЕЙ ИОНОВ РАЗНОЙ ВАЛЕНТНОСТИ ПРИ ИХ ОДНОВРЕМЕННОМ ВХОЖДЕНИИ В ПЛЕНКУ И ОБЕСПЕЧЕНИИ УСЛОВИЯ ЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНОСТИ.

УДК [539.216.2:621.318.1]:548

Для получения требуемой величины намагниченности эпитаксиальных гранатовых пленок с ЦМД в состав на основе  $Y_3Fe_5O_{12}$  вводят немагнитные ионы  $Ga^{3+}$ , замещающие ионы  $Fe^{3+}$  и имеющие тот же заряд. Соотношение концентраций  $Ga^{3+}$  в расплаве и в пленке описывается коэффициентом распределения, обычно задаваемом в виде

$$K = \frac{\frac{Ga}{Ga + Fe} \text{ (пленка)}}{\frac{Ga}{Ga + Fe} \text{ (расплав)}}$$

С учетом зависимости этого коэффициента от скорости роста можно достаточно точно предсказать содержание ионов галлия в пленке в зависимости от вариации содержания его в расплаве.

Получение пленок с улучшенными температурными характеристиками потребовало одновременного введения двух видов ионов: двухвалентного  $Ca^{2+}$  в группу редкой земли и четырехвалентного  $Ge^{4+}$  в группу железа. Оптимальный состав этих пленок  $Ln_2Ca_1Fe_4Ge_1O_{12}$  (где Ln – редкоземельные элементы). Из-за высокой концентрации добавок (в отличие от легированных полупроводников) в пленках должно выполняться условие электронейтральности состава, поэтому содержание ионов  $Ca^{2+}$  и  $Ge^{4+}$  должно быть равным. Для описания соотношения концентрации ионов кальция и германия в расплаве и в пленке предложен парный коэффициент распределения [1]:

$$K_{AN} = \frac{A^{2+} + N^{4+} \text{ (пленка)}}{2(A^{2+} + N^{4+}) \text{ (расплав)}}$$

Ясно, что в четырехкомпонентной системе содержание примесного компонента зависит не только от его концентрации по отношению к заменяемому компоненту, но и от концентрации примеси-напарника. В данном виде эта зависимость носит лишь качественный характер.

Рассмотрим возможность раскрыть количественные соотношения в четырехкомпонентной системе и оценить на этой основе систему  $Ln_2Ca_1Fe_4Ge_1O_{12}$  (для простоты индексы Ca и Ge в формуле граната округлены до 1).

*Модель четырехкомпонентной системы.* Предположим, что из расплава, содержащего основные (D и E) и примесные (A и B) элементы (рис. 1), происходит кристаллизация пленки со строгим соотношением групп основных элементов. Элементы A и B идут соответственно на замену части основных элементов D и E, причем для обеспечения

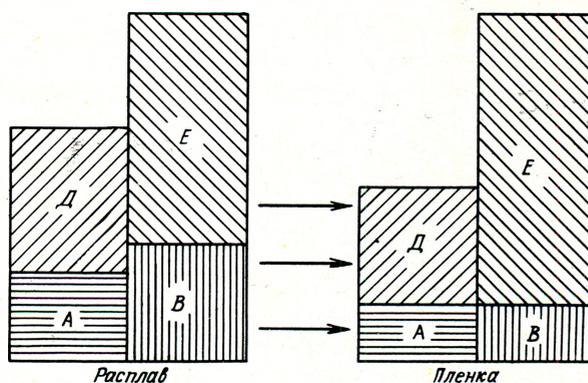


Рис. 1. Схема соотношений компонентов при кристаллизации из расплава и обеспечении электронейтральности примесных компонентов A и B в пленке

электронейтральности состава концентрации элементов  $A$  и  $B$  в кристалле равны.

Вхождение примесного элемента в пленку определяется действием двух факторов:

- собственным коэффициентом распределения примеси по отношению к основному элементу;
- силами, обеспечивающими электронейтральность кристалла и зависящими от концентрации второго примесного элемента.

Изменение концентраций схематично показано на рис. 2, а. Если бы элементы  $A$  и  $B$  не взаимодействовали, то их концентрации в кристалле были бы  $\alpha A$  и  $\beta B$  ( $\alpha$  и  $\beta$  – собственные коэффициенты распределения примесей  $A$  и  $B$ ). Взаимодействие же приводит к тому, что элемент, содержащийся в пленке в меньшем количестве ( $\beta B$ ), задерживает вхождение элемента с большей концентрацией ( $\alpha A$ ) и наоборот. В результате происходит взаимное сближение уровней, и в кристалле устанавливается одинаковая концентрация примесных элементов ( $C_A = C_B$ ), уровень которой расположен в промежутке между  $\beta B$  и  $\alpha A$ .

Для нахождения этого уровня сделаем ряд предположений.

I. Допустим, что равновесная концентрация  $C_A = C_B$  достигается за счет сдвигов уровней  $\alpha A$  и  $\beta B$  пропорционально некоторым "потенциалам" элементов  $A$  и  $B$ , т.е. независимо от разности уровней  $\Delta = \alpha A - \beta B$  отношение сдвига за счет элемента  $A$  к сдвигу за счет элемента  $B$  постоянно и равно  $\gamma$ :

$$\frac{\alpha A - C}{C - \beta B} = \gamma, \text{ тогда } C_A = C_B = \frac{\alpha A + \gamma \beta B}{1 + \gamma}.$$

Видно, что концентрация примеси в пленке линейно изменяется с изменением содержания одного из элементов, а второй элемент определяет лишь сдвиг прямой этой зависимости по оси ординат (рис. 3). Можно предположить, что такая модель достаточно хорошо отражает распределение компонентов в пленке при малой разности уровней  $\Delta = (\alpha A - \beta B)$ , когда действует в основном механизм собственных коэффициентов распределения. Случаю  $\Delta = 0$  соответствует прямая 1, пересекающая семейство кривых на рис. 3; сама концентрация примесей в кристаллической пленке при этом  $C \approx \alpha A \approx \beta B$ .

Изменение содержащихся в пленке примесей при вариации состава по элементам  $A$  и  $B$  можно представить в виде соотношений:

$$\frac{\partial C}{\partial A} = \frac{\alpha}{1 + \gamma} \text{ и } \frac{\partial C}{\partial B} = \frac{\gamma \beta}{1 + \gamma},$$

которые могут быть использованы при оценках величин  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  из экспериментов.

Если один из компонентов содержится в малом количестве и уровни  $\alpha A$  и  $\beta B$  существенно различаются, то согласно предложенной модели с увеличением концентрации преобладающего компонента добавки происходит дальнейший рост содержания примесей в пленке. А из общих соображений можно ожидать, что малая концентрация одного из компонентов будет сильным сдерживающим фактором и приведет к малому вхождению обеих примесей в кристалл. В этом случае для нахождения концентрации примесей необходимо сделать новые предположения.

II. Допустим, что смещение начальных уровней  $\alpha A$  и  $\beta B$  к равновесному уровню пропорционально концентрации этих компонентов в расплаве, или

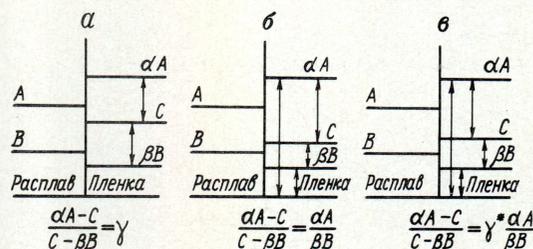


Рис. 2. Уровни концентрации примесей  $A$  и  $B$  в расплаве и пленке для моделей I (а), II (б), III (в)

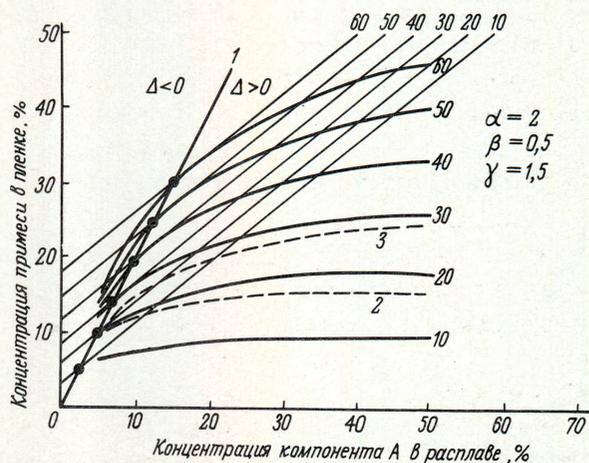


Рис. 3. Изменение концентрации примеси в пленке при изменении содержания компонента  $A$  в расплаве (концентрация  $B$  в расплаве указана параметром): прямые линии – для модели I ( $\gamma = 1,5$ ); кривые сплошные – для модели II; пунктирные – для модели III при  $B = 20$ ; (2 –  $\gamma^* = 1,5$ ; 3 –  $\gamma^* = 0,5$ ); прямая 1 – скомпенсированный расплав

точнее, положению самих уровней  $\alpha A$  и  $\beta B$  (рис. 2, б), т.е.

$$\frac{\alpha A - C}{C - \beta B} = \frac{\alpha A}{\beta B},$$

$$\text{откуда } C = \frac{2 \alpha \beta A B}{\alpha A + \beta B}. \quad (1)$$

Из семейства кривых, построенных по этой зависимости (см. рис. 3) видно, что в области вблизи  $\alpha A = \beta B$  эти кривые хорошо совпадают с прямыми зависимостями из первой модели:

$$C = \frac{2 \alpha \beta A B}{\alpha A + \beta B} \approx \alpha A \approx \beta B \text{ при } \alpha A \rightarrow \beta B.$$

Вне этой области зависимость существенно нелинейна, т.е. вторая модель как бы поглощает первую. При малом содержании одного из компонентов кривые имеют ярко выраженную тенденцию к насыщению при значительном увеличении содержания другого компонента. Предельные значения содержания примесей в пленке:

$$C = \frac{2 \alpha \beta A B}{\alpha A + \beta B} \rightarrow 2 \beta B \text{ при } \alpha A \gg \beta B$$

$$\text{и } C \rightarrow 2 \alpha A \text{ при } \alpha A \ll \beta B.$$

Из этих соотношений можно экспериментально определить значения  $\alpha$  и  $\beta$ .

Изменения состава пленки при вариации состава расплава по элементам  $A$  и  $B$  следующие:

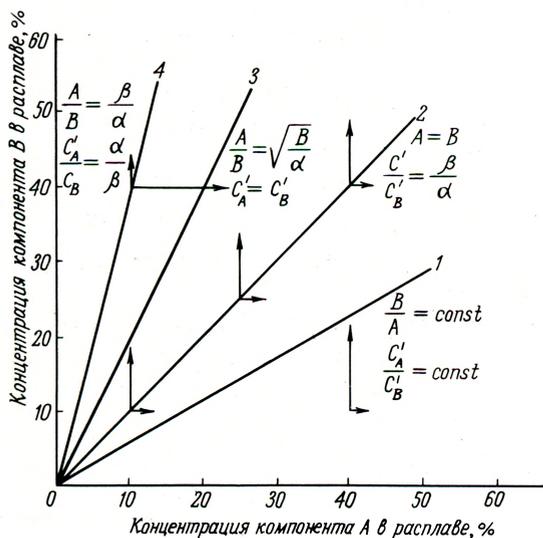


Рис. 4. Изменение концентрации примеси в пленке (пропорциональное длине стрелок) при вариации компонентов  $A$  и  $B$  в расплаве

$$\frac{\partial C}{\partial A} = \frac{2 \alpha \beta^2 B^2}{(\alpha A + \beta B)^2} \text{ и } \frac{\partial C}{\partial B} = \frac{2 \alpha^2 \beta A^2}{(\alpha A + \beta B)^2}.$$

Они показаны на рис. 4 в координатах  $A-B$  стрелками, длина которых пропорциональна изменению концентрации добавок, а направление отражает, по какому компоненту производится вариация расплава. Из зависимостей, представленных на рис. 4, можно сделать следующие выводы:

– наибольшая чувствительность состава пленки при вариации расплава по элементу  $A$  должна быть в области  $\alpha A \ll \beta B$ , а для элемента  $B$  – в области  $\beta B \ll \alpha A$ , т.е. решающим в распределении примесей является низкий уровень;

– для семейства составов расплава с сохранением постоянного отношения компонентов  $A$  и  $B$  чувствительность состава пленки к их вариациям

$$\text{остается постоянной } \frac{C'_A}{C'_B} = \text{const (прямая 1);}$$

– для семейства составов расплава с  $A = B$  отношение вариаций составов пленки по  $A$  и  $B$  равно обратному отношению собственных коэффициентов

$$\text{распределения: } \frac{C'_A}{C'_B} = \frac{\beta}{\alpha} \text{ (прямая 2);}$$

– для семейства составов с  $\frac{A}{B} = \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}$  чувствительность пленки к вариациям расплава по  $A$  и по  $B$  одинаковая, т.е.  $C'_A = C'_B$  (прямая 3);

– для семейства скомпенсированных составов ( $\alpha A = \beta B$ ) отношение вариаций составов по  $A$  и  $B$  равно отношению собственных коэффициен-

$$\text{тов распределения: } \frac{C'_A}{C'_B} = \frac{\alpha}{\beta} \text{ (прямая 4), а сами вариации } C'_A = \alpha/2, C'_B = \beta/2.$$

Как видно из соотношения (1), желаемая концентрация добавок в пленке может быть обеспечена не каким-то одним составом, а целым семейством составов (рис. 5). Эти кривые имеют форму, близкую к гиперболом, сдвинутым относительно друг друга по осям  $x$  и  $y$ . Из кривых можно определить направление градиента изменения состава пленки и легко выбрать оптимальное соотношение добавок  $\Delta A$  и  $\Delta B$ , которые следует внести в расплав при необходимости вариации состава пленки.

Во всех предыдущих рассуждениях собственные коэффициенты распределения рассматривались как статические величины. На практике значения этих

коэффициентов зависят от скорости роста пленок и стремятся к единице при увеличении скорости до бесконечности [2]. Ограничимся линейной аппроксимацией зависимости коэффициентов распределения:  $\alpha = \alpha_0 - av$ ;  $\beta = \beta_0 + \epsilon v$  (знаки перед вторыми членами соответствуют  $\alpha > 1$  и  $\beta < 1$ ;  $a, \epsilon > 0$ ).

В рамках модели II выражение для концентрации примеси в пленке имеет вид:

$$C = \frac{2(\alpha_0 - av)(\beta_0 + \epsilon v)AB}{(\alpha_0 - av)A + (\beta_0 + \epsilon v)B},$$

а если ограничиться линейными по скорости роста ( $v$ ) членами:

$$C = \frac{2[\alpha_0\beta_0 + (\alpha_0\epsilon - \beta_0a)v]AB}{(\alpha_0A + \beta_0B) - (aA - \epsilon B)v}. \quad (2)$$

Попытка определения экстремальной по  $v$  точки приводит к результату:

$$C'_v = 0 \text{ при } \frac{A}{B} = \frac{\beta_0^2 \cdot a}{\alpha_0^2 \cdot \epsilon} \quad (3)$$

Так как  $\alpha, \beta, a, \epsilon$  — действительные числа, то при любых значениях этих величин найдется состав, для которого  $C'_v = 0$ .

Из соотношения (2) следует, что зависимость коэффициентов распределения от скорости роста дает возможность получить заданный уровень примесей из семейства составов, расположенного не только на одной кривой, но и в целой полосе у этой кривой с перетяжкой в точке, определяемой соотношением (3), — заштрихованная область у кривой  $C = 20$  на рис. 5.

*Некоторые оценки системы  $\text{Ln}_2\text{Ca}_1\text{Fe}_4\text{Ge}_1\text{O}_{12}$ .*

Используемые в настоящее время расплавы на основе  $\text{PbO}$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$  для получения эпитаксиальных гранатовых пленок с ЦМД имеют состав [3] с

отношениями (в мольных процентах):  $\frac{\text{Ca}}{\text{Ca} + \text{Ln}} = 73$  и  $\frac{\text{Ge}}{\text{Fe} + \text{Ge}} = 14$ . При этом из-за сложной фазовой диаграммы между группой лантаноидов и группой железа в расплаве должно выполняться

соотношение (в молях) [4]:  $10 < R_1 = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Ln}_2\text{O}_3} < 30$ ;

в пленке оно равно  $\frac{\text{Ln}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{3}{5}$ . Поэтому

оценку концентрации примесей удобнее проводить в относительных процентах в группах лантана и

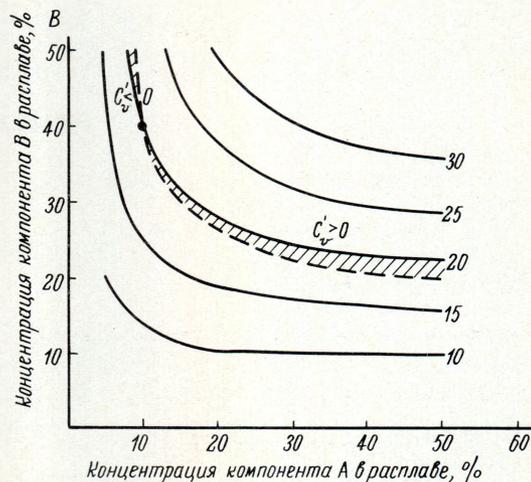


Рис. 5. Кривые постоянной концентрации примеси в пленке (указана параметром) при  $\alpha = 2$  и  $\beta = 0,5$

железа, а не по отношению ко всему расплаву. При этом условие электронейтральности пленки следует сформулировать не в виде равенства относительных концентраций ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Ge}^{4+}$  (действительно, в формульной единице  $\text{Ln}_2\text{Ca}_1\text{Fe}_4\text{Ge}_1\text{O}_{12}$  содержится 33 отн. % ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и 20% отн. % ионов  $\text{Ge}^{4+}$ ), а в виде равенства числа ионов в единице объема, которое определяется как произведение относительной концентрации на "вес" данной группы в составе пленки. Для формульной единицы граната эти веса —  $M_{\text{Ln}} = 3$ ,  $M_{\text{Fe}} = 5$ , откуда получаем условие электронейтральности  $33 \cdot 3 \approx 20 \cdot 5$ .

Поэтому при расчетах концентрации примесей формула (1) принимает вид

$$C = \frac{2\alpha\beta \cdot AB}{\alpha A \frac{M_A}{M_B} + \beta B}, \quad (4)$$

( $C$  — оценивается в относительных процентах группы А). Ионный радиус  $\text{Ca}^{2+}$  больше радиусов  $\text{Ln}^{3+}$ , а ионный радиус  $\text{Ge}^{4+}$  меньше радиуса  $\text{Fe}^{3+}$ , поэтому можно ожидать, что коэффициент распределения  $\text{Ca}^{2+}$  меньше единицы, а для  $\text{Ge}^{4+}$  — больше единицы. Для сохранения связи с обозначениями в предыдущих формулах примем:  $A, \alpha$  — относительная концентрация в расплаве и коэффициент распределения  $\text{Ge}^{4+}$ ;  $B, \beta$  — относительная концентрация в расплаве и коэффициент распределения  $\text{Ca}^{2+}$ .

Если известно содержание  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Ge}^{4+}$  в пленке и в исходном расплаве, то по формуле (4) можно найти соотношение между допустимыми значениями  $\alpha$  и  $\beta$ , а также соответствующее изменение уровней  $\alpha M_A$  и  $\beta M_B$  (рис. 6).

Из соотношения (4) также следует, что эффективный коэффициент распределения  $K_{\text{эфф}}^A = \frac{C}{A}$  для компенсированного расплава совпадает с собственным коэффициентом. Действительно,

$$K_{\text{эфф}}^A = \frac{2\alpha\beta B}{\alpha A \frac{M_A}{M_B} + \beta B} \rightarrow \alpha \quad \text{при} \quad \alpha AM_A \rightarrow \beta BM_B.$$

В рассматриваемом случае значения эффективных коэффициентов распределения для ионов кальция и германия соответственно равны:  $K_{\text{эфф}}^{\text{Ge}} = \frac{20}{14} = 1,4$ ;  $K_{\text{эфф}}^{\text{Ca}} = \frac{33}{73} = 0,45$ . Если их нанести на

рис. 6, они лягут на кривую, определенную из уравнения (4). Но это может быть только в случае компенсированного расплава. Отсюда следует, что в расчетах можно использовать значения  $\alpha = 1,4$  и  $\beta = 0,45$ .

Неопределенность значений  $a$  и  $v$  не позволяет оценить, насколько данный расплав соответствует условию  $C'_v = 0$ . Но можно предположить, что из (3) следует требование дальнейшего увеличения отношения концентрации ионов кальция к ионам германия.

Таким образом, попытка описания вхождения примесей двух- и четырехвалентных ионов в процессе кристаллизации пленок на основе собственных коэффициентов распределения и с учетом сил, обеспечивающих электронейтральность, приводит к следующему выражению для эффективного коэффициента распределения, понимаемого как отношение концентрации примеси в пленке к концентрации ее в расплаве:

$$\frac{C}{A} = \frac{2\alpha\beta}{\alpha \frac{A}{B} + \beta}. \quad \text{Видно, что его значение яв-}$$

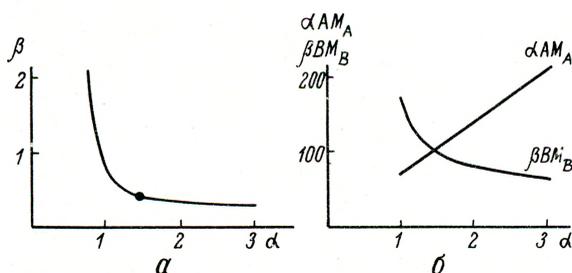


Рис. 6. Соотношение коэффициентов распределения для  $\text{Ge}^{4+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  (а) и возможный диапазон уровней  $\alpha AM_A$  и  $\beta BM_B$  для системы  $\text{Ln}_2\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_2\text{O}_{12}$  (б)

но зависит от содержания второго компонента примесей.

Значения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $v$  можно определить из экспериментов по легированию при существенной разнице уровней  $\alpha A$  и  $\beta B$ , вариациях состава  $C'_A$  и  $C'_B$ , а также по  $C'_v$ .

Модель II показывает, что однозначному составу пленки соответствует семейство составов расплава, расположенных в целой полосе. Это позволяет правильно выбрать условия осаждения в зависимости от постановки задачи. Точным выбором состава расплава можно стабилизировать состав пленки в точке  $C'_v = 0$ , либо, несколько отойдя от нее, работать в области регулировки состава скоростью роста, что важно, например, при медленном дрейфе состава расплава в процессе получения серии пленок с идентичными свойствами.

При построении рассмотренных выше моделей сближения уровней легирования, определяемых собственными коэффициентами распределения, исходили или из относительных потенциалов элементов  $A$  и  $B$  (модель I), или из отношения их концентраций (модель II). Хотя они и совпадают при  $\alpha A \approx \beta B$ , очевидно, что обобщенная модель должна учитывать и индивидуальные свойства элементов и их концентрацию (рис. 2, в).

III. Если отношение сдвигов начальных уровней к равновесному будет пропорционально самим уровням и отношению некоторых "потенциалов" этих элементов ( $\gamma^*$ ):

$$\frac{\alpha A - C}{C - \beta B} = \frac{\alpha A \gamma^*}{\beta B},$$

то формула (1) примет вид:

$$C = \frac{\alpha\beta(1+\gamma^*)AB}{\alpha\gamma^*A + \beta B}. \quad (5)$$

Для иллюстрации на рис. 3 показаны две кривые для  $\gamma^* = 0,5$  и  $\gamma^* = 1,5$  при  $B = 20$ . Видно, что характер зависимости остается близким к модели II. Обобщая соотношения (5) и (2), имеем

$$C = \frac{2[\alpha_0\beta_0 + (\alpha_0v - \beta_0a)v](1+\gamma^*)AB}{(\alpha_0\gamma^*A + \beta_0B) - (a\gamma^*A - vB)v},$$

т.е. для полного описания поведения системы требуется пять параметров:  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $a$ ,  $v$ ,  $\gamma^*$ .

Целью проведенных исследований было развитие общих представлений о кинетике процесса вхождения разнозаряженных ионов при обеспечении требования электронейтральности. Поэтому приве-

денные расчеты носят скорее оценочный характер. Определить значения коэффициентов распределения и проверить правильность изложенных представлений в целом можно будет на основе результатов прямых экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nielsen J.W. Bubble domain memory materials. — "IEEE Trans. on Magn.", 1976, vol. 12, N 4.

2. Burton J.A., Prim R.C., Slichter W.P. "J.Chem. Phys.", 1953, N 21.

3. Bonner W.A., Gensic J.E., Smith D.H., Van Uitert L.G., Vella-Coleiro G.P. Growth and characteristics of high mobility bubble domain garnets with improved temperature stability. — "Mat. Res. Bull.", 1973, vol. 8, N 10.

4. Blank S.L. Kinetics of LPE growth and its influence on magnetic properties. — "AIP Conf. Proc.", N 10, Magnetism and Magnetic Materials, 1973.

Статья поступила 9 декабря 1977 г.

## ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДНОГО ДИЭЛЕКТРИКА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

М. Н. ДЬЯКОНОВ, В. М. МУЖДАБА

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ В ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КАТИОННО-АНИОННОГО РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ И ВЫЯСНЕНИЯ ПРИРОДЫ ЭЛЕКТРОННОГО ТОКА В ОКСИДЕ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ.**

УДК 539.293.011.24

Важнейшая техническая характеристика электролитических конденсаторов — величина токов утечки — в большой степени определяется электронной проводимостью анодных окисных слоев. В настоящее время, однако, нет установившихся взглядов на происхождение электронов в окисле и на действие механизмов электронного переноса. Это вызвано, с одной стороны, тем, что теория некристаллических твердых тел еще недостаточно развита для того, чтобы объяснять опытные данные, с другой стороны, многие традиционные методы экспериментального исследования не могут быть использованы для изучения тонких окисных пленок.

В литературе подробно рассмотрен вопрос о влиянии условий образования анодных пленок (состава электролита, температуры, плотности тока формовки) на состав и структуру образующихся слоев.

Имеются также данные о проводимости анодных окисных пленок. Однако подробного исследо-

вания зависимости электрических свойств этих слоев от их состава не проводилось.

В данной работе на основании изучения связи электрофизических свойств со структурой и составом окисных пленок сделана попытка выяснить природу электронного тока в анодных слоях.

