

# **электронная**

JSSN 0207-6357

---

# **промышленность**

**3 / 93**

**Новые перспективы  
низкотемпературной электроники**

**Элементы интегральных схем  
на основе ВТСП**

**Эпитаксия полупроводниковых  
соединений из молекулярных пучков**

**Контактирующие устройства для ИС**

**Оперативное ЗУ с широкими  
функциональными возможностями**

**Реализация комплексного  
подхода к моделированию ИС в САПР**

**LOW TEMPERATURE ELECTRONICS OUTLOOK**

**IC's HTSC ELEMENTS**

**MOLECULAR BEAM EPITAXY OF  $A_3B_5$  SEMICONDUCTOR COMPOUNDS.**

**CONTACT DEVICES FOR IC.**

**RAM OF K1627PΠ2B TYPE WITH WIDE FUNCTIONAL CAPABILITIES.**

**COMPLEX APPROACH TO IC SIMULATION REALIZATION IN ARS/WS CAD**

**CONTENTS**

**MICROELECTRONICS**

**Science News**

Low Temperature Electronics Outlook. Popkov A. F., Samus A. N., Makhov V. I., Borisov B. S. 2

IC's HTSC Elements. Popkov A. F., Samus A. N. 8

Molecular Beam Epitaxy of  $A_3B_5$  Semiconductor Compounds. Ilushin B. A., Vellchko A. A. 17

The Effects of UV-Emission on the Parameters of Thin-Film Amorphous Silicon FETs. Voronkov E. N., Kasurov B. I., Popov I. A., Chernorotov B. P. 25

Precise Clearances Formation in LC indicators. Kononov V. A., Chernorotov B. P., Jakovenko B. I., Muravsky A. A. 28

**Industrial Technology**

A Getter System for Driving Magnetodischarge Pumps. Volchkevitch A. I., Enikeeva S. A. 30

He Leak Detector without Liquid Nitrogen. Volchkevitch A. I., Enikeeva S. A., Juleva T. V. 32

Advanced Methods of Power Semiconductor Device Mounting with Soft Washers. Nogin V. M., Polekhov V. V., Lebedev S. P., Kokoreva T. V. 34

Contact Devices for IC. Sokolov V. V. 35

Oxygen Contact in Silicon Wafers Measuring Instrument. Belin A. M., Zimogljad V. A. 38

**New Products**

A New Computer Architecture Base Element – Eight-Port RAM of K1627PΠ1B type. Ignatjev S. M., Nikolaenko A. V., Savenkov V. N. 44

A Two-Port RAM of K1627PΠ2B type with wide Functional Capabilities. Ignatjev S. M., Nikolaenko A. V., Savenkov V. N. 48

Custom LSI Topology Design System. Varankin N. V., Sokolov A. G. 52

Complex Approach to IC Simulation Realization in ARS/WS CAD. Egorov J. B., Ivanjuk V. G., Mirgorodsky J. N., Tikhomirov P. A., Topusov I. G. 54

**Electronics and Medicine**

Environment Interaction of Unspecific Sensor Systems for Blind People. Pjasetsky V. I., Minzrahy V. D. 59

# Электронная промышленность

КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ОТРАСЛЯМ  
ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
Главное управление  
электронной промышленности  
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ  
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г.  
г. МОСКВА

Главный редактор  
Ю.А. КОЗЛОВ

3 / 93

OldPC.su

Музей компьютеров

## СОДЕРЖАНИЕ

### МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

#### Новости науки

Новые перспективы низкотемпературной электроники. *Полков А. Ф., Самусь А. Н., Махов В. И., Борисов Б. С.*

Элементы интегральных схем на основе ВТСП. *Полков А. Ф., Самусь А. Н.*

Эпитаксия соединений типа  $A_3B_5$  из молекулярных пучков. *Илюшин Б. А., Величко А. А.*

Влияние УФ-излучения на характеристики тонкопленочных транзисторов на аморфном кремнии. *Воронков Э. Н., Казуров Б. И., Попов И. А., Черноротов Б. П.*

Обеспечение точного зазора в ЖК-индикаторах. *Коновалов В. А., Казуров Б. И., Минько А. А., Черноротов Б. П., Яковенко Б. И., Муравский А. А.*

#### Промышленная технология

Геттерная система для запуска магниторазрядных насосов. *Волчкович А. И., Еникеева С. А.*

Гелиевый течейскапель без жидкого азота. *Волчкович А. И., Еникеева С. А., Жулева Т. В.*

Перспективные способы монтажа мощного полупроводникового прибора с использованием мягких прокладок. *Ногин В. М., Полехов В. В., Лебедев С. П., Кокорева Т. В.*

Контактирующие устройства для ИС. *Соколов В. В.*

Измеритель кислорода в кремниевых пластинах. *Белин А. М., Зимогляд В. А.*

Прецизионный предметный столик для оптических микроскопов. *Войтенко А. С., Войтенко С. М., Давыдов В. Н., Майоров А. А.*

Прецизионный двухкоординатный столик для точного позиционирования волоконно-оптических изделий. *Давыдов В. Н., Петров Ю. В.*

#### Новые изделия

Базовый элемент новой архитектуры ЭВМ — восьми-портовое оперативное ЗУ типа K1627РП1Б. *Игнатьев С. М., Николаенко А. В., Савенков В. Н.* 44

Двухпортовое оперативное ЗУ типа K1627РП2В с широкими функциональными возможностями. *Игнатьев С. М., Николаенко А. В., Савенков В. Н.* 48

2 Система проектирования топологии заказных БИС. *Варанкин Н. В., Соколов А. Г.* 52

8 Реализация комплексного подхода к моделированию ИС в САПР ИС ARS/WS. *Егоров Ю. Б., Иванюк В. Г., Миргородский Ю. Н., Тихомиров П. А., Толузов И. Г.* 54

#### 17 ЭЛЕКТРОНИКА И МЕДИЦИНА

25 Взаимодействие неспецифических сенсорных систем слепых людей с окружающей средой. *Пясецкий В. И., Минзрахи В. Д.* 59

28 Электронная цветовая дешифровка рентгеновского изображения зон анастомозов кишечника. *Орел А. М., Горбунов И. С.* (реферат) 62

#### ЭКОНОМИКА

30 Методологические основы сопоставления затрат на науку в разных странах. *Башин М. Л.* 63

#### 32 РЕКЛАМА

34 Контактирующие устройства

35 Недорогие микроэлектронные измерительные преобразователи давления

38 Установки лазерной маркировки

41 Продукция сегодняшнего дня по ценам дня вчерашнего  
Оптоэлектронные компоненты для волоконной оптики

41 Изделия НИИ молекулярной электроники

Тематические указатели

41 БИРЖА "ЭЛЕКТРОННАЯ ИНДУСТРИЯ"

Адрес редакции: 117415, Москва, просп. Вернадского, 39

Тел.: 432-92-72, 432-92-27, 432-91-89

© ЦНИИ "Электроника" 1993

# Новые перспективы низкотемпературной электроники

А.Ф.ПОПКОВ д-р физ.-мат.наук, А.Н.САМУСЬ, В.И.МАХОВ д-р техн.наук,  
Б.С.БОРИСОВ канд.физ.-мат.наук

*Развитие сверхпроводниковой низкотемпературной электроники проходило при постоянном уменьшении размеров элементов и повышении степени интеграции схем. При этом физические принципы работы сверхпроводниковых элементов, в отличие от полупроводниковых, могут меняться кардинальным образом. В НИИ физических проблем, где ведутся широкие исследования в области сверхпроводниковой электроники, был проведен анализ физических ограничений и предельных возможностей сверхпроводниковой электроники при уменьшении размеров до субмикронного и нанометрового диапазона. Проведен детальный анализ функционирования сверхпроводникового квантового интерферометра (СКВИДа), устройств на абрикосовских вихрях, одноэлектронного токового транзистора и некоторых полупроводниковых элементов, работающих при низких температурах.*

Низкотемпературная электроника, использующая охлаждаемые полупроводниковые и сверхпроводниковые элементы, открывает новые перспективы для повышения быстродействия и степени интеграции цифровых схем.

Достигнутые величины времен переключения сверхпроводниковых элементов логики и памяти составляют уже 1—10 пс [1—3] и сравнимы с быстродействием элементов на арсениде галлия. Основным преимуществом низкотемпературных сверхпроводниковых схем перед полупроводниковыми является малая потребляемая мощность, которая достигает 1 мкВт/элемент и менее.

Основным элементом сверхпроводниковой электроники является джозефсоновский туннельный переход, обладающий двумя устойчивыми состояниями:  $V=0$  и  $V=V_c$ . Решение проблемы повышения степени интеграции сверхпроводниковых схем затрудняется физическими и технологическими ограничениями размеров джозефсоновских переходов сверхмалых размеров. Анализ физических ограничений функционирования элементов и предельных возможностей электроники при уменьшении размеров сверхпроводниковых элементов до субмикронного и нанометрового диапазона проводился авторами на примере сверхпроводящего квантового интерферометра

*Advances in low temperature superconductive electronics are taking place with the decrease of elements features and increase of the scale of integration. For all this in contrast to semiconductor devices the physical principles of superconductor operation can radically change. At the Scientific Research Institute of Physical Problems along with studies of physical limitations and dimension range of nanometer superconductors operation of superconducting quantum interference devices (SQUID's), Abrikosov's vortices devices, single electron current transistors and some other low temperature devices are analysed in detail.*

(СКВИДа), устройств на абрикосовских вихрях, одноэлектронного токового транзистора и некоторых полупроводниковых элементов наноэлектроники, работающих при низкой температуре.

**Сверхпроводящий квантовый интерферометр** СКВИД является основным элементом ячеек памяти на джозефсоновских элементах. Включение в сверхпроводящее кольцо двух джозефсоновских переходов вызывает явление макроскопической квантовой интерференции в сверхпроводнике, которое и используется в процессах записи и считывания информации. Для работы в качестве ячейки памяти критический ток ( $I_c$ ) переходов должен удовлетворять условию  $L I_c \sim \Phi_0/2$ , где  $\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-15}$  Вб — квант магнитного потока,  $L$  — индуктивность СКВИДа. На рис. 1 показана электрическая схема ячейки памяти и диаграмма переключений двухконтактного интерферометра. Информация в ячейке представляется в виде двух возможных значений магнитного потока:  $\Phi=0$  или  $\Phi=\Phi_0$ . Область функционирования ячейки памяти определяется допустимыми значениями рабочих токов, ограниченных как сверху, так и снизу.

Во-первых, для удержания кванта магнитного потока при ширине сверхпроводящих шин  $w$  должно выполняться условие  $I \geq \Phi_0/Lw^2$ .

Сверхпроводящая пленка, расположенная над экраном, имеет удельную индуктивность  $L = 10^{-13}$  Гн/квадрат. При условии, что замкнутый контур состоит из десяти квадратов, получим

$$I_c [A \cdot \text{см}^{-2}] \geq 10^5 / \omega^2 [\text{мкм}^2]. \quad (1)$$

Для устойчивой работы элементов памяти и логики минимальный критический ток переходов должен быть по крайней мере на два порядка выше амплитуды тока тепловых флуктуаций  $I_f = 2\pi kT / \Phi_0$  [2]. Поэтому  $I_{c \min} \cong 10^2 I_f = 10^2 2\pi kT / \Phi_0$ . (2) При температуре 4,2 К  $I_{c \min}$  составляет 10 мкА, а для высокотемпературных сверхпроводников при  $T=77$  К величина  $I_{c \min}$  составляет 100 мкА.

Во-вторых, максимальная плотность критического тока джозефсоновских переходов не должна превышать плотность критического тока используемых сверхпроводников ( $I_{c \max}$ ). Типичная величина  $I_{c \max} = 10^6$  А/см<sup>2</sup> при  $T=4,2$  К для низкотемпературных сверхпроводников и при  $T=77$  К для ВТСП материалов. Полученные характерные значения токов приведены на графике (рис. 2). Там же указаны значения критических токов в элементах сверхпроводниковой электроники, достигнутые в последние годы. Из графика видно, что для сверхпроводниковых шин шириной 1 мкм плотность критического тока джозефсоновских переходов должна составлять  $I_c = 100$  кА/см<sup>2</sup>, т.е. приближаться к предельно допустимой величине. При этом площадь интерферометра составляет  $S = n\omega^2 = 10$  мкм<sup>2</sup>, что соответствует степени интеграции  $10^6$  элементов см<sup>-2</sup> ( $n$  — число квадратов замкнутого контура, в данном случае  $n=10$ ). Дальнейшее уменьшение размеров сверхпроводящих элементов до субмикронных будет приводить к существенному изменению свойств туннельных переходов, особенно в области  $\omega \sim 0,1$  мкм [5]. Возникающие проблемы связаны с возрастанием флуктуаций скачка фазы параметра порядка на джозефсоновском переходе из-за роста влияния заряда отдельных электронов на электростатический потенциал электродов и энергию перехода в целом. Когда энергия джозефсоновского перехода превышает амплитуду тепловых флуктуаций, т.е.  $kT \ll E_c = \Phi_0 I_c / 2\pi$ , критический размер ширины шин определяется условием  $2e^2 / C_c = E_c$ , где  $C_c = \epsilon \epsilon_0 S_c / t$  — емкость контакта,  $S_c = \omega c^2$  — площадь контакта,  $I_c = I_c \omega$ ,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость,  $t$  — толщина диэлектрика. При  $I_c = 10^6$  А/см<sup>2</sup>,  $\epsilon=5$ ,  $t=5$  нм величины емкости контакта и критического размера ширины шины составляет  $10^{-4}$  пФ и 0,1 мкм, соответственно. При условии  $C/C_c \rightarrow \infty$  скачок фазы  $\Phi$  на переходе имеет определенную величину, а при  $C=C_c$  квантовые флуктуации фазы  $\langle \Delta\Phi^2 \rangle^{1/2}$  возрастают до величины  $\sim \pi/2$ , что приводит к резкому уменьшению сверхпроводящего тока и росту флуктуационного напряжения на переходе до 1—2 мВ даже при  $T=0$ . Это осложняет использование субмикронных джозефсо-

новских переходов в качестве базовых элементов электроники. Однако при  $C \ll C_c$ , т.е. когда размеры переходов составляют нанометры, при определенных условиях возможно возникновение новых квантовых явлений — блоховских осцилляций либо одноэлектронного туннелирования квазичастиц, которые в принципе могут быть использованы для создания элементов наноэлектроники.

Другой важной проблемой цифровых схем является проблема теплоотвода. Полупроводниковый вентилятор выделяет мощность порядка 10 мВт, при плотности элементов  $N \sim 10^3$  см<sup>-2</sup> величина рассеиваемой мощности  $\sim 20$  Вт·см<sup>-2</sup>, что превышает допустимый предел теплоотвода при охлаждении схемы фреоном [1]. В случае сверхпроводниковых элементов рассеиваемая энергия ( $E = \Phi_0^2 / 2L$ ) составляет за один акт работы  $10^{-18}$  Дж, что при скорости переключения  $10^{-12}$  с дает мощность рассеяния 1 мкВт. При степени интеграции  $10^6$  см<sup>-2</sup> выделяемая мощность сверхпроводниковых схем не превосходит 0,5 Вт·см<sup>-2</sup>, т.е. величины допустимого теплоотвода в жидкий гелий. Таким образом, высокие скорости переключения сверхпроводниковых элементов и малая потребляемая мощность делают их перспективными для использования в сверхскоростных вычислительных устройствах в ближайшем будущем.

К 1992 г. ведущее место в разработке цифровых ИС на сверхпроводниках занимают исследовательские группы Японии. Фирма NEC разработала микросхему памяти емкостью 1 К на джозефсоновских переходах Nb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Nb [6]. Измеренное время выборки составляет 570 пс. Технологический чип фирмы Fujitsu состоит из матрицы, содержащей 10584 джозефсоновских переходов [6], а процессор 4 бит этой же фирмы содержит уже 2400 переходов и работает с тактовой частотой 1 ГГц. Модель джозефсоновского компьютера фирмы ETL состоит из четырех функциональных чипов АЛУ, ПЗУ, ОЗУ, УУ, ширина сверхпроводящих шин  $\omega=3$  мкм, степень интеграции  $\sim 10^4$  элементов на кристалле [7]. Процессор имеет современную RISC архитектуру и при тактовой частоте 1 ГГц потребляемая мощность составляет всего 6,2 мВт, что в  $10^3$  раз меньше аналогичного типа компьютера на полупроводниковых элементах.

**Сверхпроводниковые вихревые структуры.** Изучение дискретных устройств на основе СКВИДа показывает, что из-за малой величины удельной индуктивности шин, расположенных над сверхпроводящим экраном, размеры ячейки памяти получаются довольно большими. Можно увеличивать индуктивность шин, создавая под ними отверстия в экране. Однако наличие таких «дырок» будет приводить к нежелательным эффектам захвата магнитного потока, для его предотвращения потребуются специальные меры. В связи с этим необходимо рассмотреть возможность использования в сверхпроводниковых структурах квантов магнитного потока — абри-

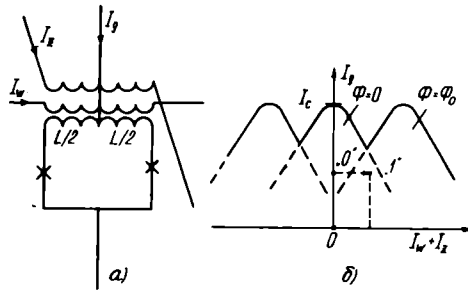


Рис. 1. Ячейка памяти на основе сверхпроводящего квантового интерферометра: а — электрическая схема; б — диаграмма записи магнитного потока в ячейку

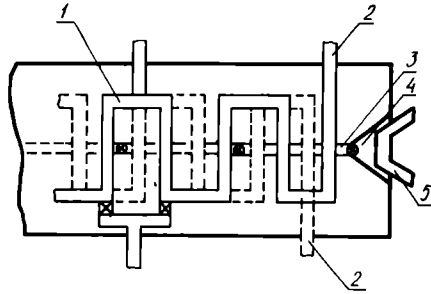


Рис. 3. Конструкция сдвигового регистра на абрикосовских вихрях в сверхпроводящей пленке: 1 — детектор; 2 — шины; 3 — канал записи и продвижения вихрей; 4 — генератор вихрей; 5 — токовая шина для генерации вихрей

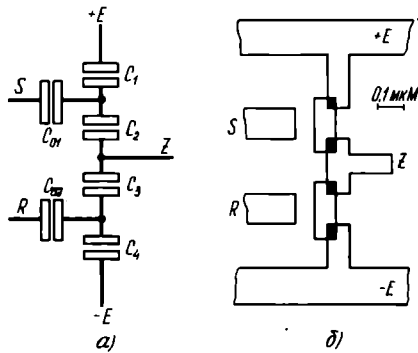


Рис. 5. Конструкция базового элемента памяти на одноэлектронных токовых транзисторах: а — электрическая схема; б — вариант топологии элемента памяти

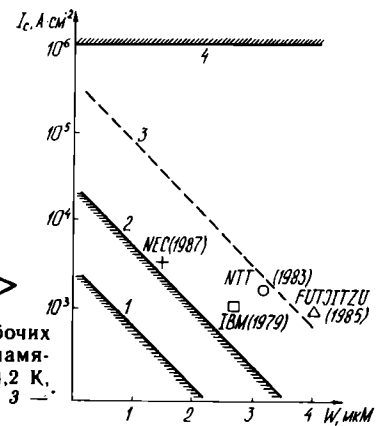


Рис. 2. Области рабочих токов для ячейки памяти: 1 —  $I_{\min}$  при  $T=4,2$  К; 2 —  $I_{\min}$  при  $T=77$  К; 3 —  $I = \omega^{-2}$ ; 4 —  $I = I_{\max}$

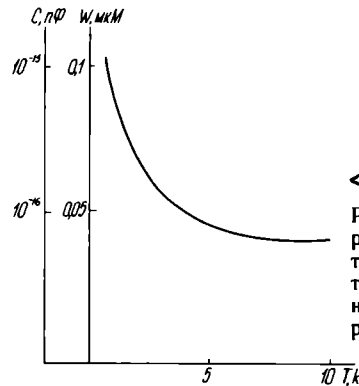


Рис. 4. Зависимости ширины шины и емкости туннельных переходов от температуры, при которой наблюдается одноэлектронное туннелирование

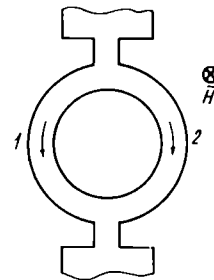


Рис. 6. Квантовый интерферометр на основе эффекта Ааронова—Бома

косовских вихрей в сверхпроводниках II рода, которые имеют минимальный размер области захваченного магнитного потока  $\omega \sim 2\lambda_L$ , где  $\lambda_L$  — лондоновская глубина проникновения магнитного поля.

Существует несколько принципиально отличающихся способов записи информации на магнитных вихрях в сверхпроводниках II рода: последовательный, последовательно-параллельный и матричный [8]. Рассмотрим физические

ограничения на величину плотности записи информации в устройствах на абрикосовских вихрях. Решетка вихрей образуется в пленках сверхпроводников при переходе в резистивное состояние в магнитном поле. Каждый из вихрей несет в себе один квант магнитного потока  $\Phi_0$ . Плотность упаковки вихрей в решетке составляет  $N \sim \lambda_L^{-2} \sim 10^9$  см<sup>-2</sup> вблизи нижнего критического поля  $H_{c1}$  и примерно  $N\xi^{-2} \sim 10^{14}$  см<sup>-2</sup> вблизи верхнего критического поля  $H_{c2}$ , где  $\xi$  — длина коге-

рентности в сверхпроводнике. Величина магнитного поля, требуемая для образования вихрей, в традиционном низкотемпературном сверхпроводнике — ниобии, у которого  $\lambda_L = 80$  нм, составляет  $H_{c1} \approx \Phi_0 / 4\pi\lambda_L^2 \geq 100$  Э. У пленок ВТСП глубина проникновения магнитного поля лежит в диапазоне  $\lambda_L \approx 0,3-0,6$  мкм и величина  $H_{c1}$  может быть порядка 10 Э и ниже. Такой величины магнитное поле легко создается с помощью тока в сверхпроводящей шине.

Возможный вариант конструкции сдвигового регистра на абрикосовских вихрях представлен на рис. 3. Аналогично магнитному ЗУ на цилиндрических доменах в нем имеется канал записи и продвижения вихрей, генератор вихрей и детектор. Генерация вихрей осуществляется токовой шиной 5, расположенной на краю вихреосодержащего канала. Продвижение вихрей в канале осуществляется с помощью тактовых импульсов тока, пропускаемого по шинам 2.

Основные требования к сверхпроводниковым материалам — отсутствие дефектов, высокая подвижность, большая предельная скорость магнитных вихрей. Из-за большой величины нормального сопротивления ВТСП пленок ( $\rho_n \sim 50-100$  мкОм см<sup>-1</sup>) характерная вязкость по оценкам [8] и измерениям [9] составляет  $\eta = \Phi_0 H_{c2} \rho_n^{-1} \approx 10^{-9}-10^{-10}$  Нсм<sup>-2</sup>. Следовательно скорость вихревого потока ( $V = \Phi_0 J \eta^{-1}$ ) может достигать для ВТСП пленок больших значений:  $10^6-10^7$  см с<sup>-1</sup>. В этом случае максимальная частота обработки информации в устройствах на абрикосовских вихрях может достигать  $10^9$  битс<sup>-1</sup> при мощности тепловыделения меньшей 0,5 Вт см<sup>-2</sup> и при топологическом размере порядка 1 мкм. Применение субмикронной технологии может обеспечить плотность записи информации, превышающую предел для ЗУ на квантовых интерферометрах.

Возможен и другой вариант реализации ЗУ на абрикосовских вихрях, основанный на эффекте остаточного нелинейного отклика в керамике Y—Ba—Cu—O. Суть эффекта состоит в том, что при наложении на образец ВЧ сигнала с частотой 20 кГц в магнитном поле  $H > H_{c1} \approx 170$  Э, наблюдался отклик на третьей гармонике сигнала, который сохранялся при отключении поля. Эффект «памяти» сохранялся в течение нескольких секунд, зависимость уменьшения амплитуды отклика от времени имела логарифмический характер. Можно предположить, что остаточный нелинейный отклик связан с захватом магнитного потока в системе джозефсоновских элементов, образованных гранулами ВТСП. Предлагаемая модель памяти сверхбольшой емкости основана на представлении информации в виде доменов, образованных в сплошной пленке ВТСП с нелинейным откликом. Минимальный размер доменов определяется размером кванта магнитного потока в пленке Y—Ba—Cu—O и составляет примерно 0,1—0,01 мкм. Максимальная плотность доменов ( $n$ ) определяется периодом решетки вихрей Абрикосова  $a = (\Phi_0 / H_{c2})$  и составляет для

Y—Ba—Cu—O керамики  $a^{-2}$  или  $10^8$  см<sup>-2</sup>. Образование доменов, т.е. запись информации, производится с помощью сканирующего электронного луча, который локально нагревает участок ВТСП пленки до температуры больше критической, и образует в магнитном поле домен с захваченным магнитным потоком. В процессе считывания пленка сканируется электронным лучом меньшей интенсивности, причем на массив памяти накладывается переменное магнитное поле. Наличие домена обнаруживается по нелинейному отклику в отраженном от пленки пучке электронов. Записанную информацию можно стереть, нагревая пленку ВТСП выше температуры сверхпроводящего перехода. После охлаждения пленки до температуры, меньшей  $T_c$ , можно проводить новый цикл записи информации.

**Одноэлектронный токовый транзистор.** Туннельный переход имеет минимальный критический размер  $w \sim 0,1$  мкм, при котором электростатическая энергия элементарных зарядов  $E_g = 2e^2/C$  становится сравнимой с энергией джозефсоновского перехода  $E_J = \Phi_0 I_c / 2\pi$ . В этой области неопределенность скачка фазы параметра порядка  $\Delta\Phi$  на переходе настолько велика, что даже при  $T=0$  состояние с нулевым напряжением, соответствующее сверхпроводящему джозефсоновскому току  $I = I_c \sin\Phi$ , отсутствует. Однако при  $kT \ll E_J \ll E_g$ , когда электростатическая энергия становится преобладающей, а тепловые флуктуации незначительны, возникают макроскопические квантовые явления, связанные с особенностями туннелирования как спаренных электронов, так и отдельных квазичастиц, которые могут быть использованы для создания принципиально нового класса квантовых устройств дискретной электроники [11, 12].

Одно из таких явлений связано с блоховскими осцилляциями заряда спаренных электронов при заданном токе, когда величина тока превышает критическую величину ( $I_c = 2e/CR$ ). Частота осцилляций при этом зависит от величины тока и равна  $1/2e$ . При протекании через переход дополнительного переменного тока  $I = I_c \sin 2\pi f t$  на вольт-амперной характеристике возникают скачки напряжения при  $I = 2enI_c$ , где  $n=1,2,\dots$ . Здесь имеется полная аналогия с измерением тока через джозефсоновский переход в режиме работы с заданным напряжением при облучении СВЧ сигналом. Этот эффект может быть использован для создания стандарта тока [11].

Наряду с указанным эффектом при условии, когда  $kT \ll e^2/2C$ , наблюдается явление кулоновской блокады туннелирования, связанное с дискретной природой частиц и их кулоновским взаимодействием. При этом явление туннелирование отдельных электронов становится маловероятным, если величина заряда на переходе находится в интервале  $|Q| < e/2$ . При наличии туннельного тока ( $I = dQ/dt$ ) идет медленный заряд емкости до величины  $e$  ( $Q = \int I dt = e$ ), после чего происходит его туннелирование. Благодаря этому явлению на переходе возникают осцилля-

ции напряжения с частотой  $1/e$ . В отличие от блоховских частота осцилляций квазичастиц в два раза выше. Кроме того, в области сверхмалых емкостей при достаточно больших температурах ( $E_i \ll kT \ll e^2/2C$ ) блоховские осцилляции отсутствуют. Эффект кулоновской блокады квазичастиц не связан со сверхпроводящими свойствами туннельного перехода и может существовать в обычном переходе с нормальными электродом.

Рассмотрим теперь ограничения на минимальные размеры туннельных одноэлектронных элементов. При температуре жидкого гелия амплитуда тепловых флуктуаций составляет  $5,4 \times 10^{-23}$  Дж, поэтому условие  $kT \ll E_g$  накладывает ограничение на величину емкости, т.е. она должна быть меньше  $10^{-16}$  Ф.

Используя хорошо известное соотношение для плотности туннельного тока [1], получим связь предельной площади перехода с параметрами туннельного барьера  $S_c < 1,32 \cdot 10^{-2} (t/je)^{1/2}$ , где  $t$  — толщина барьера,  $e$  — диэлектрическая проницаемость. Подставляя типичные значения  $J = 10^4$  А·см $^{-2}$ ,  $t = 30$  Å,  $\epsilon = 3$ , получим  $S_c < 10^{-2}$  мкм $^{-2}$ .

На рис. 4 представлена зависимость технологического размера  $\omega = S_c^{1/2}$  и емкости туннельного перехода от рабочей температуры. Плотность упаковки одноэлектронных элементов может превысить величину  $N \approx 10^9$  см $^{-2}$  при характерном размере туннельных переходов  $\omega < 0,05$  мкм и температуре  $T = 4,2$  К. Возможность получения элементов одноэлектронных устройств продемонстрирована с помощью методов «теневого» литографии [13, 14]. На основе туннельных переходов Al—Al $_2$ O $_3$ —Al изготовлен управляемый элемент — токовый транзистор с площадью переходов  $S_c \approx 0,0015$  мкм $^2$  при емкости  $C \approx 10^{-16}$  Ф.

В устройствах цифровой одноэлектроники информация представляется в форме наличия (лог. «1») или отсутствия (лог. «0») электрона на туннельном переходе, изолированном от внешней цепи другими туннельными переходами. В простейшем варианте базовый запоминающий элемент состоит из четырех последовательно включенных туннельных переходов (рис. 5). Выходной электрод  $Z$  является здесь накопителем электронов. Дефицит заряда на входе  $S$  переключает выход  $Z$  в состояние «1», а избыток заряда на входе  $R$  переключает  $Z$  в состояние «0». Конструкции базовой ячейки памяти занимает площадь всего 0,2 мкм $^2$ , что дает возможную степень интеграции  $10^{16}$  ячеек в 1 см $^3$  для трехмерной конструкции. Ограничивающим фактором, влияющим на плотность размещения элементов СБИС и на максимальную информационную емкость схемы в целом, является величина макроскопического квантового шума, нарушающего определенную последовательность работы одноэлектронных ячеек. Из-за наличия этого шума может оказаться нереальным использование в СБИС традиционной архитектуры и схемотехни-

ки цифровых схем с последовательным переключением вентилях. Выход из этого положения — реализация ассоциативных ЗУ на электронных элементах типа нейронных сетей, осуществляющих параллельную обработку информации. В связи с распределением информации по объему ЗУ оно становится менее чувствительным к шумам, связанным с макроскопическими квантовыми явлениями спонтанного туннелирования.

**Полупроводниковые элементы при низких температурах.** В последнее время активно начали развиваться исследования полупроводниковых структур пониженной размерности — двумерные и одномерные электронные системы [15], в первую очередь системы на основе GaAs—AlGaAs. Квантовые размерные эффекты могут наблюдаться в МОП-структурах с узким каналом при низких температурах. С практической точки зрения представляют интерес две возможности использования квазиодномерных структур: полевые транзисторы с квазиодномерным каналом и переключательные структуры на основе эффекта Ааронова—Бома. В полевом транзисторе с малыми размерами подвижность электронов в одномерном канале может возрасти до значений  $10^6$  см $^2$ /В·с [16], что позволит создать полевые транзисторы с большой крутизной и быстродействием. Другая возможность возникает благодаря интерференционным эффектам волновой функции электронов в двухканальной структуре [17]. В проводящем кольце внешне магнитное поле изменяет разность фаз волновых функций в плечах кольца, что приводит к осцилляциям проводимости структуры (рис. 6). Для наблюдения эффекта Ааронова—Бома размеры кольца должны быть меньше длины фазовой когерентности  $L_\phi$ , имеющей при низких температурах величину порядка микрона [18].

**Проведенное простое качественное рассмотрение основных схемотехнических решений запоминающих элементов на основе сверхпроводниковых устройств позволяет сделать следующие выводы:**

— предел плотности компоновки элементов сверхпроводниковых ИС связан, в основном, не с трудностью отвода тепла, как у полупроводниковых элементов, а с необходимостью увеличения критической плотности тока джозефсоновских элементов и малой величиной погонной индуктивности сверхпроводящих контуров. Размеры элементов памяти определяются условием квантования магнитного потока в сверхпроводящем кольце и, по-видимому, не смогут преодолеть микронный предел. С этой точки зрения более целесообразным представляется использование естественных квантов магнитного потока, создаваемых циркулирующими токами в абрикосовских вихрях. Устройства памяти на абрикосовских вихрях могут базироваться на топологических размерах элементов  $1-0,1$  мкм;

— при уменьшении геометрических размеров менее 0,1 мкм в туннельных базовых элементах цифровой электроники начинают играть замет-





**ПОПКОВ**  
Анатолий  
Федорович

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ГосНИИ Физических проблем. Окончил Московский физико-технический институт. Область ведущих интересов — нелинейные волновые явления в магнитных и сверхпроводящих средах.



**САМУСЬ**  
Анатолий  
Николаевич

Ведущий инженер-конструктор ГосНИИ физических проблем. Окончил Московский физико-технический институт. Область научных интересов — физика, техника и применение сверхпроводников в электронике.



**МАХОВ**  
Владимир  
Ильич

Доктор физико-математических наук, начальник отдела ГосНИИ физических проблем, профессор Московского физико-технического института. Окончил Таганрогский радиотехнический институт. Область научных интересов — физика, технология и применение электронных приборов.

ную роль эффекты одноэлектронного туннелирования. В этом случае для записи и считывания информации можно использовать элементарные электрические заряды;

— тепловые флуктуации могут нарушать работу схем на туннельных переходах и абрикосовских вихрях. Для снижения их влияния рабочая температура должна быть значительно меньше энергии циркулирующего сверхпроводящего тока в квантовом интерферометре, а также электростатической энергии в одноэлектронных устройствах. Одноэлектронные устройства с размерами туннельных переходов менее 0,05 мкм могут работать при гелиевых температурах. Ограничивающим фактором здесь будут являться макроскопические квантовые переходы, приводящие к туннелированию сразу всей системы туннельных переходов в другое состояние и нарушающие последовательность работы ячеек. Необходимо численное моделирование работы каждой цифровой схемы на таких ячейках с учетом возможности макроскопического квантового туннелирования в индивидуальной системе;

— эффект Ааронова—Бома в принципе тоже может быть использован в нанoeлектронике, особенно, когда будет доказана возможность управления интерференционными эффектами при электростатическом воздействии на квантовый интерферометр. Пока возможность практического применения этого явления с теоретической и практической точек зрения менее проработана, чем эффект одноэлектронного туннелирования.

Специалисты, заинтересовавшиеся материалами, изложенными в статье, и проблемами, над которыми работают авторы, могут обращаться по телефону: (095) 536-93-09.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бароне А., Патерно Б. Эффект Джозефсона и его применение.— М.: Мир, 1985.
2. Лихарев К.К. Введение в динамику джозефсоновских переходов.— М.: Наука, 1985.
3. Kosaka S. et al.— IEEE Trans. on Mag. 1985, v. MAG-21, p. 2, p. 102—108.
4. Гинзбург М. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников.— М.: Мир, 1990.
5. Rogovin D., Nagel J.— Phys. Rev. B., 1982, v. 56, p. 7, p. 3698—3732.
6. Kroger H. Advances in Manufacturing Techniques for low Temperature Superconducting Electronics.— Superconductivity conference. Chicago, 1989.
7. Josephson Computer Developed.— Techno Japan. 1989, p. 12, p. 37—39.
8. Попков А.Ф. Физические свойства и возможные применения высокотемпературных сверхпроводников.— В сб. Высокотемпературная сверхпроводимость, ВИМИ, 1989, № 1, с. 1.
9. Самусь А.Н., Попков А.Ф., Махов В.И. и др. Сверхпроводимость: физика, химия, техника, 1991, т. 4, № 7, с. 1324—1328.
10. Shaulov A., Dornan D., Bhargava R., Yeshurun Y.— Appl. Phys. Lett., 1990, v. 57, p. 7, p. 724—726.
11. Лихарев К.К.— Микроэлектроника, 1987, т. 16, вып. 3, с. 195—209.
12. Licharev K.K., Zorin A.B.— J. Low. Temp. Phys. 1985, v. 59, p. 347.
13. Yoshikawa N., Murakami T., Sugara M.— Jap. Jour. of Appl. Phys., 1990, v. 59, p. 8, p. 1086—1096.
14. Classical and quantum charge dynamics in small tunnel junctions.— N.Y., 1991, p. 45—91.
15. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем.— М.: Мир, 1985, 415 с.
16. Fishman G.— Phys. Rev. B., 1986, v. 34, p. 2394.
17. Агапов А.Г., Шарвин Ю.В.— Rev. Mod. Phys. 1987, v. 59, p. 755.
18. Webb R.A. et al.— Phys. Rev. Lett., 1985, v. 54, p. 2696.

# Элементы интегральных схем на основе ВТСП

А.Ф. ПОПКОВ д-р физ.-мат.наук, А.Н. САМУСЬ

*На основе проведенных в НИИ физических проблем исследований в области получения ВТСП пленок и возможности их применения в одноуровневых интегральных схемах были разработаны следующие элементы для цифровых и аналоговых устройств:*

— микрополосковые линии связи длиной 20 см, шириной менее 50 мкм;

— широкополосные СВЧ детекторы на основе джозефсоновских переходов на монокристаллической пленке ВТСП с частотным диапазоном до 100 ГГц и чувствительностью  $\sim 10^3$  В/Вт;

— магниточувствительные СКВИД-датчики, имеющие энергетическое разрешение  $\delta\epsilon \sim 10^{-29} - 10^{-30}$  Дж·Гц<sup>-1</sup> при температуре жидкого азота;

— быстродействующие переключатели тока с временем переключения менее 100 пс;

— пассивные элементы СВЧ устройств: копланарные линии связи, полосовые фильтры, резонаторы.

Основной проблемой использования ВТСП в интегральных схемах является трудность совмещения сверхпроводниковой и полупроводниковой технологий.

*Studies of HTSC films technology and its usefulness in single level IC, conducted at the Scientific Research Institute of Physical Problems led to development of following elements for digital and analogue devices:*

*Microstrip transmission lines 20 sm long and 50 mm wide;*

*Broadband microwave Josephson junction detectors formed on a monocrystalline HTSC film with the frequency range up to 100 GHz and sensitivity  $10^3$  V/W;*

*SQUID sensors with energy resolution*

*$\delta\epsilon \sim 10^{-29} - 10^{-30}$  J Hz<sup>-1</sup> at liquid nitrogen;*

*High speed current switches with switching time less than 100 ps;*

*Microwave passive devices, coplanar lines, bandpass filters, resonators.*

*To fabricate IC with HTSC elements it's necessary to merge superconductor and semiconductor technologies.*

Открытие высокотемпературных сверхпроводников на основе металлооксидных соединений стимулировало работы в области их практического применения [1, 2]. Очевидно, что в первую очередь наиболее вероятно использование ВТСП для создания пассивных элементов гибридных интегральных схем (ИС) в сочетании с активными полупроводниковыми элементами [3—6]. Следующим шагом развития ВТСП электроники будет создание активных сверхпроводниковых элементов и ГИС с активными ВТСП — и полупроводниковыми элементами.

## Пассивные ВТСП элементы в ГИС

**Межсоединения.** Скорость и быстродействие современных вычислительных машин определяются временем задержки сигнала на элементах микросхемы (вентиллях), а также их соединениях, причем задержка на межсоединениях обычно составляет половину общего времени задержки высокопроизводительных вычислительных машин. Особенно актуальна проблема снижения времени задержки сигнала на межсоединениях для будущих быстродействующих компьютеров с временем цикла менее 1 нс, работающих с тактовой частотой 1—3 ГГц и выше, когда становятся существенными общие размеры компьютера, определяющие максимальную длину межсоединения. Применение сверхпроводников в быстродействующих БИС даст возможность решить некоторые проблемы токовой разводки.

Все элементы межсоединений условно можно разделить на группы:

— внутрикристалльные локальные связи, соединяющие элементы ИС.

— внутрикристалльные межблочные связи, соединяющие отдельные узлы микросхемы, например, регистры хранения информации основного ЗУ и кэш-памяти;

— микрополосковые внешние межсоединения большой длины, например, межкристалльные либо межплатовые соединения.

Возможна также другая условная классификация полосковых линий и межсоединений, основанная на физических принципах [7]:

— короткие линии связи, когда  $L \ll \lambda$ , где  $L$  — длина линии,  $\lambda$  — длина электромагнитной волны. В этом случае для описания электрических свойств линии можно использовать сосредоточенную  $R$ — $C$  модель;

— длинные линии связи, когда  $L \gg \lambda$ . Здесь возможны два случая. Если  $Z/R \ll \lambda$  ( $Z$  — характеристический импеданс линии или волновое сопротивление,  $R$  — погонное сопротивление линии), то это полосковая линия, и она описывается телеграфными уравнениями и рассматривается в рамках модели распределенной проводящей линии. Если  $Z/R \gg \lambda$ , то это передающая волноводная линия, и ее локальные связи описываются сосредоточенной  $R$ — $C$  моделью. Межблочные соединения, как правило, соответствуют модели распределенной линии связи, либо сосредоточен-

ной модели. Межкристалльные и междулатовые полосковые линии могут описываться моделью как распределенной линии, так и передающей волноводной линии.

Роль локальных связей в задержке сигнала незначительна, так как при миниатюризации элементов их размеры уменьшаются пропорционально увеличению степени интеграции микросхемы. Значение межблочных соединений в общем времени задержки при переходе к субмикронным размерам элементов значительно зависит от величины их входного и выходного сопротивления. Поэтому следует ожидать, что для традиционной кремниевой технологии применение сверхпроводников не даст значительных результатов. Увеличение быстродействия за счет снижения сопротивления разводки при использовании ВТСП можно получить только в элементах эмиттерной логики, изготовленных на гетеропереходах InGaAs/InAlAs. Что касается межкристалльных соединений, то при уменьшении общих размеров вычислительной машины и соответственно ширины передающих линии, наибольшее быстродействие при использовании стандартного волнового сопротивления линии 50 Ом может быть получено за счет применения сверхпроводниковой разводки. Кроме того, значительно упрощается технология изготовления БИС — уменьшается количество слоев разводки. Применение сверхпроводниковой разводки обеспечит увеличение быстродействия и многослойных высокопроизводительных ЭВМ.

*Приборы и материалы полупроводниковой технологии при низких температурах.* Большинство устройств низкотемпературной полупроводниковой электроники изготавливаются по кремниевой технологии [8]. Полевые транзисторы в различных модификациях (МОП, КМОП и др.) хорошо работают при низких температурах. Примерно до 40 К сохраняется общая тенденция измерения характеристик этих устройств, т.е. для анализа поведения кремниевых приборов в этой области температур можно применять стандартные модели.

При более низких температурах из-за эффекта «вымораживания» носителей характеристики кремниевых приборов ухудшаются. Правда, большинство кремниевых МОП-приборов работают и при температурах, меньших 40 К, однако при этом требуются специальные средства и методы для устранения нежелательных эффектов.

Приборы из таких материалов, как GaAs, или другие типы приборов, например модуляционно-легированные МОП-транзисторы, менее чувствительны к вымораживанию и могут работать вплоть до гелиевых температур, причем при охлаждении их характеристики обычно улучшаются.

Для низкотемпературных приборов пригоден и германий, однако его неперспективность с коммерческой точки зрения привела к тому, что интерес разработчиков к нему упал и количество исследований значительно сократилось.

Стандартные монопереходные биполярные кремниевые транзисторы представляются неперспективными для работы при низких температурах из-за недостаточно эффективной инжекции носителей из эмиттера. Деграция начинается при температурах более высоких по сравнению с температурами, при которых проявляется эффект «вымораживания», а выходной сигнал ухудшается при температурах жидкого азота. Ухудшение характеристик биполярных транзисторов можно предотвратить, изменяя конструкцию прибора или применяя специальные материалы [8]: например, транзистор на гетеропереходе InGaAs/InAlAs работает при температурах до 4 К. Поэтому несмотря на то, что технология получения таких приборов еще только развивается, они представляют значительный интерес для разработчиков элементов низкотемпературной электроники.

Наиболее широко используемыми материалами в электронике для токовой разводки являются алюминий, металлосилициды (в частности  $WSi_2$ ), полисиликаты. При комнатной температуре их удельное сопротивление составляет  $3 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ ,  $30 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$  и  $500 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ , соответственно. При понижении температуры до 77 К сопротивление алюминия падает до  $0,5 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ . Снижение температуры до температуры кипения азота приводит к уменьшению влияния электромиграции, термодиффузии и других нежелательных процессов, ограничивающих применение некоторых материалов при комнатной температуре. В частности, при низких температурах возможно использование меди, сопротивление которой при комнатной температуре составляет  $1,7 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ , а при 77 К —  $0,72 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ .

*Сверхпроводящие межсоединения на кристалле.* Уменьшение размеров элементов интегральной схемы увеличивает их быстродействие. При этом увеличение уровня интеграции и совершенствование технологии материалов обуславливают тенденцию к увеличению общего размера площади ИС и соответственно увеличению длины межсоединений. В общем случае время задержки сигнала будет определяться длиной соединяющей линии и параметрами входа и выхода элементов микросхемы.

В БИС, рассчитанных на работу в диапазоне 1—3 ГГц, размеры соединений на кристалле не должны превышать длину электромагнитной волны, и для анализа задержки сигналов на внутрикристалльных межсоединениях можно использовать модель распределенной линии связи (рис.1). Управляющий элемент характеризуется выходным напряжением  $V_s$  и сопротивлением  $R_a$ , а вход следующего вентиля — эквивалентной емкостью  $C_g$ . Сама распределенная линия имеет сопротивление  $R_l$ , емкость  $C_l$  и индуктивность  $L$ . Имеются различные приближенные формулы для определения величины времени задержки сигнала на распределенной линии [9—11]. Так при условии  $C_g = \infty$  время нарастания выходного сигнала

ла  $V_0(t)$  от нуля до величины, составляющей 90% от  $V_s$ , аппроксимируется формулой  $\tau_r = C_1 [2\pi(R_d + R_L/2)^2 - G_L^{-1}]^{1/2}$ , где  $G_L^{-1} = (L_1/C_1)$  — волновой импеданс распределенной линии. Время нарастания сигнала до 50% от  $V_s$  определяется более простым выражением:  $\tau_d = (R_d + R_L/2)C_1$  [9].

