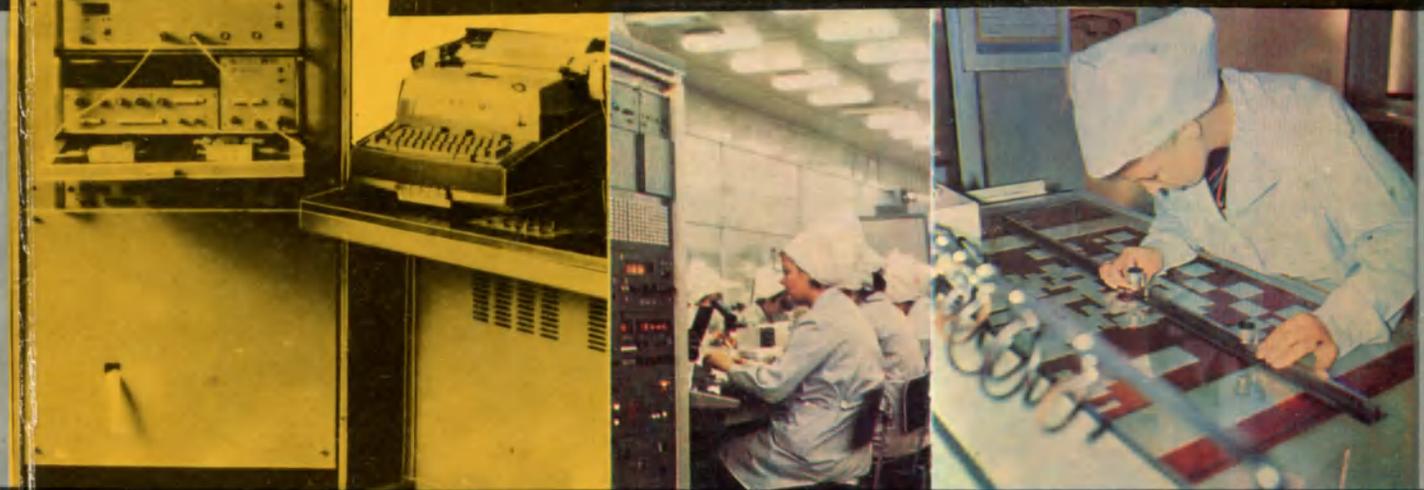
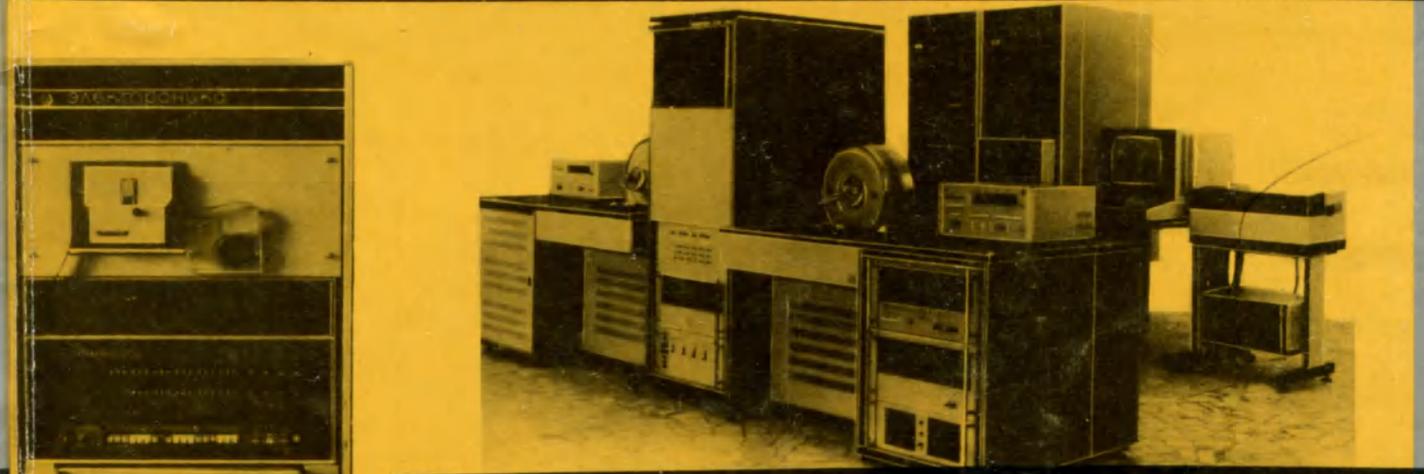




ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



1982

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. Чернышев
(главный редактор)

В. А. Афанасьев
Ф. И. Бусол
А. А. Васенков
И. Н. Воженин
Г. Г. Горбунова
(ответственный секретарь)

А. П. Грибачев
Г. Я. Гуськов
Н. Д. Девятков
Г. М. Зверев
В. И. Иванов
А. Ф. Казаков
А. А. Константинов
Ю. Г. Кувшинников
Э. А. Лукин
А. А. Маклаков
В. И. Машкин
Ю. Б. Митюшин
Ю. П. Поцелуев
В. М. Пролейко (зам.
главного редактора)
Ю. А. Райнов
А. И. Савин
А. А. Сорокин
В. Д. Степанов
Ю. Б. Степанов
В. Н. Сретенский
П. М. Стуколов (зам.
главного редактора)
И. Ф. Фадеев
В. А. Федоров
Я. А. Федотов
О. В. Филатов
С. К. Цаллагов

- **Динамические неоднородности, создаваемые в континуальных средах, могут стать основой для разработки ряда устройств, свободных от недостатков, присущих приборам, действие которых основано на статических неоднородностях, создаваемых технологическим путем. Устройства на динамических неоднородностях предполагают исключение схмотехники и межсоединений, совмещение фотолитографических процессов, поскольку динамические неоднородности берут на себя роль схмотехнических элементов.**

- **Для электронных часов, систем электронного зажигания двигателей внутреннего сгорания, видеомагнитофонов и других применений разработан ряд микроминиатюрных кварцевых резонаторов на частоты колебаний от 30 кГц до 8,4 МГц, характеризующихся высокими значениями электрических параметров, которые во многих случаях не уступают параметрам резонаторов стандартных габаритов.**

- **Конструкция диодов Ганна, сочетающая преимущества пленарных и сэндвичевых структур, позволяет использовать эти приборы в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн.**

- **Высокие технические характеристики, конструктивное выполнение и развитое программно-математическое обеспечение позволяют с успехом применять установку «Элекон СФ-ЗУ» в массовом производстве БИС ОЗУ для контроля их электрических параметров на пластинах и в корпусах при предельных частотах функционирования схем.**

- **Полуавтомат лазерного скрайбирования ЭМ-220, не уступающий по технико-экономическим характеристикам лучшим зарубежным образцам аналогичного оборудования, обеспечивает высокое качество разделения полупроводниковых пластин на кристаллы.**

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1982 4
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. ВЫПУСК (110)

OldPC.su

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 3 Чернуха Б.Н. Микросхемы серии К512
- 6 Грузиненко В.Б., Ярославский М.И. Кварцевые микрорезонаторы
- 7 Головин В.И., Шенкер Д.Д. К421КН1 – восьмиканальная ИС выбора программ
- 8 Лукичев А.В., Павелъев Д.Г., Свешников Ю.Н., Чурина Н.А. Диоды Ганна миллиметрового диапазона
- 10 Бурлаков В.А., Иофис Н.А., Кацнельсон Б.В., Петрунин В.И. Керамические каналные умножители
- 12 Ларичев Ю.И. Формирователь временного интервала

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

- 16 Тиходеев Ю.С., Федотов Я.А. Функциональная электроника – электроника динамических неоднородностей
- 19 Ступаченко А.А. Процесс проектирования ИЭТ как объект автоматизации
- 25 Гудов А.И., Соколов Ю.П. Проектирование топологии БИС с использованием эскизно-символьного метода
- 27 Березкина М.М., Ковальский Г.А. Двуханодный безмагнитный источник ионов
- 29 Баранцева О.Д. Изготовление контактов металл–полупроводник с заданными параметрами

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

- 36 Данилин Н.Н., Попель Л.М., Простаков В.И. Установка "Электрон СФ-ЗУ" для контроля электрических параметров БМЗ ОЗУ
- 41 Пантыкин С.В., Паньев В.Е., Швецов Б.Н. Автоматизированная аппаратура для измерения параметров СВЧ четырехполюсников
- 42 Влащенко А.А., Гордиенко Г.Ф., Лубяный В.З. Информационно-измерительная система контроля параметров варикапов
- 44 Котельников Ю.Н., Крочев А.М., Соколов А.А., Тимошпольский В.А. Измеритель толщины напыляемых слоев
- 45 Никулин С.М., Петров В.В., Салов А.Н., Чеботарев А.С. Автоматический анализатор СВЧ цепей

ОБОРУДОВАНИЕ

- 46 Корнеев Е.Н. Ионный источник с холодным катодом для промышленных ионно-лучевых установок
- 47 Богданов В.Н., Вертинский Ю.Ф., Гронский С.И., Юдицкий В.А. Полуавтомат лазерного скрайбирования ЭМ-220
- 49 Вертинский Ю.Ф., Яновская В.А., Ярош Л.Ф. Устройство управления линейным шаговым двигателем на базе микропроцессора
- 51 Егоров Ю.Г. Автоматизированная линия для производства газопоглотителей
- 53 Белов В.М., Мерциков В.Г., Ткаченко Н.М. Устройство дозированного нанесения жидких материалов
- 54 Друк О.Н., Масленников П.Н., Портняжников Ю.Н., Ушаков В.Ф. Гидравлический пресс для переработки пластмасс
- 54 Александян А.Г., Казарян Р.К., Матвеев Л.А., Нангулян В.А. Устройство управления импульсным твердотельным лазером

ОБМЕН ОПЫТОМ

- 56 Грамм С.А., Митрофанов В.В. Повышение качества фотосаблонов для производства ИС
- 58 Знаменский В.В. Совершенствование малоинерционной системы образования увлажняющей среды
- 59 Егоров Б.А., Лысовол Б.Г., Пекишев И.Н., Рыбкина Л.В., Черняк Е.Е. Эффективный способ создания алюминиевой металлизации ИС
- 61 Алимов Т.Г., Гладков Г.И., Егоров А.И. Совершенствование процесса обжига марганец-цинковых ферритов
- 63 Берзина А.И., Лапшов Ю.К., Ляшок А.П. Пайка плоских корпусов микросхем пастообразным самофлюсующим припоем

РЕКЛАМА

- Максимов В.А., Егорова Т.П. Импульсные фотоэлементы Ф-32 и Ф-33
Шандорова Т.М. Фотоэлемент Ф-34
Гловацкий И.Г. Индикаторная ЭЛТ с повышенной яркостью и разрешающей способностью

УДК 621.316.8.040.77
Н.Ю. Юсипов

ВЫСОКООМНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ МАТРИЦЫ



Высокоомные тонкопленочные резистивные матрицы предназначены для применения в высокоомных делителях напряжения или гибридных микросхемах. Их рекомендуется использовать в блоках питания, в цепях питания электронных ламп, в устройствах автоматики, измерительной техники, атомной и тепловой энергетики.

Удельное поверхностное сопротивление, кОм/кв.см 50-5000
 Сопротивление элементов в матрице, МОм 0,5-1000
 Допуск на разброс сопротивления, % ± 10
 Допустимая мощность рассеивания на один элемент, Вт 0,1
 Температурный коэффициент сопротивления, °C^{-1} не более 0,5
 Область рабочих температур, °C от -60 до +250
 Рабочее напряжение, В до 1000-1100
 Минимальная ширина резистивной дорожки, мм 0,1

Резистивные матрицы обладают высокой температурной и временной стабильностью. Изменения номиналов не превышают $\pm 3,7\%$ в условиях эксплуатации в течение 5000 ч при температуре 250°C и мощности рассеивания 0,5 Вт. Матрицы ризируются малым температурным коэффициентом от -60 до 250°C . Они

могут иметь любые габариты в зависимости от числа резисторов в матрице и значений рабочих напряжений.

Матрицы изготавливаются путем последовательного проведения следующих технологических операций: южно-плазменного реактивного распыления хрома в атмосфере азота на диэлектрической подложке из сапфира, полнокерамики, ситалла или стекла при парциальном давлении азота $(1,5 \pm 3) \cdot 10^{-2}$ Па; стабилизированного фотоночного отжига при выключенной плазме; южно-плазменного распыления хрома в инертной атмосфере при парциальном давлении $(1,1 \pm 1,5) \cdot 10^{-2}$ Па для лазерного рисунка матрицы; ультразвукового или лазерного распыления хрома в инертной атмосфере при парциальном давлении $(1,1 \pm 1,5) \cdot 10^{-2}$ Па для лазерной подгонки номиналов резисторов; разварки проводников на контактные площадки и установка матрицы в корпус.

Благодаря применению резистивных элементов матрицы значительно уменьшаются габариты элементов (поскольку уменьшается число паяных соединений) и снижается стоимость.

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 621.3.049.77.004

Б. Н. Чернуха

МИКРОСХЕМЫ СЕРИИ К512

Микросхемы временного управления серии К512 могут использоваться при построении различных устройств, в том числе и относящихся к вычислительной технике.

Микросхемы К512ПС2 и К512ПС7 представляют собой делители частоты с коэффициентом деления 2^{16} и при использовании стандартного кварцевого резонатора с частотой 32768 Гц или внешнего генератора той же частоты могут служить датчиками реального времени в вычислительных системах. Температурный диапазон работы — от -10 до 55°C .

Конструктивно они выполнены в плоских пластмассовых корпусах с числом выводов 6 и 8 соответственно и с шагом выводов 1,25 мм. Структурная схема, цоколевка выводов корпуса, временная диаграмма выходных сигналов представлены на рис. 1–3. Ниже приведены основные электрические параметры схем:

	К512ПС2	К512ПС7
Напряжение питания, В	$1,35 \pm 10\%$	$1,5 \pm 10\%$
Потребляемый ток, мкА	6	1,5
Падение напряжения на активной нагрузке $R = 4,5$ кОм, включенной между выходами микросхемы, В	не менее 1,2	не менее 1,4

Кроме делителей частоты, в состав микросхем (см. рис. 1) входят также усилительные элементы генератора и формирователя выходных сигналов. Микросхемы имеют по два выхода, сигналы на которых представляют собой импульсы длительностью 3,9; 7,8; 15,6; 31,2; 62,4 мс (длительность устанавливается в процессе изготовления микросхемы) с периодом следования 2 с и сдвигом по фазе на 1 с (см. рис. 3). Выходные формирователи обеспечивают ток порядка 300 мкА в активной нагрузке 4,5 кОм при падении напряжения на стоке каждого из транзисторов 0,15 В, что позволяет использовать источники питания с напряжением 1,5 В. В отличие от микросхемы К512ПС2, микросхема К512ПС7 имеет интегрированные на кристалле резисторы схемы кварцевого генератора и более мощные формирователи выходных сигналов.

Микросхемы К512ПС5, К512ПС6, К512ПС8, К512ПС9 представляют собой программируемые делители частоты с переменным коэффициентом деления. Выполненные на основе двух базовых кристаллов микросхемы К512ПС5, К512ПС6, К512ПС9 оформлены в металlostеклянных 14-вы-

водных корпусах, а К512ПС8 — в 16-выводном. Микросхемы сохраняют работоспособность и значения электрических параметров в диапазоне температур от -60 до 85°C ; при работе на частоте 40 кГц потребляют ток не более 100 мкА при $E_{\text{п}} = 6$ В. Диапазон программируемых интервалов времени на этой частоте может изменяться от 25 мс до 400 с, коэффициент деления частоты от 2^{24} до 2^9 . Микросхемы могут быть согласованы с ТТЛ ИС микромощной серии К134.

Разработаны также модификации КР512ПС5 и КР512ПС6 в пластмассовом DIP корпусе для работы в температурном диапазоне от -45 до 85°C .

Структурная схема базового кристалла микросхем К512ПС5 и К512ПС6 приведена на рис. 4.

Частота следования импульсов генератора, входящего в состав этих микросхем, оп-

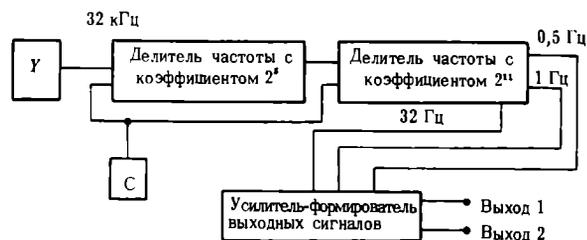


Рис. 1. Структурная схема ИС К512ПС2 и К512ПС7: У — активные и пассивные элементы кварцевого автогенератора; С — схема сброса

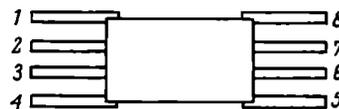


Рис. 2. Назначение выводов корпуса микросхемы К512ПС7: 1 — вход генератора; 2 — выход генератора; 3 — минус питания; 4 — сброс; 5 — выход 2; 6 — контрольный; 7 — выход 1; 8 — плюс питания

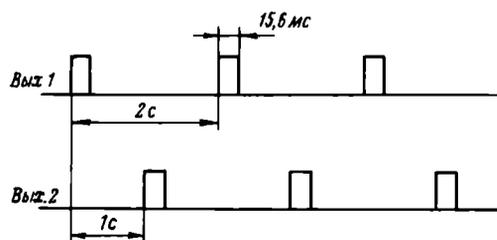


Рис. 3. Временные диаграммы выходных сигналов микросхем К512ПС2 и К512ПС7

ределяется значениями емкости C и резистора R , подключаемых к выводам микросхем, как показано на рис. 5, и может составлять от 1 до 80 кГц. Запуск и остановка генератора осуществляется внутренними сигналами от схемы управления. Генератор с частотой 40 кГц требует подключения емкости 25 пФ и сопротивления 510 кОм. При использовании внешнего генератора управление его работой внутренними сигналами не осуществляется. Коэффициент деления частоты в диапазоне от 2^9 до 2^{12} определяется двоичным кодом, подаваемым на выводы 1 и 2 микросхемы.

Программирование требуемого временного интервала осуществляется подачей на вывод 11 микросхемы прямоугольного импульса с длительностью, пропорциональной требуемому интервалу. Продолжительность программирования при частоте генератора 40 кГц составляет примерно 0,1 с и соответствует времени полного заполнения делителя частоты.

Передним фронтом программирующего импульса запускается генератор, импульсы которого начинают заполнение делителя частоты. Задним фронтом программирующего импульса к выходу генератора подключается счетчик импульсов, т.е. между задним фронтом и окончанием программи-

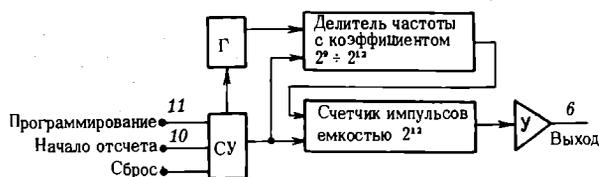


Рис. 4. Структурная схема ИС К512ПС5 и К512ПС6: Г – автогенератор; СУ – схема управления; У – усилитель мощности

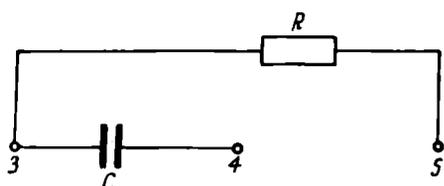


Рис. 5. Схема подключения внешних элементов автогенератора к микросхемам К512ПС5 и К512ПС6

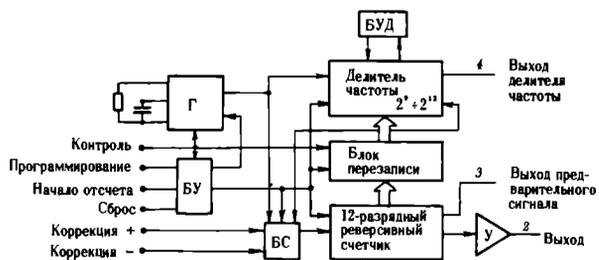


Рис. 6. Структурная схема ИС К512ПС8 и К512ПС9: БУД – блок управления делителем; Г – автогенератор; БУ – блок управления; БС – блок синхронизации; У – усилитель

рования заполняются одновременно делитель частоты и счетчик импульсов. Программирование завершается при полном заполнении делителя частоты, после чего генератор останавливается и микросхема переходит в статический режим работы.

Для отсчета запрограммированного интервала времени на вывод 10 подается уровень лог. "1", при этом схема управления вырабатывает сигнал, запускающий генератор. Формирование на выводе 8 уровня лог. "1" является признаком начала отсчета запрограммированного интервала времени. Сигналы генератора завершают заполнение счетчика импульсов через делитель частоты. По окончании запрограммированного интервала времени на выводе 6 микросхемы формируется уровень лог. "1", реализующий соотношение

$$t_{от} = K t_{и.пр},$$

где $t_{от}$ – длительность отсчитываемого интервала времени; K – коэффициент деления; $t_{и.пр}$ – длительность импульса программирования.

Таким образом, длительность запрограммированного интервала времени не связана с частотой генерируемых импульсов, что обуславливает высокую точность воспроизведения запрограммированного интервала без использования кварцевого генератора.

Микросхема К512ПС6 отличается от микросхемы К512ПС5 тем, что на вывод 9 ее корпуса сигнал поступает с выхода делителя частоты – это позволяет получать временные интервалы меньшей длительности, чем на выводе 6.

Структурная схема базового кристалла микросхем К512ПС8 и К512ПС9 представлена на рис. 6, а назначение выводов микросхем приведено в таблице.

Назначение выводов микросхем К512ПС8 и К512ПС9

№ вывода	К512ПС8	К512ПС9
1	Контроль	Контроль
2	Выход	Выход
3	Предварительный выходной сигнал	Предварительный выходной сигнал
4	Выход делителя	Выход делителя
5	Сброс	Сброс
6	Коррекция "минус"	Исключение двух триггеров
7	Исключение двух триггеров	Общий
8	Общий	Исключение одного триггера
9	Исключение одного триггера	Выход инвертора
10	Коррекция "плюс"	Вход инвертора
11	Выход инвертора	Вход генератора
12	Вход инвертора	Вход программирования
13	Вход генератора	Вход "начало отсчета"
14	Вход программирования	Положительный контакт источника питания
15	Вход "начало отсчета"	
16	Положительный контакт источника питания	

Кроме применения в режиме, аналогичном описанному выше, эти микросхемы могут использоваться

в качестве других самостоятельных устройств, например, делителя частоты с коэффициентом деления $K_D = 2^9 \div 2^{12}$ или $(2^9 \div 2^{12}) \times 2^{12}$; делителя частоты с коэффициентом деления $K_D = (2^9 \div 2^{12}) \times 3840$ (для получения импульсов, период которых при использовании стандартного часового кварцевого резонатора с частотой 32768 Гц составит 1 мин); 12-разрядного реверсивного двоичного счетчика импульсов; устройства вычитания частотных сигналов.

Программирование требуемого интервала времени в этих микросхемах осуществляется подачей на вывод 14 двух последовательных прямоугольных импульсов, сдвинутых относительно друг друга на интервал $t_{пр}$, пропорциональный времени отсчета. Передним фронтом первого программирующего импульса запускается генератор, и его импульсы начинают поступать на вычитающий вход 12-разрядного реверсивного счетчика, который в исходном состоянии имеет в каждом разряде лог. "1". При этом прохождение сигнала на все остальные узлы микросхемы блокируется. Передним фронтом второго программирующего импульса генератор останавливается, тем самым заканчивая программирование. Контроль запрограммированного интервала времени может осуществляться подачей на вывод 1 микросхемы уровня лог. "1". При этом запускается генератор, и импульсы с него начинают поступать в делитель частоты, в момент полного заполнения которого в нем формируется синхронизирующий импульс, обеспечивающий перезапись в него информации из реверсивного счетчика. Таким образом, коэффициент деления делителя оказывается равным $K_D = 4095 - S$, где S — объем информации, записанной в реверсивном счетчике. Правильность программирования интервала определяется по периоду следования импульсов на выводе 4, который в этом режиме равен времени программирования $t_{пр}$. В случае обнаружения ошибки в содержимом реверсивного счетчика последнее может быть скорректировано как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Для этого в режиме контроля на выводы 6 или 10 (для увеличения или уменьшения $t_{пр}$ соответственно) подается требуемое количество импульсов. Эти импульсы через схемы синхронизации, стробируемые двумя синхропоследовательностями с частотой, в четыре раза меньшей частоты генератора, поступают на вычитающий или суммирующий входы реверсивного счетчика. Необходимость синхронизации подачи импульсов на входы этого счетчика с помощью синхропоследовательностей накладывает ограничение на их частоту, которая должна быть в восемь раз ниже частоты генератора. По окончании контроля и коррекции на выводах 1, 6 и 10

устанавливается уровень лог. "0", после чего схема становится готовой к отсчету.

Отсчет интервала времени $t_{от}$ начинается подачей на вывод 15 микросхемы К512ПС8 (или вывод 13 для К512ПС9) уровня лог. "1". При этом запускается генератор, происходит сброс делителя частоты и начинается его заполнение. Коэффициент деления K_D делителя в этом режиме определяется состояниями на входах 7 и 9:

K_D	Вывод 7	Вывод 9
2^{12}	"0"	"0"
2^{11}	"0"	"1"
2^{10}	"1"	"0"
2^9	"1"	"1"

Далее импульсы с выхода делителя поступают на суммирующий вход реверсивного счетчика.

После появления первого импульса на выходе делителя состояние на выводе 15 может меняться на "0".

После заполнения реверсивного счетчика до 4080 импульсов на выводе 3 появляется уровень лог. "1", а затем через 15 импульсов этот уровень появляется на выводе 2, свидетельствуя об окончании отсчета. Если на выводе 13 в этот момент состояние лог. "0", то выходной сигнал на выводе 2 будет представлять собой импульс, равный по длительности импульсу на выходе делителя 4.

Микросхема К512ПС8 характеризуется следующими электрическими параметрами:

- Напряжение питания, В 4,0–6,0
- Выходное напряжение лог. "1" при $I_{вых} = -100$ мкА, В не менее $0,9 U_{и.п}$
- Входное напряжение лог. "1", В от $(U_{и.п} - 0,3 U_{и.п})$ до $U_{и.п}$
- Выходное напряжение лог. "0" при $I_{вых} = 400$ мкА, В не более 0,4
- Входное напряжение лог. "0", В 0–0,3 $U_{и.п}$
- Потребляемый ток при работающем генераторе и $U_{и.п} = 6,0$ В, мкА не более 100
- Потребляемый ток, статический, мкА не более 20
- Номинальная рабочая частота, кГц не менее 40
- Предельные значения напряжения питания, В 3–9
- Предельная рабочая частота, кГц при $U_{и.п} < 4,5$ не менее 150
- при $U_{и.п} \geq 4,5$ В не менее 400

На рис. 7 показано подключение внешних пассивных элементов автогенератора к выводам корпуса микросхем К512ПС8 и К512ПС9.

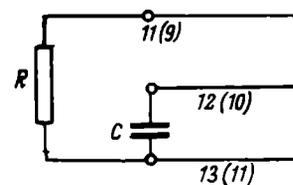


Рис. 7. Схема подключения внешних пассивных элементов автогенератора к выводам корпуса микросхем К512ПС8; в скобках — к выводам микросхемы К512ПС9

Микросхема К512ПС8 может быть использована в различных устройствах радиоэлектроники, вычислительной техники, системах точного времени, в аппаратуре специального назначения. На ее основе могут быть построены: временные устройства (таймеры) с программированием по принципу масштабирования, реализующие зависимость $T = Kt_{пр}$; временные устройства с узлом обратной связи, позволяющим производить контроль правильности проведенного программирования; временное устройство с коррекцией длительности запрограммированного временного интервала после начала его отсчета; делитель частоты с переменным коэффициентом деления $K_D = 2^9 \div 2^{12}$ или $(2^9 \div 2^{12}) \cdot 2^{12}$; делитель частоты с коэффициентом деления $(2^9 \div 2^{12}) \cdot 3840$ (для получения импульсов, период которых при использовании стандартного часового кварцевого резонатора с частотой 32768 Гц составит 1 мин); 12-разрядный реверсивный двоичный счетчик импульсов; устройство вычитания частотных сигналов.

Статья поступила 24 сентября 1981 г.

УДК 621.372.412—181.4

В.Б.Грузиненко, М.И.Ярославский

КВАРЦЕВЫЕ МИКРОРЕЗОНАТОРЫ

Для электронных часов, систем электронного зажигания двигателей внутреннего сгорания, видеоманитофонов и других применений разработан ряд микроминиатюрных кварцевых резонаторов на частоты колебаний от 30 кГц до 8,4 МГц, характеризующихся высокими значениями электрических параметров, которые во многих случаях не уступают параметрам резонаторов стандартных габаритов.

Одним из важнейших направлений развития и совершенствования кварцевых резонаторов является микроминиатюризация. Первыми вехами на этом пути стали разработки изгибных микрорезонаторов, работающих на частоте 32,768 кГц, среди которых наиболее известны резонаторы РК72. Основные достоинства этих резонаторов — относительно низкое динамическое сопротивление (типичные значения 3–6 кОм), малая динамическая индуктивность (примерно 2800 Гн) и широкий резонансный промежуток (0,16%). Они легко возбуждаются в большинстве типовых схем, хорошо перестраиваются (примерно на 10 Гц) и удобны для использования не только в генераторах, но и в фильтрах. В то же время эти резонаторы имеют большие размеры и меньшую точность настройки, чем микрорезонаторы РК296 (табл. 1), динамическая индуктивность которых составляет около 4500 Гн, а типичное значение динамического сопротивления 10 кОм.

Таблица 1
Основные технические характеристики изгибных микрорезонаторов

Параметр	РК72	РК296
Номинальная частота, кГц	32,768	32,768
Точность настройки	$\pm 25 \cdot 10^{-6}$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
Допустимое относительное изменение частоты колебаний в интервале температур от 1 до 50°C	$36 \cdot 10^{-6}$	$32 \cdot 10^{-6}$
Положение экстремума температурно-частотной характеристики, °C	25 ± 5	25 ± 3
Добротность, не менее	90000	50000
Динамическое сопротивление, кОм, не более	10	12
Удары, ускорение, g	1500	1500
Допустимое относительное изменение частоты колебаний за первый год	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$
Габариты, мм	$16,1 \times 5 \times 3,1$	$13,6 \times 3,6 \times 2,7$

На основе РК72 разработан ряд резонаторов на частоты колебаний от 30 до 32 кГц: например, резонатор РК101М на частоту 31,25 кГц для стабилизации частоты генераторов развертки видеоманитофонов, резонатор на частоту 30,72 кГц для микрокалькулятора с часами и др. Во всех этих резонаторах использованы пьезоэлементы в форме стержней X-среза, совершающие колебания изгиба в кристаллофизической плоскости кварца XY(XY').

В микрорезонаторах на частоты 250–550 кГц используются пьезоэлементы, совершающие колебания кручения — стержни среза ВП (VP). Микро-резонаторы РК230, предназначенные для работы в этом диапазоне частот (табл. 2), отличаются очень высокой механической прочностью и устойчивостью.

Таблица 2
Основные технические характеристики микрорезонаторов с крутильными и контурными колебаниями

Параметр	РК230		РК231
Номинальная частота, кГц	256; 262,144	400	1048,576
Точность настройки	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
Допустимое относительное изменение частоты колебаний в интервале температур от 1 до 50°C	$25 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$
Добротность, не менее	70000	60000	100000
Динамическое сопротивление, кОм, не более	2,5	2,0	0,4
Удары, ускорение, g	1500	1500	1500
Допустимое относительное изменение частоты колебаний за первый год	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$
Габариты, мм	$13,6 \times 3,6 \times 3,4$		$16,1 \times 5 \times 3,1$

Например, после воздействия вибраций с ускорением 10 g на частотах 10–600 Гц относительное отклонение частоты их колебаний не превышает $2 \cdot 10^{-6}$. Соотношение емкостей C_0/C_1 при статической емкости $C_0 \approx 1,6$ пФ близко к 750. Эти микрорезонаторы находят применение в различных устройствах отсчета времени, в аппаратуре

для беспроводной передачи звуковых сигналов на короткие расстояния (например, звукового сопровождения телепередач от приемника к наушникам), в системах автоматического управления двигателями внутреннего сгорания и т.п.

Для области частот вблизи 1 МГц разработан ряд микроминиатюрных резонаторов, среди которых кварцевый микрорезонатор РК231 на частоту 1048576 Гц (2^{20} Гц), конструктивно выполненный в таком же корпусе, какой используется для резонаторов РК72 (объемом 0,26 см³). В этом микрорезонаторе применен кварцевый элемент среза ДШ (DSh) с колебаниями сдвига по контуру [1]. Частота колебаний выбрана такой, чтобы после 21-го двоичного деления можно было получить колебания с периодом в 1 с, т.е. базу для отсчета времени в электронных часах. Однако при необходимости без особо сложной доработки резонатор РК231 может быть выполнен на любую частоту в диапазоне от 1048 до 1200 кГц [2].