Установлено, что наименьшими токами утечки обладают танталовые и ниобиевые конденсаторы, аноды которых формируются в водных растворах кислот (в частности, ортофосфорной кислоты). Предполагалось, что большое влияние на проводимость анодных окисных слоев оказывает внедрение в них вещества электролита. Исследования количественного содержания примесей в пленках окиси ниобия, проведенные методом радиоактивных индикаторов  $P^{32}$ , подтвердили это (рис. 1). Часть окисной пленки, примыкающая к металлической подложке и составляющая примерно 30% от ее толщины, равной 0,2 мкм, практически не содержала примесных атомов фосфора, тогда как относительное содер-

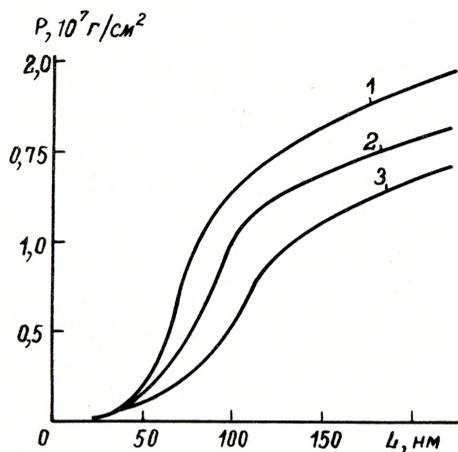


Рис. 1. Распределение содержания фосфора по толщине пленки  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  при напряжении оксидирования 100 В и различных плотностях тока формовки,  $\text{mA}/\text{cm}^2$ : 1 - 10; 2 - 2; 3 - 1

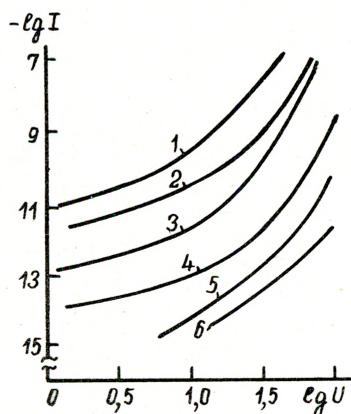


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики системы  $\text{Nb}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{Pt}$  в запорном направлении при напряжении оксидирования 100 В и различных составах формовочных электролитов: 1 -  $\text{H}_2\text{O}$ ; 2 - 1%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 3 - 0,01%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 4 - 0,1%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 5 - 1%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 6 - 10%  $\text{H}_3\text{PO}_4$

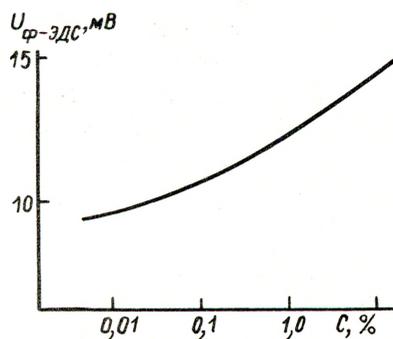


Рис. 3. Зависимость величины фотосовета  $U_{\text{ф-ЭДС}}$  анодного окисла на ниобии от концентрации формовочного электролита ( $\text{H}_2\text{PO}_2$ ) при напряжении оксидирования 50 В

жание фосфора во внешней части анодного окисла достигало нескольких процентов при формовке в растворах ортофосфорной кислоты достаточной концентрации. Таким образом, внутренняя и внеш-

няя части анодной окисной пленки резко отличаются по химическому составу. Количество и характер распределения фосфора, внедренного в окисный слой, в большой степени зависят от режимов и плотности тока формовки.

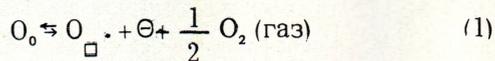
Оптическими измерениями установлено, что внешняя часть окисла характеризуется меньшей диэлектрической проницаемостью по сравнению с внутренней. Причем, среднее значение диэлектрической проницаемости анодных пленок на тантале и ниобии, полученных в достаточно концентрированных растворах кислот, на 20% меньше значения диэлектрической проницаемости пленок, не содержащих примесей.

Наибольшее влияние концентрация формовочного электролита оказывает на электрическую проводимость оксида. Так, исследование вольт-амперных характеристик систем  $\text{Nb}-\text{Nb}_2\text{O}_5$  - противоэлектрод (платина, железо или серебро), в которых окисные слои были сформированы в различных электролитах, показало, что наивысшей проводимостью обладал окисный слой, образованный в дистиллированной воде и, следовательно, не содержащий примесей (рис. 2, кривая 1). Анодирование ниобия в растворах серной кислоты (кривая 2) в десять раз уменьшает величину тока, проходящего через систему, а использование концентрированных растворов ортофосфорной кислоты приводит к снижению проводимости на пять порядков.

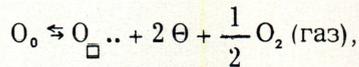
Эти результаты можно объяснить, рассматривая окисную пленку как систему, состоящую из двух "подрешеток" - анионной и катионной, и допустив, что внедряющиеся в пленку в процессе анодирования анионы электролита изменяют разупорядоченность окисла. В этом случае окисел с избытком металла может образоваться, если он теряет некоторую часть кислорода. При ненарушенной "подрешетке" анионов это приводит к избытку ионов металла в междуузлиях, при ненарушенной катионной "подрешетке" - к недостатку кислорода из-за образования вакансий. В той или иной степени могут одновременно иметь место оба типа разупорядоченности. Важно отметить, что в обоих случаях для обеспечения электронейтральности в окисле должно находиться эквивалентное число избыточных электронов, которые при определенных условиях могут быть электронами проводимости.

Полное представление о разупорядоченности и электронном переносе в окисных пленках может дать совместное применение при обсуждении экспериментальных результатов достижений зонной теории и химии твердого тела.

Оксид ниобия  $Nb_2O_5$  (полупроводник  $n$ -типа) может диссоциировать по схеме



или



где  $O_o$  – атом кислорода в окисле;

$O_{\square} \cdot$  и  $O_{\square} \cdot\cdot$  – одно- и двухзарядные вакансии кислорода соответственно;

$\Theta$  – электрон.

При заданных внешних условиях (температуре и давлении кислорода) в окисле имеется равновесное количество вакансий.

Внедрение аниона электролита  $PO_4^{-3}$  в нарушенную "кислородную подрешетку" может привести к тому, что один из трех его валентных электронов вступит во взаимодействие с электроном кислородной вакансии. Двух трехвалентных анионов достаточно для того, чтобы полностью исключить влияние вакансии иона кислорода на проводимость. Так как количество анионов, внедряющихся при образовании анодного окисла, пропорционально концентрации формовочного электролита, вольт-амперные характеристики пленок, полученных в растворах больших концентраций, находятся в области меньших значений токов (см. рис. 2).

Заметное влияние состав пленки оказывает на фотоэлектрический эффект. Характер зависимости фото-ЭДС анодной пленки  $U_{ф-ЭДС}$  от концентрации формовочного электролита (рис. 3) становится понятным, если предположить, что концентрация электролита определяет упорядоченность образующего анодного окисла, а сама величина фото-ЭДС зависит от рекомбинации неравновесных электронов на структурных дефектах окисной пленки.

Для проверки предположения о том, что атомы фосфора и серы являются основой структурных групп  $PO_4^{-3}$  и  $SO_4^{-2}$ , в окислах ниобия, выращенных в растворах ортофосфорной и серной кислот различной концентрации, были проведены измерения химических сдвигов эмиссионных  $K_{\alpha_1}$ -линий фосфора и серы. Как известно, такой сдвиг дает информацию об изменениях в ближайшем окружении атомов.

При использовании в качестве эталона сравнения  $Va_3(PO_4)_2$  оказалось, что в пределах погрешности измерений величины химических сдвигов  $K_{\alpha_1}$ -линий фосфора, входящего в состав окисной пленки и эталона сравнения, равны между собой.

Аналогичный результат получен и при исследовании окисных пленок, образованных в растворах серной кислоты. В последнем случае химический сдвиг линий атомов серы измерялся относительно  $ZnS$ . Результаты исследований позволяют заключить, что фосфор и сера внедряются в оксид в составе анионов  $PO_4^{-3}$  и  $SO_4^{-2}$ , не претерпевших структурных изменений. Таким образом, анодные окисные пленки на ниобии, образованные в растворах ортофосфорной и серной кислот, представляют собой оксисоли, химические формулы которых могут быть представлены в виде:  $Nb_2O_5(1-\gamma)(PO_4)_{10\gamma/3}$  и  $Nb_2O_5(1-\gamma)(SO_4)_{5\gamma}$ , где  $\gamma$  – доля ионов кислорода, замещенных анионами соответствующих кислот.

Для исследования влияния на электроперенос степени катионно-анионного разупорядочения в анодных окислах была изучена проводимость  $Nb_2O_5$  в зависимости от парциального давления кислорода.

Гравиметрические измерения и определения электропроводности поликристаллических образцов термической пятиоксида ниобия с составом, близким к стехиометрическому, выполненные при различных парциальных давлениях кислорода, позволили обнаружить при высоких температурах возбуждение кислородных вакансий и установить, что электропроводность в этих окислах обуславливается ионизацией первого из двух захваченных кислородной вакансией электронов.

В соответствии с законом действия масс концентрация электронов в зоне проводимости  $Nb_2O_5$  может быть выражена в величинах парциального давления кислорода  $P_{O_2}$ , равновесного коэффици-

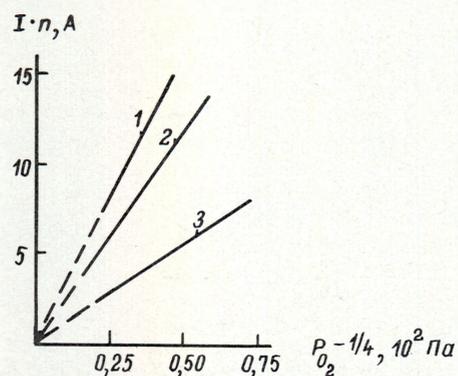


Рис. 4. Зависимость величины тока, проходящего через систему  $Nb-Nb_2O_5-Pt$ , от давления кислорода при различных условиях эксперимента:

- 1 – 0,01%  $H_3PO_4$ ,  $T = 379$  К,  $U_{изм.} = 2,5$  В (множитель шкалы "n" равен  $10^{12}$ );  
 2 – 0,01%  $H_3PO_4$ ,  $T = 383$  К,  $U_{изм.} = 1,5$  В (множитель  $10^9$ );  
 3 – 0,1%  $H_3PO_4$ ,  $T = 453$  К,  $U_{изм.} = 1$  В (множитель  $10^6$ )

ента образования кислородной вакансии  $k_1$ , и коэффициента ионизации первого электрона  $k_2$ :

$$[\Theta] = k_1 k_2 P_{O_2}^{-\frac{1}{4}} = k' P_{O_2}^{-\frac{1}{4}},$$

где коэффициент  $k'$  зависит от температуры.

Если считать, что подвижность носителей не зависит от концентрации, то зависимость электропроводности от парциального давления кислорода принимает вид:

$$\sigma = k P_{O_2}^{-\frac{1}{4}},$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Такая зависимость наблюдается на опыте при определенных экспериментальных условиях (рис. 4). Однако результаты измерений величин тока через анодную пленку  $Nb_2O_5$  (рис. 5, 6), проведенных в широком интервале температур, давлений и напря-

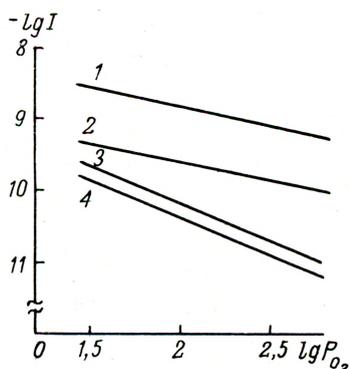


Рис. 5. Зависимость величины тока в пленке  $Nb_2O_5$ , образованной в 0,01%-ной  $H_3PO_4$ , от давления кислорода при различных условиях эксперимента:

1 —  $T = 383$  К,  $U_{изм} = 1,2$  В; 2 —  $T = 383$  К,  $U_{изм} = 0,2$  В; 3 —  $T = 373$  К,  $U_{изм} = 0,2$  В; 4 —  $T = 365$  К,  $U_{изм} = 0,2$  В

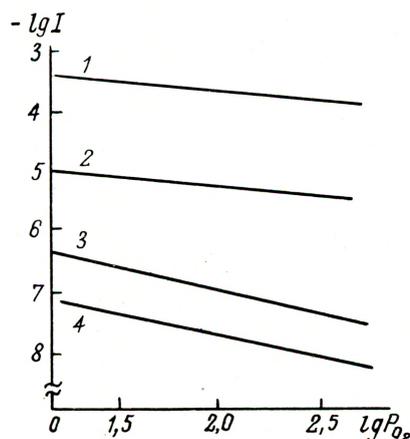
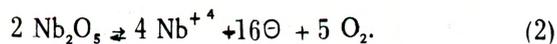


Рис. 6. Зависимость величины тока в пленке  $Nb_2O_5$ , образованной в 0,1%-ной  $H_3PO_4$ , от давления кислорода при различных температурах, К:

1 — 463; 2 — 453; 3 — 403; 4 — 393;  $U_{изм} = 1$  В

женностей электрических полей, говорят о том, что перенос электричества в окисле определяется не одним только механизмом компенсации дефектов по кислороду. Исследования проводились для двух серий образцов. Тангенсы угла наклона прямых равны  $-\frac{1}{4}$  (кривые 1 и 2) и  $-\frac{1}{2}$  (кривые 3 и 4), что соответствует законам изменения тока  $I \sim P_{O_2}^{-\frac{1}{4}}$  и  $I \sim P_{O_2}^{-\frac{1}{2}}$ .

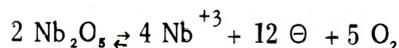
Если допустить, что несовершенство окисла определяется нарушениями в обеих "подрешетках", то поступающий из окружающей среды ион кислорода может изменить разупорядоченность в окисле, внедряясь в вакансию кислорода или связываясь с ионом металла и образуя новый узел "решетки". В последнем случае процесс разупорядоченности описывается уравнением:



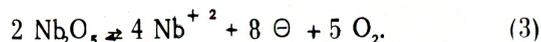
При условии, что концентрация электронов мала, и с учетом закона действующих масс

$$k = [Nb^{+4}]^4 [\Theta]^{16} P_{O_2}^5$$

получаем зависимость  $I \sim \sigma \sim P_{O_2}^{-\frac{1}{4}}$ , формально соответствующую уравнению (1), а также опытными данным (кривые 1 и 2 на рис. 5 и 6) при  $T > 450$  К для окисла, образованного в 0,1%-ной  $H_3PO_4$ , и при  $T > 380$  К для пленки, образованной в 0,01%-ной  $H_3PO_4$ . Диссоциация окисла по схеме



приводит к зависимости  $\sigma \sim P_{O_2}^{-\frac{1}{3}}$ , а наличие в междоузлии иона  $Nb^{+2}$  дает зависимость  $I \sim \sigma \sim P_{O_2}^{-\frac{1}{2}}$ , что достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным (кривые 3 и 4 на рис. 5 и 6). Последний случай может быть представлен диссоциацией окисла по схеме



Следует отметить, что условия образования окисной пленки значительно изменяют влияние давления кислорода на проводимость окисла ниобия. Так, в пленке, выращенной в слабом растворе ортофосфорной кислоты (0,01%), при малых напряженностях поля ( $10^{-4}$  В/см) и относительно низких температурах (360 К) протекает реакция (3), энергетически более выгодная по сравнению с реакцией (2), протекающей при повышенной температуре и высоких напряженностях электрического поля. В более упорядоченной пленке, образованной в

растворе 0,1 %  $H_3PO_4$ , условия прохождения реакции (2) сдвигаются в сторону больших температур и более высоких напряженностей поля.

Таким образом, сопоставление данных о влиянии на проводимость внедрившегося при образовании пленки  $Nb_2O_5$  вещества электролита с данными о зависимости проводимости от давления кислорода позволяет сделать вывод о том, что в пленках анодного окисла ниобия при различных внешних условиях проявляются различные типы разупорядочения. Наиболее вероятным является размещение разнорядных ионов  $Nb^{z+}$  ( $z = 2 \div 5$ ) в междузлиях, хотя одновременно могут существовать и кислородные вакансии.

Отклонение от стехиометрического состава в оксиде ниобия может быть больше, чем, например, в оксиде тантала. Поэтому электрофизические свойства окисных слоев на ниобии более чувствительны к изменению внешних условий (температуры, давления, напряженности электрического поля).

Данные о влиянии степени катионно-анионного разупорядочения на свойства окислов и о легировании анионами кислоты анодного окисла использовались также для анализа вольт-амперных характеристик пленок и механизмов проводимости. При напряжении до 10 В (рис. 7, кривая 1) концентрация свободных носителей преобладает над концентрацией электронов, которые могут инжектироваться из платинового катода. Увеличение концентрации формовочного электролита до 1%  $H_3PO_4$  (кривая 2) вызывает резкое уменьшение числа свободных носителей в окисной пленке, при этом число инжектированных из катода электронов может стать преобладающим и вольт-амперная характеристика будет определяться током, ограниченным пространственным зарядом:

$$I = \frac{9}{8} \epsilon \epsilon_0 \mu \theta \frac{U^2}{L^3},$$

где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость оксида,  $\epsilon_0$  — диэлектрическая постоянная,  $\mu$  — подвижность электронов,  $\theta = \frac{n}{n_t} < 1$  — отношение концентрации свободных носителей к концентрации носителей на ловушках,  $L$  — толщина оксида.

В пленках  $Nb_2O_5$ , образованных в растворе 10%-ной  $H_3PO_4$ , толщина которых превышает 0,15 мкм, наблюдается сильная зависимость тока от толщины (при меньших толщинах, по-видимому, не создаются условия для накопления объемного заряда, способного оказывать существенное влияние на перенос электрического тока в пленке).

При напряжениях, превышающих 10 В, когда напряженность электрического поля, по-видимому, становится достаточно высокой, чтобы вызвать термоэлектронную эмиссию с глубоких уровней ловушек, вольт-амперные характеристики (см. рис. 7) изменяются по экспериментальному закону:

$$I \sim \exp(\beta E^{1/2}),$$

где  $\beta = \text{const}$ ;  $E$  — напряженность поля в окисной пленке.

Перенос тока через окисные слои может определяться одним из двух возможных механизмов: термоионизацией под влиянием поля, т.е. уменьшением кулоновского потенциала центра при взаимодействии с электрическим полем (эффект Френкеля-Пула), или граничной термоэлектронной эмиссией (эффект Шоттки). Величина  $\beta$  в том и в другом случае характеризует степень понижения потенциального барьера для электронов, переносящих ток. При эффекте Френкеля-Пула теоретически величина  $\beta_{\Phi}^{\text{теор}}$  в два раза больше, чем при эффекте Шоттки —  $\beta_{\text{Ш}}^{\text{теор}}$ :

$$\beta_{\Phi}^{\text{теор}} = 2 \beta_{\text{Ш}}^{\text{теор}} = \left( \frac{e^3}{\pi \epsilon_0 \epsilon_{\infty}} \right)^{1/2},$$

где  $\epsilon_{\infty}$  — высокочастотная диэлектрическая проницаемость.

Экспериментально определенные значения  $\beta^{\text{экспер}}$ , равные  $\sim 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1/2} \text{ В}^{1/2}$ , хорошо соответствуют  $\beta_{\Phi}^{\text{теор}}$  (для  $\epsilon_{\infty} = 6$ ). Однако это не может быть достаточным свидетельством в пользу действия механизма объемной проводимости (эффекта Френкеля-Пула), так как выбор значения  $\epsilon_{\infty}$  при расчете  $\beta_{\Phi}^{\text{теор}}$  достаточно произволен.

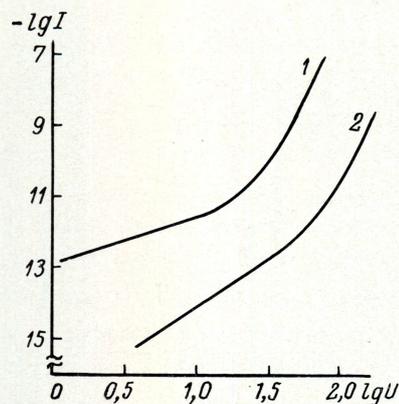


Рис. 7. Вольт-амперные характеристики системы  $Nb-Nb_2O_5-Pt$  при образовании  $Nb_2O_5$  в растворах  $H_3PO_4$  различной концентрации, %: 1 — 0,01; 2 — 1. Напряжение формовки 100 В

Рассмотрение совокупности вольт-амперных характеристик (см. рис. 2 и 7) позволяет сделать вывод о том, что проявление эффекта Шоттки маловероятно. Действительно, экспоненциальный рост тока наблюдается во всех случаях, в том числе и на образцах, где проявилось действие объемного заряда, что предполагает наличие инжектирующего контакта. Однако наблюдать термоэмиссию из катода после начала действия инжекции невозможно.

Сравнение величин работы выхода электронов из ниобия (4,0 эВ) и его оксида (4,6 эВ) показывает, что при отрицательном смещении на ниобии контакт Nb-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> может инжектировать электроны. До напряжений порядка 20 В на всех образцах наблюдались токи, ограниченные объемным зарядом. Резкий рост тока может быть обусловлен ударной ионизацией электронов из центров локализации или заполнением ловушек.

Построение любой модели конденсаторной структуры для объяснения экспериментальных данных требует использования большого числа параметров, которые, как правило, невозможно определить достаточно точно. Для проведения наиболее полного исследования процессов переноса носителей заряда в анодных окисных слоях необходимо установить структуру энергетического спектра электронов, определить параметры локализованных в запрещенной зоне электронных состояний, изучить влияние граничных условий на проводимость, экспериментально определить значения подвижности и концентрации носителей тока. Полученные результаты могут быть положены в основу работ по снижению величины токов утечки электролитических конденсаторов и повышению надежности приборов этого класса.

*Статья поступила 14 октября 1977 г.*

## ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ПОИСК ИНФОРМАЦИИ

*В. М. ЗАХАРЧЕНКО, А. А. ЩУКА*

**ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА СПОСОБНЫ ЗАМЕНИТЬ ЭВМ В ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ И РЕЗКО ПОВЫСИТЬ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.**

*УДК 002.513.5: [621.378.9:77]*

Действующие автоматизированные информационно-поисковые системы (АИПС) построены на основе мощных современных ЭВМ с широким набором периферийного оборудования и средств связи. Создание таких систем сопряжено с расходованием значительных материальных ресурсов и времени, занятостью обширного парка ЭВМ. Но их производительность уже сегодня недостаточна для своевременного обеспечения специалистов сведениями, необходимыми при выполнении научных исследований и в процессе производства.

В последние годы в ряде стран разработаны информационно-поисковые системы (ИПС) с использованием методов когерентной оптики и голо-

графии [1, 2]. Однако их назначение сводится в основном к демонстрации принципов голографического поиска информации.

Для того чтобы голографические информационно-поисковые системы (ГИПС) обеспечивали возможность поиска в реальных условиях крупного информационного центра, к ним в процессе разработки должны быть предъявлены требования, сформулированные с учетом превышения основных характеристик АИПС на базе ЭВМ. Например, при разработке проекта ГИПС для отраслевой автоматизированной системы научно-технической информации к ней был предъявлен ряд требований, в соответствии с которыми система долж-

на иметь следующие характеристики:

- объем поискового массива —  $10^6$  документов (и может быть увеличен);

- результатами поиска являются адреса и рефераты релевантных документов, выведенных на микрофильм;

- время поиска по одному запросу в подмассиве  $10^4 - 10^5$  документов — не больше 1–2 мин, что намного превышает производительность АИПС и позволяет обработать свыше  $10^5$  запросов в год;

- объем используемого словаря — не менее 5–10 тыс. дескрипторов;

- кодирование запроса и декодирование результатов поиска намного проще, чем в ЭВМ;

- возможность введения весовых коэффициентов дескрипторов запроса и установки величины порога релевантности;

- аппаратура для голографического поиска должна быть проста и доступна в эксплуатации персоналу невысокой квалификации.

В основу этой ГИПС положена схема согласованной фильтрации (рис.1). Голографическая пластина с записанным на ней в виде матрицы  $100 \times 100$  элементов массивом кодированных поисковых образов документов (ПОД) размещена в плоскости  $P_1$ , а пластина с матрицей голограмм-фильтров — в фокальной плоскости линз  $L_2$  и  $L_3$  (плоскость  $P_2$ ). Поле сигналов взаимной корреляции массива дескрипторов и голограммы-фильтра дескриптора наблюдается в выходной плоскости  $P_3$ .

При вводе запроса в систему голограммы-фильтры каждого дескриптора запроса последовательно устанавливаются на оптической оси системы путем координатного перемещения матрицы фильтров в плоскости  $P_2$ . В выходной плоскости  $P_3$  с координатной сеткой  $100 \times 100$  высвечиваются ячейки, координаты которых (номер строки и столбца) соответствуют номеру документа в массиве (рис.2). Сигнал в ячейке указывает на наличие в поисковом образце данного документа дескриптора, фильтр которого установлен в плоскости  $P_2$  на оптической оси.

Результаты поиска регистрируются на фоточувствительной среде. Их суммирование по всем дескрипторам запроса происходит путем последовательной регистрации сигналов корреляции на один кадр. Суммарная экспозиция каждой ячейки координатной сетки зависит от числа совпавших дескрипторов данного документа. Весовые коэффициенты каждого дескриптора вводятся измене-

нием относительного времени экспозиции. Из-за нелинейности светочувствительной среды выходные сигналы подвергаются оптической дискриминации. Суммарные сигналы малой амплитуды не фиксируются на фотопленке. Уровень порога регистрации устанавливается изменением общего времени экспозиции. Таким образом, одновременно с записью поля сигналов осуществляется их частичная обработка.

На следующем этапе происходит выдача адресов и рефератов релевантных документов. Для этого каждая поисковая голографическая пластина комплектуется пластиной с матрицей  $100 \times 100$  микроголограмм. На каждой микроголограмме записаны данные одного документа и реферат общим объемом до 1000 знаков. Расположение микроголограмм в матрице геометрически подобно первоначальному распределению документов массива в координатной плоскости.

При считывании рефератов релевантных документов пластина с микроголограммами рефератов передвигается относительно восстанавливающего луча лазера в соответствии с координатами световых сигналов, полученных в результате поиска. Восстановленные изображения регистрируются на микрофильм. Окончательным результатом поиска является микрофильм с рефератами релевантных документов.

В процессе поиска и считывания результатов поиска полностью отсутствуют трудоемкие опера-

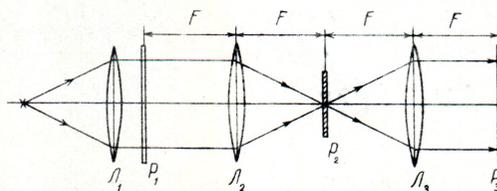


Рис.1. Схема согласованной фильтрации

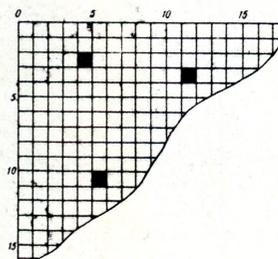


Рис.2. Часть выходной плоскости с сигналами

ции кодирования и декодирования, характерные для ЭВМ и их периферийных устройств.

Процесс поиска с помощью схемы согласованной фильтрации состоит из набора элементарных операций. Элементарная операция — это получение поля сигналов корреляции в ответ на введенный дескриптор. Число различных элементарных операций ограничено и равно числу используемых дескрипторов. Набор операций при поиске по различным запросам меняется в зависимости от дескрипторного состава запроса. Так как результат каждой элементарной операции строго определенный, то достаточно осуществить ее один раз и записать результат в виде бинарной матрицы на микроголограмму. В дальнейшем при поиске вместо операций согласованной фильтрации осуществляется восстановление микроголограммы. Результаты первичной обработки массива, отраженные на микроголограммах, по всем дескрипторам сводятся в блок поисковых голограмм на одной пластине.

Замена процесса согласованной фильтрации обычным восстановлением голограмм резко упрощает всю систему и снижает трудоемкость поиска: для осуществления поиска достаточно схемы восстановления голограмм, сопряженной с приставкой микрофильмирования. Полученное таким образом устройство используется на этапах получения суммарного поля корреляции запроса с массивом ПОД, восстановления микроголограмм и микрофильмирования рефератов релевантных документов. Вся процедура поиска на таком устройстве с ручным управлением занимает не более 1 мин и доступна любому минимально подготовленному пользователю. Емкость поисковых голограмм и пластин с рефератами рассчитана на массив в  $10^4$  документов, но может быть увеличена

в несколько раз. Поисковый массив размером  $10^6$  документов размещается на нескольких десятках голографических пластин.

По всей видимости, голографические информационные системы целесообразно создавать на основе функционирующих АИПС и мощной ЭВМ с комплексом периферийных устройств, готовым массивом на магнитной ленте, словарем и отработанной технологией поиска. В этом случае можно провести первичную обработку массива непосредственно на ЭВМ с выводом результатов в матричной форме на микроголограммы. При этом отпадает необходимость работы по декодированию массива ПОД и согласованной фильтрации массива. Такой технологический процесс может оказаться наиболее эффективным при заполнении блоков памяти рассмотренной голографической информационно-поисковой системы (рис.3).