Представляет интерес масштабирование времен задержки сигнала на вентиле и соединяющей линии при уменьшении характерных литографических размеров в  $S$  раз. Детальные расчеты параметров межсоединений (емкости и индуктивности) в зависимости от характера и структуры изолирующих областей и подложек проводятся в работе [12].

Для проведения качественного анализа необходимо принять предположения, что задержка сигнала на межсоединении определяется емкостью и сопротивлением линии, т.е.  $\tau_L \approx R_L C_L$  [9]. При этом  $R_L = \rho L/WH$ ,  $C_L = \epsilon \epsilon_0 L(W/X_{ox} + H/L_s)$ , где  $L$ ,  $W$ ,  $H$  — длина, ширина и толщина линии связи,  $X_{ox}$  — толщина оксида,  $L_s$  — расстояние между соседними линиями,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость подложки.

Для дальнейшего масштабирования выбирается следующее геометрическое соотношение размеров:  $L_s = W = l$ ,  $X_{ox} = 0,35l$ ,  $H = 0,25l$ , где  $l$  — характерный литографический параметр. В этом случае  $\tau_L \approx 5,53 \epsilon \epsilon_0 \rho A/l^2$  [9]. Максимальная длина разводки определяется площадью  $A$  микросхемы либо кристалла, т.е.  $L_{max} \approx \sqrt{A}$ . Таким образом, время задержки на длинной линии связи возрастает в  $S^2 \cdot S_c^2$  раз при уменьшении литографического размера в  $S$  раз и увеличении размера микросхемы в  $S_c$  раз. В то же время быстродействие элемента микросхемы, например МОП-транзистора, возрастает в  $S$  раз за счет уменьшения длины канала. В результате этого для микросхем с субнаносекундным временем задержки на вентилях при большой степени интеграции и субмикронном литографическом разрешении, время задержки сигнала на длинных линиях связи может превысить время переключения отдельного вентиля даже при использовании низкоомных проводников типа Al. Это иллюстрируется графиками, приведенными на рис.2 [9].

ВТСП токовые передающие линии малой ширины, полученные лазерным напылением, имеют большие значения критического тока —  $J_c \sim 10^7$  А/см<sup>2</sup> при температуре 77К [13]. Получение линий сверхпроводника шириной 1 мкм и менее технологически затруднено, так как травление и последующий отжиг приводят к сильной деградации сверхпроводящих свойств пленки. Например, сухое лазерное травление пленок ВТСП, выращенных на подложках SrTiO<sub>3</sub> и ZrO<sub>2</sub>, приводило к снижению температуры перехода и уменьшению критического тока. Если до травления ВТСП пленка (Y<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>) на ZrO<sub>2</sub> подложке имела критическую температуру перехода  $T_c = 81$ К, то после проведения лазерного травления до топологического размера  $\sim 1,6$  мкм величина  $T_c$  уменьшалась на 4 градуса, а при тополо-

гическом размере  $\sim 0,6$  мкм снижалась до 69К. Критический ток при этом имел величину  $4 \cdot 10^6$  А/см<sup>2</sup> при температуре 20К и  $10^5$  А/см<sup>2</sup> — при 50К. Качественно такие же результаты были получены также для пленок ВТСП на подложках SrTiO<sub>3</sub> [13]. Наблюдалась зависимость деградации свойств сверхпроводника после травления от конечных размеров зерен напыленных пленок.

Таким образом, применение ВТСП в длинных токовых линиях связи полупроводниковых микросхем будет существенно зависеть от уровня технологии их изготовления. Кроме того, необходимо провести исследования изменения контактного сопротивления в месте соединения сверхпроводника с полупроводниковым элементом, которое может также значительно влиять на общую длительность задержки сигнала. С этой точки зрения для пассивной гибридизации могут представлять интерес разрабатываемые новые полупроводниковые устройства — резонансные туннельные транзисторы, имеющие вертикальную пленочную геометрию и характеризующиеся субпикосекундными временами переключения [10]. Однако такое высокое быстродействие еще больше усугубляет проблему задержки сигнала на межсоединениях и делает применение ВТСП для скоростных СБИС более актуальным [14, 15]. Для решения этой проблемы необходимо использовать изолирующую туннельную прослойку, отделяющую слой полупроводника от сверхпроводящих электродов истока и стока. В традиционных полупроводниковых элементах дискретной электроники требуется непосредственный контакт проводника с полупроводником.

*Сверхпроводящие передающие линии.* Для исследования распространения микроволновых сигналов по открытым сверхпроводящим линиям передачи проводился сравнительный анализ распространения пикосекундных импульсов по копланарным волноводным линиям из индия в нормальном и сверхпроводящем состоянии [16]. Копланарная линия передачи состояла из двух полосок индия толщиной 500 нм и шириной 50 мкм на расстоянии 50 мкм друг от друга, нанесенных на кристалл LiTaO<sub>3</sub> толщиной 500 мкм. Для возбуждения субпикосекундных импульсов использовался GaAs фотопроводниковый переключатель, возбуждаемый лазерным импульсом 80 фс. Второй лазерный луч использовался для детектирования индуцируемого эффекта двулучепреломления в кристалле при прохождении электрического сигнала.

Аналогичные эксперименты были выполнены с передающими копланарными линиями из Y-Ba-Cu-O, выполненными на кристалле LaAlO<sub>3</sub> [17]. Пленки YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> имели критический ток  $J_c = 10^6$  А/см<sup>2</sup> при  $T = 75$ К ( $T_c = 93$ К). Ширина линий была 20 мкм, а расстояние между ними 10 мкм. Схема эксперимента изображена на рис.3. Для возбуждения импульсов использовалось фотопроводниковое устройство из кремния на сапфире, выполненное совместно с золотой копланарной линией таких же размеров, как и сверхпроводящая. Для детектирования сигналов

использовались два кристалла  $\text{LiTaO}_3$  размером ( $200 \times 400$  мкм) с высокоотражающим покрытием, расположенных на расстоянии 3 мм вдоль линии. После возбуждения электрического сигнала и прохождения через первый кристалл импульс имел острый пик полушириной 1,4 пс, а после второго — 2,6 пс. Кроме того, на хвосте импульса наблюдались биения (рис.4). На копланарной линии из Au аналогичных размеров ( $2000 \text{ \AA} \times 20$  мкм, ширина зазора 10 мкм) при температуре 10К уширение основного пика было таким же (2,6 пс), хотя скорость прохождения сигнала была другой и биения на хвосте импульса меньше, что объясняется большим затуханием высокочастотных составляющих. Это же подтвердил Фурье-анализ спектра проходящих сигналов.

Наблюдавшееся уширение импульса объяснялось мдовой дисперсией и радиационными потерями, а не наличием резистивных потерь. Оба эти явления — следствие широкого спектра импульса и сравнимых с длиной волны размеров копланарной линии.

При изменении температуры до 50К форма эволюционировавшего импульса практически не менялась, при температуре 70 К основной пик изменялся мало, но биения на хвосте импульса уменьшились, указывая на затухание высоких частот. При более высоких температурах затухание и дисперсия электрического импульса были значительными (см. рис.4). Для проверки влияния внешнего поля на характер распространения импульса включалось магнитное поле 500 Гс, что гораздо выше первого критического поля  $H_{c1}$ . Не было обнаружено никакого увеличения затухания при низких температурах. Но на образцах с увеличенной неровностью поверхности до нескольких сотен ангстрем наблюдалось увеличение потерь, особенно при  $T > 30\text{К}$ . Слабое влияние магнитного поля объяснялось слабым крипом магнитного потока [15] при полях  $H_{c1} < H < H_{c2}$  из-за закрепления вихрей Абрикосова на микронеоднородностях.

### Аналоговые устройства СВЧ на ВТСП

Сверхпроводниковая дискретная электроника основывается на туннельных джозефсоновских переходах и не имеет в отличие от полупроводниковой такого элемента как транзистор. Это усложняет структуру базовых элементов логики и памяти в связи с необходимостью надежной развязки входа и выхода вентиля. Полупроводниковые же элементы работают при больших напряжениях и рассеивают на два порядка большую энергию, чем низкотемпературные сверхпроводниковые элементы. Это затрудняет повышение степени интеграции ИС. Поэтому представляет интерес возможность изготовления активных элементов на сверхпроводниках и полупроводниках. Например, был получен МОП-полевой транзистор с использованием низкотемпературных сверхпроводников [10, 18, 19]. Затвор модулирует сверхпроводящий ток между истоком

и стоком, который возникает в прилежащем к сверхпроводящим контактам слое полупроводника. Изготовленный прибор имел время задержки 20 пс, что соответствовало лучшим достигнутым временам для обычных полупроводниковых КМОП-транзисторов.

Помимо потенциальных возможностей развития активных устройств сверхпроводящей электроники с использованием ВТСП, совершенно очевидна возможность быстрого прогресса в применении их для интегральной СВЧ-электроники, в которой не очень существенны технологические ограничения из-за высокотемпературного отжига. Многие устройства — фильтры, мультиплексоры, линии задержки, резонаторы и др. могут быть усовершенствованы с применением ВТСП, а их размеры — существенно (на один-два порядка) уменьшены без ухудшения основных характеристик. Это важно при использовании данных устройств в космических объектах, где на их долю приходится 50% объема коммуникаций. Возможны также и новые применения ВТСП для создания микроволновых переключателей, фазосдвигающих устройств, управляемых аттенуаторов, антенн. Весьма интересным представляется исследование экранирующих свойств сверхпроводника с помощью замедленных электромагнитных волн, распространяющихся в феррите [20]. Магнитоэлектрические волны имеют хорошо изученные спектры и АЧХ, благодаря чему сравнительный анализ их характеристик распространения в ферритовой пленке с различными покрытиями, включая ВТСП, позволяет судить о характере поглощения микроволнового излучения сверхпроводником. Таким путем было показано, что поглощение микроволнового излучения обусловлено электронной системой нормальной фазы, присутствующей в керамических образцах и в напыленных пленках ВТСП.

Рассмотрим теперь примеры реализации некоторых аналоговых устройств микроволнового диапазона на ВТСП.

**Резонаторы.** Конструкция копланарных микроволновых линий позволяет изготовление полосковых СВЧ — устройств в одном слое ВТСП. Высокодобротный резонатор такого типа был изготовлен на пленке Y-Ba-Cu-O, выращенной на подложке  $\text{LaAlO}_3$  [21]. Преимущество  $\text{LaAlO}_3$  перед  $\text{MgO}$  в низком значении диэлектрических потерь и в более высоком качестве получаемых на нем ВТСП пленок. Микрополосковый резонатор может служить частью более сложной системы фильтров СВЧ диапазона, работающей при 77К. Пленка Y-Ba-Cu-O наносилась на диэлектрическую подложку лазерным напылением, а рисунок формировался с помощью жидкостного травления. Резонатор представлял собой замкнутую микрополосковую линию длиной 6,5 мм и шириной 74 мкм (рис.5). Длина резонатора соответствовала половине длины волны при рабочей частоте  $f = 6,5$  ГГц. Измеренная на этой частоте добротность резонатора составляла  $Q = 3850 \pm 180$  при 77К. Аналогичная модель

резонатора на медных микрополосках имела добротность в сорок три раза меньше при той же температуре. Указанная величина добротности ВТСП резонатора соответствовала величине потерь 0,55 дБ/м и поверхностному сопротивлению  $R_s = 0,14 \cdot 10^{-3}$  Ом. Не было обнаружено ухудшения свойств резонатора при увеличении СВЧ-мощности до значений  $P \cong 1,5 \cdot 10^{-3}$  Вт и в слабых магнитных полях.

**Фильтры.** Конструкция четырехполюсного полосового фильтра Чебышева, изготовленного напылением YBCO на подложку  $LaAlO_3$ , и результаты испытаний приведены на рис. 6, а, б. [22]. Потери в полосе пропускания не превышают 0,3 дБ, т.е. благодаря применению ВТСП в СВЧ элементах отсутствуют потери на рабочей частоте. Затухание вне полосы пропускания составляло 50 дБ при резкой форме АЧХ. Аналогичный фильтр на золотых микрополосках имел затухание в полосе пропускания 3—5 дБ в зависимости от температуры.

Подобные фильтры с использованием ВТСП материалов позволяют ставить их непосредственно на приемном тракте СВЧ систем, работающих при температуре жидкого азота. Основные проблемы, которые предстоит решить — получение бездефектных, стабильных во времени ВТСП пленок, которые позволяют применение литографических процессов формирования рисунка без ухудшения их характеристик.

**Линии задержки (ЛЗ).** Скорость распространения электромагнитной волны по сверхпроводящей микрополоске может значительно уменьшаться при толщинах сверхпроводника, меньших лондонской глубины экранировки, что в сочетании с малыми резистивными потерями делает ВТСП перспективными для применения в ЛЗ. Используя длинный меандровый микрополосок с очень тонким диэлектриком можно достичь значительной задержки ( $\lambda$  радиан) в частотном диапазоне от 10 до 100 ГГц. ЛЗ на ВТСП может служить также фазовращателем в петле обратной связи. В этом случае все три типа приборов на ВТСП — резонатор, ЛЗ и межсоединение могут использоваться для создания высокооборотного низкочастотного генератора (рис.7).

Для создания более сложных функциональных элементов необходимы нелинейные элементы на ВТСП пленках и полупроводниковых материалах или применение джозефсоновских переходов, но их получение пока представляет значительные технологические трудности.

Выходом из создавшейся ситуации может стать использование гибридных ВТСП элементов и магнитных диэлектриков. Благодаря этому могут быть созданы нелинейные активные устройства, такие как конвольверы, корреляторы, принцип работы которых основан на взаимодействии вихревой магнитной структуры сверхпроводящих пленок, находящихся в резистивном состоянии с магнитостатическими и магнитоупругими волнами, распространяющимися в феррите. Теоретические расчеты предсказывают возможность на-

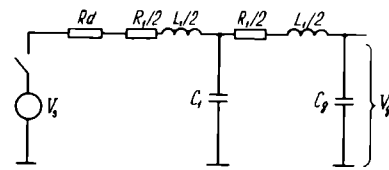


Рис.1. Эквивалентная схема линии связи

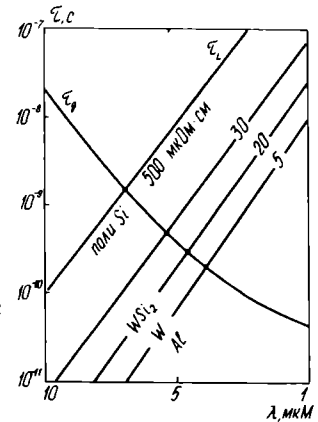


Рис. 2. Время задержки на элементе и на межсоединении в зависимости от минимального технологического размера

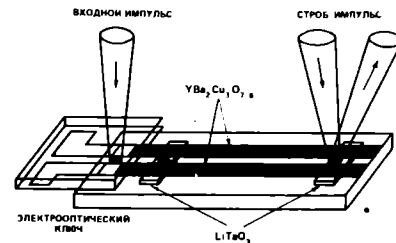


Рис. 3. Схема эксперимента по измерению прохождения пикосекундных импульсов по микрополосковой линии Y-Ba-Cu-O

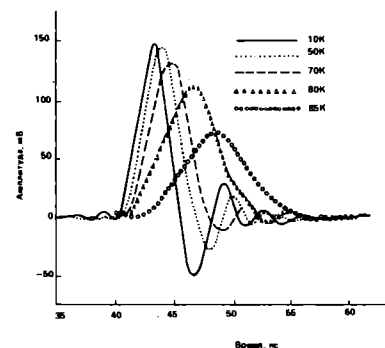


Рис. 4. Форма электрических импульсов прошедших по микрополосковой линии при разных температурах

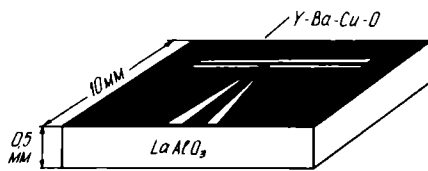


Рис.5. Конструкция копланарного полуволнового резонатора на Y-Ba-Cu-O микрополосках

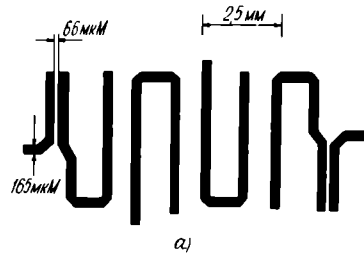


Рис. 6. Четырехполюсный полосовый фильтр Чебышева: а — конструкция фильтра на Y-Ba-Cu-O микрополосках; б — амплитудно-частотная характеристика фильтра 77К

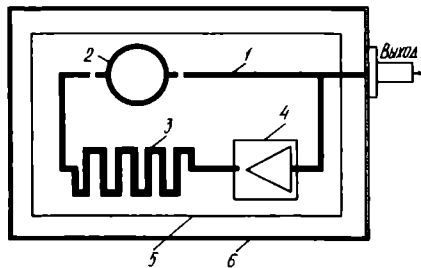
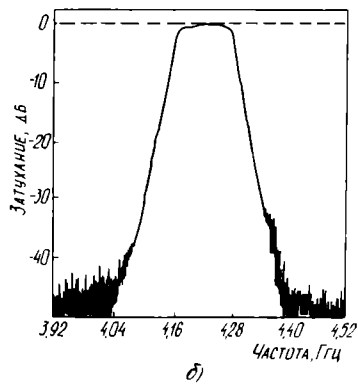


Рис. 7. Конструкция гибридного СВЧ генератора: 1 — ВТСП микрополосок; 2 — ВТСП кольцевой резонатор; 3 — ВТСП линия задержки; 4 — GaAs усилитель; 5 — подложка; 6 — корпус

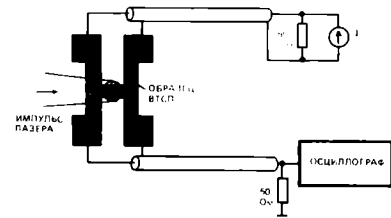


Рис.8. Схема эксперимента по переключению ВТСП мостика лазерным импульсом

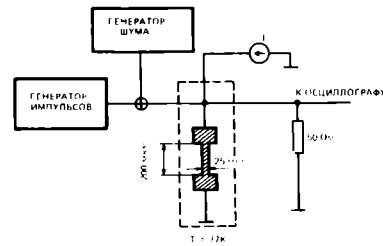


Рис.9. Макет дискриминатора шума для цифровых схем на основе ВТСП микромостика

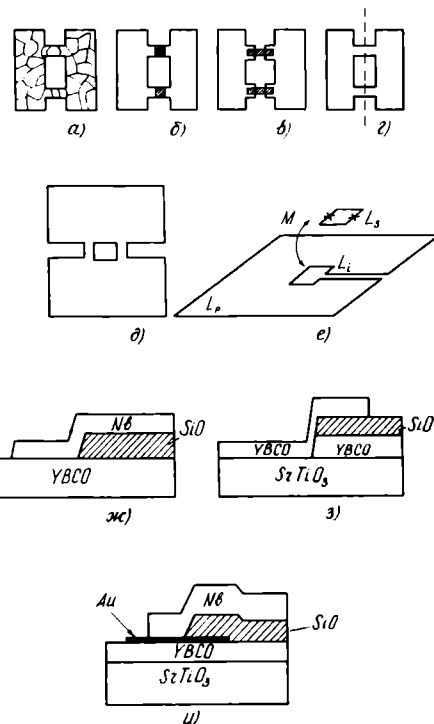


Рис.10. Конструкции джозефсоновских переходов на основе ВТСП пленок

блюдения таких эффектов как увлечение магнитного потока замедленной электромагнитной волной, а также принципиальную возможность усиления замедленной ЭМВ движущейся под действием транспортного тока вихревой решетки при величинах тока, не превышающих критический ток [23, 24].

*Токовые переключатели на ВТСП.* Переход сверхпроводника в нормальное состояние происходит в узком температурном интервале вблизи температуры сверхпроводящего перехода. Этот переход может индуцироваться микроволновым и инфракрасным излучением, транспортным током, магнитным полем. Время перехода в нормальное состояние тонких ВТСП пленок может быть очень малым, что может быть использовано для создания скоростных бесконтактных переключателей тока, для входной защиты РЛС, для нелинейных шумоподавителей в скоростных вычислительных устройствах. Рассмотрим некоторые примеры реализации таких переключателей и достигнутые параметры.

В работе [25] исследовался процесс переключения ВТСП из сверхпроводящего в нормальное состояние под действием лазерного ИК излучения. Импульс света от неодимового твердотельного (иттрий-алюминиевый гранат) лазера ( $\lambda = 1,06$  мкм,  $P = 100$  мкДж/импульс, длительность 100–150 пс, частота повторения 50–1000 Гц, диаметр пятна фокусировки 3 мм) освещал ВТСП пленку  $YBa_2Cu_3O_7$  толщиной 0,7 мкм, изготовленную магнетронным напылением (рис.8) Переход в нормальное состояние осуществлялся менее, чем за 2 нс. Глубина поглощения, измеренная спектрофотометром, составляла 120 нм и слабо зависела от длины волны  $\lambda$ . Оценка времени перестройки тока в поверхностном слое толщиной 100 нм с учетом электромагнитного коэффициента диффузии ( $D = \rho/\mu_0 = 10^5$  см<sup>2</sup>/с, где  $\rho = 1$  мОм·см — нормальное сопротивление ВТСП,  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума) дает величину 1 фс, что несравненно меньше экспериментального времени переключения. Коэффициент равновесной тепловой диффузии для исследуемой ВТСП пленки по оценкам составлял при температуре 25К — 0,1 Вт/см·К, поэтому за две наносекунды тепло может распространиться на глубину 60 нм, что существенно меньше толщины пленки (700 нм). Таким образом, механизм перехода ВТСП пленки в резистивное состояние не объясняется ни задержкой электромагнитной перестройки тока, вытесненного к поверхности в результате мейснеровского экранирования на лондоновской глубине  $\lambda_L = 0,2$  мкм, ни равновесным распространением тепла на всю толщину пленки. В связи с этим предполагается, что возможен неравновесный механизм распространения поглощенной энергии в виде волны пространственного фотоиндуцированного заряда, время диффузии которого мало, а время релаксации к тепловому равновесию с решеткой кристалла составляет несколько пикосекунд.

Возможны также другие типы пленочных ВТСП переключателей, например, основанные на подавлении слабых сверхпроводящих связей с помощью излучения. При освещении слабой связи электромагнитным излучением, частота которого превышает ширину сверхпроводящей щели  $\hbar\omega \geq 2\Delta$ , в результате эффекта распаривания и увлечения неравновесных квазичастиц возникает состояние с подавлением сверхпроводимости. В работе [26] сообщалось о создании макета нелинейного токового переключателя, который можно использовать для подавления шума в цифровых сетях. Его схема представлена на рис.9. Пленка ВТСП из  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ , приготовленная методом лазерного напыления имела вид микромостика с размерами  $200 \times 25 \times 0,1$  мкм<sup>3</sup>. Присоединенная параллельно нагрузке передающей линии ( $Z_n = 50$  Ом) ВТСП пленка обеспечивала коэффициент передачи  $t = 2R_s / (2R_s + Z_n)$  где  $R_s = r_s + r_c$ ,  $r_s$  — сопротивление микромостика,  $r_c$  — контактное сопротивление ( $2r_c \cong 0,5$  Ом). В сверхпроводящем состоянии, когда  $r_s \ll r_c$ , коэффициент пропускания мал —  $t \cong 0,02$ . Если импульс тока через сверхпроводник превышает критическую величину  $I > I_c$ , то в результате перехода в нормальное состояние из-за большого сопротивления мостика  $r_s \gg Z_n$  коэффициент пропускания стремится к 100%. Так как температурный диапазон перехода ВТСП в нормальное состояние имеет определенную величину, то коэффициент передачи ( $V_{out}/V_m = t$ , где  $V_{out}$ ,  $V_m$  — выходное и входное напряжения) имеет конечную область нарастания по входному напряжению ( $V_m$ ). В случае импульсов с временем нарастания 200 пс время переключения ВТСП перехода при температуре 70К составляло менее одной нс, при этом  $t = 75\%$ . Дополнительным синусоидальным сигналом имитировалось наличие шума амплитудой 20 мВ и частотой 100 МГц. После прохождения импульса с шумовым фоном малый сигнал («шум») не проходил на выход. Это показывает, что каскад нелинейных токовых переключателей может использоваться для подавления шума коротких импульсов большой амплитуды, что может найти применение в цифровых быстродействующих сетях. Экспериментально достигнутое быстродействие в описанной схеме — 200 Мбит/с. Оценка предельного быстродействия токовых переключателей дает время переключения  $\sim 10^{-12}$  с [40].

*Джозефсоновские структуры на ВТСП.* По технологии изготовления керамические образцы и поликристаллические пленки ВТСП представляют собой отдельные сверхпроводящие гранулы, объединенные в единую систему во время отжига. Тем самым ВТСП можно рассматривать как систему из многих сверхпроводящих частиц, объединенных слабыми джозефсоновскими связями (рис.10, а). Целый ряд работ [27–29] посвящен детальному исследованию причин ограничения измеряемой плотности критического тока в реальных пленочных структурах ВТСП. С помощью



изучения магнитных и температурных зависимостей критического тока можно установить как тип слабой связи (SNS или SIS), так и оценить характерные размеры сверхпроводящих гранул.

В сверхпроводниковой электронике используются явления квантования магнитного потока в контуре сверхпроводника и свойства переходов Джозефсона. В первую очередь это относится к сверхпроводящим квантовым магнитометрам — СКВИДам. Основным элементом СКВИДа является контур из сверхпроводника с одним или двумя переходами Джозефсона. Магнитный поток квантуется и характеристики контура периодически зависят от внешнего магнитного поля  $\Delta H$  с периодом  $\Delta H S = \Phi_0$ , где  $S$  — площадь контура. Первоначально для формирования участка в пленке Y-Ba-Cu-O с пониженной плотностью критического тока применялась имплантация ионов кислорода [30] (рис. 10, б, в). При ширине пленочных мостиков ВТСП  $w = 17$  мкм критический ток при 4,2К составлял 150 мкА, а амплитуда осцилляций напряжения на СКВИДе 1—5 мкВ. При  $T = 40$ К разрешение СКВИДа по магнитному потоку составляло  $\delta\Phi \cong 5 \cdot 10^{-5} \Phi_0 \text{ Гц}^{-1/2}$ .

Несколько лучше было разрешение СКВИДа, в котором пленки Y-Ba-Cu-O с шириной мостиков 5 мкм изготавливались газофазным осаждением [31] (рис. 10, з), которое составляло  $\delta\Phi = 1,5 \cdot 10^{-5} \Phi_0 \text{ Гц}^{-1/2}$  (по энергии  $\delta\epsilon \cong 740h$ ). Пример гибридной схемы ВТСП СКВИДа с входной приемной катушкой также из ВТСП показан на рис. 10, д, е [32]. СКВИД на основе мостиков из Tl-Ba-Ca-Cu-O и входная катушка из Y-Ba-Cu-O изготавливались методом лазерного осаждения на разных подложках. При наложении двух кристаллов получен коэффициент связи  $k \cong 0,81$ , что обеспечивало чувствительность к магнитному полю  $\delta H \cong 9 \text{ пТ Гц}^{-1/2}$  при 77К, в полосе частот 1 кГц.

Использование микромостиков Y-Ba-Cu-O позволяет реализовать также функциональные устройства СВЧ-диапазона. Так на микромостике с параметрами: критический ток 560 мкА, нормальное сопротивление 1 Ом, при температуре 77К наблюдалось смещение частот  $f_1 = 76 \text{ ГГц}$  и  $f_2 = 1,69 \text{ ГГц}$  на 51-й гармонике и получен сигнал промежуточной частоты  $f_p = 150 \text{ МГц}$  [33].

Приведенные примеры показывают возможность использования ВТСП микромостиков в качестве джозефсоновских переходов простейшей конструкции. Из-за случайного характера слабых связей в микромостике характеристики таких переходов невоспроизводимы и далеки от предельных возможностей высокотемпературных сверхпроводников. В связи с этим представляют интерес попытки изготовления искусственных туннельных и джозефсоновских структур на ВТСП. В туннельных структурах на ВТСП привлекает перспектива увеличения энергетической щели до величины  $2\Delta \approx 30 \text{ мВ}$  при  $T = 4,2\text{К}$ , что на порядок выше, чем у низкотемпературных сверхпроводников.

В первых экспериментах по изготовлению туннельных переходов на ВТСП в качестве базового электрода использовалась керамика La-Sr-Cu-O и Y-Ba-Cu-O [34]. Поверхность керамики обрабатывалась в кислородной плазме при  $T = 350^\circ\text{C}$  в течение 60 мин, затем наносился верхний электрод из Nb толщиной  $d = 400 \text{ нм}$ . Размеры полученных переходов  $2,5 \times 2,5 \text{ мм}^2$ . Измеренные зависимости  $dV/dI$  от  $V$  показали наличие особенностей на ВАХ при значениях  $2\Delta/kT_c = 5,18$  и  $9,9$  для La- и Y-керамики соответственно. Полученные переходы нестабильны при термоциклировании, возможно из-за происходящих при этом необратимых нарушений туннельного барьера (рис. 10, ж).

Интересна конструкция джозефсоновских переходов, формируемых на торцевой пленочной ВТСП структуре [35]. Ступенька рельефа на структуре Y-Ba-Cu-O/изолятор формируется методом ионного травления. В качестве изолятора используется  $\text{BaF}_2$  или  $\text{PbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Затем наносится верхняя пленка Y-Ba-Cu-O. Данная конструкция (рис. 10, з) позволяет при ширине переходов 2—25 мкм получить торцевой джозефсоновский контакт ультрамалой площади с критическим током 0,05—1 мА в диапазоне температур 4,2—77К.

Была предпринята попытка изготовления пленочных джозефсоновских переходов типа SNS [36]. Методом радиочастотного распыления на подложке  $\text{SrTiO}_3$  формировалась структура Y-Ba-Cu-O/Au/Nb (рис. 10, и). Толщины слоев составляли соответственно 820 нм, 30 нм и 220 нм. Напыление через маски позволило сформировать переход площадью  $5,6 \cdot 10^3 \text{ см}^2$  с критическим током 27 мА при 4,2К. Полученный переход SNS-типа обладал джозефсоновскими свойствами, периодической зависимостью критического тока от магнитного поля и наличием ступенек на ВАХ при воздействии СВЧ облучения. В работе подчеркивается важность предварительной обработки поверхности ВТСП пленки в кислородной плазме в течение 1 часа, так как исходный поверхностный слой не обладает сверхпроводящими свойствами.

Возможность изготовления многослойной пленочной структуры на основе ВТСП продемонстрирована в работе [37]. Методом лазерного распыления на подложку кремния наносились последовательно слои Y-Ba-Cu-O и диэлектрическая пленка Y стабилизированного  $\text{ZrO}_2$ . Показано, что пленка этого изолятора толщиной 10 нм полностью предотвращает диффузию между слоями ВТСП, а также между ВТСП и подложкой. Технология изготовления одноуровневых структур на основе ВТСП пленок методами интегральной технологии описана в работе [38].

Таким образом, первые опыты по созданию джозефсоновских переходов на основе многослойных пленочных ВТСП структур показывают принципиальную возможность их изготовления, но также и необходимость решения ряда проблем их практического применения: например, формирование стабильно воспроизводимого туннельно-

го барьера для ВТСП джозефсоновских переходов и стабильных диэлектрических слоев, технологически совместимых с ВТСП пленками.

Проведенный анализ исследовательских работ в области создания интегральных схем, в которых используются ВТСП, показывает, что их применение не вышло за рамки лабораторных исследований. В области дискретной электроники наиболее вероятно применение ВТСП в первую очередь в широких шинах токовой разводки (шины питания и синхронизации многокомпонентных сверхскоростных систем и межплатовые соединения), для которых требования к критическим токам не такие жесткие, а роль волноводной дисперсии невелика. Конкурентами длинных микрополосковых линий на ВТСП могут стать волоконно-оптические линии связи, однако применение последних потребует большого количества оптоэлектрических преобразователей, что может оказаться невыгодным. Вопрос о коммерческой выгоде уменьшения количества слоев медной токовой разводки при переходе к сверхпроводниковой технологии остается открытым и требует дополнительных исследований, особенно это касается внутрикристаллической разводки, так как требования к сверхпроводящим свойствам субмикронных шин более жесткие.

Подобные исследования необходимо проводить в конкретных полупроводниковых СБИС: так, например, фирма Quard Design Technology заключила контракт на исследование возможности повышения быстродействия микропроцессора Motorola 68040 за счет увеличения плотности упаковки полупроводниковых элементов СБИС с применением ВТСП межсоединений [39].

Замена проводников на ВТСП в отрезках волноводных линий, используемых в качестве резонаторов и меандровых ЛЗ в аналоговых ИС, позволит значительно улучшить параметры твердотельных микроволновых ИС в частотном диапазоне до 100 ГГц, что очень важно для аэрокосмической электроники.

Основной проблемой активной гибридизации ВТСП с полупроводниковыми элементами является трудность совмещения обеих технологий из-за необходимости высокотемпературного окисления металлооксидных соединений. Успехи этого направления целиком зависят от успехов новых технологий (см. например [40]). Это же касается активных элементов на ВТСП, то низкая воспроизводимость свойств не позволяет говорить о каком-либо промышленном их применении в ближайшее время. Тем не менее большие перспективы их потенциального применения стимулируют исследования и поиск новых технологий их создания. В частности, например, обсуждается также возможность получения пары туннельных контактов на ВТСП пленке, выращенной на монокристаллической подложке со ступенькой, на которой формируются две 90° межкристаллические границы ВТСП (A. Braginsky et al. ISI, Germany).

В практическом плане интересны свойства вихревых решеток монокристаллических пленок ВТСП, образующихся в магнитном поле, связан-

ные с высокой подвижностью вихрей Абрикосова, и нелинейные явления взаимодействия вихрей с электромагнитным излучением. Однако требуются значительные предварительные фундаментальные исследования этих свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сверхпроводимость (тематический выпуск) — ТИИЭР, 1989, т.77, № 8.
2. Lange F., High F. Temperature superconductors in electronics. — Thin. Sol. Films, 1988, v.163, p. 181—188.
3. Попков А.Ф. Физические свойства и возможные области применения высокотемпературных сверхпроводников — сб. Высокотемпературная сверхпроводимость (ВНИИМИ), 1989, вып.1, с. 5—17.
4. Валиев К.А., Орликовский А.А., Васильев А.Г., Лукичев В.Ф. — Микроэлектроника, 1990, т.19, № 20, с. 116.
5. Новиков А.А., Ченцов Р.А. О перспективах использования сверхпроводимости в вычислительной технике — Микроэлектроника, 1991, т. 20, № 1, с. 64—72.
6. Никишкин В.А. Оптические детекторы с использованием ВТСП. — Обзор. Высокотемпературная сверхпроводимость, МЦНТИ, 1990.
7. Keyes R.W. — Pros. IEEE, 1981, v.63, p. 267.
8. Kirshman K. Low-Temperature electronics. — Circuits and devices. 1990, v.6, N 2, p. 12—24.
9. Saraswat K.S., Mahamadi T. Effect of interconnects on the time delay of VLSI circuits. — IEEE Trans. on Electron Dev., 1982, ED-29, N 4, p. 645—650.
10. Bigel B.A., Singh R., Radpour F. Ultra high-Tc superconductor switching devices. — SPIE, v.958, High-Tc Superconductivity: Thin films and Devices, 1988, p.3—9.
11. Hilbert C., Gibson D.A., Herrel D. A comparison of lossy and superconducting interconnect for computers. — IEEE Trans. on Electron Devices, 1989, v.36, N 9, p. 1830—1839.
12. Yuan H.T., Lin Y.T., Chiang S.Y. Properties of interconnection on silicon, sapphire and semiinsulating gallium-arsenide substrates. — IEEE Trans. on Electron Devices, ED-29, 1982, N 4, p. 639—644.
13. Laser patterning and critical current measurements of submicrometer lines of Y-Ba-Cu-O/ J.P.Zheng, H.S.Kim, Q.Y.Ying et al. — Appl. Phys. Lett., v.55, N 10, p. 1044—1046.
14. Superconductors as very high-speed system-level interconnects./ O.H.Kwohn, B.W.Langley, R.F.Peas, M.R.Beasley. — IEEE Electron Device Lett. 1987, EDL-8, N 12, p. 582—585.
15. Landman B.S., Russo R.L. On a pin versus block relationship for partitions of logic graphs. — IEEE Trans. Comput., 1971, v. C-20, p. 1469—1479.
16. Propagation characteristics of picosecond electrical transient on coplanar striplines/— T.Y., Hsiang, J.E. Whitaker, R.Sobolewski et al. — Appl. Phys. Lett., 1987, v.51, N 19, p. 1551—1553.
17. Nuss M.C., Mankiewicz P.M., Howard R.E. et al. — Appl. Phys. Lett. 1989, v.59, N 22, p. 2265—2267.
18. Tewksbery K., Hornak L.A., Hatamian M. High-Tc superconductor for digital system interconnections. — Sol. St. Electr., 1989, v.32, N 11, p. 947—959.
19. Clark T.D., Prance R.J., Giassie A.D.C. Feasibility of hybrid Josephson field-effect transistors. — J.Appl. Phys., 1980, v.51, N 5, p. 2736—2743.
20. Распространение поверхностной магнитостатической волны в структуре феррит-высокотемпературный сверхпроводник/ В.Б.Анфиногенов, Ю.В.Гуляев, П.Е.Зильберман и др. — Сверхпроводимость: физика, химия, техника, 1989, т.2, N 12, с. 5—14.
21. Valanzuela A.A., Daalmonds D., Roas B. High-Q coplanar transmission line resonator of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> on LaAlO<sub>3</sub>. — Electronic Letters, 1989, v.25, N 21, p.1435—1436.
22. Withers R.S., Anderson A.C., Oates D.E. High-Tc superconducting thin films for microwave applications. — Sol. St. Techn., 1990, N 8, p. 83—87.
23. Попков А.Ф. Распространение замедленной электромагнитной волны в слоистой структуре феррит-сверхпро-

водник. — Письма в ЖТФ, 1989, т.15, с. 9—13.

24. З в е з д и н А.К., П о п к о в А.Ф. Усиление магнитоакустических волн потоком вихрей Абрикосова в структуре сверхпроводник-магнитная пленка. — Сверхпроводимость: физика, химия, техника, 1990, т.3, № 4, с. 557—562.

25. Interaction of picosecond pulses with high-T<sub>c</sub> superconducting films/ W.R., Donaldson, A.M.Kadin, P.H.Ballentin, R.Sobolevsky — Appl. Phys. Lett. 1989, v.54, N 24, p. 2470—2472.

26. High-T<sub>c</sub> superconducting films as a first nonlinear switch for noise discrimination in digital circuits/ Frenkel A et al. — Appl. Phys. Lett., 1988, v.53, N 26, p. 2704—2706.

27. T s u e i C.C., M a n n h a r t J., D i m a s D. Limitations on critical currents in high temperature superconductors.— AIP, Conf. Proc., 1988, N 6, p. 194—206.

28. S t e p h e n s R.B. Critical current limitations in ceramic oxide superconductors.— Criogenics, 1989, v.29, N 3, p. 399—404.

29. Strong magnetic field dependence of the critical current correlated to the microstructure of YBaCuO ceramics/U.Dai, G.Deutscher, C.Lacour, F.Laher-Lacour et al. — Appl. Phys. Lett., 1990, v.56, N 13, p. 1284—1286.

30. Quantum interference devices made from superconducting oxide thin films/ R.H.Koch, C.P.Umbach et al. — Appl. Phys. Lett., 1987, v.51, N 3, p. 200—202.

31. YBCO DC CQUID of MOCVD thin film bridge/A.Irie, M.Era, T.Yamashita et al. — Jap. J. Appl. Phys., 1989, v.28,

N 10, p. L 1816—1819.

32. YBaCuO input coils with low T<sub>c</sub> and high-T<sub>c</sub> SQUIDS/ B.Oh, R.H.Koch, W.J.Gallagher et al. — Appl. Phys. Lett, 1990, v.56, N 25, p. 2575—2577.

33. W u P.H., X u Y., H e i d e n C. Up to the 51st harmonic mixing in YBaCuO weak link operated in liquid nitrogen. — Appl. Phys. Lett. 1990, v.57, N 12, p. 1265—1267.

34. Oxide superconductor tunnel junctions/ Y.Katoh, K.Tanabe, H.Asano et al. — Jap. J. Appl. Phys. 1987, v.26, N 11, p. 1777—1779.

35. High-T<sub>c</sub> edge junctions and CQUIDS/ R.B.Laibowitz, R.H.Koch, A.Gupta et al. — Appl. Phys. Lett., 1990, v.56, N 7, p. 686—688.

36. S-N-S Josephson junction consisting of Y-Ba-Cu-O /Au/Nb thin films/ H.Akoh, F.Shioki, M.Takahashi et al. — Jap. J. Appl. Phys., 1988, v.27, p. L519—L520.

37. Multilayer high-T<sub>c</sub> thin film structures fabricated by pulsed laser deposition of Y-Ba-Cu-O/ E.W.Chase, T.Vencatesan, C.C.Chang et al. — J. Mater. Res. 1989, v.44, N 6, p. 1326—1329.

38. Изготовление одноуровневых приборных структур на основе ВТСП пленок методом интегральной технологии/ /Д.Г.Емельяненко, Ю.Н.Инкин, М.В.Забродская и др. — Сб. Высокотемпературная сверхпроводимость, 1990, вып. 2, с. 62—66.

39. Inside R&D, 1990, 19(47), p. 6.Dec.

## Эпитаксия соединений типа A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> из молекулярных пучков

Б.А.ИЛЮШИН, А.А.ВЕЛИЧКО

*Эпитаксиальные пленки антимонида индия, многослойные структуры и сверхрешетки на их основе имеют ряд преимуществ при использовании в приборах ИК-диапазона. Специалисты института физики полупроводниковых приборов СО АН Российской Федерации исследовали механизм роста эпитаксиальных и гетероэпитаксиальных слоев InSb, причины возникновения в них морфологических и структурных дефектов, а также электрофизические свойства фотоприемных приборов на этих слоях. Полученные результаты показали, что метод эпитаксии из молекулярных пучков — наиболее перспективная технология получения многослойных структур и сверхрешеток на основе InSb.*

Антимонид индия как материал электронной техники хорошо известен. Он активно исследовался уже в 50-х годах [1]. Интерес к нему объясняется его исключительными свойствами: наличием узкой запрещенной зоны (~0,17 эВ при 300 К), малой эффективной массой ( $m_e^*/m_0=0,0145$ ) и высокой подвижностью электронов ( $\mu_n \geq 10^6$  см<sup>2</sup>/В·с), что позволило использовать его для изготовления высокоэффективных приборов ИК диапазона, быстродействующих и магниточувствительных приборов.

К недостаткам InSb следует отнести его низкую механическую прочность и трудность полу-

*InSb epitaxial films, multilevel structures and superlattices on their base have some merits when used in IR devices. At the Solid-State Physics Institute of Siberian Department of Russian Federation Academy of Science mechanics of epitaxial and heteroepitaxial growth of InSb films, causes of morfologic and structure defects and the electrophysical features of photorecievers fabricated on this films were studied.*

*Obtained data proved that the molecular beam epitaxy is a perspective technology for growing InSb multilevel structures and superlattices.*

чения пластин большого диаметра с однородным распределением параметров по поверхности и с низкой плотностью структурных дефектов. Поэтому слитки антимонида индия используются преимущественно для изготовления дискретных приборов.

Значительный рост интереса к антимониду индия в последние годы обусловлен развитием новых технологических методов: эпитаксии из молекулярных пучков (ЭМП) и эпитаксии из металлоорганических соединений (ЭМОС). Эти методы, с одной стороны, позволяют значительно улучшить однородность распределения парамет-

ров по площади пластины, с другой — выращивать гетероэпитаксиальные пленки антимонида индия и получать различные композиции сверхрешеток ( $n-i-p-i$ , InSb/InAlSb, InAs/InGaAs).

Использование широкозонных по отношению к InSb подложек из арсенида галлия и кремния позволяет обеспечивать ввод излучения через широкозонную подложку, что повышает эффективность засветки многоэлементных фотоприемных устройств (ФПУ), при этом схема управления ФПУ может быть сформирована в подложке, ФПУ на сверхрешетках антимонида индия смогут конкурировать с приборами на основе CdHgTe, так как при почти одинаковых основных характеристиках они технологичнее и дешевле.

### Сверхструктурная перестройка поверхности InSb(001)

В зависимости от типа используемого молекулярного источника (МИ) сурьма сублимируется преимущественно в виде молекул  $Sb_4$  (однозонный источник) или  $Sb_2$  (двухзонный источник). Обозначим через  $J_{Sb}$  поток атомов сурьмы из МИ равный  $4J_{Sb}$  или  $2J_{Sb}$  (для источника первого или второго типа, соответственно). Поскольку прямое измерение величины потоков осуществлять сложно, часто величина потока  $J$  заменяется соответствующими величинами давления  $P$ , измеренными с помощью ионизационного вакуумметра в непосредственной близости от подложки.

В технологии ЭМП для контроля за процессом роста широко используется метод дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭ). Фазовые диаграммы реконструкций поверхности гомо- и гетероэпитаксиальных пленок InSb(001), соответствующие скорости роста  $R=0,5-1,0$  мкм/ч приведены на рис. 1 [2].

При  $J_{Sb}/J_{In} < 1$  наблюдается сверхструктура  $C(8 \times 2)$ , соответствующая индиевой стабилизации поверхности. Рост антимонида индия, как и других соединений  $A_3B_5$ , в таких условиях невозможен, так как накопление избыточного индия приводит к быстрому огрублению поверхности.