Для повышения точности электронных часов почти одновременно с разработкой микрорезонаторов на частоту 32,768 кГц начали создаваться более стабильные, чем изгибные, микрорезонаторы с колебаниями сдвига по толщине. В основном эти микрорезонаторы (на частоты 4194,304 кГц = 2^{22} Гц, 8388,608 кГц = 2^{23} Гц и близкие к ним) предназначены для электронных часов и секундомеров, но могут быть использованы и в любых других радиотехнических и электронных приборах. Технические характеристики этих резонаторов, имеющих условное обозначение РК61, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные технические характеристики микрорезонаторов с толщинными колебаниями

Параметр	РК61 на частоту 4194,304	РК61 на частоту 8388,608
Точность настройки	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
Допустимое относительное изменение частоты колебаний в интервале температур от 1 до 50°C	$12 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$
Добротность, не менее	100000	50000
Динамическая индуктивность, Гн	0,67	0,08
Удары, ускорение, g	1500	1500
Допустимое относительное изменение частоты колебаний за первый год	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$
Габариты, мм	13,6 × 3,6 × 3,4	

Резонаторы РК61 выполнены в таком же корпусе, что и резонаторы РК230. В них применен кристаллический кварцевый элемент среза АТ, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, длина которого направлена вдоль оси Z' кристалла, что обеспечивает относительно высокое значение отношения емкостей — порядка 400. Отношение ширины кристаллического элемента к его толщине мало, поэтому температурно-частотная характери-

стика (ТЧХ) резонаторов в интервале от -10 до +60°C ни при каком угле среза не обращается в кубическую параболу, а остается близкой к квадратичной параболе с коэффициентом крутизны около $-1,2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$. Вершина этой параболы располагается в области температур от -20 до +40°C в зависимости от соотношения размеров и ориентации кристаллического элемента. В более широком интервале температур (например, от -60 до +125°C) ТЧХ резонатора РК61 имеет вид кубической параболы, правда, весьма асимметричной. Эти особенности ТЧХ обусловлены связью рабочих колебаний сдвига по толщине с побочными колебаниями изгиба на четных гармониках.

Микрорезонаторы на частоту 4194 кГц в интервале до 10000 кГц имеют сравнительно мало побочных колебаний, притом сильно ослабленных. Побочные колебания, ослабленные более чем на 40 дБ, можно обнаружить на частотах 2050, 6080 и 10175 кГц.

Микрорезонаторы на частоту 8388 кГц имеют более насыщенный спектр: на частотах 6525, 8440, 9082 и 9095 кГц можно наблюдать колебания, ослабленные всего лишь на 20–30 дБ.

При воздействии на микрорезонаторы, рассчитанные на частоту 4194 кГц, температуры 60°C в течение 500 ч частота колебаний изменялась от $0,4 \cdot 10^{-6}$ до $3,0 \cdot 10^{-6}$, а при воздействии в течение 1000 ч — от 0 до $4,7 \cdot 10^{-6}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 467449 (СССР). Пьезоэлектрический элемент/Ю.М. Друккер, В.С. Самойлов, В.Л. Шкуратник. Опубл. в Б.И., 1975, № 14, с.117.
 2. А.с. 762133 (СССР). Кварцевый резонатор/В.Н. Банков, Ю.М. Друккер, А.А. Молоканова, В.Л. Шкуратник, М.И. Ярославский. Опубл. в Б.И., 1980, № 33, с. 274.

Статья поступила 14 июля 1981 г.

УДК 621.382.062.8:621.397.6

В.И.Головин, Д.Д.Шенкер

К421КН1 — ВОСЬМИКАНАЛЬНАЯ ИС ВЫБОРА ПРОГРАММ

Использование в телевизионных приемниках восьмиканальной ИС обеспечивает возможность выбора до восьми программ. Схема отличается от своих аналогов повышенной помехоустойчивостью и значительно меньшей (в 20 раз) потребляемой мощностью.

Восьмиканальная гибридная ИС типа К421КН1 предназначена для устройств псевдосенсорного выбора телевизионных программ. Она позволяет реализовать ручное и дистанционное управление выбором программ (до восьми) по принципу последовательного доступа к избираемой программе, обеспечивает автоматическое включение первой программы при подаче напряжения питания, генерирует сигнал блокирования автоматической под-

волн в качестве активных элементов усилителей, генераторов, ограничителей, умножителей и смесителей электромагнитных колебаний. Использование таких приборов в миллиметровом диапазоне связано со значительными трудностями согласования их с волноводным трактом вследствие малых размеров активных и пассивных элементов.

Для этой области длин волн наиболее перспективна конструкция прибора, представляющего собой два диода Ганна, последовательно соединенных общим анодным контактом (рис.1). Формирование структуры такого диода производится по планарной технологии, что сокращает число технологических операций и позволяет вести монтаж на одной стороне пластины. Данная конструкция исключает жесткую зависимость между рабочей частотой диода и расстоянием анод-катод. Как и в сэндвичевой конструкции, рабочая частота определяется здесь толщиной эпитаксиального слоя.

Трехслойные структуры арсенида галлия типа $n^+ - n - n$ для матриц диода Ганна выращивают методом газофазной эпитаксии в системе $Ga-AsCl_3-H_2$. В качестве легирующего элемента используется сера. Процессу эпитаксии предшествует предэпитаксиальное газовое травление, стабилизирующее состав газовой фазы, генерируемой источником галлия [3]. Газодинамические условия роста обеспечивают минимальную длительность переходных процессов в газовой фазе при смене режима легирования [4].

Выращенные структуры имеют следующие слои: первый слой – подложка толщиной 300 мкм с концентрацией носителей $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; второй – буферный, толщиной 3–5 мкм, с концентрацией носителей, аналогичной концентрации носителей в подложке; третий – рабочий, толщиной 1,5–2 мкм, с концентрацией носителей $8 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Буферный слой служит для образования границы раздела $n^+ - n$ с минимальной шириной концентрационного перехода. На рабочий слой лазерным напылением в вакууме наносятся трехслойные омические контакты (Au-Ge)–Au–Pt (соответственно 0,12; 0,13 и 0,1 мкм), которые затем вплавляются в атмосфере гелия при температуре 430°C. Такие контакты характеризуются высокой плотностью, однородностью, хорошей адгезией к подложке и имеют контактное удельное сопротивление менее 10^{-5} Ом/см^2 .

Формирование необходимого рисунка структуры диода осуществляется на лазерной установке с проекционной оптической системой [5] с помощью масок единичных элементов диодной матрицы с уменьшением 30:1. Маски вырезаются из тонкой алюминиевой фольги, наклеенной на лавсановую пленку с липким слоем. Такой способ формирования рисунка структуры диода проще и дешевле традиционных трудоемких фотолитографических

и электроэрозионных способов. Удаление пленки металлизированного покрытия с незащищенных маской участков поверхности проводится с помощью паров арсенида галлия и носит взрывной характер, так как температура диссоциации арсенида галлия (800°C) существенно меньше температуры испарения металлического контакта (4000°C). Удаление арсенида галлия с участков, не защищенных металлизацией, проводят химическим травлением в $NaOH:H_2O_2:H_2O$, в результате чего образуются меза-структуры высотой 10 мкм.

Лазерная обработка структур в сочетании с их прецизионным химическим травлением позволяет получать элементы рисунка с неровностью края менее 1 мкм.

На контактные площадки сформированных меза-структур проводилось локальное электрохимическое осаждение слоев меди и сплава Sn–Bi.

При правильном подборе состава электролита и режима электрохимического осаждения можно получать металлические покрытия только на контактных площадках диодов (при этом поверхность арсенида галлия не металлизирована). Электролит меднения, состоящий из серной кислоты (70 г), сернокислой меди (250 г), дистиллированной воды (670 г) и этилового спирта (10 г) обеспечивает осаждение мелкокристаллического плотного слоя меди. При плотности тока через электролит 0,9 мА/мм формируется покрытие толщиной 4 мкм.

Слои сплава олово–висмут, наносимые для облегчения пайки выводов, менее пористы, чем слои олова. Кроме того, они не пассивируются, поэтому в течение длительного времени сохраняют пригодность к пайке. Изменяя относительную концентрацию солей олова и висмута в электролите, а также ре-

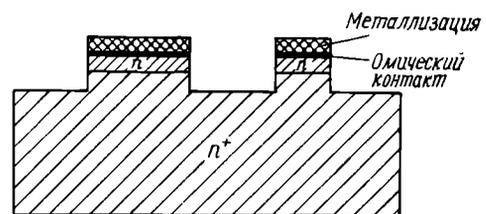


Рис. 1. Конструкция диода Ганна

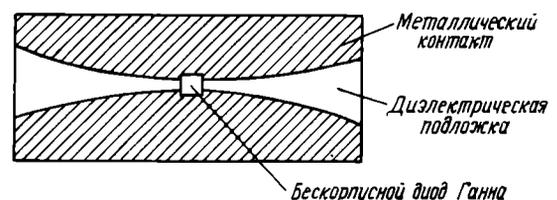


Рис. 2. "Гребневая" линия передачи

жим электролиза, можно получать покрытия различного состава. Использование электролита, содержащего сернистое олово (50 г), азотнокислый висмут (0,5–1 г) и серную кислоту (130 г), обеспечивает при плотности тока 0,3 мА/мм² получение сплошных и прочных покрытий.

Матрицу диодов после формирования контактных площадок скрабируют на отдельные диоды, к которым методом лазерной точечной пайки присоединяют теплоотводы в виде балочных выводов.

Изготовленные диоды монтируют в волноводную "гребневую" линию (рис. 2), которая легко

согласуется с полыми металлическими волноводами [6, 7]. Гребни линии, изготавливаемой на основе кварцевых и поликорковых подложек толщиной 0,5 мм, формируют по стандартной технологии тонкопленочных СВЧ схем. Гребни представляют собой чередующиеся слои Cr—Cu (напыленные термическим способом) и Cu—Au (осажденные гальванически). Толщина гребня 6 мкм, зазор между ними — 0,2 мм.

Для согласования с волноводом расстояние между гребнями линии монотонно увеличивают по косинусоидальному закону до значения, равного высоте волновода.

Испытания на высокочастотном сигнале подтвердили возможность успешной работы диодов Ганна, созданных по новой технологии, в режиме усиления.

Дальнейшее совершенствование рассмотренной технологии позволит разработать диоды Ганна, пригодные для использования в качестве активных элементов генераторов, усилителей, умножителей и ограничителей в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн.

ЛИТЕРАТУРА

- Ulrich D. Fabrication and properties of planar X-band Gunn-effect devices. — AEU, 1972, vol. 26, N 10, p. 455–456.
- Ataman A. An upsidedown mesa technique for fabrication of X-band Gunn-diodes. — AEU, 1972, vol. 26, N 12, p. 558–559.
- Изучение динамики работы источника галлия при эпитаксиальном осаждении слоев арсенида галлия хлоридным методом А.В. Родионов, Ю.Н. Свешников, И.В. Петренко. — Сборник научных трудов по проблемам микроэлектроники, 1976, вып. 28, с. 28–39 (МИЭТ).
- Переходные процессы при легировании эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений / А.Ю.Малинин, В.А. Федорон, А.В.Родионов. — Микроэлектроника, 1979, т. 8, № 2, с. 141–145.
- Установка для проекционной обработки материалов излучением ОКГ / В.З.Высоцкий, С.В.Гапонов, Ф.В.Гарин, В.В.Либиков — Ливанов, Л.В.Парамонов, Л.И.Поптус, В.А.Савин. — Электронная промышленность, 1974, вып. 11, с. 71–72.
- Pat. 3.825.863 (США).
- Meier P.L. Equivalent relative permittivity and unloaded Q-factor of integrated finline. — Electronics Let., 1973, vol. 9, N 7, p. 162.

Статья поступила 27 июля 1981 г.

УДК 621.385.831

В.А.Бурлаков, Н.А.Иофис,
Б.В.Кацнельсон, В.И.Петрунин

КЕРАМИЧЕСКИЕ КАНАЛЬНЫЕ УМНОЖИТЕЛИ

Разработанные одноканальные и многоканальные керамические электронные умножители характеризуются повышенной электрической, термической и механической стойкостью и устойчивостью к радиационным воздействиям.

Керамические материалы, обладающие объемной проводимостью, оказались пригодными для использования в качестве непрерывных эмиттеров канальных и микроканальных умножителей.

Канальные электронные умножители (КЭУ) представляют собой вторично-электронную умножительную систему с распределенным эмиттером и непрерывно нарастающим вдоль канала потенциалом.

Эти устройства имеют высокий коэффициент усиления и могут эффективно работать в приборах регистрации слабых сигналов электромагнитного излучения оптического и рентгеновского диапазонов в аналоговом или счетном режиме.

Широкое распространение получили одно- и многоканальные умножители из высокосвинцового стекла, прошедшего специальную технологическую обработку [1, 2]. Но более перспективны керамические КЭУ, не требующие активировки поверхности, отличающиеся высокой электрической, термической и механической прочностью, радиационной стойкостью и надежностью при длительной работе. Способность керамических КЭУ сохранять стабильное усиление объясняется определенным взаимодействием эмиттирующей поверхности канала с более глубокими слоями керамики, которая по своим свойствам изотропна. Керамика легко и надежно металлизировается на любом участке, что упрощает электрическое

соединение КЭУ с сопрягаемыми элементами ЭВП.

Материалы для КЭУ оцениваются по коэффициенту вторичной эмиссии σ , удельному объемному сопротивлению ρ и температурному коэффициенту сопротивления α . Для эффективной работы керамических КЭУ целесообразно иметь $\sigma = 2-3$ и выше, а значение динамического сопротивления $R_{\text{дин}} = 10^7-10^{10}$ Ом при слабо положительном или нулевом ТКС (высокосвинцовое стекло обладает отрицательным ТКС, что приводит к саморазогреву и разрушению стеклянных КЭУ). Этим условиям отвечают полупроводниковые керамические материалы на основе $(\text{AlTi})_2\text{O}_3$ и титаната цинка.

Получение широкого диапазона параметров КЭУ возможно путем изменения содержания легирующих присадок и добавок, а также режима обработки. Из разработанных и изготовленных к настоящему времени нескольких вариантов керамических КЭУ различной конфигурации особый интерес представляют микроканальные пластины (МКП). Коэффициент усиления отдельных их образцов превы-

шает 10^4 при калибре от 40 до 100 (калибр — отношение длины канала к его диаметру).

Керамические КЭУ изготавливаются методом протяжки, намотки или горячего литья. Некоторые параметры КЭУ и МКП представлены в таблице.

Тип КЭУ	Параметр КЭУ		Режим измерения
	коэффициент усиления	выходной ток, А	
Одноканальные с криволинейным каналом калибр 45-100 $\sigma = 2 \div 3$ $\alpha = 0 \div 0,5\%$ на 1°C $R_{\text{дн}} = 10^7 \div 10^8$ Ом термостойкость при обработке до 300°C	более 10^4	не более 10^{-7}	$I_{\text{вх}} = 10^9 \div 10^{12}$ А при $U = 4$ кВ
Одноканальные в виде раструба с прямым каналом калибр 20 $\sigma = 2 \div 3$ $\alpha = 0 \div 0,5$ на 1°C $R_{\text{дн}} = 10^7 \div 10^8$ Ом термостойкость при обработке до 300°C	$5 \cdot 10^2$	10^{-4}	$I_{\text{вх}} = 10^9 \div 10^{12}$ А при $U = 3$ кВ
Микроканальные калибр 40-100 число каналов — 14,5 тыс. на 1 см^2 $\sigma = 1,8 \div 3,5$ $\alpha = 0 \div 0,5$ на 1°C $R_{\text{дн}} = 10^{10}$ Ом термостойкость при обработке до 400°C	$5 \cdot 10^4$	не более 10^{-7}	$I_{\text{вх}} = 10^9 \div 10^{12}$ А при $U = 4$ кВ

Динамический диапазон созданных керамических КЭУ можно оценить по характеристикам, изображенным на рис. 1, 2. С увеличением разности потенциалов на КЭУ и МКП протяженность линейного участка кривых (см. рис. 2) уменьшается: при $U_k = 3000$ В — до $I_{\text{вх}} = 10^{11}$ А, при $U_k = 4000$ В — до $3 \cdot 10^{12}$ А. Следовательно, для увеличения линейного участка характеристики при увеличении напряжения необходимо соответственно ограничивать уровень входного сигнала.

Коэффициент усиления керамических КЭУ и МКП при длительных испытаниях (в пределах от 0 до 1000 ч) в аналоговом режиме достаточно стабилен.

Вследствие большой токоустойчивости умножители на разработанных эмиттерах обеспечивают более высокие по сравнению с КЭУ из высокосвинцового стекла выходные токи.

Измерение коэффициента вторичной эмиссии керамических КЭУ, требующее полного устранения подзарядки поверхности эмиттера и разложения вещества мишени под действием электронной бомбардировки [3, 4], проводится наиболее точным методом — с помощью периодических импульсов [5]. Измерение электронных параметров КЭУ ведется вакуумным прибором (рис. 3), в котором используется электронный прожектор с электростатическим отклонением луча. В качестве источника электронов используется вольфрамовый катод, который монтируется на керамическом диске, а затем с помощью центрирующего приспособления закрепляется в модуляторе ЭОС. Для визуального наблюдения луча служит слой люминофора, нанесенный на внутреннюю сторону экранирующего цилиндра. Сфокусированный пучок электронов вначале направляется в цилиндр Фарадея (для измерения входного тока), а затем на измеряемый КЭУ. Соответствующие отверстия в экране одинаковы и симмет-

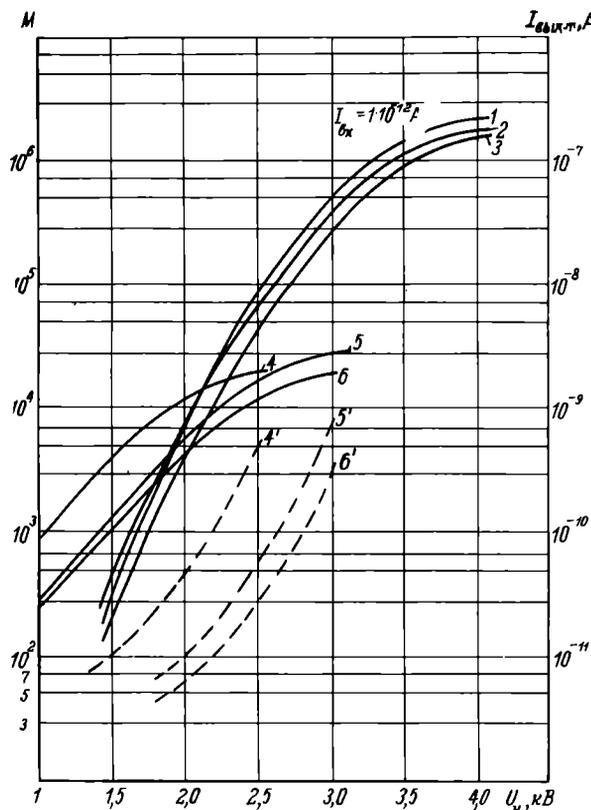


Рис. 1. Зависимость коэффициента усиления (сплошные кривые) и выходного темнового тока (пунктирные кривые) от напряжения на канале для КЭУ (1, 2, 3) и МКП (4, 5, 6)

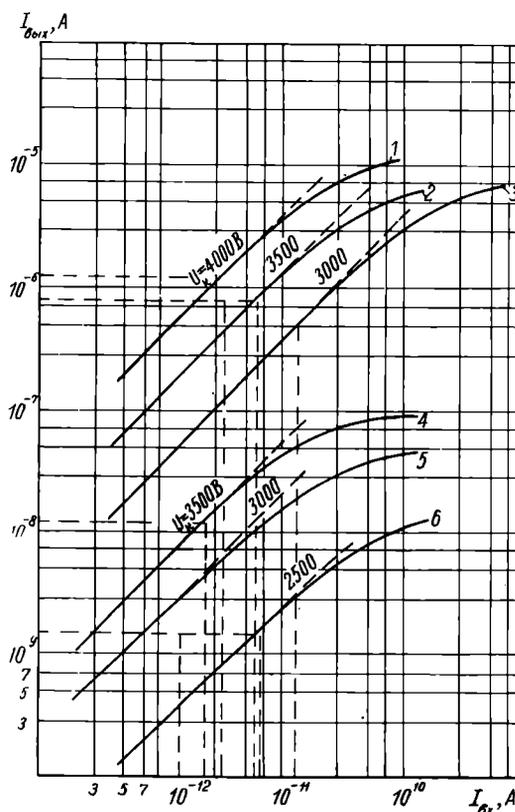


Рис. 2. Характеристики линейности КЭУ (1, 2, 3) и МКП (4, 5, 6)

ричны, что обеспечивает высокую точность измерений входного сигнала.

Для получения максимального усиления напряжение между лицевой и задней стенками керамического КЭУ регулируется в пределах от 500 до 4000 В.

Напряжение на коллекторе больше напряжения на задней стенке на 100 В. Усиленный сигнал измеряется электрометрическим услителем У5-7.

Значение коэффициента вторичной эмиссии определяется по формулам:

$$\sigma = \frac{I_M}{I_1} + 1 \quad \text{при } \sigma \geq 1,$$

$$\sigma = 1 - \frac{I_M}{I_1} \quad \text{при } \sigma \leq 1,$$

где I_M — ток мишени, равный $I_2 - I_1$; I_1 — первичный ток; I_2 — вторичный ток.

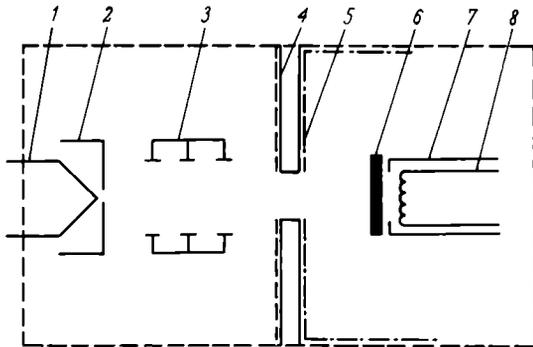


Рис. 3. Схема прибора для измерения коэффициента вторичной эмиссии: 1 — вольфрамовый катод; 2 — модулятор; 3 — электронный прожектор; 4 — слой люминофора; 5 — слой аквадага, служащий коллектором; 6 — мишень; 7 — танталовый тепловой экран; 8 — подогреватель мишени

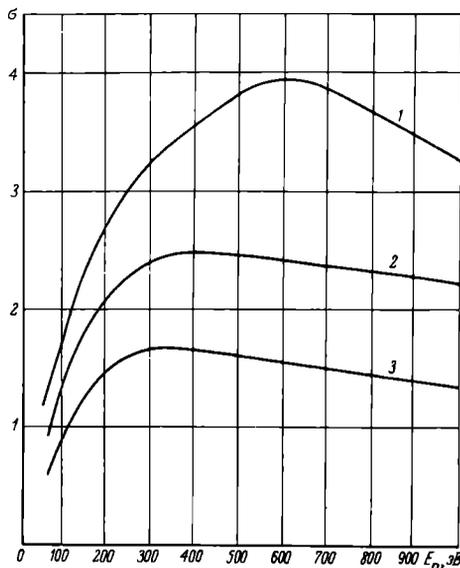


Рис. 4. Зависимость коэффициента вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов (E_p — энергия первичных электронов): 1 — эмиттер на основе $(AlTi)_2O_3$, подвергнутый травлению; 2 — эмиттер на основе титаната цинка; 3 — эмиттер $(AlTi)_2O_3$, полученный непосредственно из технологической заготовки

Коэффициент вторичной эмиссии σ керамических КЭУ зависит от энергии первичных электронов (рис. 4). Для получения достаточного усиления желательно иметь $\sigma = 1,1$ в интервале значительной энергии первичных электронов 50–100 эВ. Можно предположить, что именно такую энергию успевает приобрести электрон от соударения до соударения в канале. Это соответствует данным, полученным, в частности, для керамических материалов на основе $(AlTi)_2O_3$, а также титаната цинка.

Таким образом, одноканальные и многоканальные керамические электронные умножители обладают повышенной стабильностью и позволяют получить более высокие выходные токи, чем умножители на стеклянных КЭУ.

Коэффициент вторичной электронной эмиссии КЭУ составляет 2–3 при $E_p = 500$ –600 эВ. Коэффициент усиления одноканальных КЭУ может превышать 10^6 (при разности потенциалов 4 кВ), а на многоканальных равен $5 \cdot 10^4$ (при 3,5 кВ). Температурный коэффициент сопротивления слабо положителен или равен нулю.

Керамические умножители могут быть успешно использованы в фотоумножителях, электронно-оптических преобразователях, детекторах рентгеновских и других радиоактивных излучений, в бескорпусных электронных усилителях для исследований космоса и в других устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Керамические каналные электронные умножители /В.А.Бурлаков, Н.А.Иофис, Н.И.Нияковская, Е.Г.Смажеская. — Электронная промышленность, 1974, вып. 3, с. 40–42.
2. Смажеская Е.Г., Корсакова Е.Н., Ткаченко В.Ф. Сегнетоэлектрические материалы для керамических каналных электронных умножителей. — Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты, 1975, вып. 3, с. 71–75.
3. Добрецов А.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. — М.: Наука, 1966, — 564 с.
4. Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная эмиссия. — М.: Наука, 1969, с. — 408 с.
5. Малыгин Ю.Г. Экспериментальное исследование вторичной электронной эмиссии вакуумноплотных керамических материалов и разработка методов ее подавления. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Москва, МЭИ, 1974. — 207 с.

Статья поступила 29 декабря 1981 г.

УДК 621.374.1

Ю.И.Ларичев

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА

Устройство позволяет получать с высокой точностью временные интервалы в двух поддиапазонах: 1 мкс — 1 мс и 1 мс — 1 с с разбивкой внутри каждого на 1000 делений.

При проведении многих экспериментальных работ возникает необходимость в получении точных временных задержек или квантованных интервалов времени в различных диапазонах отсчета. Обычно

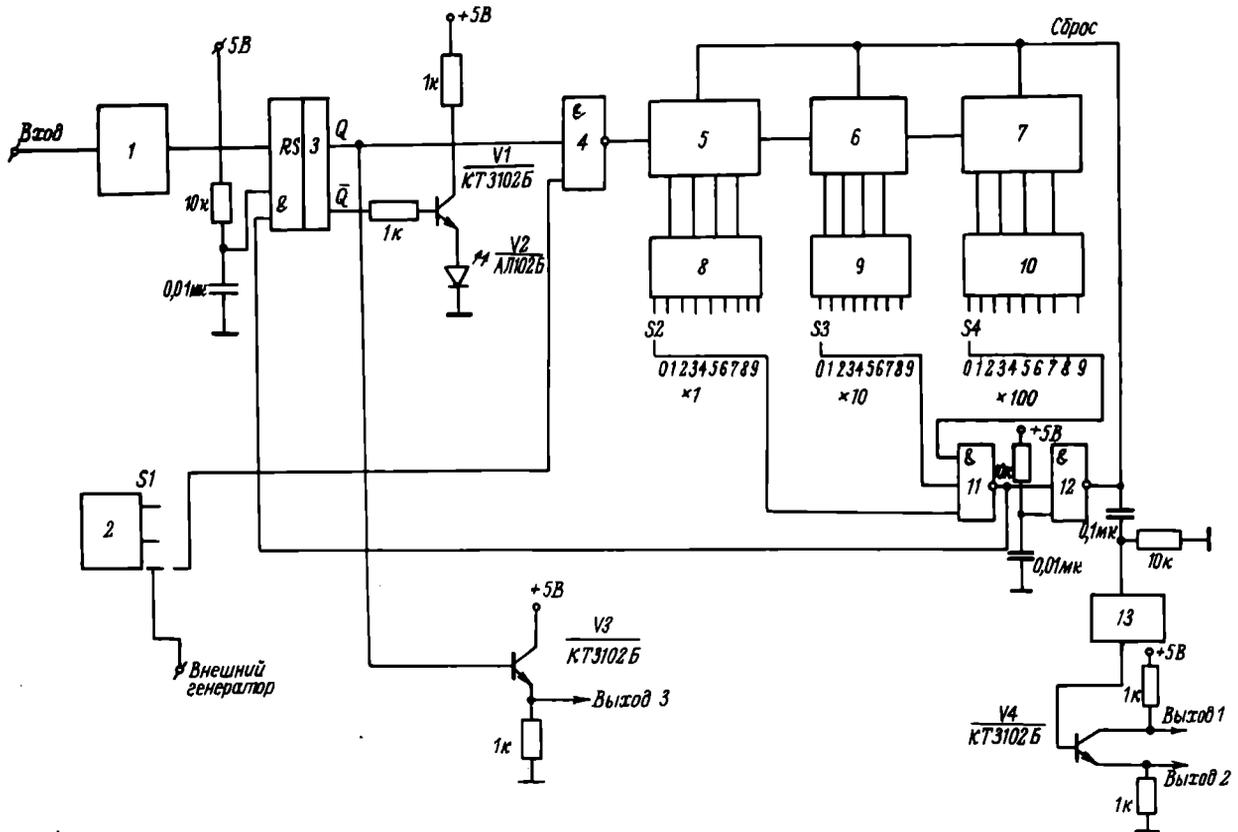


Схема формирователя временного интервала

устройства для реализации этих задач имеют узкий диапазон, сложную схему или малую точность. Устройство, схема которого изображена на рисунке, позволяет получать точные времена задержки в любом диапазоне отсчета, определяемые только быстродействием применяемых элементов и точностью генератора.

Формирователь временного интервала содержит входной усилитель-ограничитель 1, кварцевый генератор 2, RS-триггер 3, схему контроля работоспособности V1, V2, схемы пересчета 5, 6, 7 с дешифраторами 8, 9, 10 кода 1-2-4-8 в десятичное число, схемы совпадения 4, 11, 12, одновибратор 13, выходные элементы V3, V4, переключатели поддиапазонов S1 и переключатели декад S2, S3, S4. Схема может работать от внешнего генератора импульсов, который подключается к соответствующей клемме.

В формирователе используются микросхемы 155 серии, в том числе логические схемы совпадения К155ЛА3, К155ЛА4 и двоично-десятичные счетчики К155ИЕ2. Устройство работает следующим образом. Усилитель-ограничитель (согласующий элемент) при отсутствии сигнала на входе обеспечивает на выходе уровень лог. "1". При включении питания RS-триггер переводится в состояние лог. "0". Счетчики сбрасываются в "0" импульсом, поступающим со схемы 12. После этого схема может работать автоматически. О готовности к работе сигнализирует светодиод V2. Пе-

реключателями S1, S2, S3 и S4 устанавливается необходимая длительность временного интервала или время задержки входного импульса.

В момент поступления сигнала RS-триггер переводится в состояние лог. "1" и на вход схемы пересчета поступают импульсы с тактового генератора через схему 4. При совпадении кода на выходах дешифраторов с кодом, установленном на шкале (S2, S3, S4), на выходе схемы совпадения 11 появляется лог. "0" и происходит переброс RS-триггера в состояние лог. "0", т.е. вход схемы пересчета блокируется для импульсов с генератора схемой 4. При этом одновибратор запускается и на выходах 1 и 3 появляется импульс, задержанный относительно входного сигнала на точно заданное время. С выхода 3 снимается импульсный сигнал, длительность которого равна установленному интервалу отсчета.

Генератор имеет две рабочих частоты — 1 МГц и 1 кГц, что позволяет получать два поддиапазона временных интервалов: — 1 мкс — 1 мс и 1 мс — 1 с с разбивкой внутри каждого по 1000 делений, т.е. микросекундный и миллисекундный диапазоны задержек.

Рассмотренное устройство может найти широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре.

Статья поступила 5 января 1981 г.

ФОТО

Ф-32 И Ф-33

Импульсные вакуумные фотоэлементы Ф-32 и Ф-33 благодаря высокому значению предела линейности световой характеристики — 0,5 А для Ф-32 и 2 А для Ф-33 при напряжении питания 2000 В в импульсном режиме — регистрируют световые сигналы в широком динамическом диапазоне мощностей излучения. Время нарастания переходной характеристики фотоэлементов не превышает $1,5 \cdot 10^{-10}$ с, что достигается бипланарной конструкцией прибора с анодным узлом, выполненным в виде прилегающей к входному окну мелкоконструктурной сетки.

Фотоэлементы имеют унифицированную конструкцию. Фотокатод у Ф-32 — массивный серебряно-кислородно-цезиевый, у Ф-33 — сурьмяно-калиево-цезиевый. Ультрафиолетовое входное окно обеспечивает спектральный диапазон чувствительности приборов 215—1100 нм для Ф-32 и 215—650 нм для Ф-33.

В статическом режиме при напряжении питания 100 В фотоэлементы Ф-32 и Ф-33 имеют чувствительность 15 и 40 мкА/лм и темновые токи 10^{-9} и 10^{-10} А, соответственно. Напряжение пи-

тания в импульсном режиме составляет 2000 В, темновые токи при этом напряжении не превышают значений $5 \cdot 10^{-8}$ и $5 \cdot 10^{-9}$ А соответственно для Ф-32 и Ф-33. При работе в импульсном режиме нестабильность пиковых значений выходных импульсов фототока за 8 ч не превышает 5%.

При работе фотоэлементов в наносекундном и субнаносекундном диапазонах длительностей импульсов излучения используются специальные коаксиальные согласующие держатели, имеющие на выходе стандартный высокоустойчивый разъем типа РС50-163Ф. В коаксиальный держатель размерами $\varnothing 60 \times 70$ мм встроен безындукционный блокировочный конденсатор и шайбовое сопротивление нагрузки в 50 Ом. Приборы Ф-32 и Ф-33 имеют следующие габариты: диаметр баллона 30 мм, длина 20 мм, диаметр фотокатода 10 мм, межэлектродное расстояние 1,5 мм. Емкость анод-катод не превышает $1 \cdot 10^{-12}$ Ф.

Приборы характеризуются высокой механической и температурной устойчивостью.



ЭЛЕМЕНТЫ

Ф-34

Предназначен для регистрации малых потоков излучения в вакуумной и средней ультрафиолетовой области спектра. По совокупности основных параметров находится на уровне лучших зарубежных образцов, но имеет меньшие размеры.