В настоящее время на базе комплекса автоматизированных голографических устройств [3,4] проведены эксперименты по записи и восстановлению блоков микроголограмм, рефератов и матриц бинарной информации  $100 \times 100$  элементов. Осуществлен экспериментальный поиск в опытном массиве документов. Создан экспериментальный массив документов ( $10^4$ ) с целью введения его в ГИПС и опытной эксплуатации в отраслевой автоматизированной системе научно-технической информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tsukamoto K.U.O. Holographic information retrieval system, — "Applied Optics", vol.13, 1974, N 4.
2. Ярмош Н.А., Куконин А.Г., Ероховец В.К., Сигитов Д.К. Голографические системы информационного обеспечения. Обзорная информация. Минск, 1976. (БЕЛИНТИ).
3. Щука А.А., Захарченко В.М., Рейнфельд О.С. Информационные голографические системы. — В кн. XXXII Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. М., "Сов. радио", 1977.
4. Вагин Л.Н. Голографические информационные устройства. — "Электронная пром-сть", 1973, вып.5.

Статья поступила 20 сентября 1977 г.

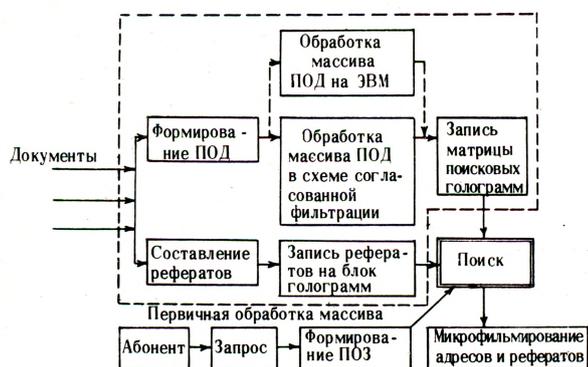


Рис.3. Схема голографического поиска



## КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ МОП СТРУКТУРЫ НА САПФИРЕ

А. В. КАЛИНИН, О. М. КОЖЕВНИКОВА, В. А. СТАРЕНЬКИЙ, В. П. ЧЕСНОКОВ

**РАЗРАБОТАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КМОП-СТРУКТУР НА САПФИРОВЫХ ПОДЛОЖКАХ НЕ БОЛЕЕ СЛОЖНА, ЧЕМ СТАНДАРТНЫЙ КМОП-ПРОЦЕСС. ПОЛУЧЕННЫЙ С ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОСЬМИРАЗРЯДНЫЙ ДВОИЧНЫЙ СЧЕТЧИК ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ЧАСТОТОЙ 15 МГЦ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ 9 В И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТЬЮ 0,1 МКВТ НА ВЕНТИЛЬ.**

УДК 621.3.049.77.002.2

Технология изготовления МДП ИС на изолирующих подложках [1], хотя и обеспечивает простоту высококачественной изоляции компонентов схемы и малую площадь  $p-n$  переходов, обуславливающую значительное уменьшение паразитных емкостей стоков и тем самым повышение быстродействия [2–4], но в то же время не позволяет изготавливать биполярные структуры или однонакальные динамические МОП схемы, так как их характеристики в значительной степени зависят от качества тонких эпитаксиальных слоев кремния. Поэтому технология ИС на изолирующих подложках пригодна в основном для реализации статических МОП схем. Поскольку в классе этих схем наилучшими характеристиками по быстродействию и потребляемой мощности обладают комплементарные МОП структуры (КМОП структуры), указанная технология наиболее перспективна для их изготовления [2, 5].

В качестве исходного материала для КМОП структур используется гетероэпитаксиальная пленка кремния с удельным сопротивлением 5–10 Ом·см толщиной 1–1,2 мкм, выращенная на сапфире с кристаллографической ориентацией (1102) и ори-

ентированная в плоскости (100). Технология изготовления КМОП КНС структур включает следующие этапы.

Вначале пленка окисляется при температуре 950°С до получения слоя двуоксида кремния толщиной 0,25–0,27 мкм. Этот окисел служит маской перед разделением кремниевой пленки на "островки" (рис. 1, а), которое производится в щелочном анизотропном травителе на основе едкого кали. После разделения маскирующий окисел удаляется и выращивается новый – толщиной 0,3 мкм.

На второй фотолитографической операции одновременно вскрываются области стока и истока  $p$ - и  $n$ -канальных МОП-транзисторов, после чего без снятия фоторезиста производится ионное легирование структуры бором с энергией  $E = 60$  кэВ и дозой  $D = 3 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> (рис. 1, б). После этого выполняется следующая фотолитографическая операция, в результате которой закрываются все  $p$ -канальные структуры. Затем осуществляется ионное легирование фосфором с энергией  $E = 40$  кэВ и дозой  $D = 9 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> (рис. 1, в), в результате чего формируются стоки и истоки обоих типов транзисторов, причем соответст-

вующие области *n*-канальных структур получены путем перекомпенсации бора фосфором. На следующем этапе после удаления фоторезиста путем плазмохимической обработки (обычные способы снятия фоторезиста после проведения операций ионного легирования с большой дозой мало эффективны) создаются карманы *n*-канальных транзисторов (рис. 1, *г*). Фотолитография при этом проводится с использованием алюминиевой маски, закрывающей *p*-канальные структуры в процессе легирования кармана ионами бора. Ионное легирование кармана выполняется с переменной энергией 40 и 130 кэВ, что позволяет добиться высокой равномерности концентрационного профиля по всей толщине пленки, приводящей к увеличению воспроизводимости порогов *n*-канальных транзисторов и уменьшению разброса порогов по пластине.

После удаления алюминия выращивается (при температуре 1050°C) слой "толстого" окисла — от 0,32 до 0,35 мкм (рис. 1, *д*). Одновременно производится разгонка и активация всех примесей, внед-

ренных на предыдущих операциях ионного легирования.

На следующей фотолитографии в "толстом" окисле вскрываются окна для формирования областей подзатворного окисла и контактов (рис. 1, *е*). Подзатворный окисел выращивается при температуре 1050°C в сухом кислороде в течение 80 мин с последующей 10-минутной выдержкой в потоке азота. Его толщина составляет примерно 100 нм.

Стабилизация параметров окисла достигается диффузией фосфора при 900°C в течение 15 мин. После этого осуществляется подгонка порогов *p*-канальных транзисторов ионным легированием областей канала бором с энергией 40 кэВ и дозой от  $1 \cdot 10^{11}$  до  $4 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup>, в зависимости от требуемой величины сдвига порогового напряжения.

На следующей фотолитографической операции вскрываются контактные окна в тонком окисле, а затем напыляется алюминий, используемый в качестве металлической разводки. Толщина слоя алюминия составляет 1,2–1,3 мкм. Для улучшения равномерности нанесения пленки на фронтальную и боковую поверхности кремниевого островка используется установка напыления планетарного типа, обеспечивающая, несмотря на довольно значительную высоту (1,4–1,5 мкм), ступеньки кремний-сапфир, хорошую плоскость алюминиевой разводки и сравнительно небольшое количество разрывов. Благодаря этому получен довольно высокий выход годных тестовых структур.

На последующей фотолитографии (рис. 1, *ж*) формируется топология алюминиевой разводки. Термообработка законченной структуры проводится при 475°C в течение 30 мин в атмосфере азота. Затем вскрываются контактные окна в пассивирующей защите.

Используемая в термических процессах кварцевая оснастка предварительно обрабатывается в хлорсодержащей среде для уменьшения влияния внешних загрязнений. В окисляющую среду добавляется несколько мольных процентов HCl, что существенно улучшает электрические характеристики пленок двуокиси кремния (даже простая продувка трубы смесью HCl и O<sub>2</sub> перед процессом окисления позволяет получать окислы с лучшими параметрами). По рассмотренной технологии, включающей семь фотолитографических и четыре термических операции, что не превышает количество операций при стандартном КМОП-процессе [6], были изготовлены ИС, содержащая *n*- и *p*-канальные тестовые транзисторы, а также пятикаскадный

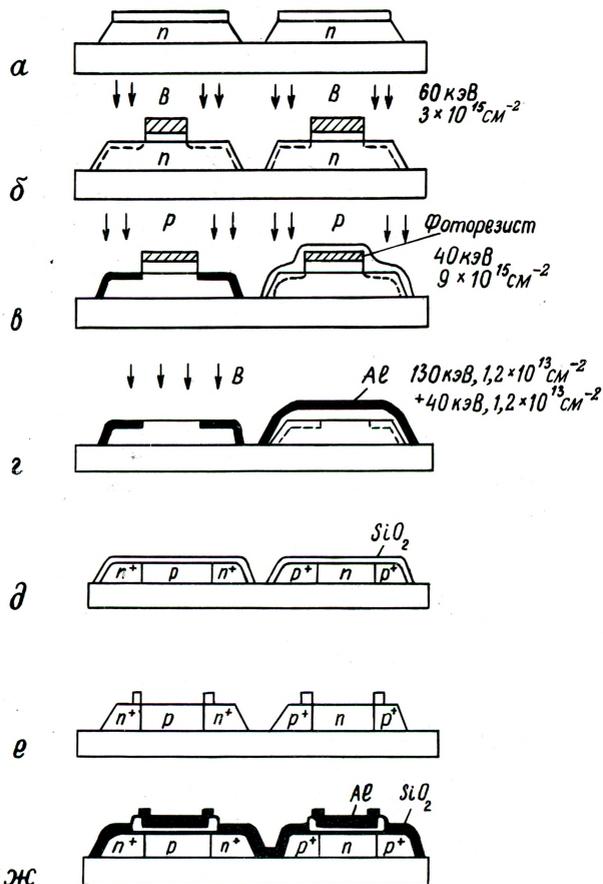


Рис. 1. Основные этапы изготовления КМДП КНС-структур

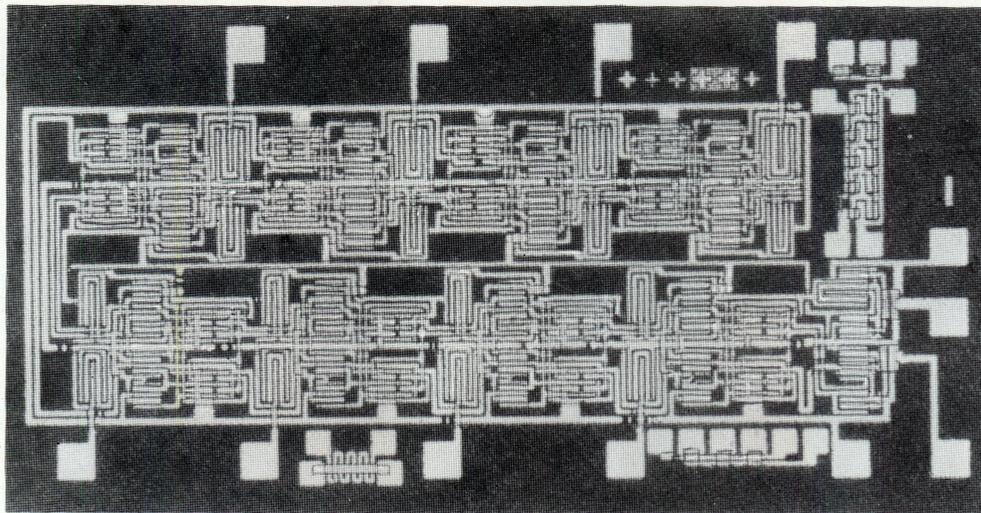


Рис. 2. Тестовая интегральная схема восьмиразрядного счетчика

кольцевой генератор и восьмиразрядный двоичный счетчик (рис. 2).

Отличительной особенностью вольт-амперных характеристик тестовых транзисторов (рис. 3) является наличие так называемого кинк-эффекта (изгиба характеристик) у  $n$ -канальных приборов [7, 8]. Этот эффект практически не проявляется на  $p$ -канальных структурах, поскольку уровень легирования подложки достаточно низок ( $10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) и не оказывает существенного влияния на характеристики транзистора. При фиксации потенциала подложки или ее соединения с истоком кинк-эффект практически исчезает.

Удельная относительная крутизна  $n$ - и  $p$ -канальных транзисторов в режиме насыщения различна и составляет соответственно 15,5 и 7,7 мкА/В<sup>2</sup>. Почти так же различаются величины эффективных подвижностей, что совпадает с данными для объемных структур [9]. Максимальные величины подвижностей равны соответственно  $\mu_p = 250 \div 250$  и  $\mu_n = 400 \div 450 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ , т.е. величина максимальной подвижности в  $n$ -канальном транзисторе составляет лишь 70% от типовых значений, характерных для приборов, выполненных на объемном кремнии.

Сравнение удельной относительной крутизны  $n$ -канального транзистора в режиме насыщения и до насыщения показывает, что эта величина больше в последнем случае. Уменьшение ее с насыщением обусловливается влиянием объемного заряда подложки, поскольку уровень легирования кармана  $n$ -канального транзистора довольно высок (от  $4 \cdot 10^{16}$  до  $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ). Удельная относительная крутизна

на  $p$ -канального транзистора в режиме насыщения и до насыщения почти не различаются, что можно объяснить практически полным обеднением подложки  $p$ -канального транзистора, приводящим к тому, что максимальный объемный заряд подложки ограничен эффективной (без учета нарушенного слоя) толщиной пленки и его влияние на характеристики прибора сильно ослаблено. Теоретически у аналогичных объемных транзисторов крутизна в режиме насыщения должна уменьшаться примерно на 30% [10].

Зависимости токов утечки "сток-исток" транзисторов от напряжения на стоке при нулевом напряжении на затворе приведены на рис. 4 (подложка соединена с истоком,  $U_3 = 0$ ,  $W = 42 \text{ мкм}$ , толщина кремниевой пленки  $\sim 3 \text{ мкм}$ ). Из рисунка

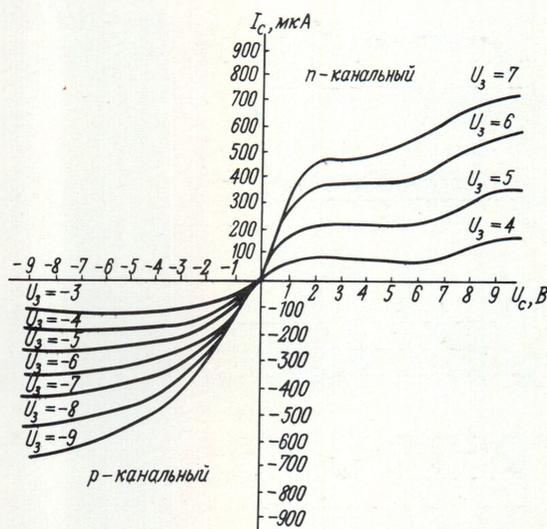


Рис. 3. Типовые вольт-амперные характеристики КНС МОП-транзисторов ( $W/L = 6,46$ )

видно, что статический ток потребления инвертора в основном определяется током утечки  $n$ -канального транзистора, но величина потребляемой мощности не превышает 0,1 мкВт при напряжении питания 10 В (ширина канала транзисторов  $\sim 42$  мкм), т.е. обеспечивается микромощный режим работы. Ток утечки  $n$ -канального транзистора превышает ток утечки его стокового перехода, что, по-видимому, обусловлено наличием дополнительной утечки по боковой грани кремниевого остовка, на котором расположен транзистор [11].

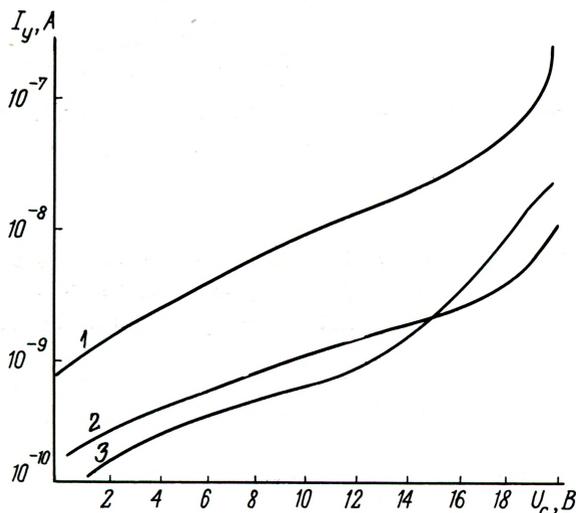


Рис. 4. Зависимость тока утечки стока от напряжения на стоке: 1 — утечка стока  $n$ -канального транзистора; 2 — утечка  $p$ - $n$  перехода "сток-подложка"  $n$ -канального транзистора; 3 — утечка стока  $p$ -канального транзистора

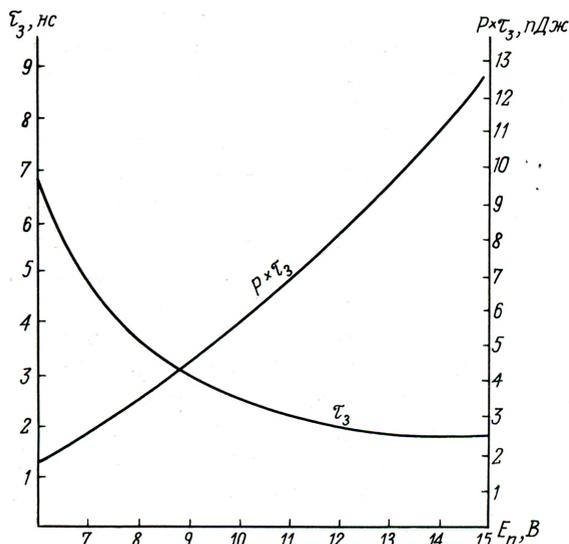


Рис. 5. Зависимости средней задержки распространения и ее произведения на потребляемую мощность от напряжения питания ( $L = 8$  мкм;  $U_{op} = -2$  В;  $U_{op} = +2,9$  В)

Оценка динамических свойств изготовленных КМОП КНС структур, проведенная стандартным методом кольцевого генератора [12], показала, что типовая задержка распространения при напряжении питания 9 В составляет примерно 3 нс. Зависимость задержки распространения и средней энергии переключения (произведения задержки на потребляемую мощность) приведена на рис. 5. Этот параметр КНС схем гораздо лучше, чем объемных КМОП структур.

Максимальное быстродействие, достигнутое схемой счетчика в диапазоне температур от  $-60$  до  $+85^\circ\text{C}$ , составило 15 МГц при напряжении питания 8,1 В, пороговое напряжение транзисторов этой схемы менее 1 В.

Таким образом, разработанная технология КНС КМОП структур, являясь не более сложной, чем стандартный КМОП процесс, позволяет получить параметры МОП транзисторов, незначительно уступающие параметрам объемных приборов (главным образом, по эффективной подвижности электронов и токам утечки закрытых транзисторов).

Вместе с тем КНС схемы имеют более высокое быстродействие, меньшую динамическую потребляемую мощность и среднюю энергию переключения, чем схемы на кремниевых подложках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ronen R.S., Micheletti F.B. Recent SOS technology advances and application. — "Solid State Technol.", 1975, N 8.
2. Eaton S.S. Sapphire brings out the best in CMOS. — "Electronics", 1975, N 12.
3. Iprri A.C., Sarace J.C. Low-threshold low-power CMOS/SOS for high-frequency counter applications. — "IEEE Journal of Solid State Circuits", 1976, vol. SC-11, N 2.
4. Aitken L., King M. The performance characteristics of large-scale integration silicon — on sapphire technology. — In: Int. Elec. Election Conf. and Exposit. Toronto, 1975. Conf. Digest., S.I.S.A.
5. Jile W.L. SOS CMOS random — access memories: a mini survey. — "END", 1974, N 11.
6. Athanas T.G. Development of CMOS technology. — "Solid State Technol.", 1974, N 6.
7. Tihanyi V., Schlötterer H. Influence of the floating substrate potential on the characteristics of ESFI MOS transistors. — "Int. Journal of Electronics", 1975, N 4.
8. Tihanyi V., Schlötterer H. Properties of ESFI MOS transistors due to the floating substrate and the finite volume — "IEEE Transaction on Electron Devices", ED-22, 1975, N 11.
9. Sah C.T., Pao H.C. The effects of fixed bulk charge on the characteristics of metal-oxide-semiconductor transistor. — "IEEE Transaction on Electron Devices", 1966, ED-13, April.
10. Das M.B. Dependence of characteristics of MOS transistors on the substrate resistivity. — "Solid State Electronics", 1969, vol. 11, March.

11. Gates J.L., Griffith O.K. Inverted silicon island edge observation in SOS/CMOS transistors by SEM EBIC methods. — "Appl. Physics Lett.", 1975, vol. 27, N 1.

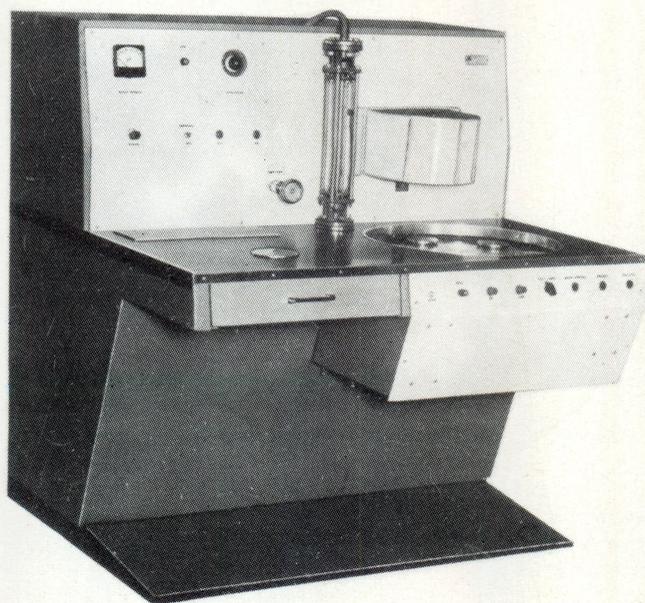
12. Pomper M., Tihanyi V. Ion implanted ESFI MOS devices with short switching times. — "IEEE Journal of Solid State Circuits", 1974, VC-9, N 5.

Статья поступила 12 июля 1977 г.

## УСТАНОВКА УИН-1 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВАКУУМПЛОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВОГО СТЕКЛА

К. И. КОПЫЛОВ, Ю. С. КУЗНЕЦОВ, Л. Л. МИКЛАШЕВСКИЙ, Е. Л. ОКУНЬ, В. М. СМIRHOV

УСТАНОВКА МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНА ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РАЗЛИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПРИБОРОВ, ПОЛУЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ СПАЕВ.



УДК 621.385.032.002.5

Метод получения вакуумплотных изделий из порошкового стекла путем прессования и спекания в поле высокой частоты имеет ряд существенных преимуществ перед традиционной технологией прессования изделий из литого стекла (Эспе В. Технология электровакуумных материалов. Т. II. М., "Энергия", 1968). Так, этим методом возможно изготовление сложных многостырьковых малогабаритных ножек и других деталей сложной конфигурации, которые трудно или невозможно изготовить общепринятым методом прессования из литого стекла. При этом улучшаются электрофизические и механические параметры деталей: снижаются диэлектрическая постоянная, тепло- и электропроводность, диэлектрические потери и междуэлектродные емкости. Механические напряжения спаев порошковых стекол с металлами и литыми стеклами меньше, чем у литых стекол, что позволяет значительно сократить время охлаждения изделий.

Порошковая технология изготовления ножек весьма проста, не требует наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала и сложного оборудования и позволяет легко наладить выпуск изделий различных типоразмеров на одном оборудовании.

В изделия из порошкового стекла легко впаивать как металлические детали, так и детали из

Напряжение питания, В	380/220 (50 Гц)
Потребляемая мощность при $\cos \gamma \geq 0,65$ , кВт	< 35
Расход воды, л/мин	< 30
Расход азота, м <sup>3</sup> /ч	< 1
Рабочая частота генератора, кГц	440 ± 11
Максимальная температура нагрева прессформ, °С	1500
Время смены позиций, с	5
Время подъема (опускания) оправок, с	40–45
Время автоматической выдержки нагрева, мин	< 30
Габариты установки, мм	3000 × 1203 × 1810
Масса, кг	1500
Производительность в смену, шт	100–150

литого стекла, например, штенгели, штабики и т.п.

Разработана установка УИН-1 для изготовления ножек из порошкового стекла, состоящая из серийного высокочастотного 10-киловаттного генератора индукционного нагрева ГВЧ-6 и рабочего технологического поста, в котором расположены выносной колебательный контур генератора с нагревателем-индуктором и станок карусельного типа с шестью технологическими позициями, представляющими собой Т-образные подставки. На подставках, которые могут перемещаться по окружности и вертикально, устанавливается технологическая оснастка (керамический цилиндр с графитовой прессформой), заключенная в цилиндре из тугоплавкого стекла.

Подъем и опускание оправки, находящейся под индуктором, может производиться автоматически с заранее установленной выдержкой времени нахождения прессформы в зоне нагрева (до 30 мин) и ручным способом. Генератор включается только на время нахождения прессформы в индукторе, хотя возможен режим длительного нагрева (при выключенном реле времени). Нагрев до 900–1000°C

и последующее охлаждение прессформ до 250°C происходят в атмосфере азота, который под давлением подается к прессформам через полый стержень подставки одновременно на все позиции через защитные клапаны, предотвращающие доступ азота на позиции без оправок.

Предусмотрено дистанционное управление генератором с технологического поста, связанного с генератором коаксиальным кабелем.

Колебательное устройство представляет собой ВЧ понижающий трансформатор с блоком конденсаторов. Нагревательный индуктор подключается к одновитковой вторичной обмотке ВЧ трансформатора. К установке прилагается три типоразмера одновитковых индукторов. Возможно использование других конструкций индукторов.

Установка проста в эксплуатации, надежна в работе. Уровень напряженности электромагнитных полей, создаваемых установкой на рабочем месте оператора, значительно ниже нормы.

*Статья поступила 28 января 1977 г.*

#### НОВАЯ КНИГА

*Планируется к выпуску в 1978 г.*

**А. Д. КРОП**

### **АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

*Под ред. В. Н. СПЕТЕНСКОГО*

**М., "Сов. радио", 1978, 8 л.**

Изложены основные вопросы надежности электронной измерительной аппаратуры (ЗИА) на различных этапах ее проектирования. Рассмотрены особенности проектирования этого вида аппаратуры. Приведены инженерные методы оценки надежности. Определяется роль подразделения надежности в процессе проектирования ЗИА.

Книга представляет интерес для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами надежности и проектированием электронных измерительных приборов.

# ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

46

Установка для испытаний  
полупроводниковых СВЧ диодов

49

Измеритель модуля коэффициента  
передачи тока СВЧ транзисторов  
на частоте 300 МГц

51

Устройство для измерения модуля  
коэффициента передачи тока СВЧ  
транзисторов на частоте 3 ГГц

54

Цветное видеоконтрольное  
теlevisionное устройство

56

Классификатор емкостей мощных транзисторов

58

Коммутаторы для контрольно-измерительного  
и испытательного оборудования

59

Коммутатор наносекундных импульсов

60

Высоковольтный источник питания  
с выходным напряжением 80 кВ

62

Установка проверки на функционирование  
перепрограммируемых запоминающих устройств

45

# УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ ДИОДОВ

Ю. Ф. АНДРЕЕВ

УСТАНОВКА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СВЧ ДИОДОВ И РАЗЛИЧНЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ В РЕЖИМАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ИЛИ НЕПРЕРЫВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ.