В отличие от молекул индия избыточные молекулы сурьмы могут десорбироваться с поверхности, поэтому на практике рост осуществляется в условиях стабилизации поверхности сурьмой, т.е. когда  $J_{Sb}/J_{In} > 1$ . В этом случае в зависимости от температуры подложки наблюдается одна из сверхструктур  $(1 \times 1)$ ,  $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})45^\circ$  или «псевдо- $(1 \times 3)$ » (для псевдоструктур расстояние между рефлексами дробного порядка не является фиксированным и зависит от отношения  $J_{Sb}/J_{In}$ ). При больших значениях  $J_{Sb}/J_{In}$  может наблюдаться сверхструктура  $(7 \times 5)$ , а в области перехода от поверхности, стабилизированной сурьмой, к поверхности, стабилизированной индием, — сверхструктура «псевдо- $(4 \times 3)$ » (см. рис. 1).

В отличие от других соединений  $A_3B_5$  молекулы антимонида индия при высоких температурах десорбируются с поверхности атомов третьей

группы. В практически используемой области температур значение отношения  $J_{Sb}/J_{In}$ , определяющее переход к индиевой стабилизации, является константой. Это обстоятельство делает процесс роста InSb легко контролируемым.

Как правило антимонид индия при таких значениях  $J_{Sb}/J_{In}$  и  $T_s$ , которые обеспечивают существование сверхструктуры «псевдо- $(1 \times 3)$ » или  $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})45^\circ$  (в ряде работ последняя сверхструктура идентифицирована как  $C(4 \times 4)$ ).

### Механизм роста

Поверхностные процессы, определяющие рост пленки антимонидов с одной стороны, и арсенидов и фосфидов с другой существенно различны [4]. Известно, что встраивание As (или P) в растущую пленку GaAs(GaP) осуществляется после физической сорбции в процессе диссоциативной хемосорбции на соседних атомах Ga пар молекул  $As_2$  или  $As_4(P_2$  или  $P_4)$ , причем в последнем случае одна молекула  $As_4(P_4)$  десорбируется на каждую пару взаимодействующих молекул [5].

Молекулы сурьмы (как  $Sb_2$  так и  $Sb_4$ ), попадая на поверхность, быстро диссоциируют на отдельные атомы и только после этого надстраивают решетку пленки в процессе химической сорбции [4]. Коэффициент прилипания молекул сурьмы ( $S_{Sb}$ ) может достигать единицы, тогда как коэффициент прилипания мышьяка  $S_{As} \leq 0,5$ .

Если сравнить рост InAs и InSb, то в первом случае доминирующей реакцией является реакция  $2In + As_2 = 2InAs$ , а во втором  $In + Sb = InSb$ , независимо от формы поступления As и Sb из источников [4]. Время жизни сурьмы на поверхности ( $\tau_{Sb}$ , определяемое десорбцией, существенно больше, чем мышьяка ( $\tau_{As}$ ). Соответственно, длина поверхностной диффузии  $h$  для сурьмы на порядок больше, чем для мышьяка [4]. Поэтому при выращивании многокомпонентных соединений с замещением элемента пятой группы, например  $InAs_{1-x}Sb_x$  при обычно используемых температурах роста происходит преимущественное встраивание сурьмы, несмотря на то, что образующие такие соединения антимонида являются термически менее стабильными, чем соответствующие им арсениды. Состав пленки определяется фактически соотношением  $J_{Sb}$  и  $J_{In}$  и незначительно зависит от величины  $J_{As}$  [6]. Наиболее эффективным способом получения пленок с большой мольной долей InAs является повышение температуры роста. В этом случае различие между  $\tau_{Sb}$  и  $\tau_{As}$  становится значительно меньшим, это подтверждается результатами, представленными на рис. 2 [7].

Если повышение температуры роста нежелательно, то увеличить встраивание As в InAsSb можно, заменяя пучок  $As_4$  на пучок  $As_2$  [8]. В этом случае эффект достигается за счет того, что  $\tau_{As_2} > \tau_{As_4}$ . Кроме того, использование пучка  $As_2$  вместо  $As_4$  несколько ослабляет зависимость состава эпитаксиальной пленки от температуры роста. Это важное преимущество, позволяющее

улучшить однородность распределения параметров по площади пластины и повысить воспроизводимость параметров от процесса к процессу, было экспериментально установлено авторами работы [9], причем одновременно были заменены оба источника  $As_4 \rightarrow As_2$  и  $Sb_4 \rightarrow Sb_2$ .

### Условия роста и структура пленок

Структурное совершенство пленок InSb и качество их поверхности значительно зависят от условий роста, в частности от соотношения  $J_{Sb}$  и  $J_{In}$ . Несмотря на то, что рост производится при стабилизации поверхности сурьмой, большое избыточное поступление сурьмы нежелательно, так как это приводит к образованию характерных дефектов прямоугольной формы с размером 5—10 мкм [9—11]. Гладкие пленки были получены при условии  $1 < J_{Sb}/J_{In} < 6$ .

Минимальная температура эпитаксиального роста, соответствующая скорости роста 1 мкм/ч, составляет 280°C. При снижении  $R$  до 0,5 мкм/ч гладкие монокристаллические пленки могут быть получены даже при температуре 180°C [10].

Качество структуры пленок InSb может быть оценено по полуширине рентгеновских кривых качания рис. 3. Данные на кривой соответствуют результатам первых работ по гетероэпитаксии InSb на GaAs(001) [12]. Точки, лежащие ниже кривой, соответствуют современному уровню развития технологии получения гетероэпитаксиальных структур InSb/GaAs [11, 13]. Соответствующие значения полуширины кривой качания для гомоэпитаксиальных пленок InSb составили 90 [12]; 18, 2 [13]; 15 [11] угловых секунд. Пленки выращивались при  $R \sim 1$  мкм/ч и  $T_s = 360\text{—}400^\circ\text{C}$ .

### Начальная стадия гетероэпитаксии InSb на GaAs(001)

Исследование начальной стадии роста пленок InSb на подложке GaAs(001) проводилось методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Пленки InSb имели толщину от 5 до 300 монослоев, условия выращивания: ( $T_s = 370^\circ\text{C}$ ,  $R = 1$  мкм/ч). Контроль процесса *in situ* осуществлялся методом ДБЭ на отражение.

При температуре роста 370°C поверхностная сверхструктура арсенида галлия  $C(4 \times 4)$  в потоке сурьмы трансформируется в сверхструктуру  $(1 \times 3)$ . Это происходит вследствие хемосорбции сурьмы, либо вследствие реакции замещения  $As \rightarrow Sb$  (обратного перехода к сверхструктуре  $C(4 \times 4)$  в потоке As не происходит). При последующем открывании заслонки пучка индия некоторое время наблюдается суперпозиция дифракционных полос от сверхструктуры  $(1 \times 3)$  поверхности арсенида галлия, стабилизированной сурьмой, и точечных рефлексов от островков InSb [13—15]. После того как эквивалентная толщина пленки превысит по величине 1—2 моно-

слоя, остаются только точечные рефлексы, причем дифракционные картины в азимутах  $[110]$  и  $[\bar{1}\bar{1}0]$  качественно подобны. Из результатов анализа данных ДБЭ и ПЭМ следует, что растущие островки имеют параллельную ориентацию, т.е.  $(001)GaAs // (001)InSb$  и  $[110]GaAs // [110]InSb$ . Длинные стороны островков имеют ориентацию  $[110]$ .

С момента начала процесса до его окончания расстояние между рефлексами InSb соответствует параметру решетки объемного материала, что свидетельствует об отсутствии стадии псевдоморфного роста.

При толщине пленки индия, равной трем монослоям, дифракционные картины в азимутах  $[110]$  и  $[\bar{1}\bar{1}0]$  начинают различаться. В частности, слабые диффузные полосы между точечными рефлексами, соответствующие направлениям  $\langle 111 \rangle$  в азимуте  $[110]$  постепенно исчезают и при толщине, равной пяти монослоям, практически исчезают, а в азимуте  $[110]$  еще остаются заметными. Вместо исчезнувших полос  $[111]$  и  $[\bar{1}\bar{1}1]$  в азимуте  $[\bar{1}\bar{1}0]$  из точечных рефлексов образуются стрелки, что свидетельствует об огранке ростовых островков по плоскостям  $(113)$  и  $(\bar{1}\bar{1}3)$ . При анализе методом ПЭМ выявлено также наличие плоскостей  $(\bar{1}\bar{1}1)$  и  $(1\bar{1}\bar{1})$ . На этой стадии роста пленки InSb представляют собой отдельные островки с плоскими вершинами и наклонными гранями  $(113)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}3)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$  и  $(1\bar{1}\bar{1})$ . Эти плоскости огранки являются плоскостями В-типа, что соответствует условиям роста с избытком сурьмы.

По мере увеличения толщины пленки точечные рефлексы вытягиваются в полосы (толщина полосы равна 36 монослоям InSb), свидетельствуя об изменении механизма роста от трехмерного к двумерному.

Сверхструктурная перестройка поверхности становится заметной уже при толщинах, равных трем монослоям индия, а при толщине, равной 36 монослоям, отчетливо видны рефлексы дробного порядка от сверхструктуры «псевдо  $(1 \times 3)$ » или  $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})45^\circ$  или от суперпозиции обеих структур. Эта стадия соответствует коалесценции островков с образованием ячеистой структуры.

Сплошная пленка InSb, полностью закрывающая поверхность арсенида галлия, имеет толщину 300 монослоев. Наиболее вероятная причина островкового роста — большое несоответствие параметров кристаллических решеток InSb и GaAs, поскольку при гомоэпитаксиальном росте индия стадия трехмерного роста отсутствовала. На начальную стадию роста индия может оказать влияние качество предэпитаксиальной подготовки подложки GaAs [13].

Плоскости огранки  $(\bar{1}\bar{1}1)$  и  $(1\bar{1}\bar{1})$  располагаются вдоль длинной стороны островков [14, 15]. В этих же плоскостях расположены микродвойники и дефекты упаковки. Поэтому можно сделать вывод, что их образование связано с про-

цессом срастания островков. Плотность двойников и дефектов упаковки в приповерхностной области заметно уменьшается при толщинах пленки, превышающих 300 Å [13, 16]. Из других возможных нарушений решетки наиболее часто встречаются сложные дефекты в виде усеченных прямоугольных пирамид [16].

Релаксация напряжений в гетеросистеме InSb/GaAs(001) сопровождается введением ортогональной сетки дислокаций несоответствия (ДН), ориентированных вдоль направлений  $\langle 110 \rangle$ . Расчетные расстояния между ДН в сетке составляют 32 Å для 60-ти градусных дислокаций и 16 Å — для краевых. Экспериментально наблюдаются преимущественно последние [13]. Кроме того, на границе раздела обнаружено наличие участков с неоднородно деформированными областями [16].

Плотность прорастающих дислокаций вблизи интерфейса в системе InSb/GaAs(001) превышает  $10^{11} \text{ см}^{-2}$ . В приповерхностной области пленки с ростом ее толщины плотность дислокаций  $N_d$  быстро уменьшается и может достигать значений  $10^9$ – $10^8 \text{ см}^{-2}$  при  $d=1,3 \text{ мкм}$  [16] и  $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$  при  $d=3 \text{ мкм}$  [13].

Основными механизмами, определяющими уменьшение плотности прорастающих дислокаций, является изгиб дислокационных линий с выходом на боковую поверхность структуры, а также их попарное взаимодействие с образованием одной прорастающей дислокации или полупетли.

### Электрофизические параметры

Электрофизические параметры измерялись на гетероэпитаксиальных слоях InSb, выращенных на полуизолирующих подложках арсенида галлия, так как в этом случае проводимость подложки не влияет на результаты измерений.

Известно, что при комнатной температуре примесная проводимость в нелегированных пленках InSb как правило не проявляется,  $n_i =$

$= 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , и величины холловских параметров  $\mu_n$  и  $\mu_p$  не зависят от условий выращивания. В пленках с гладкой поверхностью величина  $\mu_n$  составляет  $(4-6) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при толщине пленки 3–5 мкм (9–11) и уменьшается с уменьшением толщины. В приповерхностной области величина подвижности в пленках такой же толщины достигает значений  $(7-8) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  (для сравнения: в объемном антимониде индия (300 К)  $= 8 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ). Влияние границы раздела на электрофизические параметры пленок при комнатной температуре наблюдается в области от поверхности до глубины  $\approx 1,5 \text{ мкм}$  (рис. 4) [10].

С понижением температуры начинает доминировать примесная проводимость, а подвижность в большей степени начинает определяться дефектами структуры и примесями, так как вклад решеточного рассеяния в этом случае уменьшается. На рис. 5 показана температурная зависимость подвижности в пленке InSb толщиной 4,6 мкм [9–11]. Уменьшение подвижности при низких температурах авторы работ [10, 12] объясняют рассеянием на дислокациях, однако, на наш взгляд, в нарушенной области будут работать одновременно несколько механизмов рассеяния: на ионах примеси, нейтральных дефектах, дислокациях и других точечных и структурных дефектах. Об этом свидетельствует в частности тот факт, что концентрация свободных носителей вблизи границы раздела возрастает.

С ростом толщины пленки вклад интерфейсной области с высокой плотностью дефектов уменьшается, зависимость подвижности от толщины исчезает, и величина подвижности соответствует значениям подвижности объемного антимонида индия (рис. 6) [12]. Наиболее высокие значения электрофизических параметров, полученных в гетероэпитаксиальных пленках InSb на GaAs(001), приведены в табл. 1. Для сравнения приведены также данные для гомоэпитаксиальных пленок InSb и объемного материала.

Таблица 1

Параметры гетероэпитаксиальных пленок антимонида индия на подложке GaAs

№ образца	Тип проводимости	$\mu_n(300) \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$n(300) \text{ см}^{-3}$	$\mu_p(77) \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$n, p(77) \text{ см}^{-3}$	$d, \text{ мкм}$	Подложка	Литература
1	$n$	53000	—	19700	$6610^{15}$	1,63	GaAs	[16]
2*	$n$	28800	$1710^{17}$	33000	$1410^{17}$	2,0	GaAs	[11]
3*	$n$	55100	$2110^{16}$	38000	$26 \cdot 10^{15}$	5,5	GaAs	[11]
4	$n$	70000	—	110000	$3 \cdot 10^{15}$	10,0	InP	[7]
5	$p$	66000	—	6900	$2 \cdot 10^{15}$	10,0	GaAs	[13]
6	$p$	—	—	18000	$3 \cdot 10^{14}$	5,0	InSb	[21]
7**	$n$	—	—	70000	$4 \cdot 10^{16}$	2,0	InSb	[21]
8	$p$	80000	—	13000	—	—	объем.	[13]

\* Использовался двустадийный рост.

\*\* Рост на буферном слое  $p$ -InSb с  $d=5 \text{ мкм}$ , легирование Si,  $N_{Si} = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

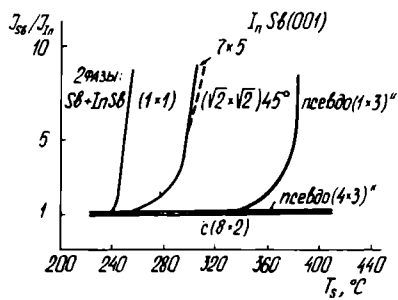


Рис. 1. Фазовая диаграмма поверхности InSb(001) во время роста из пучков In и Sb<sub>2</sub> при R = 0,5–1 мкм/ч [2]

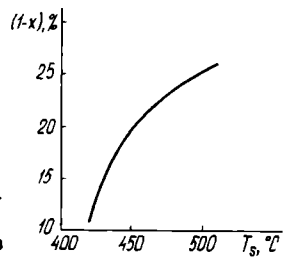


Рис. 2. Зависимость состава эпитаксиальной пленки (x) от температуры роста [7] P<sub>In</sub> = 4,4 · 10<sup>-7</sup> мм.рт.ст., P<sub>As</sub> = 1,5 · 10<sup>-5</sup> мм.рт.ст., P<sub>Sb</sub> = 2,64 · 10<sup>-6</sup> мм.рт.ст.

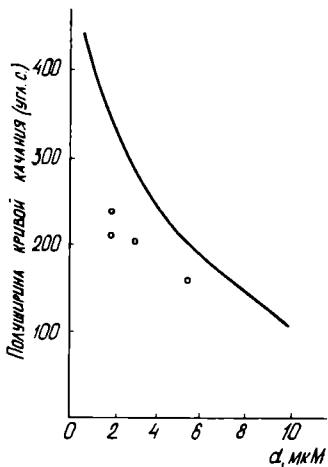


Рис. 3. Зависимость полширины кривой качания от толщины эпитаксиального слоя InSb/GaAs(001) по данным рентгеновской дифракции

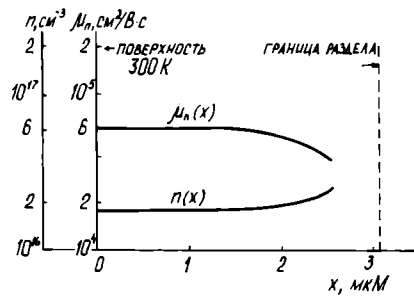


Рис. 4. Зависимости  $\mu_n$  (300 K) и  $n$  (300 K) от толщины гетероэпитаксиальных пленок InSb/GaAs(001), рассчитанные по двуслойной модели с использованием данных послойного стравливания. Интегральное значение подвижности слоя InSb толщиной 3 мкм равно  $5 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В · с

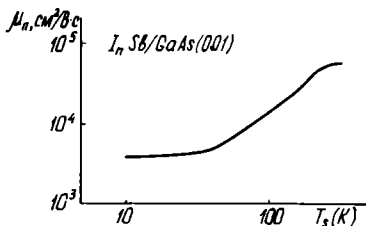


Рис. 5. Температурная зависимость подвижности в гетероэпитаксиальных пленках InSb/GaAs(001) толщиной 4,6 мкм [9]

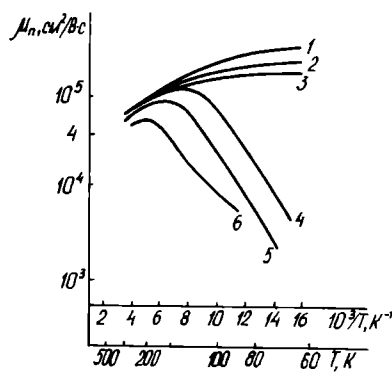


Рис. 6. Температурные зависимости подвижности в антимоэне индия: 1 — объемный InSb; 2 — гомоэпитаксиальная пленка InSb (d=30 мкм); 3–6 — гетероэпитаксиальные пленки InSb/GaAs(001) с толщинами 44; 10; 3,5; 1 мкм, соответственно [12]

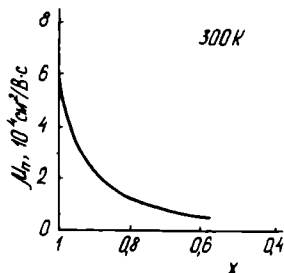


Рис. 7. Зависимость  $\mu_n(x)$  в пленках InAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>/GaAs [7]

## Получение легированных пленок

Для получения пленок InSb(001) с дырочной или электронной проводимостью обычно используют в качестве легирующей примеси Be или Si, соответственно. Эти элементы имеют низкое давление паров и, следовательно, дают низкий уровень фонового легирования. Поскольку антимонид индия имеет высокую концентрацию собственных носителей заряда —  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а отношение подвижностей  $\mu_n/\mu_p > 100$ , то в пленках InSb  $p$ -типа проводимость при низких температурах имеет дырочный характер, а при  $T > T_k$  ( $T_k$  — температура конверсии) — электронный. Температура конверсии увеличивается с ростом концентрации бериллия. Так, при уровне легирования  $(N_A - N_d) = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  дырочная проводимость проявляется только при  $T < 60 \text{ K}$ , а при  $N_A - N_d \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$  — вплоть до комнатной [12, 16]. Максимальный уровень легирования бериллием пленок InSb толщиной 1 мкм составляет  $(2,9 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3})$  при значениях подвижностей  $\mu_p$  (77 K) =  $500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  и  $\mu_p$  (300 K) =  $200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  [16], что близко к соответствующим значениям в объемном InSb.

Легирование пленок InSb кремнием проводилось при следующих условиях роста:  $R = 1,5 \text{ мкм/ч}$ ,  $J_{\text{Sb}}/J_{\text{In}} = 1,8 \pm 0,3$ ,  $T_s = 340\text{—}420^\circ\text{C}$  [16]. Для определения параметров наиболее совершенной приповерхностной части пленки и исключения влияния нарушенного слоя легировалась только небольшая (1/12) часть пленки антимонида индия вблизи ее поверхности. Общая толщина пленки составляла 1,5 мкм. Концентрация кремния выбиралась такой, чтобы проводимость легированного слоя значительно превышала проводимость остальной части пленки. Такой метод позволяет выделить влияние нарушенной области вблизи границы раздела путем сравнения структур, в которых легированные слои находятся на различных расстояниях от интерфейса.

Установлено, что донорные свойства кремния существенным образом зависят от уровня легирования и температуры роста: при низких температурах ( $340^\circ\text{C}$ ) кремний встраивается в основном как донор до концентраций  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . При этом подвижности в приповерхностной области, измеренные при температуре = 77 K, близки к их значениям в объемном InSb при соответствующих уровнях легирования. Значение подвижности  $\mu_n$  (77 K) =  $40000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при  $n$  (77 K) =  $1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  является наивысшим для гетероэпитаксиальных пленок InSb/GaAs с толщиной 1,5 мкм. Экспериментальные зависимости  $\mu(n)$  хорошо согласуются с теоретической, рассчитанной с учетом непараболичности зоны проводимости при дополнительном условии отсутствия компенсации. Расчет проводился в предположении рассеяния электронов на ионах примесей.

При высоких уровнях легирования, превышающих  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , становится заметной атокомпенсация.

Повышение температуры роста до  $420^\circ\text{C}$  при  $J_{\text{Si}} = \text{const}$  приводит к одновременному уменьше-

нию подвижности и концентрации электронов при  $T = 77 \text{ K}$ , несмотря на то, что структурное качество пленок остается неизменным. С ростом температуры коэффициент автокомпенсации увеличивается и может достигать значения 0,5.

Значения подвижности  $\mu_n$  (77 K) для пленок с  $n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , выращенных при низких температурах ( $370^\circ\text{C}$ ), снижаются более, чем в два раза, если легированный слой находится не у поверхности пленки, а на расстоянии менее чем 0,3 мкм от границы раздела (толщина пленки 1,5 мкм). Вне этой области влияние дефектного слоя незначительно. В легированных пленках наблюдается эффект Шубникова-де Гааза [16].

Необходимо отметить, что условия встраивания кремния в растущую пленку InSb/GaAs(001) должны зависеть от соотношения потоков индия и сурьмы, как это наблюдается при легировании арсенида галлия амфотерным германием.

## Особенности гетероэпитаксиальных пленок InSb/Si(001)

При непосредственном выращивании антимонида индия на кремниевой подложке (001) получение пленок с хорошей морфологией затруднено вследствие различия значений постоянных кристаллических решеток. В то же время достигнуты значительные успехи в выращивании слоев GaAs на поверхности Si(001). Поэтому предполагается использовать при выращивании InSb на кремнии (001) буферный слой GaAs. Использование арсенида галлия не привело к значительному улучшению морфологии поверхности, однако электрофизические параметры свидетельствуют о снижении дефектности слоя InSb (табл. 2) [17, 18]. Такие буферные слои использовались при выращивании пленок  $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  на Si(001) во всем диапазоне изменения состава [19].

Для лучшего согласования постоянных решеток и подавления прорастающих дислокаций можно использовать также сверхрешетки и слои переменного состава. При использовании пучков  $\text{Sb}_4$  и  $\text{As}_2$  пленки имеют такую же гладкую поверхность, как и при осаждении на подложку GaAs. Для  $x = 0,66$  при толщине пленки 3 мкм получена подвижность  $\mu_n$  (300 K) =  $40000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при толщине  $d = 1,5 \text{ мкм}$   $\mu_n$  (300 K) =  $15000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Для сравнения приведем значения подвижности и концентрации электронов в пленках  $\text{InAs}_{0,33}\text{Sb}_{0,67}$ , выращенных на структурах InSb/GaAs(001), при использовании молекулярных потоков  $\text{Sb}_2$  и  $\text{As}_2$ . Толщина пленок 1,6 мкм. С учетом проводимости слоя InSb получены следующие значения параметров:  $\mu_n$  (300 K) =  $20000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при  $n = 1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  [9].

## Электрофизические параметры пленок $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$

В твердых растворах  $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  в диапазоне изменения составов  $0,5 \leq x \leq 1,0$  уменьшение приводит к одновременному уменьшению подвижно-



Параметры пленок антимонида индия, выращенных на кремнии с буферными слоями GaAs

Номер образца	$d_{\text{InSb}}$ , мкм	$d_{\text{GaAs}}$ , мкм	$\mu(300)$ , $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$n(300)$ , $\text{см}^{-3}$	$\mu(77)$ , $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$n(77)$ , $\text{см}^{-3}$
1	3,2	0,3	48000	$2,2 \cdot 10^{16}$	3700	$5,8 \cdot 10^{15}$
2	3,2	0,05	46000	$2,2 \cdot 10^{16}$	2600	$5,6 \cdot 10^{15}$
3	3,2	0,0	39000	$2,7 \cdot 10^{16}$	700	$2,4 \cdot 10^{16}$
4	8,0	0,3	55000	$2,0 \cdot 10^{16}$	1700	$6,0 \cdot 10^{15}$

сти и увеличению концентрации носителей [7, 20], которая возрастает за счет уменьшения ширины запрещенной зоны. На рис. 7 показана зависимость подвижности от состава для пленок InAsSb/InP толщиной от 1,6 до 10 мкм. Аналогичная зависимость наблюдалась для структур InAsSb/InSb. Исходя из этого, авторы работы [7] делают вывод, что основной причиной уменьшения подвижности является образование кластеров, а не рассеяние на дислокациях. С понижением температуры подвижность электронов обычно падает [7, 20].

### Применение

Эпитаксиальные пленки InSb и InAsSb наиболее широко используются в ИК технике, а также для изготовления МДП-транзисторов. Это открывает возможность создания монолитной конструкции матрицы фотоприемников и отдельных функциональных узлов схемы управления.

Предлагается конструкция тонкопленочного фотодиодного детектора с обнаружительной способностью  $D^* = 3 \cdot 10^{12}$   $\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$  и параметром  $R_0A = 10^5$   $\text{Ом} \cdot \text{см}^2$  при  $T = 77$  К [21]. В работе [22] сообщается об изготовлении МДП-транзистора, который, работая в режиме обогащения, обеспечивал при температуре 77 К максимальное значение крутизны 12,5 мС/мм и подвижность электронов в канале (3—4)  $10^4$   $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Оба прибора изготавливались из структуры, содержащей слой InSb, легированный кремнием до  $8 \cdot 10^{16}$   $\text{см}^{-3}$  ( $d = 2$  мкм,  $\mu(80 \text{ К}) = 7 \times 10^4$   $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ,  $n(80 \text{ К}) = 4 \cdot 10^{16}$   $\text{см}^{-3}$ ), этот слой располагали на нелегированном слое антимонида индия  $p$ -типа толщиной 5 мкм ( $\mu(80 \text{ К}) = 1,8 \cdot 10^4$   $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ,  $p(80 \text{ К}) = 3 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-3}$ ). Подложка  $p$ -InSb после завершения эпитаксии полностью или частично удалялась [22, 23]. В первом случае для исключения шунтирования канала транзистора, во-втором — для уменьшения последовательного сопротивления подложки у фотодиода.

Эпитаксиальные слои  $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  с  $x = 0,6$  имеют наименьшую по сравнению с другими сое-

динениями  $\text{A}_3\text{B}_5$  ширину запрещенной зоны. Соответствующая ей длина волны  $\lambda_c$  составляет 12 мкм при 300 К. При температуре 77 К ширина зоны больше и  $\lambda_c$  не превышает 9 мкм, тем не менее InAsSb и даже InSb могут использоваться для изготовления приборов, работающих в диапазоне 8—12 мкм. Соответствующие приборные структуры основаны на использовании легированных сверхрешеток или композиционных сверхрешеток с напряженными слоями.

Легированные  $n-i-p-i$ -сверхрешетки образованы чередующимися слоями  $n$ - и  $p$ -типа, разделенными слоями с собственной проводимостью. Сверхрешетки  $n-i-p-i$  могут быть изготовлены как на основе InSb, так и на основе InAsSb. Последнее предпочтительнее, так как в этом случае ширина запрещенной зоны минимальна. В то же время решетки на основе InSb технологичнее, поскольку при их изготовлении отсутствуют трудности, связанные с получением пленок однородного состава.

ИК детекторы, выполненные на основе  $n-i-p-i$ -сверхрешеток имеют  $D^* = 8,1 \cdot 10^{10}$   $\text{см} \times \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$  на длине волны 10 мкм [23, 24]. Вместо равномерного легирования слоев в сверхрешетке может быть использован метод  $\delta$ -легирования [25]. При небольших уровнях легирования в  $\delta$ -слоях ( $n = 4 \cdot 10^{12}$   $\text{см}^{-3}$ ) и периодах сверхрешетки  $\sim 300$  Å слои  $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  с  $x = 0,6$  имеют большой коэффициент оптического поглощения в области с  $\lambda_c = 12$  мкм.

Экспериментально установлено, что композиционные сверхрешетки  $\text{InSb}/\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  при  $x = 0,6$  относятся к сверхрешеткам второго типа. Как следствие, их спектр оптического поглощения легко может быть распространен в область длин волн 8—12 мкм даже при малом содержании As [26]. В таких сверхрешетках, также как и в легированных, можно ожидать увеличения электронов и дырок.

Фототранзистор, изготовленный на основе 4-х слойной напряженной сверхрешетки  $\text{InSb}/\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_y/\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x/\text{InAs}_{1-y}\text{Sb}_y$  ( $y = 0,93$ ;  $x = 0,89$ ) с толщиной каждого слоя 185 Å (суммарная толщина сверхрешетки 4 мкм), имеет фо-

топроводимость  $G$  (77 К) = 90 на длине волны 8,7 мкм. Спад фотопроводимости в этом фотосопропротивлении характеризовался постоянной времени  $\tau = 50$  нс, что значительно выше, чем в объемном InSb при соответствующем уровне легирования (4 нс при  $p \approx 10^{16}$  см $^{-3}$ ). Этой же группой исследователей на основе напряженной сверхрешетки InAsSb (150 Å)/InSb (150 Å) был изготовлен фотovoltaический детектор с обнаружительной способностью, превышающей значение  $D^*(77 \text{ К}) \geq 1 \cdot 10^{10}$  см $\cdot$  Гц $^{1/2} \cdot$  Вт $^{-1}$  в диапазоне длин волн 8—10 мкм [28]. Как и в предыдущем случае при этом использовался буферный слой InAsSb переменного состава для согласования сверхрешетки с подложкой. На макроуровне прибор представлял собой  $p-i-n$ -структуру с параметрами слоев:  $p = 5 \cdot 10^{16}$  см $^{-3}$ ,  $d = 1$  мкм;  $p = 3 \cdot 10^{15}$  см $^{-3}$ ,  $d = 2,5$  мкм;  $n = 5 \cdot 10^{16}$  см $^{-3}$ ,  $d = 1$  мкм.

Для увеличения чувствительности поверхность мезаструктуры пассивировалась в воде в потоке света от вольфрамовой лампы. В результате пассивации параметр  $R_0A$  возрастал от 0,6 до 9,0 Ом $\cdot$  см $^2$ .

Таким образом, в диапазоне 8—12 мкм фотодетекторы на основе композиционных или легированных сверхрешеток могут обеспечить практически такой же уровень обнаружительной способности, что и приборы на основе Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te. Кроме того InSb как подложечный материал имеет значительно лучшие механические свойства, чем CdTe. Слои InAs $_{1-x}$ Sb $_x$  в указанном диапазоне длин волн характеризуются менее резкой зависимостью  $\lambda_c$  от состава, чем слой Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te. Эти обстоятельства делают InSb и InAsSb весьма перспективными для создания многоэлементных матричных ФПУ фотопреобразователей, поскольку позволяют обеспечить высокую однородность распределения параметров на большой площади.

*Эпитаксиальные пленки InSb, многослойные структуры, а также сверхрешетки на их основе имеют ряд преимуществ при изготовлении приборов ИК диапазона. Например, эпитаксиальные слои InSb отличаются значительно более высокой однородностью распределения параметров по площади на микроуровне по сравнению с объемным материалом. Кроме того, в гомоэпитаксиальных слоях InSb, полученных в частности эпитаксией из жидкой фазы, время жизни неосновных носителей существенно выше [21], что, вероятно, обусловлено снижением концентрации рекомбинационных центров вследствие более низкой температуры эпитаксиального роста. В то же время при использовании жидкофазной эпитаксии практически невозможно получить приемлемую однородность параметров фотоприемников по площади пластины не говоря уже о возможности получения качественных гетероэпитаксиальных слоев, многослойных структур и сверхрешеток.*

*С другой стороны, в гетероэпитаксиальных*

*пленках InSb/GaAs время жизни неосновных носителей существенно ниже, чем в гомоэпитаксиальных слоях InSb или монокристаллическом материале, и оно зависит от толщины эпитаксиального слоя:  $\tau = 20$  нс при  $d = 5$  мкм, 50 нс при  $d = 10$  мкм и 200 нс в монокристалле [29]. Такая сильная зависимость связана с наличием дефектной области вблизи границы раздела пленка-подложка и большой диффузионной длины неосновных носителей. Однако, поскольку плотность прорастающих дислокаций  $N_d$  уменьшается с толщиной как  $1/d$  а  $\tau$ , как правило, обратно пропорционально плотности дислокаций, то можно ожидать, что в приповерхностной области время жизни по величине близко к соответствующему параметру объемного InSb.*

*Таким образом, можно сделать заключение, что эпитаксия из молекулярных пучков является наиболее перспективной технологией получения многослойных структур и сверхрешеток для матричных ФПУ на основе антимонида индия.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хилсум К., Роуз-Инс А. Полупроводники типа  $A_3B_5$ /Пер. с англ. — М.: ИЛ., 1959.
2. Noriega A.J. et al. Growth of Sb and InSb molecular beam epitaxy. — J. Appl. Phys., 1981, vol. 52, N 12, p. 7416—7420.
3. Drogada R. et al. RHEED intensity oscillations observed during the MBE growth of InSb(100). — Semicond. Sci. Technol., 1989, vol. 4, p. 111—113.
4. Mochizuki K., Nishinaga I. MBE growth of GaAsSb and InGaAs and applications of BCF theory to study the alloy composition. — J. Appl. Phys., 1988, vol. 27, N 9, p. 1585—1592.
5. Foxon C.T., Joyce B.A. Surface process control the growth of GaInAs and GaInP alloy films by MBE. — J. Crystal Growth, 1987, vol. 44, p. 75.83.
6. Yen M.Y. et al. Molecular beam epitaxial growth and optical properties of InAs $_{1-x}$ Sb $_x$  in 8—12 mm wavelength range. — Appl. Phys. Lett., 1987, vol. 50, p. 927—929.
7. Tzuka M. et al. Transport properties of InAs $_x$ Sb $_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 0,55$ ) on InP grown by MBE. — J. Appl. Phys., 1990, vol. 67, N 11, p. 6819—6822.
8. Dawson L.R. MBE—growth of InAsSb alloys and superlattices. — J. Vac. Sci. Technol., 1986, vol. B4, N 2, p. 598—599.
9. Chyi J.-I. et al. Growth of InSb and InAsSb on GaAs by MBE. — Appl. Phys. Lett., 1988, vol. 53, N 12, p. 1092—1094.
10. Yano M. et al. Heteroepitaxial InSb films grown by MBE. — Phys. Stat. Sol., 1979, vol. A54, p. 707—713.
11. Davis J.L., Thompson P.E. MBE-growth of InSb films on GaAs. — Appl. Phys. Lett., 1989, vol. 54, N 22, p. 2235—2237.
12. Noriega A.J. et al. Properties of MBE-grown InSb and InSb $_{1-x}$ Bix. — J. Vac. Sci. Technol., 1983, vol. A1, N 2, p. 558—561.
13. Williams G.M. et al. Heteroepitaxial growth of InSb on (100) GaAs using MBE. — Appl. Phys. Lett., 1988, vol. 53, N 13, p. 1189—1191.
14. Zhang X. et al. A TEM and RHEED study of the initial stages of the heteroepitaxial growth of InSb on GaAs (001) by MBE. — J. Appl. Phys., 1990, vol. 67, N 2, p. 800—806.
15. Zhang X. et al. A TEM investigation of the initial stages of InSb growth on GaAs (001) by MBE. — Materials Science and Engineering, 1990, vol. B7, p. 203—208.
16. Porter S.D. et al. Observation and control of the amphoteric behaviour of Si-doped InSb grown on GaAs by MBE. — Semicond. Sci. Technol., 1989, vol. 4, p. 663—676.
17. Chyi J.-I. et al. MBE-growth and characterization of InSb on Si. — J. Vac. Sci. Technol., 1989, vol. B7, N 2, p. 345—347.

18. Chyi J.-I. et al. MBE-growth and characterization of InSb on Si. — Appl. Phys. Lett., 1989, vol. 54, N 11, p. 1016—1018.
19. Doblelacre W. et al. Growth optical characterization of InAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> (0 ≤ x ≤ 1) on GaAs and Ga on GaAs-coated Si by MBE. — Appl. Phys. Lett., 1989, vol. 55, N 18, p. 1856—1858.
20. Yen M.Y. MBE-growth and electrical properties of lattice mismatched InAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> on (100) GaAs. — J. Appl. Phys., 1988, vol. 64, N 6, p. 3306—3308.
21. Achley T. et al. Molecular beam growth of homoepitaxial InSb photovoltaic detectors. — Electronics Letters, 1988, vol. 24, N 20, p. 1270—1272.
22. Achley T. et al. InSb n-channel enhancement mode MISFIT grown by MBE. — Electronics Letters, 1989, vol. 25, N 4, p. 289—290.
23. Phillips C.C. Doping superlattices based on InSb for midinfrared detector applications. — Appl. Phys. Lett., 1990, vol. 56, N 2, p. 151—153.
24. Ruden P.P. et al. Spectrally agile far-infrared detector using an *n-i-p-i* superlattice. — J. Appl. Phys., 1989, vol. 66, N 2, p. 956—960.
25. Halls K.C., Kirill D.J. InAsSb sawtooth doping superlattices for long wavelength infrared detection. — J. Appl. Phys., 1990, vol. 68, N 4, p. 1923—1926.
26. Kurtz S.R. et al. Extended infrared response of InAsSb strained-layer superlattice. — Appl. Phys. Lett., 1988, vol. 52, N 10, p. 831—833.
27. Kurtz S.R. et al. High photoconductive gain lateral InAsSb strained-layer superlattice infrared detectors. — Appl. Phys. Lett., 1988, vol. 53, N 20, p. 1961—1963.
28. Kurtz S.R. et al. High detectivity (>1,10<sup>10</sup> cm<sup>2</sup>VHz/W) InAsSb strained-layer superlattice photovoltaic infrared detector. — IEEE Transactions, 1990, vol. EDL 11, N 1, p. 54—56.
29. Thompson et al. Use of atomic layer epitaxy buffer for the growth of InSb on GaAs by MBE. — J. Appl. Phys., 1991, vol. 69, N 10, p. 7116—7122.

## Влияние УФ-излучения на характеристики тонкопленочных транзисторов на аморфном кремнии

Э.Н.ВОРОНКОВ, Б.И.КАЗУРОВ, И.А.ПОПОВ, Б.П.ЧЕРНОРОТОВ

*Исследования воздействия УФ излучения, термообработки и сильного электрического поля на параметры токопленочных транзисторов на основе аморфного кремния, проведенные в НИИ молекулярной электроники, показали, что в результате обработки УФ-излучением вольт-амперные характеристики таких приборов остаются стабильными после термообработки до 200°C и воздействия сильных электрических полей в отличие от характеристик ТПТ, не обработанных в УФ, которые в подобных условиях заметно деградируют.*

Тонкопленочные полевые транзисторы (ТПТ) на основе аморфного гидрогенизированного кремния ( $\alpha$ -Si:H) нашли широкое применение в активных матрицах плоских жидкокристаллических экранов. Однако надежность таких экранов все еще оставляет желать лучшего из-за временной нестабильности ТПТ.

Временная нестабильность электрических характеристик этих приборов объясняется изменением электрофизических параметров аморфного гидрогенизированного кремния (порогового напряжения, токов включенного и выключенного состояний) под воздействием температуры, излучения, инжекции носителей заряда [1, 2]. Для

прогнозирования изменений в ТПТ необходимо прогнозирование изменений в  $\alpha$ -Si:H.

Таким образом, исследование процессов, происходящих в активной зоне ТПТ в рабочих режимах, приобретает особое значение и требует разработки не только моделирующих методов, но и методов ускоренной деградации, имитирующих старение ТПТ. Один из методов, который может быть использован для этих целей, основан на эффекте Стеблера—Вронского. Сущность эффекта заключается в генерации дополнительных метастабильных локализованных состояний в щели подвижности материала при засветке белым светом. Однако при использовании белого света нельзя гарантировать полного и равномерного поглощения излучения в тонких пленках аморфного кремния. Основные результаты были получены при использовании модификации данного метода — засветки УФ-излучением, которое полностью поглощается пленкой  $\alpha$ -Si:H толщиной 0,15 мкм.

Деградационные процессы в рассматриваемых транзисторах изучались на тестовых структурах с параметрами: длина канала 8 мкм, ширина 90 мкм, толщина подзатворного диэлектрика SiO<sub>2</sub>N<sub>y</sub> 0,15 мкм.

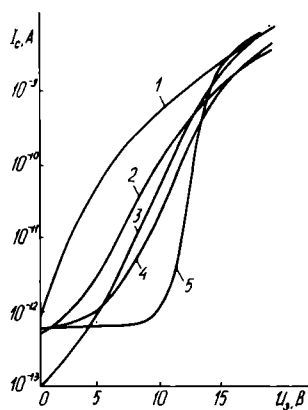


Рис. 1. Сток-затворные характеристики ТПТ после обработки в УФ: 1 — без обработки; 2, 3, 4, 5 — обработка в течение 30, 60, 90 и 120 мин соответственно

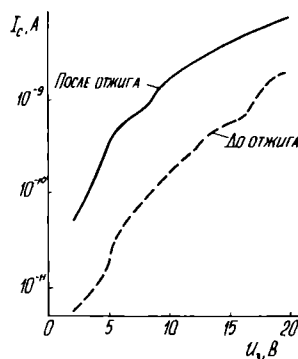


Рис. 2. Сравнение сток-затворных характеристик до и после отжига для группы А

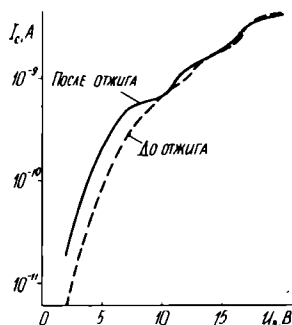


Рис. 3. Сравнение сток-затворных характеристик до и после отжига для группы В

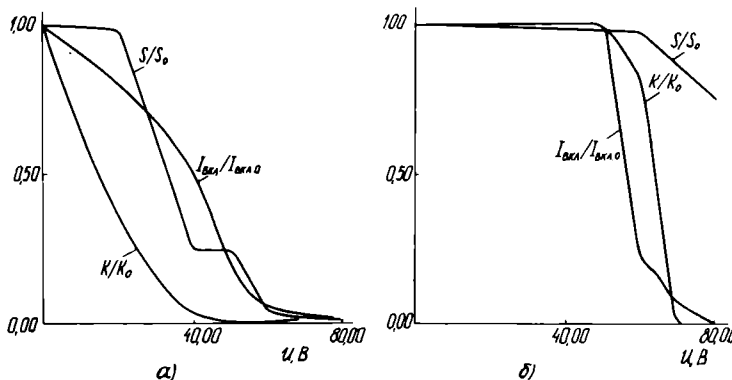


Рис. 4. Относительное изменение крутизны  $S/S_0$ , коэффициента переключения  $k/k_0$  и соотношения токов  $I_{вкл.}/I_{вкл.0}$  под воздействием положительного (а) и отрицательного (б) напряжений на затворе для транзисторов группы А

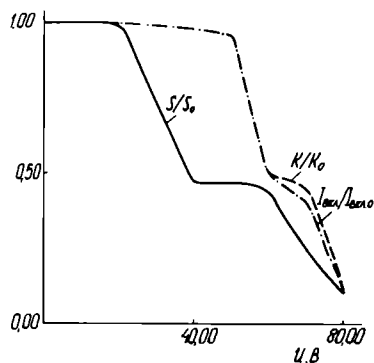


Рис. 5. Относительное изменение крутизны  $S/S_0$ , коэффициента переключения  $k/k_0$  и соотношения токов  $I_{вкл.}/I_{вкл.0}$  под воздействием положительного напряжения на затворе для транзисторов группы В

Для нанесения аморфного гидрогенизированного кремния использовался процесс разложения моносилана в плазме. Температура процесса  $T=250^\circ\text{C}$ , удельная мощность плазмы  $W=20\text{ мВт/см}^2$ , давление  $P=0,7\text{ Торр}$ , толщина пленок  $\alpha\text{-Si:H}$   $0,15\text{ мкм}$ .

Время облучения каждой серии тестовых структур, изготовленных на материале идентичного качества, варьировалось от 0 до 10 ч при стандартной мощности излучения. Затем часть

образцов из серии подвергалась высокотемпературной обработке (выдержка в термостате при температуре  $200^\circ\text{C}$  в течение 4 ч), а часть — испытаниям в условиях сильных электрических полей. При напряжении сток—исток 10 В на затвор в течение 1 мин подавалось напряжение. После его снятия измерялись сток—затворные характеристики ТПТ. Затем повторялась такая же процедура с большим уровнем напряжения. Эксперимент проводился с напряжением как поло-

жительной, так и отрицательной полярности.