Прибор солнечно-слепой, чувствителен в диапазоне 115—330 нм, что обусловлено применением массивного теллуристо-рубидиевого фотокатода в сочетании с входным окном из фтористого магния.

Область максимальной спектральной чувствительности составляет 180—200 нм. Квантовая эффективность на длине волны 190 нм более 20%, на 120 нм — более 7%. Спектральная чувстви-

тельность на длине волны 330 нм по отношению к максимальной спектральной чувствительности менее 0,1%. Напряжение насыщения не превышает 10—12 В; темновой ток при напряжении 100 В — не более $2 \cdot 10^{-12}$ А.

Фотоэлемент характеризуется высокой механической прочностью; виброустойчив и вибропрочен в диапазоне частот 1—3000 Гц при ускорении $20g$, ударопрочен при ускорении $150g$, выдерживает линейные нагрузки с ускорением $500g$. Устойчив в диапазоне температур от -60 до 70°C .

Габариты прибора: диаметр 30 мм, длина 40 мм, диаметр фотокатода не менее 15 мм. Вход торцевой оптический.



ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 621.38.049.77

Ю.С.Тиходеев, Я.А.Федотов

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА — ЭЛЕКТРОНИКА ДИНАМИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Динамические неоднородности, создаваемые в континуальных средах, могут стать основой для разработки ряда устройств, свободных от недостатков, присущих приборам, действие которых основано на статических неоднородностях, создаваемых технологическим путем. Устройства на динамических неоднородностях предполагают исключение сложной схематехники и межсоединений, совмещение фотолитографических процессов, поскольку динамические неоднородности берут на себя роль схематехнических элементов.

Общей тенденцией развития интегральной электроники является увеличение степени интеграции, что ведет, в частности, к уменьшению размеров активных областей приборов. Поскольку уже сейчас эти размеры в современных интегральных схемах достигают 0,1 мкм, вопросы об оценке предельных возможностей приборов и математического моделирования их работы приобретают все большую актуальность. Что раньше остановит нас на пути увеличения степени интеграции: собственно ли ограничения в физике работы прибора, трудности технологического порядка или повышение роли дефектов, снижение надежности и процента выхода годных, т.е. экономические соображения? Эта проблема уже в течение ряда лет привлекает внимание специалистов [1, 2].

На наш взгляд, задача дальнейшего увеличения степени интеграции не может быть решена путем повышения плотности статических неоднородностей. Причина этого, прежде всего, в физических ограничениях современных технологических методов получения элементов субмикронных размеров: фото-, электро- и рентгенолитография имеют разрешающую способность, не превышающую 0,1 мкм [3]. С уменьшением размеров элементов усложняется решение задачи их топологического размещения и отвода тепла, возрастают требования к совмещениям, возникают трудности при создании межсоединений в схемах, повышается деградация активных областей вследствие диффузии атомов легирующей примеси в сильных полях, сильнее проявляется воздействие на элементы различных видов облучения и даже частиц пыли. Кроме того;

уравнения, описывающие работу прибора, теряют свою убедительность при уменьшении его геометрических размеров. Поэтому утрачивается возможность моделирования, прогнозирования и описания работы таких устройств.

Глубокая интеграция микроэлектронных устройств может быть достигнута на волнах не электромагнитной природы [4, 5], которые в однородных средах создают динамические неоднородности. Именно физическая интеграция таких неоднородностей может служить основой работы устройств функциональной электроники — устройств динамических неоднородностей (УДН).

Рассмотрим более подробно ограничения, возникающие как следствие уменьшения геометрических размеров приборов, например полевых и биполярных транзисторов — основных элементов современных ИС.

Известно, что работа этих приборов описывается обычно совокупностью электрических параметров — математической моделью, представляющей собой систему уравнений поля и переноса с корректно поставленными граничными условиями (уравнениями поля служат уравнения Максвелла, а в уравнениях переноса используются феноменологические величины — подвижность и коэффициент диффузии). Однако при характерных для современных приборов размерах активных областей — порядка 0,1 мкм — эти уравнения становятся несостоятельными [6, 7]. Казалось бы, в данном случае можно построить новые модели, основанные на квантовой механике и кинетическом уравнении Больцмана. Но при этом возникают принципиальные трудности описания этих приборов [7], связанные с другим характером протекания явлений и другим видом вольт-амперных характеристик.

Как выяснилось из изучения пробоя $p-n$ переходов, созданных диффузией, [8] ширина перехода порядка 0,1 мкм является в некотором роде критическим размером: при комнатной температуре переход обнаруживает туннельный механизм пробоя, а при температуре жидкого азота — лавинный (рис. 1). Подобное явление объясняется тем, что при охлаждении увеличивается ширина запрещенной зоны и уменьшается вероятность туннелирования. Уменьшается и решеточное рассеяние, и электрон уже на меньших длинах может набрать нужную для ионизации энергию.

При дальнейшем уменьшении размеров активных областей начинает проявляться размерное квантование, которое не может быть объяснено с точки зрения обычного классического подхода, но может быть использовано для создания приборов с новыми характеристиками. Рассмотрим эти положения более подробно.

Известно [9–11], что если размеры образца становятся сравнимыми с длиной волны Де-Бройля для электронов хотя бы в одном направлении, то происходит квантование сопряженного с этой координатой квазиимпульса и энергии (рис. 2). Следовательно, вместо зоны энергий в потенциальной яме (отображающей тонкую пленку) будут дискретные уровни. При ширине ямы 0,01 мкм, а для материалов с малой эффективной массой ($m^* \sim 0,01 m_0$), например для GaAs и Bi, даже при 0,1 мкм разность дискретных уровней составит 0,1 эВ (энергия в потенциальной яме $E = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2 m^* a^2}$, где a – ширина ямы). Поэтому в такой тонкой пленке некоторые механизмы рассеяния будут подавлены, ибо для выполнения законов сохранения энергии и квазиимпульса при рассеянии электроны не обладают нужными разрешенными состояниями (рис. 3). В этой связи при описании процессов переноса в сверхтонких областях нельзя пользоваться привычным соотношением $\hbar \vec{k} = c \vec{E}$ в уравнении Больцмана, а необходимо учитывать размерное квантование и – из-за соизмеримости длины волны Де-Бройля с размерами областей – такие существенно квантовые явления, как, например, туннелирование. В самом деле, если в устройстве некоторые области (например, 2 и 4 на рис. 4) обнаруживают размерное квантование, то оно может работать как усилитель мощности (его вольт-амперная характеристика приведена на рис. 5): диэлектрические барьеры во входной и выходной цепях имеют малую

туннельную прозрачность, но при этом все устройство в целом имеет резонансную прозрачность, равную 1. Это обуславливается тем, что электрон, проникший из области 1 в область 3, может существовать в ней на метастабильном уровне. Поскольку фазовые соотношения волны Де-Бройля таковы, что, туннелируя назад в область 1, этот электрон интерферирует с падающим, а при проникновении в область 5 такой интерференции не происходит и возникает эффект полного прохождения (резонансной прозрачности), то путем деформации потенциального барьера с помощью напряжений во

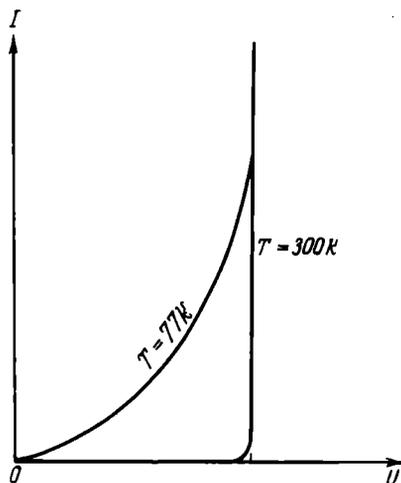


Рис. 1. Характеристики туннельного и лавинного пробоя, наблюдающиеся на одном и том же p-n переходе

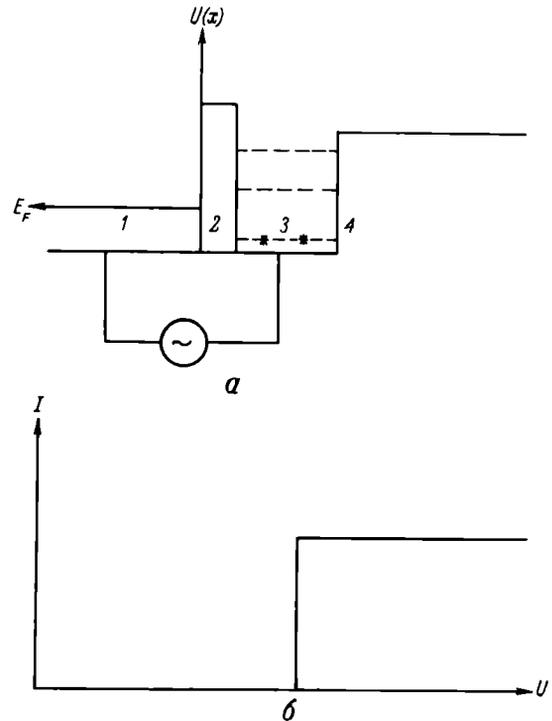


Рис. 2. Квантование энергетических уровней в узкой потенциальной яме и иллюстрация работы 4-слойной структуры в качестве выпрямителя (а); вольт-амперная характеристика этого выпрямителя (б)

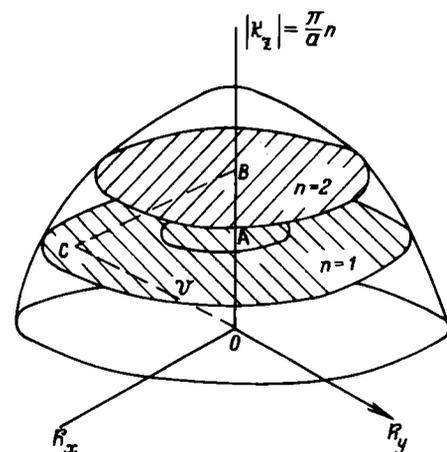


Рис. 3. Система дискретных слоев ($n = 1, 2, \dots$) в пространстве квазиимпульсов электронных состояний в очень узкой пленке

входной и выходной цепях можно вводить или выводить такое устройство из состояния резонанса и менять фазовые соотношения.

Устройство, изображенное на рис. 2, может работать как идеальный выпрямитель: если уровень Ферми при $T = 0$ в области 1 ниже первого незанятого уровня в области 3, тока в системе не будет, однако он резко возрастет, если приложен

ным напряжением уровень Ферми будет поднят до первого незанятого уровня [11].

Идя по пути создания приборов на основе размерного квантования, можно, видимо, еще увеличить степень интеграции. Необходимо только учитывать при этом, что характеристики и схемотехника таких микросхем будут совсем иными, и математическое моделирование сможет осуществляться на основе совершенно иной системы уравнения, чем при обычном классическом подходе.

Вместе с тем, можно предполагать, что ограничения, возникающие в случае физической интеграции динамических неоднородностей, будут проявляться при тех же критических размерах элементов, что и в случае структур со статическими неоднородностями, создаваемыми с помощью технологических приемов. Однако необходимые для работы УДН динамические неоднородности могут быть созданы в континуальной среде. В этом случае степень идеальности границ зависит лишь от однородности среды и достигается проще, чем в случае многочисленных технологических границ. Возможно, что квантово-кинетический подход окажется проще и для описания взаимодействия отдельных процессов, участвующих в физической интеграции, и тем самым будет решена задача математического моделирования УДН.

Можно назвать немало устройств функциональной электроники, под которой, по нашему мнению, нужно понимать физическую интеграцию динамических неоднородностей, создаваемых в континуальной среде или в комбинированных континуальных средах. Прежде всего, это динамическая сверхрешетка, формируемая стоячей упругой волной, энергетические уровни которой могут служить для создания фотоприемника, а само вещество со сверхрешеткой — средой с отрицательной дифференциальной проводимостью. К числу устройств функциональной электроники относятся и устройства, основанные на нелинейном взаимодействии поверхностных акустических волн, устройства памяти, в которых взаимодействие поверхностной упругой волны в пьезодиэлектрике с электронным пучком может быть использовано для записи и последующего считывания информации, содержащейся в упругой волне [12, 13], а также устройства памяти, в которые информация вводится с помощью поверхностных акустических волн, а запоминание производится, например, заселением ловушек.

Все эти устройства предполагают исключение сложной схемотехники и межсоединений, а также совмещение фотолитографических процессов: роль схемотехнических элементов в значительной мере берут на себя динамические неоднородности.

Необходимо вместе с тем выяснить, насколько

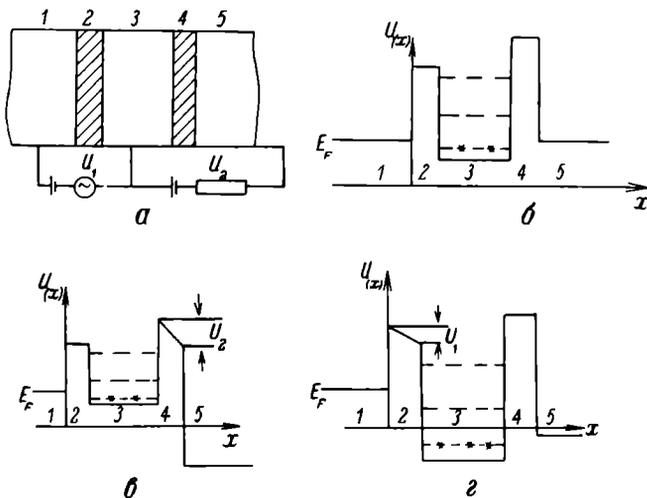


Рис. 4. Резонансный усилитель мощности: структура (а); потенциальный рельеф без смещения (б); со смещением в выходной (в) и входной (г) цепях

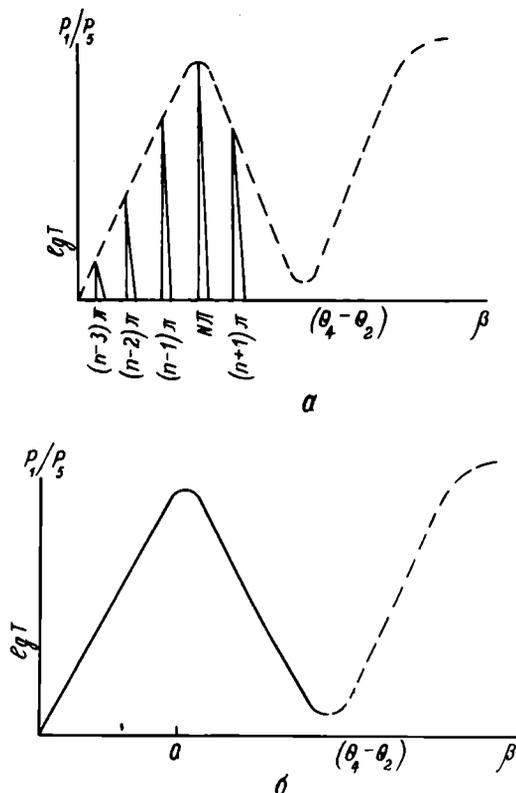


Рис. 5. Коэффициент передачи при тонкой базе для модели, где реализуется размерный резонанс $\beta = n\pi$ (а), и коэффициент передачи при толстой базе (б)

ко конкурентоспособны новые методы обработки и хранения информации, основанные на идеологии функциональной электроники, с традиционными схмотехническими приемами интегральной микроэлектроники. Устройство памяти на поверхности акустических волнах, созданное на кремниевой подложке, выполняющей роль электроники обрамления, может явиться начальным этапом такого компромисса.

Приведенные результаты анализа показывают, что линейный размер активной области порядка 0,1 мкм является предельным с совершенно разных точек зрения: возможности макроскопического способа описания, самого характера протекания явлений (например, сосуществование двух механизмов пробоя), физических ограничений технологических методов получения структур. Именно поэтому стремиться к достижению меньших размеров, по-видимому, нецелесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васенков А.А., Сретенский В.Н., Федотов Я.А. Три проблемы электроники твердого тела. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. — М.: Сов. радио, 1977, вып. 2, с. 3—19.
2. Губкин Ю.Н. О пределах интеграции в микроэлектронике. — Электронная промышленность, 1978, вып. 10, с. 69—72.
3. Валиев К.А. Проблемы создания элементной базы сверхвысокой степени интеграции для ЭВМ. — Микроэлектроника, 1980, т. 9, вып. 6, с. 484—490.
4. Вендик О.Г. Поиск новых физических явлений в твердом теле для использования в электронике СВЧ. — Известия вузов СССР. Радиоэлектроника, 1980, т. XXIII, № 10, с. 4—11.
5. Барыбин А.А., Вендик И.Б., Вендик О.Г. и др. Перспективы интегральной электроники СВЧ. — Микроэлектроника, 1979, т. 8, вып. 1, с. 3.
6. Гаврилов О.Т., Тиходеев Ю.С. Основные ограничения макроскопического рассмотрения процессов в полупроводниковых приборах. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1973, вып. 1, с. 61.
7. Тиходеев Ю.С. Интегральная электроника динамических и статических неоднородностей: Ограничения, возможности, перспективы. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1981, вып. 2, с. 29.
8. Тиходеев Ю.С., Трутко А.Ф. К вопросу о механизме пробоя р-п-переходов в полупроводниках. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1968, вып. 1, с. 112.
9. Бом Д. Квантовая теория. — М.: Физматгиз, 1961, с. 728.
10. Иогансен Л.В. О возможности резонансного прохождения электронов в кристалле через систему барьеров. — ЖЭТФ, 1963, т. 45, с. 207.
11. Тиходеев Ю.С. О возможности создания СВЧ твердотельных приборов, основанных на квантовых размерных эффектах. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1973, вып. 1, с. 3.
12. Добровольский А.А., Шерман А.Б. Об электронно-акустической обработке сигналов в пьезоэлектриках. — Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, вып. 11, с. 481.
13. Нелинейные взаимодействия поверхностных акустических волн в пьезоэлектриках со вторичными электронами / А.Б. Шерман, А.А. Добровольский, В.В. Леманов, Г.А. Смоленский. — Письма в ЖТФ, 1979, т. 5, вып. 18, с. 11—24.

Статья поступила 28 декабря 1981 г.

УДК 621.38.001.2—52

А.А. Ступаченко

ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЭТ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Рассмотрены следующие компоненты формализованного описания автоматизированного проектирования ИЭТ: знаковые модели задачи проектирования, а также критериев совершенства (эффективности) объектов проектирования; типы представлений для решения задач проектирования (выбор из перечисления, определение в пространстве состояний, сведения задачи к подзадачам); функциональная и целевая координация задач (объектов); структурная модель процесса проектирования; базовые точки принятия основных решений; определения основных понятий деятельности объекта, задачи, процесса и системы проектирования.

Для построения систем автоматизированного проектирования (САПР) необходимо определить и ограничить не только класс объектов, подлежащих проектированию, но и конкретизировать модель самого процесса проектирования, предназначенного для автоматизации. Последняя совместно с условиями, которые будет предоставлять САПР, определит технологию автоматизированного проектирования объектов данного класса. Любая модель процесса проектирования может быть построена только на основе определенной модели задачи проектирования, которую определим как систему, содержащую три компонента [1, 2]:

$$\langle D_a, D_{тр}^*, D_{усл} \rangle, \quad (1)$$

где D_a — предмет задачи в актуальном (текущем, исходном) состоянии; $D_{тр}^*$ — императивная модель требуемого состояния этого предмета; $D_{усл}$ — условия, которые должны быть выполнены в процессе и/или после достижения требуемого состояния предмета задачи.

В применении к задачам проектирования (ЗП) эти компоненты могут быть интерпретированы следующим образом:

D_a — заявка на объект проектирования (ОП), выражающая потребность, возникшую в некотором фрагменте действительности и представляемая чаще всего в форме неполной функциональной модели $F \cap M'(O)$ искомого объекта, а также не полностью определенных условий его функционирования;

$D_{тр}^*$ — продуктивная модель объекта проектирования, представляющая собой комплект технической документации для изготовления ОП в производственных условиях;

$D_{усл}$ — условия решения ЗП, которые в общем случае содержат: ограничения, налагаемые на значения внешних Y и внутренних X свойств объекта

ЗП; критерий совершенства объекта ЗП G ; ограничения на временные, трудовые, материальные ресурсы процесса решения ЗП Q .

Под ЗП будем понимать задачу построения продуктивной модели объекта $M(O)_{пр}$, для которого задано подмножество требуемых функциональных состояний $F_n M'(O)$ и определены условия функционирования (Z'), реализации (Y, X, Q), а также предпочтения на множестве возможных решений (G). Модель обобщенной постановки ЗП может быть представлена семикомпонентным кортежем:

$$\langle F_n M'(O), M(O)_{пр}, Z', Y, X, Q, G \rangle, \quad (2)$$

при этом Z', Y, X, Q и G являются в общем случае векторами или кортежами, имеющими свои размерности.

Подмножество требуемых функциональных состояний объекта $F_n M'(O)$ может быть задано двояко:

– неполной функциональной реляционной моделью, определяемой отображением $F_n M'(O): Z' \rightarrow W'$, где Z' и W' – подмножества соответственно множества внешних воздействий (входов) Z и множества откликов (реакций, выходов) объекта на эти воздействия W . В случае ИЭТ отображение $F_n M'(O)$ может соотносить приложенному напряжению или току (Z') выходное напряжение, ток, заряд с определенными параметрами (W');

– неполной функциональной атрибутивной моделью, определяемой подмножеством внешних, непосредственно реализуемых у объекта функциональных свойств назначения (Y_n), согласованных с отображением $F_n M'(O): Z' \rightarrow W'$. У ИЭТ это коэффициент усиления, шумы, полоса рабочих частот, импеданс, рассеиваемая мощность, емкость и т.п.

Условия функционирования объекта задаются допустимыми областями множества состояний среды и других объектов во времени (в случае ИЭТ вектор Z' характеризует климатические, механические, электрические и прочие нагрузки, воздействующие на изделие, и их продолжительность).

Условия реализации объекта определяются:

– допустимой областью множества возможных внешних свойств Y объекта для всех $x \in Z$. Множество Y включает как подмножество свойств назначения Y_n , согласованных с $F_n M'(O)$, так и подмножество внешних утилитарных, т.е. нефункциональных свойств Y_y , присущих любому реальному объекту одновременно с его существенными свойствами. К утилитарным свойствам ИЭТ можно отнести массу, объем, габариты, стоимость и т.п.;

– допустимой областью множества возможных внутренних (сущностных) свойств X объекта, которые характеризуют его конструкцию (набор входящих элементов и структуру связей), а также производственно-технологические особенности и обуславливают обладание множеством внешних свойств,

согласованных с $F_n M(O)$. Границы допустимой области множества сущностных свойств ИЭТ наиболее естественно задавать в терминах ресурсов, необходимых для изготовления определенного числа единиц изделия. В общем случае ограничения могут касаться ресурса какого-либо одного вида (например, материалоемкости, трудоемкости, энергоемкости, фондоемкости) или одновременно нескольких видов ресурсов;

– допустимой областью множества возможных ресурсов Q , реализуемых в процессе проектирования объекта. В качестве таких ресурсов обычно выступают продолжительность, трудоемкость и стоимость проектирования.

Условия предпочтения в допустимой области множества возможных решений ЗП задаются:

– критерием совершенства или эффективности объекта (G), обобщенно характеризующим ценность данного ИЭТ в терминах особо выделяемых его внешних и/или внутренних свойств (Y', X'), которые признаются важнейшими по отношению к основной цели (назначению предмета) данной ЗП и требования к которым невозможно или нецелесообразно формулировать только в виде ограничений. В общем случае $G \subseteq Y' \times X'$. Предпочтение должно быть отдано объекту (проектному решению) с таким набором внешних $\hat{y} \in Y$ и внутренних $\hat{x} \in X$ свойств, что $G(\hat{y}, \hat{x}) \geq G(y, x)$ для всех допустимых y из Y и x из X ;

– оценочной функцией M , соотносящей внешние и внутренние свойства ОП с ресурсами, необходимыми для реализации процесса проектирования. В общем случае $M: Y \times X \rightarrow Q$, и оценочная функция M характеризует стоимость (выражаемую в терминах различных ресурсов) создания объекта с данным набором свойств. Предпочтение должно быть отдано проектному решению с таким набором внешних $\hat{y} \in Y$ и внутренних $\hat{x} \in X$ свойств, что $M(\hat{y}, \hat{x}) \geq M(y, x)$ для всех допустимых значений y и x .

Анализ условий предпочтения показывает, что все многообразие целевых ориентаций задач проектирования любых объектов, в том числе и ИЭТ, может быть представлено двумя глобальными целями: максимизировать уровень совершенства ОП (ресурсы процесса проектирования Q задаются в виде ограничений) и минимизировать ресурсы, реализуемые в процессе проектирования (требования к внешним Y и внутренним X свойствам ОП задаются в виде ограничений).

Критерий совершенства G представляет собой описание обобщенной цели ("эквивалент цели" [3]) создания любого данного ИЭТ, выраженное в форме логического (математического) отношения. Основное назначение критерия совершенства – формирование объективных и сопоставимых суждений о целевой ориентации создаваемых объектов и об абсолютной или сравнительной ценности рассматриваемых (альтернативных, конкурирующих) вари-

антов их реализации. Критерии совершенства должны формироваться и использоваться как обобщенные описания целей создания, а также правил определения ценности любых объектов, обязательные и единые для всех заинтересованных сторон: заказчика, проектировщика и изготовителя ИЭТ.

Критерии G , обобщенно характеризующие ценность объектов ЭП, в общем случае описываются в терминах внешних и внутренних свойств, а также условий функционирования объекта, т.е. должны быть представлены отношением над множествами (подмножеством декартова произведения) Y, X и Z' или некоторым подмножеством декартова произведения: $G \subseteq Y \times X \times Z'$, где $Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n$; $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m$; $Z' = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_p$.

Следуя методологии решения многокритериальных задач [4], определим критерий совершенства технических объектов как пятикомпонентную систему:

$$\langle Y, X, Z', A, \eta \rangle,$$

где A — множество шкал, приписывающих значениями Y, X и Z' оценки с отношением совершенного порядка; η — аналитическое выражение, алгоритм или словесная формулировка, которые позволяют задать на множестве векторных оценок отношение предпочтения, являющееся порядком или квазипорядком [4].

Для включения в состав критерия G необходимо отбирать такие свойства объекта ЭП, а также такие параметры условий функционирования, которые выступают в качестве частных целей создания данного объекта, признаются лицом, принимающим решение, важными в отношении поставленной задачи, являются общими для всех допустимых решений и характеризуют общую ценность решения таким образом, что лицо, принимающее решение, стремится получить по ним наиболее предпочтительные оценки [4]. По мере накопления опыта проектирования, производства, потребления каждого данного ИЭТ, достижения функциональной насыщенности (прекращения развития состава свойств его назначения) и определенности в условиях его функционирования, а также роста объемов производства изменение состава свойств, вводимых в критерий совершенства, происходит по схеме:

$$G \subseteq Y \rightarrow G \subseteq Y \times Z' \rightarrow G \subseteq Y \times X \rightarrow G \subseteq X$$

требования к Z' задаются в виде ограни- чений	→	требования к Z' и Y за- даются в ви- де ограниче- ний
----------------------------------------------------------	---	-----------------------------------------------------------------------

Особый подход к процессу решения, который получил наименование "выбор представлений для решения задачи" [1, 5, 6] предполагает, что существует частично упорядоченное и относительно устойчивое отношение предпочтения между тем, что

понимается под "типами представлений для решения задач", с одной стороны, и классами (наборами) методов решения задач, с другой. Типы представлений для решения задач будем интерпретировать как элементы особого множества, включенного в композицию отношений между классами постановок задач и наборами методов их решения. Если ограничиться классом традиционных инженерных объектов, исключив из него алгоритмы, а также программы для ЭВМ и программно-управляемого оборудования, то все множество представлений для решения задач проектирования может быть сведено к трем основным типам: выбору из перечислений, определению в пространстве состояний, сведению задачи к подзадам.

Использование представлений на основе выбора из перечислений предполагает наличие множества ранее спроектированных объектов различных уровней сущности (систем, устройств, сборочных единиц, деталей, материалов и т.п.), описания которых в форме субстанциональных или функциональных моделей-интерпретаторов доступны проектировщикам и которые могут рассматриваться в качестве возможных решений ЭП соответствующих уровней (классов). Использованию представлений на основе выбора из перечислений должно отдаваться предпочтение во всех случаях, когда требования к свойствам ОП задаются в виде ограничений, а целевая ориентация ЭП направлена на минимизацию ресурсов (временных, трудовых, материальных), реализуемых в процессе создания нового изделия и/или освоения его в производстве.

Использование представлений на основе определения в пространстве состояний предполагает наличие или возможность построения обобщенной структурно-функциональной модели-описания объектов того класса, к которому может быть отнесен конкретный объект, составляющий предмет данной ЭП. Структурно-функциональная модель должна отображать внутренние свойства объекта на внешние, т.е. отображать состав элементов объекта, состав и схему его внутренних связей, а также свойства этих элементов и связей на внешние свойства объекта. Обобщенная структурно-функциональная модель-описание отображает пространство возможных состояний объектов определенного класса в границах своей применимости, т.е. для всех допускаемых моделью значений X и Y . Решение ЭП при использовании представления на основе определения в пространстве состояний заключается в формировании структурно-функциональной модели-интерпретатора проектируемого объекта, что сводится к назначению в структурно-функциональной модели-описании обобщенного объекта ряда параметров, наилучших в смысле условий данной конкретной ЭП (передвижению в пространстве допустимых значений параметров X и Y). Использованию представлений на основе определения

в пространстве состояний должно отдаваться предпочтение во всех случаях, когда целевая ориентация ЗП направлена на достижение возможно более высокого значения критерия совершенства проектируемого объекта $G \in Y \times X$.

Использование представлений на основе сведения задачи к подзадачам предполагает разбиение задачи на совокупность таких подзадач, которые, будучи решенными раздельно, приводят к решению исходной задачи. Использование представлений на основе декомпозиции исходной задачи реализует принцип "редукции сложности" [5] и в применении к ЗП эквивалентно разбиению проектируемого объекта на подобъекты более низкого уровня сущности и связи между ними. Решение ЗП при использовании представлений по типу сведения задачи к подзадачам посредством многоуровневой иерархии подзадач (подобъектов) проектирования различных уровней сущности имеет ряд важных преимуществ, в частности позволяет преодолевать затруднения, обусловленные сложностью исходной задачи; использовать для решения подзадач не отдельные методы и средства, а их совокупность; полнее и конкретнее учитывать целесообразность, допустимость и реализуемость возможных вариантов проектных решений; сокращать в ряде случаев общие усилия и время, затрачиваемые на решение задач.

Однако построение и использование многоуровневых иерархических систем неизбежно порождает новую проблему, порой не менее сложную, чем исходная, — проблему согласованности задач, подлежащих решению на различных уровнях. Подзадачи, к которым сводится проектирование объекта глобальной ЗП, при декомпозиции последнего на подобъекты должны быть согласованы по назначению и целевой ориентации. В первом случае подобъекты любого уровня иерархии должны быть согласованы между собой, с объектом ЗП вышестоящего смежного уровня и с объектом глобальной ЗП по функциональным состояниям, внешним и внутренним свойствам, а также условиям функционирования и реализации. Такое согласование задач проектирования будем называть функциональной координацией, выделяя соответственно межуровневую и внутриуровневую функциональные координации. При согласовании по целевой ориентации таким же образом должны быть согласованы критерии совершенства или частные функции качества подобъектов любого уровня иерархии. Этот вид согласования будем называть целевой координацией, выделяя, соответственно, межуровневую и внутриуровневую целевые координации.

При использовании представлений для решения ЗП по типу сведения задачи к подзадачам под оптимизацией O_i объекта ЗП_{*i*} (оптимальной функциональной и целевой координацией подобъектов на уровне $i + 1$) будем понимать определение набо-

ра подобъектов $\overline{O_{i+1}}$ с таким составом функциональных свойств и их значениями у каждого из них, которые обеспечивают объекту обладание требуемыми функциональными состояниями, удовлетворяют установленным ограничениям и образуют компромисс, наилучший в смысле критерия совершенства ЗП, в свою очередь предварительно согласованного с критерием совершенства глобальной ЗП.

Представления на основе сведения задачи к подзадачам должны использоваться в тех случаях, когда в силу высоких уровней сущности или сложности проектируемых объектов или из-за отсутствия необходимых методов и средств ЗП не может быть решена на основе других типов представлений или когда целевая ориентация ЗП предполагает максимизацию степени использования готовых проектных решений на уровне сборочных единиц и/или деталей ОП.

В общем случае на разных уровнях решения большинства конкретных ЗП используются различные типы представлений: на высшем уровне (объект в целом) — решение по типу сведения задачи к подзадачам; на уровне сборочных единиц — по типу определения в пространстве состояний; на уровне деталей — по типу выбора из перечислений.

Инженерное проектирование обычно относят к классу слабоструктурированных проблем, решение которых базируется на методах системного анализа [5].

В процессе проектирования, структура которого рассматривается в ряде исследований [7–10], могут быть выделены следующие типовые этапы: постановка задачи; формирование тактик ее решения; реализация тактик решения задач; выбор наиболее предпочтительного решения; исследование и отработка выбранного варианта решения; формирование продуктивной модели объекта проектирования.

Решение ЗП ИЭТ (не говоря уже об объектах более высокой сложности) при рассмотрении ее на высшем уровне сущности (изделие в целом) во всех без исключения случаях приводит к использованию представлений на основе сведения задачи к подзадачам.