УДК 621.382.2.029.64.019.3.002.5



## Технические характеристики

Рабочая частота	..... фиксированная в 3-см диапазоне волн
Число одновременно испытываемых изделий	..... 30
Уровень СВЧ мощности на выходе испытательного канала и канала настройки, мВт	
в непрерывном режиме:	
на 30 каналах	..... 35-250
на 15 каналах	..... 70-500
на 7 каналах	..... 140-1000
в импульсном режиме ( $\tau = 1$ мкс, $f_{повт.} = 1$ или 4 кГц):	
на 30 каналах	..... 230-7500
на 15 каналах	..... 460-15000
на 7 каналах	..... 920-30000
Погрешность установки уровня СВЧ мощности, %	..... $\leq 15$
Переходное ослабление каждого испытательного канала и канала настройки, дБ	
при $f_0 \pm (f_0 + 300 \text{ МГц})$	..... $\pm 0,35$
при $(f_0 - 100 \text{ МГц}) - (f_0 + 400 \text{ МГц})$	..... $\pm 0,60$
Развязка между испытательными каналами, дБ	..... $\geq 50$
КСВН испытательных каналов в сторону генератора	..... $\leq 1,2$
Выходная мощность источника при работе на один канал, Вт	
непрерывная	..... $\geq 10$
импульсная	..... $\geq 500$
Температура термостата, °С	..... 80-125
Время установки температуры в термостате, ч	..... $\leq 3$
Разброс температур между испытываемыми диодами, °С	..... $\leq 2$
КСВН испытательных камер	..... 1,25-2,5
Погрешность измерения КСВН, %	..... $\leq 15$
Потребляемая мощность при работе с термостатом, кВА	..... 1,8
Время непрерывной работы установки, ч	..... $\geq 100$

Эксплуатируемое в отрасли нестандартное оборудование обеспечивает проведение испытаний диодов на надежность как в СВЧ, так и в эквивалентных режимах: на постоянном токе переменном токе промышленной частоты и на радиочастотах (около 8 МГц). Принято считать, что наиболее достоверную информацию СВЧ диодах получают при выполнении испытаний в условиях воздействия не-

прерывной или импульсной СВЧ мощности [1]. Однако оборудование, предназначенное для работы в СВЧ режимах, характеризуется относительно невысокими уровнями выходной (испытательной) мощности, способностью к реализации одного из СВЧ режимов (импульсного или непрерывного), невысокой ремонтопригодностью.

В разработанной установке, предназначенной для проведения испытаний СВЧ диодов, а также других СВЧ приборов на безотказность и долговечность, устранены отмеченные выше недостатки.

Упрощенная структурная схема установки представлена на рис. 1. В зависимости от режима, в котором проводят испытание, непрерывная или импульсная СВЧ мощность через волноводный переключатель и ряд элементов, используемых для регулировки, развязки и контроля уровня мощности, подается на вход 32-канального делителя мощности. С тридцати выходов делителя ( $K_2-K_{31}$ ) через подстроечные аттенюаторы и ферритовые вентили мощность СВЧ сигнала подается непосредственно в камеры с испытуемыми диодами, расположенными в термостате. Температура в термостате автоматически устанавливается и поддерживается блоком терморегулирования. К одному из двух выходов делителя, не используемых при испытании диодов, ( $K_1$ ) подключены элементы, обеспечивающие контроль уровня мощности на выходе делителя. Со вторым выходом ( $K_{32}$ ) соединена группа элементов, образующая канал настройки.

Благодаря использованию волноводного переключателя возможна одновременная работа обоих источников мощности, при этом от одного из них сигнал поступает на выход источников СВЧ мощности, а от другого – на многоканальный делитель.

Во время испытаний одновременно ко всем диодам подключаются нагрузки, обеспечивающие необходимый режим по постоянному току. По напряжению, измеряемому на сопротивлении нагрузки, судят о параметрах диодов в процессе испытания. Нагрузки, вольтметр и система переключателей объединены в блоке контроля. Все элементы СВЧ тракта установки рассчитаны на работу при мощности 10 Вт и выполнены на волноводах с сечением  $23 \times 10$  мм.

Существенное увеличение уровней выходных мощностей в установке достигается применением многоканального делителя с высоким КПД. Делитель мощности разработан на основе 3-дБ шлейфовых направленных ответвителей [2,3], конструктивно выполненных в виде волноводных модулей [4]. Принцип построения делителя показан на рис. 2. Максимальный КПД таких делителей обеспечивается при условии  $N = 2^k$  (здесь  $N$  – число каналов делителя,  $k$  – любое число натурального ряда). При этом число необходимых для делителя ответвителей  $n = N - 1$ .

Характеристика распределения переходного ослабления в каналах делителя, определяемая разбросом параметров ответвителей, приведена на рис. 3. С помощью подстроечных аттенюаторов,

установленных в каждом испытательном канале, разброс ослаблений может быть снижен до  $\pm 0,1$  дБ. Развязка между каналами делителя обеспечивается благодаря направленности ответвителей и обратному ослаблению ферритовых вентилей и составляет 50 дБ, а достигнутое значение КПД = 80 %.

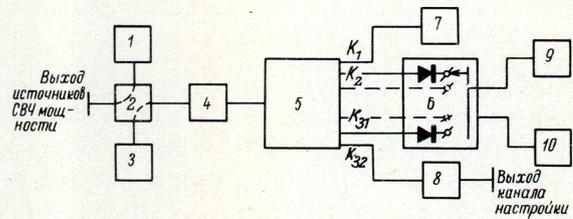


Рис. 1. Структурная схема установки: 1 – источник непрерывной СВЧ мощности; 2 – волноводный переключатель; 3 – источник импульсной СВЧ мощности; 4 – элементы развязки, регулировки и контроля уровня мощности; 5 – 32-канальный делитель мощности; 6 – термостат; 7 – элементы контроля уровня мощности; 8 – элементы канала настройки; 9 – блок контроля испытуемых диодов; 10 – блок терморегулирования

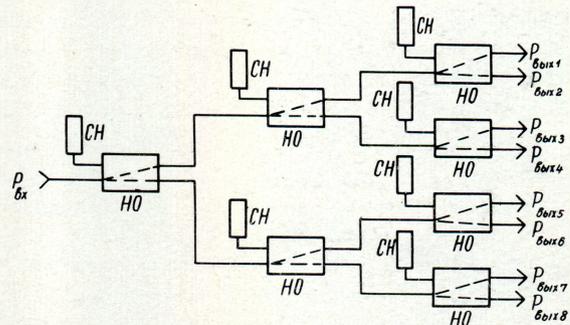


Рис. 2. Схема восьмиканального делителя мощности: СН – согласованная нагрузка; НО – 3-дБ направленный ответвитель

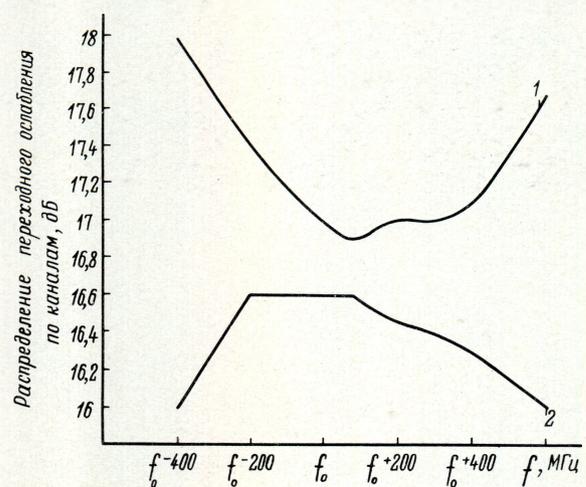


Рис. 3. Характеристики максимального (1) и минимального (2) распределения переходного ослабления в 32-канальном делителе мощности

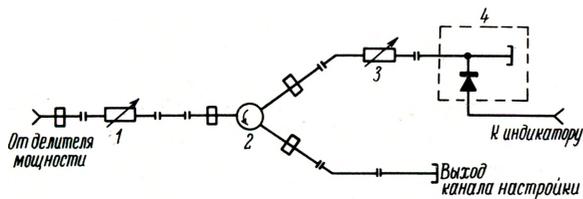


Рис. 4. Схема канала настройки: 1, 3 — переменные аттенуаторы; 2 — циркулятор; 4 — детекторная секция

Высокочастотный тракт установки может быть подключен к внешнему измерительному стенду. При этом существенно повышается точность градуировки и экономится ресурс внутренних источников мощности установки.

Одним из факторов, определяющих достоверность испытаний в СВЧ режимах, является равенство мощности, поданной на вход испытательной камеры, и мощности, рассеиваемой непосредственно диодом. Указанное соответствие достигается согласованием испытательной камеры с диодом, осуществляемым в режимах испытаний. С этой целью в установке предусмотрен канал настройки (рис. 4), который по выходному уровню мощности полностью идентичен каналам, используемым непосредственно для испытаний. Элементы, примененные в канале настройки, обеспечивают измерение КСВН при согласовании испытательной камеры с диодом. Градуировка канала настройки осуществляется при различных фиксированных значениях мощности с помощью измерительной линии или нагрузок с заданными значениями КСВН, подключаемых к выходу канала настройки. Графики, позволяющие по величине сигнала на индикаторе определять величину КСВН настраиваемой камеры, прилагаются к установке.

При проведении испытаний канал настройки может быть использован как третий внутренний индикатор уровня мощности. В этом случае к выходу канала подключают короткозамыкатель, обеспечивающий полное отражение. Кроме того, канал настройки может быть использован для контроля уровня мощности с помощью внешнего стандартного ваттметра, также подключаемого к выходу канала.

Наличие в установке трех внутренних индикаторов уровня мощности и возможность подключения вместо одного из них внешнего измерителя мощности позволяют получать достоверную информацию о состоянии уровня мощности в процессе испытаний.

Установка выполнена в виде двух стоек, в одной из которых размещены блоки питания источников мощности, управления термостатом и контроля испытуемых изделий, а в другой — вся высокочастотная часть установки и термостат. Контроль

распределения температуры в термостате осуществляется непосредственно на испытательных камерах в местах включения диодов.

Разработанная установка позволяет определить показатели надежности СВЧ диодов различных классификационных групп (смесительных, детекторных, параметрических) и других СВЧ устройств (приемных модулей, СВЧ усилителей, детекторных головок, смесителей и др.) при воздействии импульсной и непрерывной СВЧ мощности в условиях нормальной и повышенной температур.

Увеличение выходной мощности в установке более чем в 6 раз по сравнению с мощностью эксплуатируемых установок существенно облегчает отработку ускоренных методов испытаний в форсированных режимах и позволяет применять ее для испытаний на воздействие максимальной рассеиваемой мощности и ступенчатых испытаний, выявляющих технологический запас изделий по ряду параметров. Установка может быть использована для определения соответствия испытаний, проводимых в СВЧ режимах, испытаниям, осуществляемым в эквивалентных режимах (на постоянном токе, радиочастоте).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов В. П., Федотов Я. Н. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. М., "Высшая школа", 1975.
2. Сосунов В. Н., Шибеев А. А. Направленные ответвители сверхвысоких частот. Саратов, Приволжское книжное изд-во, 1964.
3. Сосунов В. А., Шибеев А. А. Направленные ответвители и их применение. Саратов, Приволжское книжное изд-во, 1969.
4. Ответвители направленные, волноводные шлейфовые. ОСТ 11 ПО 224001-73.

Статья поступила 1 апреля 1977 г.

#### НОВАЯ КНИГА

#### ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Ф. П. ПРЕСС

М., "Сов. радио", 1978, 6 л.

Изложены основы, практическое применение и перспективы развития фотолитографии — одного из важнейших методов технологии полупроводниковых и интегральных схем. Рассмотрены фоторезисторы, фотошаблоны, собственно технология фотолитографии, современное оборудование. Особое внимание уделено качеству фотолитографии.

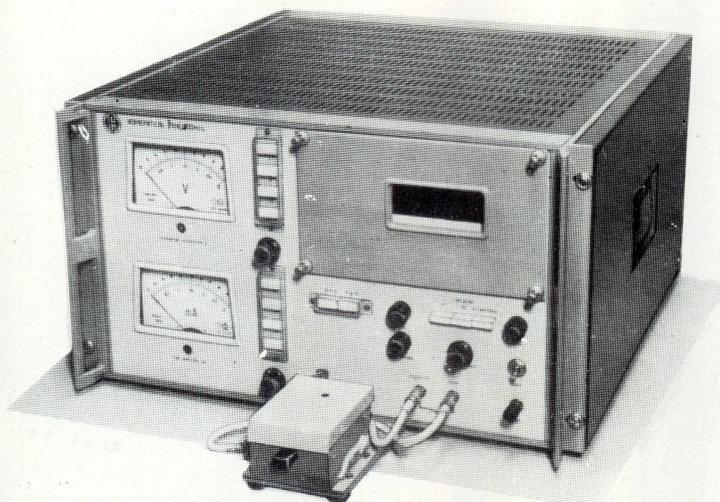
Книга рассчитана на технологов РЭА и специалистов, работающих в других областях радиоэлектроники.

# ИЗМЕРИТЕЛЬ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ НА ЧАСТОТЕ 300 МГц

В. Т. ВАСИЛЬЕВ, В. К. ПОПОВ, В. С. ХАРИТОНОВ

ПРИБОР ПОЗВОЛЯЕТ ОПРЕДЕЛЯТЬ ГРАНИЧНУЮ ЧАСТОТУ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА p-n-p И n-p-n СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА В СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ.

УДК 621.317.799:621.382.3.029.64



Пределы измерения . . . . .	1—15
Частота измерения, МГц . . . . .	300
Погрешность измерения, % . . . ±(10+1 ед. мл. разр.)	
Пределы задания тока эмиттера, мА . . . . .	0,1—30
Пределы задания напряжения коллектора, В . . . . .	0,1—30
Погрешность задания режимов, % . . . . .	не более ±1,5 от верхнего предела
Напряжение питания, В . . . . .	220±10% (50 Гц)
Потребляемая мощность, ВА . . . . .	150
Габариты, мм	
измерителя . . . . .	520x550x281
контактных устройств . . . . .	95x118x60
Масса, кг . . . . .	30

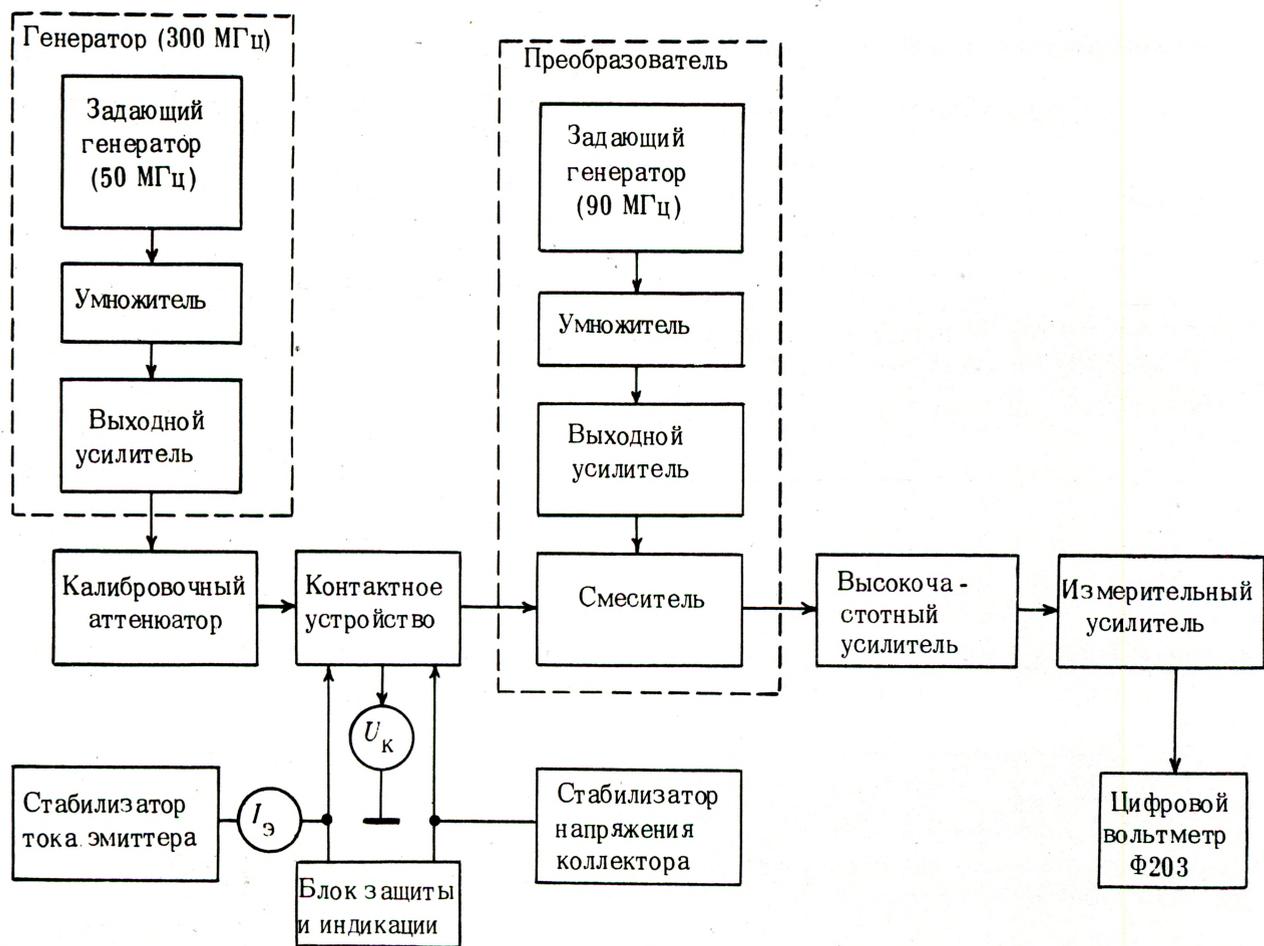
Измеритель построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Блок-схема прибора приведена на рисунке.

Напряжение с частотой 300 МГц вырабатывается генератором, состоящим из задающего генератора с кварцевой стабилизацией частоты 50 МГц, умножителя, полосовой фильтр которого настроен на шестую гармонику частоты задающего генератора (300 МГц), и выходного широкополосного усилителя. Выходное напряжение генератора через развязывающий аттенуатор с ослаблением 5 дБ, служащий для развязки между генератором и калибровочным аттенуатором, подается на контактное устройство.

Измерение модуля коэффициента передачи тока испытуемого транзистора осуществляется в соот-

ветствии с ГОСТ 18604.9—75 путем подачи высокочастотного тока в базу транзистора и измерения тока на токосъемном элементе в коллекторной цепи этого транзистора. Режим генератора тока в базовой цепи измеряемого транзистора обеспечивается подключением базы транзистора к генератору через два последовательно соединенных конденсатора емкостью по 1 пФ и включением в базовую цепь параллельного LC контура, настраиваемого с учетом емкости корпуса измеряемого транзистора на частоту 300 МГц. Настройка контура совместно с пустым корпусом транзистора устраняет влияние паразитной емкости корпуса на результат измерения.

Сигнал, пропорциональный модулю коэффициента передачи тока измеряемого транзистора, сни-



Блок-схема измерителя

мается с токосъемного импеданса в цепи коллектора. При этом осуществляется режим короткого замыкания на частоте измерения. С целью устранения возможности возбуждения этот режим обеспечивается конструктивной емкостью величиной около 300 пФ, имеющей сопротивление менее 2 Ом на частоте измерения.

В цепи эмиттера, который заземлен по высокой частоте, включены конструктивная емкость такой же величины и параллельно ей конденсатор емкостью 3300 пФ.

Снимаемый с коллектора сигнал подается на преобразователь — основной узел измерителя, собранный на транзисторах ГТ329Б. Частота задающего генератора (90 МГц) стабилизирована кварцем (ПЭ1). Усиленный сигнал с частотой, равной третьей гармонике частоты задающего генератора (270 МГц), поступает в качестве гетеродинного на схему преобразования частоты—смеситель, в который одновременно подается сигнал с контактного устройства. Преобразованный сигнал промежуточной частоты 30 МГц снимается с избирательного контура смесителя и поступает на высокочастотный усилитель, где усиливается примерно в 100 раз, а

затем на измерительный усилитель, где преобразуется в постоянное напряжение [ 1 ].

Выходное постоянное напряжение, амплитуда которого после калибровки измерителя равна модулю коэффициента передачи тока, подается на цифровой вольтметр Ф203.

Калибровка прибора обеспечивается с помощью калибровочного аттенюатора, имеющего ослабление 10 дБ. При калибровке сигнал для повышения точности проходит через аттенюатор без ослабления и измеритель калибруется на значение 3,16. В этом режиме повышенной чувствительности измерителя осуществляется также настройка контура в цепи базы транзистора. В режиме измерения вводится ослабление аттенюатора.

Измеритель имеет также блок защиты и индикации, предназначенный для индикации включения транзистора и защиты его от перегрузки при неправильном включении и состоящий из канала защиты от перегрузок и канала сигнализации отсутствия коллекторного тока.

К достоинствам измерителя следует отнести использование в нем разработанных ранее блоков (стабилизаторов напряжения коллектора и тока

эмиттера, высокочастотного и измерительного усилителей) [1]. Применение цифрового вольтметра в качестве индикатора, генераторов с кварцевой стабилизацией частоты, супергетеродинного метода измерения с двойным преобразованием частоты позволило упростить блок-схему прибора и повысить точность измерения в полтора раза по сравнению с ранее выпускаемыми измерителями [2].

В комплект прибора входят пять сменных контактных устройств, обеспечивающих измерение транзисторов в различных корпусах, в том числе транзисторов ГТ341, ГТ362, КТ372, ГТ383, ГТ376 и др.

Наличие сменных контактных устройств, возможность определения важнейшего для СВЧ транзисторов параметра — граничного коэффициента передачи тока [3] в диапазоне частот от 300 МГц до 4,5 ГГц обеспечивают контроль практически всех существующих в настоящее время типов СВЧ транзисторов.

Выпускаемый серийно измеритель может эксплуатироваться как в составе технологической линии изготовления СВЧ транзисторов, так и в лабораторных условиях в качестве контрольно-измерительного оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.Т., Попов В.К., Харитонов В.С. Комплект приборов для измерения высокочастотных параметров ВЧ и СВЧ транзисторов. — "Электронная промышленность", 1976, вып. 4.
2. Смирнов Б.В., Шабалин В.Ф. Измеритель модуля коэффициента передачи тока маломощных СВЧ транзисторов. — "Обмен опытом в радиопромышленности", 1973, вып. 12.
3. Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. М., "Высшая школа", 1975.

Статья поступила 29 января 1977 г.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ НА ЧАСТОТЕ 3 ГГц

Е. Н. ШАМШИН

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ  $|h_{21э}|$  ПОЗВОЛЯЕТ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЯТЬ ГРАНИЧНУЮ ЧАСТОТУ УСИЛИТЕЛЬНЫХ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ.

УДК 621.317.799:621.382.3.029.64

Один из способов контроля качества усилительных СВЧ транзисторов заключается в измерении их граничной частоты  $f_{гр}$ , которая до последнего времени определялась по результатам измерения модуля коэффициента передачи тока  $|h_{21э}|$  на одной из фиксированных частот: 0,1; 0,3; 1,0 ГГц — в зависимости от величины  $f_{гр}$ , а также от значения низкочастотного дифференциального коэффициента передачи тока  $h_{21э}$  [1].

С появлением транзисторов с  $f_{гр}$  до 10 ГГц возникла необходимость в измерении  $|h_{21э}|$  на частоте 3 ГГц. Для этого было использовано измерительное устройство, собранное на основе стандартной радиоизмерительной аппаратуры (рис. 1). В его состав, в частности, вошли контактное устройство, фильтры питания, смеситель и индикаторный блок из комплекта измерителя коэффициента шума Х5-10 [2].

Принцип действия устройства основан на использовании трансформирующих свойств длинных линий [3, 4]. В режиме калибровки контакты базы и коллектора замыкаются проходной секцией, и показания приемника, подключаемого поочередно к зонду измерительной линии и низкоомной нагрузке, выравняются с помощью аттенюатора выходного тракта. В режиме измерения показания приемника, подключенного к зонду, устанавливаются на единичном уровне; при подключении к нагрузке они соответствуют измеряемому значению  $|h_{219}|$ .

Условия короткого замыкания на выходе исследуемого транзистора обеспечиваются с помощью токосъемного конденсатора  $C_{кз} = 5 \div 7$  пФ, помещенного непосредственно в контактное устройство. В отличие от описанного ранее устройства аналогичного типа для измерения  $|h_{219}|$  на частоте 1 ГГц [4] здесь используется ненастраиваемая выходная цепь. Отказ от выходного тракта длиной  $n\lambda/2$ , настраиваемого короткозамкнутым поршнем и имеющего вывод сигнала через направленный ответвитель, вызван тем, что на частоте 3 ГГц активная составляющая сопротивления короткого замыкания  $Z_{кз}$  возрастает до 7–8 Ом. В настоящем устрой-

стве  $Z_{кз} = (2 - j14)$  Ом, и погрешность вследствие этого не превышает 1%.

Включение источников питания измеряемого транзистора по схеме с общей базой требует принятия специальных мер, направленных на подавление низкочастотной генерации, возникающей из-за того, что ни одна из клемм источника напряжения коллектор-база не подключена к корпусу устройства. Устойчивость режима измерения транзистора обеспечивается с помощью  $R_{\phi}C_{\phi}$  - фильтра ( $R_{\phi} = 1$  Ом,  $C_{\phi} = 1$  мкФ).

Граничная частота определяется как  $f_{гр} = |h_{219}| f$ . Для получения объективной информации о  $f_{гр}$  необходимо, чтобы логарифмическая зависимость  $|h_{219}(f)|$  имела вид прямой с наклоном 6 дБ на октаву. Иными словами, в диапазоне частот, где проводятся измерения, должно выполняться условие  $|h_{219}| f = \text{const}$ . Паразитные емкости корпуса, шунтирующие вход транзистора, а также индуктивности его электродов нарушают, это условие, что приводит к ошибкам при определении  $f_{гр}$ .

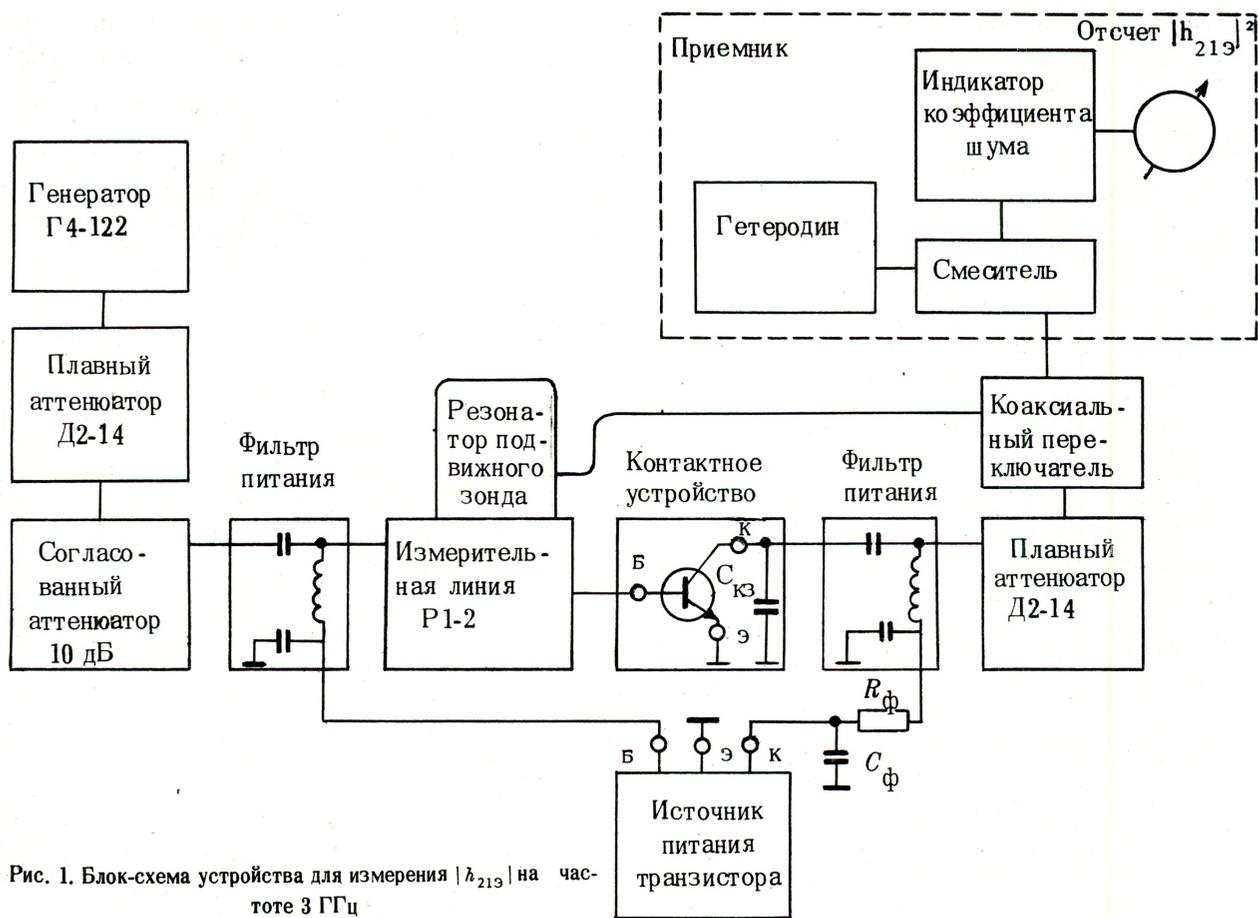


Рис. 1. Блок-схема устройства для измерения  $|h_{219}|$  на частоте 3 ГГц

Влияние входной и проходной емкостей корпуса, шунтирующих вход транзистора, компенсируется путем установки зонда измерительной линии в узел напряжения при наличии в контактном устройстве корпуса транзистора, собранного без кристалла [3]. Индуктивность выходного электрода транзистора образует с емкостной нагрузкой последовательную цепочку, резонансная частота которой близка к частоте измерения, что уменьшает реактивную нагрузку в выходной цепи [1].