Совместный анализ результатов экспериментов с транзисторными и тестовыми структурами, а также компьютерное моделирование спектра локализованных состояний в щели подвижности  $\alpha$ -Si:H позволили установить зависимость темпов деградации ТПТ от спектра метастабильных состояний в щели подвижности для времени облучения более 3—5 ч. При меньшем времени УФ-облучения проявился неожиданный эффект: с увеличением продолжительности облучения происходит резкое увеличение крутизны, сопровождающееся повышением порогового напряжения (рис. 1). При дальнейшем увеличении дозы УФ наблюдается более заметное ухудшение характеристик ТПТ: резко увеличивается  $I_{\text{выкл}}$ , снижается коэффициент переключения и крутизна, т.е. имеет место эффект Стеблера—Вронского.

Для исследования влияния высокотемпературного отжига на стабильность характеристик тонкопленочных транзисторов тестовые структуры были разделены на две группы: группа А — ТПТ, не прошедшие УФ-обработку, и группа В — прошедшие эту обработку в течение 120 мин.

На рис. 2 показаны ВАХ ТПТ группы А, а на рис. 3 — ВАХ ТПТ группы В до и после высокотемпературного отжига в течение 4 ч. На сток-затворных характеристиках ТПТ группы А температурное старение привело к увеличению  $I_{\text{выкл}}$  на порядок и  $I_{\text{вкл}}$  в три раза, снижению крутизны и коэффициента переключения. Значение порогового напряжения не изменилось. Для транзистора группы В отжиг привел к увеличению  $I_{\text{выкл}}$  в два раза, незначительному снижению крутизны и коэффициента переключения, снижению порогового напряжения. Хотя температурный отжиг вызвал изменения сток-затворных зависимостей транзисторов из обеих групп, ухудшение характеристик ТПТ группы В менее существенно.

Таким образом, рис. 2 и 3 иллюстрируют повышенную температурную стабильность транзисторов из группы В.

Обработка в УФ также оказывает определенное влияние и на стабильность ВАХ ТПТ при воздействии электрического поля. Темпы старения ТПТ под воздействием сильных электрических полей зависят от знака напряжения на затворе, причем большие изменения в сток-затворных характеристиках ТПТ происходят при приложении к затвору напряжения положительной полярности, что иллюстрируется рис. 4,а и б, на котором показаны относительные зависимости крутизны  $S/S_0$  тока включенного состояния  $I_{\text{вкл}}/I_{\text{вкл}0}$  и коэффициента переключения  $k/k_0$  ТПТ группы А для приложенного напряжения различной полярности. Изменения порогового напряжения при положительном напряжении на затворе составляет 1—9 В (рис. 4,а), а при отрицательном 1—2 В (рис. 4,б).

Рис. 5 аналогичен рис. 4,а с тем отличием, что приведенные зависимости соответствуют характеристикам транзисторов из группы В. Пороговое напряжение во всем диапазоне оста-

ется фактически постоянным. Видно, что стабильность транзисторов группы В при воздействии электрических полей значительно выше, чем стабильность транзисторов группы А.

Результаты работы позволяют сделать вывод о том, что улучшение ключевых характеристик тонкопленочного транзистора на основе  $\alpha$ -Si:H возможно путем обработки в УФ; при этом происходит повышение стабильности ТПТ при температурных и полевых воздействиях.

Как показывает изучение свойств собственно аморфного гидрогенезированного кремния, после обработки в УФ изменения в ВАХ ТПТ определяются изменениями в  $\alpha$ -Si:H, в частности перераспределением плотности локализованных состояний в щели подвижности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Powell M.J.— IEEE Trans. on Elec. Dev., 1969, N 36, p. 2753.
2. Oritsuki R., Horii T., Sasano A., Tsusui K., Koizumi T., Kaneko Y., Tsukada T.— Jap. J. Appl. Phys., 1991, N 30, p. 3719.



*Ковалишина Т.Э., Кошелев В.Л. Программы аппроксимации линейных, показательных, логарифмических и степенных функций. — Рукопись деп. в ЦНИИ "Электроника", 1992, № P-5488.*

Приводятся алгоритм и программы аппроксимации линейных, показательных, логарифмических и степенных функций методом наименьших квадратов. Аппроксимация проводится с помощью линеаризации внутренние линейных функций, нахождения уравнения регрессии полученной прямой и обратного преобразования функций к внутренне линейному виду. Результатом работы программы является уравнение, связывающее различные физические или механические характеристики, значения которых заданы или определены экспериментально.

Программы написаны на языке программирования FORTRAN-4, работают в диалоговом режиме, используют только встроенные функции данного языка и поэтому могут использоваться на ЭВМ любого класса, в любой операционной среде, поддерживающей данный язык.

ДЕПониРОВАНИЕ

# Обеспечение точного зазора в ЖК-индикаторах

В.А. КОНОВАЛОВ, Б.И. КАЗУРОВ, А.А. МИНЬКО, Б.П. ЧЕРНОРОТОВ,  
Б.И. ЯКОВЕНКО, А.А. МУРАВСКИЙ

*Исследование одной из сложнейших проблем в технологии ЖК-индикаторов — формирования зазора между стеклами с точностью 0,1 мкм, — показало, что из трех наиболее широко применяемых для этого способов с помощью стекловолокна, шариков или столбиков (спейсеров), полученных полирующим травлением стекла, — последний способ является оптимальным для изготовления твистовых и супертвистовых ЖК-экранов.*

В последние годы ЖК-дисплеи заняли лидирующее положение на международном рынке плоских дисплеев [1]. Из множества электрооптических эффектов, наблюдаемых в жидких кристаллах, при создании плоских высокоинформативных панелей в настоящее время используются лишь три типа: супертвистовые (однослойный [2], двойной [3] и с компенсирующей полимерной пленкой [4]), поверхностно-стабилизированные сегнетоэлектрические [5] и активно-матричные [6, 7].

При создании ЖК-дисплеев большой информационной емкости одной из основных проблем является задание точного зазора в ЖК-индикаторе большой площади [2, 8]. Для получения качественного изображения на экране необходимо обеспечить точность удержания зазора не более 1—2% (при зазоре 5 мкм это составляет 0,1 мкм).

Наибольшее влияние на точность зазора при изготовлении ЖК-индикаторов оказывают неплоскостность подложек (определение требований к стеклу); прогиб стекла в местах отсутствия спейсеров (определение требований к размеру спейсеров); деформация спейсеров и вызванные ею нарушения зазора (оптимизация формы спейсеров).

Рассмотрим деформацию стекла и спейсеров под действием сил сжатия. Так как обычно область нарушения величины зазора имеет форму круга, то прогиб ( $\Delta Z$ ) пластины радиуса  $R$  под действием внешнего давления  $P$  можно описать выражением [9]:

$$\Delta Z = \pi R^4 P / 6 E h^3, \quad (1)$$

где  $h$  — толщина стеклянной пластины,  $E$  — модуль Юнга стекла.

Если учесть, что индикатор состоит из двух тонких стекол (рис. 1), то в выражении (1) следует сделать замену  $\Delta Z \rightarrow \Delta Z/2$ , тогда

$$\Delta Z = \pi R^4 P / 3 E h^3, \quad (2)$$

где  $\Delta Z$  — изменение зазора индикатора.

Для расчета максимального расстояния между опорами (спейсерами) примем толщину стеклопластин  $h=1$  мм, атмосферное давление  $P=1$  кгс/см<sup>2</sup>, допустимый прогиб  $\Delta Z=0,05$  мкм, модуль Юнга  $E=5 \cdot 10^9$  кгс/см<sup>2</sup>. Тогда из уравнения (2) размер деформируемой области  $R$

$$R^4 = 3 E h^3 \Delta Z / \pi P.$$

Расчеты показывают, что опорные площадки должны быть расположены друг от друга на расстоянии не более 4,5 мм при условии, что стекло абсолютно ровное.

*Неплоскостность стекла* можно выровнять внешним давлением. Полагаем, что опорные площадки расположены близко друг к другу (расстояние между ними меньше 2,5 мм). Пусть стекло имеет неровность  $\Delta Z$  и радиус области неровности  $R$ . Из (2) определим величину прогиба стекла под действием внешнего давления. Отметим, что величина прогиба пропорциональна 4-й степени размера неоднородности и поэтому наибольшую опасность представляют неоднородности, имеющие малые геометрические размеры: при  $R=1$  см  $\Delta Z=15$  мкм, а при  $R=0,5$  см  $\Delta Z=1$  мкм.

*Неодинаковая деформация спейсеров под действием внешнего сжимающего усилия* — основной источник неоднородности зазора. Будем считать все спейсеры идентичными. Усилие, которое передается на спейсеры, может быть неодинаковым в разных местах экрана из-за неравномерной плотности распределения спейсеров по площади экрана и выравнивания неровностей стекла под действием сжимающего усилия. Рассмотрим деформацию трех основных видов применяемых спейсеров: сферических (шариков), цилиндрических (из стекловолокна) и в виде столбиков.

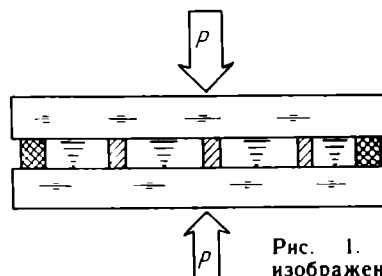


Рис. 1. Схематическое изображение ЖК-индикатора (стрелками указано наружное давление)

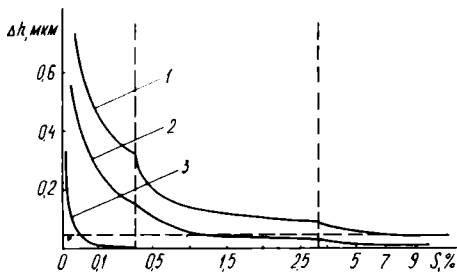


Рис. 2. Зависимость величины деформации спейсеров высотой 10 мкм от площади, занимаемой ими по отношению к общей площади экрана, при наружном давлении 1 атм для различных типов спейсеров: 1 — шарики, 2 — стекловолокно, 3 — прямоугольные опоры

**Задание зазора с помощью сферических спейсеров (шариков).** Предположим, что шарики при деформации не изменяют своей формы, а происходит только деформация (сминание) верхней части сферы. Деформацию считаем упругой. В этом случае внешнее давление, передаваемое на шарики, и величина деформации с учетом, что шарик деформируется и сверху и снизу, связаны между собой следующим соотношением:

$$P = \pi/3E\varrho(\Delta Z/2)^2 [(3r - \Delta Z/2)/r],$$

где  $E$  — модуль Юнга для материала, из которого сделан спейсер;  $r$  — радиус шарика;  $\varrho$  — количество шариков на единицу площади;  $P$  — внешнее давление;  $\Delta Z$  — величина деформации. Для малых деформаций  $P \approx \pi/4E\varrho(\Delta Z)^2$ .

В зависимости от количества спейсеров или от занимаемой ими площади они будут деформироваться на разную величину. Зависимость изменения зазора от площади, занимаемой спейсерами, изображена на рис. 2 (для шариков — кривая 1). При задании зазора с требуемой точностью на неровном стекле для того, чтобы максимальная деформация спейсеров не превышала 0,05 мкм требуется большое количество шариков (площадь, занимаемая ими, — 7—10%). Такое количество спейсеров приведет к уменьшению контраста изображения, что неприемлемо.

Другой подход — допускается большая деформация (0,1—1 мкм), но она должна быть одинаковой по всей площади экрана. При этом допустимый перепад давления равен:

$$\Delta P = \sqrt{\pi E \varrho P} \cdot \delta h, \quad (3)$$

где  $\delta h$  — неравномерность зазора, вызванная перепадом давления. Из (3) и (2) можно получить зависимость величины отклонения зазора от степени неровности стекла (будем полагать, что неравномерность давления обусловлена только неровностью стекла):

$$\delta h = 3h^3/\pi R^4 \sqrt{E/\pi \varrho P} \cdot \Delta h.$$

Если принять, что приемлемым количеством спейсеров является  $10^3/\text{см}^2$ , что соответствует 0,1% площади, то неровность стекла при этом не должна превышать 0,3 мкм.

С другой стороны, неравномерность давления на спейсеры может быть вызвана и неравномерностью размещения спейсеров, в этом случае

$$\delta h = \Delta \varrho/\varrho \sqrt{P/\pi E \varrho}.$$

Если количество спейсеров  $10^3/\text{см}^2$ , то неравномерность размещения спейсеров не должна превышать 20%. Здесь следует указать, на какой площади необходимо определять плотность размещения шариков. Это должен быть размер, на котором стекло не обнаруживает различий в равномерности размещения спейсеров. Выше было показано, что максимально допустимое расстояние между опорными площадками 4,8 мм, при этом стекло не может прогнуться на величину больше 0,05 мкм. Поэтому равномерность размещения спейсеров следует рассматривать на площади больше, чем  $4 \times 4$  мм.

Таким образом, производство супертвистовых экранов с использованием шариков для удержания зазора требует применения стекла высочайшего качества и обработки технологии равномерного нанесения шариков на стекло.

**Задание зазора с помощью стеклянных волокон.** При выводе зависимости изменения зазора от площади стекловолокна справедливы те же допущения, которые были сделаны для шариков. Они приводят к следующему соотношению:

$$P = 1/2E\varrho l_{cp} r (\alpha - \sin \alpha), \quad (4)$$

где  $\alpha = 2 \arcsin \sqrt{\Delta h/r(1 - \Delta h/r)}$ ;  $l_{cp}$  — средняя длина волокон;  $r$  — радиус волокна. Нас интересуют малые изменения зазора, с учетом этого (4) можно упростить:

$$P = 1/3E\varrho l_{cp} r (\Delta h/r)^{3/2}.$$

Зависимость изменения зазора от площади, занимаемой стекловолокном, изображена на рис. 2 (кривая 2). Из рисунка видно, что деформация стекловолокна на величину менее 0,05 мкм происходит при меньшем количестве спейсеров, чем на шариках (когда стекловолокно занимает 1,5% площади). Тем не менее, это слишком большое количество. Так же как это делалось для шариков, можно определить требования к плоскостности стекла и к равномерности размещения спейсеров. Аналогичные рассуждения приводят к следующим формулам для отклонений от плоскостности стекла:

$$\delta h = 2^3 \sqrt{E r [3P(\varrho l_{cp})^2]} 3h^3 \Delta h / \pi R^4$$

и для неравномерности размещения стекловолокна:

$$\delta h = 2/3 (3P/E_{0\text{cp}} r)^{2/3} 1/r \Delta \rho / \rho.$$

Отсюда получаем, что отклонение от плоскостности стекла может достигать 1,5 мкм, а неравномерность размещения стекловолокна — 30%.

*Задание зазора с помощью столбиков.* Будем считать, что спейсеры имеют форму параллелепипедов. В этом случае внешнее давление и деформация столбиков связаны следующим образом:

$$P = E_0 S_{\text{пл}} \Delta Z / H,$$

где  $S_{\text{пл}}$  — площадь опоры столбика;  $\rho$  — количество столбиков на единице площади экрана.

Зависимость изменения зазора от площади, занимаемой опорными площадками, изображена на рис. 2 (кривая 3). Как видно из рисунка, при площади спейсеров 0,1% деформация опорных площадок составляет 0,01 мкм, что является достаточным (и даже с запасом) для экрана на эффекте супертвист. Поэтому при удержании зазора стеклянными столбиками можно использовать стекло с наибольшей неровностью, которая может быть устранена за счет прижима избыточным атмосферным давлением.

Таким образом, расстояние между столбиками не должно превышать 4 мм и они должны быть изготовлены из жесткого материала, по жесткости сравнимого со стеклом; площадь, занимаемая опорными площадками, должна составлять не менее 0,05%; желательно равномерное (или регулярное) распределение опорных площадок в рабочей зоне экрана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ohshima N.— JEE, 1988, N 9, p. 60.
2. Sheffer T.J., Nering J.— J. Appl. Phys., 1985, vol. 58, p. 3022.
3. Digest 1988 SID Int. Symp./N.Kimura et al.— Soc. for Inf. «Display».— Los Angeles, 1988, p. 49.
4. Conf. Record 1988 Int. Disp. Res. Conf. San. Diego/H.Odai et al.— IEEE, NY, 1988, p. 195.
5. Conf. Record 1988 Int. Disp. Res. Conf. San/H.Inoue et al.— IEEE, NY, 1988 (addendum).
6. Conf. Record 1989 Int. Disp. Res. Conf. San. Diego/T.Nagayasuet et al.— IEEE, NY, 1988, p. 56.
7. Digest 1989 SID INT. Symp./K.Ichikawa et al.— Soc. for Inf. Display, Los Angeles, 1989, p. 226.
8. Conf. Record 1988 Int. Disp. Res. Conf. San. Diego/P.W.Ross — IEEE, NY, 1988, p. 185.
9. Стрелков С.П. Механика.— М.: ГИТТЛ, 1956, с. 258.

---

### микрoэлектроника промышленная технология

---

## Геттерная система для запуска магниторазрядных насосов

А.И.ВОЛЧКЕВИЧ, С.А.ЕНИКЕЕВА

*Малогабаритная эффективная геттерная система позволяет получать и поддерживать безмасляный высокий вакуум без прогрева вакуумной системы. Рекомендуемая область применения — откачка электрофизических установок, аппаратуры физического эксперимента, электровакуумных приборов и устройств, линейных ускорителей электронов.*

При использовании магниторазрядных насосов заметные сложности возникают при запуске насоса после разгерметизации установки, если нежелательно обезгаживание установки и насоса перед запуском. При стартовом давлении 0,1 и особенно 1 Па, обеспечиваемом системой предварительного разрежения, запуск насоса без предварительного прогрева может длиться десятки минут.

Весьма эффективно применение геттерных устройств, обеспечивающих не только быстрый старт магниторазрядного насоса и быстрое восстановление высокого вакуума после разгерметизации системы (в том числе и без ее нагрева), но и продолжение откачки установки после ее полного включения.

В НИИ "Титан" разработана малогабаритная эффективная геттерная система, состоящая из геттерной ловушки и геттерного насоса на базе подогрешных нераспыляемых газопоглотителей, для установок с магниторазрядным насосом. Данная система не предполагает внутри себя вакуумных кранов и затворов, ее элементы непосредственно присоединяются к откачиваемому объекту.

Геттерная ловушка (рис.1) длиной 150 мм и диаметром 80 мм имеет присоединительные фланцы  $D_y$  25 с металлическим уплотнением. Входной фла-



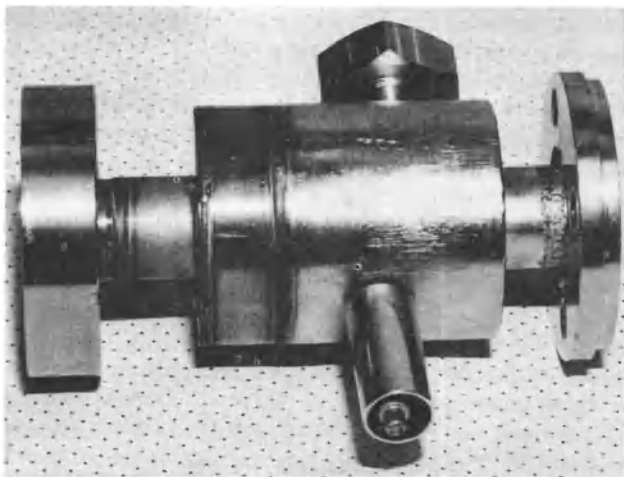


Рис. 1. Геттерная ловушка

нец ловушки через кран присоединяется к системе предварительного разрежения для удаления атмосферных газов из откачиваемого объекта. Нагрев геттерной ловушки обеспечивает полную защиту от паров масла и тяжелых углеводородов, позволяя использовать для предварительного разрежения обычный форвакуумный механический насос. При нагреве ловушка, кроме своих защитных функций, работает как геттерный насос, обеспечивающий скорость откачки 10–20 л/с по газам типа азота при давлении  $\leq 10^{-4}$  Па.

Геттерный в бескорпусном исполнении насос имеет диаметр около 80 мм и высоту 70 мм и поэтому может размещаться непосредственно внутри откачиваемого объекта установки или даже в вакуумпроводе с  $D_y \geq 100$  мм, в том числе у фланца магнитоэридного насоса. В режиме непрерывного активирования геттерный насос по газам типа азот имеет скорость откачки до 100–200 л/с при давлениях  $\leq 10^{-5}$  Па. При комнатной температуре газопоглотитель насоса обладает сорбционной емкостью: по азоту 26,6–33,3 л·Па; по водороду — на 2–3 порядка выше. Сорбционная емкость по газам типа азота может быть восстановлена активированием в течение 5–10 мин.

Для нагрева геттерных устройств необходим регулируемый источник переменного тока напряжением до 24 В. Потребляемая мощность при номинальном режиме нагрева: геттерной ловушки — 100–120 Вт; геттерного насоса — 120–150 Вт. В таком режиме общее давление определяется исключительно водородом, давление которого в зависимости от водородосодержания геттера и особенно его температуры может изменяться в широких пределах от  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  Па, при номинальном режиме нагрева до сверхвысокого вакуума при температурах, близких к комнатной.

Геттерные устройства эффективно сорбируют химически активные газы, кроме инертных (аргон, гелий и др.), а на поверхности геттера также синтезируются легкие углеводороды, в основном метан, давление которых в установке за несколько часов может возрастать до  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  Па. Так как скорость их образования оказывается относительно небольшой, то при работе совместно с геттерным магнитоэридным насосом даже неболь-

шой производительности парциальное давление легких углеводородов остается в диапазоне сверхвысокого вакуума. Если герметичность всей вакуумной системы высока (соизмерима с паспортной чувствительностью гелиевых течеискателей), то и остаточное давление аргона, поступающего через микротечи как компонента воздуха, остается в диапазоне сверхвысокого вакуума, и давление в вакуумной системе с геттерным и магнитоэридным насосами будет определяться остаточным газовыделением поверхностей, особенно сорбционной памятью по воде для непрогреваемых систем, и газовой выделением конкретного технологического процесса обработки в установке.

Большим преимуществом геттерных устройств является эффективное откачивающее действие (в пределах их сорбционной емкости при комнатной температуре) в установке после ее полного отключения.

Эффективность такой комбинации средств откачки опробована при вакуумировании объекта объемом 6 л, к которому без кранов и вентилях были присоединены геттерная ловушка и магнитоэридный насос типа ПМД-025, у присоединительного патрубка которого был смонтирован геттерный насос (рис. 2). Вся система, включая манометрические преобразователи ПМИ-2 и ПМТ-2 и омегатрон РМО-4С, не прогревалась и не обезгаживалась внешним прогревом.

В откаченную систему напускался азот до атмосферного давления и выдерживался в течение часа. Затем с помощью форвакуумного насоса давление в системе снижалось до 20 Па, кран предварительной откачки закрывался, а форвакуумный насос выключался.

В результате нагрева геттерной ловушки и активирования геттерного насоса (рис. 3,а) общее давление в системе через 25–30 мин достигает  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  Па, старт магнитоэридного насоса и выход его на рабочий режим происходит практически мгновенно, парциальные давления отдельных компонентов примерно через

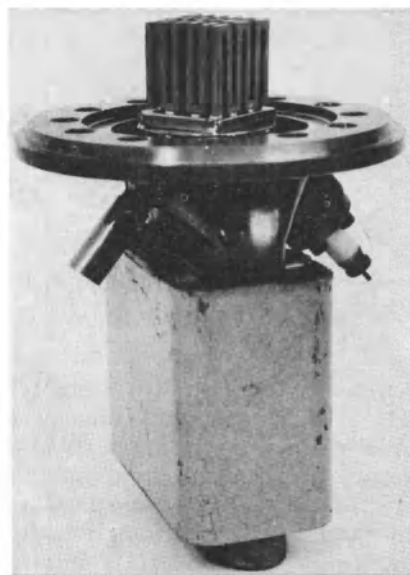


Рис. 2. Геттерный насос

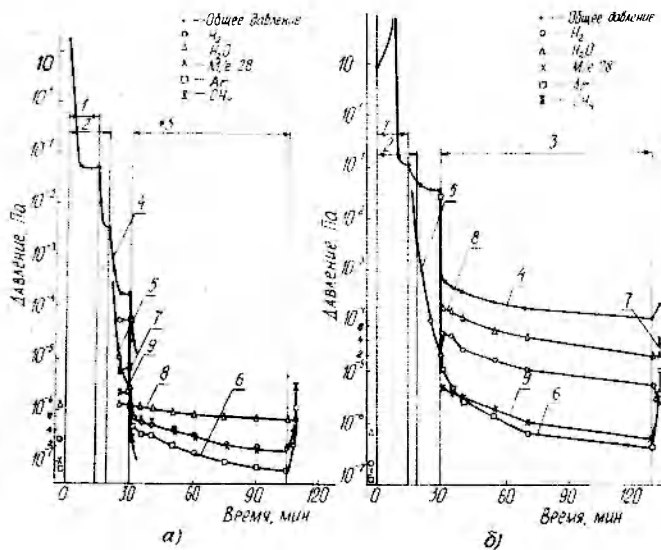


Рис. 3. Изменение во времени давления в объеме при его откачке геттерной системой и магниторазрядным насосом после контакта в течение 1 ч с азотом (а) и с воздухом (б) (предварительная откачка ротационным насосом): 1 — нагрев геттерной ловушки; 2 — активировка геттерного насоса; 3 — включение магниторазрядного насоса; 4 — общее давление; 5 — водород; 6 — аргон; 7 — метан; 8 — вода; 9 —  $m/e = 28$

час уменьшаются до значений ( $\leq 10^{-6}$  Па), имевших место в системе перед напуском воздуха.

При использовании данной системы откачки газовая среда при нагреве геттерных устройств состоит в основном из водорода, перед стартом магниторазрядного насоса — из аргона и метана.

После контакта с неосушенным воздухом (рис. 3, б) общее давление примерно на порядок хуже, чем после контакта с азотом (см. рис. 3, а), из-за сорбционной

памяти системы и особенно стеклянных стенок манометров и омегафона по парам воды.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности быстрого получения высокого вакуума  $\leq 10^{-6}$  Па без прогрева вакуумной системы. Примененные геттерные устройства, кроме обеспечения быстрого старта магниторазрядного насоса и получения высокого вакуума, с успехом могут быть использованы для получения и поддержания сверхвысокого и безмасляного вакуума, для достижения которого обычно проводится обезгаживание всей установки. Откачка газов, выделяющихся из установки и магниторазрядного насоса при их прогреве, осуществляется геттерными устройствами в указанных выше режимах их нагрева. Общее давление в установке  $\sim 10^{-2}$  Па определяется исключительно водородом, а скорость откачки других выделяющихся химически активных газов ( $N_2$ , CO,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  и др.) в зависимости от выбранного режима нагрева геттерных устройств составляет порядка  $10^2$  л/с (кран к форвакуумному насосу открывается лишь в начале откачки для уменьшения до  $\sim 1$  Па давления атмосферных газов). После выключения прогрева и остывания установки и геттеров старт магниторазрядного насоса протекает быстро (удаление остаточного аргона), а предельное давление в герметичной установке достигает  $\leq 10^{-8}$  Па. Следует отметить, что в случае загрязненной и особенно негерметичной установки получить высокий вакуум весьма сложно практически с любыми средствами откачки.

Высокая эффективность малогабаритных и легко встраиваемых в установку геттерных устройств позволяет применять также магниторазрядный насос значительно меньшей производительности и массогабаритных характеристик.

НИИ "Титан", г. Москва,  
тел. 335-01-90

## Гелиевый течеискатель без жидкого азота

А.И.ВОЛЧКЕВИЧ, С.А.ЕНИКЕЕВА, Т.В.ЖУЛЕВА

Масс-спектрометрические гелиевые течеискатели типа СТИ-11, ПТИ-10 при эксплуатации потребляют жидкий азот, в том числе и при использовании метода накопления для увеличения чувствительности (СТИ-11).

В НИИ "Титан" усовершенствован течеискатель СТИ-11, что позволило применять его без жидкого азота. С этой целью использовано специальное сорбционное устройство с блоком питания, встроенное в вакуумную систему течеискателя между азотной ловушкой и клапаном "Дросселирование откачки"; выпуск

пробного газа в масс-спектрометрическую камеру осуществлен через сорбционное устройство и обводной трубопровод для обеспечения такого впуска; разработана методика накопления для повышения чувствительности в 50—60 раз.

Модернизация выполнена таким образом, что при работе на течеискателе используются все штатные органы и краны управления по их прямому назначению. Это позволяет работать на модернизированном течеискателе, в том числе с использованием метода накоп-

ления, в соответствии с ТО и ИЭ СТИ-11, дополнив его лишь указанием по включению и выключению нагрева сорбционного устройства.

Сорбционное устройство представляет собой крупногабаритный подогревный газопоглотитель из высокопористого титана. Наличие подогревателя, запеченного в теле газопоглотителя, обеспечивает быстрый, равномерный и очень экономичный нагрев активного геттерного материала до рабочей температуры, достигающей 600–700°С.

В нагретом состоянии газопоглотитель работает как эффективный геттерный насос, сорбирующий все химически активные газы, а также углеводороды. Это свойство и специальное конструктивное исполнение позволяют рассматривать сорбционное устройство в качестве эффективной сорбционной ловушки, защищающей всю вакуумную систему течеискателя от загрязнений парами масла и углеводородов со стороны паромасляного насоса, в результате чего отпадает необходимость в использовании для этой цели штатной азотной ловушки. Гелий как пробный газ свободно проникает через сорбционное устройство и достигает масс-спектрометрической камеры, где парциальное давление гелия пропорционально негерметичности.

При проверке деталей и узлов с достаточно большим газоотделением возможно заметное повышение давления в камере. Чтобы исключить попадание в камеру этих газов, особенно загрязняющих (пары воды, углеводороды и др.) и тем самым обеспечить низкий вакуумный фон в камере, обычный путь пробного газа в камеру перекрыт заглушкой, а впуск газа со стороны приставки в камеру осуществляется по обводному трубопроводу через сорбционное устройство, в котором происходит сорбция всех компонентов поступающего газа, кроме гелия.

Для нагрева сорбционного устройства используется понижающий трансформатор в двух режимах: обезгаживание (12–13 В, 100–120 Вт) и рабочий (8–9 В, 50–60 Вт). На передней панели течеискателя размещаются тумблеры управления, амперметр контроля тока нагревателя и др.

Изменение мощности нагрева (температуры) газопоглотителя в основном сильно сказывается на парциальном давлении водорода, величину которого, в зависимости от содержания водорода в геттере, можно изменять в широких пределах – от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  Па. Парциальные давления других компонентов  $< 10^{-5}$  Па (омегатрон РМО-4С) и определяются, по-видимому, остаточным газоотделением вакуумной системы, в основном из-за нагрева конструктивных элементов корпуса сорбционного устройства, и слабо зависят от мощности нагрева газопоглотителя.

В области спектра остаточных газов, характерного для углеводородов и паров масла, отмечается лишь один характерный пик с  $m/e \approx 65$  а. е., парциальное давление которого не превышает  $(2-5) \cdot 10^{-6}$  Па. Это свидетельствует о практической безмасляности спектра остаточных газов, обеспечиваемой сорбционным устройством, без охлаждения штатной ловушки течеискателя жидким азотом.

При выключении течеискателя после закрывания клапана между системой и паромасляным насосом нагрев сорбционного устройства выключается. Оактивированный газопоглотитель в отсоединенной вакуумной системе течеискателя, включая и масс-спектрометрическую камеру, поддерживает высокий вакуум ( $10^{-3} - 10^{-2}$  Па) в течение многих часов и суток. Характерными компонентами являются аргон и метан, причем давление аргона и, в основном обусловленное им, остаточное общее давление в камере может служить критерием негерметичности измерительной системы течеискателя, включая камеру. При столь низком и безмасляном остаточном давлении масс-спектрометрическая часть течеискателя не требует подготовки, и в целом течеискатель готов к работе сразу после выхода паромасляного насоса на рабочий режим. Это позволяет на 30–60 мин увеличить продолжительность работы течеискателя в результате сокращения подготовительно-заключительного времени.

Поддержание, благодаря сорбционному устройству в течение длительного времени, высокого вакуума и низкого вакуумного фона в камере при перекрытом клапане "Дросселирование откачки" очень важно для операции высокочувствительных испытаний с методикой накопления, так как позволяет в принципе увеличить время накопления до десятков минут и даже часов. Ограничением здесь является не монотонное возрастание вакуумного фона, а гелиевый фон течеискателя и связанное с ним возрастание во времени пика гелия за пределы измерений после перекрывания клапана.

Осуществление методики накопления в модернизированном течеискателе СТИ-11 с использованием сорбционного устройства повышает чувствительность в 50–60 раз (время накопления 1 мин), при этом не нужен цеолитовый насос (охлаждение его жидким азотом и др.), являющийся принадлежностью этого течеискателя. Для осуществления метода накопления необходимо лишь закрывание соответствующего крана.

Данная схема позволяет провести модернизацию любого серийного течеискателя (при наличии крана над паромасляным насосом) для исключения потребления жидкого азота и реализации метода накопления с повышением чувствительности в 50–60 раз.

НИИ "Титан", г. Москва,  
тел. 335-01-90

# Перспективные способы монтажа мощного полупроводникового прибора с использованием мягких прокладок

В.М.НОГИН, В.В.ПОЛЕХОВ, С.П.ЛЕБЕДЕВ, Т.В.КОКОРЕВА

*Усовершенствованный способ монтажа полупроводникового прибора с использованием алюминиевой фольги позволяет на 20% снизить тепловое сопротивление кристалл-теплоотвод.*

Наиболее важной тепловой характеристикой, описывающей качество и надежность мощного полупроводникового прибора, является его тепловое сопротивление, внешняя составляющая которого - в частном случае контактное тепловое сопротивление корпус—теплоотвод — зависит прежде всего от способа монтажа прибора на теплоотвод.

Проблема снижения этой компоненты за счет улучшения внешнего контакта корпуса прибора с теплоотводом по-прежнему актуальна, поскольку тепловые свойства, коэффициенты теплопроводности целого класса применяемых материалов (многих сплавов, пластиков и клеящих материалов) изучены недостаточно.

Известно, что контакт корпус—теплоотвод можно улучшить путем уменьшения шероховатости и неплоскостности контактирующих поверхностей. Однако, согласно результатам исследований [1], известные способы механической обработки поверхности (шлифовка, полировка) крайне несовершенны и не позволяют избавиться от поверхностных микронеровностей в металлах порядка 7 мкм.

В ряде работ с целью улучшения теплопередачи между соприкасающимися поверхностями обосновывалась необходимость применения различных мягких прокладок, обладающих высокой теплопроводностью (например, из индия или сплава индий-олово).

Предложенный в работе [2] способ монтажа с использованием мягкой прокладки, размещенной между контактирующими поверхностями корпуса и теплоотвода и изготовленной из сплава индий-олово, был опробован на приборах, величина неплоскостности корпусов которых составляла от 10 до 30 мкм, была получена закономерность, позволяющая связать оптимальную (соответствующую минимальному тепловому сопротивлению) толщину мягкой прокладки  $t$  и

величину неплоскостности фланца корпуса прибора  $\Delta$  соотношением:

$$t = \xi \Delta, \quad (1)$$

где  $\xi$  — полуэмпирический коэффициент, равный 3 [3].

Кроме того, авторами были получены хорошие результаты по оптимизации состава сплава с учетом ремонтпригодности фланца корпуса прибора, которая затруднена необходимостью устранения прилипания к нему прокладки (это особенно характерно для прокладок из чистого индия).

В настоящее время особый интерес представляет собой использование мягких прокладок из алюминиевой фольги, удовлетворяющих требованиям высокой теплопроводности, значительной пластичности, повышенной температуры плавления и, что особенно важно, малой стоимости. Например, применение бытовой алюминиевой фольги позволяет заметно повысить технологичность конструкции и надежность изделия в целом за счет обеспечения изначально достаточно высокой степени деформации мягкой прокладки [4].

Способом прямого измерения теплового сопротивления кристалл-теплоотвод было установлено, что для мощного транзистора 2П920А при использовании мягкой прокладки из индия толщиной 15 мкм это сопротивление уменьшилось на 15%, а при прокладке из алюминия той же толщины — на 13% по сравнению с сопротивлением при ее отсутствии.

Усовершенствование предложенного способа монтажа позволяет в еще большей степени понизить контактное сопротивление за счет повышения пластичности мягкой прокладки [4, 5]. Это достигалось введением ряда дополнительных операций механической и термической обработки перед ее размещением в конструкции, а также значительного усилия прижима.

Механическая обработка прокладки заключалась в ее перфорировании равноудаленными отверстиями, диаметр  $d$  [мкм] и шаг  $l$  [мкм] которых выбирались из соотношения:

$$t = \gamma \frac{d^2}{l-d}; \quad (2)$$

где  $t$  — толщина теплопроводящей прокладки в пределах от 14 до 35 мкм, соответствующая минимальному тепловому сопротивлению;  $\gamma$  — полуэмпирический коэффициент, составляющий 0,72—0,75.

Термообработка мягкой прокладки производилась посредством отжига в среде аргона с водородом при температуре 280—300°C в течение не менее часа.

Усилие прижима фланца выбиралось равным 490 Н.

С учетом соотношения (2) можно рассчитать оптимальную толщину алюминиевой фольги, которой соответствует структура отверстий с диаметром 100 мкм, и шагом 600 мкм, а также режим отжига, соответствующий температуре процесса  $T = 300^\circ\text{C}$  и времени процесса около 60 мин. Эта толщина  $t$ , согласно соотношению (2), составляла 14 мкм. Тепловое сопротивление кристалл—теплоотвод для того же прибора 2П920А на 20% ниже при использовании такой прокладки, чем при ее отсутствии.

Таким образом, применение усовершенствованного способа монтажа позволяет в значительной мере компенсировать микронеровности соприкасающихся поверхностей фланца и тепло-

отвода за счет некоторого повышения пластичности мягкой прокладки. Этот способ высокотехнологичен, поскольку может осуществляться групповым методом. Кроме того, он позволяет заменить такой дефицитный и полудрагоценный металл, как индий, приводя к тому же теплофизическому результату.

Обращаться по адресу: Москва, НИИ «Пульсар», тел. 366-58-65.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Scholten J. Modeling RF transistors when the Heat's on.— *Microwaves and RF*, 1984, vol. 23, N 2, p.97—105.
2. Диковский В.И., Асвадурова Е.И. Некоторые причины повышенного значения тепловых сопротивлений в мощных СВЧ транзисторах.— *Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы*, 1980, вып.1, 12—16.
3. Лебедев С.Л., Румянцев А.Н. Способы снижения контактного теплового сопротивления корпус—теплоотвод мощных полупроводниковых приборов.— *Материалы VII научно-технической конференции молодых специалистов.*— Рига, 1987, с. 46—47.
4. Полехов В.В., Лебедев С.Л., Румянцев А.Н. Способ снижения контактного теплового сопротивления корпус—теплоотвод мощных полупроводниковых приборов.— *М., Электронная промышленность*, 1990, вып.5, с. 94.
5. Лебедев С.Л., Сырычев В.И. Способ монтажа мощного полупроводникового прибора.— *Заявка на изобретение № 4871442/21-/099191/ от 2.10.90 с положит. решением от 29.08.91.*

## Контактирующие устройства для ИС

В.В.СОКОЛОВ

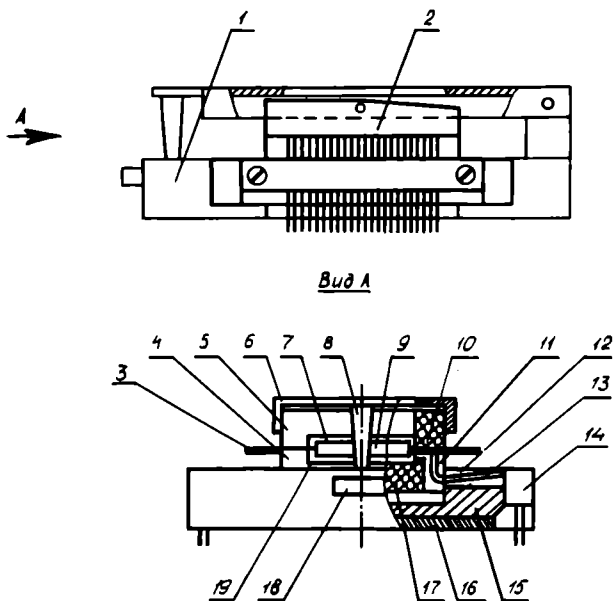
Контактирующие устройства предназначены для измерения в широком диапазоне температур (−60÷400°C) электрических и фотоэлектрических параметров ИС в контрольно-измерительной и испытательной аппаратуре. Эти устройства должны быть универсальные, с высокой степенью унификации и иметь большой ресурс работы.

Сложность задач, возникающих при разработке контактирующих устройств для ИС с планарными выводами, связана с большим разбросом габаритно-установочных размеров ИС, количеством и разнообразием технологических спутников, применяемых в технологическом процессе изготовления ИС. Эти задачи усложняются еще и тем, что ряд предприятий, выпускающих ИС, не используют в процессе производства технологические спутники. Поэтому большинство предприятий, производящих или потребляющих ИС, вынуж-

дены самостоятельно заниматься разработкой контактирующих устройств. Отсюда большое разнообразие конструкций этих устройств в промышленности с разным уровнем их надежности.

Использование некачественных контактирующих устройств служит причиной недоверности результатов измерений и, следовательно, отбраковки большого числа годных ИС. Поэтому основная задача при разработке контактирующих устройств — исключить возможность их влияния на результаты измерений ИС.

В результате многолетней работы была создана серия контактирующих устройств, основу которой составляет одна базовая конструкция (см.рис.), представляющая собой съемное малогабаритное контактирующее устройство 2 с удобным механизмом контактирования 1. Устройство состоит из основания 15, подвижной опоры 17 для ИС 9 и съемных контакт-



Контактирующее устройство для ИС с планарными выводами

ных блоков 14, его размеры зависят от размеров ИС.

Контактирующее устройство разработано на основании изобретения (а.с. № 1557690, автор Соколов В.В.), краткая информация о нем была опубликована в журнале "Электронная промышленность", вып. 5, 1988 г.

Предлагаемые устройства обладают широкими функциональными возможностями, охватывают почти все типы ИС в корпусном и бескорпусном исполнении с планарным расположением выводов с диапазоном расстояний между выводами от 0,5 до 2,5 мм, предназначены для измерения вручную и в автоматических устройствах электрических и фотозлектрических параметров ИС в контрольно-измерительной и испытательной аппаратуре, в том числе и для электротермометрировок.

Внедрение оригинальных устройств, имеющих новую архитектуру, построенному по единому конструктивному принципу и основанным на едином принципе контактирования, позволит оснастить предприятия, выпускающие и потребляющие ИС, однотипными, высоконадежными и ремонтоспособными контактирующими устройствами, что приведет к сокращению их номенклатуры и количества на производстве.

Предлагаемый принцип построения конструкции сокращает время проектирования устройств в 2,5 раза, а трудоемкость их изготовления — в 2 раза.

Унификация деталей и узлов устройств, построение из них как из типовых деталей разнообразных разновидностей контактирующих устройств под соответствующие ИС — основа для обеспечения их серийного выпуска.

**Конструкция** (рис.). Контактирующее устройство имеет основание 15, подвижную опору 17, в плоской

торцевой поверхности которой выполнены посадочное место 19 под ИС 9 и пазы 11 под выводы 3 ИС, а на боковой поверхности — пазы 11 для контактов 12, 13 устройства. На основании 15 установлены контактные блоки 14, в которых консольно закреплены прямолинейные или Г-образные, одинарные или двойные контакты 12, 13, рабочие концы которых расположены в направляющих пазах 11 подвижной опоры 17 на расстоянии около 1 мм от ее торцевой поверхности. Двойные контакты обеспечивают контроль контактирования перед каждым измерением [1].

Подвижная опора 17 в которую при измерении помещается ИС 9, выступает над плоскостью основания 15 устройства, образуя высокое месторасположение ИС, что создает определенные удобства при установке и съеме ИС.

Паз 19 под ИС 9 в подвижной опоре 17 образует на ее торцевой поверхности в районе выводов 3 ИС 9 (на расстоянии 3 мм от корпуса 9) выступы 4, в которых выполнены направляющие пазы 11 под выводы ИС и контакты устройства.

В выступы 4 упирается своей плоской торцевой поверхностью 10 прижимная планка 5 с пазом 7 под ИС, которая при контактировании движется возвратно-поступательно. В случае контактирования с ИС, выполненными на гибких изолирующих пленках, печатных платах и пластинах, установленных в спутниках-носителях, выступы на подвижной опоре входят в соответствующие окна спутников до упора в контактные поверхности ИС. В этом случае они одновременно направляют контакты контактирующего устройства на выводы ИС и прижимают пленку в области контактирования. Это обеспечивает точное попадание контактов на выводы ИС и исключает смятие гибкой пленки ИС.

При контактировании плоская торцевая поверхность 10 прижимной планки упирается в торцевую поверхность выступов 4 подвижной опоры 17 и одновременно в выводы 3 ИС 9, а через них и в рабочие концы контактов 12, 13. Так как выводы ИС, опирающиеся на контакты, прижимаются последними к плоской поверхности 10 прижимной планки, то они не испытывают никаких деформирующих усилий при контактировании.

Контактирующие устройства разработаны с учетом эстетических требований к промышленным образцам [2].

Благодаря предлагаемой конструкции контактирующего устройства исключается и такой вид деформации выводов ИС без спутников-носителей, как скручивание выводов ИС, потери от которого в производстве ИС достигают 2%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 538346 (СССР). Устройство контроля контактирования/ В.В.Соколов, В.С.Сидоренко. — Оpubл. в Б.И., 1976, № 15.

2. Свидетельство (на промышленный образец) № 26041 (СССР). Контактное устройство/ В.В.Соколов. — Оpubл. в Бюл. промышленных образцов и товарных знаков, 1989, № 4.