Поскольку на многих уровнях сущности проектируемых ИЭТ широко используется принцип вариантного проектирования, то план решения ЗП ИЭТ можно представить в общем случае в виде многослойной иерархии соподчиненных и альтернативных подзадач различного уровня сущности. Такую иерархию подзадач или схему-план обычно отображают графоподобной структурой "И/ИЛИ" [5]. В применении к процессу проектирования общая схема-план предназначается для отображения глобальных аспектов как содержания исходной ЗП, так и путей и методов ее решения; наглядно определяет иерархию отношений между ЗП, подзадачами и объектами различного уровня сущности, а также меж-

ду критерием совершенства и ограничениями в условиях задач, подзадач и т.д.; способствует большей обоснованности установления приоритетов рассмотрения ЗП различных уровней сущности, позволяя с большей объективностью оценивать степень важности и сложности их решения; ограничивает и упорядочивает пространство поиска решений; используется лицом, выбирающим наиболее предпочтительное решение ЗП для формирования системы представлений, а также применяется для выявления резервов возможного улучшения вариантов решения ЗП и для целей композиции ЗП из решенных подзадач и реконфигурации как самого графа "И/ИЛИ", так и путей движения по нему, если решение подзадач некоторого уровня сущности оказывается неудовлетворительным; используется для распределения основных ресурсов между вариантами решения исходной ЗП, а также между подзадачами различного уровня сущности внутри этих вариантов.

Постановка ЗП должна содержать операции формирования требований к функциональным свойствам объекта и к условиям его функционирования, формирования ограничений на условия реализации ЗП, формирования критерия совершенства объекта; проверки постановки ЗП на корректность и полноту.

Под *формированием тактик решения ЗП* будем понимать подготовку, организацию и реализацию всех действий, связанных с построением общего замысла, плана, а также выбором типа представлений для решения данной задачи.

Реализация тактик решения ЗП представляет собой совокупность действий, связанных с формированием моделей-описаний и моделей-интерпретаторов ОП (включая функциональную и целевую координации), а также операций по выбору, построению и использованию методов и средств преобразования, развития, интерпретации (целеориентированной параметризации-оптимизации) этих моделей.

Выбор наиболее предпочтительного решения ЗП реализуется в общем случае в три подэтапа. На первом формируется множество возможных решений данной ЗП. На втором – множество возможных решений сужается до множества целесообразных решений данной ЗП (не только соответствующих условиям задачи, но и реализуемых на практике). На последнем подэтапе множество целесообразных решений упорядочивается: выделяется подмножество неподчиненных решений, линейно упорядочивается ряд предпочтительных решений, определяется наиболее предпочтительное решение и т.п. Наиболее мощным средством такого упорядочения является аппарат многокритериальных задач принятия решений с соответствующим набором типовых операций [4].

Исследование и отработка выбранного решения ЗП выполняется с целью уточнения основных функциональных, утилитарных и сущностных свойств

спроектированного объекта, а также для окончательного определения и подтверждения степени соответствия этого объекта постановке ЗП. Отработка решения ЗП начинается, как правило, с ревизии предыдущих стадий процесса, реализованных при формировании данного варианта решения ЗП. Цель этой операции – развитие, уточнение и улучшение проектных решений, принятых для подобъектов различных уровней сущности и объекта в целом. Улучшение и развитие проектных решений часто производится путем заимствования более эффективных решений, сформированных при разработке альтернативных вариантов решения данной ЗП, а также путем использования стандартных или типовых проектных решений. Важная особенность рассматриваемой стадии процесса проектирования – обязательное использование натуральных моделей (лабораторных или опытных образцов) объекта ЗП.

Оформление результатов решения ЗП (формирование продуктивной модели объекта – комплекта технической документации на изделия) – регламентировано соответствующими ГОСТами ЕСКД и ЕС ТПП.

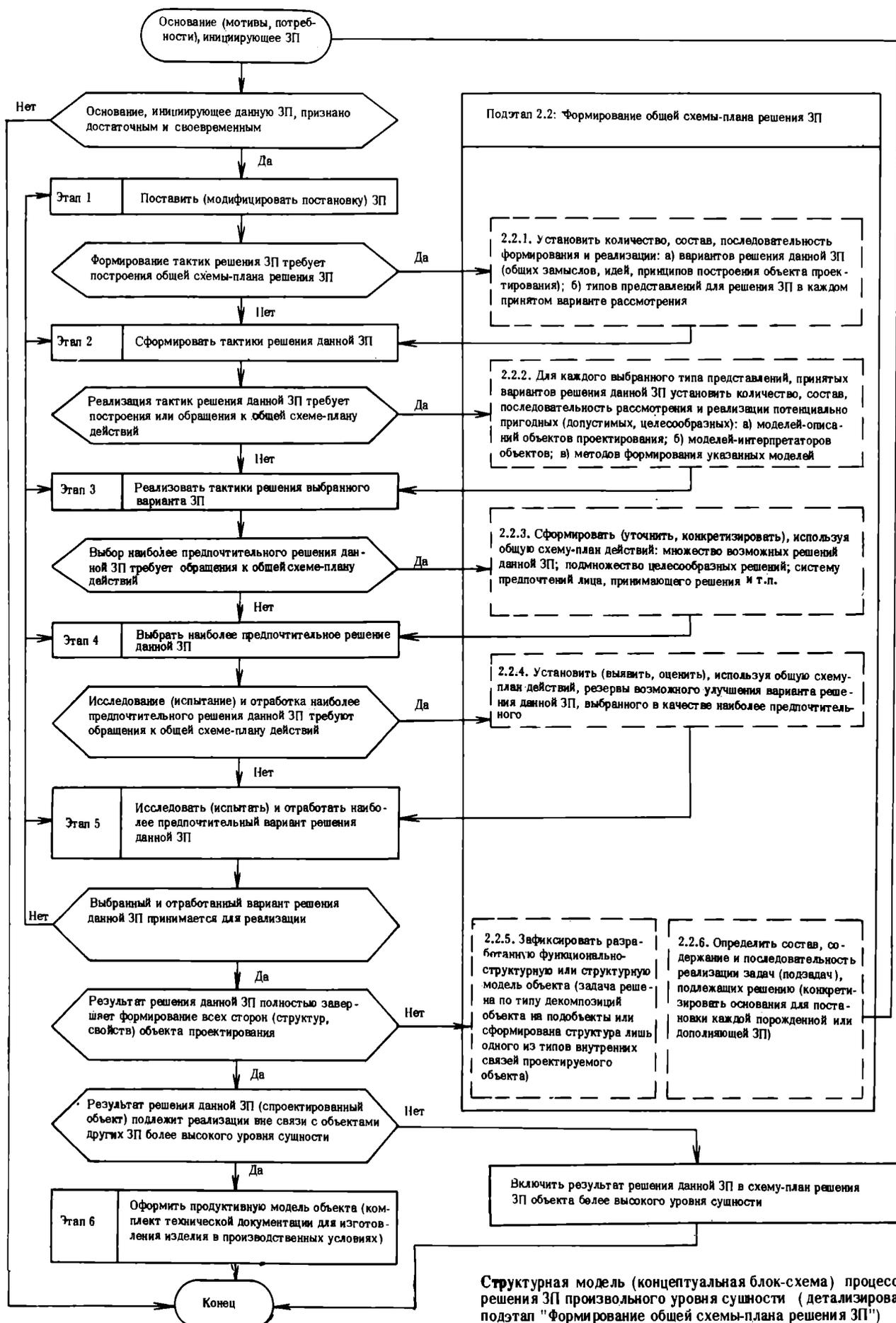
Структурная модель (концептуальная блок-схема) процесса проектирования, разработанная для реализации в автоматизированном режиме, представлена на рисунке. Важно отметить, что эта модель справедлива для задач проектирования объектов произвольного уровня сущности: изделия в целом, сборочных единиц и деталей объектов, технологических процессов, материалов электронной техники и пр.

В автоматизированном проектировании представляется особенно важным установить и зафиксировать отношения между следующими основными понятиями: объект, задача, процесс и система проектирования.

Объект проектирования, являющийся компонентом ЗП, представляет реакцию на некоторую проблему, которая возникла в одном из фрагментов действительности и подлежит разрешению. Состояния ОП характеризуются типом, формой, параметрами его модели (моделей), а также достигнутыми значениями критерия совершенства.

Задача проектирования, являющаяся компонентом процесса проектирования, представляет требования к ОП, рассматриваемые в совокупности с условиями использования и создания этого объекта. Состояния ЗП характеризуются условиями задачи, сохраняющимися на момент рассмотрения свою актуальность, а также достигнутым состоянием ОП.

Процесс проектирования, являющийся компонентом проектной деятельности, представляет последовательную во времени смену состояний ЗП, рассматриваемых в совокупности с методами, средствами и действиями, реализующими эти изменения. Состояния процесса проектирования характеризуются достигнутыми состояниями ЗП, рас-



Структурная модель (концептуальная блок-схема) процесса решения ЗП произвольного уровня сущности (детализирован подэтап "Формирование общей схемы-плана решения ЗП")

сма триваемыми в совокупности с идентификаторами действий, методов, средств и ресурсов, использованных для перевода задачи в эти состояния.

Система проектирования представляет условия, в которых процессы проектирования определенного класса могут быть ограничены и реализованы. Под условиями понимается совокупность внешних по отношению к ЭП объектов (среда, субъекты, действия, методы, средства, ресурсы), которые доступны и пригодны для целенаправленного изменения, анализа и оценки состояний задач данного класса.

Автоматизированная реализация требует установления (выделения и регламентации) в процессе проектирования базовых точек принятия основных решений. Под базовыми точками принятия основных решений в этом процессе будем понимать точки, где: в обязательном порядке определяются и фиксируются текущие состояния объекта, задачи и самого процесса проектирования (тем самым структурированному процессу проектирования придается свойство наблюдаемости — возможность установления любых, предшествующих текущему, состояний процесса, включая исходное его состояние); к процессу проектирования в обязательном порядке подключается субъект проектирования — лицо, принимающее основные решения; подключается информация из источников, внешних по отношению к данной системе проектирования; принимаются основные решения, меняющие состояние процесса проектирования. В качестве базовых точек принятия основных решений в процессе проектирования прежде всего должны быть назначены точки перехода от этапа к этапу и, соответственно, от операции к операции, а также другие точки, зависящие от специфики ОП.

Разработанное формально-логическое описание процесса проектирования ИЭТ после конкретизации, обусловленной спецификой типа изделия, может служить основанием для построения технологии автоматизированного проектирования изделия, а также для формирования структуры соответствующей САПР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенерджи Р. Теория решения задач: Подход к созданию искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1972. — 224 с.
2. Вилкас Э.И., Майминас Е.З. Решения теория, информация, моделирование. М.: Радио и связь, 1981. — 328 с.
3. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. — М.: Наука, 1971. — 384 с.
4. Озерной В.М., Гафт М.Г. Методология решения дискретных многокритериальных задач. — В кн.: Многокритериальные задачи принятия решений. — М., Машиностроение, 1978, с.14–47.
5. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. — М.: Мир, 1973. — 270 с.
6. Хант Э. Искусственный интеллект. — М.: Мир, 1978. — 558 с.
7. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. — М., Сов. Радио, 1969. — 216 с.
8. Окунев Ю.Б., Плотников В.Г. Принцип системного подхода к проектированию в технике связи. — М.: Связь, 1976. — 183 с.

9. Хилл П. Наука и искусство проектирования. — М.: Мир, 1973. — 263 с.

10. А ле х и н В.В. Техническое творчество инженера-конструктора. — Научные доклады высшей школы. Сер. Философия, 1978, № 6, с. 31–39.

Статья поступила 23 декабря 1981 г.

УДК 621.3.049.77.001.2

А.И.Гудов, Ю.П.Соколов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ БИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭСКИЗНО-СИМВОЛЬНОГО МЕТОДА

Реализация эскизно-символьного метода проектирования топологии БИС на двухмашинном комплексе позволяет повысить качество топологии и сократить в 3–4 раза трудоемкость ее разработки.

Проектирование топологии является одним из самых трудоемких и важных этапов в создании БИС. В большинстве автоматизированных систем проектирования топологии используется получивший широкое распространение метод "многоугольников" [1]. Однако трудозатраты на разработку топологии даже при полной автоматизации процесса проектирования с помощью этого метода составляют до 70% всех трудозатрат разработки БИС [2].

Предлагаемый способ проектирования топологии БИС, основанный на эскизно-символьном методе представления топологии [1, 3], предполагает новый технологический маршрут проектирования, выбор и обеспечение взаимодействия технических средств, разработку соответствующего программного обеспечения.

Маршрут проектирования регламентирует порядок и правила выполнения отдельных этапов разработки топологии с учетом взаимного влияния и итеративности выполнения некоторых из них (рис. 1), определяет использование технических средств и программного обеспечения.

Этапы разработки функциональной схемы и выбора технологии изготовления БИС непосредственно не входят в процесс проектирования топологии, однако их результаты служат исходной информацией для проектирования и определяют выбор или разработку топологического базиса.

На этапе формирования топологического базиса, сетки и алфавита определяются конкретные топологические решения схмотехнических элементов (топологический базис), выбираются их мнемонические обозначения (алфавит) для разработки эскизно-символьного проекта (ЭСП), определяется сетка проектирования топологии. Метрические ха-

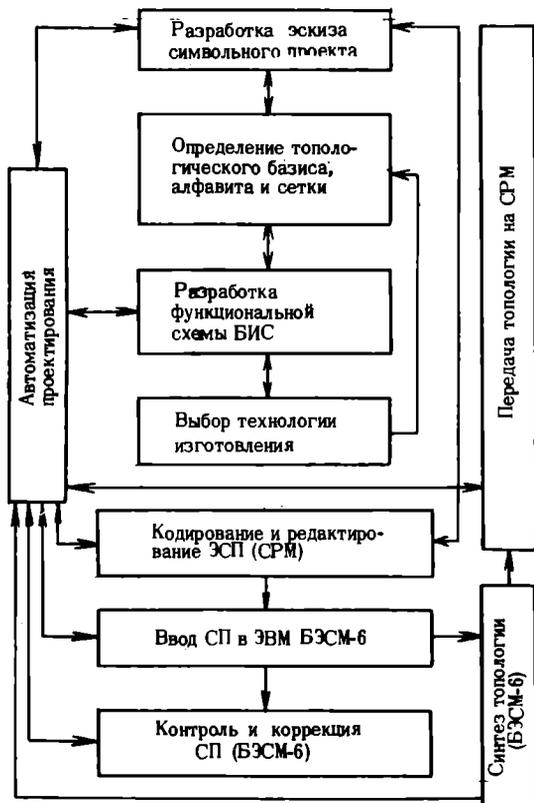


Рис. 1. Взаимосвязь этапов проектирования топологии БИС

рактические характеристики топологического базиса отражают технологические допуски и ограничения. Сетка регламентирует разработку ЭСП и влияет на процент полезного использования площади кристалла, а также определяет трудоемкость разработки. Возможна взаимная оптимизация топологического базиса и сетки по критерию минимальной площади [4].

На этапе разработки ЭСП решаются задачи размещения и трассировки в соответствии с принципиальной схемой БИС. Инструментом решения этой задачи являются алфавит и сетка. Таким образом, конструктор освобождается от сложных и утомительных расчетов, связанных с реальной геометрией, и может сосредоточить усилия на разработке логических и электрических аспектов топологии. Причем трудоемкость на этом неавтоматизированном этапе сокращается в 3-4 раза по сравнению с методом "многоугольников". Данный этап завершается созданием эскизно-символьного проекта фрагментов топологии БИС, предназначенного для кодирования, и листа компоновки фрагментов.

На этапе кодирования и редактирования обеспечивается ввод и обработка ЭСП на специализированном рабочем месте (СРМ). Форма представления ЭСП (рис. 2, а) позволяет определить три основных конфигурации символов: еди-

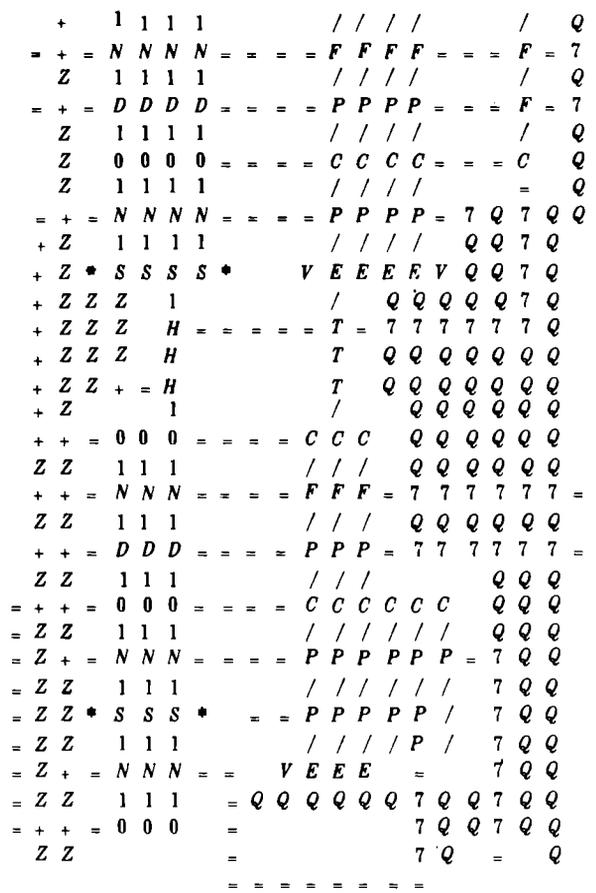
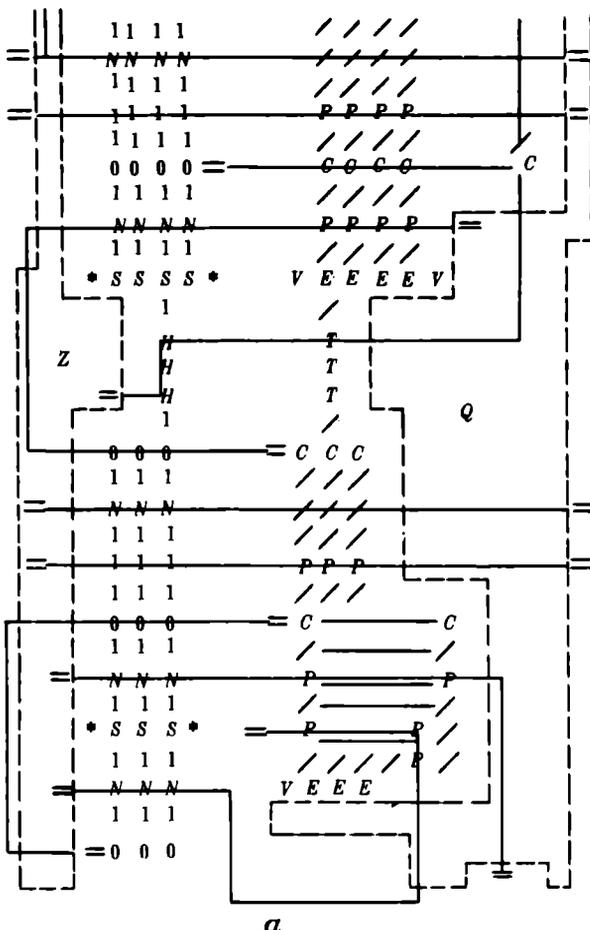


Рис. 2. Формы представления эскизно-символьного (а) и символического (б) проектов

ничный, цепочку одинаковых символов произвольной конфигурации и область произвольной конфигурации, занятую одинаковыми символами. В процессе кодирования фрагмента ЭСП используются три основные функции ввода в зависимости от обрабатываемой конфигурации. При использовании любой из функций ввода после указания вводимого символа осуществляется автоматический контроль на допустимость использования, т.е. на наличие его в описанном ранее алфавите. Кодирование сопровождается синхронной выдачей введенной конфигурации символов на экран графического дисплея. Результатом кодирования фрагмента ЭСП является получение символьного проекта (СП) (рис. 2, б). Редактирование осуществляется в интерактивном режиме с помощью графического дисплея с использованием широкого набора функций редактирования, работающих с различными конфигурациями символов.

Этапы ввода СП в БЭСМ-6 и передача топологии на СРМ обеспечивают информационную и техническую связь двух банков данных (СРМ и системы проектирования на БЭСМ-6). Необходимость включения БЭСМ-6 в процесс проектирования вызвана большой степенью интеграции разрабатываемых БИС и сложностью программного обеспечения контроля и синтеза топологии. На этапе передачи топологии на СРМ решена задача преобразования матричного представления топологии [5] в формат СРМ.

На этапе контроля и коррекции СП обеспечивается проверка на соответствие критериям проектирования, таким, как минимальное сближение неэквипотенциальных областей, корректность построения цепей и другие. По результатам контроля, по мере необходимости, проводится коррекция СП с помощью диалогового комплекса программ КРАБ [6].

Этап синтеза топологии обеспечивает получение матричного описания топологии БИС по СП, представляющего собой на данном этапе набор ориентированных контуров, которые ограничивают топологические фигуры.

Введение этапа автоматизации проектирования как одного из этапов проектирования топологии обусловлено тем, что особенности реализации БИС могут привести к необходимости адаптации программного обеспечения, обновлению библиотек типовых решений и т.д.

Технические средства, используемые в процессе проектирования, должны наиболее полно отвечать поставленным задачам. Задачи ввода и обработки графической информации ЭСП и первичного контроля могут быть решены на ЭВМ малой мощности, имеющей графический дисплей и кодировщик. Управление генераторами изображения от собственной магнитной ленты требует наличия однотипных накопителей магнитной ленты (НМЛ).

Этим требованиям наиболее полно отвечает СРМ-15УТ-4-017. Значительные потребности в машинных ресурсах на этапах полного контроля проектируемой топологии БИС и синтеза топологии требуют большой ЭВМ, обладающей возможностью обмена информацией с СРМ. Для решения этой задачи выбрана ЭВМ БЭСМ 6/7 с НМЛ типа ЕС-5017. В качестве носителя информации при передаче ее с СРМ в БЭСМ-6/7 и обратно используется магнитная лента типа ЕС.

Пакет программ, разработанных на СРМ, обеспечивает ввод (кодирование) ЭСП, преобразование ЭСП в СП, редактирование СП, выдачу СП на печатающее устройство, чтение (запись) файлов "большими" (1536 байт) зонами на МЛ.

Программы написаны на языке ассемблера СРМ.

Пакет программ, разработанных на ЭВМ БЭСМ-6/7, обеспечивает поэлементное чтение (запись) информации с МЛ, формирование СП БИС, контроль СП на соответствие критериям проектирования, синтез матричного описания топологии, преобразование топологии в формат СРМ.

Эти программы написаны на языках МАДЛЕН, ФОРТРАН, АЛГОЛ-ГДР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларсен Р.П. Проектирование с помощью символов — способ ускорения разработки шаблонов для ИС. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1978, № 15, с. 42–47.
2. Рубцов В.П., Захаров В.П., Жижко В.А. Автоматизация проектирования больших интегральных схем. — Киев: Техника, 1980. — 231 с.
3. Маршала М., Уоллер Л. Для сверхбольших ИС нужны супер-САП. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1980, № 17, с. 54–64.
4. Рубцов В.П., Аббасов А.С. Минимизация площади БИС в символьном методе проектирования. — Управляющие системы и машины, 1979, № 6, с. 104–107.
5. Рубцов В.П. О построении описаний топологических чертежей БИС—Управляющие системы и машины, 1979, №1, с.61–65.
6. Диалоговый комплекс программ КРАБ для ЭВМ типа БЭСМ-6. — М.: МГУ, 1979.

Статья поступила 29 октября 1981 г.

УДК 621.3.038.612

М.М.Березкина, Г.А.Ковальский

ДВУХАНОДНЫЙ БЕЗМАГНИТНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

Предложенная конструкция источника ионов обеспечивает получение широких ионных пучков при малых потоках рабочего газа, исключающих обратное отражение распыляемого материала.

В связи с развитием ионно-плазменных методов обработки материалов для электронной техники требуются простые по конструкции эффективные ионные источники, которые могут быть установлены на внешних фланцах вакуумных колпаков

технологических установок или помещены на штоках в вакуумный объем. К таким конструкциям относятся источник с полым катодом и двумя анодами, расположенными в одной диаметральной плоскости цилиндрической полости симметрично относительно оси и на небольшом расстоянии друг от друга [1]. При характерных размерах полости порядка нескольких сантиметров для зажигания самостоятельного разряда в таком источнике необходимо давление $p = 10^{-2}$ Па, а стабильная работа с выходом ионного тока интенсивностью в несколько миллиампер происходит при давлении $p = 10^{-1}$ Па. Следует отметить, что эти источники не нуждаются в магнитном поле и могут поэтому применяться совместно с устройствами электронного контроля состояния поверхности. Однако высокие значения напряжения, необходимые для самостоятельного разряда в них (например, для получения ионных токов 5 мА использовалось напряжение разряда 3 кВ [2]), приводят к интенсивному распылению материалов ионного источника и нарушению чистоты проведения процесса.

сти сечения, перпендикулярной оси симметрии (рис.2). На некотором расстоянии от центра симметрии направление силовых линий электрического поля асимптотически приближается к прямым, проходящим через седловину. В цилиндрической конструкции геометрическим местом седловин является ось симметрии $O-O$, поэтому колебания электронов происходят на всей длине анодных

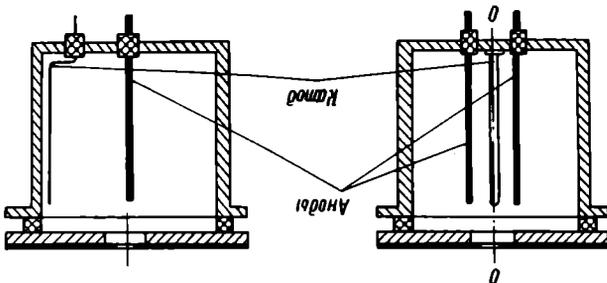


Рис. 1. Конструкция двуханодного источника ионов

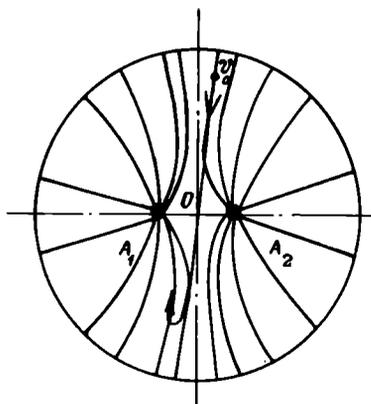


Рис. 2. Силовые линии электрического поля и часть траектории электрона

С целью применения двуханодного источника в технологических установках важно понизить напряжение разряда до значений, близких к пороговым энергиям распыления, т.е. до нескольких десятков вольт. Для этого целесообразно перейти к использованию накаливаемого катода, который помещается симметрично относительно анодов в виде узкой петли вблизи стенки катодной полости (рис.1). При таком расположении электродов в разрядной области для электронов, находящихся в пространстве между анодами, до зажигания разряда существуют стабильные колебательные траектории большой длины в осевых плоскостях, примерно перпендикулярных плоскости расположения анодов, что обусловлено особой конфигурацией электрического поля, имеющего седловину в каждой плоскости стержней. Поскольку торцы цилиндрической камеры находятся под потенциалом катода, существует также колебательная компонента, параллельная оси цилиндра. При длинных электронных траекториях следует ожидать зажигания и горения разряда при малых давлениях газа в источнике.

Для определения условий получения в таком источнике широких интенсивных ионных пучков при возможно малых давлениях газа исследовалась конструкция, представляющая собой водоохлаждаемый полый цилиндр диаметром 80 мм и длиной 85 мм, закрытый с торцов пластинами. На задней пластине крепятся держатели анода и катода, на передней имеются (в одном исполнении) центральное отверстие диаметром 10 мм или (в другом исполнении) смещенное от центра отверстие того же диаметра и 13 зондов, размещенных на равных расстояниях по всей пластине.

Цилиндр, торцевые пластины и накаливаемый катод имели отдельные электрические выводы, что позволяло измерять помимо тока разряда ионный ток на переднюю пластину и ток электронной эмиссии с катода. Катодная петля изготавливалась из вольфрамовой проволоки диаметром 0,6 мм, а отдельные аноды — из молибденовых стержней диаметром 2,5 мм. (Как показал опыт, на работе источника существенно сказываются геометрические соотношения размеров катодной петли и анодов).

Ионный ток, вытекающий из центрального отверстия источника, измерялся на пластинчатом коллекторе, помещенном на расстоянии 50 мм от отверстия. Оценка эффективности ионизации в разрядной камере проводилась по отношению (K) ионного тока к току электронной эмиссии. Эксперименты показали, что в источнике описанной геометрии разряд зажигается при давлении газа $p \cong 5 \cdot 10^{-2}$ Па и напряжении разряда 35 В. Значение $K \geq 10,5$ достигалось при напряжении разряда 45 В и давлении 10^{-1} Па. Повышение напряжения до 60 В позволяло достичь таких же значений K при давлении $5 \cdot 10^{-2}$ Па (рис.3). Рост K наблю-

дался до напряжения 110 В, после чего наступало насыщение.

Обнаружено, что на переднюю торцевую пластину можно вывести до 30% ионного тока разряда. Абсолютная величина ионного тока на эту пластину достигала ~ 500 мА при $p \approx 10^{-1}$ Па, напряжении разряда $U_p = 80$ В и токе разряда $I_p = 4$ А (см. рис.3).

Поскольку обычно площадь отверстий в выходной пластине ионного источника многоапертурного типа составляет 15–20% площади пластины, можно считать, что интенсивность ионного пучка может достигать 75–100 мА. При использовании источников для получения однолучевого пучка величина ионного тока, отбираемого через центральное отверстие диаметром 10 мм, может составить 5 мА на расстоянии 50 мм от источника.

Зондовые измерения распределения плотности плазмы по диаметру источника показали, что в приосевой области источника имеется плато плотности, занимающее 0,3 диаметра полости катодного цилиндра. По направлению к стенкам плотность уменьшается примерно в 5 раз при $p = 10^{-1}$ Па и в 2 раза при $p = 0,6$ Па. Картина распределения плотности практически не зависит от взаимной ориентации плоскости анодов и линии расположения зондов.

Сравнение двуханодного источника с более простым одноанодным при центральном расположении анода показывает, что в одноанодном источнике зажигание разряда происходит при давлении $p \approx 0,25$ Па и напряжении на разряде не менее 90 В. Для получения отношения $K \geq 0,5$ давление газа в источнике необходимо поднять до $p = 0,7$ Па, а напряжение на разряде до 120 В.

При повышенных давлениях $p \approx 1$ Па режимы работы одноанодного и двуханодного источников мало различаются между собой. Так, при $p \approx 0,9$ Па ионный ток на переднюю стенку составил ~ 400 мА при токе разряда 4 А, что приближается к параметрам двуханодного источника. Сравнимые

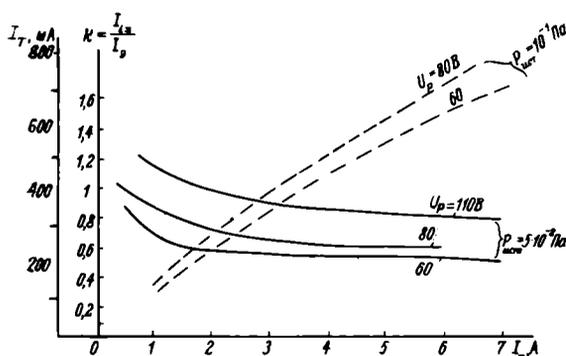


Рис.3. Зависимости интенсивности ионизации (сплошные кривые) и тока ионов на торцевую пластину (пунктирные кривые) от тока разряда при различном давлении в источнике и различном напряжении разряда

результаты получаются в этих условиях и для выхода ионов через центральное отверстие источника.

Таким образом, двуханодный ионный источник с накаливаемым катодом может быть использован в технологических установках для создания широких ионных пучков при давлении газа $p \leq 5 \cdot 10^{-2}$ Па, требующемся для исключения обратного отражения распыляемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 378 485 (США).
2. Chander A.M., Fitch R.K. An infrareded form of the oscillating electron electrostatic ion source for ion etching, — Vacuum, 1974, vol.24, N 10, October, p.483–487.

Статья поступила 4 ноября 1981 г.

УДК 621.382.066.6

О.Д.Баранцева

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ — ПОЛУПРОВОДНИК С ЗАДАННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Определяющее влияние на свойства контактов оказывает переходной слой между металлом и полупроводником. Анализ особенностей образования и характеристик этого слоя, включающий выбор пар контактирующих материалов с соответствующими друг другу свойствами, определение соединений, образующихся в промежуточном слое между металлом и полупроводником, и нахождение технологических режимов изготовления контактов, оценка механических и электрических свойств, позволяет получить оптимальные варианты контактов и сократить время их создания.

Создание бистабильных СВЧ элементов для ЭВМ с частотой переключения, находящейся вблизи верхней границы СВЧ диапазона, связано прежде всего с изысканием и использованием новых физических явлений, позволяющих реализовать требуемые параметры элементов, и совершенствованием технологических приемов изготовления элементов при максимальном уменьшении их размеров.

Важную роль в совершенствовании технологии изготовления СВЧ элементов играет решение проблемы достижения высокого качества невыпрямляющих и выпрямляющих контактов металл — полупроводник, обусловленной высокими удельными электрическими и тепловыми нагрузками, испытываемыми элементами.

При изготовлении качественных контактов большое значение имеют подбор пары контактирующих материалов и технологических режимов формирования контактов, определение высоты потенциального барьера на границе раздела металл — полупроводник, оценка удельного сопротивления и других характеристик контакта [1,2]. При этом необходимо установление взаимосвязи технологических

режимов формирования контактов со структурой, составом и фазовыми превращениями переходного слоя металл – полупроводник, который оказывает решающее влияние на электрофизические, теплофизические и механические характеристики контактов.