О правильности и корректности измерений при наличии в данном устройстве такой компенсации свидетельствуют приведенные ниже результаты определения  $f_{гр}$  пяти транзисторов КТ391А, полученные посредством измерения  $|h_{219}|$  на частотах 1 и 3 ГГц и отличающиеся друг от друга в среднем не более чем на 2%:

при  $f = 1$  ГГц  $f_{гр} = 6,4; 6,3; 6,3; 6,4; 5,2$  ГГц,

при  $f = 3$  ГГц  $f_{гр} = 6,4; 6,3; 6,4; 6,5; 5,1$  ГГц.

Методические погрешности измерения  $|h_{219}|$  в рассматриваемом устройстве связаны с неточностью положения зонда измерительной линии относительно координаты узла напряжения, а также с неидеальностью цепи короткого замыкания.

Погрешность, обусловленная неточностью положения входного зонда, оценивается по следующей формуле:

$$\delta_{вх} = \left[ \frac{Imh_{119}}{Z_0} + 2\pi f (C_{б9} + C_{кб}) Z_0 \right] \Delta\phi, \quad (1)$$

где  $Imh_{119}$  — реактивная составляющая входного сопротивления транзистора;  $Z_0 = 50$  Ом — волновое сопротивление измерительной линии;  $C_{б9}$  и  $C_{кб}$  — входная и проходная емкости корпуса;  $\Delta\phi = 2\pi\Delta x/\lambda$  — абсолютное изменение фазового угла за счет перемещения  $\Delta x$  зонда.

Погрешность, обусловленная неидеальностью цепи короткого замыкания, в первом приближении оценивается как

$$\delta_{кз} = -2\pi f_{гр} (C_{к} + C_{кб}) R_{кз} + 2\pi f (C_{к} + C_{кб} + C_{к9}) X_{кз}, \quad (2)$$

где  $C_{к}$  — емкость коллекторного перехода;  $R_{кз}$  и  $X_{кз}$  — активная и реактивная составляющие сопротивления короткого замыкания;  $C_{к9}$  — выходная емкость корпуса.

Указанные методические погрешности определяются путем непосредственного измерения каждой из входящих в формулы (1) и (2) величин, за исключением  $C_{к}$ . Емкость коллекторного перехода современных усилительных СВЧ транзисторов составляет приблизительно 0,1 пФ, и для ее определения достаточно знать площадь перехода и его удельную емкость.

Настоящее устройство позволяет количественно оценить влияние паразитных емкостей корпуса на точность измерения  $|h_{219}|$ . Располагая зонд в узлах напряжения при наличии в контактном устройстве корпуса транзистора, собранного без кристалла, и в отсутствие такого корпуса, определяют два фиксированных положения зонда, в которых поступающие с него сигналы в процессе измерения прямо пропорциональны токам через базовый вывод транзисторной структуры  $|i_{б}|$  и базовый вывод корпуса  $|i_{вх}|$  соответственно. На рис. 2 представлена зависимость отношения  $|i_{б}|/|i_{вх}|$  от тока эмиттера, полученная для транзистора типа КТ391А. Зависимость отношения значений  $|h_{219}|$ , измеренных без компенсации влияния емкостей корпуса, к значениям, измеренным с компенсацией, от тока эмиттера имеет ту же тенденцию, что и зависимость  $|i_{б}|/|i_{вх}|$ . Превышение результатов измерения  $|h_{219}|$  без компенсации влияния паразитных емкостей корпуса над результатами, полученными с компенсацией, объясняется тем, что на частоте 3 ГГц входное сопротивление тран-

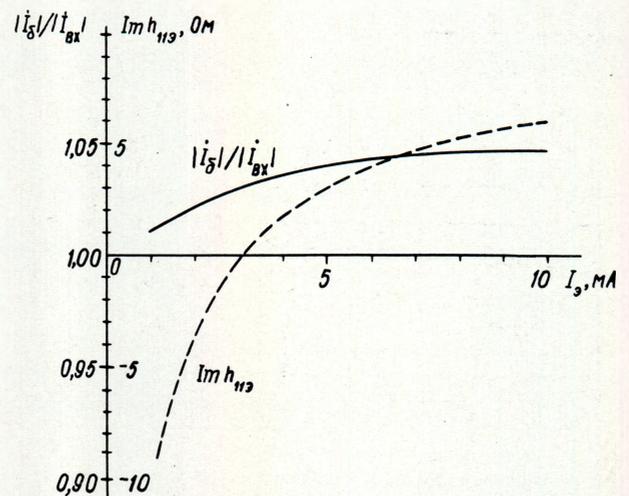


Рис. 2. Зависимость отношения токов  $|i_{б}|$  и  $|i_{вх}|$  во входной цепи транзистора и реактивной составляющей входного сопротивления транзистора от постоянной составляющей тока эмиттера на частоте 3 ГГц при  $U_{к} = 7$  В

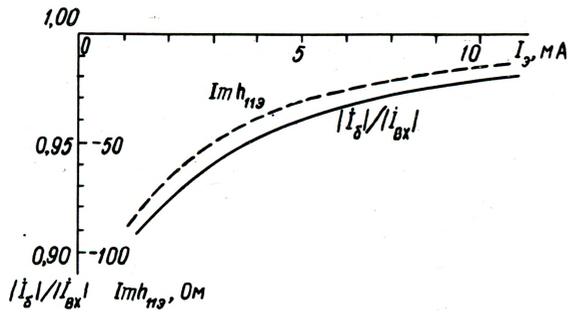


Рис. 3. Зависимость отношения токов  $|i_g|$  и  $|i_{вх}|$  во входной цепи транзистора и реактивной составляющей входного сопротивления транзистора от постоянной составляющей тока эмиттера на частоте 1 ГГц при  $U_k = 7$  В

зистора  $h_{119}$  с ростом тока эмиттера  $I_э$  приобретает индуктивный характер и начинает сказываться влияние резонанса токов во входной цепи.

На частоте 1 ГГц входное сопротивление транзистора имеет емкостной характер и измеренная величина  $|h_{219}|$  без компенсации влияния емкостей корпуса меньше своего истинного значения, используемого для определения граничной частоты (рис. 3).

Таким образом, определить граничную частоту маломощных усилительных СВЧ транзисторов можно путем измерения модуля коэффициента передачи тока на частоте 3 ГГц. При условии компенсации влияния элементов корпуса транзистора результаты определения  $f_{гр}$ , полученные путем измерения  $|h_{219}|$  на частотах 1 и 3 ГГц, совпадают.

Предлагаемый метод определения граничной частоты имеет ряд преимуществ по сравнению с методом определения  $f_{гр}$  расчетным путем по результатам измерения  $S$  — параметров транзистора [5]. Во-первых, непосредственное измерение модуля коэффициента передачи тока оказывается более точным, чем его расчет по четырем комплексным параметрам матрицы рассеяния, измеренным с определенной погрешностью. Во-вторых, измерение  $S$  — параметров осуществляется без компенсации влияния элементов корпуса, и поэтому для правильного определения граничной частоты требуется либо дополнительный расчет, исключаяющий их влияние, либо поиск такого диапазона частот, в котором произведение расчетного значения  $|h_{219}|$  на частоту измерения оставалось бы постоянным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов В.Л., Виноградов И.А., Шамшин Е.Н. Измерение  $|h_{219}|$  маломощных транзисторов в СВЧ диапазоне. — "Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы", 1973, вып. 5.
2. Радиоизмерительные приборы. Каталог-проспект. М., НИИЭИР, 1975.
3. Каменецкий Ю.А., Шибанов А.П. Измерение параметров транзисторов в диапазоне УКВ. — В кн.: Полупроводниковые приборы и их применение. Под ред. Я.А. Федотова. Вып. 5. М., "Сов. радио", 1960.
4. Шамшин Е.Н. Измерительное устройство для определения граничной частоты СВЧ транзисторов. — "Электронная пром-сть", 1976, вып. 3.
5. Кук Г.Ф. Вопросы теории и проектирования СВЧ транзисторов. — В кн.: Полупроводниковые приборы СВЧ. Под ред. Ф. Брэнда. М., "Мир", 1972.

Статья поступила 14 апреля 1977 г.

## ЦВЕТНОЕ ВИДЕОКОНТРОЛЬНОЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЕ УСТРОЙСТВО

А. Ф. ГОРКАВЕНКО, А. Н. ГОРЮНОВ, А. Г. ЖУКОВ, В. С. СТОРОНСКИЙ

**ЦВЕТНОЕ ВИДЕОКОНТРОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ОБЛЕГЧАЕТ РАБОТУ ОПЕРАТОРА, УЛУЧШАЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВИЗОРА, ОБЕСПЕЧИВАЯ БОЛЕЕ ЧЕТКОЕ И КОНТРАСТНОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.**

УДК 621.397.612

Для быстродействующего тепловизора БТВ-1 [1] разработано цветное видеоконтрольное устройство (ВКУ) на кинескопе с размерами экрана по

диагонали 250 мм и изображения 110x135 мм. В цветном ВКУ осуществляется преобразование монохромного сигнала в цветной, основанное на воз-

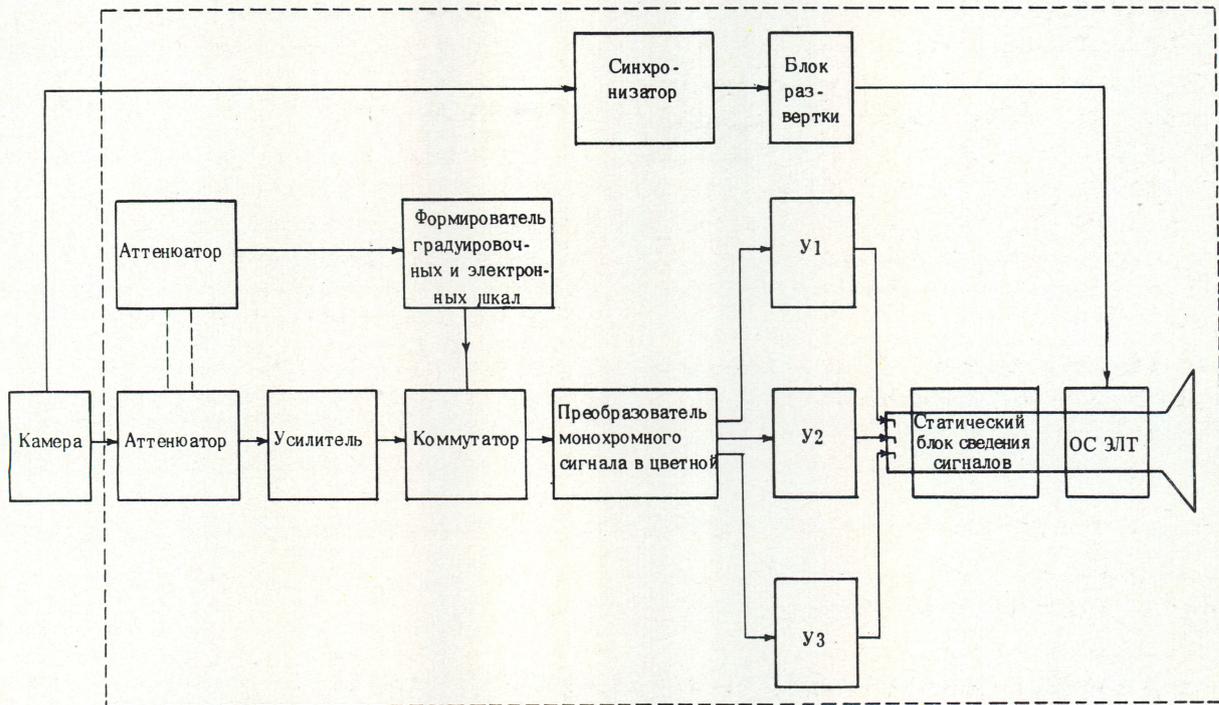


Рис. 1. Структурная схема цветного ВКУ

возможности закодировать определенным цветом выбранные интервалы сигналов, соответствующие средней температуре или средней интенсивности ИК излучения [2].

На экране ЭЛТ можно воспроизводить изображение, состоящее из семи основных цветовых тонов.

Структурная схема цветного ВКУ показана на рис. 1. В коммутаторе происходит временное селектирование видеосигнала, поступающего от приемной камеры тепловизора БТВ-1. Суммарный монохромный сигнал, образующийся на выходе коммутатора, преобразуется и разделяется на три сигнала, затем через усилители У1, У2 и У3 подается на катоды ЭЛТ. В индикаторе использован статический блок сведения сигналов.

Для повышения разрешающей способности соседние на экране цвета выбирались контрастными между собой. Такое чередование цветов можно проиллюстрировать на рис. 2, где изображена термограмма настольной лампы (на градуировочной шкале внизу снимка синий цвет соответствует самой холодной области на термограмме, а оранжевый — самой горячей).

На рис. 3 показано тепловое изображение лица человека. Для быстрой оценки температуры любых участков тела по цветной термограмме в поле зрения теплового изображения лица человека помещены два контрольных излучателя: температура левого

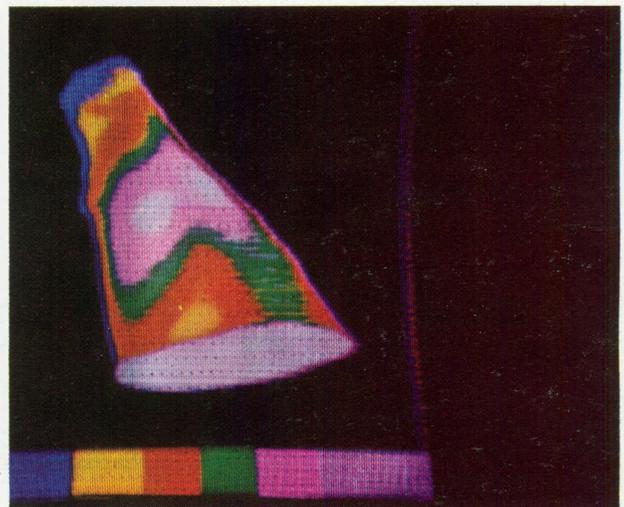


Рис. 2. Тепловое изображение настольной лампы



Рис. 3. Тепловое изображение лица человека

30, правого 35°C. Регулируя чувствительность прибора, можно повысить точность отсчета до 0,5°C.

Цветное воспроизведение термограмм позволяет улучшить качественные показатели тепловизора БТВ-1 и в первую очередь разрешающую способность, точность отсчета измеряемых температур при использовании эталонных излучателей, выделить и четко обозначить границы участков равной плотности, облегчить оператору воспроизведение термограмм.

Разработанное цветное ВКУ для тепловизора

БТВ-1 позволит шире использовать прибор в научных исследованиях, промышленности, медицине.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.А., Иванов Ю.В., Исаев Э.П. ИК-техника в диагностике. — "Электронная пром-сть", 1971, вып. 4.

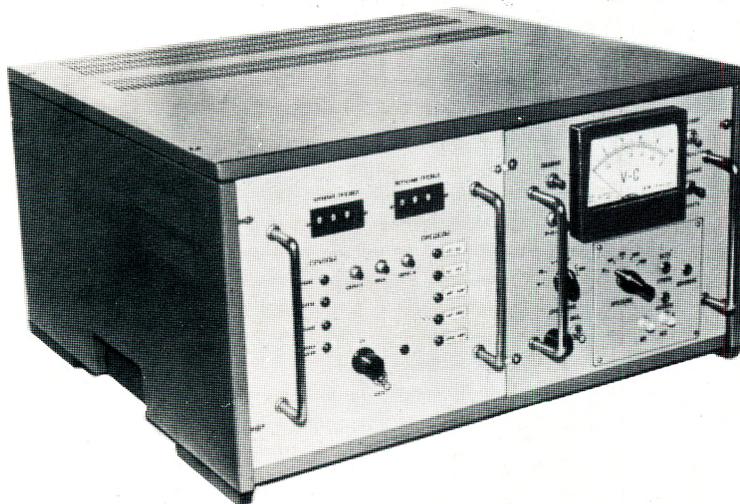
2. Горкавенко А.Ф., Горюнов А.Н., Жуков А.Г., Романюк Ю.В., Рындин В.И., Колосов В.Р. Преобразователь монохромного видеосигнала в цветной для тепловизионных приборов. — "Электронная пром-сть", 1976, вып. 4.

Статья поступила 25 февраля 1977 г.

## КЛАССИФИКАТОР ЕМКОСТЕЙ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Н.А. КОМАРОВА, В.П. ОБЛИКОВ

Пределы измеряемых значений емкостей, пФ . . . . .	10—3000
Частота измерения, МГц . . . . .	1,0
Напряжение смещения, В . . . . .	0—300
Число групп классификации . . . . .	3
Время классификации, мс . . . . .	80
Погрешность, % . . . . .	5
Габариты, мм . . . . .	500x550x294
Масса, кг . . . . .	40



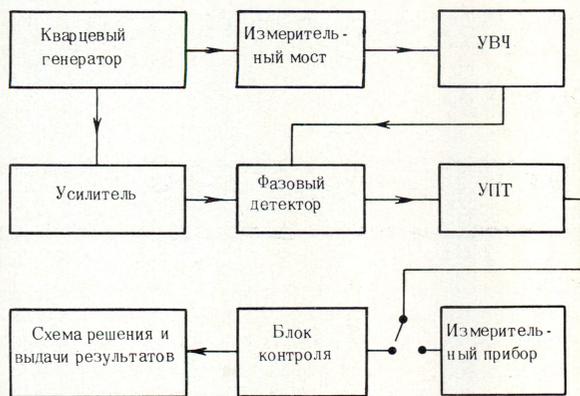
УДК 621.382.3

Переключающие свойства мощного транзистора и его коэффициент усиления при работе в диапазоне высоких частот, а также в импульсном режиме зависят от величины емкости эмиттерного и коллекторного переходов.

При разработке классификатора емкостей мощных транзисторов  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типа учитыва-

лись требования, предъявляемые к высокочастотной измерительной аппаратуре, и, в первую очередь, большая точность измерения и высокая производительность. Классификатор может быть включен в комплекс для измерения динамических параметров транзисторов или работать автономно. Он состоит из блоков измерения и контроля. В измерительном

"ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ", 1978, ВЫП. 4 (64)



Блок-схема классификатора

блоке (см. рисунок) определяется величина емкости с отсчетом по шкале прибора. Измерительная часть блока выполнена по мостовой схеме, что позволило скомпенсировать паразитные емкости контактного устройства и повысить точность измерения. Применение фазового детектора обеспечило линейную зависимость аналогового сигнала от величины емкости.

Калибровка измерителя осуществляется с помощью эталонного конденсатора, которая автоматически подключается перед каждым измерением.

С измерительного блока аналоговый сигнал, пропорциональный величине измеряемой емкости, поступает в блок контроля, предназначенный для синхронизации измерителя, задания верхнего и нижнего пределов измерения и калибровки, сравне-

ния сигналов калибровки с аналоговыми и выдачи результатов измерения на цифровой индикатор.

Сравнение сигнала калибровки с опорным напряжением производится на компараторе, выполненном на микросхеме 1УТ402Б. Если сигнал калибровки меньше или превышает уровни опорного напряжения, загорается лампочка "нарушение калибровки", и последующие измерения прекращаются.

Работа схемы при измерении аналогична работе при калибровке. Если аналоговый сигнал находится ниже нижнего уровня опорного напряжения, загорается лампочка "ниже", если между низким и высоким уровнем, загорается лампочка "норма", а если превышает верхний уровень — "выше".

Верхний и нижний уровни напряжения задаются в двоичном коде программными переключателями, расположенными на передней панели классификатора.

Границы групп разбраковки можно программировать от внешнего устройства. Результаты разбраковки с выхода классификатора могут передаваться для дальнейшей обработки.

Высокая надежность работы классификатора достигается за счет применения полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Внедрение классификатора емкостей мощных транзисторов в производство позволило снизить трудоемкость на операции контроля емкости.

Статья поступила 25 февраля 1977 г.

#### НОВАЯ КНИГА

Планируется к выпуску в 1978 г.

#### ПОРТАТИВНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

М., "Сов. радио", 1978, 23 л.

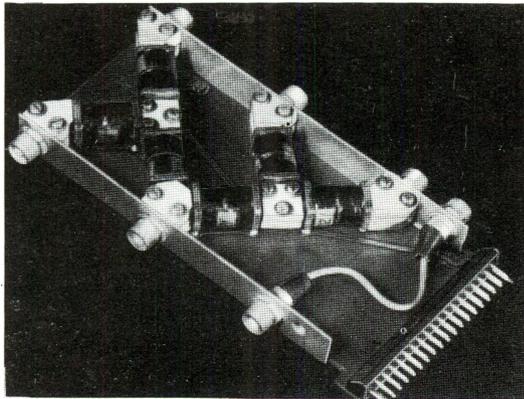
Авт.: Е. К. БЛЮДИН, З. М. БОДНАР, К. В. КРАВЧЕНКО и др.

Изложены принципы проектирования и особенности эксплуатации наиболее массовых типов современных портативных осциллографов. Рассмотрены возможности автоматизации измерений и управления приборами, а также вопросы технического обслуживания, проверки и ремонта. Даны рекомендации по выбору осциллографов по основным характеристикам.

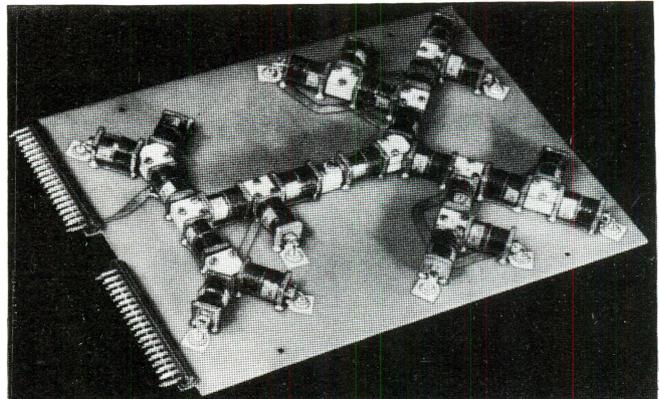
# КОММУТАТОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. С. БОНДАРЕВСКИЙ, В. Н. ГОЛЕНЦОВ

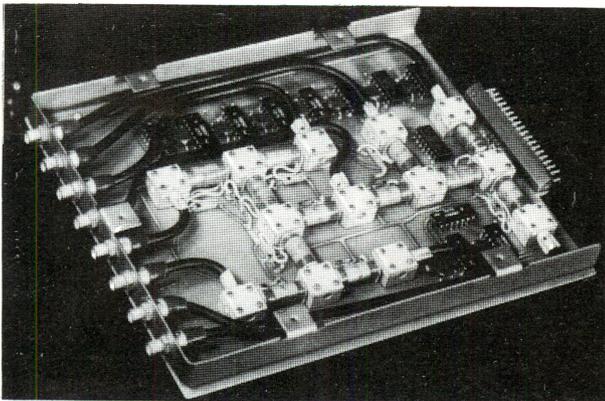
УДК 621.317.799:621.3.049.77



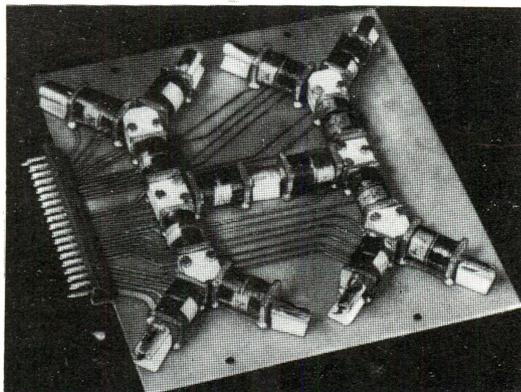
Коммутатор 1x4



Коммутатор 2x12



Коммутатор 1x7

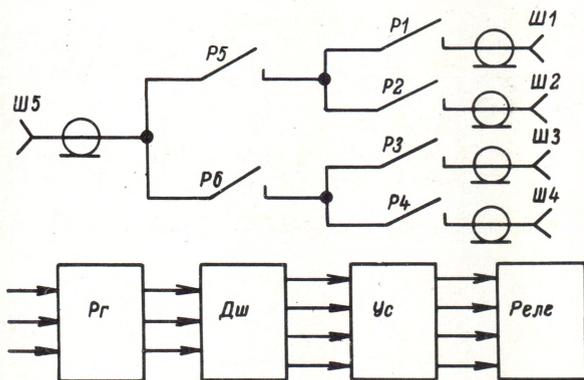


Коммутатор 1x8

Технические характеристики коммутаторов

	1x4	1x7	1x8	2x12
Время установления переходной характеристики, нс	0,25	0,3	0,3	0,35
Волновое сопротивление, Ом	50(75)	50	50	50
Ток пропускания, А	0,25	0,25	0,25	0,25
Время включения, мс	1,0	1,0	1,0	1,0
Время выключения, мс	0,3	0,3	0,3	0,3
Габариты, мм	135x70x15	200x150x20	135x135x25	210x150x25
Масса, кг	0,17	0,7	0,37	0,65

Разработанный обратимый коммутатор, обозначаемый условно как модуль типа 1x4, имеет один вход и четыре выхода (см. рисунок). Запоминающий регистр, дешифратор и управляющий усилитель могут быть реализованы известным способом, например, на ИС серии 155-К1ЛБ553, К1ЛБ557.



Принципиальная схема коммутатора 1x4: P1-P6 – коаксиальные реле на магнитоуправляемом контакте КЭМ-2А; Ш1-Ш5 – коаксиальные разъемы СР-50-112Ф (СР-75-110Ф); Рг – входной запоминающий регистр; Дш – дешифратор; Ус – управляющий усилитель

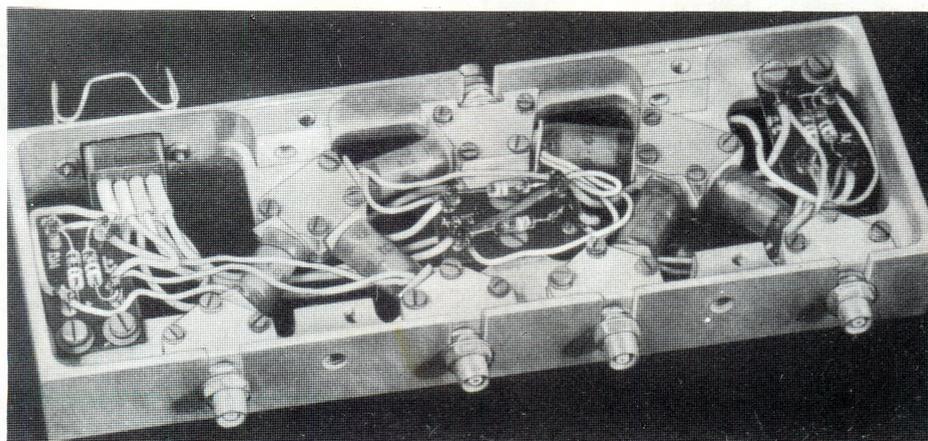
На основе модуля 1x4 созданы более сложные коммутаторы типа 1x7, 1x8, 2x12. Конструктивно они выполнены на печатных платах с навесными коаксиальными реле, интегральными схемами и разъемами.