# контактирующие устройства

— ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ, ДИНАМИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИС;

— обеспечивают измерения быстродействующих ИС; — обладают высокой надежностью контактирования за счет выполнения контактов двойными и самоочищающимися, что повышает достоверность измерения параметров ИС и процент выхода годных;

— обеспечивают в измерительных системах с цепями Кельвина замыкание этих цепей через выводы ИС;

— позволяют контролировать качество контактирования между контактами КУ и выводами ИС;

— имеют унифицированные контакты, выполненные в виде отдельных съемных блоков;

— предназначены как для корпусных, так и для бескорпусных (на изолирующих пленках, платах, пластинах) ИС;

— обеспечивают контактирование с ИС (до 2 мм от корпуса ИС) в таре-спутнике и без нее;

— обеспечивают контактирование с ИС, имеющими двухстороннее и четырехстороннее расположение выводов, а также расположение выводов по окружности;

— исключают деформацию выводов ИС при установке, съеме и контактировании;

— обеспечивают контактирование с безвыводными ИС в пределах габаритов их корпуса;

— используются как в автоматических сортировщиках и проходных камерах, так и для работы вручную, причем в этом случае КУ снабжено специальным механизмом контактирования, который может иметь контакты для автоматического запуска измерителя;

— удобны для работы операторов вручную за счет высокого местоположения ИС относительно верхней плоскости корпуса КУ;

— могут иметь устройство для подъема ИС из посадочного места опоры после выключения КУ;

— обеспечивают свободный доступ к ИС сверху и, следовательно, внутрь корпуса ИС при снятой у нее крышке;

— могут выполняться металлическими, что обеспечивает экранирование ИС, защиту их от электростатического электричества, а также обеспечивает быстрое выравнивание и создание равномерного теплового поля при испытаниях ИС;

— допускают применение роботизированных систем для загрузки-выгрузки ИС в таре-спутнике;

— позволяют проводить уникальные измерения ИС при высоких температурах вплоть до 400°C;

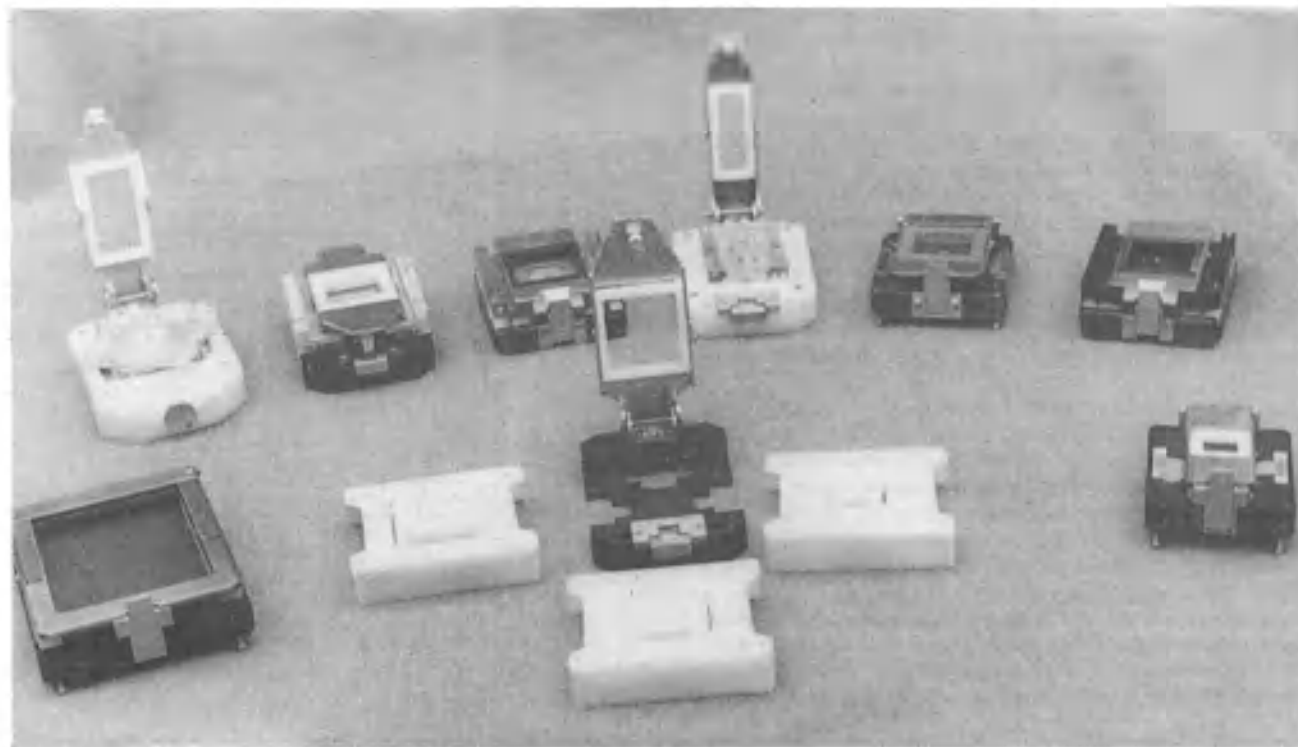
— не содержат драгоценных металлов;

— имеют большой ресурс работы.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Число контактов на вывод ИС	2 (изолированные друг от друга)
Количество выводов в ИС	10, 14, 16, 24, 28, 36, 42, 48, 64, 84, 94, 108, 128, 132, 144, 256, ...
Шаг между выводами ИС, мм	0,5; 0,625; 0,8; 1,0; 1,25; 2,5
Длина вывода ИС, мм	от 2 и более
Расположение выводов	на 2, на 4 стороны, по окружности
Сопротивление электрического контакта, Ом	≤ 0,05
Емкость между двумя соседними парами контактов, пФ	≤ 2,5
Диапазон рабочих температур, °С	от -60 до 400
Количество контактирований	10 <sup>9</sup>

ФИРМА «ЗЕЛКОН», 103305, МОСКВА, КОРП. 158  
ТЕЛ. 534-99-62



# Измеритель кислорода в кремниевых пластинах

А.М.БЕЛИН *канд. физ.-мат. наук*, В.А.ЗИМОГЛЯД *канд. техн. наук*

*В НИИ физических проблем разработан высокопроизводительный измеритель кислорода в кремниевых пластинах с автоматической сортировкой пластин по заданному "окну" концентрации кислорода и отбраковкой пластин, имеющих большую неоднородность распределения кислорода вдоль диаметра пластины. Применение измерителя кислорода при производстве СБИС позволяет оперативно выполнять подборку пластин по концентрации кислорода под конкретную технологию и производить отбраковку заведомо негодных пластин. Опыт эксплуатации измерителя в цеховых условиях показал его высокую эффективность и надежность работы.*

Кислород является остаточной примесью в кремниевых слитках, которые выращиваются, главным образом, по методу Чохральского. Содержащийся в кремниевых пластинах кислород может играть как положительную, так и отрицательную роль при производстве СБИС, причем в обоих случаях его присутствие существенно. Диффузия и преципитация атомов кислорода при термической обработке пластин при температурах порядка  $1000^{\circ}\text{C}$  является одной из причин возникновения дефектов на поверхности и в объеме пластины. Поскольку при производстве СБИС термическая обработка при таких температурах повторяется многократно, это явление может существенно ухудшать электрические параметры приборов и приводить к уменьшению процента выхода годных [1, 2]. По этой причине желательно использовать пластины с меньшим исходным содержанием кислорода.

С другой стороны, микродефекты, образующиеся при выпадении кислорода, обуславливают геттерный эффект, который может быть использован для удаления вредных примесей из активной области прибора.

Как сообщается в работе [3], при одностадийном цикле внутреннего геттерирования оптимальная концентрация кислорода в кремниевых пластинах при производстве фотоприемных матриц на основе ПЗС структур находится в диапазоне  $(9,0...10,5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Использование таких пластин позволило стабилизировать технологию и повысить в 3–5 раз процент выхода годных приборов.

Так как концентрация кислорода в исходных пластинах может иметь значительный разброс, то необходимо прецизионное измерение концентрации с целью подбора пластин с необходимым количеством кислорода. Кроме этого, практически во всех случаях при производстве СБИС нужна отбраковка пластин, имеющих большую степень неоднородности распределения концентрации кислорода вдоль поверхности.

В кремнии кислород в основном находится в межузельном состоянии и при комнатной температуре дает полосу поглощения с максимумом на длине волны 9,02 мкм. Поэтому определение концентрации кисло-

рода традиционно производят методами ИК-спектроскопии [4, 5]. Стандартным методом определения концентрации является измерение интенсивности линии поглощения по трем точкам спектра (одной в максимуме линии поглощения и двум за краями линии, которые определяют базис). Концентрация кислорода пропорциональна площади треугольника, образуемого этими точками.

Обычные промышленные ИК спектрометры, как дисперсионные так и фурье-спектрометры, не являются оптимальными с точки зрения проведения указанной измерительной процедуры. Поэтому они обладают низкой производительностью, недостаточной для применения в цеховых условиях для полного контроля и сортировки запускаемых в производство кремниевых пластин.

В НИИ физических проблем разработан и изготовлен экспериментальный образец высокопроизводительного измерителя кислорода в кремниевых пластинах с автоматической сортировкой пластин по заданному "окну" концентрации и отбраковкой пластин, имеющих большую неоднородность распределения кислорода вдоль диаметра пластины (рис. 1). Измеритель состоит из транспортной системы, спектрофотометра и блока

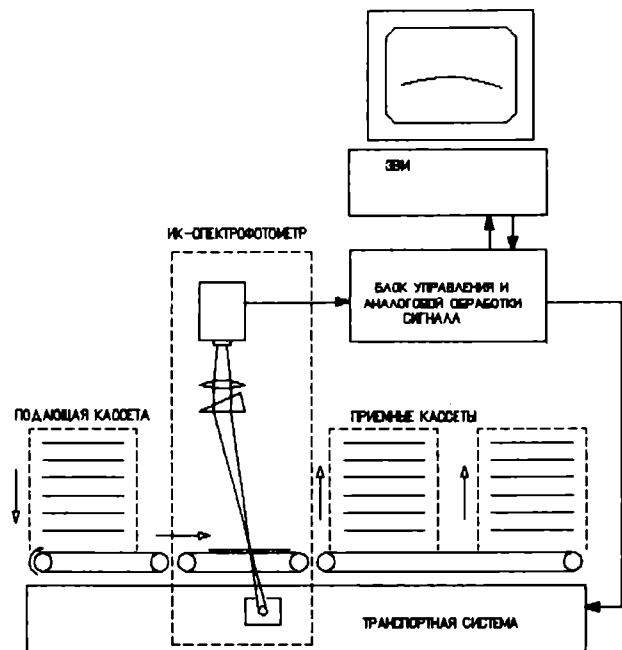


Рис. 1. Принципиальная схема измерителя кислорода



автоматики и аналоговой обработки. Для управления измерителем, а также для обработки и накопления информации используется ЭВМ ДВК-3. Возможно применение ЭВМ других типов. Транспортная система состоит из стандартных узлов подающей и приемных кассет, управляемых шаговыми электродвигателями. Перемещение пластин от подающей кассеты в зону измерения и далее, к приемным кассетам осуществляется с помощью полиуретановых треков. Распределение пластин в приемных кассетах происходит в соответствии с требуемым алгоритмом сортировки.

В измеритель встроен разработанный дисперсионный призмный спектрометр с параллельной регистрацией спектра высокочувствительным охлаждаемым до температуры жидкого азота многоэлементным фотоприемником на основе соединения КРТ. В спектрометре использован стандартный тепловой источник излучения. Благодаря указанной схеме регистрации удалось получить высокое быстродействие измерителя. Определение содержания кислорода в пластине происходит по мере ее продвижения транспортной системой в зоне измерения последовательно в точках, лежащих вдоль линии диаметра. За время прохождения пластины возможно измерение концентрации в 200-х точках. Как известно, распределение кислорода в пластинах имеет радиальную симметрию, поэтому такой способ измерения является оптимальным.

#### Техническая характеристика измерителя

Диаметр пластин, мм	100-150
Диапазон измерения концентрации, см <sup>-3</sup>	(1-20) · 10 <sup>17</sup>
Чувствительность по концентрации, см <sup>-3</sup>	2 · 10 <sup>16</sup>
Воспроизводимость измерения концентрации кислорода, %	не хуже 10
Разрешение по поверхности, мм	1x1
Время одного измерения, с	0,1
Производительность при выполнении 100 измерений на пластине, пл/ч	200

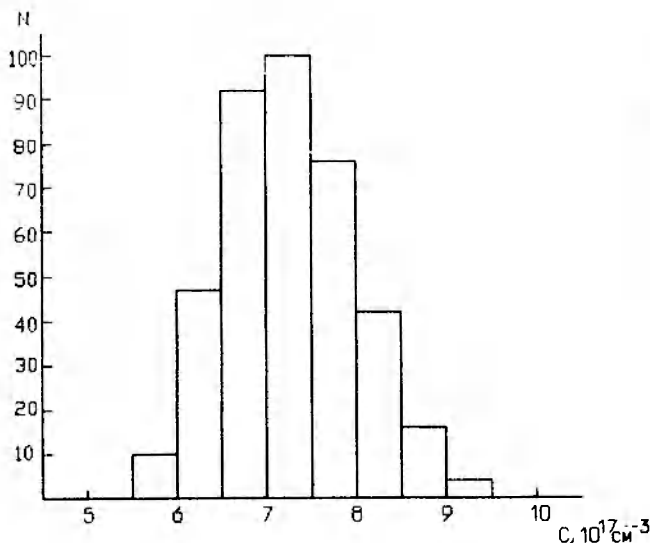


Рис. 2. Гистограмма распределения кремниевых пластин по концентрации кислорода

В связи с обработкой технологических режимов формирования внутреннего геттера проводились измерения содержания кислорода (в центре пластины), а также исследования неоднородности его распределения на серии из 375 стандартных кремниевых пластин типа КДБ-12 диаметром 100 мм (рис. 2).

Для характеристики радиальной неоднородности распределения кислорода в кремниевых пластинах использован стандартный параметр *ROV*, который в данном случае определен как

$$ROV = \frac{0,5 \cdot (C_1 + C_3) - C_2}{C_2} \cdot 100[\%],$$

где  $C_2$  — концентрация кислорода в центре пластины,  $C_1$  и  $C_3$  — концентрация, измеренная в двух противоположных точках диаметра, лежащих на расстоянии от центра пластины, равном половине радиуса. На рис. 3 приведены снятые с помощью измерителя распределения концентрации трех пластин, имеющих разные значения

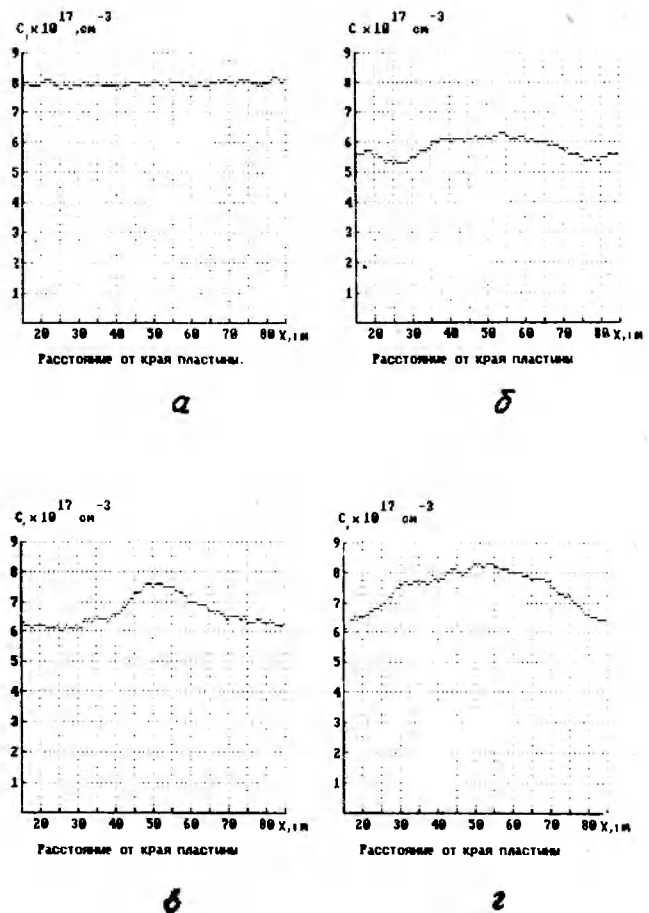


Рис. 3. Распределение кислорода в кремниевых пластинах с различным значением параметра неоднородности: а — *ROV*=1%; б — *ROV*=9%; в — *ROV*=15%; г — *ROV*=16%

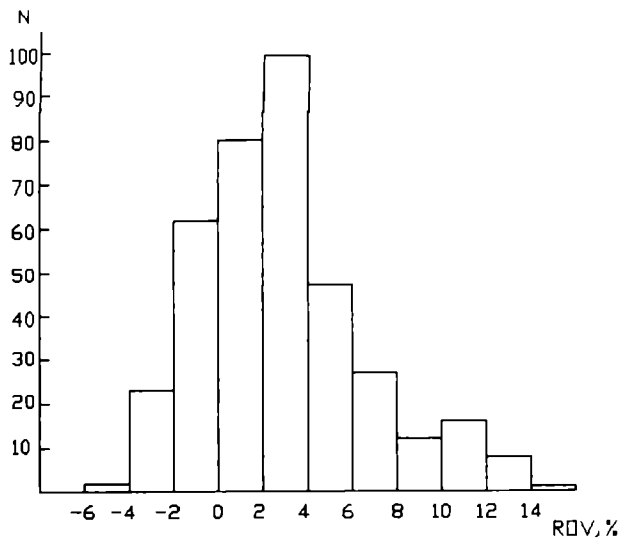


Рис. 4. Распределение пластин по степени радиальной неоднородности концентрации кислорода

ROV. Значения концентрации брались через 0,5 мм вдоль линии диаметра. Видно, что пластины б, в и г менее однородны, чем пластина а, поэтому их отбраковка при производстве СБИС, очевидно, повысит процент выхода годных схем. На рис. 4 приведено распределение пластин в исследованной серии по степени радиальной неоднородности.

В среднем пластины имеют в центре несколько большее значение содержания кислорода, чем по краям. Это обусловлено особенностями технологии роста

кристаллов кремния. Следует отметить, что параметр ROV недостаточно полно характеризует радиальную неоднородность. Так, пластины в и г (см. рис. 3) имеют существенно различное распределение кислорода при одинаковом значении параметра неоднородности. Внедрение разработанного измерителя дает возможность введения нового, более точного стандарта на параметр радиальной неоднородности распределения концентрации кислорода в кремниевых пластинах.

В конечном счете применение измерителя кислорода при производстве СБИС позволяет оперативно выполнять подборку пластин по концентрации кислорода под конкретную технологию и производить отбраковку заведомо негодных пластин. Опыт эксплуатации измерителя в цеховых условиях показал его высокую надежность и эффективность.

Обращаться по адресу:  
103460, Москва, Зеленоград,  
НИИ физических проблем им. Ф.В. Лукина  
Тел. 532-87-37

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Т а р у и Я. Основы технологии СБИС. — М.: Радио и связь, 1985.
2. J a s t r z e b s k i L. Origin and Control of Material Defects in Silicon VLSI Technologies: An Overview. — IEEE Tr. Electr. Dev., 1982, vol. ED-29, p. 475.
3. Влияние внутреннего геттерирования на качество ФППЗ/ А.Г.Булгаков и др. — Тезисы докладов конференции ПЗС-92 «Приборы с зарядовой связью и системы на их основе». — М.: 1992, с. 33.
4. Quantitative Spectroscopy of Interstitial Oxygen in Silicon/ В. Pajot, H.J. Stein, B. Cales, C. Naud. — J. Electrochem. Soc., 1985, vol. 132, p. 3034.
5. Bullis W.M., Coates L.B. Measurement of Oxygen in Silicon. — 1987, vol. 12, N 3, p. 69.

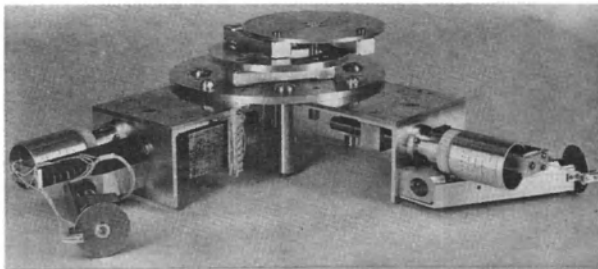
## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

*Подписка на журнал «Электронная промышленность» продолжается.*

Если Вы не успели подписаться, редакция предоставит Вам содержания вышедших номеров и вышлет ксерокопии заинтересовавших Вас статей.

# Прецизионный предметный столик для оптических микроскопов

А.С.ВОЙТЕНКО, С.М.ВОЙТЕНКО,  
В.Н.ДАВЫДОВ, А.А.МАЙОРОВ



Предназначен для линейного перемещения образца в горизонтальной плоскости по двум координатам в приборах для исследования и обработки поверхности (например, в оптических микроскопах, каплеустройных установках, установках для микросборки и др.).

Предметный столик состоит из тележки образца, изготовленной из алюминиевых сплавов; привода с

системой измерения положения на оптопарах и интерфейса связи привода с ЭВМ IBM PC (ДВК-3, "Поиск").

Режимы работы предметного столика: движение с постоянной скоростью и переход в заданное положение. Движение осуществляется в режиме реального времени с интервалом квантования 0,8 мс.

Диапазон перемещения по координатам X и Y, мм	57
Дискретность (разрешение) системы измерения, мкм	8
Максимальная скорость перемещения, мм/с	45
Минимальная скорость перемещения, мкм/с	10
Повторяемость, мкм	4
Максимальная масса перемещаемого образца, г	800
Диаметр поверхности тележки, мм	130
Напряжение питания, В	200 (50 Гц)

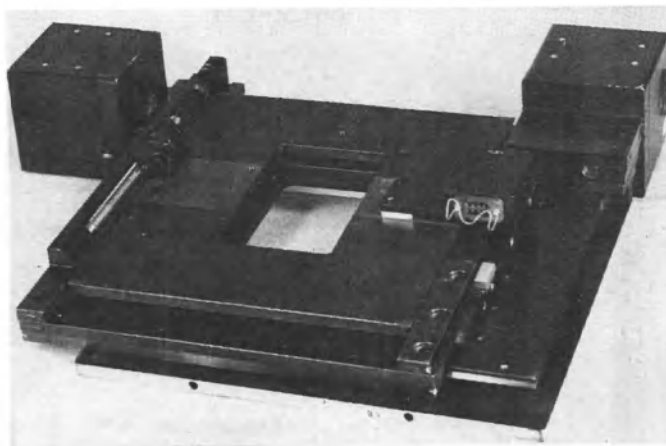
Имеется комплект документации на предметный столик

Адрес для переписки: 196247, Санкт-Петербург,  
Новоизмайловский пр., 37,  
кв.42, Давыдову В.Н.

# Прецизионный двухкоординатный столик для точного позиционирования волоконно-оптических изделий

В.Н.ДАВЫДОВ, Ю.В.ПЕТРАШ

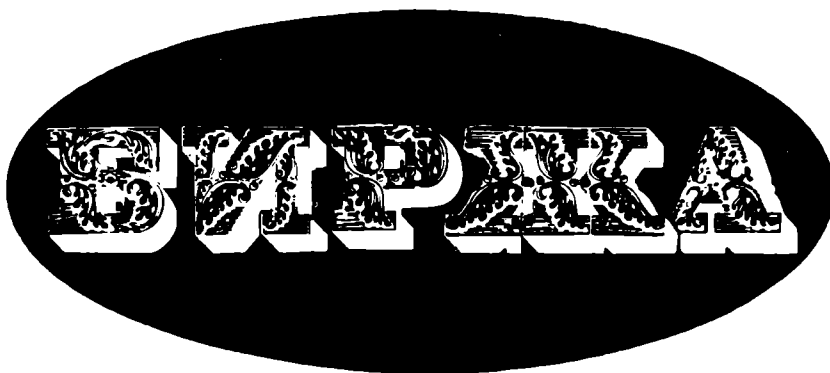
Столик состоит из тележки с отверстием, шагового привода с системой измерения положения, усилителя фазных токов, интерфейса связи привода с ЭВМ типа IBM PC. Может использоваться в установках для исследования полупроводниковых структур, в автоматизированных комплексах сборки, контроля и упаковки ИЭТ, в этом случае он снабжается дополнительным измерителем перемещений, например, измерителем линейных перемещений на дифракционных голографических решетках.



Перемещение тележки по оси X и Y, мм	80
Скорость перемещения, мм/мин	54
Перемещение от одного импульса, мкм	2
Повторяемость, мкм	0,5
Габаритные размеры тележки, мм	190x190

Адрес для переписки: 198103, Санкт-Петербург,  
фирма "Опган",  
Рижский пр., 26,  
Петрашу Ю.В.  
Тел. 251-67-47

# биржа «электронная индустрия»



Для больниц, госпиталей, поликлиник,  
профилактических учреждений и  
реабилитационных центров —

аппарат электромагнитной терапии —

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МТУ-ВЧ

Надежно работает в любых условиях —  
в наземном транспорте, на судах, в по-  
левых госпиталях.

Магнитотерапия с помощью МТУ-ВЧ  
обеспечивает:

— возможность уменьшения или полного  
исключения химиолучевой терапии при лече-  
нии онкологических и некоторых соматических  
заболеваний;

- ускорение эпителизации лучевых ожогов;
- снижение выраженности лучевой реакции;
- облегчение состояния пациентов при ис-  
пользовании болезненных химиотерапевтиче-  
ских препаратов;
- улучшение биохимических показателей  
крови;
- приведение к норме кровяного давления  
и содержания сахара в крови.

Напряжение питания 220 В.  
Потребляемая мощность — не более 0,8 кВт  
Масса не более 200 кг

**Комплект поставки:** индуктор (2000×  
×1000×1000 мм), генератор (400×800×  
×1200 мм), пульт управления (400×  
×300×500 мм), место для пациента  
(1900×600×600 мм).

По вопросам поставки обращаться по адресу:  
660041, г.Красноярск, ул. Акад. Киренского, 89,  
ЦБК «Геофизика», тел. (8-3912) 43-56-41.

Фирма с богатым опытом разработки, изготовления и внедрения в производство генераторов импульсных токов предлагает генераторы

## ГИТ-2 и ГИТ-10

Накапливаемая энергия — 2 и 10 кДж соответственно.

Назначение: использование в технологических процессах, основанных на электрогидравлическом и магнитоимпульсном эффектах, таких как:

- очистка литья,
- штамповка, прессование,
- нанесение тугоплавких и износостойких покрытий,
- разрушение неровностей и минеральных сред,
- очистка бункеров, ленточных транспортеров, выпарных аппаратов,
- обеззараживание питьевых и сточных вод.

	ГИТ-2	ГИТ-10
Напряжение питания, В	220	220
Рабочее напряжение, кВ	5	5; 10
Потребляемая мощность, кВт	0,6	5
Частота, Гц	0,1	0,1
Габаритные размеры, мм	600×300×600	500×800×1200
Масса, кг	50	250

На базе ГИТ создаются технологические комплексы ИТК-2 и ИТК-10. Техоснастка разрабатывается под конкретную технологию на основании технического задания заказчика. По индивидуальному ТЗ фирма подберет тип генератора, разработает и изготовит рабочий орган.

### Гарантируется:

Монтаж, наладка и сервисное обслуживание импульсных электроустановок на базе ГИТ. Обучение персонала — бесплатное. Выполнение заказов — в кратчайшие сроки.

## Вакуумная индукционная плавильно-литейная установка

Фирма предлагает вакуумную индукционную плавильно-литейную установку, обеспечивающую процесс плавки и слива расплавленного металла из тигля в изложницу в условиях вакуума или в атмосфере инертного газа.

### Установка используется:

- для получения чистых сплавов из цветных и черных металлов,
- в технологии порошковой металлургии,
- для получения отливок из спецсплавов для различных деталей.

Диапазон рабочих частот	30—250 кГц
Номинальная мощность генератора	25 кВт
Объем тигля	2 л
Габаритные размеры генератора	800×800×1500 мм
Габаритные размеры выносного индуктора, конструктивно объединенного с блоком согласования, вакуумной камерой и устройством вращения	600×200×1000 мм

Преимущества установки: ключевой режим работы, низкое выходное сопротивление, высокий КПД, исключение возможности электрического пробоя на корпус вакуумной камеры, высокие ресурсосберегающие параметры, экологическая безвредность.

**НАДЕЕМСЯ ВСТРЕТИТЬ В ВАШЕМ ЛИЦЕ  
ЗАИНТЕРЕСОВАННОГО ПАРТНЕРА!**

Ждем Ваших предложений!

## Базовый элемент новой архитектуры ЭВМ — восьмипортовое оперативное ЗУ типа К1627РП1Б

С.М.ИГНАТЬЕВ, А.В.НИКОЛАЕНКО, В.Н.САВЕНКОВ

*Применение в памяти ЭВМ микросхем К1627РП1Б емкостью 256х2 бит с типовым временем выборки адреса 9 нс при мощности 5,0 Вт позволяет эффективно использовать методы параллельной обработки информации. Микросхемы имеют для записи и считывания данных по четыре порта.*

Увеличение быстродействия вычислительной аппаратуры традиционными методами технологии и архитектуры становится все сложнее, поскольку они уже практически исчерпали свои возможности. Существенный эффект может дать только один способ — параллелизм, суть которого заключается в широком использовании параллельного выполнения нескольких вычислительных операций. Параллельная архитектура ЭВМ позволяет повысить быстродействие в несколько раз, при условии широкого использования относительно новой элементной базы — ИС многопортовых оперативных ЗУ, обеспечивающих параллельный доступ к памяти по многим адресам.

Максимальными на сегодня возможностями параллельного доступа обладает ЭСЛ ИС типа К1627РП1Б емкостью 256 двухразрядных слов, имеющая восемь независимых произвольно адресуемых информационных каналов — портов, четыре из которых предназначены для записи и четыре для считывания данных. Это позволяет в одном цикле обращения к микросхеме выполнить четыре операции записи и четыре операции считывания восьми двухразрядных слов по восьми произвольно установленным адресам. Исключение составляет лишь конфликт при совпадении двух или более адресов записи в случае несовпадении соответствующих данных, приводящий к недостоверности записываемой информации.

Рассмотрим структурную схему ИС К1627РП1Б (рис.1). Информационным портам присвоены условные номера: четные — 0, 2, 4 и 6 — портам считывания, а нечетные — 1, 3, 5 и 7 — портам записи. В принадлежащих портам считывания и

записи парах входов  $Di0$ ,  $Di1$  и парах выходов  $Qi0$ ,  $Qi1$  первый индекс означает номер порта. Аналогичным образом отличаются входы  $Ai0$ — $Ai7$  разрядов адреса выборки по каждому порту. Порты записи управляются соответствующими сигналами разрешения  $WR1$ ,  $WR3$ ,  $WR5$  и  $WR7$ . На всех адресных  $A00$ — $A77$  и информационных  $D10$ — $D71$  входах, а также входах  $WR1$ — $WR7$  разрешения записи установлены регистры, стробируемые общими сигналами синхронизации, поступающими в парафазной форме на соответствующие входы  $C$  и  $\bar{C}$ .

Микросхема содержит внутренний формирователь импульса записи, с определенной задержкой срабатывающий по заднему фронту синхроимпульса, т.е. после фиксации адресов записи, запоминаемых данных и сигналов разрешения входными регистрами и завершения выборки соответствующих элементов памяти. Это позволяет упростить временную диаграмму работы ОЗУ в режиме записи.

Порт 2 считывания информации имеет дополнительный вход управления  $COD$ , при подаче на который низкого логического уровня  $L$  соответствующий регистр адреса устанавливается в прозрачное состояние независимо от сигналов синхронизации. На выходах  $Q00$ — $Q61$  всех портов считывания регистры отсутствуют.

Кроме функций многопортового ОЗУ ИС К1627РП1Б выполняет операцию контроля четности комбинации адресных кодов  $A00$ — $A77$  и сигналов разрешения записи  $WR1$ — $WR7$  на выходах входных регистров. Сигнал контроля четности поступает на соответствующий выход  $PARITY$  через пару последовательных триггеров, первый из которых тактируется инвертированным синхросигналом, а второй — прямым, аналогично входным регистрам. Таким образом, в каждом такте на выходе  $PARITY$  микросхемы формируется контрольный сигнал комбинации, принятой в предшествующем такте.

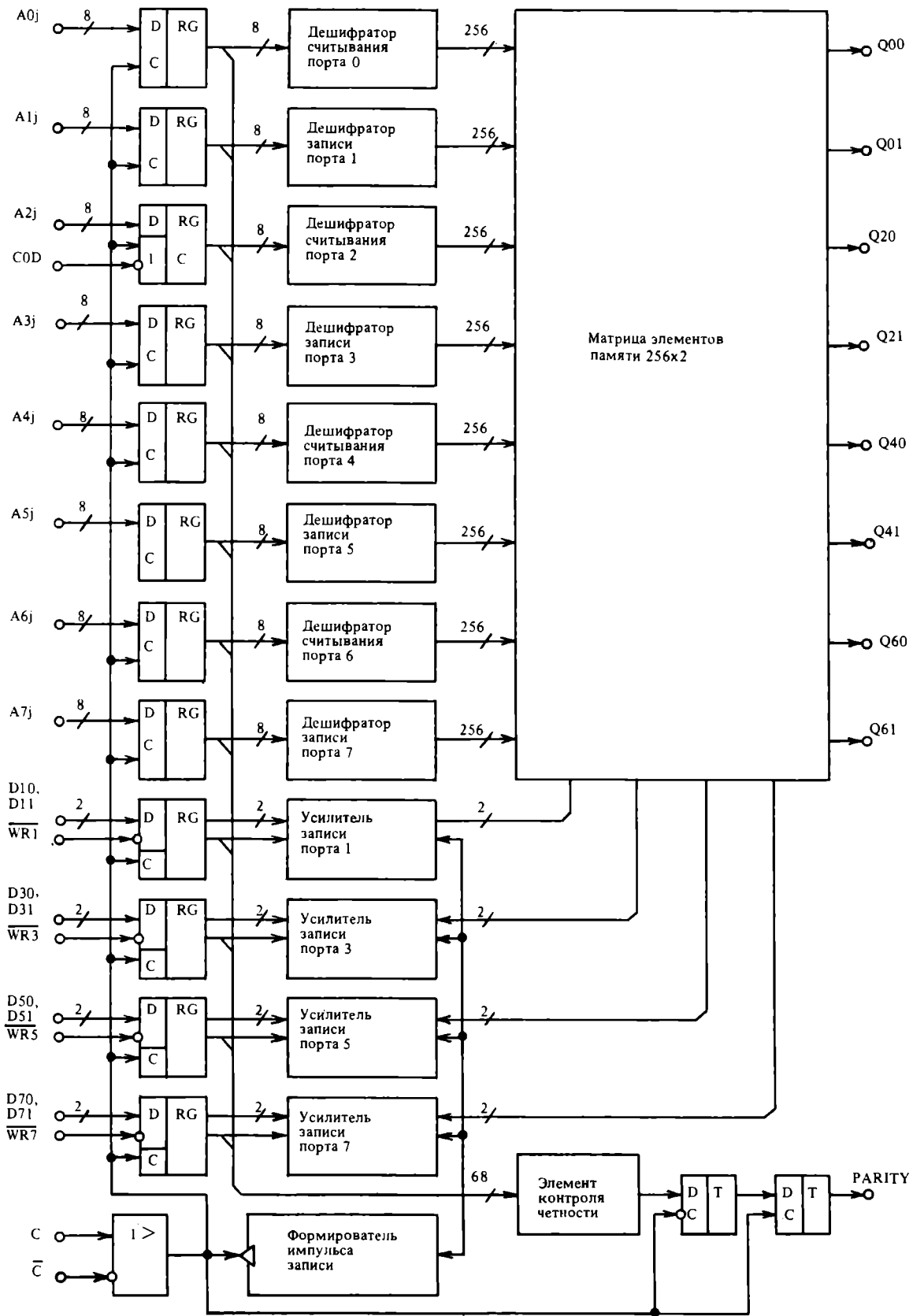


Рис. 1. Структурная схема ИС К1627РПИБ:  $j = 0-7$  — номер разряда адреса

Логика работы независимых портов 1, 3, 5, 7  
записи информации

Состояние входов. $i = 1, 3, 5, 7$					Остальные входы и выходы	Операция
$C$	$\bar{C}$	$Ai0-Ai7$	$\bar{WR}i$	$Di0, Di1$		
H	L	X	H	X	X	Выключение записи по порту $i$ (режим I)
H	L	Адрес записи по порту $i$	L	Данные для записи по порту $i$	X	Подготовка записи по порту $i$ (режим II)
L	H		X		X	X

Таблица 1

Логика работы независимых портов 0, 4, 6  
считывания информации

Состояние входов, $i=0,4,6$				Состояние выходов $Qi0, Oi1$	Остальные входы и выходы	Операция
$C$	$\bar{C}$	$Ai0-Ai7$	$COD$			
H	L	Адрес считывания по порту $i$	X	X	X	Ввод адреса считывания в регистр адреса порта $i$
L	H	X	X	Считанные по адресу $Ai$ данные	X	Считывание информации по порту $i$

Состояние входов,  $i=0,4,6$ 

Таблица 2

Логика работы независимого порта 2  
считывания информации

Состояние входов				Состояние выходов $Q20, Q21$	Остальные входы и выходы	Операция
$C$	$\bar{C}$	$A20-A27$	$COD$			
H	L	Адрес считывания по порту 2	H	X	X	Ввод адреса считывания в регистр адреса порта 2
L	H	X	H	Считанные по адресу $A2$ данные	X	Считывание информации по порту 2
X	X	Адрес считывания по порту 2	L	Считанные по адресу $A2$ данные	X	Диагностическое считывание информации

Примечание. В таблицах обозначено: H и L — высокий и низкий логические уровни соответственно; X — произвольное состояние H или L.

Таблица 4

Логика работы по выходу контроля четности

Состояние входов						
Такт $t-1$			Такт $t$		Такт $t$	
$C$	$\bar{C}$	$A00-A07, A10-A17, A20-A27, A30-A37, A40-A47, A50-A57, A60-A67, A70-A77, \bar{WR}1, \bar{WR}3, \bar{WR}5, \bar{WR}7$	$C$	$\bar{C}$	$A00-A07, A10-A17, A20-A27, A30-A37, A40-A47, A50-A57, A60-A67, A70-A77, \bar{WR}1, \bar{WR}3, \bar{WR}5, \bar{WR}7$	Выход четности
H	L	Четная комбинация	H	L	X	H
L	H		L	H	X	L
H	L	Нечетная комбинация	H	L	X	L
L	H		L	H	X	H



Из временной диаграммы ИС К1627РП1Б (рис.2) видно, что для обеспечения правильного функционирования ИС входные сигналы адреса, данных и разрешения записи должны опережать импульсы синхронизации на соответствующее время установления  $t_{SU(A-C)}$ ,  $t_{SU(D-C)}$ ,  $t_{SU(WR-C)}$  и оставаться неизменными после их окончания в течение времени сохранения  $t_{V(C-A)}$ ,  $t_{V(C-D)}$ ,  $t_{V(C-WR)}$ . Это гарантирует нормальную запись входных сигналов в соответствующие входные регистры при минимальной длительности  $t_{W(C)}$  синхроимпульсов и ее сохранность в течение целого такта работы микросхемы. Если в конкретных условиях применения ИС длительность импульса синхронизации существенно превышает минимальную, ее нормальная работа может быть также обеспечена при соблюдении ограничений на минимальное время удержания  $t_{H(A-C)}$ ,  $t_{H(D-C)}$  и  $t_{H(WR-C)}$ , устанавливаемое относительно задних фронтов импульсов синхронизации. Временные позиции сигнала по входу управления *COD* не регламентируются.

При смене адреса считывания новые выходные уровни появятся на соответствующих выходах через время выборки  $t_{AARD}$ , отсчитываемое относительно переднего фронта синхроимпульса при его опережении фронтом адресного сигнала или относительно фронта адресного сигнала, если он располагается между фронтами синхроимпульса. При совпадении адресов считывания и записи информации в одном цикле обращения записываемый сигнал появляется на выходе с задержкой  $t_{AAWR}$  относительно заднего фронта синхроимпульса.

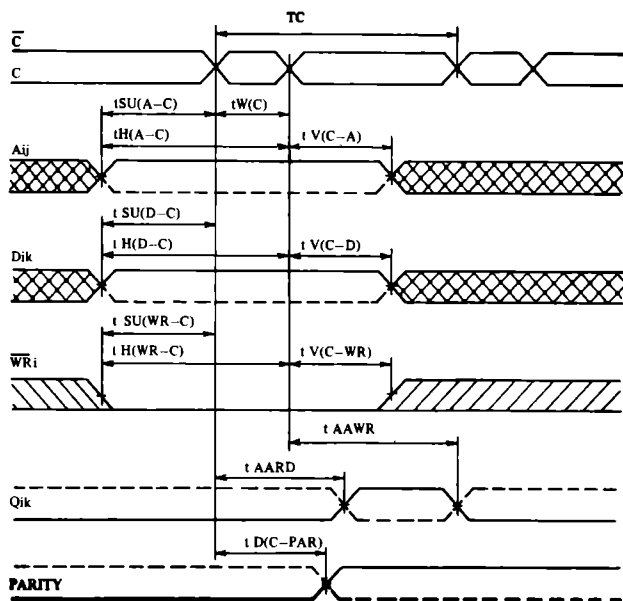


Рис. 2. Временная диаграмма микросхемы К1627РП1Б

Основные параметры микросхемы К1627РП1Б в диапазоне температур от 1 до 85°C, напряжения питания  $4,5В \pm 5\%$  имеют следующие значения:

Ток потребления, $I_{CC}$ , мА	не менее —1600
Длительность синхроимпульсов, определяемая по точкам пересечения фронтов двух фаз, $t_{W(C)}$ , нс	не менее 2
Период следования тактовых импульсов, $T_c$ , нс	не менее $(t_{W(C)} + 13)$ нс
Время задержки выходных данных относительно переднего фронта синхроимпульса или сигнала адреса в режиме считывания, $t_{AARD}$ , нс	не более 12
Время задержки выходных данных относительно заднего фронта синхроимпульса в режиме записи при совпадении адресов записи и считывания, $t_{AAWR}$ , нс	не более 20
Время задержки выходного сигнала контроля четности относительно переднего фронта синхроимпульса, $t_{D(C-PAR)}$ , нс	не более 4
Время установления относительно переднего фронта синхроимпульсов входных сигналов адреса, $t_{SU(A-C)}$ , данных, $t_{SU(D-C)}$ , разрешения записи, $t_{SU(WR-C)}$ , нс	не менее 3
Время сохранения относительно заднего фронта синхроимпульсов входных сигналов адреса $t_{V(C-A)}$ , данных $t_{V(C-D)}$ , разрешения записи $t_{V(C-WR)}$ , нс	не менее 3
Время удержания заднего фронта синхроимпульсов относительно входных сигналов адреса $t_{H(A-C)}$ , данных $t_{H(D-C)}$ , разрешения записи $t_{H(WR-C)}$ , нс	не менее 3
Емкость нагрузки $C_L$ , пФ	не менее 30

Ток потребления  $I_{CC}$  и время выборки адреса  $t_{AARD}$  увеличивается с ростом температуры (рис.3). При отклонении напряжения питания в пределах  $\pm 5\%$  параметры микросхемы практически не меняются.

Микросхема К1627РП1Б выполнена в плоском металлокерамическом корпусе типа 4226.108-2 с четырехсторонним планарным расположением выводов с шагом 0,625 мм, тепловое сопротивление  $R_T$  кристалл-корпус составляет 5°C/Вт, а корпус-среда — 4°C/Вт при обдуве воздухом со скоростью 5 м/с, максимальная допустимая температура кристалла 125°C.

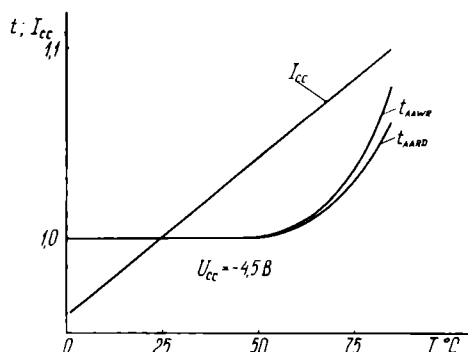


Рис. 3. Нормализованные зависимости динамических параметров и тока потребления от температуры

ИС восьмипортового ОЗУ К1627РП1В по своим функциональным и динамическим параметрам превосходит лучшие отечественные разработки и не имеет зарубежных аналогов, применение ее даст высокий технико-экономический эффект. Микросхемы производятся в соответ-

ствии с техническими условиями АДБК.431200.010-01ТУ.

Обращаться по адресу: НИИМЭ, г. Москва, тел. 536-80-96.

# Двухпортовое оперативное ЗУ типа К1627РП2В с широкими функциональными возможностями

С.М.ИГНАТЬЕВ, А.В.НИКОЛАЕНКО, В.Н.САВЕНКОВ

*Использование универсальной микросхемы К1627РП2В емкостью 128х16 бит с типовым временем выборки адреса 10 нс при мощности 4,1 Вт обеспечивает параллельный доступ к памяти ЭВМ.*

Необходимые для современной быстродействующей вычислительной аппаратуры многопортовые оперативные ЗУ, обеспечивающие параллельный доступ к накопителю информации по нескольким адресам, еще недостаточно широко представлены в номенклатуре приборов

памяти. Прежде всего это вызвано сложностью их унификации, обусловленной значительно большим числом вариантов организации доступа, чем у обычных ОЗУ. Кроме того, они менее универсальны, так как их использование непосредственно в процессорах ЭВМ требует выполнения дополнительных функций, часто специфических для конкретной архитектуры.

Разработка ЭСЛ микросхемы типа К1627РП2В позволила получить универсальное многопортовое ОЗУ с максимальным набором дополнительных функций передачи информации (рис. 1).