Учитывая это, рассмотрим возможности решения проблемы создания контактов к СВЧ элементам на основе кремния: найдем пары металл – кремний, образующие омический контакт, характеризующийся хорошей адгезией.

Металлом в этой паре может служить никель. Адгезионные свойства пленок никеля и его различных фаз, возникающих в приповерхностном слое кремния, обуславливаются прежде всего их коэффициентами теплового расширения. Значения этих коэффициентов для никеля и кремния определены достаточно точно, сведения же о термическом расширении силицидов никеля немногочисленны и известны лишь для некоторых диапазонов температур (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты термического расширения никеля, кремния и силицидов никеля

Материал	Интервал температур, К	ТКР, град. ⁻¹
Ni	0–200	$3,51 \cdot 10^{-6}$
	200–600	$3,52 \cdot 10^{-6}$
Si	0–100	$0,31 \cdot 10^{-6}$
	100–300	$2,33 \cdot 10^{-6}$
	300–600	$4,20 \cdot 10^{-6}$
Ni ₂ Si	293–1140	$16,50 \cdot 10^{-6}$
	1140–1340	$19,00 \cdot 10^{-6}$
Ni ₃ Si	293–640	$9 \cdot 10^{-6}$
	640–1040	$11,5 \cdot 10^{-6}$
	1040–1340	$14,85 \cdot 10^{-6}$

Значительное различие температурных коэффициентов расширения никеля и кремния в интервале рабочих температур 200–600 К приводит к растрескиванию и отслаиванию контактов от подложки. Поэтому использование никеля в качестве контакта к кремнию требует предварительного тщательного анализа количественного и качественного состава соединений, возникающих в переходном слое при термическом воздействии на пленки никеля. Чтобы в какой-то степени уменьшить действие столь больших различий коэффициентов теплового расширения на границе контакта никеля с кремнием и тем самым обеспечить механическую прочность контакта, можно использовать многослойные композиции, в которых добавки, имеющие сравнимые с кремнием температурные коэффициенты расширения, служат термокомпенсаторами. В настоящее время наиболее широкое распространение получили омические контакты Ni+Ti, Ni+Cr, Ni+Ta, а также Ni+Mo, Au+Ni+Mo, Ag+Ni+Mo; Al+Ni+Mo. Подслои из Ti, Cr и Ta выполняют функции раскислителя или укрепляющего слоя, подслои из Mo – функции согласующего промежуточного слоя между кремниевой подложкой и металлическим покрытием. Следовательно, никель наиболее целесообразно применять при создании многослойных контактов, что обеспечивает их достаточно высокие адгезионные свойства и механическую прочность.

Другим возможным металлом для образования омических контактов к кремнию является молибден. Температурный коэффициент его расширения ($5 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹) очень близок к ТКР кремния. Молибден обладает сравнительно хорошей адгезией к кремнию и его двуокиси при осаждении на подложки, нагретые до температур 200–500°C. При этом он неглубоко проникает в кремний. Пленки молибдена, полученные на горячих подложках, имеют плотную мелкодисперсную структуру, которая препятствует проникновению в зону p-n перехода атомов металлов верхних слоев. Однако молибден так же, как и никель, способен образовывать с кремнием силициды, достаточно твердые, хрупкие и обладающие плохой адгезией к кремниевой подложке. Поэтому при изготовлении омических контактов к кремнию с использованием молибдена следует выбирать такие режимы термообработки металлических пленок, при которых в поверхностном слое не происходит образования силицидных фаз $Mo_x - Si_y$.

Хром тоже образует с кремнием силициды. Температурный коэффициент расширения для моносилцида хрома в интервале температур 20–770°C постоянен ($10,8 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹), а для дисилцида – анизотропен ($9,2 \cdot 10^{-6}$ и $7,4 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹ соответственно вдоль осей "a" и "c"). Силициды хрома обладают невысокой плотностью, пористы и хрупки, что может вызвать растрескивание слоя, обогащенного фазами $Cr_x Si_y$, и отслаивание его вместе с последующими металлическими покрытиями. С ростом температуры ТКР хрома монотонно изменяется, однако адгезионные свойства его к кремнию остаются достаточно высокими. Поэтому контакты из хрома при правильном выборе температурных режимов их формирования обладают достаточной механической прочностью.

Анализ теплофизических свойств титана и его силицидов показал, что титан характеризуется двумя устойчивыми металлическими модификациями: $\alpha - Ti$ (до 882°C) и $\beta - Ti$ (выше 882°C). Коэффициенты термического расширения для этих модификаций равны соответственно $6,9 \cdot 10^{-6}$ и $9,5 \cdot 10^{-6}$ град.⁻¹, причем для $\alpha - Ti$ этот коэффициент монотонно растет с увеличением температуры вплоть до точки фазового превращения, а для $\beta - Ti$ не зависит от температуры. Коэффициенты термического расширения Ti_3Si_2 , $TiSi_2$ и моносилцида титана в диапазоне от 20 до 1010°C примерно равны, плотности силицидов также мало различаются, а большое содержание вакансий заметно снижает их твердость. Все это дает возможность изготавливать из титана механически прочные контакты, обладающие хорошими адгезионными свойствами к кремнию. Раскислительные свойства Ti позволяют избавиться от пленки окиси кремния под металлическим покрытием. Образующиеся при взаимодействии титана с окисной пленкой на поверхности кремния комплексы $Ti_x O_y Si_z$ обладают малым электрическим сопротивлением.

Можно рассчитать величину переходного сопротивления контакта металл–полупроводник, опре-

делив предварительно высоту потенциального барьера у поверхности полупроводника [3]. Для произвольного по значению и знаку заряда на поверхности полупроводника (без учета влияния сил электростатического изображения зарядов при контакте его с металлом) изменение высоты потенциального барьера в приповерхностном слое по глубине r

$$\pm \left| \Delta U(r) \right| = \left\{ \frac{2e^2 kT}{\epsilon \epsilon_0} \left[n_0 \left(e^{-\frac{U(r)}{kT}} + \frac{U(r)}{kT} \right) + p_0 \left(e^{\frac{U(r)}{kT}} - \frac{U(r)}{kT} \right) \right] \pm \frac{2e^2}{\epsilon \epsilon_0} R(r) + C \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; ϵ – диэлектрическая проницаемость полупроводника; $U(r)$ – потенциальный барьер, обусловленный поверхностным зарядом; n_0 – концентрация электронов в зоне проводимости без учета ионизации донорной примеси; p_0 – концентрация дырок в валентной зоне без учета ионизации акцепторной примеси; T – температура подложки; $R(r)$ – потенциальный барьер, обусловленный легирующими примесями в полупроводнике; C – постоянная интегрирования.

Для собственного полупроводника $N_g = N_a = 0$ (N_g, N_a – концентрация донорной и акцепторной примесей соответственно), $R(r) = 0$, а $n_0 = p_0 = n_i$. При этом уравнение (1) принимает вид

$$\pm \left| \Delta U(r) \right| = \left[\frac{2e^2 n_i kT}{\epsilon \epsilon_0} \left(e^{\frac{U(r)}{kT} + e^{-\frac{U(r)}{kT}} + C \right) \right]^{1/2}. \quad (2)$$

Постоянная интегрирования C_1 определяется из условия, что на некотором расстоянии $r = r_1$ от поверхности полупроводника выполняется равенство $U(r_1) = \Delta U(r_1) = 0$. При $C_1 = -2$ из уравнения (2) определим значения $U(r)$ при потенциале на поверхности полупроводника $U_s > 0$.

Для малых потенциальных барьеров ($U(r) \ll kT$)

$$U(r) \approx U_0 e^{-\frac{r}{L_D}}, \quad (3)$$

где $L_D = \left(\frac{\epsilon \epsilon_0 kT}{2e^2 n_i} \right)^{1/2}$ – дебаевская длина экранирования в собственном полупроводнике; U_0 – абсолютная величина потенциала при $r = 0$ в квазинейтральной области, для которой справедливо неравенство $U(r) \ll kT$. Если квазинейтральная область доходит до поверхности полупроводника, то $U_0 = U_s$. Обычно $U(r)$ достигает значения U_0 на

расстояниях от поверхности полупроводника $r \gg (2 \div 3) L_D$ (в полупроводниках $L_D \approx 10^{-4} \div 10^{-6}$ см).

Для больших потенциальных барьеров ($U(r) \gg kT$), расположенных чаще всего на расстояниях $r \ll 2L_D$ от поверхности полупроводника,

$$U(r) \approx 2kT \ln \left(e^{\frac{U_s}{2kT}} - \frac{r}{2L_D} \right). \quad (4)$$

Для примесного полупроводника (например, донорного) с полностью ионизованными примесями исходное дифференциальное уравнение для определения изменения потенциального барьера по глубине поверхностного слоя запишется следующим образом:

$$\pm \left| \Delta U \right| = \left\{ \frac{2e^2 kT n_0}{\epsilon \epsilon_0} \left[e^{-\frac{U(r)}{kT}} + \frac{U(r)}{kT} + \frac{n_i^2}{N_D^2} \left(e^{\frac{U(r)}{kT}} - \frac{U(r)}{kT} \right) + C_2 \right] \right\}^{1/2}. \quad (5)$$

Постоянная интегрирования C_2 находится аналогично постоянной C_1 из условия $U(r_2) = \Delta U(r_2) \approx 0$ и равна $-(1 + \frac{n_i^2}{N_D^2})$.

Для значений $U(r) \ll kT$ при $U_s > 0$

$$\Delta U \approx \left\{ \frac{2e^2 kT n_0}{\epsilon \epsilon_0} \right\}^{1/2} \cdot \left(-\frac{U(r)}{kT} \right) = -\frac{1}{L_D} U(r) = -\frac{\sqrt{2}}{L_{D \text{ пр}}} U(r), \quad (6)$$

где $L_{D \text{ пр}} = \left(\frac{\epsilon \epsilon_0 kT}{e^2 n_0} \right)^{1/2}$ – дебаевская длина экранирования в примесном полупроводнике.

Решение уравнения (6) приводит к соотношению (3).

Для $U(r) \gg kT$ при $U_s > 0$ и $n_i/N_D \approx 1$ уравнение (5) принимает вид

$$\Delta U \approx \left\{ \frac{2e^2 kT n_0}{\epsilon \epsilon_0} \right\}^{1/2} \left(\frac{n_i}{N_D} e^{\frac{U(r)}{2kT}} \right). \quad (7)$$

Решение этого уравнения запишется как

$$U(r) \approx 2kT \ln \left(e^{\frac{U_s}{2kT}} - \frac{n_i}{N_D} \cdot \frac{r}{2L_D} \right) \approx 2kT \ln \left(e^{\frac{U_s}{2kT}} - \frac{n_i}{N_D} \cdot \frac{r}{\sqrt{2} L_{D \text{ пр}}} \right). \quad (8)$$

Если при $U(r) \gg kT$ концентрация легирующей примеси намного превышает собственную концентрацию носителей ($N_D/n_i \gg 1$), то из уравнения (5) имеем

$$\Delta U \approx \left\{ \frac{2e^2 n_0}{\epsilon \epsilon_0} \right\}^{1/2} U^{1/2}(r) \approx \frac{\sqrt{2} (kT)^{1/2} U^{1/2}(r)}{L_{D \text{ пр}}}. \quad (9)$$

Решением этого уравнения является

$$U = \left(\sqrt{U_s} - \frac{\sqrt{kT}}{\sqrt{2} L_{D \text{ пр}}} r \right)^2. \quad (10)$$

При $r/L_{D \text{ пр}} \leq 0,4$ это соотношение с достаточной степенью точности может быть записано в виде

$$U = U_s - \sqrt{2kT U_s} \cdot \frac{r}{L_{D \text{ пр}}}. \quad (11)$$

Аналогично, в случае акцепторного полупроводника при $U_s < 0$ имеем

$$U(r) \approx -|U_0| e^{-\frac{r}{L_0}} \quad \text{для } |U(r)| \ll kT; \quad (12)$$

$$U(r) \approx -|U_s| + \sqrt{2kT|U_s|} \frac{r}{L_{D \text{ пр}}}$$

$$\text{для } |U(r)| \gg kT \left(\frac{n_i}{N_a} \ll 1; \frac{r}{L_{D \text{ пр}}} \leq 0,4 \right). \quad (13)$$

Анализ соотношений (3), (4), (8), (10) – (13) показывает, что на большом удалении от поверхности полупроводника распределение потенциала для собственных и примесных полупроводников подчиняются одному и тому же экспоненциальному закону (3). На малых расстояниях от поверхности при малой концентрации ионизованных примесей ($\frac{n_i}{N_d} \approx 1, \frac{n_i}{N_a} \approx 1$) значения потенциала $U(r)$ для соб-

ственного и примесного полупроводников также мало различаются, как видно из соотношений (4) и (8). При высокой концентрации ионизованных примесей ($\frac{n_i}{N_d} \ll 1, \frac{n_i}{N_a} \ll 1$) потенциальный барьер, обусловленный поверхностным зарядом, изменяется как квадратичная функция расстояния от поверхности (например, в соответствии с выражением (10) для донорного полупроводника). В этом случае у поверхности полупроводника $U(r)$ можно представить линейной функцией расстояния r с погрешностью не более 10%.

Из сравнения соотношений (8) и (10) видно, что при увеличении степени легирования донорного полупроводника уменьшается глубина проникновения поля поверхностного заряда. Аналогичные выводы можно сделать и для акцепторного полупроводника, исследуя соотношения (12) и (13).

Распределение потенциала особенно важно знать в приконтактных областях СВЧ приборов, у которых рабочие области малы, с тем чтобы подбором степени легирования регулировать толщину переходного слоя омического контакта и запирающего слоя Шотки.

Рассчитаем распределение потенциала в приконтактных областях для систем Ni-Si (n -типа), Ni-Si (p -типа) и Al-Si (p -типа).

Значение поверхностного потенциала U_s находим приближенно как контактную разность потенциалов в системе металл-полупроводник, оцениваемую разностью работ выхода. Потенциалы U_s определенной контактной пары для полупроводников различного типа проводимости различаются по знаку, так как при соотношении $\Phi_{\text{пп}} > \Phi_{\text{ме}}$ в полупроводнике n -типа возникает обогащенный слой, а при $\Phi_{\text{пп}} < \Phi_{\text{ме}}$ – слой, обедненный электронами; в полупроводнике p -типа обедненный слой обусловлен $\Phi_{\text{пп}} > \Phi_{\text{ме}}$, а обогащенный $\Phi_{\text{пп}} < \Phi_{\text{ме}}$.

Для упрощения расчетов при $r \gg L_D$ не учитывался экспоненциальный закон уменьшения потенциального барьера $U(r)$.

Результаты расчета положения уровня Ферми в кремнии, легированном фосфором, и в кремнии, легированном бором (поскольку положение уровня Ферми и значение работы выхода зависят от концентрации примесей в полупроводниковом материале), показали (рис. 1–3), что высота и форма потенциального барьера меняются с изменением электрофизических характеристик полупроводника, однако у его поверхности эти изменения незначительны. Поскольку с увеличением концентрации примеси толщина потенциального барьера заметно уменьшается, для точного определения U_s при расчете сопротивления контактов необходимо учитывать поверхностные уровни и другие возможные воздействия на величину поверхностного потенциала:

$$U_s = e\Phi_{\text{ме}} - e \left(\chi + \frac{E_{\text{ф}}}{e} + W \frac{Q}{e} + \frac{kT}{\epsilon} \right),$$

где $e\chi$ – энергия электронного сродства; $E_{\text{ф}}$ – энергетическое положение уровня Ферми, отсчитанно от дна зоны проводимости; eWQ/ϵ – энергетические уровни поверхностных состояний; Q – удельный заряд в приповерхностном слое полупроводника; W – толщина приповерхностной области с зарядом Q ($W \approx 0,4-0,6$ нм); ϵ – диэлектрическая проницаемость слоя толщиной W ($\epsilon \approx \epsilon_0$); kT – тепловая энергия электронов.

Удельное сопротивление переходного слоя контакта металл-полупроводник рассчитывается из соотношения $1/\rho = enDv/E_p$, где nD – концентрация электронов, прошедших потенциальный барьер; D – коэффициент прозрачности потенциального барьера; v – скорость электронов в области потенциального барьера. Произведение $enDv$ представляет собой плотность тока электронов, прошедших потенциальный барьер, которая может быть представлена в виде, характерном для определенной физической модели токопрохождения: изотермической термоэлектронной эмиссии Бете – $j_{\text{Б}}$ изотермической диффузии Шотки – $j_{\text{Ш}}$ или термоэлектронной эмиссии – диффузии Кровелла – $j_{\text{К}}$.

Зная потенциальный барьер у поверхности полупроводника, можно по известным соотношениям

ям рассчитать значения D , v , j_B , $j_{ш}$ и j_K . Значение E_p определяется из зависимости $U(r)$ или по известному соотношению для резкого p - n перехода.

Результаты расчета плотности тока и переходного сопротивления контактов Ni-Si n -типа с подслоем титана, Al-Si n -типа с подслоем молибдена и данные эксперимента приведены в табл. 2, 3. Из сравнения этих данных видно, что для контактов на кремнии марки КЭФ-30 они достаточно хорошо согласуются между собой при расчете плотности тока в соответствии с теорией изотермической диффузии Шотки, а для контактов на кремнии марки КЭФ-0,02 – при расчете плотности тока в соответствии с теорией термоэлектронной эмиссии-диффузии Кровелла. Поэтому при расчете сопротивления контактов в зависимости от концентрации примеси для слаболегированных полупроводников использовалась термодиффузионная теория Шотки, для сильнолегированных – термоэмиссионная теория Кровелла, а при среднем уровне легирования – теория термоэлектронной эмиссии Бете.

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения плотности токов и удельных сопротивлений контактов никель – кремний КЭФ-30 с подслоем титана

U , 10^{-3} В	$j_{ш}^*$, 10^{-4} А/см ²	j_B^* , 10^{-4} А/см ²	j_K^* , 10^{-4} А/см ²	$\rho_{ш}^*$, Ом.см	ρ_B^* , 10^{-2} Ом.см	ρ_K^* , Ом.см	$j_{экс}^*$, 10^{-4} А/см ²	$\rho_{к\ экс}^*$, Ом.см
1	1,5	1,54	1,51	1,99	2,16	0,402	1,4	1,12
2	3,2	3,00	2,80	1,60	1,80	0,420	3,0	1,40
3	4,6	4,20	4,80	1,30	1,50	0,436	4,2	1,20
4	6,2	5,60	6,60	1,20	1,20	0,430	5,8	1,10
5	8,0	7,40	8,20	0,98	1,08	0,400	7,1	0,96
6	9,6	8,50	9,00	1,00	1,10	0,360	8,6	1,05
7	12,0	9,20	9,30	0,95	1,00	0,397	10,0	0,98
8	13,4	10,30	11,00	0,96	0,94	0,380	9,6	0,94
9	14,0	11,70	12,00	0,95	0,96	0,398	11,6	1,00

Таблица 3

Расчетные и экспериментальные значения плотности токов и удельных сопротивлений контактов алюминий – кремний КЭФ-0,02 с подслоем молибдена

U , 10^{-3} В	$j_{ш}^*$, 10^{-4} А/см ²	j_B^* , 10^{-4} А/см ²	j_K^* , 10^{-4} А/см ²	$\rho_{ш}^*$, Ом.см	ρ_B^* , 10^{-2} Ом.см	ρ_K^* , 10^{-2} Ом.см	$j_{экс}^*$, 10^{-4} А/см ²	$\rho_{к\ экс}^*$, 10^{-2} Ом.см
1	7,5	7,8	7,4	2,00	28	1,40	10	1,20
2	12,0	15,0	13,2	1,80	24	1,20	14	1,40
3	22,0	24,0	21,0	1,60	22	0,98	23	1,00
4	36,0	56,0	38,0	1,20	20	1,35	32	1,20
5	67,0	73,0	63,0	1,12	21	1,20	47	0,96
6	92,0	107,0	86,0	1,16	23	1,25	62	1,08
7	128,0	140,0	114,0	1,20	24	1,00	86	0,98
8	141,0	165,0	132,0	1,10	25	1,10	124	1,00
9	176,0	191,0	153,0	0,98	22	0,998	164	0,86

По результатам разработки контактов металл – полупроводник и исследования режимов их формирования составлен атлас, в котором отражена взаимосвязь технологии изготовления контактов со структурой и свойствами переходного слоя. Знание этой взаимосвязи позволяет сократить время отработки технологии, учесть различные технологические факторы, влияющие на структуру переходного слоя и качество контактов.

Рассмотрим указанную взаимосвязь структуры и значения переходного сопротивления с температурой и временем отжига напыленных пленок на примере контакта алюминий – кремний (пленки алю-

миния получали термическим испарением в вакууме $4 \cdot 10^{-3}$ Па на подложки из кремния n -типа с ориентацией $\langle 111 \rangle$).

Анализ структуры пленки алюминия и значений переходного сопротивления слоя алюминий-кремний показывает, что пленки, отожженные в течение 5 мин при температурах 300–400°C (отжиг проводился в вакууме при остаточном давлении $7,8 \cdot 10^{-3}$ Па), образуют с подложкой хороший омический контакт, который сопровождается разрушением диэлектрического слоя двуокиси кремния на поверхности полупроводника. Увеличение времени отжига приводит к ухудшению электрических

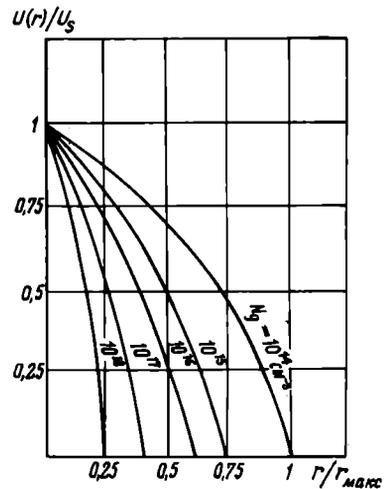


Рис.1. Изменение потенциального барьера по глубине полупроводника в контакте никель – кремний n -типа ($U_s = 7,38 \cdot 10^{-1}$ эВ, $r_{\max} = 4,8$ мкм)

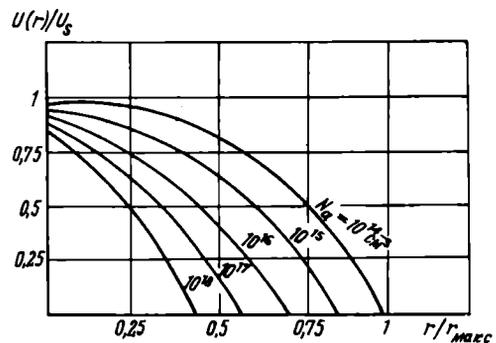


Рис.2. Изменение потенциального барьера по глубине полупроводника в контакте никель – кремний p -типа ($U_s = -7,56 \cdot 10^{-1}$ эВ, $r_{\max} = 4,8$ мкм)

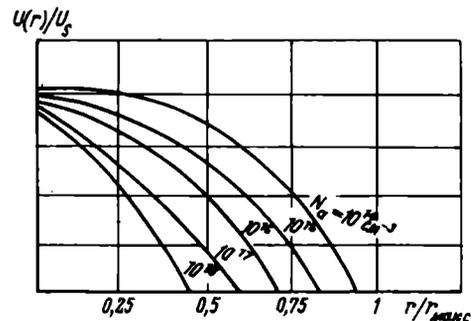


Рис.3. Изменение потенциального барьера по глубине полупроводника в контакте алюминий – кремний p -типа ($U_s = -7,56$ эВ, $r_{\max} = 4,8$ мкм)

характеристик контактов вследствие образования твердого раствора кремний-алюминий и выпадения частиц кремния на границах зерен алюминия. В пленках, напыленных при температуре подложки 200°C , выпадение кремния по границам зерен алюминия проявляется при более низких температурах отжига, чем в пленках, полученных при температурах подложки 100°C . Исследования, проведенные с помощью электронной микроскопии (рис. 4), показали, что при этой температуре образуются поликристаллические неориентированные слои алюминия с зернами размером около $1,2\text{ мкм}$, в которых наблюдаются скопления и петли дислокаций. Пленки, кристаллизующиеся при температуре 200°C , характеризуются большим размером зерен — $1,7\text{ мкм}$ (рис. 5, а), с большим числом дислокационных скоплений.

При нагреве пленок алюминия, осажденных на поверхность кремния, происходит перераспределение дефектов кристаллической структуры. Плотность дислокаций внутри зерен уменьшается, петли дислокаций распадаются, и вакансии, мигрируя по границам зерен, выходят на поверхность. Поэтому после термической обработки структура становится более однородной, чем до отжига. С увеличением температуры отжига происходит рост зерен алюминия вследствие миграции межзерных

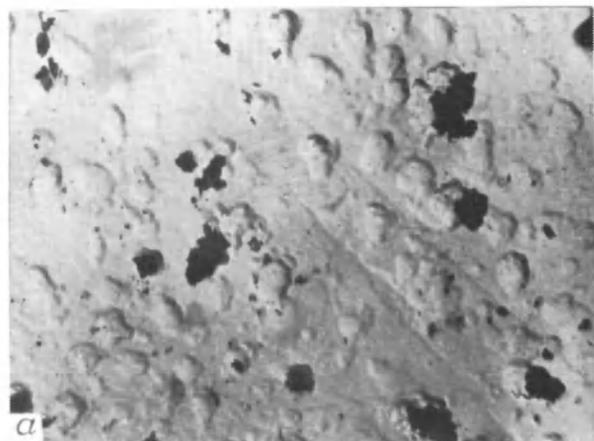


Рис. 4, а. Структура пленки алюминия, напыленной на кремний при температуре подложки 100°C ($\times 6000$)

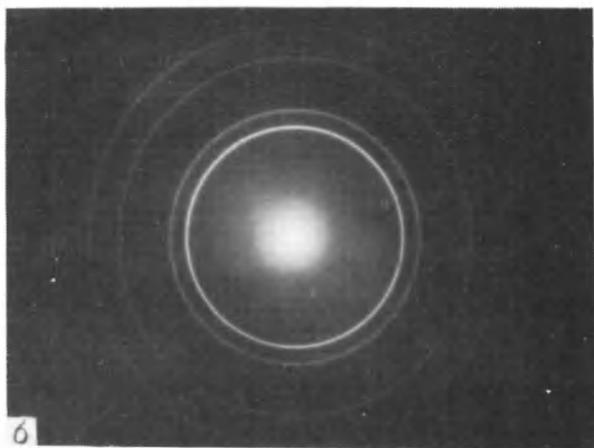


Рис. 4, б. Электронограмма от пленки алюминия, напыленной на кремний при температуре подложки 100°C

границ; в диапазоне температур $300\text{--}500^{\circ}\text{C}$ размер зерен увеличивается до $2,1\text{ мкм}$.

Электронно-микроскопические исследования свидетельствуют о том, что в пленках алюминия, отожженных при температуре 300°C , вблизи границ зерен появляются темные частицы, а при температуре отжига 400°C в зернах наблюдаются

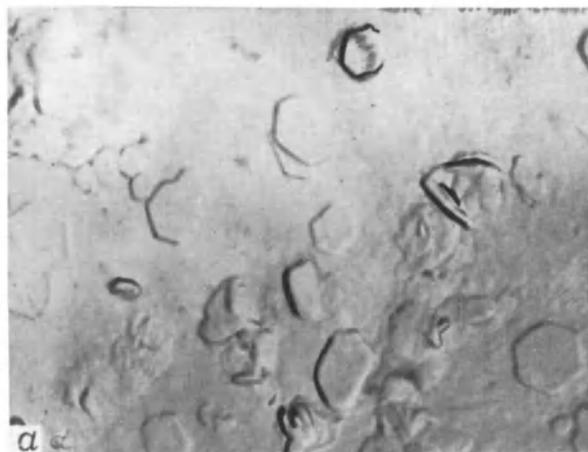


Рис. 5, а. Структура пленки алюминия, напыленной на кремний при температуре подложки 200°C ($\times 6000$)

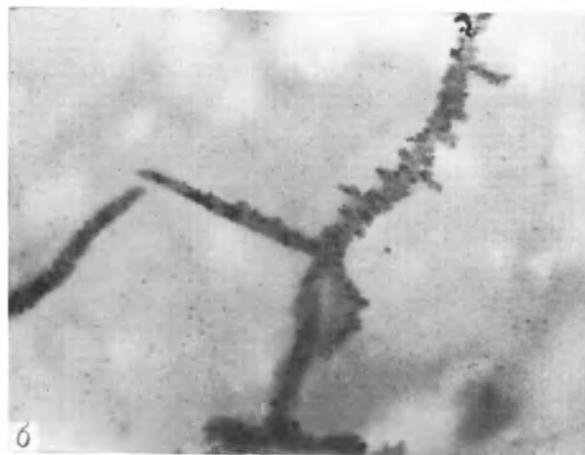


Рис. 5, б. Частицы кремния по границам зерен отожженных пленок алюминия ($\times 50000$) при $T_{\text{подл}} = 200^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{отж}} = 500^{\circ}\text{C}$

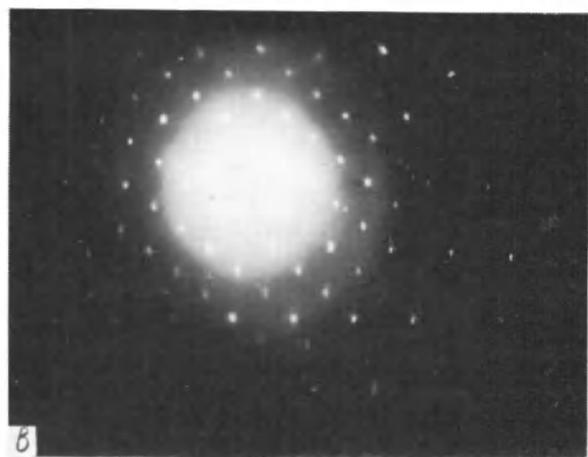


Рис. 5, в. Электронограмма от частиц кремния, выпавших по границам зерен алюминия, полученного термическим напылением на кремний при $T_{\text{подл}} = 200^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{отж}} = 500^{\circ}\text{C}$

темные скопления. Можно предположить, что это частицы кремния, выпавшего из пересыщенного твердого раствора кремния и алюминия. Повышение температуры отжига до 500°C и выше приводит к тому, что в пленках алюминия зерна становятся почти полностью окаймленными выпавшим из твердого раствора кремнием (рис. 5, б, в).

Исследование переходного сопротивления контактов алюминий – кремний в зависимости от времени отжига показало, что при повышении температуры отжига от 200 до 500°C (время отжига 5–10 мин) наблюдается уменьшение контактного сопротивления на один–два порядка (рис. 6) вследствие разрушения окисного слоя на поверхности кремния и взаимной миграции алюминия и кремния. Увеличение времени отжига от 15 до 25 мин приводит к увеличению сопротивления контактов алюминий–кремний из-за образования пленки твер-

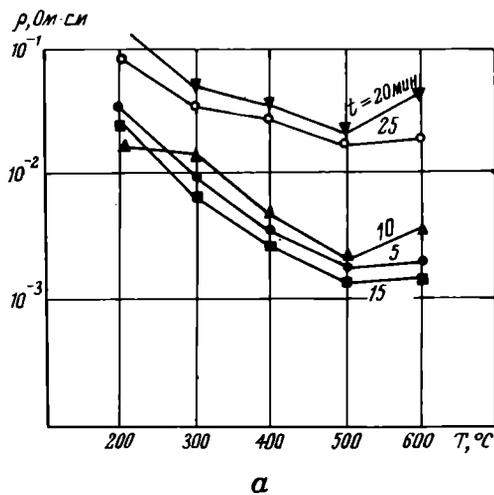


Рис. 6, а. Зависимость переходного сопротивления контакта алюминий–кремний от температуры отжига и длительности выжигания ($T_{\text{подл}} = 100^{\circ}\text{C}$)

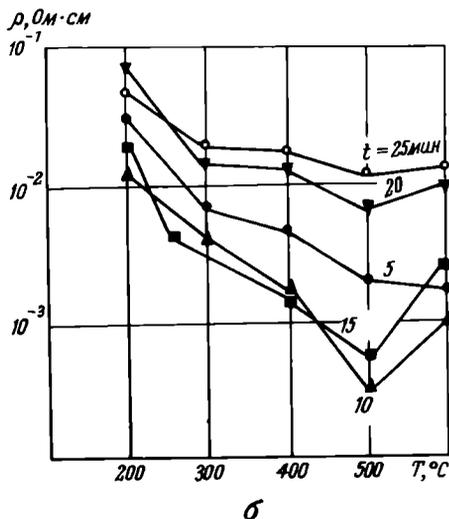


Рис. 6, б. Зависимость переходного сопротивления контакта алюминий–кремний от температуры отжига и длительности выжигания ($T_{\text{подл}} = 200^{\circ}\text{C}$)

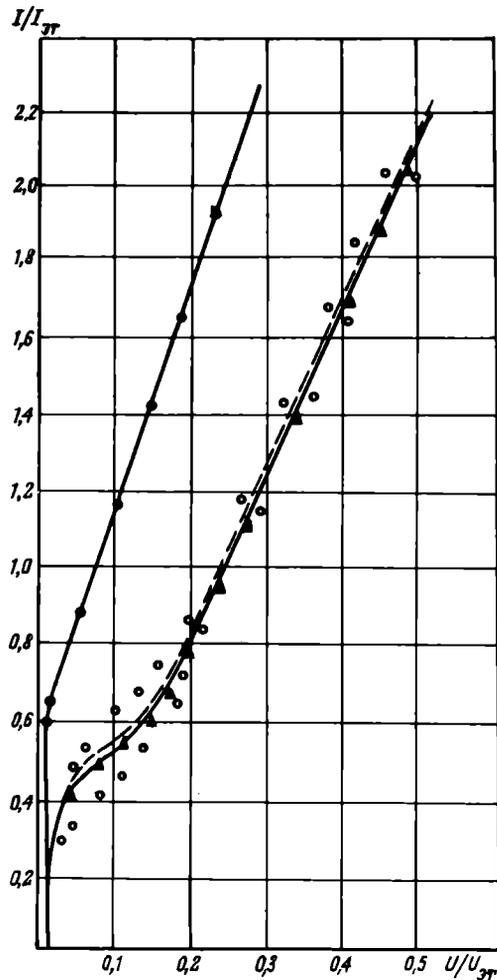


Рис. 7. Расчетные (—) и экспериментальная (— — —) вольт-амперные характеристики контактов никель – кремний КЭФ–0,05 (эталонное значение тока $I_{\text{ЭТ}} = 100 \cdot 10^{-6}$ А, эталонное значение напряжения $U_{\text{ЭТ}} = 100 \cdot 10^{-4}$ В): $\bullet\bullet\bullet$ – значения, рассчитанные по теории термоэлектронной эмиссии-диффузии; $\blacktriangle\blacktriangle$ – значения, рассчитанные по теории термоэлектронной эмиссии; $\circ\circ\circ$ – точки экспериментальной кривой, полученные компенсационным методом

дого раствора кремния в алюминии и скопления частиц кремния по границам зерен.