Приборы предназначены для коммутации видео- и радиоимпульсов с наносекундными параметрами. Используются в качестве распределительных устройств, сопрягающих генераторы тестовых импульсов и измерители параметров импульсов-реакций с выводами проверяемых изделий электронной техники.

Статья поступила 16 августа 1977 г.

## КОММУТАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В. Н. ГОЛЕНЦОВ, Л. В. ЖЕЛОБАЕВ



УДК 621.317.799:621.3.049.77

Волновое сопротивление, Ом	50
Число входов	4
Число выходов	1
Время установления переходной характеристики, нс	0,3
Ток пропускания, А	0,25
Ток включения реле, мА	20

Прибор предназначен для коммутации наносекундных импульсов от четырех входов к одному выходу или наоборот.

Коммутатор выполнен на цельнометаллическом основании, в пазах которого с помощью пластин крепятся экраны коаксиальных реле с магнитоуправляемым контактом КЭМ-2А. Входы и выход прибора подключаются к внешней цепи через миниатюрные коаксиальные разъемы СР-50-112Ф.

Уменьшение времени установления переходной характеристики обеспечивается выбранной разветвленной структурой коммутатора с узлами типа 2. Малая проходная емкость отключенных каналов и их хорошее согласование позволяют осуществлять коммутацию синусоидального сигнала с частотой до

нескольких сотен мегагерц. Управление коммутатором возможно с помощью интегральных ТТЛ схем, например серии 155. С целью уменьшения вероятности выхода ИС из строя, обусловленной наличием тока самоиндукции реле, параллельно его обмоткам включены шунтирующие полупроводниковые диоды. Предусмотрена возможность объединения нескольких коммутаторов в одном типовом блоке.

Коммутатор применяется в измерителях динамических параметров быстродействующих ЦИС типа ТТЛ и ЭСЛ. На его основе могут быть созданы другие устройства, например управляемые фильтры и линии задержки.

Статья поступила 16 августа 1977 г.

# ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 80 кВ

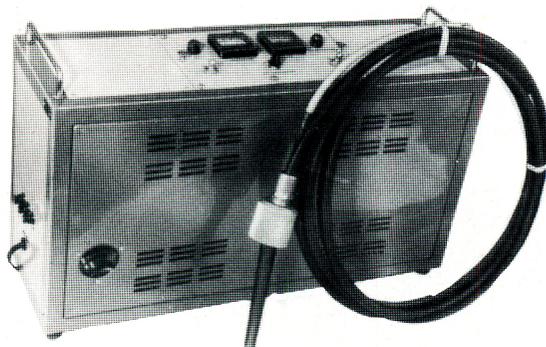
С. М. ПЛИСКИН

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, РАЗРАБОТАННЫЙ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА, МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН В ПЕРЕДВИЖНОЙ И СТАЦИОНАРНОЙ АППАРАТУРЕ. СХЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОСТОЯНСТВО ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ТОЧНОСТЬЮ 5%.

УДК 621.311.6.027.3

## Технические характеристики

Выходное напряжение отрицательной полярности, кВ	4—80
Выходной номинальный ток, мА	0,35
Нестабильность выходного напряжения, %	5
Потребляемая мощность, В·А	220
Напряжение питания, В	220(50 Гц)
Масса, кг	31
Габариты, мм	810x220x420



Высоковольтный источник питания состоит из ряда блоков.

*Блок стабилизации* выходного напряжения электростатического генератора содержит низковольтный стабилизатор предназначенный для питания преобразователя блока выпрямителя, и высоковольтный триод, включенный последовательно с низковольтными полюсами генератора и выполняющий роль регулирующего элемента в системе стабилизации выходного напряжения генератора.

*Блок питания* схем возбуждения и стабилизации генератора состоит из выпрямителей для питания низковольтного стабилизатора и параметрического стабилизатора на стабилитронах, являющегося источником опорного напряжения.

*Блок выпрямителя* служит для возбуждения электростатического генератора, является мало мощным источником тока и включает преобразователь, повышающий трансформатор и схемы выпрямления и умножения. С помощью пульта управления осуществляется включение и выключение источника, регулирование величины выходного напряжения генератора.

*Блок электростатического генератора*, предназначенный для получения высокого напряже-

ния, представляет собой герметизированный баллон, заполненный чистым водородом под давлением  $15,7 \cdot 10^5$  Па. Четырехполюсный генератор, примененный в высоковольтном источнике, имеет два горизонтальных низковольтных полюса, соединенных параллельно, являющихся полюсами возбуждения, и два вертикальных высоковольтных, так же соединенных параллельно.

Обдув баллона электростатического генератора осуществляется вентилятором, для дистанционного включения и выключения источника используется микровыключатель.

Оставляя напряжение выпрямителя постоянным и изменяя напряжение на аноде высоковольтного триода, можно регулировать напряжение возбуждения, а следовательно, и выходное напряжение электростатического генератора.

Основные элементы стабилизированного по напряжению электростатического генератора приведены на схеме.

Ротор, представляющий собой полый цилиндр из изоляционного материала, предназначен для перемещения электрических за-

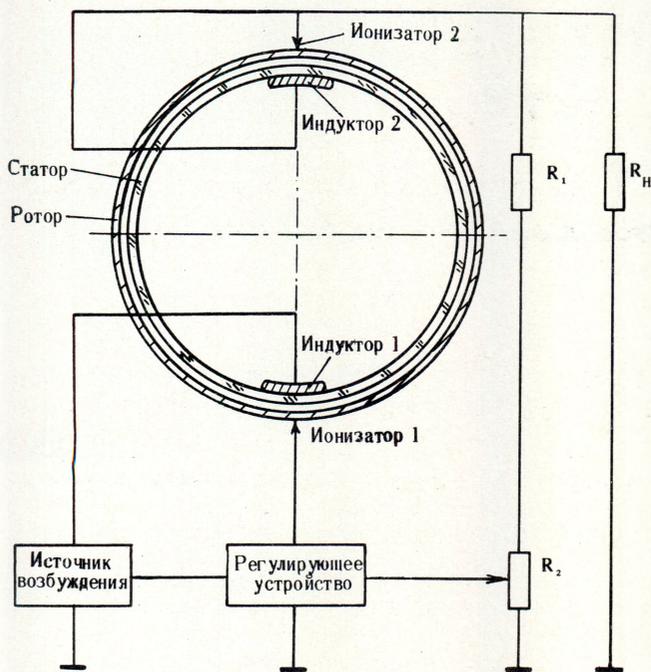


Схема электростатического генератора с источником возбуждения

рядов к высоковольтному полюсу генератора. Статор — полупроводящий стеклянный цилиндр — обеспечивает однородное распределение потенциала в генераторе. Ионизаторы выполнены в виде тонких металлических пластинок, заостренные лезвия которых расположены на очень малом расстоянии от ротора по его образующей. Ионизатор 1 служит для создания зарядов на наружной поверхности ротора, ионизатор 2 — для съема зарядов и передачи их в нагрузку генератора. Индукторы — массивные металлические пластины — расположены на внутренней поверхности статора по его образующей строго под ионизаторами. Индуктор 1 предназначен для создания на лезвии ионизатора 1 поля высокой напряженности.

Генератор работает следующим образом. При помощи маломощного источника возбуждения создается разность потенциалов между ионизатором 1 и индуктором 1, при этом газ, которым заполнен баллон электростатического генератора, ионизируется, освобожденные ионы оседают на наружной поверхности ротора и переносятся к высоковольтному полюсу, откуда поступают в нагрузку.

Для осуществления стабилизации выходного напряжения электростатического генератора напряжение с низковольтного плеча  $R_2$  делителя напряжения  $R_1, R_2$  подается на вход регулирующего устройства, где сравнивается с эталонным. Разностный сигнал, воздействуя на регулирующее устройство, изменяет величину потенциала между ионизатором 1 и индуктором 1 таким образом, что напряжение на выхо-

де генератора остается постоянным в определенных пределах.

Изменение потенциала индуктора 1 приводит к изменению величины тока, а следовательно, и величины выходного напряжения электростатического генератора в случае постоянной нагрузки.

Внутренняя характеристика генератора, представляющая собой зависимость величины выходного тока (в миллиамперах) от величины напряжения возбуждения (в киловольтах), линейна в рабочей области, что обеспечивает стабилизацию выходного напряжения.

Собственная емкость электростатического генератора мала (порядка сотен пикофард), а следовательно, мала и внутренняя запасенная энергия в генераторе, что делает его безопасным для обслуживающего персонала.

Ток короткого замыкания генератора лишь в 1,5—2 раза превышает номинальную величину, и режим короткого замыкания не является аварийным.

При использовании электростатического генератора необходимо помнить, что от полярности напряжения возбуждения зависит полярность выходного напряжения генератора. Если напряжение источника возбуждения положительно, то выходное напряжение отрицательно и наоборот. Наиболее просто выходное напряжение электростатического генератора стабилизируется напряжением отрицательной полярности.

Так как в качестве регулирующего элемента в генераторах обычно используется высоковольтный триод, то для стабилизации выходного напряжения положительной полярности (анод триода заземлен) необходимо дополнительное усилительное устройство с автономным питанием. При коммутации напряжения возбуждения на выходе электростатического генератора можно получить импульсы высокого напряжения, параметры которых будут определяться инерционностью генератора.

Если два источника возбуждения разной полярности попеременно подключать к низковольтному полюсу генератора, на выходе генератора получим высокое знакопеременное напряжение.

По своей конструкции источник питания переносной. К нагрузке подключается с помощью высоковольтного кабеля длиной  $\sim 8$  м. На боковой стенке прибора имеется окно для наблюдения за стрелкой манометра, показывающей величину давления водорода в баллоне генератора.

Высоковольтный источник напряжения разработан для применения в электронно-ионных установках, однако его можно использовать во всех случаях, когда требуется напряжение до 80 кВ.

Статья поступила 28 января 1977 г.

# УСТАНОВКА ПРОВЕРКИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПЕРЕПРОГРАММИРУЕМЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

УСТАНОВКА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПЕРЕПРОГРАММИРУЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ПЛАВАЮЩИМ ЗАТВОРОМ И ЛАВИННОЙ ИНЖЕКЦИЕЙ ЗАРЯДА. В РЕЖИМЕ ЗАПИСИ УРОВНИ ВХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СОСТАВЛЯЮТ 25–30 В. ОСОБЕННОСТЬ ЭТОГО РЕЖИМА ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В НЕОБХОДИМОСТИ МНОГОКРАТНОГО ПОВТОРЕНИЯ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ (НА МЕНЕЕ 32 РАЗ). ИНФОРМАЦИЯ СТИРАЕТСЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМИ ЛУЧАМИ ЧЕРЕЗ КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО В КОРПУСЕ МИКРОСХЕМЫ.

УСТАНОВКА ПОЗВОЛЯЕТ формировать псевдослучайные тесты, имеющие максимальное приближение к информационным, а также тест "шахматная доска" с различным шагом. Возможна проверка работоспособности цепей выбора микросхемы при записи и считывании.

УСТАНОВКА ОБЕСПЕЧИВАЕТ индикацию параметров: адрес дефектного слова и номера дефектных ячеек в нем, количество дефектных слов в схеме, вид проверки, адрес проверяемого слова.

Для измерения статических параметров (выходных напряжений, токов потребления), а также для установки питающих напряжений и амплитуд управляющих сигналов встроен цифровой измерительный прибор типа ФЗО.

Предусмотрена возможность совместного применения с установкой типа "Зонд-А4".

## Техническая характеристика

Амплитуда управляющих сигналов, В	0,3–8; 0,3–30
Частота обращения, кГц	
при записи	0,4
при считывании	1,8; 250
Длительность импульса записи, мс	0,5–3
Время считывания, нс	100–900

# ОБМЕН ОПЫТОМ

- 64 | Стеклометаллические платы  
для матричных и мозаичных систем
- 66 | Применение полимерных  
порошковых материалов  
для герметизации микросхем
- 67 | Электротензометрический метод  
исследования компаундов
- 69 | Контроль и регистрация обрывов  
микропроводов в стеклянной изоляции
- 70 | Контроль чистоты  
технологических жидкостей
- 73 | Устройство для регистрации  
твердых частиц в технологической воде
- 75 | Качество деионизованной воды,  
используемой в производстве  
интегральных микросхем

# 63

# СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАТЫ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ И МОЗАИЧНЫХ СИСТЕМ

И. М. КРЫЛОВ, П. М. СИВАКОВ, Д. А. ЧУНИН, М. Ф. ШМЫРЕВА

**СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАТЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ПЕРЕТЯЖКИ СТЕКЛЯННЫХ ЗАГОТОВОК ДО ЭЛЕМЕНТОВ ЗАДАНЫХ РАЗМЕРОВ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ МИКРОКАНАЛОВ МЕТАЛЛОМ, ИМЕЮТ НЕРЕГУЛЯРНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВОЗНЫХ ВЫВОДОВ < 5%, СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ МЕЖДУ СОСЕДНИМИ ВЫВОДАМИ  $10^{13} - 10^{14}$  Ом.**

УДК 621.383.9.002.2

Регулярные стеклометаллические структуры можно получать различными методами. Метод пропорциональной перетяжки исходных стеклянных заготовок до элементов заданных размеров с последующим заполнением микрокапилляров металлом является наиболее универсальным и перспективным в получении плат различных типоразмеров с ортогональным и гексагональным вариантами размещения электродов (размеры плат и их элементов приведены в табл. 1).

Таблица 1

Размеры плат и их элементов, мм

Размещение выводов	Размеры плат	Диаметр электродов	Расстояние между электродами
Ортогональное	10×10×2	0,20-0,50	1,0 ± 0,1
	20×20×2	0,20-0,50	1,0 ± 0,1
Гексагональное	10×10×2	0,06-0,30	0,1-0,5

Исходными материалами для получения плат служили капилляры из стекол С52-1, С93-1 и стекловолокно из этих же стекол для заполнения межкапиллярных зазоров. Подготовка к спеканию заключалась в разбраковке отрезков капилляров определенной длины по толщине стенки и наружному диаметру. Кроме того, производилась тщательная отбраковка дефектных капилляров, имеющих шлиры, камни и пузыри. Конусность по длине капилляра не превышала допускового отклонения по диаметру. Перед сборкой все капилляры запаивали с двух концов для получения блоков без капиллярных зазоров.

Для получения плат с ортогональным размеще-

нием выводов капилляры укладывали в металлическую форму рядами один над другим. Предварительно на внутренние поверхности формы наклеивали слюдяные пластины толщиной 10-40 мкм для предотвращения прилипания стекла к металлу при спекании блоков. При укладке рядов межкапиллярные зазоры заполнялись стеклянными штабиками и стекловолокном.

Собранные заготовки помещали в печь для спекания. Необходимое качество спекания капилляров в блок определяется температурой спекания, продолжительностью выдержки при этой температуре и величиной внутреннего давления.

Режимы спекания заготовок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы спекания

Форма заготовки	Марка стекла	Диаметр капилляров, мм	Температура спекания, °С	Время выдержки, мин	Скорость нагрева, град/мин	Скорость охлаждения, град/мин
Прямоугольник	С52-1	1,8 ± 0,05; 3,0 ± 0,10	625	10	2-4	1,5-0,9
	С93-1	1,0 ± 0,05	535	30	3-5	1,0

Для ускорения процесса спекания отжиг заготовок проводили при температурах, на 40-50 °С превышающих температуру размягчения стекла. В случае некачественной запайки концов капилляров при нагревании их диаметр оказывается существенно меньше диаметра других капилляров, что снижает качество блока. Поэтому необходима разработка методов контроля качества запайки концов капилляров.

Для снижения вероятности разгерметизации капилляров в процессе спекания и повышения про-

цента выхода годных заготовок была создана электропечь специальной конструкции, которая позволяет нагревать среднюю часть образца до температуры спекания, в то время как торцы заготовки (запаянные концы капилляров) находятся вне зоны высокой температуры.

Для получения плат с гексагональным размещением выводов капилляры, запаянные и обмотанные с одного конца стеклолентой, вставляли в металлическую шестигранную форму и заливали эпоксидным компаундом так, чтобы остались незаполненными промежутки между капиллярами (для откачки воздуха между ними).

Герметизация областей отсоса с другого конца блока осуществлялась в процессе формирования перетяжки без спекания. Отсос производили с помощью вакуумной системы. Заготовки перетягивали до заданных поперечных размеров на установке, состоящей из электропечи для нагрева заготовки до температуры перетяжки; механизмов подачи заготовки в зону высокой температуры с заданной скоростью и приема перетянутой заготовки; пульта управления температурой печи и электроприводами установки; вакуумной системы.

Способ перетяжки по методу подобия предполагает нагрев заготовки до температуры, при которой вязкость стекла еще достаточно велика, и силы поверхностного натяжения не в состоянии существенно исказить форму поперечного сечения при перетяжке заготовки. Обычно перетяжка осуществляется при вязкости  $1^{6,5} - 1^{7,2}$  Па·с. Скорость приема  $v_2$  и подачи  $v_1$ , связаны соотношением [1]:

$$v_2 = k^2 v_1,$$

где  $k$  — коэффициент перетяжки.

Блоки заполнялись сплавами на индиевой и оловянной основах, обладающими микротвердостью от 10 до 100 кг/мм<sup>2</sup>.

Для заполнения микроканалов металлом использовали специальное устройство (см. рисунок), состоящее из следующих узлов: тигля с печью для нагрева и расплавления металла; печи для подогрева образца; кронштейна для крепления и вертикального перемещения образца; системы разрежения для создания разности давлений; системы для создания инертной среды в объеме над поверхностью металла.

После заполнения блока сплавом его разрезали на пластины толщиной 2,5–3,0 мм. Шлифовку и полировку пластин проводили на шлифовально-полировальном станке [2]. Регулярность распре-

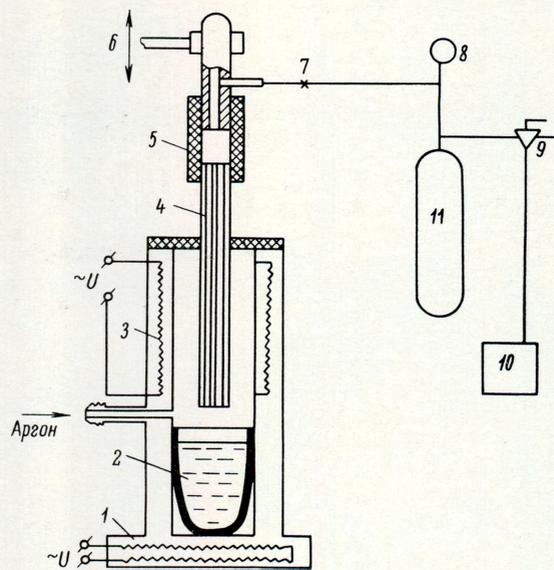


Схема устройства для заполнения микроблоков металлом:  
1 — печь подогрева тигля; 2 — тигель; 3 — печь подогрева образца; 4 — образец; 5 — муфта; 6 — кронштейн с зубчатой рейкой; 7 — игольчатый кран; 8 — вакуумметр; 9 — трехходовый кран; 10 — насос форвакуумный; 11 — аккумулятор вакуума

ления выводов контролировали с помощью микроскопа (цена деления 2,5 мкм). Результаты измерения показали, что платы обладают достаточной регулярностью распределения металлических выводов. При ужесточении методов контроля и разбраковки исходных материалов и усовершенствовании некоторых технологических приемов указанный допуск можно уменьшить.

Стеклометаллические платы выдержали испытания на теплоустойчивость при 300°C в течение 2 ч и на воздействие пяти непрерывно следовавших друг за другом циклов +20°C и -196°C. Сопротивление изоляции между соседними выводами плат составляло  $10^{13} - 10^{14}$  Ом, отклонение от заданной регулярности расположения сквозных выводов не более  $\pm 5\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перфильев Б.В., Габе Д.Р. Капиллярные методы изучения микроорганизмов. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1961.
2. Черняк М.И. Технологические процессы обработки стекла в электровакуумной промышленности. Ч. II. Механическая обработка стекла. — "Обзоры по электронной технике". Сер. Технология и организация производства". М., 1972, № 13. (ЦНИИ "Электроника").

Статья поступила 6 июня 1977 г.



# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ МИКРОСХЕМ

В. А. МАКАРОВ, Л. И. МАКСАКОВА

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОЛИМЕРОВ ВМЕСТО ЖИДКИХ КЛЕЕВ СУЩЕСТВЕННО ПОВЫШАЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ.**

УДК 621.3.049.77-76

Использование порошковых эпоксидных материалов для герметизации микросхем вызвано необходимостью создания промышленной высокопроизводительной технологии, обеспечивающей требуемую надежность изделий.

В отличие от жидких клеев термореактивные порошковые полимеры обладают рядом существенных преимуществ:

- наличием отвердителя в составе композиции, что исключает необходимость приготовления клея непосредственно перед употреблением;
- сохранением свойств композиции в течение длительного времени;
- возможностью нанесения полимера на поверхность деталей микросхем высокопроизводительным способом.

Нанесение порошкового полимера на поверхность изделия, подлежащую склеиванию, осуществляли камерным способом в электростатическом поле. Такой способ позволяет получать покрытия на различных материалах, в том числе и на непроводящих, на изделиях сложной конфигурации; обеспечивает равномерность толщины покрытия и минимальные потери порошка в процессе напыления.

С целью получения на диэлектрическом слое частичной проводимости (для передачи по поверхности керамической детали наведенного положительного заряда) перед нанесением порошкового полимера ободок смачивают составом из легколетучих компонентов, испаряющихся с поверхности в процессе оплавления клеевого слоя (30–50% этилового спирта, 70–50% деионизованной воды). При нанесении порошкового клея на металлические элементы микросхем, например, на крышки метал-

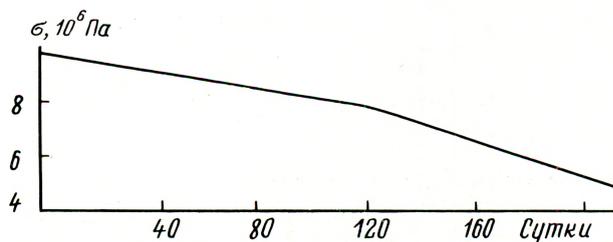
локерамических корпусов, смачивания поверхности не требуется.

Оплавление клеевого покрытия на керамических ободках микросборки или металлических крышках осуществляется при температуре 125°C в течение 2–3 мин в термостате или камере с ИК нагревом. Изделия с полученным в результате оплавления клеевым слоем укладываются в межоперационную тару и передаются на операцию сборки, где соединяются с элементами микросхем в специальной оснастке, обеспечивающей давление на клеевой шов  $5 \cdot 10^4$  Па, и устанавливаются в термостат для герметизации. Герметизация происходит благодаря способности клея растекаться в первый момент теплового воздействия и отверждаться при дальнейшем нагревании.

Контроль герметичности микросхем в нагретой жидкости показал их 100%-ную надежность.

Длительная жизнеспособность оплавленного клеевого покрытия (см. рисунок) обеспечивает высокую технологичность и возможность автоматизации производства.

На рисунке приведена зависимость конструктивной прочности клеевого шва от срока хранения керамического ободка с нанесенным и оплавленным



Зависимость конструктивной прочности клеевого шва от срока хранения ободков с клеевым слоем

клеевым слоем. Из рисунка видно, что ободки с клеевым слоем могут храниться до трех месяцев без значительного снижения прочности клеевого шва в конструкции.

С целью использования порошкового полимера ПЭП-177 при сборке микросхем, не допускающих обработки при температуре выше 125–150°C (согласно ТУ, отверждение полимера происходит при 180°C в течение 1 ч, затем при 150°C в течение 3 ч, степень отверждения 90,5%), процесс отверждения проводили при более низких температурах с контролем показателя степени отверждения методом экстрагирования в аппарате Сокслета.

В табл. 1 приведены зависимости степени отверждения полимера ПЭП-177 от времени и температуры.

Таблица 1

Температура, °С	Время, ч	Степень отверждения, %
150	6	92,5
	5	89,5
	4	86,5
125	16	91,5
	12	89,0
	6	82,5

Таким образом, можно рекомендовать следующие режимы отверждения: 5–6 ч при 150°C или 12–16 ч при 125°C.

Конструктивная прочность клеевого соединения для керамических корпусов гибридных БИС, загерметизированных порошковым полимером

ПЭП-177, определенная на разрывной машине методом нормального отрыва, достигала  $18 \cdot 10^6$  Па.

Испытания термоциклические (-60; +125°C), на влагостойкость (в течение 56 сут) и механические показали, что конструктивная прочность клеевого соединения остается достаточно высокой ( $\sim 10,7 \cdot 10^6$  Па).

Результаты испытаний прочности на сдвиг клеевого шва стандартных образцов из оксидированного алюминия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность клеевого шва,  $10^6$  Па

При нормальных условиях	После термоциклирования +85 ÷ -60°C (5 циклов)	В результате теплового старения, ч				
		250	500	1000	2000	3000
16,6	12,83	14,26	15,9	16,0*	13,94	14,6
		15,68	14,75	13,8*	13,7*	11,5*

Примечание. В числителе – при температуре 85, в знаменателе – при 125°C; звездочкой обозначено разрушение по керамической плате.

Количество летучих компонентов, испаряющихся из клеевого шва в процессе старения в течение 5000 ч, незначительно и не оказывает влияния на качество герметизации.

Микросхемы, загерметизированные эпоксидным порошковым полимером ПЭП-177, отвечают требованиям ГОСТ.

Статья поступила 25 января 1977 г.

## ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПАУНДОВ

В.П. РОЙЗМАН, М.И. ХАВКИН

**ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЗВОЛЯЕТ ТОЧНО ОПРЕДЕЛЯТЬ ВРЕМЯ И СТЕПЕНЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЗАЛИВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ПРИБОРАХ БЕЗ ИХ ПОВРЕЖДЕНИЯ.**

УДК 621.315.616.97:531.781.2

В современной радиоэлектронике для герметизации аппаратуры широко используются материалы, имеющие полимерное строение. Определение времени полимеризации заливочных материалов

в конкретных приборах представляет известные трудности для технологов, так как в технической документации указывается только среднее время полимеризации без учета особенностей изделия,

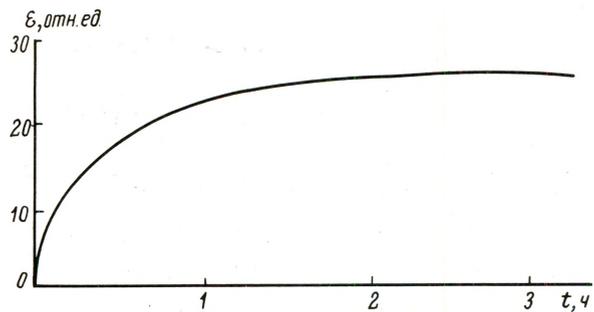
Поэтому при разработке технологических процессов необходимо контролировать процесс полимеризации компаунда, изучать степень отверждения полимера в различные моменты времени, при изменении состава компаунда и при его использовании в изделиях различной конструкции.

Известные методы контроля (дилатометрический, гравиметрический, рефрактометрический, спектральный), хорошо зарекомендовавшие себя при определении времени полимеризации лабораторных образцов, не всегда можно использовать для контроля процесса полимеризации в реальных изделиях с определенным коэффициентом заполнения объема, так как применение одних приводит к повреждению изделий, а другие непригодны из-за особенностей конструкции аппаратуры.