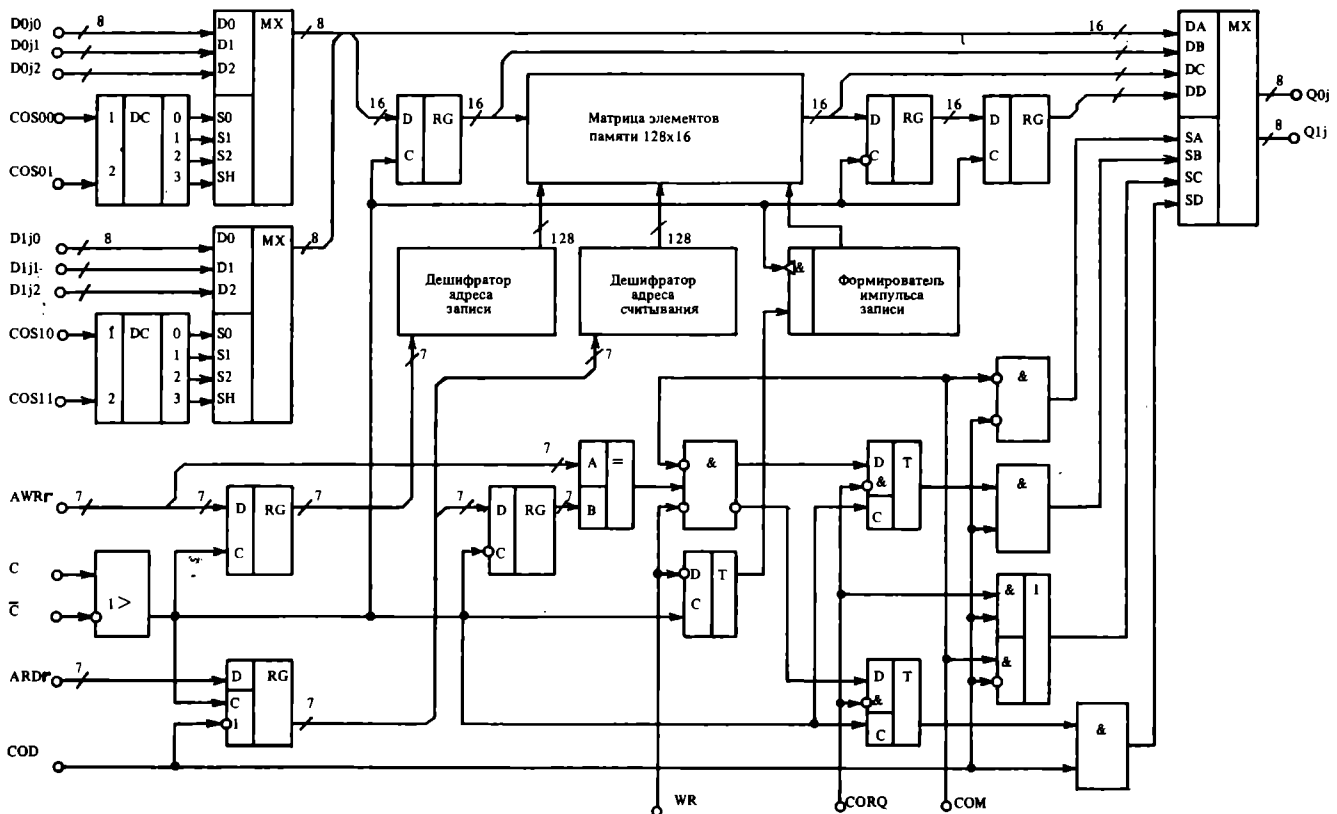


Рис. 1. Структурная схема ИС К1627РП2В:  $j = 0-7$  — номер информационного разряда;  $r = 0-6$  — номер разряда адреса

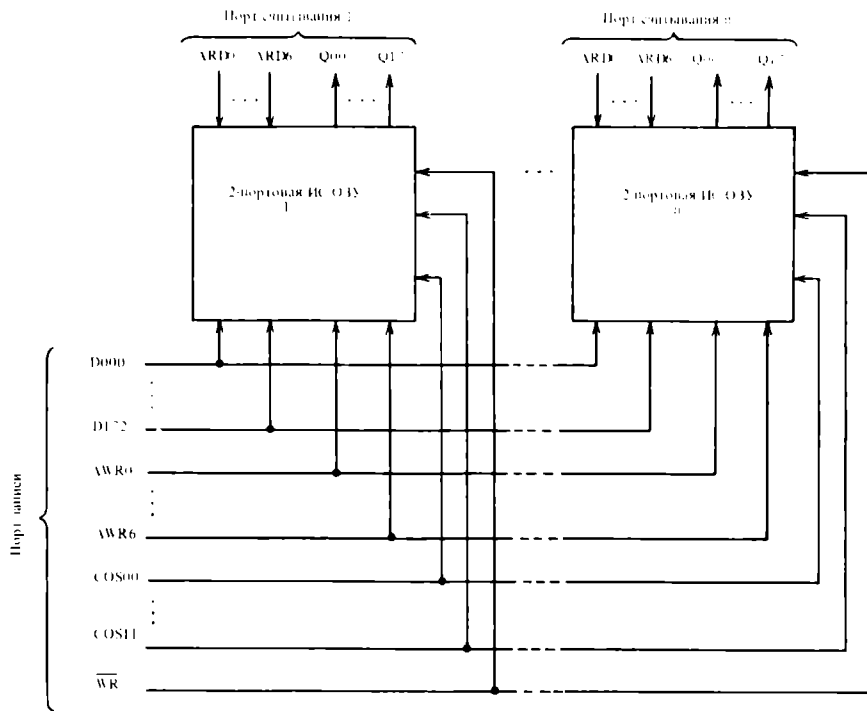


Рис. 2. Увеличение числа портов считывания информации

Микросхема К1627РП2В имеет емкостью 128 шестнадцатиразрядных слов и два независимых произвольно адресуемых информационных канала – порта (один для записи и один для считывания данных). Это позволяет в одном цикле обращения к микросхеме выполнить запись и считывание двух слов из 16 разрядов каждое по произвольно установленным адресам. При необходимости можно наращивать количество портов считывания ОЗУ до двух и более путем объединения соответствующего числа ИС по информационным, адресным и управляющим входам портов записи (рис. 2).

Микросхема К1627РП2В выполняет следующие функции, определяемые уровнями на входах управления *COD*, *CORQ*, *COM* и  $\overline{WR}$  (табл. 1):

1. Мультиплексирование входных данных, разделенных на две байтовые группы, позволяющее в зависимости от значений управляющих сигналов *COS00* – *COS11* для каждого байта осуществить прием данных по одному из трех направлений *Dij0*, *Dij1*, *Dij2* или константы *H* в соответствии с табл. 2. В обозначении информационных входов *Dijk*, входов управления *COSis* и информационных выходов *Qij* на принадлежность соответствующему байту указывают первые индексы, а на номера разрядов – вторые. Третий индекс  $k=0,1,2$  в обозначении *Dijk* определяет условный номер входного информационного канала.

2. Сквозная передача данных с выходов входных мультиплексоров на выходы *Qij* по каналу *DA* выходного мультиплексора как при одновременном их запоминании по адресу записи *AWR0* – *AWR6*, так и без запоминания (рис. 3,а).

3. Асинхронное считывание информации из накопителя (рис. 3,б). В этом режиме данные, считанные из матрицы, непосредственно поступают на выходы *Qij* по каналу *DC* выходного мультиплексора независимо от синхроимпульсов, поступающих в парафазной форме на соответствующие входы *C* и  $\overline{C}$ , так как входной регистр

адреса считывания *ARD0* – *ARD6* низким уровнем *COD* установлен в прозрачное состояние (табл. 3).

4. Синхронное считывание информации – аналогичный вышеописанному режим, но предусматривающий синхронизированный прием адреса считывания (рис. 3, в).

5. Синхронное считывание с использованием выходного регистра (рис. 3,г), при котором считанные данные из матрицы поступают на выходы *Qij* по каналу *DD* через два последовательных регистра, первый из которых синхронизируется инверсными синхросигналами, а второй аналогично входному регистру адреса *ARD* – пря-

Таблица 1

Режимы работы микросхемы К1627РП2В

<i>COD</i>	<i>CORQ</i>	<i>COM</i>	$\overline{WR}$	Режим работы
L	X	L		Передача данных с выхода входного мультиплексора
		H	X	Асинхронное считывание
H	H	X		Синхронное считывание без выходного регистра
		H	H	Синхронное считывание с использованием выходного регистра
	L	L	L	Синхронная запись и считывание при сравнении адресов
X	X	X		Синхронная запись данных

Логика работы входного мультиплексора

Входы управления		Выход мультиплексора $i$ -го байта, $i=0,1$ ; $j$ -го разряда, $j=0-7$
$COSi0$	$COSi1$	
L	L	Данные со входа $Dij0$
L	H	Данные со входа $Dij1$
H	L	Данные со входа $Dij2$
H	H	H

Таблица 3

Асинхронное считывание и передача входных данных

Входные сигналы $i=0,1$ ; $j=0-7$ ; $k=0,1,2$ ; $r=0-6$ ; $s=0,1$							Выход микро- схемы $Qij$
$C$	$\bar{C}$	$COM$	$ARDr$	$AWRr$	$Dijk$	$COSis$	
X	X	L	X	X	Входные данные	Код выб- ранного канала данных	Данные с выхо- да вход- ного мульти- плексо- ра (см. табл. 2)
X	X	H	Адрес счи- тыва- ния	X	X	X	Инфор- мация по адре- су счи- тывания

мыми. Таким образом, в данном такте  $t$  на выходах  $Qij$  оказывается информация, выбранная по адресу считывания  $ARD(t-1)$ , поступившему в предыдущем такте (табл. 4).

6. Синхронные запись и считывание при сравнении адреса считывания  $ARD(t-1)$  в предыдущем такте с текущим адресом записи  $AWR(t)$  (рис.3,д). В этом режиме при совпадении адресов информация на выходы  $Qij$  поступает по каналу  $DB$  с выходов входного регистра, а при несовпадении происходит считывание из матрицы по каналу  $DD$  аналогично предыдущему режиму.

7. Запись информации в матрицу, которая может быть осуществлена одновременно с работой в любом из вышеперечисленных режимах при установке уровня  $L$  на входе разрешения записи  $\overline{WR}$  (рис.3,е). Для упрощения временной диаграммы и повышения надежности работы в режиме записи микросхема содержит внутренний формирователь импульса записи, с определенной задержкой срабатывающий по заднему фронту синхро-

Синхронное считывание с выходным регистром

Входные сигналы: $i=0,1$ ; $j=0-7$ ; $k=0,1,2$ ; $r=0-6$ ; $s=0,1$									Выход микро- схемы в такте $t$ $Qij(t)$
Такт $t-1$				Такт $t$					
$COM$	$\overline{WR}$	$ARDr$	$Dijk$	$COSis$	$\overline{WR}$	$AWRr$	$Dijk$	$COSis$	
H	X	$ARD(t-1)$	X	X	X	X	X	X	Данные из матрицы по адресу $ARD(t-1)$
L	X	$ARD(t-1)$	X	X	H	X	X	X	Данные из матрицы по адресу $ARD(t-1)$ , если $ARD(t-1) = AWR(t)$
L	X	$ARD(t-1)$	X	X	L	$AWR(t)$	X	X	Данные из матрицы по адресу $ARD(t-1)$ , если $ARD(t-1) = AWR(t)$
L	X	$ARD(t-1)$	X	X	L	$AWR(t)$	$D(t)$	X	Код выбранного канала данных Данные $D(t)$ по выбранному каналу, если $ARD(t-1) = AWR(t)$

Таблица 5

Логика работы порта записи информации

Входные сигналы: $i=0,1$ ; $j=0-7$ ; $k=0,1,2$						Операция
$C$	$\bar{C}$	$AWR0-AWR6$	$\overline{WR}$	$Dijk$	$COSi0, COSi1$	
H	L	X	H	X	X	Выключение записи (режим I)
H	L	Адрес записи	L	Данные для записи	Код выбранного канала данных	Подготовка записи (режим II)
L	H	X	X	X	X	Запрет записи, если предшествовал режим I. Запись, если предшествовал режим II

Примечание. В таблицах H и L высокий и низкий логические уровни соответственно; X — произвольное состояние H или L.

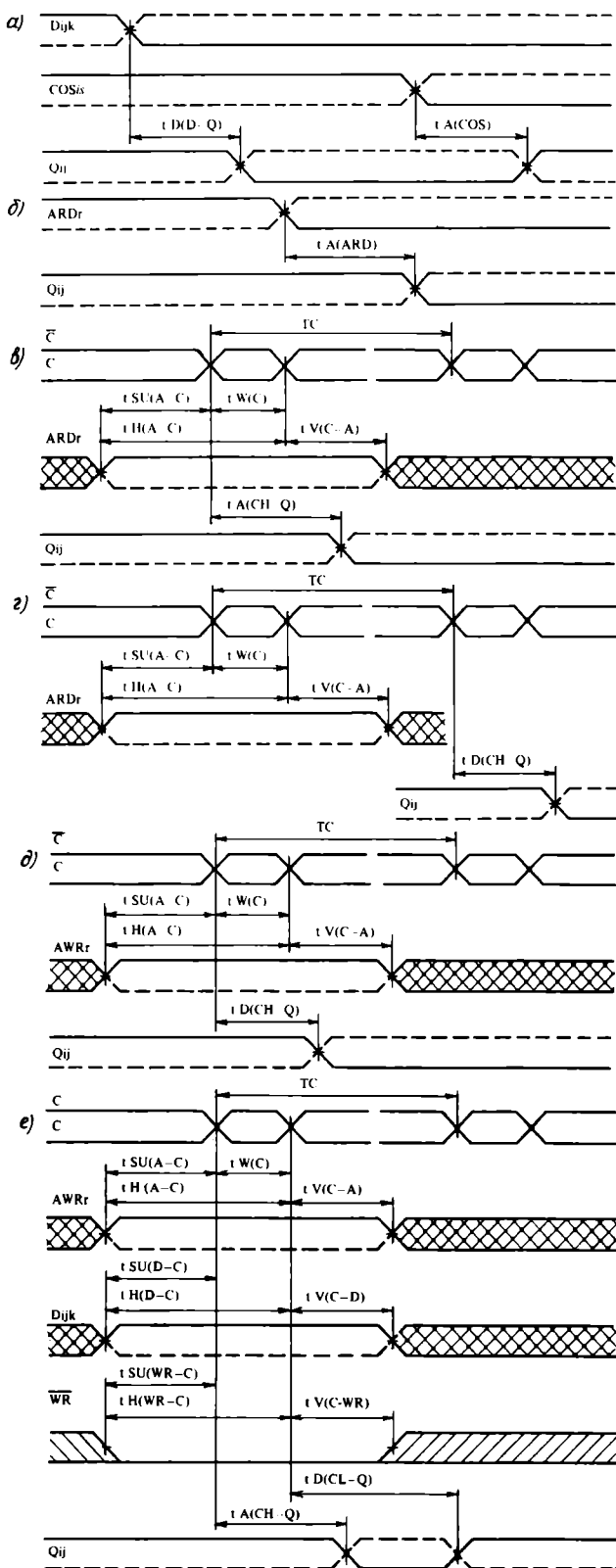


Рис. 3. Временные диаграммы микросхемы К1627РР2В: а — режим передачи данных с выхода входного мультиплектора, б — асинхронное считывание, в — синхронное считывание в обход регистра, г — синхронное считывание с использованием выходного регистра, д — синхронные запись и считывание при совпадении сравниваемых адресов  $ARD(t-1)$  и  $AWR(t)$ , е — режим записи данных. Диаграмма напряжения на выходе  $Q_{ij}$  соответствует случаю сочетания записи с режимом считывания без выходного регистра

импульса, т.е. после фиксации адреса записи  $AWR$ , данных  $D$  и сигнала  $WR$  разрешения записи входными регистрами и завершения выборки соответствующих элементов памяти (табл. 5).

Микросхема функционирует при напряжении питания  $-4,5 \text{ В} \pm 5\%$ , в диапазоне температур от 1 до  $85^\circ\text{C}$ . По напряжению питания, температурному диапазону работы, уровням логических сигналов, входным и выходным токам ИС совместима с микросхемами ЭСЛ-типа серий К1500, К1520.

Для обеспечения правильного функционирования ИС входные сигналы адреса, данных и разрешения записи должны опережать импульсы синхронизации на соответствующее время установления  $t_{SU(A-C)}$ ,  $t_{SU(D-C)}$ ,

$t_{SU(WR-C)}$  и оставаться неизменными после их окончания в течение времени сохранения  $t_{V(C-A)}$

$t_{V(C-D)}$ ,  $t_{V(C-WR)}$ . Это гарантирует нормальную запись входных сигналов в соответствующие входные регистры при минимальной длительности  $t_{W(C)}$  син-

хроимпульсов и ее сохранность в течение целого такта работы микросхемы. Если в конкретных условиях применения ИС длительность импульсов синхронизации существенно превышает минимальную, ее нормальная работа может быть также обеспечена при соблюдении ограничений на минимальные времена удержания сигнала  $t_{H(A-C)}$ ,  $t_{H(D-C)}$  и  $t_{H(WR-C)}$  устанавливаем-

ые относительно задних фронтов импульсов синхронизации. Временные позиции сигнала по входам управления  $COD$ ,  $COM$ ,  $CORQ$  и  $COS00 - COS11$  не регламентированы.

Основные параметры микросхемы К1627РР2В в диапазоне температур от 1 до  $85^\circ\text{C}$ , напряжения питания  $4,5 \text{ В} \pm 5\%$  имеют следующие значения:

Ток потребления  $I_{cc}$ , мА ..... не менее 1600

Длительность синхронимпульсов, определяемая по точкам пересечения фронтов двух фаз,  $t_{W(C)}$ , нс ..... не менее 2

Период следования тактовых импульсов  $T_c$ , нс ..... не менее  $(t_{W(C)} + 13 \text{ нс})$

Время задержки передачи данных с выбранного информационного входа  $D_{ijk}$ , на выход  $Q_{ij}$ ,  $t_{D(CH-Q)}$ , нс ..... не более 6

Время выборки канала входного мультиплектора  $t_{A(COS)}$ , нс ..... не более 8

адреса в режиме асинхронного считывания,  $t_{A(ARD)}$ , нс ..... не более 10

адреса в режиме синхронного считывания без выходного регистра, определяемое относительно переднего фронта синхронимпульса,  $t_{A(CH-Q)}$ , нс ..... не более 13

Время задержки выходных данных относительно переднего фронта синхронимпульса в режиме считывания с использованием выходного регистра,  $t_{D(CH-Q)}$ , нс ..... не более 8

Время задержки появления запоминаемых данных на выходе относительно заднего фронта синхронимпульса при сочетании записи с режимами считывания без выходного регистра в случае совпадения адресов  $ARD(t)$  и  $AWR(t)$ ,  $t_{D(CL-Q)}$ , нс ..... не более 13

Время установления относительно переднего фронта синхронимпульсов адреса  $t_{SU(A-C)}$ , данных  $t_{SU(D-C)}$ ,

разрешения записи  $t_{swr}$  с, не менее 2  
 Время сохранения относительно заднего фронта синхрипульсов входных сигналов адреса  $t_{sc}$  с, данных  $t_{sc}$  с, разрешения записи  $t_{swr}$  с, не менее 2  
 Время удержания заднего фронта синхрипульсов относительно входных сигналов адреса  $t_{hd}$  с, данных  $t_{hd}$  с, разрешения записи  $t_{swr}$  с, не менее 2  
 Емкость нагрузки  $C_L$ , пФ не более 30

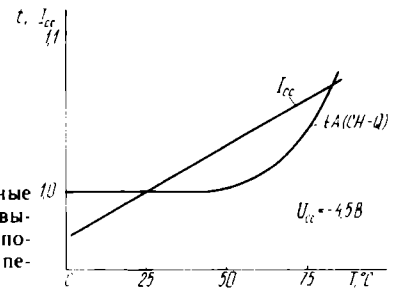


Рис. 4. Нормализованные зависимости времени выборки  $t_{A(CH-Q)}$  и тока потребления  $I_{cc}$  от температуры

Ток потребления  $I_{cc}$  и время выборки адреса  $t_{A(CH-Q)}$  увеличивается с ростом температуры (рис. 4).

Микросхема К1627РП2В выполнена в плоском металлокерамическом корпусе типа 4226.108-2 с четырехсторонним планарным расположением выводов с шагом 0,625 мм, тепловое сопротивление  $R_{\theta}$  кристалл – корпус составляет  $5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , максимальная допустимая температура кристалла  $125^{\circ}\text{C}$ . При скорости обдува воздухом 5 м/с тепловое сопротивление корпус – среда составляет  $4^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

ИС двухпортового ОЗУ типа К1627РП2В по своим функциональным и динамическим параметрам превосходит лучшие отечественные разработки и не имеет зарубежных аналогов, применение ее даст высокий технико-экономический эффект. Выпуск микросхем осуществляется в соответствии с техническими условиями АДБК.431200.010-02ТУ.

Обращаться по адресу: НИИМЭ, г. Москва, тел. 536-80-96.

## Система проектирования топологии заказных БИС

Н.В.ВАРАНКИН, А.Г.СОКОЛОВ *д-р техн.наук*

*Разработка новой структуры процесса проектирования топологии заказных БИС и инструментальных средств проектирования основана на принципе объединения электрической и топологической схем и синтезе нового языка описания топологии.*

Традиционный маршрут проектирования топологии предполагает следующий цикл: разработка геометрии промежуточных слоев, контроль технологических норм, восстановление электрической схемы, корректировка слоев и далее повторение всего цикла до получения оптимального результата. Поскольку все этапы маршрута – генерация промежуточных слоев, контроль технологических норм (задача перебора вариантов), восстановление электрической схемы (задача распознавания образов), построение топологии общего вида (задача определения изоморфизма графов) – очень трудоемки, то они требуют большой степени автоматизации.

Чтобы облегчить процесс проектирования, целесообразно отойти от существующей концепции проектирования топологии, в соответствии с которой задачи решаются в условиях абстрактных геометрических моделей безотносительно к существу проекта и распознавание образов ведется на основе частных или глобальных допущений. Например, программа может быть настроена на один тип технологии кристалла. Предлагаемый способ позволяет осуществлять проектирование

топологии, не отбрасывая информацию предыдущих этапов проектирования, а включая ее в топологический проект. Такой подход подразумевает обязательное соответствие структуры (иерархии) электрической схемы и топологии. Если необходимо изменить структуру на этапе разработки топологии, то аналогичные или, точнее, эквивалентные изменения должны быть внесены и в структуру электрического проекта. Обязательным элементом топологии должен быть также электрический интерфейс объектов (модулей, элементов), эквивалентный электрическому интерфейсу соответствующих объектов в электрической схеме. Под электрическим интерфейсом мы понимаем назначенные портам подсхемы, электрические узлы и имя конкретного экземпляра объекта. Включение в топологию этих данных снимает задачу распознавания образов, сводя ее к простой задаче сравнения списков.

Включение указанных данных в проект уже известно, но подобное объединение топологии и электрической схемы с методологической точки зрения можно считать новым. Поэтому следовало разработать новый язык описания топологии или модифицировать один из существующих. Анализировались языки EDIF, SMF, CIF, GDS-II, SOURCE, а также форматы данных САПР P-CAD, SL-2000, SCICARDS, Chip-Station (Mentor Graphics) и др. В результате были выработаны следующие требования к языку топологии:

1) набор символов (алфавит) должен быть ограничен печатными символами 7-битового кода ASCII и стан-

дартными управляющими символами: пробел, табуляция и перевод строки (возврат каретки). Это позволит обеспечить легкую переносимость файлов между вычислительными системами и возможность просмотра содержимого файлов на экране, равно как и коррекцию с помощью любого текстового редактора:

2) синтаксические конструкции языка должны быть краткими для экономии памяти и одновременно понятными. Обязательно должна обеспечиваться возможность однопроходной компиляции;

3) язык должен оставлять "ниши" для последующего расширения синтаксиса и семантики.

С учетом этих требований за основу был принят язык CIF (Caltech Intermediate Form) [2] Калифорнийского технологического университета (США), который содержит необходимые конструкции для описания фигур (контуров) топологии и имеет резерв для расширения. К сожалению, базовый стандарт CIF 2.0 предполагает сохранение проекта целиком в едином файле. Поэтому была выбрана схема хранения информации "один объект – один файл", принятая в ряде диалектов CIF. Такой подход обеспечивает легкое включение частей одного проекта в другой путем ссылки на имя файла, а также в случае отказа вычислительной системы позволит минимизировать потери информации.

Стандартом CIF заложено 10 синтаксических конструкций, или классов примитивов, для расширения языка. С помощью одной из них организуются ссылки на другой файл. Оставшимися можно воспользоваться для хранения информации об электрическом интерфейсе и прочих атрибутах базовых примитивов CIF. Были использованы следующие классы:

3 параметры схемотехнической модели;

4 параметры логической модели;

5 электрический интерфейс;

6 конструктивный интерфейс;

9 имя файла с образцом объекта;

описание базового примитива.

Конструктивный интерфейс представляет собой номер и прочие атрибуты примитивов, с помощью которых реализованы интерфейсные порты объекта для связи с вышележащим уровнем иерархии. Имя файла задается только для описания установки образца объекта и опускается для прочих примитивов. Конкретный формат параметров моделей не является предметом статьи и поэтому не рассматривается. Электрический интерфейс имеет два варианта, а зависимости от класса примитива. Для описания электрической цепи фигуры коммутации используется формат:

5 обозначение электрической цепи атрибуты;

Для объектов формат сложнее:

5 обозначение объекта обозначение цепи вывода 1... обозначение цепи вывода №.

Разработанный стандарт языка использован в графическом редакторе топологии Layout Windows и графическом редакторе принципиальных электрических схем Schematic Windows. Поскольку заранее невозможно предсказать точную последовательность этапов проектирования, оба редактора коллекционируют все атрибуты базовых примитивов независимо от того, задействованы они или нет в данной программе. Это требует дополнительных затрат памяти, но сполна окупается возможностью воспользоваться готовыми атрибутами любой компонентной САПР в любом состоянии проекта.

Применение приведенного описания на всех уровнях топологической иерархии проекта позволяет отказаться от восстановления электрической схемы по топологии

просто за ненадобностью. Появляется возможность (без разворачивания топологии в одноуровневое представление!) относительно легко решить следующие задачи:

1) контроль адекватности электрического интерфейса сделанной коммутации;

2) проверка неразрывности фигур коммутации;

3) проверка на короткие замыкания коммутации.

Опишем кратко решение поставленных выше задач контроля в базисе декларированных структур данных. Контроль адекватности коммутации электрическому интерфейсу выполняется выборкой портов с нижнего уровня иерархии, назначением им электрических цепей согласно интерфейсу и поиском пересечений портов с коммутацией. Пересечение только с коммутацией той же цепи гарантирует верность подключения.

Для проверки неразрывности цепи выполняется пометка (закраска) коммутации с одинаковым обозначением электрической цепи с учетом возможности объединения цепей на нижних уровнях иерархии или слоев межслойной коммутации. Проверка связности полученных графов дает решение задачи.

Поиск коротких замыканий выполняется выборкой всех коммутирующих примитивов на всю глубину иерархии и проверкой на пересечение с соседними примитивами. Отличия в обозначениях цепей пересекающихся примитивов означают короткое замыкание.

Описанные операции контроля требуют высокой скорости выборки информации из иерархической структуры. Для этого была разработана специальная система управления базой данных (СУБД) с хранением данных в оперативной памяти ЭВМ [3]. Скорость выборки обеспечивается механизмами гибкой пространственной сортировки с накоплением признаков. Схема хранения данных предусматривает разделение примитивов на уровни (слои, или маски топологии) и прямоугольные пространственные сектора. Сектора, в свою очередь, состоят из секторов меньшего размера, определяемого коэффициентом деления. Этот коэффициент и минимальные размеры сектора являются параметрами СУБД и в существенной мере определяют ее производительность и затраты памяти на базу данных (БД) и могут быть настроены с учетом особенностей конкретной топологии. Структура секторов строится динамически по мере включения примитивов в БД и модифицируется по выполнению операций редактирования. Примитивы включаются в список сектора, если они полностью покрываются данным сектором. Описанный механизм позволяет строить оптимальную структуру секторов для разногабаритных топологических объектов, начиная от простого транзистора и до целого микропроцессора.

Гибкость и эффективность СУБД обеспечиваются заложенными в нее возможностями:

1) запросы к СУБД могут быть рекурсивными;

2) для назначения истинных электрических цепей при развертывании или обработке объекта нижележащего уровня иерархии используется внешняя по отношению к СУБД функция, которая может различаться для разных программ;

3) дополнительно к стандартным операциям трансформации координат объектов СУБД позволяет расширить функции обработки координат объектов и/или их атрибутов путем вызова внешней по отношению к СУБД функции. В частности, этот механизм используется для записи содержимого БД в файл;

4) при выборке объектов на нижележащих уровнях иерархии СУБД выполняет трансформацию локальных

координат объекта в заданную систему координат. Если задана операция визуального отображения объекта, то вызовом функций графического интерфейса выполняется его прорисовка. Проведенные испытания на скорость прорисовки показали двукратное уменьшение времени относительно программы ChipGraph (Mentor Graphics) и пятикратное уменьшение относительно редактора KIC (XEROX Corp.).

Для контроля проектных норм используется выборка объектов со всех или с одного уровня иерархии и аппарат обработки объектов внешних функций. Все примитивы приводятся к классу "многоугольник", в качестве внешней функции выступают сервисные программы СУБД для вычисления геометрических соотношений двух контуров. Результат их выполнения анализируется функцией проверки правил и по каждой паре контуров делается вывод. Для выборки второго примитива для пары фигур используется локальная выборка данных, что значительно ускоряет проверку топологии в целом. Для простых фигур время проверки сопоставимо со временем отображения топологии на экране, для сложных (длинные шины и полигоны) — несколько больше. Например, полный контроль аналоговой схемы (КМОП АЦП, 3-мкм проектные нормы, площадь кристалла 3 мм<sup>2</sup>, 60 правил проверки) выполнялся в течение 5 мин на ЭВМ класса IBM PC/AT-486.

Редактор Layout Windows обладает и другими ценными качествами. Он построен на принципах гибкого мультиоконного отображения в стандарте OSF/Motif [4] и позволяет выполнять быструю и наглядную настройку внешних границ, формы и расположения окон, а также легкое выполнение операций масштабирования и позиционирования изображения в окнах. Количество окон для топологии не ограничено и управляется пользователем, конфигурация окон запоминается в файле для следующего сеанса. Специальное окно служит для управления таблицей слоев и позволяет активизировать

слои, управлять цветом и способом рисования, а также задавать порядок рисования слоев.

К несомненным преимуществам редактора относится его реализация в базе адаптивного графического низкоуровневого интерфейса [5], простота которого позволяет быстро разработать его для новой ЭВМ или операционной системы. Опыт установки Layout Windows на различные вычислительные системы наглядно доказал преимущества такого подхода. В настоящее время редактор успешно функционирует в среде MS-DOS, Domain/OS (Apollo, среда Display Manager или X11), RISC/os (Magnum-3000, среда RISCwindows) и других. Версия редактора в базе X Window System является полностью сетевой программой и может выполняться на удаленной ЭВМ с отображением картинки на локальном компьютере или X-терминале. Все версии редактора обеспечивают многоязыковую поддержку меню и сообщений, независимо от применяемой ЭВМ. Никаких дополнительных средств "русификации" импортной техники не требуются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б р а в о в В.В., В а р а н к и н Н.В., С а в ч е н к о Л.Л. Реалии и перспективы развития графических редакторов для IBM PC/ Сб. научных трудов МИЭТ. САПР БИС: проблемы автоматизации. — М., 1991.
2. M e a d С., С o p w a y L. Introduction to VLSI Systems. Addison-Wesley, 1980.
3. В а р а н к и н Н.В., С о к о л о в А.Г. Высокоскоростная графическая база данных для САПР электронных изделий. Материалы конференции АРК92. — Каунас, 1992.
4. OSF/Motif. Style Guide. Revision 1.1. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1991.
5. В а р а н к и н Н.В., С о к о л о в А.Г., Т ю т ю к и н О.Г. Адаптивный графический интерфейс обеспечивает переносимость программных средств. Материалы конференции АРК92. — Каунас, 1992.

Контактный тел. (095) 532-98-61

## Реализация комплексного подхода к моделированию ИС в САПР ИС ARS/WS

Ю.Б.ЕГОРОВ, В.Г.ИВАНЮК, Ю.Н.МИРГОРОДСКИЙ, П.А.ТИХОМИРОВ, И.Г.ТОПУЗОВ

НИИМЭ

*Описаны системная организация, состав и функциональные возможности программных и информационных средств мобильной САПР ARS/WS, обеспечивающих моделирование влияния исходных материалов, технологических процессов, конструкции компонентов и внешней среды на электрические процессы в интегральных микросхемах.*

*Работа выполнена в рамках совместного проекта СП МикроЛаб, российского предприятия Микрон и австралийской компании Labtam Europe Pty. Ltd.*

Одним из главных требований к любой САПР является адекватность результатов проектирования реальным характеристикам и параметрам изделий. Особенно

актуально это требование при разработке ИС, в которых на электрические характеристики компонентов воздействует много факторов, связанных с исходными материалами, технологическими процессами, топологией компонентов и межсоединений, воздействиями внешней среды. Степень влияния этих факторов на работоспособность проектируемого изделия определяется либо с помощью экспертных систем, либо методом комплексного моделирования, последовательно и/или одновременно учитывающего различные аспекты проектирования и изготовления ИС.

**Организация системы.** Операционную систему САПР ARS/ws[1] составляют международно признанные открытые стандарты: операционная система Unix, сетевая многооконная система XWindow System и графиче-



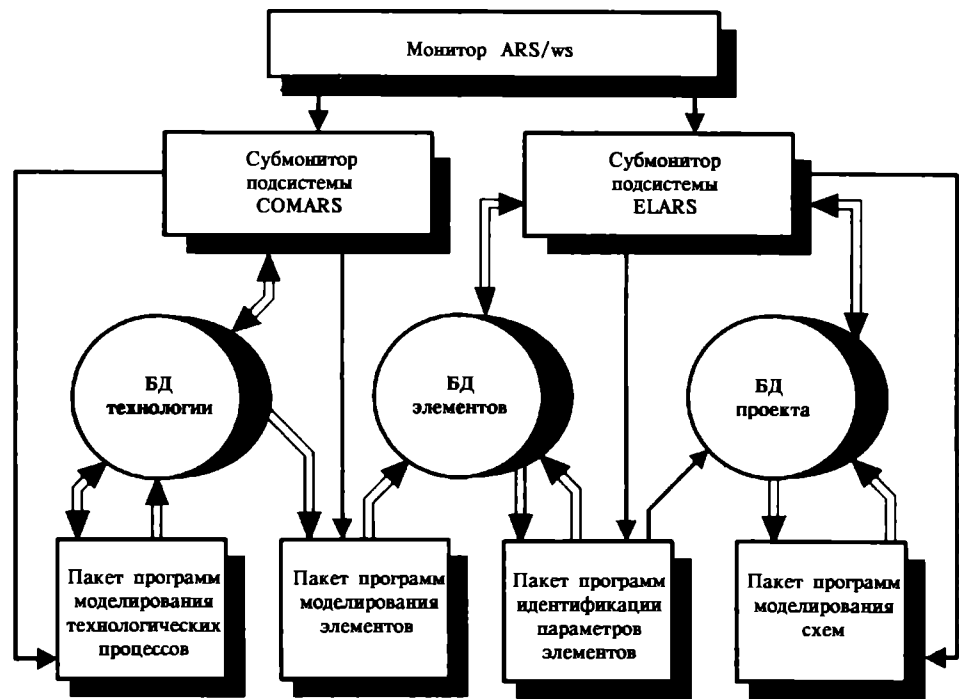


Рис. 1. Микроструктура средств комплексного моделирования ИС

ческий интерфейс пользователя Motif. Это обеспечивает функционирование САПР на компьютерах практически всех аппаратных платформ. Сочетание развитых полиэкранных графических и сетевых возможностей в единой системе X Window System позволило, с одной стороны, оснастить все прикладные программы САПР унифицированным многооконным интерфейсом пользователя, а с другой, работать за одним графическим дисплеем с несколькими программами, выполняемыми одновременно на одном или различных узлах сети разнородных компьютеров.

Средства комплексного моделирования ИС в САПР ARS/ws сгруппированы в две подсистемы (рис. 1): COMARS – подсистему моделирования технологических процессов формирования структуры ИС и моделирования электрофизических процессов в элементах ИС и ELARS – подсистему моделирования электрических процессов в ИС.

Программы обеих подсистем взаимодействуют с базами данных (БД) трех типов: БД технологии, БД элементов и БД проекта. Такое деление соответствует следующей схеме: в рамках одной технологии (одна БД технологии) реализуются различные типы элементов различных конструкций (одна БД элементов), которые могут быть задействованы в одном или нескольких проектах ИС (одна или более БД проектов). Для организации БД всех типов применяют понятийную схему формата EDIF200, а сам формат используют в качестве стандартного информационного интерфейса между САПР и прикладными программами различных поставщиков.

БД технологии содержит описания последовательности и режимов технологических операций формирования физической структуры ИС и результаты их моделирования: геометрические размеры, распределения примесей, электрофизические параметры различных конструктивных узлов (в том числе элементов) ИС, которые используются при расчете их электрических характе-

ристик. БД элементов представлены библиотекой экспериментальных и расчетных данных элементов и библиотекой удельных параметров типовых элементов. Первая из них наполняется экспериментальными (по измерениям тестовых кристаллов) и/или расчетными (результаты работы программ COMARS) вольт-амперными, вольт-фарадными и импульсными характеристиками элементов. В результате работы программ идентификации параметров моделей формируется вторая библиотека этой БД.

Наконец, БД проекта организована в виде двух библиотек: элементов и электрических схем. Библиотека элементов содержит для каждого элемента значения параметров его конструкции (топологические размеры) и значения параметров моделей, используемых при расчете электрических схем. Во второй библиотеке хранится информация о составе и связях электрических принципиальных схем блоков, составляющих иерархию проекта ИС.

Таким образом, информационное взаимодействие между подсистемами COMARS и ELARS осуществляется через БД элементов, в которую COMARS помещает результаты моделирования элементов на физико-топологическом уровне, а программы пакета идентификации параметров схемотехнических моделей обеспечивают подсистему ELARS данными об элементах моделируемых схем.

**Моделирование технологии и элементов.** В текущую версию подсистемы COMARS входят программы моделирования технологических операций, формирования физической структуры элементов и моделирования электрических характеристик МОП транзисторов и их фрагментов [рис. 2, 3].

Для моделирования технологических операций и компоновки структур используют три программы:

- одномерное технологическое моделирование FACTI;

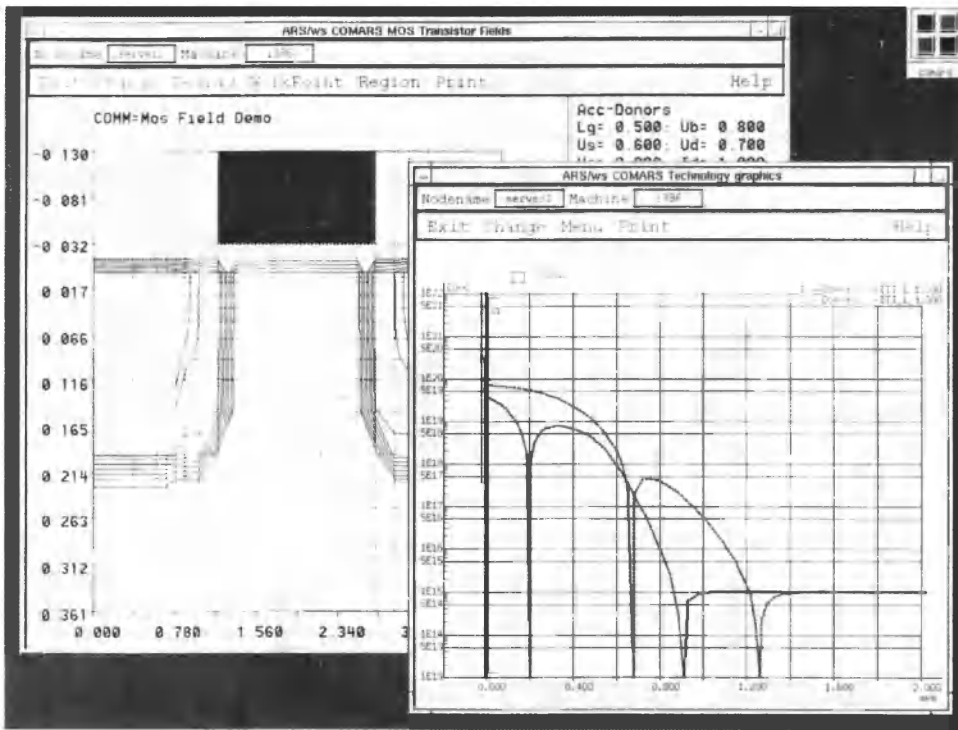


Рис. 2. Типовой вид экрана дисплея при работе с программами моделирования технологических операций

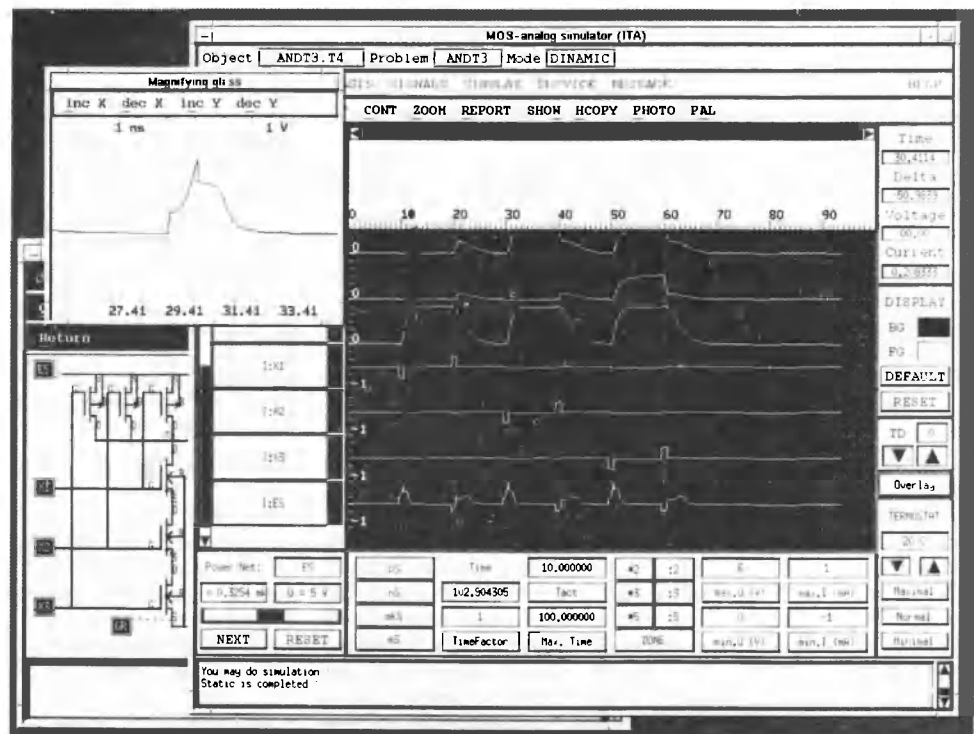


Рис. 3. Типовой вид экрана при работе с программами моделирования элементов ИС

- двумерное технологическое моделирование FACT2;
- компоновка двумерных планарных структур по заданному набору одномерных технологических профилей KSI.

Для расчета электрических характеристик МОП-транзисторов и их фрагментов используются следующие программы:

- расчет вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарядных (ВФХ) характеристик короткоканального МОП-

транзистора в двумерном приближении в рамках диффузионно-дрейфовой модели MOS2D;

- двумерное моделирование нестационарных процессов в МОП-транзисторе в рамках модели эффективной температуры MOS2T;
- расчет характеристик длинноканального МОП-транзистора M/;
- расчет ВАХ и ВФХ фрагментов транзисторных структур в двумерном приближении в рамках

модели квазиравновесных носителей заряда MOSC.

Известными зарубежными аналогами программ, входящих в состав подсистемы COMARS, являются программы технологического моделирования SUPREM-3 [2], PREDICT [3] и программы электрофизического моделирования MINIMOS [4] и GEMINI [5]. При проведении комплексных расчетов на первом этапе моделируют технологические операции по заданному технологическому маршруту и формируют одно- и двумерные фрагменты физической структуры транзистора с помощью программ FACT1 и KSI или FACT2.

На втором этапе рассчитывают электрические характеристики МОП-транзисторов и их фрагменты по результатам технологического моделирования. Помимо интегральных характеристик (ВАХ и ВФХ) МОП-транзисторов, можно рассчитать критические параметры исследуемого элемента (напряжения пробоя и смыкания, пороговое напряжение и др.), а также функциональные зависимости различных выходных параметров элемента от одного или нескольких входных параметров, например зависимость порогового напряжения от температуры среды и топологической длины затвора.

**Идентификация параметров моделей элементов** (рис. 4). Параметры схемотехнических моделей элементов можно разделить на две группы. К первой относятся топологически инвариантные параметры: глубина залегания  $p-n$ -переходов, вертикальные размеры областей, удельные поверхностные и объемные сопротивления слоев, удельные начальные токи и емкости переходов и т.п. Они не зависят (в определенном приближении) от планарных геометрических размеров элементов. Вторую группу составляют интегральные параметры

модели: параметры аппроксимации ВАХ (крутизна, коэффициент наклона в пологой области), коэффициент влияния подложки, начальные токи  $p-n$ -переходов, полные значения емкостей (при нулевом смещении) и т.п.

Топологически инвариантные параметры рассчитываются программами подсистемы COMARS и записываются в БД элементов. Оперативный расчет интегральных параметров схемотехнических моделей элементов на основе значений топологически-инвариантных параметров и заданной конструкции элемента обеспечивает программа ARSCPM, входящая в состав подсистемы ELARS. Однако этот расчет выполняется с допущениями значительно более грубыми, чем при физико-топологическом моделировании элементов. Если учесть также неадекватность схемотехнических моделей, то очевидно, что для уточнения значений параметров обеих групп целесообразно применить оптимизационные процедуры, используя в качестве критериев количественные оценки расхождений между характеристиками элементов, рассчитанными по схемотехническим моделям, и теми же характеристиками, полученными при расчете элементов по физико-топологическим моделям. Еще более надежные результаты можно получить используя сравнение расчетных и экспериментальных характеристик серии элементов с различной геометрией. Такую оптимизацию значений топологически инвариантных параметров выполняет программа ARSMED.