Из сравнения расчетных вольт-амперных характеристик и значений переходного сопротивления контактов с экспериментальными результатами (табл. 2, 3, рис. 7) следует, что соотношения, приведенные для оценки потенциального барьера, плотности тока и переходного сопротивления невыпрямляющих и выпрямляющих контактов могут быть использованы при разработке контактов металл–полупроводник.

ЛИТЕРАТУРА

- Исследование промежуточных слоев между GaAs и металлом омического контакта / О.Д. Баранцева, В.Б. Бердацев, В.К. Грушко, В.Н. Конова, В.И. Шепшелей – Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1975, вып. 7, с. 62–67.
- Изготовление омических контактов к кремнию и исследование их параметров / О.Д. Баранцева, Г.А. Крысов, Н.И. Медведева, В.И. Скориков, Л.А. Уракова – Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1974, вып. 11, с. 72–77.
- Баранцева О.Д., Скориков В.И. Расчет переходного сопротивления контакта металл–полупроводник. – Активированные процессы технологии микроэлектроники: Межвузовск. сб. 1978, вып. 3, с. 167–179 (Таганрог).

Статья поступила 17 сентября 1981 г.

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 681.326.7

Н.Н.Данилин, Л.М.Попель, В.И.Простаков

УСТАНОВКА «ЭЛЕКОН СФ-ЗУ» ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БИС ОЗУ

Предлагаемая установка предназначена для контроля функционирования и измерения статических параметров БИС ОЗУ в условиях массового производства схем, при проведении исследовательских работ и для входного контроля потребителями схем памяти.

По мере увеличения объема памяти БИС ОЗУ эффективность установок функционального контроля, используемых в промышленности для оценки работоспособности схем, существенно уменьшается. Это объясняется большими затратами времени на функциональный контроль БИС ОЗУ. Так, в случае контроля БИС ОЗУ с объемом памяти 4 и 16 кбит с помощью алгоритмов типа N^2 (например, "Попарное считывание с модификацией") требуется выполнить $2(3N^2 + 3N) \geq 10^6$ циклов (где N — число ячеек памяти в контролируемой БИС ОЗУ) [1]. При частоте функционального контроля 1 МГц на эти цели будет затрачено 105 с и 25 мин соответственно.

Значительно ускоряют функциональный контроль БИС ОЗУ алгоритмы типа $N^{3/2}$. Так, в случае функционального контроля БИС ОЗУ с помощью алгоритма "Сдвигаемая диагональ" необходимо выполнить $(2N^{3/2} + 3N)$ циклов [1] и затратить 0,5 с на проверку БИС ОЗУ объемом 4 кбит и 4,1 с — при объеме 16 кбит (без учета времени контактирования). Однако в условиях крупносерийного производства, а также при контроле БИС ОЗУ с объемом памяти выше 16 кбит эффективность оборудования вновь ухудшается: при объеме памяти 256 кбит необходимо затратить на проверку одной схемы более 200 с. Когда же для более достоверной оценки работоспособности таких схем необходимо провести контроль их функционирования несколькими различными алгоритмами типа $N^{3/2}$, то время функционального контроля возрастает еще больше.

Частично компенсировать отрицательное влияние перечисленных факторов на производительность оборудования позволяют псевдопараллельный контроль нескольких частей поля памяти и

одновременный контроль функционирования нескольких БИС ОЗУ.

При использовании последнего способа, учитывая, что для достоверной оценки работоспособности схем с объемом памяти более 16 кбит затрачивается много времени, конструкция установки контроля должна обеспечивать одновременную проверку годности не менее двух БИС. Для этого в состав установки включается такое число драйверов и компараторов, которое соответствует суммарному числу входов и выходов одновременно контролируемых схем. Входы драйверов объединяются в группы и подключаются к соответствующим выходам формирователя контрольных последовательностей сигналов, а установленные для каждого выхода компараторы соединяются с соответствующими триггерами, фиксирующими результаты контроля. Последовательно с помощью алгоритмов типа N [1] выполняют ускоренный (грубый) функциональный контроль схем. Чтобы выявить схемы, имеющие короткие замыкания, контролируют токи, потребляемые входами, и токи питания. На эти операции затрачивают время t_{Γ} . Схемы, имеющие дефекты, за время $t_{\text{кон}}$ заменяют новыми. После того, как во всех контактирующих устройствах будут установлены схемы, прошедшие ускоренный контроль, за время $t_{\text{с}}$ проводится последовательный полный контроль статических параметров и за время $t_{\text{Т}}$ одновременный (параллельный) контроль функционирования m БИС ОЗУ, установленных в контактирующем устройстве установки, по любому из алгоритмов типа N^2 или $N^{3/2}$.

В случае одновременного контроля электрических параметров m схем время контроля одной схемы может быть приближенно определено по формуле

$$t_{\text{к}} = k_{\Gamma} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{Т}} \left(\frac{t_{\text{кон}}}{\frac{1}{mk_{\Gamma}k_{\text{с}}}} + t_{\Gamma} + \frac{t_{\text{с}}}{k_{\Gamma}} + \frac{t_{\text{Т}}}{k_{\Gamma}k_{\text{с}}m} \right),$$

где k_{Γ} , $k_{\text{с}}$, $k_{\text{Т}}$ — коэффициенты запуска БИС на операциях ускоренного контроля, контроля статических параметров и точного функционирования соответственно; $t_{\text{кон}}$ — время контактирования контролируемых схем.

Из сравнения зависимости времени контроля БИС от коэффициентов запуска при автоматическом и ручном контактировании контролируемых схем (рис. 1) видно, что наибольшая производительность установок, реализующих параллельный контроль функционирования БИС, достигается в том случае, если суммарное время контактирования, ускоренного контроля и контроля статических параметров значительно меньше времени контроля функционирования. При этом на время контроля БИС существенно влияют коэффициент запуска k_T при автоматическом и k_T, k_C и k_T при ручном контактировании. Минимально возможные затраты времени на контроль одной БИС обеспечиваются при $k_T - k_C = k_T - 1$. При $k_T = 4$ преимущества оборудования, осуществляющего параллельный контроль до четырех БИС, реализовать не удастся, т.к. при таком коэффициенте запуска на операции точного контроля время контроля функционирования БИС становится равным времени последовательного контроля. Это значит, что оборудование, реализующее параллельный контроль, может эффективно эксплуатироваться только в тех случаях, когда в процессе контроля схем предусмотрено автоматическое контактирование, а качество технологического процесса производства БИС и методики контроля функционирования и статических параметров обеспечивают на операции точного контроля функционирования получение коэффициента запуска, близкого к единице.

Следовательно, в условиях массового производства БИС, особенно при производстве БИС ОЗУ повышенной степени интеграции, необходимы установки, позволяющие:

- оценивать работоспособность БИС одновременно на двух и более рабочих местах (контактирующих устройствах);
- проводить ускоренный алгоритмический функциональный контроль БИС;
- контролировать статические параметры схем;
- иметь выходные устройства на каждом рабочем месте, которые могли бы быть размещены на автоматических зондовых контактных устройствах, сортировщиках, проходных камерах и т.п.

Эти требования удовлетворяются в установке "Электрон СФ-ЗУ" (рис. 2), предназначенной для контроля функционирования и статических параметров БИС ОЗУ.

В состав установки входят следующие устройства (рис. 3):

- панель алгоритмического управления, представляющая собой специализированный процессор, позволяющий генерировать на частотах до 12,5 МГц алгоритмические контрольные последовательности сигналов типа $N; N^2; N^{3/2}$. В качестве панели алгоритмического управления в "Электрон СФ-ЗУ" использована установка "Электрон Ф-ЗУМ" [2];

- блок синхронизации, вырабатывающий синхронизирующие импульсы $\Phi 1 \dots \Phi 6$ с программируемой задержкой и длительностью, а также

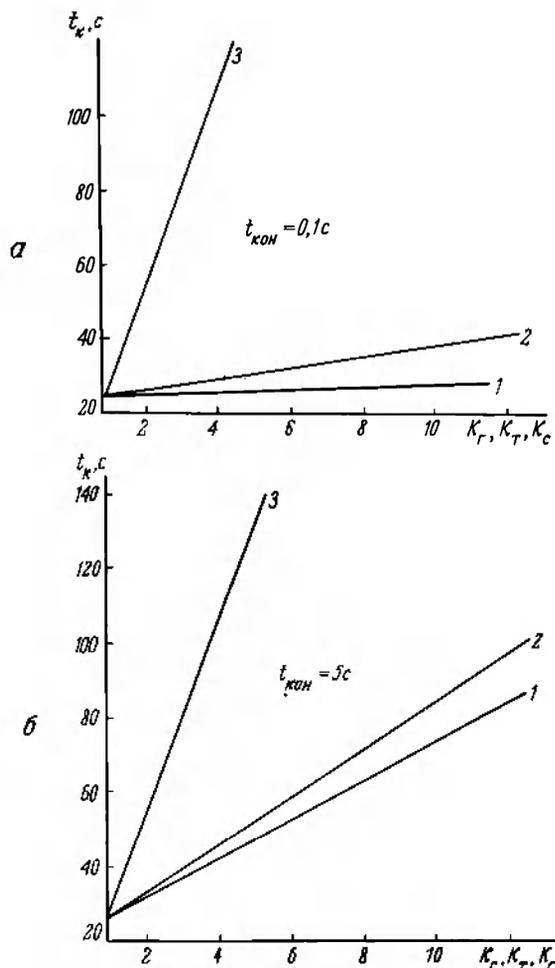


Рис. 1. Зависимость времени контроля БИС ОЗУ от коэффициентов запуска при автоматическом (а) и ручном (б) контактировании контролируемых схем: 1 - $k_T = 1 \div 12, k_C = k_T = 1$; 2 - $k_C = 1 \div 12; k_T = k_T = 1$; 3 - $k_T = 1 \div 4; k_T = k_C = 1$ ($t_{кон} = 0,1c$; $t_C = 1c$; $t_T = 100c$; $m = 4$)



Рис. 2. Внешний вид установки "Электрон СФ-ЗУ"

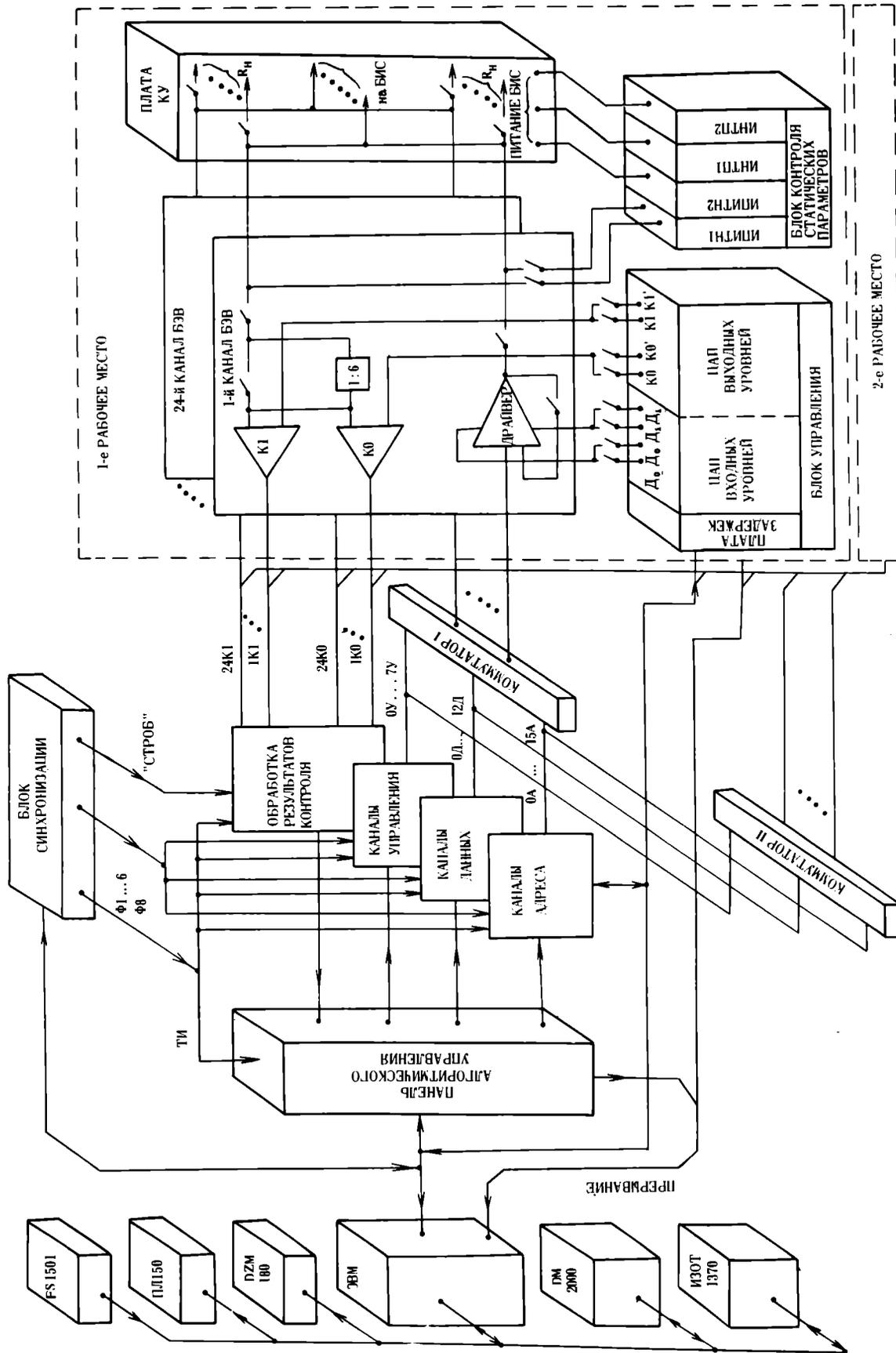


Рис. 3. Функциональная схема установки "Электрон С4-3У"

импульсы с программируемой задержкой Ф7 "Строб" и Ф8. С помощью импульсов Ф1...Ф8 создается необходимый рисунок слова в процессе контроля БИС. Импульсы Ф8 используются для получения режима мультиплексирования адресов, а "Строб" — для цифрового компарирования контролируемых сигналов;

— *платы — каналы адреса, данных и управления* обеспечивают логическое преобразование сигналов фаз Ф1...Ф8 и адреса (А), данных (Д), управления (У) с целью получения необходимых временных соотношений сигналов, подаваемых на входы контролируемой БИС.

По каналам адреса и данных может быть запрограммирован любой из 15 форматов в соответствии с табл. 1, а по каналам управления — любой из 8 форматов в соответствии с табл. 2.

Таблица 1

Формат	Функция	Формат	Функция	Формат	Функция	Формат	Функция
M0	Д	M4	Ф	M8	$\bar{Д}$	M12	$\bar{Ф}$
M1	Ф · Д	M5	1	M9	$\overline{Ф · Д}$	M13	0
M2	$\bar{Ф} · Д$	M6	Ф _v · Д	M10	$\overline{Ф · \bar{Д}}$	M14	$\overline{Ф · \bar{Д}}$
M3	Ф $\bar{Ф}$ · Д	M7	Ф _v · $\bar{Д}$	M11	$\overline{Ф · \bar{Д}}$	M15	$\overline{Ф · \bar{Д}}$

Таблица 2

Формат	Функция	Формат	Функция
M0	Д	M8	$\bar{Д}$
M1	Ф · Д	M9	$\overline{Ф · Д}$
M4	Ф	M12	$\bar{Ф}$
M5	1	M13	0

В плате "Обработка результатов контроля" происходит цифровое сравнение ожидаемых данных с сигналами, поступающими от контролируемой БИС. Сравнение происходит в заранее заданный (запрограммированный) момент времени по сигналу "Строб", вырабатываемому блоком синхронизации. Задержку строб-импульса можно менять, например, в процессе исследования свойств контролируемой схемы;

— *коммутаторы I и II*, необходимые для подключения к соответствующим каналам блока электроники выводов (БЭВ) и через них — к выводам контролируемых БИС логических сигналов с панели алгоритмического управления. (Для подавляющего большинства схем ОЗУ переключение коммутаторов не требуется);

— *два рабочих места*, каждое из которых конструктивно выделено и состоит из выносного 24-канального БЭВ, блоков управления и контроля статических параметров. БЭВ предназначен для согласования с помощью драйверов по уровням входных сигналов контролируемой схемы и аналогового контроля с помощью компараторов К0, К1 выходных сигналов БИС. Выдача сигналов драйверами и контроль сигналов компараторами может вестись на частотах до 12,5 МГц как при контроле схем на рабочем месте, так и при размещении БЭВ на установке зондового контакти-

рования типа ЭМ-680, автоматическом сортировщике или проходной термокамере;

— *блок управления*, который объединяет в себе набор цифро-аналоговых преобразователей для задания уровней входных (Д0, Д0', Д1, Д1') и выходных (К0, К0', К1, К1') сигналов для всех каналов БЭВ. В зависимости от программы контроля БИС ОЗУ указанные уровни сигналов могут быть изменены перепрограммированием соответствующих ЦАП или подключением одного из двух (Д0 или Д0'; Д1 или Д1'; К0 или К0'; К1 или К1') заранее запрограммированных цифроаналоговых преобразователей;

— *блок контроля статических параметров*, который с помощью программируемых источников напряжения и тока (ИНТП) обеспечивает питание контролируемых БИС, а благодаря применению преобразователей измерителей токов и напряжений (ИПИТН) — высокоэффективный контроль статических параметров схем. Блоки контроля статических параметров и электроники выводов заимствованы из системы "Электрон СФ" [3];

— *плата контактного устройства (КУ)*, необходимая для размещения контактирующих устройств и нагрузок, требуемых для создания режимов контроля БИС, соответствующих нормативной документации.

Управление работой устройства установки "Электрон СФ-ЗУ" осуществляется ЭВМ, укомплектованной стандартным набором периферийных устройств: фотосчитывающим устройством FS-1501, перфоратором ПЛ-150, устройством быстрой печати DZM-180, дисплеем DM-2000 и магнитным диском ИЗОТ-1370.

Программно-математическое обеспечение установки состоит из стандартного программного обеспечения ЭВМ и системного программного обеспечения и включает в свой состав управляющую программу, набор аттестационных программ, программ статистической обработки результатов контроля параметров БИС, а также программы самоконтроля и диагностики неисправностей системы и отдельных ее устройств.

Управляющая программа позволяет максимально упростить процесс программирования, снизить трудоемкость разработки программ контроля и уменьшить требования к квалификации разработчиков программ. Большая часть процесса составления программ автоматизирована. Высокая эффективность управляющей программы достигнута благодаря созданию языка высокого уровня "Электрон Ф", ориентированного на реализацию контрольно-измерительных операций.

Аттестационные программы применяются для оценки соответствия точностных характеристик установки паспортным данным. ЭВМ сравнивает значения выходных параметров или отклонения

этих значений от заданных в ТУ, и выводит результаты на дисплей для оперативной оценки работоспособности установки или распечатывает материалы аттестации для документирования. В случае отрицательных результатов аттестации включаются программы самоконтроля и диагностики неисправностей. Они позволяют определить неисправное устройства или вышедший из строя узел (печатную плату).

Программы статистической обработки результатов контроля позволяют исследовать зону устойчивой работы схемы в процессе разработки или производства БИС, систематизировать информацию и осуществлять ее анализ, определять динамику изменений технологического процесса производства и т.д. [4].

Параллельный функциональный контроль БИС ОЗУ осуществляется заданием с панели алгоритмического управления контрольной последовательности сигналов одновременно на оба рабочих места. Для оценки результатов параллельного функционального контроля программируется задание сигнала "Строб" на соответствующие цифровые компараторы платы обработки результатов контроля. Кроме параллельного функционального контроля нескольких БИС одного типа, установка "Электрон СФ-ЗУ" позволяет реализовать ряд иных режимов работы. Например, на одном рабочем месте может выполняться контроль статических параметров, а на втором рабочем месте — одновременно ускоренный контроль функционирования БИС. Благодаря применению в каждом рабочем месте устройств контроля статических параметров предоставлена возможность одновременно контролировать эти параметры у двух схем. Это особенно важно тогда, когда время контроля статических параметров становится соизмеримым с временем точного контроля функционирования или при одновременном контроле на установке различных типов БИС. Следовательно, применение в составе установок двух устройств контроля статических параметров БИС в большинстве случаев способствует сохранению высокой эффективности установки "Электрон СФ".

Техническая характеристика

Число рабочих мест	2
Число универсальных каналов	24
Максимальная частота функционального контроля БИС ОЗУ, МГц	12,5
Драйверы	
Диапазон задания напряжения, В	от +16 до -16
Погрешность задания напряжения в импульсном режиме, мВ	$\pm(0,02 U_{\text{вых}} + 100)$
Погрешность задания напряжения в статическом режиме, мВ	$\pm(0,02 U_{\text{вых}} + 20)$
Ток нагрузки, мА	
вытекающий	30
втекающий	10
Выходное сопротивление, Ом	не более 25

Компараторы

Диапазон контролируемых напряжений, В	
без делителя	± 3
с делителем	± 16
Погрешность контроля, мВ	
без делителя	$\pm(0,02 U_{\text{к}} + 10)$
с делителем	$\pm(0,05 U_{\text{к}} + 60)$

Блок синхронизации

Число фаз	6
Число стробов	2 (мультиплексирование и считывание)
Задание периода импульсов синхронизации, мс	
	80—5110 (в 7 диапазонах)
Погрешность задания периода	$\pm(0,02T + \text{ед. дискретности})$
Задание длительности фазы, нс	20 — 8190
Погрешность задания длительности фазы	$\pm(0,03 \tau_{\text{и}} + 2 \text{нс})$
Число источников питания контролируемых БИС на каждом рабочем месте	
	3

Блок контроля статических параметров

Диапазон контролируемых напряжений при задании тока, В	
	от ± 4 до ± 20
Погрешность контроля, мВ	
	$\pm(3 \cdot 10^{-3} U_{\text{к}} + 2)$ и $\pm(3 \cdot 10^{-3} U_{\text{к}} + 10)$

Диапазоны контролируемых токов и погрешность контроля приведены в табл. 3.

Таблица 3

Диапазон контролируемого тока	Погрешность контроля, мА
-0,4...+0,4 мкА	$\pm(0,01 I_{\text{к}} + 8 \cdot 10^{-7})$
-4...+4 мкА	$\pm(0,01 I_{\text{к}} + 8 \cdot 10^{-6})$
-40...+40 мкА	$\pm(0,01 I_{\text{к}} + 8 \cdot 10^{-5})$
-400...+400 мкА	$\pm(0,01 I_{\text{к}} + 8 \cdot 10^{-4})$

Таким образом, система "Электрон СФ-ЗУ" реализует эффективный параллельный контроль четырех схем (по два на каждом рабочем месте). Благодаря высоким техническим характеристикам, конструктивному выполнению и развитию программно-математическому обеспечению установка может быть с успехом применена в массовом производстве БИС ОЗУ для контроля их электрических параметров на пластинах и в корпусах при предельных частотах функционирования схем с помощью автоматических контактирующих устройств или проходных термокамер, при выполнении исследовательских работ по определению характеристик БИС ОЗУ в процессе их разработки и производства, а также для определения способов улучшения технологических процессов производства схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиев Н.В., Орлов Б.Е. Функциональный контроль полупроводниковых запоминающих устройств. — Электронная промышленность, 1980, вып. 6 (90), с. 3—21.
2. Данилин Н.Н., Попель Л.М. Установка для функционального контроля БИС ОЗУ "Электрон Ф-ЗУМ". — Электронная промышленность, 1981, вып. 2(98), с. 15—18.
3. Система "Электрон СФ" для контроля электрических параметров БИС ЗУ и микропроцессоров / О.Г. Грачев, Н.Н. Данилин, Л.В. Духовской, Л.М. Попель, Е.Л. Слущкий, О.Н. Шаромет. — Электронная промышленность, 1980, вып. 6(90), с. 21—31.
4. Программное обеспечение системы "Электрон СФ" / Я.И. Борисова, Е.П. Васильев, В.И. Лышенко, Е.В. Орлов, Л.М. Попель, С.М. Трускова. — Электронная промышленность, 1981, вып. 2(98), с. 28—33.

Статья поступила 29 октября 1981 г.

УДК 621.317:621.385.6

С.В.Пантыкин, В.Е.Паняев, Б.Н.Швецов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ



Метод одновременного измерения коэффициентов шума и усиления СВЧ четырехполосников с использованием измерительного приемника модуляционного типа и средств вычислительной техники обеспечивает сокращение продолжительности измерения и обработки результатов до 0,6—3 с (что в 40—50 раз меньше времени, затрачиваемого на эти процессы существующими измерителями), а также одновременную регистрацию полученных данных на дисплее ЭВМ и цифрочитающем устройстве.

В основе измерений коэффициентов шума и усиления электронных приборов лежит метод, заключающийся в использовании поочередной модуляции шумов генератора шумового стандартного сигнала (ГШСС) и испытуемого четырехполосника (ИЧ) с последующей временной селекцией этих сигналов, усилением их и регистрацией с помощью выходных приборов*.

Структурная схема автоматизированного измерителя параметров четырехполосников приведена на рис. 1.

Шумы четырехполосника модулируются импульсами модулятора, и в измерительный канал приемника подаются два импульса. Выходное напряжение в этом канале $\alpha_1 = K(F \cdot K_y - 1)K_1$, где K — коэффициент пропорциональности; F и K_y — соответственно коэффициенты шума и усиления; K_1 — отношение коэффициентов усиления в измерительном и опорном каналах приемника.

Далее модулируются шумы генератора шумового стандартного сигнала и в опорный канал приемника подаются два импульса. Выходное напряжение в опорном канале $\alpha_2 = KNK_y$, где N —

спектральная плотность мощности шумов генератора шума. (Шумы смесителя и измерительного приемника не модулируются и на регистрирующие устройства не поступают).

Коэффициент шума определяется по формуле

$$F = N \frac{\alpha_1 K_a}{\alpha_2} + \frac{1}{K_y},$$

где K_a — коэффициент деления низкочастотного аттенюатора измерительного приемника.

При $K_y \gg 1$ этот коэффициент

$$F = N \frac{\alpha_1 K_{11}}{\alpha_2}$$

и при $\alpha_2 = N$

$$F = \alpha_1 K_{11}$$

т.е. показания выходного прибора измерительного приемника численно равны коэффициенту шума F с масштабом K_a . Таким образом, обеспечивается непосредственный отсчет коэффициента шума по линейной шкале выходного прибора.

Измерение коэффициента усиления производится методом сравнения относительной спектральной плотности мощности шумов (ОСПМШ) шумовых генераторов, стоящих на входе (ГШСС) и выходе (ГШ) испытуемого четырехполосника:

$$K_y = 10 \lg \frac{K_2 \alpha_2}{\alpha_3} + 10 \lg \Delta K_y,$$

где K_2 — коэффициент ослабления сигнала промежуточной частоты в общем тракте приемника; $\alpha_3 = KN$, — напряжение, пропорциональное спектральной плотности мощности шума шумового генератора на выходе испытуемого четырехполос-

ника; $\Delta K_y = \frac{N_1}{N_2}$ — поправочный коэффициент,

учитывающий разность ОСПМШ генераторов шума на входе и выходе ИЧ; η — коэффициент передачи

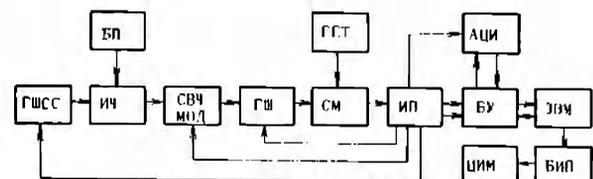


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного измерителя коэффициентов шума и усиления СВЧ четырехполосников: ГШСС — генератор шумового стандартного сигнала; ИЧ — испытуемый четырехполосник; БП — блок питания; СВЧ МОД — СВЧ модулятор; ГШ — генератор шума; СМ — смеситель; ГГТ — гетеродин; ИП — измерительный приемник; АПП — аналого-цифровой преобразователь; БУ — блок управления; ЭВМ — электронно-вычислительная машина; БИП — блок интерфейсных плат; ЦПМ — цифрочитающая машина

*Алмазов-Долженко К.И., Пантыкин С.В., Швецов Б.Н. Автоматический приемник для измерения шумовых параметров электронных приборов. — *Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ*, 1979, вып. 4, с. 58—67.

части тракта приемника (от выхода четырехполюсника до входа генератора шума ГШ).

Приемник в рассматриваемой схеме представляет собой стабильный прецизионный датчик измеряемых сигналов, использующий вместо фильтров усреднения схему так называемого "идеаль-

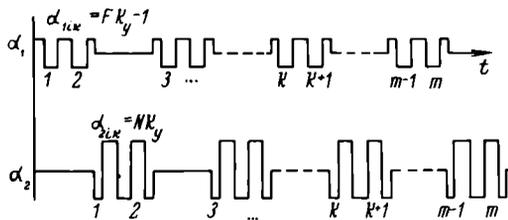


Рис. 2. Эпюры напряжений при определении средних значений и дисперсии результатов

ного интегратора" с большой эффективной постоянной интегрирования.

Сигналы с выхода измерительного и опорного каналов интегрируются с помощью "идеального интегратора" в каскадах АЦП (время интегрирования составляет единицы миллисекунд, эффективная постоянная времени — единицы секунд). Это свойство интегратора во многом определяет выигрыш во времени измерений. Далее полученные величины преобразуются в цифровую форму и вводятся в ЭВМ. После математической обработки величин α_1 и α_2 определяются значения коэффициентов шума и усиления четырехполюсника и дисперсия. Для нахождения средних значений и дисперсии производят m циклов измерений по n импульсов в каждом цикле (рис. 2).

Алгоритм измерений K_y и F приведен на рис. 3.

Измерения СПМШ шумовых генераторов производятся аналогичным образом по своему алгоритму.

Применение измерительного приемника в сочетании с вычислительными средствами для одновременного измерения коэффициентов шума и усиления четырехполюсников позволяют не только сократить время измерения этих параметров, но и проводить оценку достоверности результатов измерений по величине дисперсии. Быстрота измерений дает возможность определять время готовности твердотельных четырехполюсников по коэффициенту шума.

Статья поступила 24 декабря 1981 г.

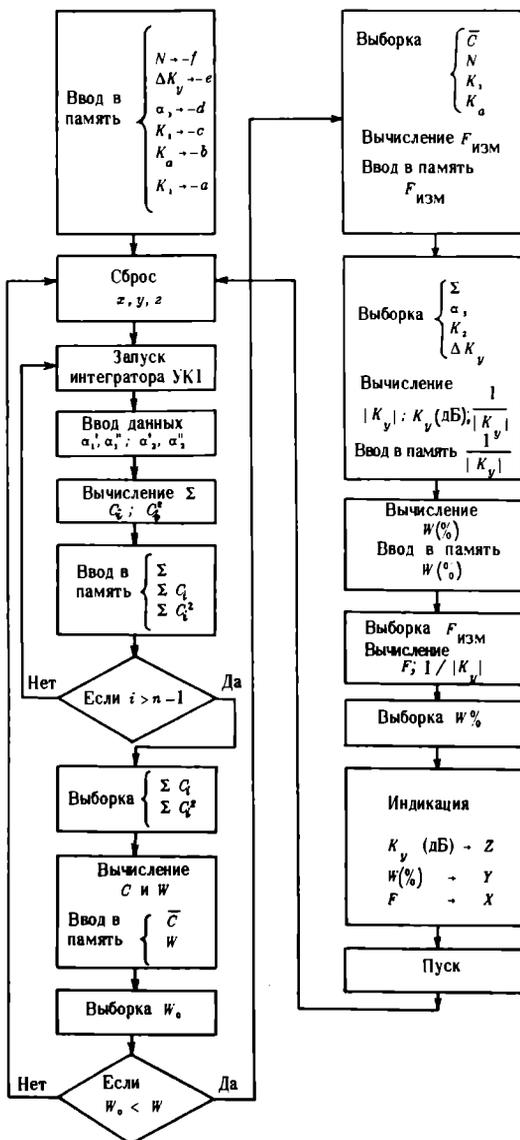


Рис. 3. Алгоритм измерений коэффициента шума и коэффициента усиления

УДК 621.317.799:621.382.28

А.А.Влащенко, Г.Ф.Гордиенко, В.З.Лубяный

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВАРИКАПОВ

Система обеспечивает контроль параметров варикапов и варикапных структур на пластине с высокой точностью и быстродействием.