При разработке предлагаемого метода исходили из того, что критерием окончания процесса полимеризации является установление стабильных значений некоторых физико-механических характеристик состояния полимера. В качестве такой характеристики была выбрана величина внутренних напряжений, возникающих в компаунде, т.е. величина деформации элементов радиоэлектронной аппаратуры (или специальных преобразователей, устанавливаемых вместо элемента в изделие), заливаемых компаундом.

Для контроля процесса полимеризации на любой элемент схемы (плату, резистор, конденсатор, подложку) наклеивается проволочный тензорезистор с базой, размеры которой соответствуют выбранному элементу: 5–10 мм для платы, 1–2 мм для металлокерамического резистора. В тех случаях, когда чувствительность датчика недостаточна, использовали специальные чувствительные преобразователи мембранного типа и полупроводниковые тензорезисторы.

Электрическая измерительная схема состоит из тензорезистора, тензоусилителя (в случае проволочного тензорезистора) и шлейфового осциллографа. За 1–2 с до заливки изделия компаундом включается протяжка ленты осциллографа, на которой ведется непрерывная запись показаний тензорезистора. Запись заканчивают, когда отклонение луча шлейфа от его исходного положения на экране осциллографа не изменяется в течение



Зависимость изменения относительной деформации плоского микро модуля от времени полимеризации компаунда ЭЗК-24

30–60 мин, что свидетельствует об установлении постоянных значений деформации чувствительного элемента и, следовательно, об окончании процесса полимеризации.

Для примера на рисунке показана зависимость изменения относительной деформации платы плоского микро модуля, имеющего габариты 16,8 × 8,4 × 6 мм, от времени полимеризации компаунда ЭЗК-24. Из графика видно, что процесс полимеризации для данного изделия заканчивается через 2,5, а не через 10 ч, как предусмотрено техническими условиями на поставляемый компаунд.

Применение метода позволило определить время полимеризации компаундов в различных конструкциях микро модулей и сократить технологический цикл полимеризации в среднем на 1,5–3 ч. График зависимости относительной деформации чувствительного элемента от времени позволяет судить и о степени полимеризации компаунда. Действительно, величина деформации элемента пропорциональна количеству прореагировавших молекул, и поэтому ординаты кривой  $\epsilon = f(t)$  характеризуют мгновенную степень полимеризации компаунда.

Рассмотренный метод можно использовать для совершенствования технологических процессов получения компаундов, исследования влияния различных условий, присадок и включений на степень и время полимеризации, при выборе новых компаундов для герметизации конкретных изделий.

Статья поступила 14 марта 1977 г.



электронная промышленность

# КОНТРОЛЬ И РЕГИСТРАЦИЯ ОБРЫВОВ МИКРОПРОВОДОВ В СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В. М. КУДРИН

РАЗРАБОТАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ОБРЫВОВ МИКРОПРОВОДОВ В СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ВЫСОКУЮ НАДЕЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ И МОЖЕТ БЫТЬ ТАКЖЕ ИСПОЛЬЗОВАНО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ОБРЫВОВ ЛЮБЫХ ТОНКИХ НИТЕЙ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН.

УДК 621.317.799:621.315.32-181.4

Микропровода в стеклянной изоляции получили широкое распространение при изготовлении приборов электронной техники: прецизионных резисторов и делителей напряжения, высокоомных катушек сопротивления, импульсных микротрансформаторов, элементов электривакуумных приборов, предохранителей, микроиндуктивностей и т.д. Аппаратура для контроля целостности их при перематке, выполненная на основе известных способов, получается сравнительно сложной, а надежность контроля — низкой из-за малой механической прочности микропроводов.

Ниже предложен способ обнаружения и регистрации обрывов движущихся микропроводов в стеклянной изоляции, основанный на использовании неравномерности диаметра микропровода по его длине.

В конструкции устройства контроля (см. рисунок) использован вибродатчик (в данном случае пьезоэлемент), регистрирующий неравномерности диаметра микропровода и преобразующий возникающие при движении микропровода вибрации в электрический сигнал. Микропровод перематывается с катушки 1 на катушку 2. Пластина пьезоэлемента 3 закрепляется на консоли так, чтобы ее плоскость была перпендикулярна движущемуся микропроводу, который, скользя по пьезоэлементу, слегка отклоняется по прямой линии переноса с катушки на катушку. Для исключения износа пластинки пьезоэлемента на ее рабочую часть наклеивают тонкую полоску металла.

Движущийся микропровод вследствие неравномерности его диаметра по длине вызывает вибрацию незакрепленного конца пластинки пьезоэлемента.

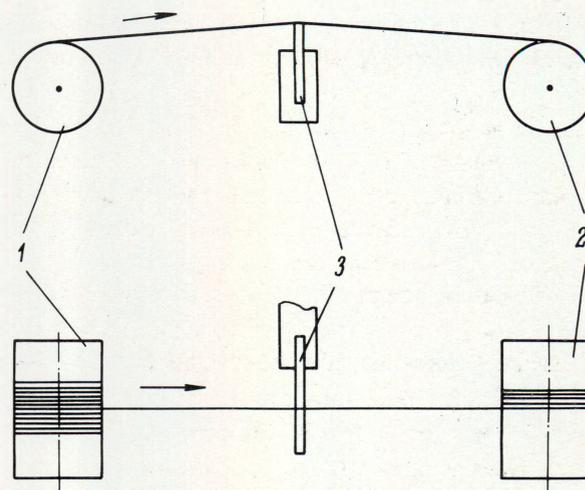


Схема устройства контроля: 1, 2 — катушки; 3 — пьезоэлемент

При обрыве микропровода вибрация пьезоэлемента прекращается и сигнал на его выходе становится равным нулю.

Частотный спектр сигнала на выходе пьезоэлемента ПЭС-58 находится в пределах от 200 до 6000 Гц при скорости движения микропровода (диаметр микропровода 3–10 мкм) от 20 до 200 м/мин; эффективное напряжение на выходе составляет 10–30 мВ. После усиления сигнал поступает на реле, контакты которого замыкают цепь питания сигнального устройства (лампы и звонка) при обрыве микропровода. В процессе эксплуатации устройство работает надежно.

Статья поступила 25 февраля 1977 г.

# КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

В. С. СОКОЛОВ

**ПРЕДЛАГАЕТСЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ЧИСТОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ЗАМЕНИТЬ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ МЕТОДАМИ ВЫСУШИВАНИЯ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЧЕТА ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ, ОБЛАДАЮЩИМИ ВЫСОКИМИ ПРЕДЕЛОМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ.**

УДК 628.163

В условиях постоянного совершенствования технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем особую актуальность приобретает борьба с загрязнениями изделий в технологических средах, поскольку число других причин, вызывающих брак изделий значительно сокращается.

Степень загрязненности среды характеризуется размером частиц и их количеством в единице объема (концентрацией).

В борьбе с загрязнениями большое значение имеют методы их измерения. Рассмотрим три метода определения количества частиц в жидкостях: метод фильтров, рекомендуемый ОСТ [1], метод фотоэлектрического счета частиц в потоке жидкости и метод высушивания.

**Метод фильтрации.** Исследуемая проба жидкости пропускается через мембранный фильтр, диаметр отверстий в котором меньше диаметра содержащихся в ней частиц, поэтому все частицы оседают на фильтре.

К недостаткам метода следует отнести большую трудоемкость и длительность получения результатов измерения, а также неточность резуль-

татов из-за потери частиц при обработке фильтра или из-за его загрязнения.

**Метод фотоэлектрического счета частиц в потоке жидкости.** Для измерения концентрации частиц в жидкостях разработан фотоэлектрический счетчик ГЗ-1 [2], в конструкции которого предусмотрен канал, отделяющий жидкость от оптических элементов специальными полированными окнами (рис. 1). Струя жидкости, сформированная соплом, заполняет счетный объем прибора, находящийся на пересечении светового пучка и канала зрения фотоумножителя. Частица, отличающаяся по коэффициенту преломления от жидкости-носителя, рассеивает свет и регистрируется фотоумножителем.

Основные технические характеристики прибора определяются величиной его счетного объема: с уменьшением объема чувствительность (т.е. наименьший диаметр регистрируемых частиц) и максимальная измеряемая концентрация частиц увеличиваются, а минимальная измеряемая концентрация частиц уменьшается.

Из-за противоречивой зависимости этих характеристик нельзя создать универсальный счетчик с постоянным счетным объемом. Для измерения высоких концентраций и мелких частиц необходимо использовать конструкцию с малым счетным объемом, а для измерения низких концентраций, характерных для чистых сред, — с большим объемом.

С учетом современного состояния техники очистки воды прибор ГЗ-1 имеет следующие технические характеристики:

Измеряемые концентрации, мл <sup>-1</sup> .....	0,01–200
Диаметр регистрируемых частиц, мкм .....	5–1000
Измеряемый диаметр частиц, мкм .....	5–100
Поток измеряемой пробы, мл/мин .....	100
Габариты, мм .....	340 × 390 × 250
Масса, кг .....	20

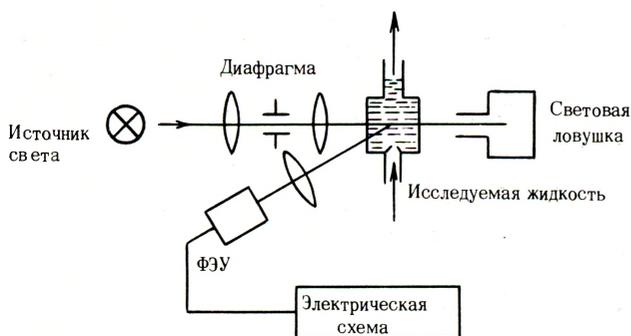


Рис. 1. Схема фотоэлектрического счетчика частиц в жидкостях

**Метод высушивания.** Повышение чувствительности фотозлектрических счетчиков затруднено из-за высокого светорассеяния в жидкости-носителе. Определить наличие в жидкости частиц размером меньше, например, 3 мкм можно методом высушивания.

Для регистрации частиц этим методом разработана установка, схема которой показана на рис. 2. В этом приборе распылитель, питаемый обеспыленным воздухом, превращает исследуемую пробу воды в монодисперсный туман. Благодаря тому, что диаметр капелек в тумане равен примерно 10 мкм, попадание двух частиц в одну капельку исключено (вероятность практически равна нулю до концентраций  $4 \cdot 10^6$  мл<sup>-1</sup> и вместе с тем обеспечена возможность выноса из пробы не только мелких, но и достаточно крупных (до 5 мкм) частиц.

Туман, содержащий частицы загрязнений, из распылителя направляется в смеситель, где смешивается с большим количеством обеспыленного сухого воздуха, обеспечивающим полное испарение капелек. Полученная смесь воздуха с частицами загрязнений для их измерения и подсчета направляется в фотозлектрический счетчик аэрозольных частиц.

Поскольку выпускаемый промышленностью счетчик АЗ-5 [3] непригоден для больших потоков аэрозоля, был разработан счетчик АЗ-6 с чувствительностью 0,5 мкм и потоком 20 л/мин. Такая величина потока достигается с помощью серийно выпускаемого генератора аэрозолей АГ-1 [4], используемого в качестве распылителя.

Установка имеет следующие технические характеристики:

Измеряемые концентрации, мл <sup>-1</sup> .....	4-4 · 10 <sup>6</sup>
Измеряемый диаметр частиц, мкм	
гидрозоли .....	0,5-5
аэрозоли .....	0,5-30
Объем пробы	
анализируемой жидкости за 5 мин, мл .....	0,25
анализируемого аэрозоля, л/мин .....	20

Исследования загрязнений очищенных жидкостей крупными частицами (диаметром от 5 до 50 мкм) проводились методом фотозлектрического счета, а мелкими частицами (от 0,5 до 3 мкм) — методом высушивания. Результаты измерений представлены в табл. 1 и 2. На рис. 3 приведен уровень загрязненности дистиллированной воды по сравнению с загрязненностью атмосферного воздуха.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

— абсолютный уровень загрязненности жидких сред выше загрязненности газообразных. Дистиллированная вода, считающаяся чистой, имеет

Таблица 1  
Загрязненность жидкостей крупными частицами, л<sup>-1</sup>

Жидкость	Диаметр частиц, мкм				
	> 5	> 10	> 15	> 25	> 50
Вода водопроводная	164000	64000	20000	2600	0
Вода дистиллированная	18000	5400	1700	120	20
Вода марки "А"	7540	2680	920	40	0
Вода финишная	2840	1780	820	120	0
Вода фильтрованная	520	300	100	0	0
Спирт этиловый	4360	1800	720	40	0
Спирт изопропиловый	2200	900	240	20	0

Таблица 2  
Загрязненность жидкостей мелкими частицами, мл<sup>-1</sup>

Жидкость	Диаметр частиц, мкм				
	> 0,5	> 0,7	> 1,0	> 2,0	> 3,0
Вода марки "А"	24000	8000	2400	400	20
Вода дистиллированная свежая	36000	6800	2250	480	20
Вода дистиллированная после 1 сут хранения в закрытой таре	60000	22000	4700	1100	120
Вода дистиллированная после 1 мес хранения в закрытой таре	100000	45000	15200	3120	140
Спирт этиловый	14000	3400	720	160	20

тот же уровень загрязненности, что и атмосферный воздух (при расчете на 1 кг среды), считающийся грязным;

— очищенная вода загрязняется со временем, даже если она хранится в герметичной таре. Поэтому анализ на загрязненность необходимо производить в момент ее использования;

— дисперсный состав частиц загрязнений соответствует функции  $K = N \cdot d^3$  (где  $K$  — коэффициент загрязненности,  $N$  — число частиц,  $d$  — диаметр

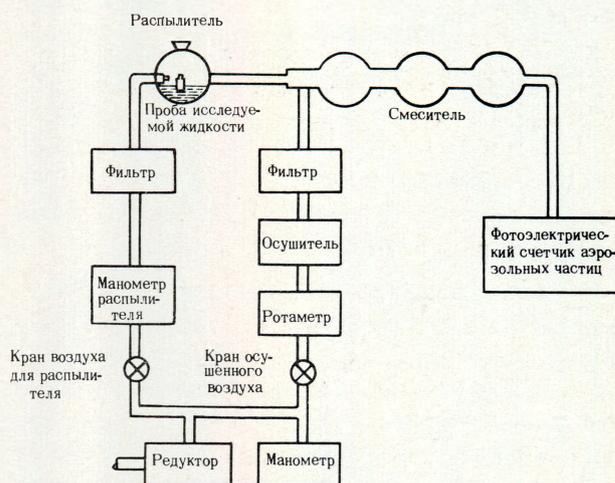


Рис. 2. Схема установки для счета частиц в жидкостях методом высушивания

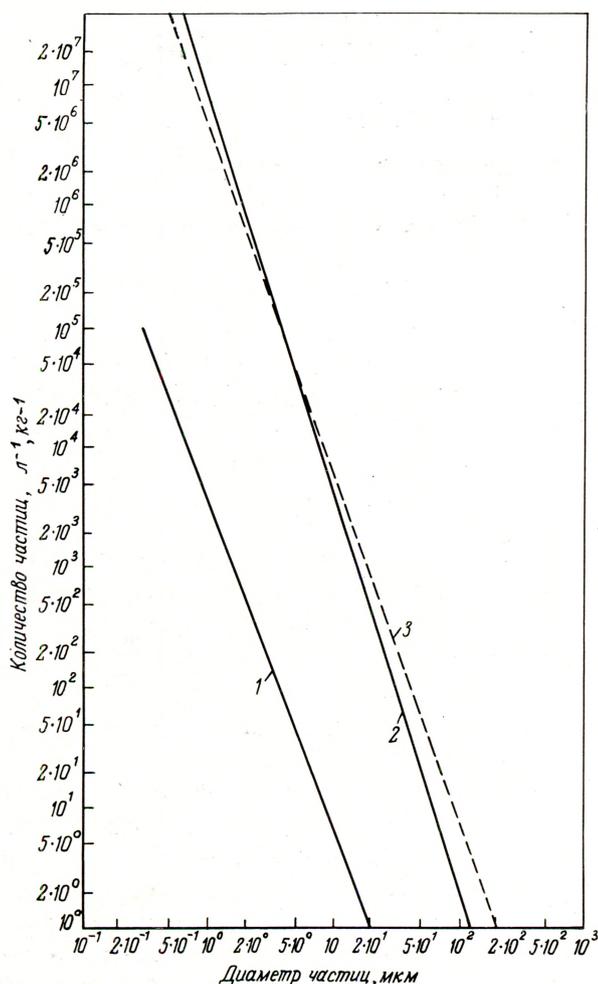


Рис.3. Уровень загрязненности дистиллированной воды и атмосферного воздуха частицами и их дисперсный состав: 1 — атмосферный воздух, 1/л; 2 — дистиллированная вода, 1/кг; 3 — атмосферный воздух, 1/кг

частиц), которая выражает известный закон Юнга для дисперсного состава частиц, загрязняющих атмосферный воздух. Поэтому в ОСТах достаточно нормировать количество частиц одного определенного диаметра. Количество частиц других диаметров можно рассчитать по приведенной закономерности.

Результаты измерений противоречат требованию ОСТа. Так, в соответствии с ОСТом [1] для марок воды "А" и "Б" частицы с диаметром больше 20 мкм должны отсутствовать. Однако результаты исследования при помощи счетчика ГЗ-1 убеждают, что частицы размером 20 мкм присутствуют во всех очищенных жидкостях, включая воду марок "А" и "Б". В этом нет ничего неожиданного, если принять во внимание случайное распределение частиц в среде-носителе. Прибор всегда анализирует пробу ограниченного объема жидкости, и для регистрации частиц необходимо, чтобы в среднем в этой пробе была по крайней мере одна частица. Если кон-

центрация частиц меньше этой предельной, то по закону Пуассона [5] вероятность обнаружения частиц мала. Ввиду большой важности этой предельной концентрации целесообразно вносить ее в паспорт на прибор как "предел обнаружения".

При использовании метода фильтров по ОСТу фактически анализируется проба объемом 0,05 мл (40 полей зрения микроскопа составляют 0,0001 часть площади фильтра) и предел обнаружения равен 20000 л<sup>-1</sup>. Однако такого большого количества частиц не содержит даже водопроводная вода (см. табл. 1). Счетчик ГЗ-1 за минуту анализирует пробу объемом 0,1 л и, следовательно, предел его обнаружения равен 10 л<sup>-1</sup>, т.е. в 2000 раз превосходит предел, достигаемый при использовании метода фильтров.

Метод высушивания по эффективности соответствует фотоэлектрическому методу (с учетом закона Юнга), но значительно превосходит его по чувствительности. Оба метода объективны и характеризуются быстротой получения результатов, поэтому они могут быть рекомендованы для измерения загрязненности жидких сред.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Изделия электронной техники. ОСТ 11 029.003-73. Вода, применяемая в производстве. Марки, технические требования, методы очистки и контроля. Введ. 1/1-1975.
2. Фотоэлектрический счетчик частиц в жидкостях (типа ГЗ-1). Информационный листок № 73-1636. ИЛОЗ-15.1636/И.10354.
3. Соколов В.С., Сергеев В.И. Фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц АЗ-5. — "Электронная техника, Сер. 1. Электроника СВЧ", 1970, вып. 10.
4. ТУ 11-73. Генератор аэрозолей АГ-1. Технические условия ОШМЗ.455.001 ТУ.
5. Гольданский В.И., Куценко А.В., Подгорецкий и М.И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. М., Физматгиз, 1959.

Статья поступила 9 ноября 1977 г.

#### НОВАЯ КНИГА

Д. В. ИГУМНОВ, И. Ф. НИКОЛАЕВСКИЙ

#### ТРАНЗИСТОРЫ В МИКРОРЕЖИМЕ

М., "Сов. радио", 1978, 9 л.

Рассмотрены физические процессы в транзисторах и особенности их использования в микрорежимах в различных устройствах радиоэлектронной аппаратуры. Приведены вольт-амперные характеристики и основные параметры биполярных и полевых транзисторов в микрорежиме. Показаны возможности и методы построения микро мощных устройств на транзисторах.

Книга предназначена для инженеров, разрабатывающих аппаратуру на полупроводниковых приборах и интегральных схемах.

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЕ

В. Н. ЗАВЬЯЛОВ, И. В. МОРОЗОВ

**СЧЕТЧИК СТЧ-8Д ПОЗВОЛЯЕТ АВТОМАТИЧЕСКИ КОНТРОЛИРОВАТЬ КОНЦЕНТРАЦИЮ И РАЗМЕР ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЕ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ ДАТЧИКОВ.**

УДК 628.16.3

Повышенные требования к чистоте технологической воды, необходимость контроля ее загрязненности в труднодоступных местах (магистралах, скафандрах и т.д.) или в помещениях, где нежелательно присутствие оператора, например в чистых комнатах, вызывают необходимость создания для этих целей автоматической аппаратуры [1-3]. Такая аппаратура должна не только с высокой точностью давать оценку чистоты деионизованной воды (регистрировать частицы размером от 1 мкм и более), но и сигнализировать о превышении определенного уровня ее загрязненности [4-5].

С учетом этих требований разработан счетчик твердых частиц СТЧ-8Д, который позволяет автоматически осуществлять контроль концентрации и размера твердых частиц в технологической воде с помощью дистанционно управляемых датчиков. Внешний вид счетчика показан на рис. 1, а его схема — на рис. 2.

Счетчик состоит из восьми фотоэлектронных датчиков суспензий ДС-1 и регистрирующей стойки, в которую входят блок индикации (БИ), блок управления (БУ), два блока питания (БП-1 и БП-2) и малогабаритное печатающее устройство МПУ16-3.

В работе счетчика использован принцип регистрации света, рассеянного отдельной твердой частицей, находящейся в технологической воде, с последующим преобразованием световых импульсов в электрические сигналы. Благодаря количественной связи между размерами частиц, интенсивностью световых импульсов и амплитудой

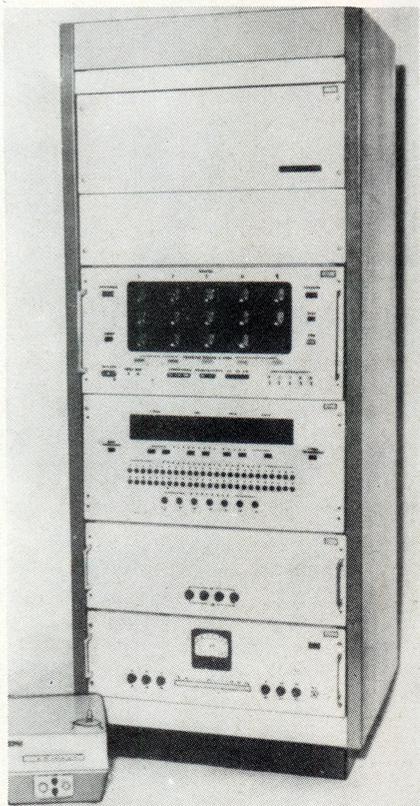


Рис. 1. Внешний вид СТЧ-8Д.

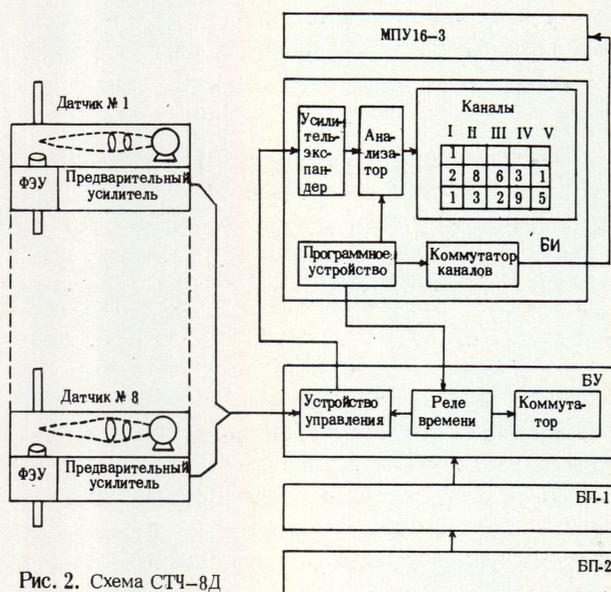


Рис. 2. Схема СТЧ-8Д

электрических сигналов производится анализ твердых частиц по размерам.

В датчиках ДС-1 осветитель и регистратор (ФЭУ) находятся под углом 90°.

Счетчик СТЧ-8Д позволяет производить фракционный анализ твердых частиц размером от 1,5 до 20 мкм в технологической воде по пяти каналам (фракциям): 1-й канал — от 1,5 до 3,5; 2-й — от 3,5 до 5,5; 3-й — от 5,5 до 8,5; 4-й — от 8,5 до 15 и 5-й — от 15 до 20 мкм.

Концентрация частиц не должна превышать  $10^3$  част./см<sup>3</sup>. Количество частиц каждой фракции фиксируется на цифровом табло в блоке индикации, емкость одного канала составляет три десятичных разряда.

В счетчике применена схема пятиканального амплитудного анализатора с двумя пороговыми дискриминаторами на канал, в качестве которых используются триггеры Шмитта. Схемы таких анализаторов более просты, имеют малое количество элементов, отличаются высокой разрешающей способностью, но обладают существенным недостатком — нестабильностью ширины канала из-за дрейфа порогов срабатывания дискриминаторов. Поэтому в счетчике СТЧ-8Д на входе анализатора применен усилитель-экспандер, что значительно уменьшило нестабильность. Погрешность измерения амплитуды импульсов для первого канала составляет ~ 2% при верхнем порого его срабатывания 7,5 В. С учетом нестабильности коэффициента усиления усилителя эта величина будет ~ 5%.

Измерение производится автоматически по определенной программе с помощью выносных датчиков (от одного до восьми), которые могут находиться на расстоянии до 50 м от регистрирующей стойки и встраиваться в различное технологическое оборудование. Управление датчиками (коммутацию сигнальных и питающих цепей) осуществляет блок управления. Возможен также и ручной режим.

В счетчике предусмотрен документальный контроль поступающей от датчиков информации. После опроса каждого датчика производится впечатывание информации на ленту печатающего устройства МПУ16-3 (время, номер датчика, количество частиц каждой фракции и номер канала).

Предусмотрена также сигнализация при превышении определенного уровня загрязнения технологической воды. Допустимый уровень загрязненности в каждом из каналов можно установить заранее. В случае его превышения автоматически фиксируется номер датчика и в месте замера загорается сигнальная лампа.

Счетчик СТЧ-8Д может быть использован в АСУТП как подсистема (предусмотрен выход информации на ЭВМ стандартными сигналами: уровень "0" — +0,3В; "1" — + 10 В).

Для определения минимального размера регистрируемых частиц были проведены испытания по следующей методике. В сосуд заливалась деионизованная вода, после чего он соединялся с сборным устройством датчика гибким шлангом, и измерялась загрязненность воды. Затем в сосуд добавлялась суспензия латекса с диаметром частиц 1,5 мкм и коэффициентом преломления 1,6 и снова проводилось измерение. Из показаний счетчика вычитались показания загрязненности деионизованной воды. В основном канале подсчитывалось более 60% числа частиц основной фракции. Результаты испытаний приведены в таблице.

Число частиц в 1 см<sup>3</sup> деионизованной воды, обнаруженных счетчиком СТЧ-8Д

Характер загрязнения	Каналы					% частиц основной фракции
	I	II	III	IV	V	
Диаметр частиц латекса 1,5 мкм (калибровка)	1302	474	183	63	9	64
	1314	469	181	66	8	
	1299	477	185	65	9	
Загрязненность деионизованной воды	183	38	15	7	0	—
	181	36	14	5	2	
	189	33	12	3	1	

При эксплуатации опытного образца счетчика СТЧ-8Д были выявлены проблемы, которые необходимо решить в процессе дальнейшего совершенствования прибора. Это, во-первых, возможность появления в исследуемой воде пузырьков, которые счетчик регистрирует как частицы, а во-вторых, — отсутствие малогабаритного электромагнитного клапана на входе датчика ДС-1 для предотвращения расхода технологической воды в паузах между измерениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализатор микрочастиц суспензий фотоэлектронный АС-110, АС-103, Техн. описание.
2. Харидо Сэйити. Современное состояние и будущее развитие технологии, измеряющей загрязнение окружающей среды. — "Кэйрё канри кэйсоку кэйсо", 1972, т. 21, № 5.
3. Касуга Сусуму. Загрязнение окружающей среды и техника измерения. — "Кэйрё канри кэйсоку кэйсо", 1972, т. 21, № 5.
4. Канеда Хаямэ. Автоматическая установка для измерения содержания загрязняющих частиц в жидкости. — "Дзюкацу", 1972, т. 17, № 11.
5. ELECTROMAT (ГДР). Счетчик для частиц гидрозолей. Техн. описание, EPZ 5101.21.