Еще одна программа, входящая в данный пакет, ARSVAC, позволяет выполнять расчеты по схемотехническим моделям семейств ВАХ, сравнивать их с расчетными или экспериментальными ВАХ отдельных элементов и уточнять методами оптимизации значения интегральных параметров моделей элементов с заданной геометрией.

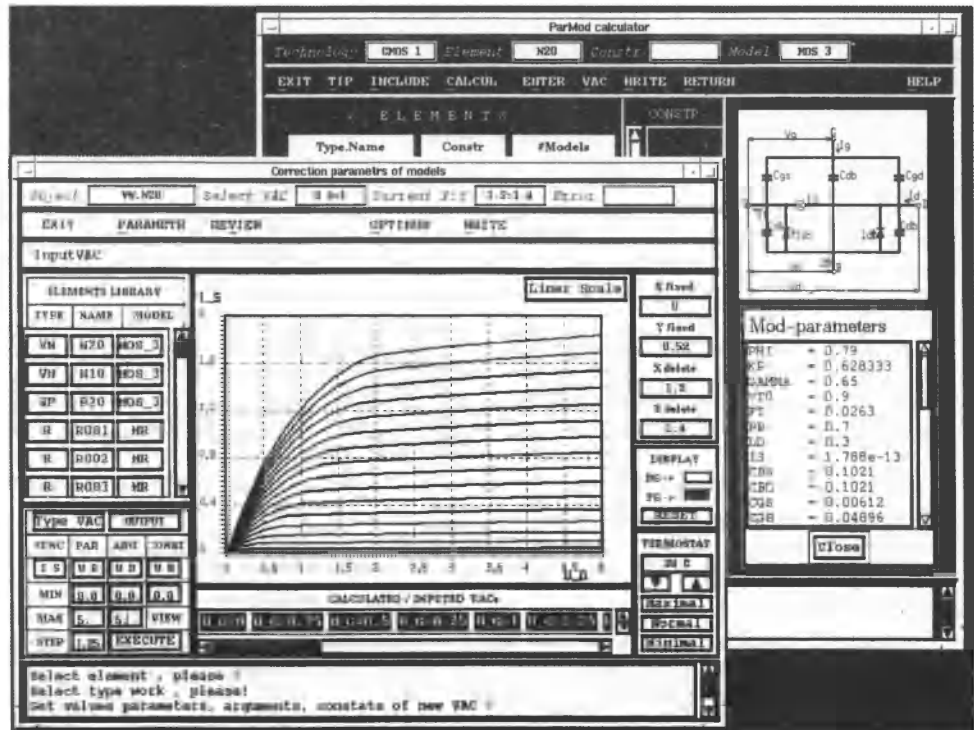


Рис. 4. Типовой вид экрана дисплея при работе с программами идентификации параметров элементов ИС

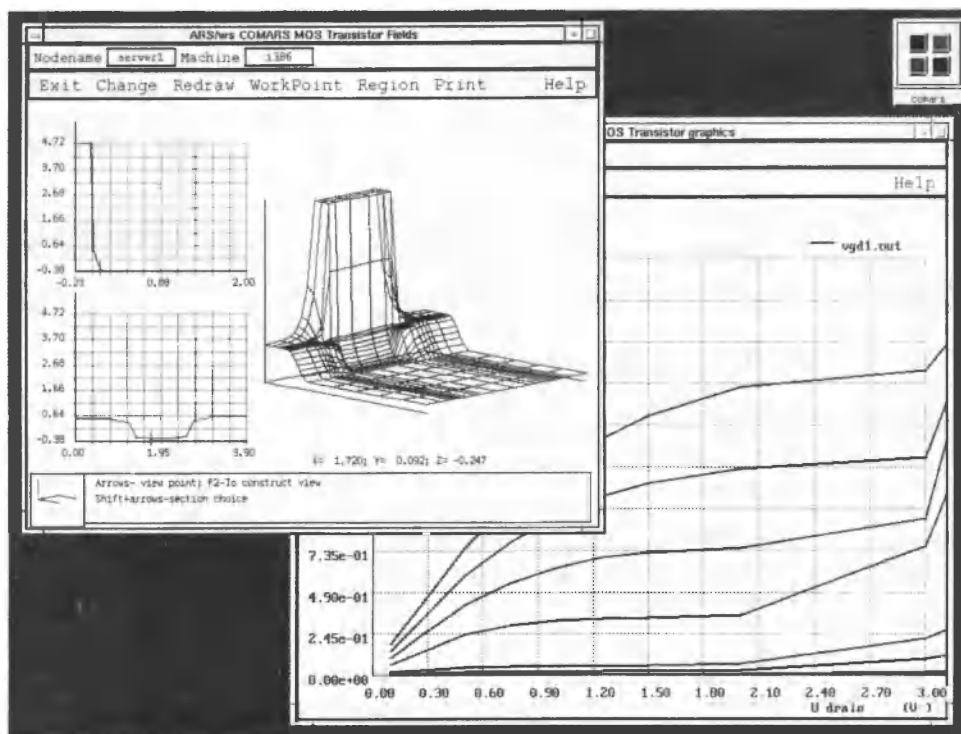


Рис. 5. Типовой вид экрана дисплея при работе с программой моделирования электрических схем

**Моделирование схем.** В подсистему ELARS входит несколько программ моделирования схем, различающихся назначением и эксплуатационными характеристиками. В каждом отдельном случае схемотехник может выбрать наиболее приемлемое средство моделирования, что повышает эффективность его труда и работы компьютера (рис.5).

Для моделирования статических характеристик и переходных процессов цифровых и аналоговых ИС используется универсальная программа ARSACS. Она позволяет выполнять расчеты биполярных, МДП- и арсенид-галлиевых схем в широком диапазоне внешних воздействий. При этом используются те же модели элементов, что и в ставшей стандартом программе SPICE.

Моделирование МДП-схем может быть выполнено с помощью программы ARSITA, которая выполняет все функции ARSACS, но специализирована только для МДП-схем. Эта программа использует высокоэффективные алгоритмы, обеспечивающие значительно более высокое быстродействие при расчетах схем данного класса.

Еще одна специализированная программа моделирования МОП-схем — ARSSLS. В ней используется ключевая аппроксимация модели МОП-транзисторов, что сокращает время моделирования по сравнению с программой ARSITA в 30–50 раз (при определенном снижении точности) и позволяет моделировать в интерактивном режиме МОП-схемы, содержащие тысячи компонентов. Наконец, для решения задачи частотного анализа аналоговых схем может быть использована программа ARSFAN. Эта программа имеет тот же набор моделей элементов, что и ARSACS, но вместо расчета переходных процессов позволяет выполнять расчеты амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик интегральных схем. При расчете используется линейари-

зация характеристик в точке статического режима, рассчитываемой самой же программой ARSFAN.

Все программы подсистемы ELARS имеют однотипный графический интерфейс пользователя, имитирующий привычный для разработчика комплект измерительной аппаратуры — функциональные генераторы сигналов, многоканальный осциллограф, цифровой мультиметр, термостат.

Совместно с перечисленными программами моделирования работает программа SEDAN, обеспечивающая графический ввод цифровых и аналоговых сигналов и выполняющая функции интеллектуального постпроцессора результатов моделирования ИС. В любое время проектировщик может вызвать дополнительное окно с чертежом моделируемой схемы, синхронно взаимодействующим с моделирующей программой. Отбирая курсором компоненты схемы, можно сформировать задание на расчет, а состояния узлов моделируемой схемы могут быть отображены непосредственно на ее чертеже.

Описанная САПР позволяет осуществить следующие этапы комплексного моделирования ИС: моделирование структуры ИС — моделирование элементов — расчет параметров схемотехнических моделей — моделирование электрической схемы ИС. Маршруты комплексного моделирования ИС были опробованы на следующем оборудовании: файловом сервере на базе процессора 80486 (33 МГц), X терминалах на базе процессора 80960 (25 МГц), а также IBM PC/AT-совместимых персональных компьютерах, сравнимых по вычислительным ресурсам с дешевыми рабочими станциями.

Ориентация САПР ARS/ws на открытые стандарты предполагает непрерывное ее пополнение новыми средствами проектирования как собственной разработки, так и других фирм. Текущие работы нацелены на адаптацию известной универсальной программы физико-

топологического моделирования биполярных и МОП-транзисторов ПЕГАС и создание программы смешанного аналогово-ключевого моделирования МОП-схем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Custom VLSI Circuits CAD System on Open Computer Systems/ Yu. Avdeev, Yu. Egorov, S. Gavrilov et al. — Electronic Engineering. Ser Microelectronics, issue 1, 1992, p.70-77.
2. VLSI process modeling — SUPREM3/ C.P.H.O, J.D.

Plummer, S.E.Hansen, R.W.Dutton. — IEEE Trans, 1983, vol. ED-30, N 11, p. 1438—1453.

3. Fair R.B., Subrahmanyam R. Phenomenological versus point-defect-based process modeling—where should you put your money? — Proc. Int. Conf. SST., Osaka, 1989, p. 133—143.

4. Selberherr S., Schutz A., Potzl H. MINIMOS — A two-dimensional MOS transistor analyzer. — IEEE Trans., 1980, vol. ED-27, N 8, p. 1540—1550.

5. Liu S., Hoefflinger B., Pederson D. Interactive two-dimensional desing of barrier-controlled MOS transistors. — IEEE Trans., 1980, vol. SCC-15, N 4, p. 615—623.

---

### электроника и медицина

---

## Взаимодействие неспецифических сенсорных систем слепых людей с окружающей средой

В.И.ПЯСЕЦКИЙ, В.Д.МИНЗРАХИ

*Проведенные исследования теоретически подтверждают возможность приборной регистрации физических аспектов восприятия цвета слепыми людьми — явления, не находящего объяснения в рамках существующих подходов и моделей классической медицины.*

*Выполненная научно-исследовательская работа финансируется из фонда фундаментальных исследований Государственного комитета Украины по вопросам науки и технологий.*

Первые данные о кожно-оптической чувствительности у человека опубликованы в 1898 г. врачом А.И.Ховринским [1]. В работе описан феномен "чтения" на ощупь печатных и рукописных текстов, определение цвета различных видов бумаги и тканей. А.Н.Леонтьев [2] установил наличие "кожной чувствительности" к видимому свету у кишечно-полостных, плантарий, червей, насекомых, моллюсков, рыб и амфибий. Им же доказано существование сенсорных систем, способных воспринимать световой сигнал ладонной поверхностью кисти. Границы понимания кожно-оптической чувствительности были расширены исследованиями Н.Б.Познанской [3], которые показали, что в результате тренировки пороги чувствительности кожи человека к лучевому воздействию постепенно снижаются, падая до нуля, причем наиболее интенсивно — в видимом диапазоне спектра электромагнитного поля.

Качественно новый этап исследований в этой области начался в середине 60-х годов в связи с обнаружением необычайно высокой тактильной чувствительности у Р.Кулешовой [4, 5, 6]. Проведенные в Институте биофизики АН СССР эксперименты позволили определить границы видимого спектра, осязаемого тактильно. Они находились в пределах 0,68 — 0,42 мкм, что соответствует порогу чувствительности глаза при освещенности помещения в пределах 1 — 10 лк [7]. Подтвердилась возможность дистантного распознавания цвета бумаги на расстоянии 20 — 80 см и связь феномена кожно-оптической чувствительности с температурными субъективными ощущениями — у испытуемых проявлялся температурный барьер в зависимости от осязаемого цвета [6].

В результате многих исследований установлена физическая природа кожно-оптической чувствительности [8, 9]. У испытуемых, обладающих этим свойством, обнаружены, с одной стороны, повышенная чувствительность к механическим и химическим раздражителям, с другой — пониженная сенсорная хронаксия и электрическое сопротивление кожи ладоней [3]. О.П.Макаров [10] связывает существование кожно-оптической чувствительности с наличием вокруг живой ткани биологической системы физических полей, природа которых недостаточно изучена. Высказываются предположения о том, что кожные рецепторы неодинаково реагируют на цвет путем взаимодействия цветного предмета с энергией метаболизма [11]. Предварительные теоретические расчеты показывают, что в данном

случае может иметь место собственное электромагнитное излучение кожи человека с длиной волны в диапазоне от 3 до 50 мкм [11].

Исследуя рецепторы, Оппель и Харди [11] обнаружили, что длинноволновая инфракрасная радиация, т. е. электромагнитное поле миллиметрового диапазона, действует на сенсорные структуры более эффективно, чем коротковолновая (ЭПМ субмиллиметрового диапазона). Однако экспериментальные результаты и теоретические расчеты не вносят ясности в понимание истинного механизма кожно-оптической чувствительности в рамках классических физиологических и биологических представлений. Но вместе с тем факт объективного существования феномена не вызывает сомнения.

Актуальность изучения рассматриваемых явлений подчеркивается тем, что в условиях повышенного к ним интереса исследование взаимодействий афферентных сенсорных систем с физическими и биологическими объектами позволит лучше понять природу влияния сенсорных возбуждений на изменение различного рода функциональных состояний. В естественных условиях существуют афферентные сенсорные системы биологических объектов и физические тела. Любая объективная информация о взаимовлиянии между ними представляет несомненный интерес.

Целью настоящего исследования явилась разработка методики проявления кожно-оптической чувствительности у слепых людей с использованием феномена дистантного сенсорного восприятия физических объектов различного цвета.

Первая серия экспериментальных исследований была посвящена выяснению роли ладонной поверхности руки, как сенсорного анализатора, при возникновении ощущений от соприкосновения с цветным раздражителем. В этом, так называемом обучающем эксперименте принимали участие слепые дети в возрасте от семи до двенадцати лет. Пособиями служили наклеенные на картон листы бумаги одинаковой фактуры семи цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего, фиолетового, а также черного и белого. Размеры листов 13x18 или 18x24 см.

Было установлено, что ученики способны отчетливо, с помощью тактильных ощущений различать признаки этих цветов, что позволяло на следующих занятиях переходить к контрольному определению цвета. Испытуемым оставляли желтый лист, а для распознавания предъявляли желтый или красный. С этой задачей они также могли справиться. На следующих этапах по такой же методике усваивались и другие цвета — голубой и красный, зеленый и желтый, белый и черный.

В результате занятий у слепых детей появились конкретные представления о невидимом и, следовательно, недоступном для восприятия и понимания мире цвета.

Цель второй серии экспериментов, проводимых с детьми в возрасте от 7 до 16 лет, — развитие кожно-оптической чувствительности и ее формирование в процессе тренировки. Методика определения цвета — та же, но без сравнения ощущений. Этот метод назван А. С. Новомейским абсолютным узнаванием цвета [8].

Третья серия экспериментов заключалась в обучении распознавания цвета на расстоянии. Занятия проводились со слепыми школьниками, которые научились распознавать цвет контактным способом. Ученики должны были определить семь основных цветов спектра ладонью по сенсорным температурным ощущениям на определенном расстоянии от цветной бумаги размером

Цвет объекта	Расстояние "барьер" — объект	T1, с	T2, с
Красный	90,0±8,8	14,0±0,2	28,0±1,1
Оранжевый	60,0±7,4	16,0±0,5	30,0±1,2
Желтый	35,0±6,7	13,0±0,6	26,0±3,3
Зеленый	30,0±4,5	15,0±0,4	30,0±3,2
Голубой	45,0±8,7	14,0±0,3	31,0±4,1
Синий	60,0±8,4	15,0±0,2	29,0±3,5
Фиолетовый	100,0±9,4	15,0±0,4	30,0±4,6
Черный	25,0±5,4	15,0±0,5	32,0±5,4
Белый	15,0±4,3	16,0±0,4	30,0±4,8

18x24 см. При этом фиксировались субъективные ощущения испытуемых: приближая ладонь к объекту, они чувствовали на некотором расстоянии от него наличие препятствия (так наз. "барьер"), затем через какое-то время (T1) появлялись температурные ощущения, которые через несколько секунд (T2) исчезали. Данные об узнавании различных цветов представлены в таблице. Из предлагаемых испытуемым в первых двух сериях экспериментов 582 цветных листов получено от 82 до 96% правильных ответов. На ощупь предъявляемые цвета, по субъективным оценкам учеников, разделялись на три основных группы: гладкие, тормозящие и шероховатые. Гладкие — это голубой и желтый, причем, голубой — самый гладкий, твердый. Желтый — очень скользкий, пальцы по нему двигаются легко и скользят. К тормозящим относятся красный, синий и зеленый цвета. Красный — вязкий, немного шероховатый, сильнее всех тормозит, пальцы по нему передвигаются с трудом, будто притягиваются к бумаге. Об этих ощущениях говорили все испытуемые. Синий — тоже тормозящий, но не в такой степени, как красный. Зеленый — наименее тормозящий, бархатистый. Шероховатые цвета — фиолетовый и оранжевый, особенно фиолетовый, который можно отнести и к тормозящим.

Такое распределение цветов отражает ощущения, возникающие при движении руки по поверхности цветной бумаги. Эти ощущения не зависят от фактуры бумаги и структуры красящего вещества. Характеристики детерминированы определенными психофизиологическими состояниями испытуемых.

Главный итог первой и второй серии обучающих экспериментов состоит в подтверждении наличия у людей кожно-оптической чувствительности, благодаря которой слепые дети способны ощущать и различать цвета.

Результаты третьей серии экспериментов, посвященных изучению температурных ощущений, возникающих на расстоянии от цветной бумаги, не отличаются от результатов, полученных ранее [6]. Эти ощущения, со слов испытуемых, сводятся к следующему: красный цвет — горячий, жжет, греет; оранжевый — теплый, впечатление теплой подушки под ладонью; желтый — на границе тепла и холода, чуть теплый; зеленый — в большинстве случаев температурно нейтральный ("что-то давит, но не тепло и не холодно"); голубой — прохладный, барьер давит на ладонь; синий — холодный ("холодом так и отдает"); фиолетовый — холодный ("пощипывает морозцем").

Практически все испытуемые объясняли моменты узнавания цвета характерным торможением руки, сопровождающимся ощущениями препятствия и появления в последующих упражнениях температурных ощущений на высоте обнаруженного "барьера".

В проведенных исследованиях огромный интерес представляла возможность зафиксировать именно те моменты, в которые происходит распознавание цвета. Ученикам предложили внимательно проследить за ощущениями в момент определения цвета, затем детально описать особенности и динамику ощущений. Один из испытуемых отмечал, что, опуская руку, он ощущал появление "барьера", а затем тепла. При появлении тепла ощущение "барьера" почти полностью пропадает или в некоторых случаях уменьшается. Но если он концентрировал внимание на тепле, ощущение "барьера" исчезало и отчетливо появлялось при уменьшении тепла. Затем оставалось ощущение "барьера", а тепло исчезало.

Вот другое описание (восприятие желтого цвета): "Когда я опускаю руку, появляется тепло (3 сек), затем оно нарастает (1–2 сек), после чего уменьшается (15 сек) и когда почти исчезает, появляется ощущение "барьера" (30 сек). Затем тепло полностью исчезает, а "барьер" остается. Через 1–2 сек после появления ощущения "барьера" ощущение тепла волнообразно усиливается, пока не исчезнет полностью". Когда эту испытуемую попросили подержать руку над желтой бумагой с целью проверки продолжительности ощущения невидимого "барьера", она из-за сильного давления "барьера" долго держать руку на этой высоте не смогла.

В процессе развития кожно-оптической чувствительности в памяти испытуемых происходит накопление признаков тактильно-кинестатических и дистантных ощущений цвета. В дальнейших обучающих экспериментах эти ощущения превращаются в своеобразные устойчивые эталоны памяти – тактильно-кинестатические и дистантные образы цвета. Если сначала распознавание цвета осуществляется путем сравнения ощущений, то на более высоких стадиях развития кожно-оптической чувствительности происходит сравнение текущей сенсорной информации со сформировавшимся устойчивым эталоном запоминания. Это становится возможным благодаря формированию по ходу обучающего эксперимента высокой стабильности тактильно-кинестатического и дистантного ощущений образа цвета, сформировавшегося на поздних этапах проведения исследований: цвет бумаги определялся точно при значительной вариативности внешних условий, например, при освещенности от нескольких десятков до нескольких сотен люкс.

В настоящее время научно-исследовательская работа по изучению формирования кожно-оптического ощущения цвета продолжается с усложнением техники эксперимента и с применением методов приборной регистрации ощущений. Насколько эти исследования фундаментальны, покажет дальнейшая практика и уровень научной оснащенности эксперимента.

Из результатов обучающих экспериментов видно, что для большинства слепых детей распознавание цвета на расстоянии значительно труднее распознавания его контактным способом из-за малой выраженности температурных ощущений по сравнению с ощущениями торможения или скольжения, зависимости температурного восприятия от освещенности и других факторов. Контактное ощущение цвета ярче, сильнее, надежнее. Этому во многом способствует и более высокое развитие у слепых исследуемой возрастной группы тактильного анализатора. Благодаря этой особенности многие из них способны различать цвет не только гладкой бумаги, но и цвет тканей различных фактур – по характеру сцепления указательного пальца с поверхностью ткани.

В задачу исследований входило и изучение особенностей развития тактильного анализатора у дошкольников и младших школьников. Как правило, у этой группы детей он развит особенно слабо, многие из них не могут воспринимать выпуклоточечный шрифт Брайля. Но слепой дошкольник, обученный распознаванию цвета различных предметов (игрушек, овощей и т. д.), обычно может дать им и тактильную характеристику, а в дальнейшем и быстро осваивает шрифт Брайля.

Очень интересные результаты получены на занятиях с использованием кожно-оптической чувствительности на уроках изобразительного искусства. Слепые школьники по температурным признакам, дистантно отличали на рисунке красное спелое яблоко от зеленого, изображение желтой груши от красного яблока, зеленого помидора от красного. Навыки, приобретенные на уроках изобразительного искусства, способны выработать у слепых в прямом смысле этого слова "кожное зрение", как называли это явление в 60-е годы [4, 5, 6]. Сложность в распознавании рисунков заключается в том, что восприятие формы у слепых с помощью кожно-оптического ощущения чрезвычайно затруднено. Для тренировки определения формы изображенных на рисунке предметов были разработаны специальные карты с четкими красными фигурами – треугольником, квадратом, кругом и кольцом, а также карты с пятью различными красно-белыми границами раздела. Эти изображения вызывают на ладони соответствующие тепловые контуры.

Изучались особенности восприятия детьми и простых рисунков, способных вызвать целостное восприятие изображения. На первом занятии они успешно различали два рисунка – утреннего моря и вечерней пустыни. Синий цвет моря тормозил движение пальцев, а на расстоянии вызывал холод. Желто-оранжевый цвет пустыни в ощущениях очень скользкий, а на расстоянии – теплый. Солнце над пустыней – теплое круглое пятнышко. На уроках биологии и химии, ученики на расстоянии отличают черную ворону от белой курицы, контактным способом определяют, какой именно из этих птиц принадлежит предложенное им перо (на черном пере пальцы тормозятся, на белом – скользят).

Наиболее распространенная задача на лабораторных работах по химии – определение уровня раствора в пробирке или колбе. С этим все дети справляются успешно, независимо от того, цветной раствор налит в пробирку или бесцветный. Когда палец движется по стеклу, например сверху вниз, то на уровне налитого раствора происходит его торможение. Аналогичным образом распознаются по цвету и химический состав раствора, налитого в чашку Петри, накрытую предметным стеклом (т. е. когда рука испытуемого находится над уровнем жидкости).

Слепые способны реагировать на цветовые признаки окружающих их предметов: стен, столов, шкафов, тумбочек, кроватей, интерьера в целом. Сравнительно легко дети подбирают себе одежду по цвету, пришивают оторванные пуговицы, причем к темной одежде черной ниткой, к светлой – белой. Цвет нитки определяется на ощупь, по ощущению торможения.

Приобретенные незрячими людьми на занятиях знания о неизвестных им свойствах окружающего мира, который они научились "видеть" в цвете, несомненно украсят их быт, сделают дальнейшую жизнь более разнообразной и интересной, помогут освоить относительно сложную работу.

Концептуальные научные выводы по результатам

исследования кожно-оптического восприятия цвета слепыми сегодня еще делать рано. Вместе с тем, практическая ценность изучения взаимодействий сенсорных систем человека с окружающими предметами очевидна, и целесообразность проведения дальнейших исследований с привлечением последних научно-технических достижений в этом направлении несомненна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х о в р и н А.И. Редкая форма гиперстезии высших органов чувств. — Вопросы нервно-психической медицины, 1988, вып. 3—4.
2. Л е о н т ь е в А.И. Проблемы развития психики. — М.: Изд. МГУ, 1972.
3. П о з н а н с к а я Н.Б. Кожная чувствительность к видимому и инфракрасному облучению. — Физиологический журнал СССР, 1938, т.24, вып. 4, с. 777—783.
4. С в е р л о в В.С. Пространственная ориентация слепых. — М., 1951, с. 83.
5. Г о л ь д б е р г И.М. К вопросу об упражняемости

тактильной чувствительности. — Вопросы психологии, 1963, № 1.

6. Н о в о м е й с к и й А.С. О природе кожно-оптического цвета у человека. — Вопросы психологии, 1963, № 5, с. 99—117.

7. С у д а к о в Н.И. О распознавании признаков окраски предметов при помощи рук в темноте. — Тез. докл. 18-го Международного психологического конгресса. Ч.2. Проблемы общей психологии. — М., 1966.

8. Ч е т и н Ф.Е., Н о в о м е й с к и й А.С. К вопросу о физической природе кожно-оптической чувствительности. Вопросы комплексного исследования кожно-оптической чувствительности. — Ученые записки Свердловского педагогического института. — Свердловск, 1968.

9. J o u t z R.P. et al. Dermooptical perception. — Science, 1966, vol. 152, p. 1108—1110.

10. М а к а р о в П.О. Методики нейродинамических исследований и практикум по физиологии анализаторов человека. — М., 1959.

11. Лекции по биофизике. Под ред. П.О.Макарова. — Изд. ЛГУ, 1968, с. 383.

## Электронная цветовая дешифровка рентгеновского изображения зон анастомозов кишечника

А.М.ОРЕЛ, И.С.ГОРБУНОВ

#### РЕФЕРАТ

Бурное развитие электроники в последние годы обеспечивает все более широкое ее внедрение в практическую медицину. Современные рентгеновские аппараты снабжены электронными усилителями изображения, что позволяет снизить дозу облучения больных, повысить качество рентгенологического обследования, а также усовершенствовать и сами методики исследований.

Даже на высококачественных рентгенограммах некоторые детали изображения области толстокишечного анастомоза остаются не распознанными из-за предела пороговой чувствительности восприятия глаза. Преодолеть этот недостаток позволяет апостериорный анализ и дешифровка рентгенограммы с использованием цветового выделения зоны интереса, когда определенной степени контрастности придается условный цвет на экране монитора.

С помощью цветовой денситометрии изучены рентгенограммы 32 анастомозов, сформированных после радикальных и реконструктивно-восстановительных операций по поводу опухолей толстой кишки. Разработана методика денситометрии и получены новые семиотические признаки всех элементов различных видов толстокишечных соустьев при цветовой дешифровке.

Предложенная методика исследования была разбита на несколько этапов. На первом этапе через три месяца после радикальной операции в ходе полипозиционного рентгенологического исследования получены качественные рентгенограммы зоны толстокишечного соединения. Затем, рентгенограммы повторных исследований через 6, 12, 24 месяца после операции изучались и сопоставлялись с первыми. Исследуя характер изменений анастомоза, был проведен анализ анатомо-морфологических изменений. Для улучшения диагностики предложен ряд объективных количественных показателей динамики зоны соустья, меняющейся в процессе заживления.

Второй этап анализа рентгенограмм области анастомоза проводился с помощью отечественной оптико-телевизионной системы УАР-1М. Часть рентгенограмм была изучена на импортных аппаратах "Периколор" (Франция), "Денитрон" (Германия), "Фосданс-1000" (Япония). Эти установки воспроизводят шесть градаций почернения пленки в различных цветах. После изучения рентгенограмм с помощью оптико-телевизионной системы и их обработки на ЭВМ наиболее диагностически значимые детали изображения фиксировались на цветную пленку.

Статья представляет интерес для рентгенологов, инженеров медицинской техники, хирургов и специалистов по врачебно-трудовой экспертизе, занимающихся вопросами наблюдения больных после радикальных операций на кишечнике с наложением анастомозов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г о р б у н о в И.С., Д е м и н В.А. Цветовая денситометрия в рентгенологии. — Электронная промышленность. Медицинский выпуск, 1982, вып. 8, с. 25—26.

2. Д е м и н В.А., Ч е р н и й А.Н., Ч е р н и к о в а А.И. Использование системы цветового преобразования черного рентгеновского изображения во врачебно-трудовой экспертизе. — Электронная промышленность. Медицинский выпуск, 1979, вып. 8—9, с. 51—52.

3. Д е м и н В.А., К у л и к о в А.Н., Ч е р н и й А.Н., Ш а п о в а л о в С.В. Цветовая телевизионная рентгеноденситометрия в стоматологии. — Электронная промышленность, 1983, вып. 11, с. 58—60.

4. Л о х в и ц к и й С.В., А р е н д у л о в С.А., Д о р в и н В.В. Хирургия повреждений ободочной кишки. — Вестник хирургии, 1990, № 4, с. 53—57.

5. Технические средства рентгенодиагностики/ Под ред. проф. И.А.Переслегина. — М.: Медицина, 1981, с. 231—242.

6. М и л и т а р е в Ю.М. Итоги изучения распространения болезней толстой кишки. — Проблемы проктологии, 1984, вып. 5, с. 3—7.



# Методологические основы сопоставления затрат на науку в разных странах

М.Л.БАШИН

*Сопоставление затрат на науку в разных странах – важный инструмент для выработки национальной политики в сфере научно-технического прогресса, подготовки долгосрочных прогнозов развития науки. Для такого анализа необходимо глубокое знание специфики таких затрат в разных странах, методологии и принципов их сопоставления, способов перерасчета затрат на единую валюту. В статье проф. М.Л.Башина, известного специалиста в области экономики, эти вопросы рассмотрены на примере РФ и США.*

Между развитыми странами идет постоянное соревнование в области создания высокоэффективных технологий и в скорости их внедрения в производство, так как реализация этих факторов позволит обеспечить высокоэффективную экономику, надежную обороноспособность, высокий жизненный уровень. Поэтому необходимо, чтобы темпы развития науки и техники опережали темпы развития производства.

Создание высокого уровня научно-технического потенциала требует все более крупных инвестиций в ключевые направления науки и техники. При этом резко возрастают и затраты на крупные технические программы. По данным экспертов США, стоимость создания коммерческой термоядерной электростанции составит 65–70 млрд. долларов [1], а разработка одного лишь двигателя для сверхзвуковых авиалайнеров, превышающих скорость эксплуатируемых в 20–25 раз, потребует 8–9 млрд. долларов [1]. Опыт показал, что одновременная реализация 5–6 крупных научно-технических программ требует затрат, которые выходят за рамки национальных ресурсов даже такой страны, как США.

Сопоставление затрат на науку в нашей стране и за рубежом – важный инструмент для выработки национальной политики в сфере научно-технического прогресса, подготовки долгосрочных прогнозов развития науки. К нему приковано внимание ведущих ученых, экономистов и организаторов науки. Эта работа проводится на стыках основных научных дисциплин, многих направлений экономики, финансов и специальных разделов статистики.

Основная роль в ходе анализа и подготовки рекомендаций должна принадлежать Российской академии

наук и Министерству науки РФ при участии крупных ученых и специалистов, хорошо информированных о состоянии науки и техники в конкретных, в первую очередь, приоритетных направлениях научно-технического прогресса. Статистика затрат на науку – сравнительно молодая ветвь отраслевой статистики. Поэтому методология сопоставительного анализа таких затрат в разных странах относится к числу мало разработанных проблем и связана с преодолением серьезных трудностей.

Сфера науки относится к высокоорганизованным системам. Она традиционно консервативна, оберегает себя от вторжений, исходящих даже от высоких структур управления и функционирует по своей внутренней логике. В застойные годы ЦСУ СССР в своих статистических ежегодниках часто давало заведомо оптимистические оценки состояния отечественной науки, в частности по сравнению с США, что отрицательно отразилось на формировании научно-технической политики, подготовке ряда ключевых разделов планов развития народнохозяйственного комплекса, снизило эффективность затрат на науку, затрудняло подготовку научно обоснованных прогнозов.

В настоящее время предстоит разработать методологические основы проведения сопоставительного анализа. По мнению автора, такой анализ следует ориентировать на сравнение основных показателей, характеризующих состояние науки в РФ и США – двух крупнейших государств, обладающих наиболее мощным научно-техническим потенциалом и способных вести исследование во всех основных областях науки и техники.

В данной статье рассмотрены лишь два основных направления сопоставительного анализа: выявление специфики структуры затрат на науку в РФ и США и методология расчета единой валюты, которые позволяют сопоставить затраты двух стран в области науки.

По мысли А.Эйнштейна, все фундаментальные в своей постановке вопросы просты. Сложности начинаются там, где решаются конкретные детали. Справедливость этого можно проиллюстрировать на примере сопоставления статистики затрат на науку в РФ и США. Они существенно различаются именно в деталях (что обусловлено разной методологией учета) и сводятся к следующему:

– в РФ в сводные затраты на науку включаются

крупные расходы на ее гуманитарные направления: экономику, философию, историю, языкознание, психологию и др. В США основная часть этих расходов исключается из сводных затрат;

– в РФ в сводные затраты на науку включаются расходы заводского сектора науки, т.е. содержание конструкторско-технологических, других технических отделов и заводских лабораторий, отделов патентования и лицензирования, что, естественно, сказывается на себестоимости промышленной продукции. В США расходы на заводской сектор науки не включаются в сводные затраты. По оценкам специалистов эти расходы в обеих странах составляет значительную сумму (так как включаются и мощные потенциалы оборонных комплексов) и по расчетам экономистов находятся на уровне 12% общих затрат на науку;

– в РФ в сводные затраты включаются расходы капитального характера в сфере науки. В США это исключено;

– в РФ в сводные затраты включаются расходы на содержание многочисленных вспомогательных научных организаций (музеев, научных библиотек, информационных служб, подразделений стандартизации, контроля и некоторых других). В США они значительно меньше.

Остановимся на показателе численности научных работников в двух странах как одном из важнейших, характеризующих эту сферу.

Сведения о численности работников, занятых в сфере науки, публикуемые в США, не включают разбивку по категориям работающих. Для получения таких данных приходится обращаться к дополнительным источникам по статистике труда, в частности итогам переписи населения. В РФ такие данные публикуются, и это достоинство отечественной статистики.

Расчет численности научных работников в РФ ведется на основе использования показателя среднесписочного состава. В США такой расчет базируется на использовании другого принципа – пересчета занятости на полный рабочий день, используемый учеными непосредственно на научно-исследовательскую деятельность. Часть рабочего времени ученых, отвлекаемая на другие цели, например педагогическую деятельность, управление, участие в семинарах и т.д., из расчетов исключается. Таким образом, численность ученых, учитываемая в двух странах, построена на разных статистических подходах и прямому сопоставлению не подлежит.

Имеется и ряд других отличий в статистике затрат и численности научного персонала двух стран. Для приведения всех рассмотренных выше показателей в сопоставительную форму требуется пересчет, основанный на глубоком знании специфики национальной статистики, используемых понятий, терминов, категорий и критериев.

Задача сопоставительного анализа затрудняется тем, что число показателей, входящих в статистические и финансовые данные, публикуемые в РФ, значительно меньше, чем содержится в источниках США. Так, в сообщении Госкомстата РФ "Социально-экономическое положение в Российской Федерации в январе – сентябре 1992 года" полностью отсутствуют какие-либо сведения о состоянии науки и научно-технического прогресса [2]. Такой "статистический фон" неизбежно должен найти отражение в сопоставительном анализе.

В США отсутствует официальная статистика затрат на науку, как и единая методология сбора информации о сводных затратах. Действует большое число частных

фирм, специализирующихся на статистике науки, а публикуемые ими данные неизбежно имеют значительные расхождения. Принято считать наиболее достоверной информацию Национального научного фонда США, но и она не носит официального характера.

Сопоставительный анализ затрат на науку, проводимый ЮНЕСКО, облегчает сравнение этих затрат и других показателей РФ и США, близких по своему содержанию. Для его проведения следует использовать пособие "Руководство Фраскати" [3], которым пользуются во многих развитых странах.

Сводные затраты на науку в каждой стране не могут отразить их реальное значение. Экономический эффект и другие показатели не позволяют выявить "накопительный эффект" от реализации научных достижений. Примерно равный объем затрат двух стран, даже приведенный к единой валюте, связан с различиями, зависящими от реализации научно-технических достижений в стране, ее социально-экономических условий, динамики цен, налоговой политики, действия других факторов.

Прямое сопоставление валют для анализа, как, впрочем, и других экономических расчетов, исключено. Самая сложная задача – рассчитать размерность единой валюты, пригодной для сопоставления фактических и намечаемых финансовых затрат двух стран. Вместо официального курса рубля и доллара необходимо располагать специально рассчитанным паритетом валют двух стран. В качестве подсобного инструмента можно использовать агрегатные индексы Ласпейреса и Пааше. Поясним содержание этого метода. Если показатели объема научных исследований в стране А обозначить  $q_s$ , денежное выражение их стоимости  $p_s$ , а соответствующие показатели страны Б –  $q_u$  и  $p_u$ , то эти данные примут следующий вид:

$$\text{Уровень затрат страны А к стране Б (в ценах страны Б), \%} \quad \frac{\sum q_s p_u}{\sum q_u p_s}$$

$$\text{Уровень затрат страны А к стране Б (в ценах страны А), \%} \quad \frac{\sum q_u p_u}{\sum q_u p_s}$$

Для получения более реальных результатов целесообразно использовать среднюю геометрическую взвешенную величину этих двух индексов.

Наиболее достоверные данные могут быть получены в условиях свободно конвертируемого рубля.

При сопоставительном анализе полезно использовать специально рассчитанные научно-исследовательские курсы валют для РФ и США, способные более объективно отразить реальный уровень заработной платы научного персонала, цены на научно-техническую продукцию, стоимость научного оборудования, другие элементы затрат. В 1991 г. по поручению ЮНЕСКО группа экономистов опубликовала такие расчеты применительно к ведущим странам Европы.

В качестве базовой единицы использовался доллар США [4]. Результаты проведенных пересчетов даны в табл. 1.

Полученные расчеты содержат только конечные результаты, поскольку не содержат основного: количественного значения переводных и поправочных коэффициентов, структуры перестановок, использованных показателей и другого инструментария. Рассчитанный

Таблица 1

Страна	Валютная единица	Официальный курс	Коэффициент стоимости исследований по сравнению с США	Рассчитанный научно-исследовательский курс
США	Доллар	1,0	1,0	1,0
Великобритания	Фунт стерлингов	0,356	1,8	0,2
ФРГ	Марка ФРГ	3,98	1,7	2,35
Франция	Франк	4,9	1,5	2,27

"научно-исследовательский курс" практически не был использован.

Почти одновременно Международным валютным фондом была предпринята попытка рассчитать единую размерность валют для разных стран. В его основу был вложен доллар США. Анализ показал, что это привело к серьезному искажению финансовых затрат сопоставляемых стран на науку в пользу США.

Расчет единой валюты продолжает и сегодня быть камнем преткновения, который не позволяет обоснованно провести финансовое сопоставление национальных затрат на науку. При наличии большого числа сопоставляемых показателей остается открытым вопрос о получении желательной интегральной оценки, характеризующей общий итог сопоставления. Это еще одна трудность сопоставительного анализа.

Применение так называемых бальных оценок для каждого показателя и их последующего суммирования, по общему мнению специалистов, — метод сомнительный. Известно, что наука (применительно к сложным качественным категориям) не поддается количественным оценкам. Пока единственным инструментом остается экспертная оценка каждого конкретного показателя.

Для получения объективных данных сопоставительного анализа сводных затрат двух стран на науку рекомендуется разделить эти затраты на идентичные по своему содержанию статьи и пересчитать каждую из них с использованием частных коэффициентов. Для затрат РФ предлагается применить группировку статей не в калькуляционном разрезе, как принято при подготовке финансовых смет, а по первичным экономическим элементам. Важно, что аналогичную информацию можно получить из финансовых отчетов научных организаций США [5]. В результате можно освободиться от комплексной статьи "Накладные расходы", содержащей в свернутом виде расходы на заработную плату административного и хозяйственного персонала, ряд материалов, энергию и другие расходы.

В табл. 2 приводится реконструированный перечень поэлементного состава затрат на научные исследования и разработки РФ и США.

Элементы 1, 5, 6 и 7 по своему содержанию идентичны, а элементы 2, 3, 4 и 8 имеют незначительные расхождения, но тоже пригодны для сопоставительного анализа. Особенно тщательно следует рассчитывать переводной коэффициент для элемента "Зарботная плата", поскольку он составляет в обеих странах свыше половины всех затрат, а относительный и абсолютный уровень заработной платы научного персонала в США значительно выше, чем в РФ.

Расчет коэффициента для элемента "Специальное оборудование для научных работ" также требует особого подхода, так как используется большой массив их видов и типов. В разных странах оборудование по своим техническим характеристикам, как и затраты на его создание, не совпадают. Поэтому требуется отобрать группу типичных его видов. Для части оборудования, совпадающей или близкой по характеристикам, включенным в группу, расчеты особых трудностей не представляют.

Сложнее, когда в выборке встречаются уникальные, в большинстве случаев дорогостоящие объекты, исключающие поиск аналогов в другой стране. К ним относится оснащение для экспериментов с элементарными частицами, для космических исследований, адовой энергетики и др.

Для сопоставления затрат на их создание и эксплуатацию приходится прибегать к искусственным расчетам предполагаемых затрат при необходимости их воспроизведения в условиях другой страны. Такие расчеты по силам конструкторам в тесном союзе с экономистами.

При формировании переводных коэффициентов следует учитывать, что изменение значения каждого из них прямо или опосредованно связано с совокупностью других элементов, их взаимной обусловленностью при формировании сводных затрат. Коэффициенты, рассчитанные для конкретных лет, более обоснованны, чем неизменные цены, используемые в экономической статистике.

Специфика затрат на науку состоит в том, что увеличение доли национальных затрат на ее развитие в большинстве случаев не адекватно полученному эффекту в сфере материального производства. Укажем на некоторые причины этого феномена. Монополии США сознательно и в широких масштабах списывают на стоимость научных проектов посторонние затраты: хозяйственные расходы, затраты на рекламу, тщательно скрываемые вознаграждения лоббистам, личные расходы руководителей корпораций и их окружения. Условия для этого созданы законодательными актами Конгресса США, согласно которым прибыль монополий и крупных фирм, полученная от научных исследований, освобождена от налогового обложения.

Таблица 2

№ пп.	Элементы РФ	Элементы США
1	Все виды материалов и полуфабрикатов со стороны	Все виды материалов и полуфабрикатов со стороны
2	Специальное оборудование для научных работ	Специальное оборудование для научных работ
3	Зарботная плата в научных организациях	Зарботная плата в научных организациях
4	Социальное страхование	Социальное страхование
5	Топливо и энергия со стороны	Топливо и энергия со стороны
6	Работы организаций-соисполнителей	Работы и услуги сторонних организаций
7	Прямые денежные расходы и другие выплаты	Прямые денежные расходы
8	Государственные и местные налоги	Федеральные и местные налоги

Сопоставление сводных затрат с их сложной инфраструктурой на макроуровне рекомендуется дополнить структурным анализом на уровне головных НИИ и КБ, межотраслевых научно-технических комплексов, которые по направлениям исследований и разработок аналогичны структурам США. Эти организации более информированы о положении своих конкурентов в США, что позволяет получить конкретную информацию для анализа.

Наряду с использованием стоимостных показателей к анализу привлекаются показатели натуральные: они позволяют раскрыть новые стороны научно-технического потенциала. Их значение определяется конкретностью, исключающей сложные пересчеты. К ним относятся: число научных и конструкторско-технологических организаций; количественно созданных и освоенных производством наукоемких технологий; массив зарегистрированных за рубежом патентов; число проданных лицензий и "ноу-хау". Их совокупность, наряду со стоимостными показателями, позволяет объективно провести сопоставительный анализ.

Отечественная наука функционирует в экстремальных условиях перехода к рыночной экономике. Поэтому действует еще один негативный фактор, затрудняющий проведение сопоставительного анализа. Известно, что сводные затраты страны формируются как сумма затрат отдельных научных организаций. Решающую роль играет обоснованный расчет цен на научно-техническую продукцию. Анализ показал, что они вышли из-под контроля, значительно превышают реальные затраты на все виды ресурсов, базируются на договоренностях исполнителей и заказчиков, а при монопольном положении первых являются прямым диктатом организаций-исполнителей.

Отсутствие определенной экономической стабильности в РФ, непредсказуемость последствий ряда нормативных актов, затрагивающих сферу науки, — далеко не лучшие обстоятельства для проведения сопоставительного анализа. И все же следует надеяться, что такая ситуация носит временный характер и принятые законодательные акты будут подкреплены действенным механизмом их реализации. Так, при Министерстве науки, высшего образования и технической политики РФ создан Центр исследований и статистики науки, укомплектованный квалифицированными экономистами, статистиками, математиками, специалистами другого профиля и оснащенный современной вычислительной техникой. Он периодически выпускает информационные бюллетени, содержащие материалы по сопоставительному анализу. К работе Центра следует более широко привлекать крупных ученых и специалистов, возглавляющих основные направления научных поисков, чтобы быть ближе к проблемам отечественной науки, без чего немислим объективный анализ тенденций научно-технического прогресса.

Переход к рыночной экономике втягивает в свою орбиту науку. Заново создаются стоимостные и другие критерии применительно к этой сфере. Национальная политика в области науки носит конкретный характер. Следовательно, статистика отрасли "Наука и научное обслуживание", как и последующий сопоставительный анализ, должны соответствовать каждому ее разделу. Вместе с тем, по оценке крупного специалиста, профессора Б.Мартина (Великобритания) в нашей статистике практически отсутствовали межстрановые сопоставления затрат на науку, и в печать проникали лишь отрывочные и малоинформативные цифры [6]. Поэтому

целесообразно провести инвентаризацию состояния отечественной науки по показателям, согласующимся со статистикой развитых стран и ЮНЕСКО. В результате появятся условия и для создания экономико-математических моделей, обеспечивающих в дальнейшем сбор и обработку информации на базе современных компьютеров с большим объемом памяти, способных охватить более широкий круг показателей, характеризующих состояние науки в РФ.