В процессе производства варикапов важную роль играет измерение их емкости, особенно при небольших ее значениях, с малой (до 0,5 %) погрешностью в режиме малого (до 100 мВ) переменного сигнала, а также при изменяющейся начальной емкости, например в случае контроля параметров варикапных структур на пластине. Используемые для измерения устройства должны быть максимально простыми и обладать способностью передавать данные в АСУТП.

Требованиям, предъявляемым к таким измерителям емкости, отвечают информационно-измерительные системы на основе мини- (микро-) ЭВМ, использующие частотный метод измерения емкости, который позволяет осуществить автоматическую коррекцию начальной емкости, реализовать метод замещения, выполнить самокалибровку измерителя, т.е. определить внутреннюю емкость C_0 резонансного генератора в соответствии с зависимостью

$$C_0 = C_3 f_3^2 / (f_0^2 - f_3^2),$$

где C_3 – эталонная (известная) емкость; f_3, f_0 – частоты генератора при подключении и без подключения эталонной емкости, соответственно.

При стабильной C_0 частота f_0 также стабильна в определенном интервале времени, поэтому измеряемая емкость

$$C_x = C_0 (f_0^2 - f_x^2) / f_x^2,$$

где f_x – частота генератора с подключенной измеряемой емкостью.

Процесс измерения состоит в определении текущей частоты f_0 и сравнении ее с частотой f'_0 , по которой была произведена последняя коррекция C_0 . Если разность $|f'_0 - f_0|$ меньше установленной, то коррекции не происходит; если превышает установленную, то производится коррекция C_0 . Введение коррекции позволило сократить время измерения (f_0 и f_3 измеряются от коррек-

ции до коррекции в среднем один раз в две минуты) и время расчета C_x (емкость C_0 рассчитывается только при проведении коррекции).

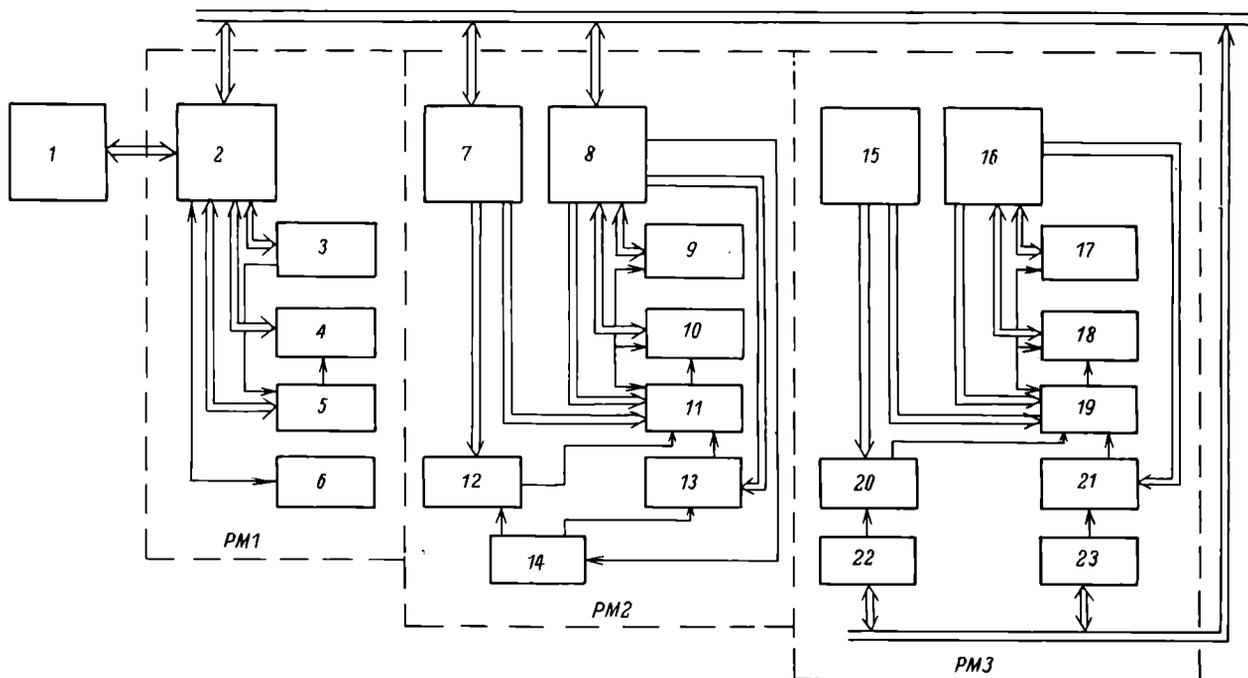
Разработанная информационно-измерительная система позволяет контролировать вольт-фарадную характеристику, обратный ток p - n -перехода, неидентичность вольт-фарадных характеристик.

Диапазоны измеряемых и задаваемых параметров приведены ниже:

Диапазон измеряемых емкостей, пФ	1-400
Диапазон задаваемых смещений для измерения емкости p - n перехода и обратных токов, В	0,1-100
Точность установки смещения обратного напряжения, %	не хуже ± 1
Диапазон измеряемых обратных токов, А	10^{-9} - 10^{-3}
Погрешность измерения емкости, %	$\pm 0,5$
Время измерения емкости, мс	30

В состав информационно-измерительной системы входят мини-ЭВМ, частотомер ЧЗ-34А, вольтмер В7-21, блок управления, преобразователь емкость-частота, коммутатор, устройство типа "Зонд-А1", блок индикации.

На рисунке показаны основные конфигурации рабочих мест (РМ1-РМ3) системы, которые могут быть составлены по желанию потребителя из указанных блоков: РМ1 предназначено для контроля структур варикапов по емкости, коэффициенту перекрытия, обратному току; РМ2 – для контроля сдвоенных структур варикапов по емкости, коэффициенту перекрытия, обратному току; РМ3 – для контроля готовых варикапов по емкости, коэффициенту перекрытия, обратному току, комплектова-



Структура рабочих мест системы: 1 – мини-ЭВМ; 2, 7, 8, 15, 16 – блок управления; 3, 9, 17 – вольтметр В7-21; 4, 10, 18 – частотомер ЧЗ-34; 5, 12, 13, 20, 21 – преобразователь емкость-частота; 6, 14 – устройство типа "Зонд-А"; 11, 19 – коммутатор; 22, 23 – блок индикации

ния варикапов по идентичности вольт-фарадных характеристик.

Максимальное число рабочих мест, подключаемых к мини-ЭВМ, равно восьми. Рабочие места соединяются между собой и с мини-ЭВМ единой магистралью.

Введение мини-ЭВМ позволило сделать систему максимально гибкой. Смена контролируемого варикапа осуществляется заданием типа варикапа в режиме диалога. На каждом рабочем месте может контролироваться любой тип варикапа. Программой предусмотрен вывод результатов измерений на печать по каждому измерению и в виде обобщенных гистограмм распределения параметров, количества брака, процента выхода годных.

Статья поступила 18 ноября 1981 г.

УДК 531.717.1

Ю.Н.Котельников, А.М.Крочев,
А.А.Соколов, В.А.Тимошпольский

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ НАПЫЛЯЕМЫХ СЛОЕВ

Контроль толщины пленок с помощью кварцевого измерителя КИТ-4 обеспечивает точность воспроизведения заданной величины с погрешностью в доли процента. Это почти на порядок превосходит точность контроля, достигаемую при использовании других приборов аналогичного назначения.



Возросшие требования к точности поддержания параметров технологических процессов при нанесении тонких пленок, связанные с микроминиатюризацией изделий, вызывают

необходимость разработки средств контроля толщины слоев, обладающих такими свойствами, как повышенная точность измерения, возможность длительной работы без подстройки, регулировки и смены датчика, высокая надежность и простота эксплуатации, а также возможность сопряжения с управляющей ЭВМ.

К приборам, отвечающим этим требованиям, относится кварцевый измеритель толщины КИТ-4, принцип действия которого основан на регистрации частоты резонатора, изменяющейся в зависимости от толщины напыляемого слоя материала.

Отличие КИТ-4 от других приборов аналогичного назначения состоит в том, что измерение частоты в нем осуществляется средствами цифровой техники: подсчетом числа периодов колебаний резонатора за определенный интервал времени. КИТ-4 регистрирует изменение частоты колебаний кварца до 10% от начального значения в диапазоне от 1 до 10 МГц. Блок (размеры 160x120x400 мм) может работать как в составе комплекса, управляемого от ЭВМ, так и самостоятельно.

Прибор содержит измерительный генератор, селектор, эталонный генератор с каскадом деления частоты, устройство управления, буферный регистр, счетчик с дополнительной декадой, служащей для изменения диапазона измерения, и цифровой индикатор.

Возможность заземления одной из обкладок рабочего резонатора позволяет повысить эффективность теплоотвода путем прижатия его к охлаждаемой поверхности, а также использовать резонатор в условиях потока заряженных частиц.

Выходной сигнал прибора формируется в виде восемнадцати разрядов двоично-десятичного кода, который легко сопрягается с управляющей ЭВМ.

На передней панели прибора имеется наборное поле, на котором оператор при работе в ручном режиме набирает в двоично-десятичном коде требуемый отсчет. При достижении заданной величины на выходной разъем выдается сигнал «стоп», свидетельствующий об окончании процесса измерения. Этот сигнал при необходимости может быть подключен к исполнительным устройствам местной автоматики, воздействующим, например, на заслонку, перекрывающую поток распыляемого вещества.

Типовые значения чувствительности, регистрируемые измерительной системой, составляют 150 ± 20 делений на микрон (для пленки алюминия), что обеспечивает точность воспроизведения заданной толщины с погрешностью в доли процента и почти на порядок превосходит точность контроля с помощью прибора МИИ-4. При использовании диапазона $\times 10$ чувствительность увеличивается на порядок. Общая информативная емкость с учетом двух диапазонов составляет 30000 единиц, что позволяет проводить сотни процессов без замены кварца.

Большая точность измерения дает возможность уверенно управлять скоростью напыления, осуществляя регулировку ее с погрешностью, не превышающей единиц процентов.

Опыт эксплуатации прибора в процессах термического и нонно-плазменного напыления свидетельствует о его высокой надежности в условиях значительных тепловых нагрузок и интенсивных электрических помех.

Статья поступила 20 января 1981 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 621.317.799:621.3.049.77

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР СВЧ ЦЕПЕЙ



Техническая характеристика

Поддиапазоны частот, ГГц 0,2-1; 1-2; 2-4; 4-8; 8-12
Диапазон измерения реальной и мнимой части, дБ	коэффициентов отражения от 0 до -50
	коэффициентов передачи от 10 до -50
Максимальное число частотных точек в поддиапазоне 50
Время измерения на одной частотной точке, с 5
Время калибровки в поддиапазоне частот, мин 40
Напряжение питания, В 220 (50 Гц)
Потребляемая мощность, кВт 1,2
Габариты, мм	
анализатора 660 × 830 × 1800
блока управления периферийными устройствами 800 × 600 × 900
Масса, кг 400

Прибор предназначен для измерения параметров рассеяния активных и пассивных элементов интегральных схем СВЧ диапазона и обеспечивает получение полной информации об этих параметрах обработкой показаний датчиков поглощенной мощности на встроенной мини-ЭВМ.

В состав анализатора входит комплект генераторов качающейся частоты панорамных измерителей КСВ типа Р2 и цифровой вольтметр В7-18 (т.е. стандартная измерительная аппаратура), управляющая мини-ЭВМ «Электроника 100/16», а также многоканальный термисторный измеритель мощности и измерительный СВЧ тракт,

состоящий из делителя мощности, коаксиальных переключателей и двенадцатиполусных рефлектометров.

В анализаторе имеется пять частотных поддиапазонов. Переход на новый поддиапазон осуществляется заменой генератора качающейся частоты и двенадцатиполусных рефлектометров.

Программное обеспечение позволяет производить калибровку анализатора и измерение в автоматическом режиме параметров рассеяния элементов ИС СВЧ в микрополосковом тракте с произвольным волновым сопротивлением.

*С. М. Никулин, В. В. Петров
А. Н. Салов, А. С. Чеботарев*

НОВЫЕ КНИГИ

ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА И СТИМУЛИРОВАНИЕ ТРУДА

Л. Купельский

М.: Экономика, 1981. — 248 с.

Рассматривается место оплаты труда в системе распределительных отношений развитого социалистического общества. Раскрываются особенности развития, пути совершенствования и повышения социально-экономической роли заработной платы в производственной и непроизводственной сферах. Освещается практика использования материальных стимулов к труду. Исследование проблем организации и роста уровня заработной платы осуществляется на основе анализа ее взаимодействия с производством, распределением, обменом и потреблением.

НПО: ФОРМИРОВАНИЕ, РАЗВИТИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Ф. М. Русинов, В. А. Покровский, В. И. Бусов и др.

М.: Экономика, 1981. — 144 с.

Рассматриваются вопросы улучшения структуры научно-производственных объединений, повышения эффективности их деятельности. Анализируются особенности интеграции науки с производством в современных условиях, различные организационные формы этого процесса. На основе анализа накопленного опыта исследуются пути совершенствования планирования, экономического стимулирования и оценки результатов деятельности НПО. Освещаются также вопросы организации информационного обеспечения научных подразделений.

УДК 621.793.182

Е.Н.Коряев

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИОННО-ЛУЧЕВЫХ УСТАНОВОК

Разработанный ионный источник с холодным катодом обеспечивает получение на мишени ионного тока величиной 200 и более микроампер.

Промышленные установки ионного легирования в настоящее время заняли прочное место среди оборудования, предназначенного для производства полупроводниковых приборов и интегральных схем. Все они работают на ионных источниках с горячим или накальным катодом. Однако использование таких катодов не всегда отвечает требованиям, предъявляемым к установкам ионного легирования, поэтому в качестве ионного источника в некоторых случаях целесообразно использовать разрядные системы, не требующие накаливаемого катода, — например системы с сильным разрядом Пеннинга.

Обычная разрядная система Пеннинга представляет собой два противостоящих холодных катода и анод, изготовленный в виде полого цилиндра. Для увеличения вероятности ионизации рабочего вещества в разрядной камере система помещается в магнитное поле, параллельное оси прибора [1, 2].

Схема разработанного ионного источника с холодным катодом вместе с системой формирования луча представлена на рис. 1.

Дуговой разряд постоянного тока (напряжением 1,5–3 кВ) поддерживается между полым анодом, охлаждаемым деионизованной водой, и катодами по всей поверхности разрядной камеры. Под влиянием аксиального магнитного поля, создаваемого электромагнитом, электроны движутся по спиральной траектории, благодаря чему длина их пробега увеличивается и возрастает вероятность ионизирующих соударений. Образованные в разрядной камере ионы под действием разрядного напряжения и магнитного поля солиноида бомбардируют катоды, выбивая вторичные электроны, которые при своем движении к аноду через образованную заряженными частицами плазму вызывают дальнейшую ионизацию. Положительные ионы перемещаются по направлению к катодам и, достигая выходного (верхнего) катода, вытягиваются через круглую апертуру сильным электрическим полем, создаваемым вытягивающим электродом (см. рис. 1). Этот электрод вместе с центральным фокусирующим и верхним электродами играет роль трехэлектродной линзы (линзы Эйцеля), которая в сочетании с промежуточным электродом для компенсации объемного заряда формирует ионный пучок.

Рабочее напряжение (относительно земли) корпуса ионного источника регулируется и находится, как и рабочее напряжение фокусирующего электрода, в пределах до + 20 кВ, а рабочее напря-

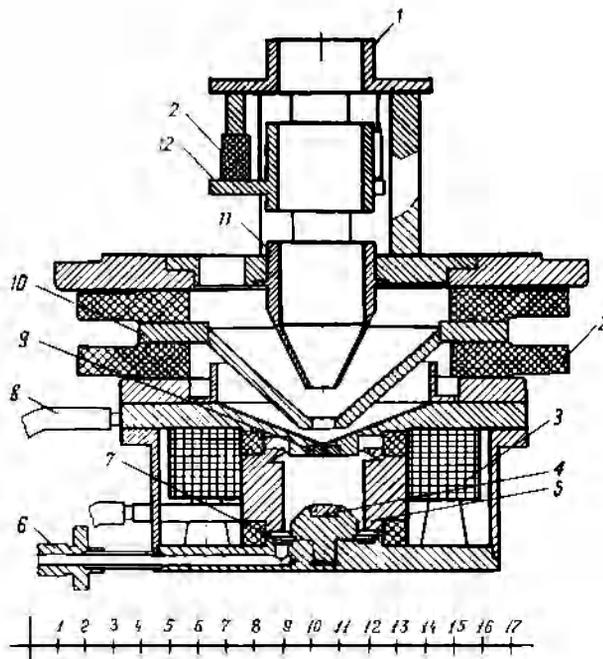


Рис. 1. Сечение ионного источника с холодным катодом (ионы образуются в разрядной камере, находящейся внутри электромагнита; вытягивание и формирование ионного пучка осуществляется трехэлементной линзой вне разрядной области): 1—верхний электрод; 2—изолятор; 3—электромагнит; 4—нижний катод; 5—охлаждаемый анод; 6—вывод рабочего вещества; 7—кольцо для формирования потока газа; 8—вывод воды; 9—верхний катод (с отверстием для вытягивания ионов); 10—промежуточный электрод; 11—вытягивающий электрод; 12—фокусирующий электрод



Рис. 2. Ионный источник

жение вытягивающего и верхнего электродов, как и промежуточного электрода, до -20 кВ.

Конечная энергия ионов в исходящем потоке определяется потенциалом корпуса источника относительно земли и составляет 20 кэВ.

Общий вид разработанного источника представлен на рис. 2. Работая на газе ВФ₃ при вытягивающем напряжении 20 кВ, установка обеспечивает получение токов до $3,5$ мА без разделения пучка по массам. Высокий вакуум ($5 \cdot 10^{-4}$ Па) на выходе ионного источника создается парамасляным насосом без охлаждаемой ловушки. Расход газа поддерживается на постоянном уровне и определяется размерами отверстий в электродах. Поэтому изменения плотности плазмы, необходимые для получения максимального тока пучка, осуществлялись путем регулировки напряжения разряда либо магнитным полем источника. В некоторых пределах оба эти параметра взаимосвязаны: при уменьшении напряжения разряда необходимо увеличивать магнитное поле, чтобы сохранить оптимальное значение вытягиваемого ионного тока.

При уменьшении напуска газа ток разряда уменьшается и, следовательно, уменьшается величина вытягиваемого ионного пучка на мишени. При увеличении напуска газа ток разряда увеличивается, а ток ионного пучка падает. Эти зависимости можно объяснить тем, что превышение током разряда своего оптимального значения ведет к изменению границ и положения плазмы в разрядной камере по отношению к выбранной геометрии системы вытягивания и формирования ионного луча, а это вызывает увеличение расхождения пучка, ухудшает условия формирования и фокусировки выходящего луча и ведет к уменьшению полного ионного тока на выходе системы [3].

С целью увеличения тока пучка, стабильности работы, срока службы источника и для простоты его обслуживания была разработана оптимальная конструкция источника. Все его элементы жестко зафиксированы, что исключает их смещение относительно друг друга во времени сборки и, следовательно, необходимость дополнительной регулировки источника.

Испытания источника проводились на ионно-лучевой установке, работающей на газообразных веществах В, Аг, Аs, Р. На мишени установки были получены токи до 250 мкА. С увеличением вытягивающего напряжения ток ионов на мишени увеличивался, но рабочие параметры, характерные для масс-сепаратора установки, ограничивали повышение напряжения. Поэтому конструкция системы формирования луча выбиралась исходя из технических характеристик магнита масс-анализатора в установке ионной имплантации. Чтобы обеспечить необходимую производительность установки и сохранить ее технологические возможности, ионную оптику источника согласуют с оптической системой. При обработке ионами бора полупроводниковых пластин диаметром 76 мм равномерность легирования составила $0,8\%$, а воспроизводимость от пластины к пластине 1% . Время непрерывной работы источника, без замены

катода зависит от ее режима. При работе на ВФ₃ в установке, предназначенной для легирования малыми и средними дозами (ток на мишени $150-200$ мкА), срок службы источника ионов с катодами из титана составил около 60 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г о б о в и ч М. Д. Физика и техника плазменных источников ионов. — Киев: Наукова думка, 1964.
2. F l e m m i n g J. P. Penning source for ion implantation. — Journal of vacuum science and technology, 1975, vol. 12, N XI—XII, p. 1309—1372.
3. Исследование интенсивности и расходимости пучка ионов, полученного от одноапертурной трехэлектродной системы вытягивания. /Кодплэнд, Грин, Хэммонд, Ривер.— Приборы для научных исследований, 1973, № 9, с. 101.

Статья поступила 26 января 1981 г.

УДК 621.373.826.004:621.382.002

В. Н. Богданов, Ю. Ф. Вертинский,
С. И. Гронский, В. А. Юдицкий

ПОЛУАВТОМАТ ЛАЗЕРНОГО СКРАЙБИРОВАНИЯ ЭМ-220

Полуавтомат лазерного скрайбирования обеспечивает повышение производительности и качества процесса разделения полупроводниковых пластин на кристаллы, а также открывает новые возможности совершенствования технологии полупроводниковых приборов.

Полуавтомат лазерного скрайбирования ЭМ-220 (рис. 1) предназначен для скрайбирования полупроводниковых пластин с помощью твердотельного импульсного лазера со средней мощностью 16 Вт, длиной волны $1,06$ мм и частотой повторения импульсов $5-50$ кГц.

В конструкцию полуавтомата входит мощный



Рис. 1. Полуавтомат лазерного скрайбирования ЭМ-220

технологический лазер ЛТИ-502 на АИГ с непрерывной накачкой от плазменно-дуговой криптоновой лампы, снабженный высоковольтным блоком питания и охлаждения, оптической системой фокусировки луча и визуального наблюдения, а также система координатных перемещений и механизм загрузки и предварительной ориентации пластин (рис. 2). Управление лазером осуществляется с помощью акустооптического модулятора добротности. Режим модулированной добротности характеризуется большими значениями пиковой мощности, что в сочетании с небольшой длительностью (~ 250 нс) и высокой частотой следования импульсов (до 50 кГц) позволяет получать скрайберный рез при больших скоростях скрайбирования.

Высокоскоростной четырехкоординатный позиционер на основе линейного шагового привода [1], управляемый микропроцессорным устройством, дает возможность производить скрайбирование в широком диапазоне скоростей.

Автоматическая установка пластины в плоскость скрайбирования с последующей перефокусировкой на программируемую величину при повторении цикла производится благодаря наличию в полуавтомате бесконтактного датчика высоты.

Телевизионная система визуального контроля

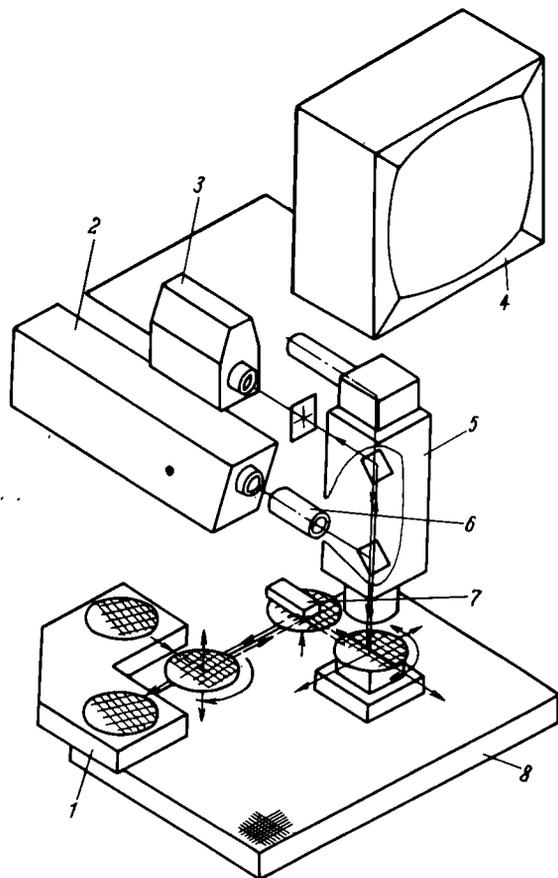


Рис. 2. Структурная схема полуавтомата лазерного скрайбирования 3М-220: 1 — загрузочное устройство; 2 — лазер; 3 — телевизионный датчик; 4 — видеоконтрольное устройство; 5 — блок зеркал; 6 — телескоп; 7 — датчик высоты; 8 — позиционер

позволяет вести наблюдение как при наладке установки, так и в процессе лазерного скрайбирования, исключая возможность облучения оператора.

Оснащение полуавтомата кассетным загрузочным устройством с ориентатором, которое автоматически переносит пластину из загрузочной кассеты на предметный стол, ориентирует ее по базовому срезу и после скрайбирования загружает в приемную кассету, обеспечивает повышение уровня автоматизации и исключает контакт оператора с пластинами. Загрузка, предварительная ориентация и выгрузка пластин производятся на одной позиции, что позволяет свести к минимуму вспомогательное время.

В основу алгоритма работы полуавтомата заложены принципы последовательного автоматического перемещения обрабатываемых полупроводниковых пластин из подающей кассеты в рабочую зону, автоматического скрайбирования их по координатам x и y , перемещения обратно в зону загрузки-выгрузки и в приемную кассету.

Работает полуавтомат следующим образом. Пластина с помощью пневмотранспорта переносится из подающей кассеты на планшайбу предметного стола, которая в этот момент находится в верхнем запрограммированном положении. Пластина ориентируется специальным ориентатором относительно координат x и y по большому базовому срезу. После этого она фиксируется с помощью вакуума и опускается вместе с планшайбой стола в нижнее положение, а затем перемещается с сохранением ориентации под бесконтактный датчик высоты и поднимается до положения срабатывания. Датчик высоты контролирует расстояние между пластиной и фокальной плоскостью оптической системы лазерного устройства с точностью 2,5 мкм. По сигналу этого датчика пластина перемещается в рабочую зону под объектив лазерного устройства и попадает в поле видимости видеоконтрольного устройства. В этой зоне пластина автоматически перемещается с необходимой скоростью по координате x , что дает возможность оператору быстро произвести точную ориентацию по углу φ и совместить ближайшую межкристаллическую дорожку на экране видеоконтрольного устройства с горизонтальной визирной линией. Операция выполняется с помощью одного из двух бесконтактных манипуляторов, расположенных на пульте управления.

После выключения режима автоматического сканирования оператор выполняет совмещение ближайшей межкристаллической дорожки с вертикальной визирной линией на экране с помощью второго манипулятора и включает режим автоматического скрайбирования по заданной программе. В блок управления заносится информация о переменных исходных данных: диаметре обрабатываемой пластины, размерах кристаллов ИС на пластине по координатам x и y (шаг x , y), выбран-

ной скорости скрайбирования, схеме обхода пластины по подпрограммам "круг" или "квадрат", количестве повторений цикла лазерного скрайбирования, значению программируемых перефокусировок перед каждым повторением цикла, временной задержке для ориентации по базовому срезу.

После автоматического скрайбирования по обеим координатам пластина опускается в нижнее запрограммированное положение и перемещается в зону загрузки-выгрузки. Здесь расфиксированная пластина с помощью пневмотранспортера перемещается в приемную кассету.

Перемещение подающей и приемной кассет и поиск следующей пластины осуществляются автоматически механизмом перемещения в период подачи предыдущей пластины из зоны загрузки в зону скрайбирования — это уменьшает время на вспомогательные операции. Пластина из подающей кассеты автоматически переносится на предметный стол, и рабочий цикл повторяется.

Для скрайбирования единичных образцов и мелких партий пластин в полуавтомате предусмотрена ручная загрузка.

Из приведенных ниже технических характеристик полуавтомата ЭМ-220 и установки лазерного скрайбирования ЭМ-210 видно, что ЭМ-220 имеет большую степень автоматизации и более широкие функциональные возможности, чем ЭМ-210:

	ЭМ-210	ЭМ-220
Максимальный диаметр обрабатываемых пластин, мм	78 (100)*	150
Диапазон изменения шага при дискретности 0,01 мм, мм	0,10—9,99	0,01—99,99
Диапазон изменения величины подъема при повторных резах и дискретности 0,0025 мм, мм	—	0—0,79
Ширина реза, мкм	40(25)**	40
Глубина реза кремниевых пластин за один проход при скорости 100 мм/с, мкм	75 (50)**	150
Диапазон изменения величины скорости, мм/с	25—250	10—399
Погрешность перемещения, мкм при длине хода 100 мм	20	—
относительно центра при общей длине хода 150 мм	—	±15
Загрузка	ручная	автоматическая с предварительной ориентацией
Ориентация (точная)	механическая с ручным управлением	электронная с ручным управлением
Фокусировка	ручная	автоматическая
Проникновение вредных излучений через видеоконтрольный канал	в пределах нормы	отсутствует

* На моделях ЭМ-210 последних выпусков возможна обработка пластин диаметром 100 мм с ограничением по шагу.

** Глубина и ширина реза установки ЭМ-210 нормируются при скорости 200 мм/с и составляют 50 и 25 мкм соответственно.

Полуавтомат ЭМ-220 обеспечивает более высокое качество скрайбирования, чем установка ЭМ-210, и способствует улучшению технологии разделения полупроводниковых пластин [2, 3].

Благодаря применению в полуавтомате микропроцессорного устройства задача управления четырёхкоординатным позиционером и другими узлами полуавтомата решена на высоком техническом уровне. Объем электронной части полуавтомата ЭМ-220 уменьшен в три раза по сравнению с установками такого же класса, что увеличивает его надежность, упрощает эксплуатацию и наладку.

По технико-экономическим характеристикам полуавтомат ЭМ-220 не уступает лучшим образцам зарубежных фирм [4] и при этом имеет большую степень автоматизации процесса скрайбирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Многокоординатные высокоскоростные прецизионные системы с программным управлением на базе линейных шаговых двигателей/Е.Е. Онегин, Е.В. Филиппович, Е.И. Белявский, Ю.Ф. Ляшук, А.В. Ярош.—Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1979, вып. 6, с. 50—54.
2. Анализ технологических процессов лазерного скрайбирования/О.И. Бочкин, Е.П. Браславский, В.Д. Евдокимов, Е.Л.Хитро.—Электронная промышленность, 1976, вып. 1, с. 34—38.
3. Безотходный способ лазерного скрайбирования структур фосфида галлия при изготовлении индикаторов с торцевым расположением сегментов/В.А. Куражов, А.И. Михайлов, А.А. Раскин, Е.Б. Соколов.—Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1979, вып. 3, с. 112—114.
4. Современные методы и оборудование для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы/В.А. Зенькович, А.Л.Караев, А.В. Корнилов, А.В. Кузнецов, Д.Г. Микитчук.—Зарубежная электронная техника, 1978, № 11(181), с. 3—26.

Статья поступила 14 мая 1981 г.

УДК 621.313.13—133.32:681.325.5

Ю.Ф.Вертинский, В.А.Яновская, Л.Ф.Ярош

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРА

Применение микропроцессора в устройстве управления линейным шаговым двигателем, используемым в полуавтомате лазерного скрайбирования, позволяет расширить его функциональные возможности и более чем в три раза сократить объем систем обработки информации. Это обеспечивает повышение надежности работы полуавтомата.

Дискретные электроприводы на базе линейного шагового двигателя (ЛШД) находят все более широкое применение в оборудовании для производства изделий электронной техники.

Подвижная часть ЛШД представляет собой систему электромагнитов, движущуюся на воздушной подушке по плите, выполненной из маг-

нитного материала. Взаимодействие частей ЛШД обеспечивается переключением магнитного потока, вызываемым изменением тока в обмотках электромагнитов [1, 2]. При этом изменение тока должно подчиняться периодической закономерности, оптимальной для выбранной конструкции ЛШД [1, 3], и интерполироваться дискретными уровнями, что предопределяет использование программных методов управления. В связи с тем, что устройства управления оперируют большими объемами информации, применение традиционных методов их построения на элементах типа "Логика", например серии 155, ограничивает функциональные возможности этих устройств, делает их громоздкими и сложными.

Усложнение и расширение функциональных возможностей исполнительных механизмов вызывает необходимость построения устройств управления на другой элементной базе — на базе микропроцессоров.

Примером такого построения служит разработанное на основе однокристалльного микропроцессора

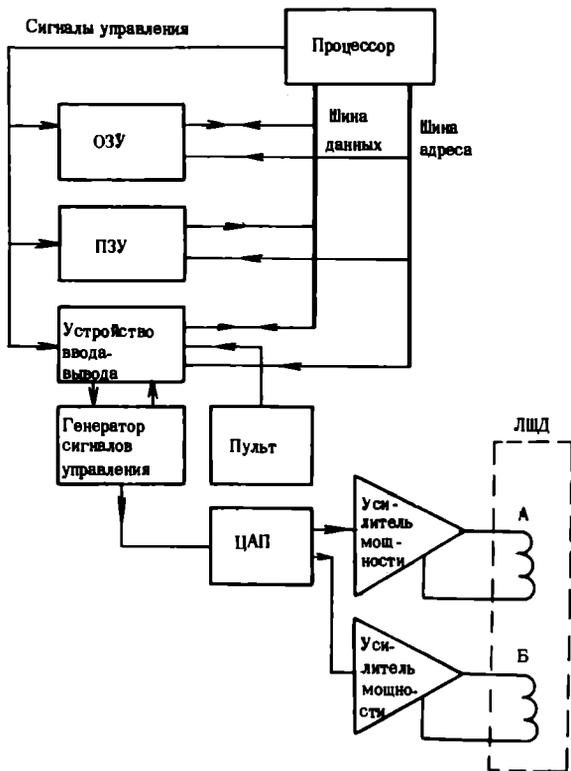


Рис. 1. Структурная схема устройства управления линейным шаговым двигателем

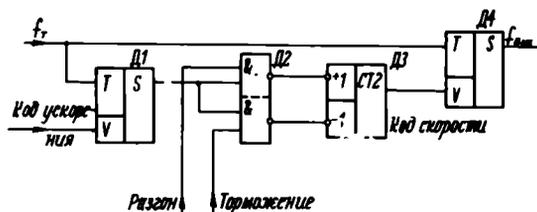


Рис. 2. Структурная схема генератора сигналов управления: D1, D4 — управляемые делители частоты; D2 — логические элементы 2И-НЕ; D3 — двойной реверсивный счетчик

сера К580ИК80 устройство управления четырех-координатным цифровым позиционером, состоящим из четырех ЛШД, примененное в полуавтомате лазерного скрайбирования ЭМ-220.