Статья поступила 25 февраля 1977 г.

# КАЧЕСТВО ДЕИОНИЗОВАННОЙ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСХЕМ

М. Э. ПУУСЕПП, М. И. ФРИД, Э. А. ХАНСЕН, Х. Х. ХЕДРЕЯРВ

**ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕИОНИЗОВАННОЙ ВОДЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ЦЕЛЕСООБРАЗНО В КАЧЕСТВЕ ИСХОДНОЙ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВОДУ ИЗ АРТЕЗИАНСКИХ КОЛОДЦЕВ.**

УДК 628.1:66.067:621.382.002.5

Деионизованная вода — одна из важнейших технологических сред, с которой взаимодействует поверхность кремниевых пластин на многих стадиях технологического процесса. Хотя деионизованная вода предназначена для отмывки поверхности изделий, она сама может являться источником ее загрязнений [1] и, следовательно, последующих дефектов, приводящих к снижению надежности приборов. Так, наличие в исходной воде дискретных загрязнений — гидрозолей — приводит к возникновению проколов или обуславливает неравномерность наносимых покрытий (эпитаксиальных или металлических пленок, слоев окисла или фоторезиста), а растворенные загрязнения ухудшают адгезию нанесенных слоев, способствуют образованию дефектов и химически взаимодействуют с материалом пластины, вызывая появление включений кристобаллита [2]. Особо опасным является наличие в воде ионов легко диффундирующих элементов, которые при последующей термообработке могут загоняться вглубь пластины и приводить к браку или снижению надежности приборов.

Многообразие типов загрязнений воды вызывает необходимость ее многоступенчатой очистки с использованием различных физико-механических методов.

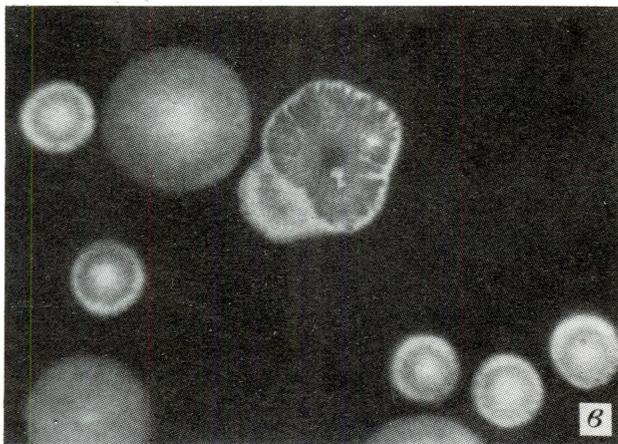
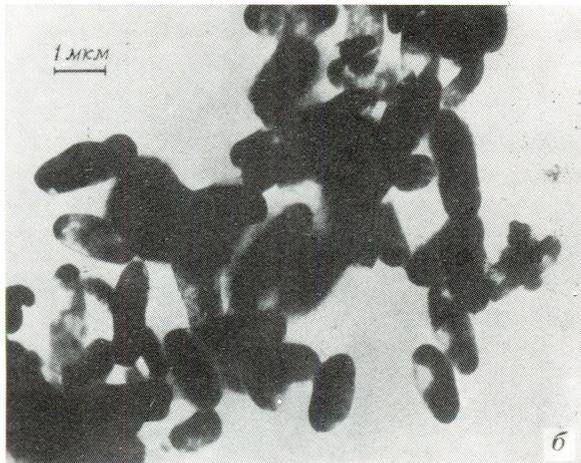
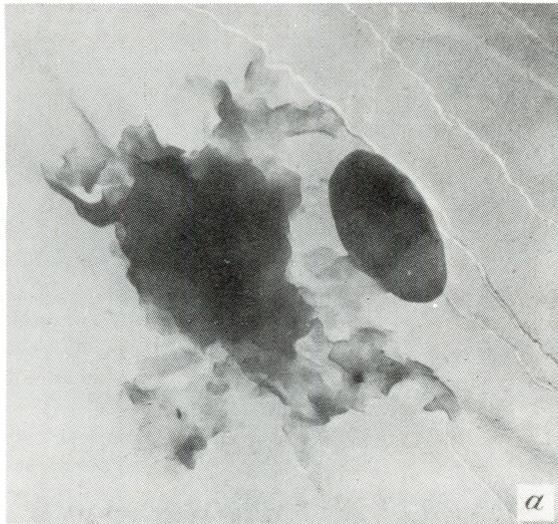
Система очистки, включающая механический фильтр, деионизатор ИА-1, катионообменную колонку КУ-2, анионообменную колонку ЭДЭ-10, фильтр смешанного действия, финишные колонки и мембранные фильтры с порами диаметром 7 мкм, позволяет получить деионизованную воду с характеристиками, представленными в таблице.

Результаты анализа исходной воды на различных этапах очистки свидетельствуют о том, что

колодезная вода имеет меньшую окисляемость, жесткость и цветность, чем каптажная и водопроводная. Содержание железа в ней в 10–20 раз меньше, чем в каптажной. Важным преимуществом колодезной воды является то, что общая жесткость ее определяется временной составляющей, которая полностью исключается после обработки воды в

Результаты статистического анализа воды

Показатели	Единица измерения	Тип воды				
		Колодезная	Каптажная	Водопроводная	Деионизованная	
					из каптажной	из колодезной
рН		7,6	6,8–7,5	7,4	6,5	6,8
Сухой остаток	мг/л	388–392	328–255	325–319	1,25–1,7	0,9–0,95
Прокаленный остаток	"	264–290	229–233	243–218	–	–
Потери от прокаливания	"	102	99–21	82–100	–	–
Ангидрид серной кислоты, SO <sub>3</sub>	"	34–30,4	76–198	199–68	–	–
Карбонаты CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	"	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	–	–
Углекислота свободная, CO <sub>2</sub>	"	1	21–88	7,0–13	–	–
Окисляемость, O <sub>2</sub>	"	1,28–2,5	6,2–6,4	4,8–7,5	Ср. 0,6	Ср. 0,5
Гидрокарбонаты HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	152	189–135	158	–	–
Железо общее	"	Ср. 0,28	2,6–7	Ср. 1,25	0,26	0,04
Хлориды, Cl	"	Ср. 148	Ср. 15	Ср. 24	–	–
Жесткость общая	мг-экв/л	4,5	Ср. 5,0	Ср. 5,5	–	–
Жесткость постоянная	"	1,7	Ср. 4,7	1,4	–	–
Жесткость временная	"	2,8	0,3	2,7	–	–
Щелочность	"	2,5	2,9	2,7	–	–
Взвешенные частицы	мг/л	7,0	21,6	Отсутствуют	–	–
Цветность	градус	13,0	50,2	36	–	–
Удельное сопротивление	МОм·см	–	–	–	20	20
Кремниевая кислота, SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	8	7	7	Отсутствуют	Отсутствуют



Загрязнения в деионизованной воде: а – колонии бактерий (x 27,5); б – соединения трехвалентного железа (x 15000); в – примеси коллоидного желеобразного типа (x 30000)

дегазаторе. Для других типов воды характерно преобладание постоянной составляющей в жесткости над временной.

Система очистки, использующая в качестве исходной воду из артезианского колодца, обеспечивает удельное сопротивление воды, быстро повышающееся до уровня 20–25 МОм·см, с содержа-

нием железа, отвечающим требованиям ОСТ 11.029.003–73.

В случае использования в качестве исходной каптажной воды этого добиться значительно труднее. Мембранные фильтры, работающие на деионизованной воде, полученной из артезианской, работают дольше и с большей производительностью.

Микроскопическими исследованиями деионизованной воды марки "Б" установлено, что в ней остается значительное количество загрязнений: микроорганизмов в виде отдельных бактерий и в виде целых колоний (см. рисунок, а); примесей, которые могут быть идентифицированы как соединения трехвалентного железа, степень диссоциации которых сопоставима со степенью диссоциации воды [3] (рис. б); примесей коллоидного желеобразного типа (рис. в).

С целью выявления влияния качества воды на возникновение дефектов при производстве интегральных схем кремниевые пластины перед операцией диффузии фосфора промывали тремя различными видами воды: деионизованной марки "Б", из артезианского колодца (глубиной 160 м) и каптажной. После проведения операции диффузии средняя плотность дефектов на слое окиси кремния толщиной 0,25 мкм оказалась следующей, см<sup>-2</sup>: 1,65 при использовании деионизованной воды, 1,1 – воды из артезианского колодца и 3,03 – каптажной воды.

Эти результаты дают основание считать целесообразным строительство артезианских колодцев при проектировании систем очистки воды. Причем, учитывая, что основными загрязнениями деионизованной воды в данном случае являются железоорганические соединения и микроорганизмы, необходимо разработать дополнительные меры защиты от них. Улучшение же качества деионизованной воды, используемой для промывки кремниевых пластин, позволит значительно снизить число проколов в окисном слое.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаяхметов А., Ветрова О.В. Получение сверхчистой воды для полупроводникового производства. – "Зарубежная электронная техника", 1976, № 4 (125).
2. Прохоров В.Н., Сорокин Л.М., Александров О.В., Добек В.А. Несовершенства окисных пленок, полученных при термическом окислении кремния. – "Электронная техника. Сер. 8. Стандартизация и контроль качества", 1974, вып. 10.
3. Мазо А.А., Тетерина Э.Г. Удельное электрическое сопротивление обессоленной воды как показатель полноты ее очистки от органических и неорганических электролитов. – "Электронная техника. Сер. 10. Технология и организация производства", 1971, вып. 2.

Статья поступила 11 октября 1977 г.



## ВСЕГДА В ПОИСКЕ

Серийные образцы магнитоуправляемых контактов (герконов)—новых коммутационных элементов, отличающихся безотказностью, экономичностью, долговечностью, находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. На их основе создаются разнообразные устройства высокой надежности. Недаром к ним обратились создатели телефонных станций, промышленных автоматов, средств вычислительной техники, устройств сигнализации, бытовой техники.

Особые трудности представляет производство сверхминиатюрных герконов, например с длиной баллона 5—10 мм. У колыбели первых таких отечественных приборов стоял ведущий разработчик, инженер Геннадий Михайлович Маслов. Он и его комплексная группа проявили немало творческой

смекалки, прежде чем были созданы конструкции микроминиатюрных герконов различного назначения.

Значителен его вклад в создание сверхминиатюрных герконов для электронных часов. Эта разработка выполнена на уровне изобретения. Комплексной группой, руководимой Г.М. Масловым, предложена наиболее прогрессивная технология производства таких изделий.

Инженер-разработчик доводит свои темы до практического выпуска изделий, осуществляя строгий конструкторский и технологический надзор над их внедрением. Во время освоения серийной продукции его часто можно видеть в цехах завода — словом и делом помогает он инженерам, технологам, рабочим.

Товарищи по труду тепло отзыва-

ются о своем руководителе и наставнике: трудолюбив, постоянно в напряженном творческом поиске, отличный, требовательный организатор, умеет нацелить коллектив на решение самых сложных задач. Г.М. Маслов — талантливый изобретатель, на его счету уже несколько разработок на уровне изобретений.

Своим большим производственным опытом Г.М. Маслов охотно делится с молодыми специалистами непосредственно на рабочих местах и на семинарах.

Ударнику коммунистического труда, члену КПСС Г.М. Маслову присвоено звание "Лучший конструктор" отрасли. Его имя не сходит с доски Почета предприятия.

А. Ф. ТРОФИМОВА

## ЛЮДИ ТРУДОВОЙ СЛАВЫ



*ЕВГЕНИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ БЕЛЯЕВ*

Как мастер высокой квалификации известен на участке формования конусов старший оператор Евгений Евгеньевич Беляев.

За восемь лет работы на заводе Беляев прошел путь от ученика слесаря-наладчика до оператора 5-го разряда. Одним из первых на заводе был награжден орденом "Знак Почета", ему присвоено звание "Лучший оператор".

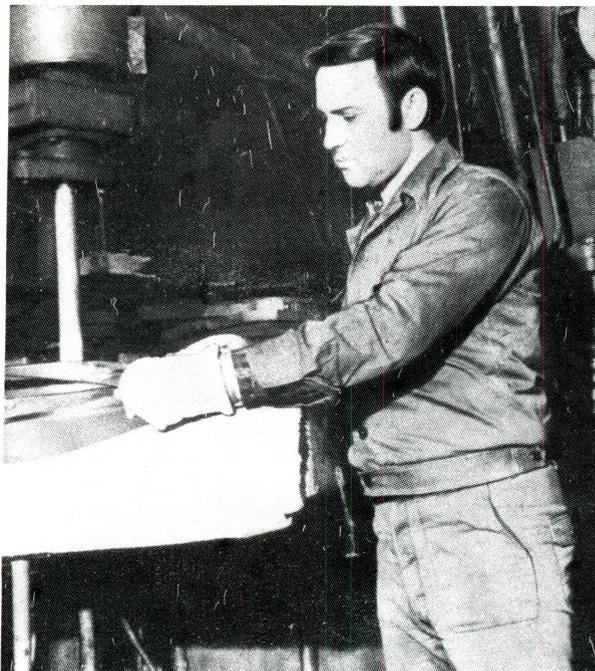
Будучи старшим оператором, он добился того, что его бригада вышла в число передовых. Теперь в этом коллективе стало нормой выполнять сменные задания на 120–125%.

Член совета наставников, Беляев много внимания уделяет обучению молодых рабочих.

Известны на заводе своими трудовыми успехами бывшие его ученики — М.П. Копытин и В.И. Кудрявцев. Они идут в авангарде соревнования за досрочное выполнение заданий десятой пятилетки.

Добросовестный творческий труд Беляев Е.Е. успешно сочетает с большой общественной деятельностью. Вот уже два года его избирают членом парткома завода.

Сегодня у рабочих участка формования конусов много больших задач, главная из которых — успешно выполнить обязательства третьего года десятой пятилетки. Над решением этих задач работает сейчас коммунист Е.Е. Беляев.



*АЛЕКСЕЙ ПАВЛОВИЧ ВОРОНИН*

Невозможно перечислить, сколько изготовлено руками Алексея Павловича Воронина, слесаря-инструментальщика, сложнейших деталей и узлов для современного механизированного и автоматизированного оборудования. Превосходно читая чертежи, он воплощает их в уникальные детали, выполненные с точностью до сотых и тысячных долей миллиметра.

Прекрасно разбираясь в сложнейших механизмах, Воронин не раз вносил свои предложения по их изменению и усовершенствованию.

Много пришлось потрудиться работникам цеха над изготовлением параболических вставок. Алексей Павлович Воронин первым стал обрабатывать параболические и сферические поверхности по координатам на универсальном микроскопе, проявив при этом техническую грамотность, мастерство, интуицию.

Сейчас на заводе ширится соревнование под девизом "Производительность труда на каждом рабочем месте — на уровень заданий следующего года". Передовой рабочий выполняет сменные задания на 140–150%.

Высоко оценило правительство трудовые успехи Алексея Павловича Воронина, наградив его орденом Трудового Красного Знамени.

# ИЗ ЦК ПРОФСОЮЗА

## СООБЩАЮТ

На состоявшемся 8 февраля 1978 г. IV Пленуме ЦК профсоюза были обсуждены следующие вопросы:

1. О задачах профсоюзных организаций по выполнению решений декабрьского (1977 г.) Пленума ЦК КПСС, а также в связи с Письмом ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ партийным, советским, хозяйственным, профсоюзным и комсомольским организациям, трудящимся Советского Союза "О развертывании социалистического соревнования за выполнение и перевыполнение плана 1978 года и усилении борьбы за повышение эффективности производства и качества работы" и постановлением V Пленума ВЦСПС.

2. О работе Президиума ЦК профсоюза за период между III и IV Пленумами ЦК профсоюза (сентябрь 1977 г. — февраль 1978 г.).

Выступивший с докладом по первому вопросу повестки дня председатель ЦК профсоюза В. И. Иванов отметил, что трудящиеся наших отраслей промышленности, как и все советские люди, с огромным воодушевлением и единодушием восприняли решения декабрьского (1977 г.) Пленума ЦК КПСС.

Претворяя в жизнь программу экономического и социального развития, намеченную XXV съездом КПСС, коллективы предприятий и организаций успешно выполнили задания 1977 г. и двух первых лет десятой пятилетки. Высокими темпами продолжала развиваться электронная промышленность. План по производительности труда выполнен на 101,7%, за год производительность возросла на 14,9%.

В канун 1978 г. многие предприятия рапортовали об успешном выполнении обязательств юбилейного года, досрочном завершении заданий двух лет пятилетки. Так, коллектив производственного объединения, где профсоюзную организацию возглавляет В. Г. Корнеев, задания двух лет пятилетки по объему производства выполнил 5 декабря 1977 г., по производительности труда — 6 декабря. Производительность труда в объединении в 1977 г. возросла в 1,9 раза по сравнению с 1975 г. В числе других 16 лучших коллективов наших отраслей промышленности объединение представлено к награждению Переходящим Красным Знаменем ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ.

Тысячи передовиков производства досрочно завершили свои социалистические обязательства по выполнению личных планов, выпускают продукцию только высокого качества. За успешное выполнение годовых заданий и социалистических обязательств многие трудящиеся отрасли, которые объединяет наш профсоюз, награждены знаком "Победитель социалистического соревнования 1977 года".

Председатель Московского городского комитета профсоюза В. З. Шутов доложил Пленуму, что на отраслевых предприятиях г. Москвы в 1977 г. по сравнению с 1976 г.

производительность труда возросла на 3,3%. Рационализаторами и изобретателями подано 14 тыс. предложений, из которых внедрено около 10,5 тыс., что дало значительный экономический эффект.

Единодушный политический настрой москвичей, их трудовой энтузиазм воплощается в патриотических инициативах.

Почин москвичей "Задание трех лет пятилетки - к годовщине принятия новой Конституции СССР" широко подхвачен тружениками отраслевых предприятий по всей стране. Сегодня уже более 15 тысяч рабочих, 436 бригад, 66 цехов, 5 предприятий наших отраслей промышленности взяли обязательства завершить план трех лет пятилетки к 7 октября 1978 г.

Массовую поддержку получило начинание коллектива производственно-технического объединения, где председателем профкома В. И. Парина, направленное на дальнейшее развитие творческой инициативы каждого работника, повышение его личного вклада в пятилетку, умелое использование резервов производства, достижений науки и техники, передового производственного опыта.

Трудящиеся, полные решимости ознаменовать 1978 г. новыми достижениями в труде, принимают на себя повышенные социалистические обязательства. Так, в электронной промышленности в 1978 г. намечено повысить производительность труда на 14,3% (против 13,5% по плану), увеличить выпуск продукции с государственным Знаком качества до 30% от объема продукции, подлежащей аттестации, повысить процент выхода годных изделий и снизить уровень технологических потерь.

Путем совершенствования организации и нормирования труда, улучшения обслуживания оборудования, устранения недостатков в материально-техническом снабжении и укрепления трудовой дисциплины намечено снижение потерь рабочего времени более чем на 20%.

Государственным планом 1978 г. предусмотрено дальнейшее повышение благосостояния трудящихся. В электронной промышленности среднемесячная заработная плата рабочих и служащих в 1978 г. возрастет на 2,9% и достигнет 169 руб. в месяц, фонды экономического стимулирования увеличатся на 11,3%. В целях дальнейшего улучшения культурно-бытовых условий трудящихся намечен ввод в эксплуатацию жилой площади — 296 тыс. м<sup>2</sup>, санитарно-бытовых помещений — 50 тыс. м<sup>2</sup>, столовых и буфетов на 11 тыс. посадочных мест, детских дошкольных учреждений на 2330 мест.

В соответствии с комплексными планами улучшения условий, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий на 1976—1980 гг. будет обеспечено всемерное сокращение ручного, малоквалифицированного и монотонного труда, дальнейшее улучшение социально-экономи-

ческих и производственных условий на каждом предприятии.

Залогом успешного выполнения этих сложных, комплексных задач является создание в каждом коллективе обстановки высокой взаимной требовательности, товарищеской критики и самокритики, принципиальности, неприимости к недостаткам — эта мысль была одной из центральных на Пленуме.

Серьезное внимание было обращено на недостатки в работе профсоюзных организаций и администрации некоторых предприятий, на возможности, которые пока не полностью ими реализуются. Так, не во всех коллективах соревнование ориентируется на рост производительности труда. Не везде профсоюзные комитеты активно осуществляют право контроля деятельности администрации. Отдельные предприятия допускали невыполнение месячных и квартальных планов, работали неритмично. Не все руководители предприятий и председатели профсоюзных комитетов сумели организовать действенную борьбу за сокращение потерь рабочего времени.

На Пленуме была подвергнута критике не изжившая себя практика корректировки планов в сторону снижения, подчеркивалась необходимость повсеместно утверждать партийный, творческий стиль в хозяйственной и профсоюзной деятельности, стиль, несовместимый с перестраховкой и волокитой, ненужными обращениями в вышестоящие инстанции. При этом отмечалась особая ответственность за безукоризненное выполнение каждого задания, за строжайшее соблюдение дисциплины руководителями производства всех уровней.

О работе Президиума Центрального комитета профсоюза за период между III и IV Пленумами ЦК профсоюза доложил секретарь ЦК профсоюза В. Н. Тузов.

IV Пленум ЦК профсоюза постановил целиком и полностью одобрить и принять к неуклонному руководству и исполнению решения декабрьского (1977 г.) Пленума ЦК КПСС, положения и выводы, содержащиеся в речи Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР товарища Л. И. Брежнева на этом Пленуме и в Письме ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ партийным, советским, хозяйственным, профсоюзным и комсомольским организациям, трудящимся Советского Союза "О развертывании социалистического соревнования за выполнение и перевыполнение плана 1978 года и усилении борьбы за повышение эффективности производства и качества работы" и утвердил план основных мероприятий ЦК профсоюза по обсуждаемому вопросу.

Пленум Центрального комитета профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности заверил Ленинский Центральный Комитет Коммунистической партии Советского Союза, ВЦСПС в том, что трудящиеся отраслей промышленности еще шире развернут социалистическое соревнование за выполнение и перевыполнение заданий 1978 г., добьются новых успехов в осуществлении исторических решений XXV съезда КПСС.

*А. В. Никаноров*

#### НОВАЯ КНИГА

### МОСТОВЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА С ПОЛЕВЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ

*П. ДИМИТРАКИ*

Кишинев, "Картя Молдовеняскэ", 1978, 10 изд. л.

В книге рассмотрены интегральные импульсные устройства с полевыми транзисторами, которые по стабильности, потребляемой мощности, степени интеграции и унификации, функциональным возможностям и другим критериям превосходят аналоги на биполярных транзисторах: мультивибраторы, генераторы коротких импульсов и линейно-изменяющегося напряжения, делители частоты и многоустойчивые элементы, реле времени и преобразователи аналоговых величин в дискретные, выполненные на токовых переключателях, дифференциальные и операционные усилители. Приведен справочный материал для проектирования таких схем вручную или на базе современных быстродействующих электронных цифровых вычислительных машин единой серии.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов по электронной технике, занимающихся разработкой, эксплуатацией, ремонтом и отладкой промышленной и бытовой телевизионной аппаратуры.



ЦНИИ • ЭЛЕКТРОНИКА •

**В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ  
ЧИТАЙТЕ СТАТЬИ,  
ПОСВЯЩЕННЫЕ**

- **ВОПРОСАМ РАЗРАБОТКИ МИКРО-ЭВМ И ОРГАНИЗАЦИИ ИХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**
- **ПРИМЕНЕНИЮ МИКРО-ЭВМ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ПРИБОРОСТРОЕНИИ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АВТОМАТИКЕ МЕДИЦИНЕ, АППАРАТУРЕ СВЯЗИ.**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Состав редколлегии*

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

*На второй странице обложки:  
вторично-электронные умножители*

Ответственные за выпуск

**С.И. Баранова, В.М. Дмитриев**

Технический редактор

**Г.М. Корнеева**

Художник **В.А. Чернецов**

Фото **Б.В. Борисевича**

Корректоры **Н.Я. Нестеровская,**

**А.В. Смирнова, Н.В. Русецкая**

Подписано в печать 7/1V-78 г.

Т-07541

Объем 10 п. л.

Уч.-изд. л. 9,5

Тираж 3550

Формат 60x90/8

Цена 2 руб. 89 коп.

Заказ 137

Индекс 3883

Число статей 31, число рефератов 5

Производственно-издательский

отдел ЦНИИ "Электроника"

117415, Москва,

проспект Вернадского, 39.

с. 6

## УСТАНОВКА 09ЗИ-1 ДЛЯ КТРОЛЯ ТЕПЛОВИХ ПОЛЕЙ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР ПО ИНФРАКРАСНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Предназначена для измерения температур, контроля и регистрации стационарных и импульсных тепловых полей поверхности транзисторных структур, собранных в корпусах КТ-18, ТО-3, ТО-60, ТО-61, ТО-63, ТО-114, ТО-126, на этапах их разработки, отработки технологических процессов и выборочно — на финишных этапах производства.

Установка обеспечивает возможность нагрева и поддержания температуры корпусов в диапазоне от 30 до 300<sup>o</sup>С (без подачи питания на транзистор). Предусмотрено принудительное водяное охлаждение контролируемых транзисторов. Охлаждение фотоприемника осуществляется жидким азотом (0,2 л на 4 ч работы).

Результаты измерения выводятся в аналоговом и цифровом виде в коде 8-4-2-1 и регистрируются цифрпечатающим устройством.

В состав установки входят инфракрасный радиометр ИКР-4; система управления координатным столом СУС-1-2; комбинированная стойка СК-1; печатающий механизм МП16-2 и универсальный вольтметр В7-16. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220±22В и частотой 50±0,5 Гц.

Установка обеспечивает:

- автоматическое перемещение исследуемого объекта в продольном направлении в диапазоне от 0 до 40 мм с реверсом на границах заданного диапазона (в поперечном направлении перемещение ручное);
- автоматическую регистрацию интенсивности ИК-излучения с точек поверхности исследуемого объекта, перемещаемого в продольном направлении, с одновременной регистрацией их координат;
- возможность контроля и регистрации переходных тепловых процессов с постоянными времени 200 мкс;
- формирование для управления питанием исследуемых транзисторных структур импульсов длительностью от 0,2 до 999 мс с периодом следования от 0,2 до 9999 мс и амплитудой не менее 2,4 В на сопротивлении 1 кОм.

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Геометрическая разрешающая способность по тест-объекту кремний-алюминий при 100 <sup>o</sup> С, мкм . . . . .	60
Температурная разрешающая способность при 100 <sup>o</sup> С по тест-объекту кремний-алюминий в импульсном режиме нагрева, <sup>o</sup> С . . . . .	≤1
по абсолютно черному телу в стационарном режиме нагрева, <sup>o</sup> С . . . . .	0,2
Погрешность измерения температуры, <sup>o</sup> С . . . . .	≤4
Потребляемая мощность, кВт . . . . .	≤1
Габариты, мм . . . . .	1720x580x1350
Масса, кг . . . . .	270

**СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ 09ЗИ-1 СПОСОБУЕТ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ДАЛЬНЕЙШИМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ПРЕДЕЛЬНОДОПУСТИМЫХ МОЩНОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ И ПОВЫШЕНИЕМ ИХ КАЧЕСТВА**