Практика подтвердила, что сопоставительный анализ на уровне отдельных отечественных и зарубежных фирм, работающих в идентичных направлениях науки и техники, например Motorola, IBM, Control Data (США), носит более конкретный характер, позволяет выявить наши сильные и слабые стороны и принять реальные меры для повышения уровня научных исследований и разработок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башин М.Л. Эффективность фундаментальных исследований (экономический аспект).— М.: Мысль, 1974.
2. Социально-экономическое положение в Российской Федерации в январе—сентябре 1992 года.— Экономика и жизнь, 1992, № 45.
3. Methode type, propose pour les enquetes sur la recherche et le development experimental. Manuel de Frascati.— Paris, 1984.
4. Исследование валют.: ЮНЕСКО.— Париж, 1991 (на русск. яз.).
5. Организация научных исследований в промышленности США.— М.: Иностранная литература, 1972, с. 234.
6. Мартин Б. Наука в условиях перехода к рынку.— М.: Экономика, 1992, с. 38.

**Булатов Р.В. Математическая модель низковольтного отказа керамического конденсатора.** — Рукопись деп. в ЦНИИ "Электроника", 1993, № Р-5475.

Рассматривается процесс низковольтного отказа керамического конденсатора, включающий влагоперенос от внешней поверхности к функциональному ядру и перемещение (протекание) ионов материала обкладки по структурным дефектам — порам, трещинам и раслоениям керамики. Для точного определения порога протекания ионов по дефектам предложена замкнутая система уравнений и приводятся численные решения этой системы. Предложенная модель может использоваться при диагностическом неразрушающем контроле надежности керамических конденсаторов для определения порога отбраковки потенциально ненадежных образцов.

УДК 621.319.4+621.396.6.08

**ДЕПониРОВАНИЕ**

# ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ ЗАЛИВОЧНЫЙ КОМПАУНД КЭ-181

для заливки и герметизации ГИС, резистивных  
и конденсаторных сборок, моточных изделий

избавит Вас от проблемы подбора ингредиентов и выбора технологии покрытия.

Компоненты компаунда — эпоксидная смола низкой вязкости и отвердитель.

## НОВЫЙ КОМПАУНД ОТЛИЧАЮТ:

- низкая вязкость, отличная проникающая способность, быстрая растекаемость, высокая технологичность заливки;
- высокая извлекательность, предохраняющая проводные соединения от обрыва, в полупроводниковые приборы — от механических дефектов;
- высокая влагостойкость, адгезия к керамике и кремнию, механическая прочность получаемого покрытия при заливке или обволакивании;
- низкая температура отверждения.

В нормальных климатических условиях свойства компаунда сохраняются в течение семи суток при 20°C.

Режим отверждения при 120°C	2 ч
при 90°C	6 ч
Плотность	1,28 г/см <sup>3</sup>
Условная прочность	70 кгс/см <sup>2</sup>
Относительное удлинение	не менее 130%
Удельное объемное электрическое сопротивление	10 <sup>12</sup> Ом·м <sup>3</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	0,08
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	от 3,8 до 4
Адгезия к керамике, стеклу	не менее 50 кгс/см <sup>2</sup>
Влагопоглощение за 48 ч при 40°C	0,66 мас. %

Комплект поставки: смола, отвердитель, инструкция по использованию.

В высоких объемах компаунда Вы сможете убедиться, заказав для предварительности поставки его небольшую партию — 0,2 кг (390 руб. без стоимости доставки).

Ваши заказы выполнят в кратчайшие сроки.

**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ТТС, МАЛОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «МИФРО».**

Наш адрес: 450024, Челябин, ул. Аэрокосм., 45, МП «ТТС».

Телефоны: 26-82-76, 26-79-93.

# КИНЕСКОПЫ ЧЕРНО-БЕЛОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ 34ЛК2Б И 31ЛК7Б

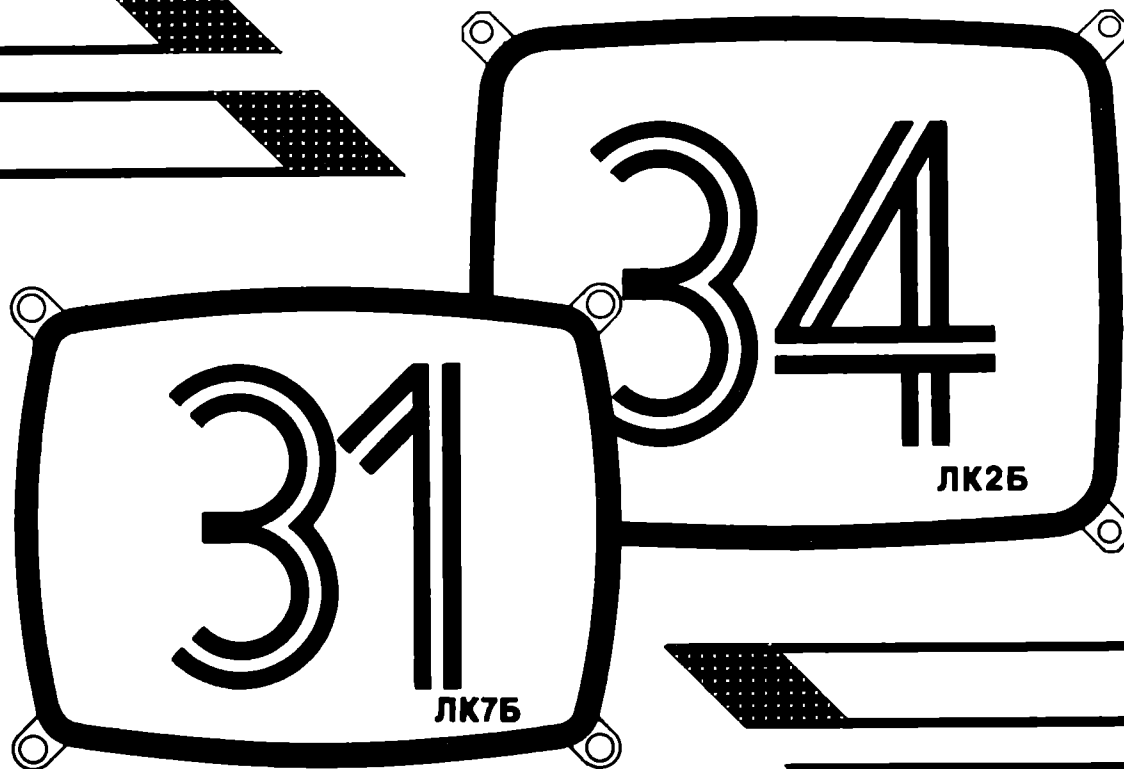
Предназначены для отображения телевизионной информации в переносных приемниках.  
Кинескоп 31ЛК7Б по сравнению с отечественным аналогом — кинескопом 31ЛК3Б имеет более высокую яркость свечения экрана и повышенную контрастность.

Отличительная особенность кинескопа 34ЛК2Б — уплощенный прямоугольный экран, значительно повышающий комфортность восприятия изображения.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наименование параметра	31ЛК7Б	34ЛК2Б
Размер рабочей части экрана, мм		
по диагонали	295	321
ширине	257	269
высоте	195	210
Контраст крупных деталей	170:1	160:1
Яркость свечения экрана, кд/м <sup>2</sup> , не менее	170	150
Угол отклонения луча, град	110	90
Разрешающая способность, лин., не менее		
в центре	600	600
по углам	550	550
Ток накала, А	0,07	0,07
Напряжение накала, В	11,0	11,0
Масса, кг, не более	2,8	4,3

Кинескопы имеют электростатическую фокусировку и электромагнитное отклонение луча.  
А.О. "Эльта". 399740, г. Елец. Тел. (8-07467) 75-1-40, 75-2-42. Факс 43-1-41.



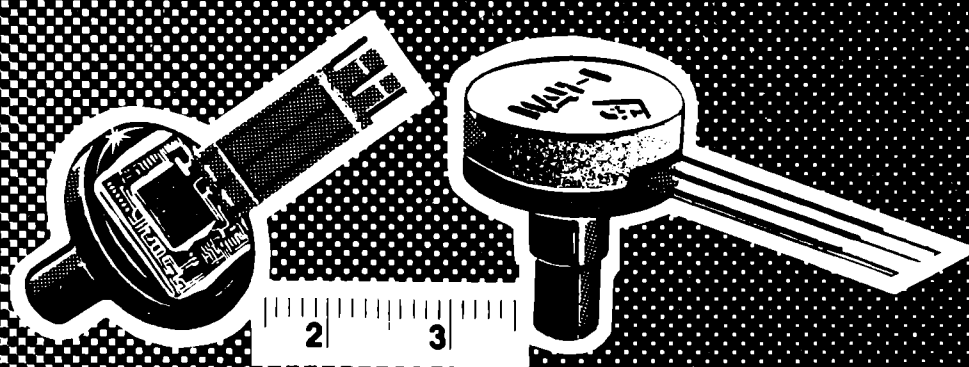
# НЕДОРОГИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ

— преобразование в нормированный электрический сигнал разности давления окружающей среды и давления, подаваемого на штуцер.



Для контрольной аппаратуры, систем управления в автомобильной, авиационной, судостроительной, пищевой промышленности, в энергетике и машиностроении.

Датчики унифицированы. В одном корпусе размещаются нормирующий усилитель, чувствительные элементы давления и температуры. Легко монтируются на любой объект контроля.



- Давление, измеряемое датчиками различной модификации, кПа:
 

С2ПДИ2100	0...-82
С2ПДИ2100-01	0...60
С2ПДИ2100-02	0...80
С2ПДИ2100-03	0...100
С2ПДИ2100-04	0...150
С2ПДИ2100-05	0...200
С2ПДИ2100-06	0...500
С2ПДИ2100-07	0...700
С2ПДИ2100-08	0...1000
С2ПДИ2100-09	0...1200
С2ПДИ1000-10	0...1500
- Выходной сигнал, В
 

при атмосферном давлении	1,1 ± 0,1
при максимальной разности давлений	3,0 ± 0,2
- Нелинейность передаточной характеристики . . . . . 1%
- Температурный коэффициент выходного напряжения, %/°C
 

25...85°С	0,03
0...25°С	0,08
-40...0°С	0,11
- Напряжение питания, В . . . . . 5,0 ± 0,25
- Потребляемая мощность, мВт . . . . . 25
- Температурный диапазон, °С . . . . . -40...85
- Габаритные размеры, мм . . . . . 14x14x20
- Масса, г . . . . . 5

По согласованию с заказчиком возможно изменение технических характеристик.

Поставка по договоренности.

Заявки направлять по адресу: 103460, Москва, НПЦ "Силиций". Тел. (095) 532-87-21.

Научно-производственное  
объединение  
«Оптоэлектроника»

# УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

обеспечат Вашим изделиям  
новое качество,  
а Вам — новые прибыли

ГАРАНТИРУЕТСЯ ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО  
МАРКИРОВКИ ПРОДУКЦИИ  
ПРАКТИЧЕСКИ ИЗ ЛЮБЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ МАРКИРОВКЕ НЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ КРАСИТЕЛИ  
РАБОТА УСТАНОВОК НЕ ТРЕБУЕТ БОЛЬШИХ  
ЭНЕРГОЗАТРАТ

Поле маркировки

20×20 мм,  
число знаков —  
произвольное

Ресурс установки

100 млн. импульсов

Габариты

1000×500×750 мм

Масса

не более 100 кг

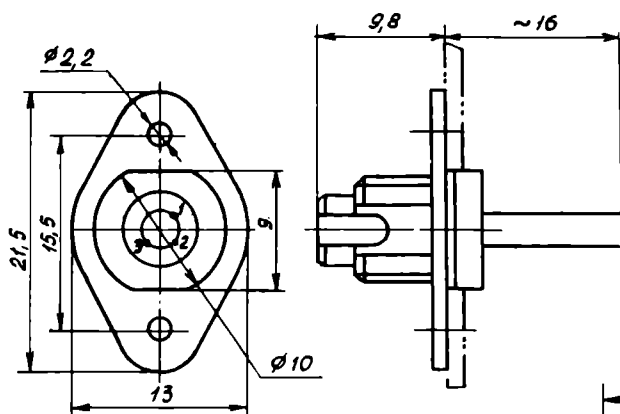
ПОСТАВКА  
И МОНТАЖ  
«ПОД КЛЮЧ»

634055, Томск, пр. Академический, д. 1,  
НПО «Оптоэлектроника».  
Телекс 612510 LIDAR SU  
Факс (3822) 259-086.  
Телефоны (3822) 259-061, 259-808.

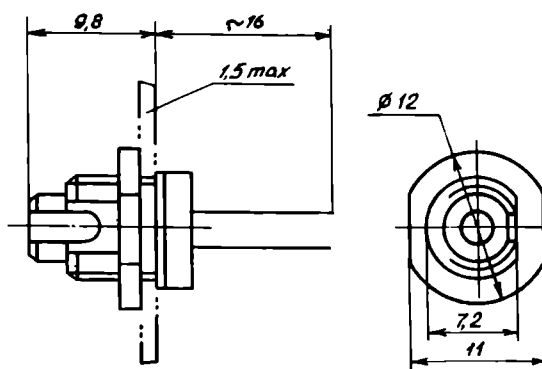


ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
ДЛЯ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

ИСПОЛНЕНИЕ 1



ИСПОЛНЕНИЕ 2



Вывод	Назначение
1	Анод
2	Катод
3	Корпус

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ (840 нм)**

Предназначены для использования в дуплексных ВОЛПИ.

Представляют собой излучающий диод и фотодиод ИК диапазона в интегральном исполнении, размещенные в разъеме.

Заменяют оптоэлектронный преобразователь 30Д148А.

Тип разъема	Исполнение	Диаметр оптического волокна, мкм	Излучающий диод			Фотодиод	
			Вводимая мощность ( $I_{пр} = 50$ мА), мкВт, не менее	Прямое напряжение, В, не более	$I_{пр} / I_{сп}$ , нс, макс.	Чувствительность монохроматическая (840 нм), А/Вт, мин	Темновой ток ( $-5$ В), нА, макс.
1.1	1	200	100	2,2	10	0,35	5,0
1.2	2	200	100	2,2	10	0,35	5,0
2.1	1	50	10	2,2	10	0,35	5,0
2.2	2	50	10	2,2	10	0,35	5,0

**ИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ ИК ДИАПАЗОНА (840 нм) В РАЗЪЕМАХ**

Заменяют излучающие диоды типа ЗЛ124, ЗЛ132, ЗЛ135, ЗЛ141.

Тип разъема	Исполнение	Диаметр оптического волокна, мкм	Вводимая мощность излучения ( $I_{пр} = 50$ мА), мкВт		Прямое напряжение, В, не более	$I_{пр} / I_{сп}$ , нс, макс.
			Типовая	Максимальная		
1.1	1	200	200	450	1,8	3,8
1.2	2	200	200	450	1,8	3,8
2.1	1	50	20	30	1,8	3,8
2.2	2	50	20	30	1,8	3,8

Предельные режимы работы:  $I_{пр.макс} = 100$  мА ( $T = 35^\circ\text{C}$ ),  $U_{обр} = 3$  В,  $I_{пр.имп.макс} = 200$  мА ( $I_{имп} < 10$  мс).  
 Диапазон температур от  $-60$  до  $85^\circ\text{C}$ .

**ФОТОДИОДЫ ИК ДИАПАЗОНА (850 нм) В РАЗЪЕМАХ**

Заменяют фотодиоды типа ФД252, ФД290.

Тип разъема	Исполнение	Диаметр оптического волокна, мкм	Диапазон спектральной чувствительности, мкм ( $\lambda_{макс}$ , нм)	Чувствительность монохроматическая, А/Вт, ( $U_{обр}$ , В), не менее	$I_{пр} / I_{сп}$ , нс, макс.	Темновой ток, нА, не более
1.1	1	200	0,4—1,1 (850)	0,35 ( $-10$ )	1,0	5,0
1.2	2	200	0,4—1,1 (850)	0,35 ( $-10$ )	1,0	5,0
2.1	1	50	0,4—1,1 (850)	0,35 ( $-10$ )	1,0	5,0
2.2	2	50	0,4—1,1 (850)	0,35 ( $-10$ )	1,0	5,0

Диапазон температур от  $-60$  до  $125^\circ\text{C}$ .  
 Предельные режимы работы:  $U_{обр.макс} = 50$  В.

Адрес: 109542, Москва, а/я 69.  
 Телефоны: (095) 305-77-38, 365-58-56.  
 Факс (095) 305-77-48.

# НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

103460, Москва, Зеленоград

Тел. 535-15-89, 536-80-20 отдел маркетинга

Факс 535-62-64

## МИКРОСХЕМА Ni-Fi—ВПЕРВЫЕ В РОССИИ

### Усилитель низкой частоты КР1438УН1

**ЛИДЕР ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ — ЗАВОД «МИКРОН» ПРИ НИИМЭ — ПРИСТУПАЕТ К СЕРИЙНОМУ ВЫПУСКУ МИКРОСХЕМЫ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЭКОНОМИЧНОГО УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С МОСТОВЫМ ВЫХОДОМ И СХЕМОЙ БАЛАНСА.**

#### ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОЙ МИКРОСХЕМЫ —

высокое качество звука,  
широкий диапазон напряжений питания,  
малый ток покоя,  
минимальное количество навесных элементов,  
отсутствие выходных электролитических конденсаторов большой емкости,  
доступная цена

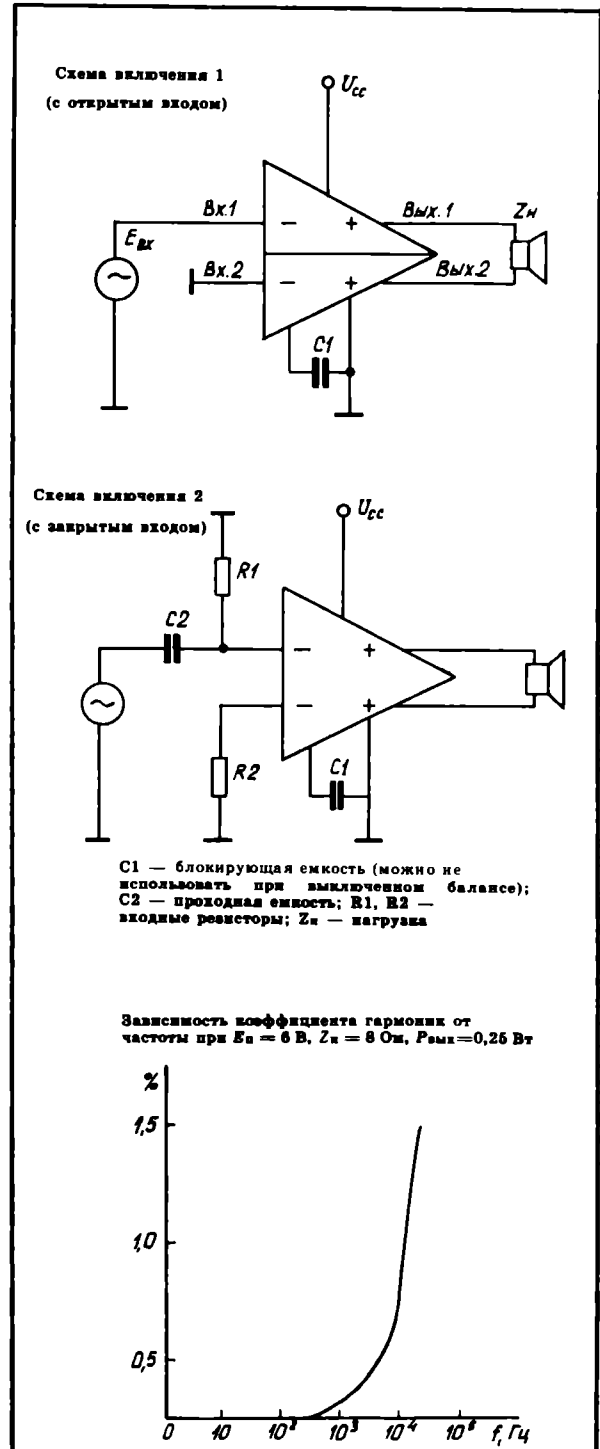
— ОБЕСПЕЧИВАЮТ ЕЕ  
ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
ПРАКТИЧЕСКИ ВО ВСЕХ  
КЛАССАХ  
ЗВУКОВОСПРОИЗВОДЯЩИХ  
УСТРОЙСТВ БЫТОВОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ.

Микросхема имеет два варианта корпуса:

- 8-выводной пластмассовый DIP для ИС с выходной мощностью до 250 мВт;
- 12-выводной вертикальный пластмассовый с медным теплоотражателем для ИС с выходной мощностью до 4,5 Вт.

Разрабатывается вариант микросхемы со встроенным регулятором громкости с управлением по 4-разрядной цифровой шине.

По параметрам микросхема КР1438УН1 превосходит серийно выпускаемую К174УН14 (см.: Микросхемы для бытовой аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1989):



Параметр	КР1438УН1			К174УН14
	Мин.	Типовое	Макс.	
Напряжение питания, В*	3	6	12	13,5—16,5
Сопротивление нагрузки, Ом	4	8	—	—
Ток потребления покоя, мА	$U_{cc} = 3 В$ 2 $U_{cc} = 6 В$ 3 $U_{cc} = 12 В$ 5			10—80
Постоянное напряжение на нагрузке в режиме покоя, мВ	Баланс вкл.	—	10	20
	Баланс выкл.	—	100	200
Коэффициент усиления	80	100	120	100
Коэффициент гармоник при $U_{cc} = 6 В$ , $Z_n = 8 Ом$ , $f = 1 кГц$ , $P_{вых} = 0,25 Вт$ , %	0,3			0,5
Диапазон рабочих частот	0**...20 кГц***			20—20000 Гц
Полный размах выходного напряжения в режиме ограничения на нагрузке 8 Ом, В	$U_{cc} = 3 В$	4		—
	$U_{cc} = 6 В$	7,5		
	$U_{cc} = 12 В$	16		
Максимальная выходная мощность при $Z_n = 8 Ом$ , $f = 1 кГц$ , $K_r = 2\%$ , Вт	$U_{cc} = 3 В$	0,25		4,5 Вт при $U_{cc} = 13,5 В$ , $R_1 = 4 Ом$ при $K_r = 10\%$
	$U_{cc} = 6 В$	0,6		
	$U_{cc} = 12 В$	2,25		
Входной ток при $U_{cc} = 6 В$ , мкА	1			—
Разность входных токов	200			—
Входное сопротивление, МОм	2			—
Число внешних навесных элементов	1 или 4			10

\* Определяется типом корпуса, сопротивлением нагрузки, наличием тепловода:

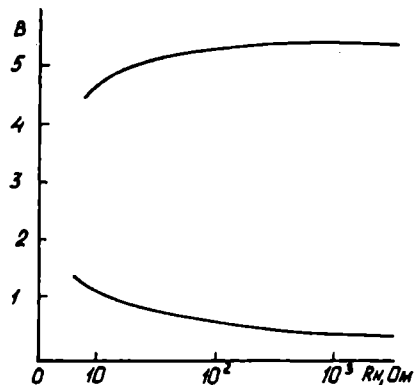
3 — 12 В при  $Z_n = 45 Ом$  в корпусе DIP 8-выводном,

3 — 6 В при  $Z_n = 8 Ом$  в корпусе DIP 8-выводном,

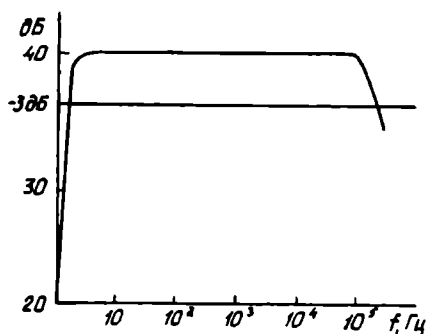
3 — 12 В при  $Z_n = 8 Ом$  в 12-выводном вертикальном пластмассовом корпусе с тепловодом.

\*\* Нижняя граничная частота определяется емкостью фильтра схемы баланса (при отключении баланса — усилитель постоянного тока).

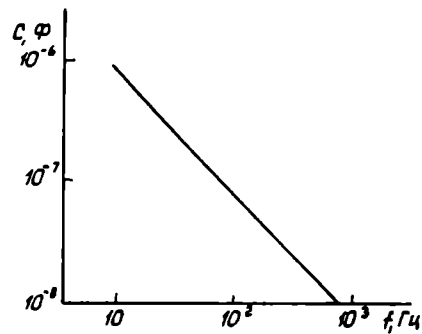
\*\*\* Полоса усиления до 200 кГц в режиме малого сигнала.



Зависимость максимального и минимального выходного напряжения от нагрузки при  $U_{cc} = 6 В$



Амплитудно-частотная характеристика



Зависимость нижней граничной частоты от емкости фильтра баланса (-3 дБ)

# Микросхема синтезатора речи CP1.XX — ЗАКОНЧЕННАЯ РЕЧЕВАЯ СИСТЕМА

**CP1 — ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР РЕЧИ. ВЫПУСКАЕТСЯ В ПЛАСТМАССОВОМ DIP-КОРПУСЕ С 28 ВЫВОДАМИ. ИЗГОТОВЛЕНА ПО КМОП ТЕХНОЛОГИИ. ДЛЯ СИНТЕЗА РЕЧИ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ МЕТОД ЛИНЕЙНОГО ПРЕДИКТИВНОГО КОДИРОВАНИЯ (СПОСОБ ЧАСТИЧНОЙ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ PARCOR).**

«XX» в обозначении микросхемы указывает вариант внутреннего ПЗУ слов.

## МИКРОСХЕМА СОДЕРЖИТ:

- управляющие схемы,
- ПЗУ объемом 40 К,
- интерфейс связи с клавиатурой,
- интерфейс связи с контроллером микрокомпьютера,
- интерфейс ПЗУ 32 К,
- цифровой решетчатый фильтр,
- источники шумового сигнала,
- регистр параметров,
- 9-разрядный цифроаналоговый преобразователь.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПАМЯТИ ПЗУ:

- 32 К для хранения речевой информации,
- 3 К для декодирования параметров,
- 945 бит для преобразования адреса ( $63 \times 15$  бит),
- 640 бит для источника периодического сигнала ( $8 \times 80$  бит),
- 240 бит для интерполяции параметров,
- остальное — для хранения параметров.

**ЦИФРОВОЙ РЕШЕТАТЫЙ ФИЛЬТР СОДЕРЖИТ УМНОЖИТЕЛЬ  $15 \times 10$  БИТ И УСТРОЙСТВО СУММИРОВАНИЯ-ВЫЧИТАНИЯ.**

**ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ В ПЗУ СИНТЕЗАТОРА РЕЧИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ «ЖЕСТКОЙ МАСКОЙ» ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МИКРОСХЕМЫ.**

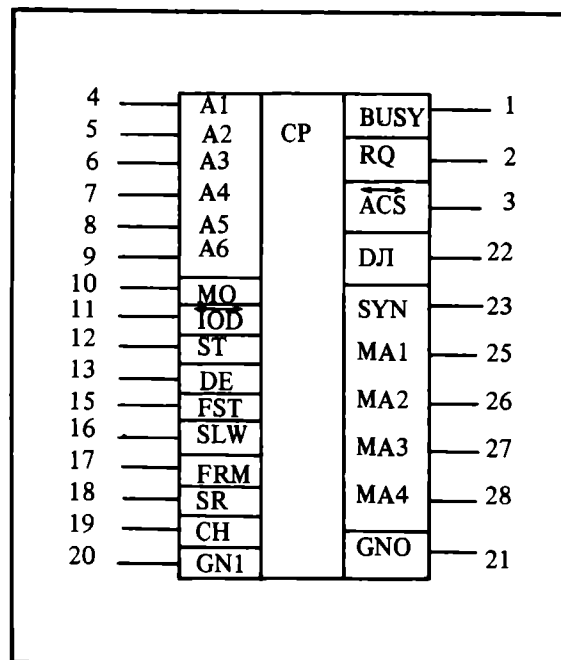
**Предприятие-изготовитель располагает системой анализа-синтеза речи для создания и корректировки синтезируемых слов.**

## Технические характеристики

Скорость следования разрядов	2,5...9,9 кбит/с
Продолжительность речи	макс. 26 с
Речевой словарь	макс. 63 слова
Продолжительность речи и словарь могут быть увеличены за счет применения внешнего ПЗУ	
Изменение скорости речи	-25%, 0%, +25%
Число бит на кадр	50 бит/99 бит
Длина кадра	10 мс/20 мс
Диапазон питающего напряжения	3,6...5,4 В
Мощность потребления при питающем напряжении 5 В:	
в активном режиме	30 мВт
в пассивном режиме	25 мкВт
Выходное напряжение высокого уровня при $I_L = 1$ мА	не менее $U_{CC} - 1$ в
низкого уровня при $I_L = 0,1$ мА	не более 0,8 В
Температурный диапазон	-10°C...70°C

**Размещенный в ИС цифро-аналоговый преобразователь токового типа обеспечивает размах выходного напряжения 500 мВ на нагрузке 50 Ом.**

Технические условия: ИБ3.487.040-07ТУ.



Условное графическое изображение и назначение выводов микросхемы

Номер вывода	Назначение
1	Выход канала "занят" (BUSY)
2	Выход "запрос" (RQ)
3	Вход/выход адресного синхросигнала выборки (ACS)
4-9	Входы адресные, 1-, 6-разряд (A1-A6)
10	Вход "режим" (MO)
11	Вход/выход данных (IOD)
12	Вход "старт" (ST)
13	Вход "запрет" (DE)
14	Питание (UCC)
15	Вход "быстро" (FST)
16	Вход "медленно" (SLW)
17	Вход "размер формата кадра" (FRM)
18	Вход "сброс" (SR)
19	Вход "контроль" (CH)
20	Вход генератора (GN1)
21	Выход генератора (GNO)
22	Выход данных аналоговый (DL)
23	Выход синхронизации (SYN)
24	Общий (OV)
25-28	Выходы адресные ПЗУ, 1-4 разряды (MA1-MA4)

# БИС ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ КР1508ПЛ1

**ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ В ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ РАДИО-, ТЕЛЕВИЗИОННОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ.**

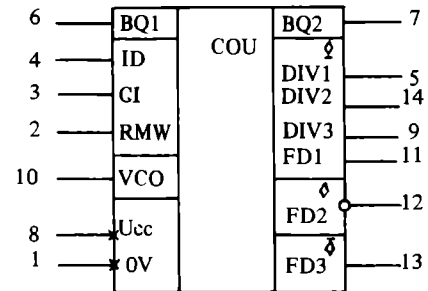
Функциональный аналог микросхемы NJ88C30 фирмы Plessey.

Выполнена по КМОП технологии

Число выводов корпуса	14
Напряжение питания	$+5\text{ В} \pm 10\%$
Максимальный ток потребления	не более 7 мА
Максимальная частота сигнала опорного канала	15 МГц
Максимальная частота сигнала основной стабилизирующей частоты	не более 200 МГц
Максимальная частота строба записи (C1) кода управления	не более 2 МГц
Коэффициент деления канала опорной частоты	100, 500, 1000, 2000, 200 400, 800, 1600
Коэффициент деления канала основной стабилизирующей частоты с единичным шагом	240...65535
Диапазон рабочих температур	$-30...70^\circ\text{C}$
Чувствительность по входу основного канала при $F_{\text{VCO}} = 200\text{ МГц}$	не менее 1 В

**РАЗРАБАТЫВАЮТСЯ:**

аналог микросхемы с нониусной непрерывной шкалой опорных частот,  
вариант с максимальной частотой стабилизирующего канала 500 МГц при сохранении фиксированного дискрета опорных частот.



Условное графическое изображение, назначение и обозначение выводов

N вывода	Условное обозначение	Функциональное назначение выводов
1	0V	Общий
2	RMW	Вход записи кода в параллельный регистр
3	CI	Вход тактирования сдвигового регистра
4	ID	Вход данных для ввода коэффициентов деления
5	DIV1	Выход частоты опорного канала, поделенной на 100
6	DQ1	Вход подключения кварцевого резонатора
7	BQ2	Выход подключения кварцевого резонатора
8	Vcc	Питание
9	DIV3	Выход деленной основной частоты
10	VCO	Вход основной частоты
11	FD1	Выход 1 фазового детектора
12	FD2	Выход 2 фазового детектора
13	FD3	Выход 3 фазового детектора
14	DIV2	Выход деленной частоты

## Микросхема УНИВЕРСАЛЬНОГО СИНТЕЗАТОРА МУЗЫКАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ СМ1-2

**— ЧЕТЫРЕХРАЗЯДНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ БИС С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ В ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ.**

В режиме внешней коммутации БИС осуществляет функции:

КАЛЬКУЛЯТОРА  
МУЗЫКАЛЬНОЙ ШКАТУЛКИ,  
ОДНОГОЛОСНОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА,  
СИНТЕЗАТОРА, ВОСПРОИЗВОДЯЩЕГО МЕЛОДИИ В СОПРОВОЖДЕНИИ ИЛИ БЕЗ СОПРОВОЖДЕНИЯ РИТМА (10 РИТМОВ).

Возможна оперативная запись мелодии — 100 нот — в ОЗУ с последующим воспроизведением. Диапазон воспроизводимых нот — от «си» малой октавы до «соль» четвертой октавы..

Управляющая программа записывается в ПЗУ с помощью «жесткой маски» при изготовлении БИС.

КМОП технология. Конструктивное оформление — 64-выводной планарный пластмассовый корпус с выводами — по 16 на каждой из четырех сторон, шаг 0,8 мм.

Число выполняемых команд	82
Время выполнения микрокоманды	мин. 70 мкс
Напряжение питания	$3\text{ В} \pm 10\%$
Ток потребления в диапазоне питающих напряжений и температур:	
режим хранения	не более 40 мкА
динамический режим	
(на рабочей частоте 180 кГц)	не более 1,3 мА
Диапазон рабочих температур	$-10^\circ\text{C}...70^\circ\text{C}$
Число управляемых сегментов ЖКИ	$26 \times 3$

Технические условия

И63.487.148-03ТУ.

На основе микросхемы создан многофункциональный синтезатор музыки «Электроника ИМ-46», серийно выпускаемый заводом «Микрон».

# Универсальная 4-разрядная микро ЭВМ ДЛЯ БЫТОВОЙ АППАРАТУРЫ КБ1829ВМ1.ХХ-02

**Находит самое разнообразное применение:**

**В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО  
КОНТРОЛЛЕРА ТЕЛЕВИЗОРОВ,  
СОВРЕМЕННЫХ СТИРАЛЬНЫХ И  
ШВЕЙНЫХ МАШИН, ДРУГОЙ СЛОЖНОЙ  
БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ,  
В КАЧЕСТВЕ БАЗОВОГО  
МИКРОПРОЦЕССОРА В  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТАХ,  
ЭЛЕКТРОННЫХ ИГРАХ,  
МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЕ.**

Микросхема КБ1829ВМ1 — четырехразрядная микро ЭВМ, изготовлена по КМОП технологии, конструктивно выполнена в 64-выводном пластмассовом корпусе с выводами на четыре стороны, шаг 0,8 мм. «ХХ» в обозначении микросхемы указывает номер заказной зашивки ПЗУ.

Запись информации в память программ осуществляется «жесткой маской» при изготовлении микросхемы.

**В СОСТАВЕ МИКРОСХЕМЫ ДВА БЛОКА:**

### **ПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК**

11-разрядный счетчик команд,  
4-разрядный аккумулятор,  
4-разрядное арифметико-логическое устройство  
четыре 4-разрядных регистра общего назначения,  
которые могут объединяться попарно,  
память для хранения данных емкостью  
128 × 4 бит (ОЗУ),  
память для хранения программ емкостью  
2048 × 8 бит (ПЗУ),  
стек с 7-разрядным счетчиком указателя стека;

### **БЛОК ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ**

8-разрядный счетчик-таймер,  
8-разрядный последовательный регистр,  
блок прерываний на четыре вектора (2 внутренних,  
2 внешних),  
контроллер индикации на 24 драйвера с 4-  
(или 3-) кратным мультиплексированием,  
три 4-разрядных универсальных порта ввода-  
вывода  
один 3-разрядный порт ввода,  
один 4-разрядный порт ввода,  
один 4-разрядный порт вывода,  
встроенный RC генератор синхросигналов  
системы,  
встроенный генератор с внешним кварцевым  
резонатором для счетчика-таймера,  
блок управления режимом останова.

**Предприятие-изготовитель имеет программно-технические средства для реализации и отладки заказных программ по исходным данным потребителей.**

### Технические характеристики

Число выполняемых команд	92
Минимальное время выполнения команды (машинный цикл)	10 мкс
Напряжение питания	2,7...6 В
Ток потребления в диапазоне питающих напряжений и температур:	
режим хранения	не более 20 мкс
динамический режим (на максимальной частоте тактовых сигналов)	не более 900 мкА
Выходное напряжение высокого уровня при $I_n = 1$ мА	не менее $U_{нп} - 1$ В
низкого уровня при $I_k = 1,6$ мА	не более 0,5 В
Диапазон рабочих температур	-10°C...70°C
 Технические условия	 6КО.348.952.01ТУ

# Научно-технический центр «ОПТОНИКА»

РАБОТАЕТ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ СНГ. ТРАДИЦИОННЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ НАШЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЯВЛЯЕТСЯ МАРКЕТИНГ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ, ВЧ И СВЧ ДИОДОВ, СТАБИЛИТРОНОВ.

НТЦ «ОПТОНИКА» ОРГАНИЗУЕТ ПРОДАЖИ ПРОДУКЦИИ ВЕДУЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЕВРОПЫ И США: ГРУППЫ КОМПОНЕНТОВ HEWLETT-PACKARD, AVANTEK, TELEFUNKEN ELECTRONIC GmbH, SIEMENS AG, MOTOROLA INC., PHILIPS COMPONENTS, SILICONIX, QUALITY TECHNOLOGIES, LASERTRON, KAPPA, AT&T.

Мы предлагаем:

- \* выбор продукции по каталогам,
- \* техническую консультацию,
- \* рекомендации по вопросам применения,
- \* продаже образцов,
- \* оптовые поставки электронных компонен-

тов со склада в Москве:

- волоконно-оптические линии связи и компоненты волоконной оптики,
- оптроны всех типов,
- фотодиоды и фототранзисторы (в том числе для регистрации УФ излучения),
- светонизлучающие диоды видимого и ИК диапазонов спектра,
- светодиодные шкалы и матрицы (в том числе со схемами управления),
- цифрознаковые индикаторы (в том числе со встроенными схемами управления),
- стабилитроны,
- ВЧ и СВЧ интегральные схемы, транзисторы и диоды,
- микросхемы памяти, контроллеры, процессоры, переключатели,
- прочие электронные компоненты и комплектующие.

НТЦ «ОПТОНИКА» принимает заказы на поставки высокоэффективных устройств отображения коммерческой и рекламной информации для офисов, банков, бирж, пунктов обмена валют:

электронные светодиодные табло типа «бегущая строка»,  
табло котировок валют,  
электронные часы,  
считыватели штриховых кодов.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ БУДЕТ ПРЕДОСТАВЛЕНА ПО ВАШЕМУ ЗАПРОСУ.**

**МЫ ПОСТОЯННО РАСШИРЯЕМ ПЕРЕЧЕНЬ ПОСТАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И ПРЕДЛАГАЕМ НОВЫЕ УСЛУГИ.**

**МЫ ГОТОВЫ НЕМЕДЛЕННО ОБСУДИТЬ С ВАМИ ВСЕ ВОЗМОЖНЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА — ОТ ДИСТРИБЬЮТОРСКИХ УСЛУГ ДО СОВМЕСТНЫХ РАЗРАБОТОК И ПРОИЗВОДСТВА.**

Наш почтовый адрес:

109542 Москва, а/я 69. Факс: (095) 305-77-48, В.Н.Маркову. Тел.: (095) 365-58-56, 305-77-38.



отечественной и зарубежной литературы,  
поступившей в БД АСНТИ "Электроника" в 1989-1993 г.г.  
по ПЕРСПЕКТИВНЫМ направлениям развития науки и техники:

Автоматизированные рабочие места (АРМ) (1440руб.)

Применение оптоэлектронных устройств в вычислительной технике (460)

Базы знаний. Экспертные системы (964)

Нейронные сети. Нейрокомпьютеры (460)

Корпуса для интегральных микросхем (1084)

СВЧ-технология. Оборудование. Применение в народном хозяйстве (460)

Состояние и перспективы развития телевизионной техники (1320)

Состояние и перспективы развития видеотехники (820)

Оборудование для сборки ИС и ПП (340)

Оборудование для легирования, диффузии, имплантации в производстве ИС и ПП (460)

Кварцевые резонаторы (580)

Технология и оборудование для производства чип-резисторов и резистивных паст (652)

Организация и управление в радиоэлектронной промышленности (610)

Маркетинг в радиоэлектронной промышленности. Рынки сбыта. Деятельность фирм (1989-1991 гг.) (1500)

Маркетинг в радиоэлектронной промышленности. Рынки сбыта. Деятельность фирм (1992-1993 гг.) (720)

Конверсия в промышленности и науке (460)

Приватизация в промышленности и науке (460)

Вопросы рыночных отношений в промышленности и науке (1230)

Правовое обеспечение производства (840)

Ценообразование на научно-техническую и промышленную продукцию (960)

Нормирование и оплата труда в промышленности и науке (950)  
Лазеры в медицине (1200)  
Лазерная медицинская диагностика (150)  
Лазерная терапия (300)  
Лазерная хирургия (250)  
Лазерная медицинская аппаратура (280)  
Электроника для медицинской диагностики (680)  
Электроника для физиотерапии (340)  
Электроника для кардиологии (350)  
Электроника против рака (180)  
Электроника в офтальмологии (220)  
Электроника в хирургии (440)  
Электроника в стоматологии (в т.ч. лечение, протезирование) (240)  
Приборы измерительные лазерные (1400)  
Лазеры в народном хозяйстве (1200)

Цены тематических указателей даны по состоянию на апрель 1993 года без учета почтовых расходов.

В нашем фонде Вы можете заказать копии заинтересовавших Вас первоисточников.

Все заказы принимаются к исполнению **Н Е М Е Д Л Е Н Н О** при получении копии платежного поручения.

Тематические указатели могут быть записаны на дискеты Заказчика в его присутствии. В этом случае цена указателя в 1,5 раза выше заявленной.

НАШИ РЕКВИЗИТЫ: 117415, Москва, пр. Вернадского, 39,  
ЦНИИ "Электроника", отдел 42, начальник отдела Соболев М.М.,  
тел. 432-91-97, 432-93-92, телекс 411668 bit su,  
телеграфный адрес "Элион", расчетный счет 000263835,  
Москомбанк "ВИТТА", участник 29  
Черемушкинского отд. ПСБ, МФО 201490, инд. 1117335  
N заказа 20202



Bereich Informationstechnik  
Elektronik

Hoechst

## <sup>®</sup> *Hoechst High Chem*

- \* AZ-фоторезисты — для всех областей микроэлектроники
- \* Резисты для электронно-лучевой литографии
- \* Фоторезисты с обратимым изображением и субмикронным разрешением
- \* Окрашенные фоторезисты
- \* Фоторезисты для нанесения методом распыления
- \* Возможна поставка всех фоторезистов на базе более безопасного растворителя — PGMEA
- \* Защитные покрытия
- \* Вспомогательные продукты
- \* Проявители — стандартные и не содержащие ионов металла
- \* Реактивы для утоньшения пленки резиста
- \* Реактивы для удаления/снятия резиста

Hoechst Aktiengesellschaft  
Geschäftsbereich Informationstechnik  
Postfach 35 40 · D-6200 Wiesbaden 1  
Tel.: (0 61 21) 68-60 87 oder -83 44  
Fax.: (0 61 21) 60 85 81  
Telex: 4 18 602-0 kad

В СНГ:  
ООО ИНТЕХ (INTECH GmbH),  
125565, Российская Федерация,  
г. Москва, а/я 24, ул. Флотская, 1  
Тел. (095) 456-10-01  
Факс (095) 456-10-01

**DeTeWe**  
**TSB** GmbH

Deutsche Telephonwerke –  
Telefon- und Signalbau GmbH

## Varix content 840

— СОВРЕМЕННАЯ ЦИФРОВАЯ КОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ, ТЕКСТОВ, ИЗОБРАЖЕНИЙ И ДАННЫХ. ИМЕЕТ 840 ПОРТОВ ВВОДА/ВЫВОДА, ПОЗВОЛЯЕТ РАБОТАТЬ В ЦИФРОВОЙ СЕТИ С КОМПЛЕКСНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ISDN. ВОЗМОЖНО ГИБКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ И ИСПОЛНЕНИЯХ, ДОПУСКАЮЩИХ СОГЛАСОВАНИЕ С ПОТРЕБНОСТЯМИ КОНКРЕТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.

ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕФОННЫЙ АППАРАТ VARIX S28 ОБЕСПЕЧИВАЕТ РЕАЛИЗАЦИЮ БОЛЕЕ 100 СЕРВИСНЫХ ФУНКЦИЙ.

### Предлагается ряд устройств фирмы De Te We – TSB GmbH:

- Инновационная система коммуникации varix 12/32 для использования на малых и средних предприятиях. Подключение до 8 абонентских линий к АТС и до 24 телефонных аппаратов абонентов. Более 60 сервисных функций.
- Новая компактная телефонная система varix 6 с возможностью дистанционного управления. Подключение 1—2 линий к АТС и до 6 абонентских аппаратов.
- POS-CAT — терминал для работы с кредитными карточками.
- Телефаксные аппараты.
- Видеокommunikационные системы Photon varix B50 и varix B50 Color.

Фирма обеспечит возможность реализации спутниковой связи.

Предлагаемые установки имеют сертификат Министерства связи России, гарантийный срок эксплуатации 1 год. Техническое обслуживание и сервис обеспечиваются и после окончания гарантийного срока.

**Представитель фирмы De Te We — TSB GmbH в России МНТК «Технополис».**

117049, Москва, Ленинский проспект, 9, офис 1005.  
Телефоны: 236-5412, 236-6483.  
Телефакс: 236-5536, 236-6483.