Принципиально важным звеном, определяющим возможности устройства управления (рис. 1), является генератор сигналов управления (рис. 2), состоящий из программируемого делителя частоты ускорения, счетчика скорости и управляемого делителя частоты. На выходе генератора формируется последовательность импульсов с частотой, изменяющейся по линейному закону.

Структура устройства предусматривает такое построение программы, при котором максимально возможное число операций анализа и расчета параметров, необходимых для работы ЛШД, определяется до начала движения. Исходя из заданной по алгоритму точки положения ЛШД относительно начала координат, с помощью микропроцессора определяется путь, на котором достигается максимальная скорость и который затем разбивается на участки разгона, равномерного движения и торможения. Непосредственно в процессе перемещения позиционеров производится только анализ команд на перемещение и переключение сигналов управления, что обеспечивает повышение быстродействия системы и позволяет практически полностью использовать возможности применяемого ЛШД. Максимальная частота выходных сигналов достигает 60 кГц, что при дискретности 10^{-5} м обуславливает скорость перемещения 0,6 м/с.

Сигналы управления для ЛШД могут быть сформированы и в стандартной микропроцессорной системе управления без применения генератора. При этом временные интервалы рассчитываются по заданному закону и их формирование программно организуется. Однако быстродействие такой системы значительно меньше, и ее применение оправдано только в специальных случаях, например для программируемого изменения частоты выходного сигнала [4].

Все вычислительные и аналитические операции, необходимые для формирования управляющих сигналов в рассматриваемом устройстве, выполняются на основании данных, запрошенных с пульта, и промежуточных величин, хранящихся в ОЗУ. Алгоритм вычислений и порядок выполняемых операций хранится в ПЗУ.

Поскольку одним и тем же устройством микропроцессорной техники могут быть выполнены различные по структуре задачи управления (в частности, управление простыми исполнительными механизмами и устройствами, которые включаются по сигналам, поступающим с устройства ввода-вывода), весь технологический процесс производства ИС может быть максимально автоматизирован.

ЛИТЕРАТУРА

1. Двухкоординатные линейные шаговые двигатели на магнито-воздушной подвеске/Е.И.Белявский, В.А.Зенькович, Ю.Ф.Ляшук,

Е.В. Филиппович, А.В. Ярош. — Электронная промышленность, 1978, вып. 6, с. 41.

2. Многокоординатные высокоскоростные прецизионные системы с программным управлением на базе линейных шаговых двигателей/Е.Е.Онегин, Е.В. Филиппович, Е.И.Белявский, Ю.Ф. Лящук, А.В.Ярош. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1979, вып. 6, с. 50–54.

3. Исследование статических характеристик двухкоординатного линейного шагового двигателя/Е.Е.Онегин, Е.В. Филиппович, Е.И.Белявский Ю.Ф.Лящук. — Электронная техника. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование, 1979, вып. 6, с. 55–63.

4. Применение микропроцессора в полуавтомате разделения полупроводниковых пластин/Л.Г.Загурская, В.Я.Коваль, А.П.Сироткин, Л.Ф.Ярош. — Электронная промышленность, 1980, вып. 7, с. 49–50.

Статья поступила 7 января 1982 г.

УДК 621.385.032.14

Ю.Г.Егоров

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Разработанное оборудование в составе производственной линии обеспечивает выпуск газопоглотителей для ЭВП с высокими технико-экономическими характеристиками.

Массовый характер производства и особые требования к стабильности газопоглотителей, применяемых в цветных кинескопах, вызывают необходимость использования для их выпуска оборудования с высоким уровнем автоматизации.

К такому оборудованию относится производственная линия, включающая в себя три карусельные аммиачные печи для термообработки деталей, четыре установки для изготовления алюмобариевых сплавов, два роторных пресс-автомата, обеспечивающих закрепление активной массы в контейнерах, пять специальных сварочных автоматов и пять

установок для финишных операций. Все эти установки оснащены индивидуальными транспортными и загрузочными устройствами вибрационно-бункерного типа.

Линия отличается достаточной универсальностью, что позволяет реализовать различные технологические варианты изготовления кольцевых газопоглотителей. Благодаря высокой степени автоматизации достигнута экономия энергоресурсов и производственных площадей.

Карусельная аммиачная печь типа СВК 5831 (рис. 1) для проведения восстановительного отжига заготовок из нержавеющей стали (который характеризуется меньшей сложностью по сравнению с вакуумным отжигом и большей производительностью) состоит из вертикальной камеры нагрева, камеры загрузки-выгрузки, герметично перекрываемой от остального пространства печи, камеры охлаждения с восьмипозиционной каруселью, механизмов перемещения обрабатываемых деталей и пульта управления.

Техническая характеристика печи СВК 5831

Максимальная рабочая температура, °С	1150 + 15
Время программируемого цикла термообработки, мин	1–30
Полезная вместимость, л	2,08
Расход диссоциированного аммиака (в зависимости от типа изделий), л/ч	2000–5500
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,6
Потребляемая мощность, кВт·А	16
Габариты, мм	
печи	1260×1090×2150
пульта управления	560×970×2145
Масса, кг	
печи	1360
пульта управления	150

Печь СВК 5831 при необходимости может быть использована для восстановительной термообработки не только в диссоциированном аммиаке, но и формиргазе или водороде как стальных, так и никелевых деталей ЭВП.

Трехпозиционная установка типа СВК 4306 (рис. 2) обеспечивает достаточно высокую температуру и



Рис. 1. Карусельная аммиачная печь СВК 5831



Рис. 2. Трехпозиционная установка СВК 4306

быстрое охлаждение, что необходимо для получения однородных сплавов алюминия с барием. Каждая позиция включает реакционную камеру и систему откачки. Печь имеет нагревательные элементы из хромита лантана, устойчиво работающие в окислительной среде, обладающие термической стойкостью до 1700°C и допускающие подъем и снижение температуры со скоростью 10°C/мин. Установка снабжена отдельным пультом управления.

Техническая характеристика установки СВК 4306

Рабочая температура, °C	1250
Давление в реакционной камере, МПа	5
Масса загрузки (на одну камеру), кг	1
Производительность, кг/ч	1
Число камер	3
Потребляемая мощность, кВт·А	10
Габариты, мм	
установки	1790×1850×1840
пульта управления	8900×630×1790
Масса, кг	325

Роторный пресс-автомат типа СВК 5423 (рис. 3) осуществляет точное дозирование и равномерное распределение порошка активной массы в процессе его запрессовки в кольцевой контейнер (подложку газопоглотителя), обеспечивая постоянство плотности и хорошее сцепление порошка с контейнером. Автомат представляет собой девятипозиционный механизм, установленный на сварной станине. К нижней части ротора присоединен вращающийся вместе с ним гидропривод, обеспечивающий максимальное давление в системе до 17 МПа. В средней части ротора, по его образующей, расположены гидроцилиндры прессования, а под ними — девять форм, создающие непрерывно вращающуюся



Рис. 3. Роторный пресс-автомат СВК 5423

горизонтальную кольцевую плоскость, на которую шнеком подается порошок, заполняющий дозирующие камеры. Поштучная подача контейнеров на пресс-формы ротора осуществляется вибробункером и пневматическим лотком. Пресс-автомат широко универсален: путем замены съемных пресс-форм, пуансонов, чаши бункера с ориентирующими устройствами и пневматического лотка можно осуществлять выпуск самых различных типов кольцевых газопоглотителей.

Техническая характеристика пресс-автомата СВК 5423

Скорость вращения ротора, об/мин	7,25
Производительность, шт/ч	3900
Потребляемая мощность, кВт·А	8,1
Габариты, мм	1220×1330×2633
Масса, кг	4130

Сварочные автоматы СВК 5300 и СВК 4943 представляют собой шестипозиционные карусельные машины, включающие механизмы подачи и ориентации деталей и собственно сварочную схему. Для выполнения контактной сварки в них использован дозировщик импульсов типа СВК 5019. Все основные узлы автомата СВК 5300 приварки скобы к держателю (рис. 4) и автомата СВК 4943 приварки контейнера унифицированы.

Технические характеристики сварочных автоматов

	СВК 5300	СВК 4943
Амплитуда сварочного тока, А	1000 ± 200	1000 + 200
Потребляемая мощность в импульсе, кВт·А	7,2	7,2
Производительность, шт/ч	1000	1500
Габариты, мм	1500×780×1530	1500×750×1550
Масса, кг	700	570



Рис. 4. Сварочный автомат СВК 5300

На установке типа СВК 4459, которая содержит вакуумную камеру, нагревательную печь сопротивления и устройства для подачи азота, осуществляется предварительное вакуумное обезгаживание газопоглотителей и дальнейшая обработка их очищенным азотом. В результате последней операции на поверхности газопоглотителя создается защитная пленка. Обезгаживание газопоглотителей выполняется при температуре 350–450°C и давлении 1–5 мПа, азотирование — при 200°C.

Проведение указанных операций способствует улучшению качества газопоглотителей.

Техническая характеристика установки СВК 4459

Рабочая температура, °С	до 450 ± 15
Давление в камере, мПа	
в начале процесса	1
в конце процесса	5
Размеры рабочего пространства, мм	380×900
Потребляемая мощность, кВт·А	10
Габариты, мм	2200×2000×1775
Масса, кг	800

Производственное освоение данной технологической линии обеспечило массовый выпуск антенных газопоглотителей типа КРАБ с высокими технико-экономическими показателями.

Статья поступила 19 ноября 1981 г.

УДК 621.382.002.5

В.М.Белов, В.Г.Мерщиков, Н.М.Ткаченко

УСТРОЙСТВО ДОЗИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ



Разработанное устройство позволяет автоматизировать процесс нанесения жидких материалов (фоторезиста, паяльной пасты, клеев и т.п.) в технологии получения соединений микроэлементов, что обеспечивает повышение производительности труда в 3–4 раза с одновременным улучшением качества и снижением себестоимости изделий.

Широкое применение различных клеев, герметиков, паст и полимеров в производстве микроэлектронных изделий и приборов привело к тому,

что в технологическом процессе большое место стали занимать операции нанесения жидких материалов очень малыми или ограниченными дозами с высокой степенью воспроизводимости. Например, при нанесении фоторезиста и паяльной пасты, получении соединений микроэлементов с помощью клеев и при проведении других подобных операций, где необходимо обеспечить размер наносимой капли жидкого материала не более 1 мм. Эти операции, как правило, трудно поддаются автоматизации и выполняются в основном вручную. Многократное их повторение, характерное для серийного производства, сопровождается неточной дозировкой, потерями материала и загрязнением изделий, что приводит к снижению процента их выхода.

Повышение производительности труда в 3–4 раза, улучшение качества и снижение себестоимости изделий за счет уменьшения расхода материала может быть достигнуто с помощью устройства дозированного нанесения жидких материалов.

Принцип действия этого устройства, состоящего из блока управления, сменного шприца с наконечником в виде иглы, сменного присоединительного шланга с крышкой, подставки под шприц и ножной педали управления, основан на вытеснении наносимого материала из шприца под действием пневматического импульса, который создается блоком управления. Доза материала зависит от его вязкости, рабочего давления, времени действия импульса и внутреннего диаметра наконечника.

Основным узлом устройства является блок управления, в состав которого входят стабилизатор давления, электропневматический клапан, манометр, вакуумный насос, пневмодроссель, трансформатор, электронное реле времени, переменный резистор, воздуховоды, входной и выходной штуцеры, кнопки управления. Блок управления работает от сети переменного тока (220 В, 50 Гц) и сети сжатого воздуха давлением 0,3–0,6 МПа. Для удержания в шприце столба дозируемого материала в системе с помощью пневмодросселя создается необходимое разрежение. Рабочее давление пневматического импульса устанавливается с помощью стабилизатора давления, а время действия импульса — переменным резистором. Продолжительность выдавливания необходимого количества материала соответствует выдержке, устанавливаемой на реле времени. Диапазон выдержек времени — от 0,05 до 1,0 с.

Устройство может работать в импульсном и непрерывном режимах, которые выбираются нажатием на соответствующую кнопку управления.

Испытания показали, что с помощью рассмотренного устройства можно получать каплю размером 0,25 мм и более, а предельная вязкость материалов, с которыми можно работать, составляет 300 сСт.

Статья поступила 10 декабря 1981 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 621.777:678.5

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС

Гидравлический пресс с увеличенным усилием сжатия (по сравнению с установкой УГП-50 для герметизации полупроводниковых приборов пластмассой) обеспечивает благодаря увеличению площади пресс-формы более высокую производительность. При этом улучшаются качество герметизации приборов и условия труда.



Пресс 07ПЛД 100-002 предназначен для герметизации полупроводниковых приборов терморезистивными пресс-материалами методом литьевого прессования.

Оптимальные технологические режимы герметизации достигаются благодаря наличию двух рабочих скоростей и давлений на штоке литьевого цилиндра, изменение которых может осуществляться автоматически в процессе заполнения пресс-формы. Это способствует изготовлению более качественных и надежных приборов.

Усилие сжатия пресса регулируется в зависимости от типа прибора, конструкции и размеров пресс-формы. При падении давления в цилиндре сжатия ниже допустимой величины в него подается масло под высоким давлением. Это позволяет стабильно поддерживать в цилиндре давление, от которого зависит надежность запирания пресс-формы в течение всего цикла герметизации, а также спо-

собствует компенсации утечек через уплотнения и увеличению межремонтного времени.

Для крепления пресс-форм различных размеров на плитах пресса выполнено 48 отверстий М20 и 8 отверстий диаметром 24 мм для выхода толкателей. Пуансон крепится к штоку литьевого цилиндра с помощью резьбы М 48 × 2.

Улучшение условий труда и техники безопасности обеспечивается за счет подвижных ограждений рабочей зоны и местного отсоса со сборником отходов производства, а также достаточной освещенности рабочей зоны.

Техническая характеристика

Усилие сжатия пресс-формы, МН	1
Усилие на штоке литьевого цилиндра, МН	0,01–0,16
Скорость перемещения подвижной плиты	
при подъеме или опускании, мм/с	
быстром	100
медленном	4–8
Скорость перемещения штока литьевого цилиндра, мм/с	
при ускоренном опускании	180
при рабочем ходе	1–16
Ход, мм	
подвижной плиты	320
штока	250
Потребляемая мощность, кВт	
электродвигателя	5,5
пресс-формы при напряжении понижающих трансформаторов 36 В	5,6
Площадь под установку пресс-формы, мм	710 × 630
Расстояние между плитами пресса для установки пресс-формы, мм	710
Габариты, мм	1800 × 860 × 2800
Масса, кг	3600

Наличие двух режимов работы пресса (наладочного и полуавтоматического) упрощает подбор режима герметизации и освобождает оператора от контроля за прохождением технологического цикла.

*О. Н. Друнк, П. Н. Масленников,
Ю. Н. Портянников, В. Ф. Ушаков*

УДК 621.373:826.038.825

**А. Г. Алексанян, Р. К. Казарян,
Л. А. Матевосян, В. А. Нанагулян**

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ ЛАЗЕРОМ

Для издания сверхтонких пленок и слоистых периодических структур на их основе в настоящее время широко применяются процессы лазерного импульсного напыления в вакууме.

При этом для получения нужной частоты следования импульсов применяются автоматические устройства, которые обеспечивают высокую производительность установки, возможность управлять большими напряжениями, оперируя при этом низковольтными переключениями, и улучшение частоты процесса.

Разработанное автоматическое устройство уп-

равления твердотельным импульсным лазером, выполняемое на полупроводниковых приборах и микросхемах (рис. 1), отличается от других устройств аналогичного назначения [1, 2] . компактностью и простотой изготовления.

При включении установки заряжается рабочая емкость. Уровень заряда определяется уровнем опорного напряжения $U_{оп}$, подаваемого на один из входов схемы сравнения (компаратора). При достижении заданного уровня заряда на рабочей емкости через отградуированный делитель на другой вход компаратора подается напряжение.

При достижении равенства напряжений, подаваемых на входы компаратора, с его выхода поступает запирающее напряжение на блок управления тиристорами, в результате чего подача управляющих импульсов оканчивается. Одновременно с этим в блок формирователя импульсов 1 (выполненный на микросхеме К1ТШ221В) поступают импульсы от модулятора величины добротности, снимаемые с помощью магнитной головки при прохождении мимо нее магнита, укрепленного на оси вращения призмы. Магнит и призма смещены относительно друг друга таким образом, чтобы обеспечивался определенный временной сдвиг между началом накачки и началом генерации. Регулируя это смещение, можно изменять мощность лазерного излучения.

В устройство управления входит также задающий генератор, частота которого определяет частоту повторения импульсов лазера. При одновременном поступлении на входы схемы "И" (выполнена на микросхеме 133ЛА1) потенциального сигнала от компаратора (U_k), импульсов от модулятора, прошедших через формирователь импульсов 1 (U_M), и импульсов от задающего гене-

ратора ($U_{зг}$) на выходе ее возникает лог. "1", являющаяся сигналом разрешения на разряд лампы накачки. Совпадения моментов поступления сигналов на входы схемы "И" можно добиться соответствующим подбором длительностей импульсов.

Потенциал U_k на выходе компаратора сохраняется неизменным с момента достижения на конденсаторах заданного уровня заряда (t_1) до момента вспышки лампы накачки.

Для совмещения сигналов от задающего генератора и модулятора длительность импульсов задающего генератора должна быть в 2-3 раза больше длительности импульсов до модулятора (рис.2).

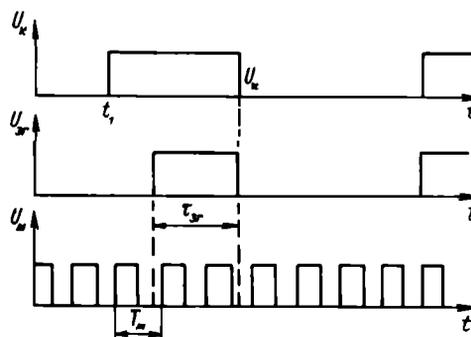


Рис. 2. Эпюры напряжений на входах схемы "И"

Сигнал с выхода схемы "И" подается на формирователь импульсов 2, где осуществляется дополнительная электрическая задержка между началом генерации и началом накачки, что также позволяет изменять мощность излучения ОКГ. С формирователя импульс подается на блок поджига лампы накачки. В результате разряда блока питания на входе компаратора нарушается баланс сравниваемых напряжений и компаратор переходит в исходное состояние, а система — в состояние ожидания окончания заряда. Описанный цикл повторяется. Регулировка мощности ОКГ возможна также путем изменения опорного напряжения на входе компаратора, что приводит к изменению величины заряда на конденсаторах.

Рассмотренное устройство работало на опытной установке, в которой использовался лазер на неодиме. Модуляция добротности осуществлялась с помощью вращающейся призмы полного внутреннего отражения. Энергия в импульсе достигала 10 Дж. Частота следования импульсов изменялась от 0,25 до 2 Гц. Результаты эксплуатации говорят о возможности использования устройства для управления лазерами различных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соломонов Ю.Ф., Данишевский А.М. Питание и синхронизация твердотельного лазера, работающего с частотой повторения в несколько герц. — ПТЭ, 1972, № 5.
2. Калачиков В.А., Кондратьев В.С., Коротун А.В. Помехоустойчивый блок управления импульсного оптического квантового генератора. — ПТЭ, 1979, № 3.

Статья поступила 29 января 1982 г.

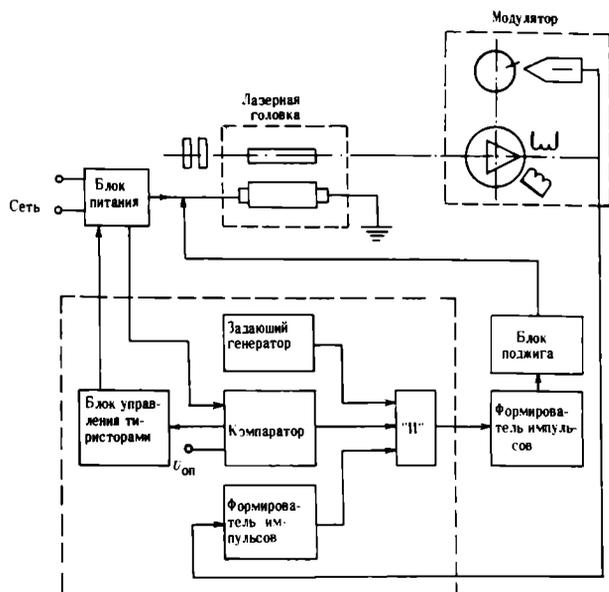


Рис. 1. Блок-схема установки

УДК 621.3.049.77.002:776

С.А.Грамм, В.В.Митрофанов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФОТОШАБЛОНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИС

Совершенствование конструкции и применение новых технологических приемов изготовления фотошаблонов позволяют повысить их качество без ужесточения требований к отдельным конструктивным элементам и материалам.

Качество изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем зависит главным образом от фотошаблона, который является основным инструментом фотолитографии. К фотошаблонам предъявляются жесткие требования, которые связаны с необходимостью повышения качества стеклянных заготовок, фоторезиста и т.д. [1, 2]. В настоящее время эти требования подошли к практическому пределу. Но даже их выполнение не дает существенного эффекта, так как после нескольких совмещений на фотошаблоне происходит накопление дефектов, которые переносятся на пластины для ИС. Повысить качество фотолитографии можно путем использования новых технологических приемов и изменения конструкции фотошаблонов.

Эти приемы основаны на случайном распределении дефектов по полю фотошаблона и на возможности независимо формировать совмещенные изображения на стеклянном основании. К числу таких приемов относится известный метод двойного маскирования [3]. Его модернизацией является метод, использующий обратную фотолитографию (рис. 1) и обеспечивающий двойное маскирование на основе слоев одного и того же материала.

Однако многослойная конструкция неприемлема для прозрачных маскирующих покрытий, так как в этом случае понижается их прозрачность в видимой области спектра и ухудшается возможность наблюдения рисунка под фотошаблоном. В связи с этим предложен метод, в котором используется нанесение дополнительного покрытия непосредственно в дефекты маскирующего покрытия, в результате чего сохраняется общая прозрачность фотошаблона в видимой области спектра (рис. 2).

Вместе с тем, с помощью перечисленных методов можно снизить только начальную дефектность фотошаблона. В процессе эксплуатации его дефектность вновь возрастает. Снизить скорость нарастания дефектов позволяет конструкция фотошаблона [4], в которой два одинаковых топо-

логических рисунка расположены с обеих сторон стеклянного основания (рис. 3). Использование такого фотошаблона показало, что его износостойкость во много раз выше по сравнению с од-

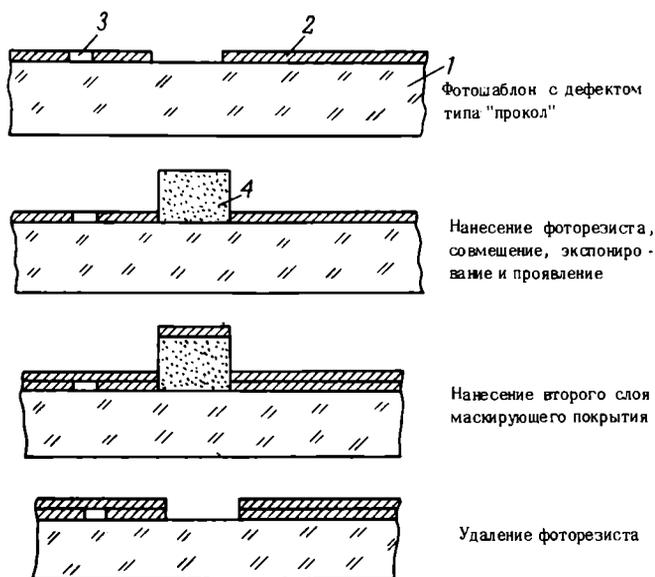


Рис.1. Последовательность изготовления фотошаблона методом двойного маскирования: 1 – стеклянное основание; 2 – маскирующий слой; 3 – дефект; 4 – фоторезист

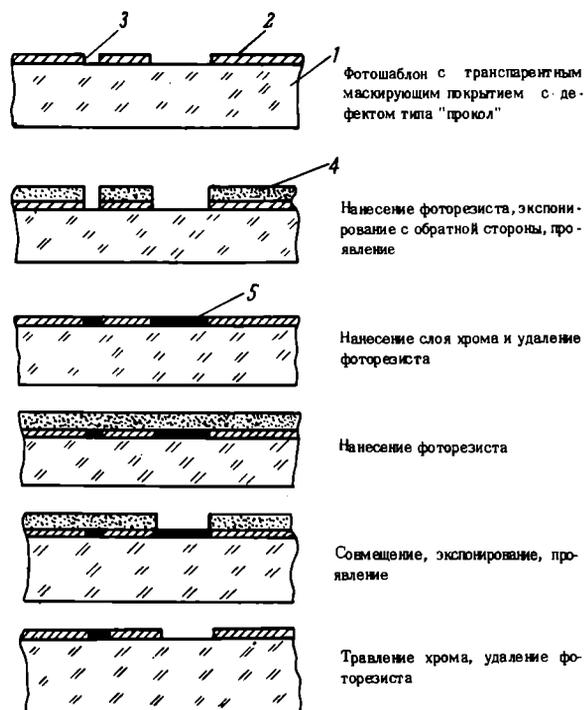


Рис.2. Последовательность изготовления прозрачного фотошаблона методом двойного маскирования: 1 – стеклянное основание; 2 – прозрачный слой; 3 – дефект; 4 – фоторезист; 5 – хромовый маскирующий слой

нослойным фотошаблоном. Однако применять его можно только на специальном оборудовании для экспонирования с высококоллимированным источником излучения, так как непараллельность светового потока ведет к искажению передаваемого рисунка из-за эффекта виньетирования при обычно используемых толщинах (1,2–3 мм) стеклянного основания. Кроме того, изготовление такого фотошаблона связано с рядом технологических трудностей, важнейшей из которых является точное совмещение рисунков на обеих сторонах стеклянного основания.

Следует отметить, что повышение износостойкости фотошаблонов является вторичной задачей. В первую очередь требуется повышать качество фотолитографии. Преодолеть трудности, связанные с совмещением рисунков, удалось благодаря применению дублированного фотошаблона (рис. 4). При этом на фотошаблон обычной конструкции приклеивается с помощью оптического клея покровное стекло, которое затем сошлифовывается и полируется до толщины несколько десятков микрон. На поверхности этого стекла формируется топологический рисунок, соответствующий рисунку под покровным стеклом. Размеры светлых элементов (окон) на внутреннем рисунке на 2δ больше, чем на внешнем рисунке при точном совмещении центров элементов. Величина δ зависит от толщины покровного стекла и угловых параметров экспонирующего пучка. Износостойкость такого фотошаблона определяется, таким образом, только областью, где отсутствует дублирование маскирующего слоя — полосой вокруг окна шириной δ .

Эффективность повышения износостойкости соответствует отношению задублированной и незадублированной площадей топологического рисунка. Кроме того, фотошаблон обладает пониженной начальной дефектностью вследствие двойного маскирования.

Указанная конструкция фотошаблона была использована при производстве ИС серии III. Анализ износостойкости обычной и дублированной конструкции показал, что в последнем случае фактическое увеличение числа дефектов при однократном контактировании с пластиной снизилось в 11 раз и составило 0,018%. Несмотря на то, что себестоимость дублированных фотошаблонов в 1,5–2 раза выше по сравнению с фотошаблонами обычной конструкции, эффективность их в пересчете на одну микросхему повышается в 4–5 раз. Исследование качества фотолитографии показало, что на поверхности кристаллов ИС резко уменьшилось число дефектов (дыр, пор, проколов).

В то же время показанная на рис. 4 конструкция непригодна для полупрозрачных фотошаблонов.

Анализ функций, выполняемых фотошаблоном при контактной фотолитографии, указывает на

наличие противоречий в способе контактной фотолитографии: для точной передачи топологического рисунка фотошаблон необходимо плотно прижать к пластине со светочувствительным слоем, а для снижения дефектности пластин и повышения срока службы фотошаблона требуется увеличить расстояние между шаблоном и пластиной. При экспонировании фотошаблон выполняет две функции: края топологического рисунка передают форму изображения, а сам рисунок осуществляет функцию маскирования областей, где фоторезист не должен засвечиваться. Плотное прижатие фотошаблона к пластине необходимо только для выполнения им первой функции — формирования контура изображения, а функция маскирования может реализовываться проекционным путем. На этом разделении функций основана конструкция однослойного полупрозрачного фотошаблона, обладающего повышенной износостойкостью (рис. 5).

Как видно из рисунка, часть маскирующего слоя находится под покровным стеклом, а другая часть — на его поверхности и в ней сформированы топологические элементы. В направлении, перпен-

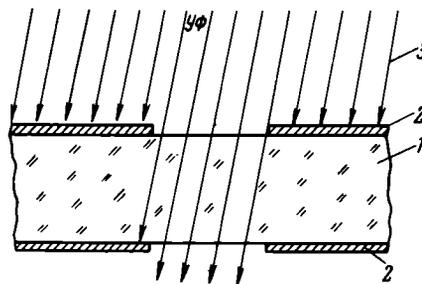


Рис. 3. Фотошаблон с двусторонним рисунком: 1 — стеклянное основание; 2 — маскирующие покрытия; 3 — экспонирующее излучение

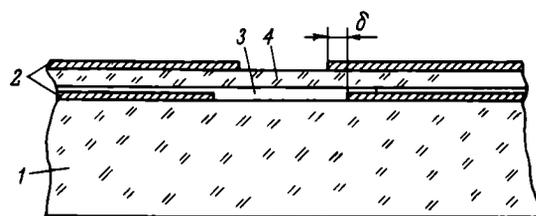


Рис. 4. Дублированный фотошаблон: 1 — стеклянное основание; 2 — маскирующие покрытия; 3 — оптический клей; 4 — покровное стекло

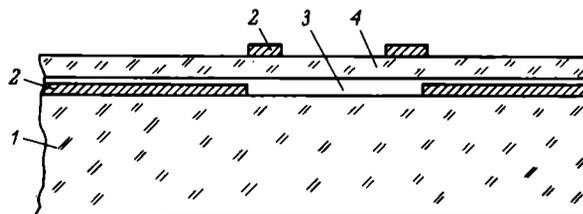


Рис. 5. Прозрачный фотошаблон повышенной износостойкости: 1 — стеклянное основание; 2 — маскирующий слой; 3 — оптический клей; 4 — покровное стекло

дикулярном рабочей поверхности фотошаблона, суммарный рисунок представляет собой требуемый топологический рисунок схемы. При этом повышение износостойкости фотошаблонов в сравнении с их обычной конструкцией определяется отношением общей площади топологического рисунка к той части площади, которая находится на поверхности фотошаблона и непосредственно прижата к пластине. Использование фотошаблонов такой конструкции при изготовлении транзисторов типа КТ316, КТ324 увеличивает срок службы этих фотошаблонов в 4–5 раз, а также повышает выход годных приборов и улучшает их электрические параметры. Это обусловлено тем, что дефекты размером менее 2 мкм, имеющиеся на маскирующем слое под покровным стеклом, не прорабатываются при печати, так как для этой части фотошаблона экспонирование осуществляется при зазоре, равном толщине покровного стекла, что приводит к снижению разрешающей способности печати [5] и соответственно к уменьшению дефектов в окисле под контактами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибов Б.Г., Грипенко Е.Ю., Родионов Р.А. Подготовка поверхности стеклянных пластин для маскирующих слоев. — Электронная промышленность, 1980, вып. 8–9, с. 102–105.
2. Астафурова И.И., Грибов Б.Г., Мазин А.М. Оптимизация режимов механической обработки стеклянных заготовок для фотошаблонов. — Там же, с. 108–116.
3. Гойденко П.П., Докторов В.В., Погодский Э.И. Изготовление фотошаблонов методом двойного маскирования. — Электронная промышленность, 1977, вып. 5, с. 22–24.
4. Пат. 49–3305 (Япония), 1974.
5. Пресс Ф.П., Василевская Л.М. О возможности использования фотолитографии с зазором между фотошаблоном и подложкой. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1972, № 7, с. 64–66.

Статья поступила 13 октября 1981 г.

УДК 621.373.9

В. В. Знаменский

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАЛОИНЕРЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ УВЛАЖНЯЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изменение конструкции парогенератора позволило создать в малоинерционной системе образования и подачи пара стабильное давление в установившемся режиме, что обеспечивает повышение воспроизводимости по толщине термического окисла и параметрам диффузии в условиях массового производства полупроводниковых ИС.

Важнейшим критерием качества процесса формирования структур полупроводниковых ИС в условиях массового производства является воспроиз-

изводимость толщины окисла. Основным фактором, обеспечивающим минимальный ее разброс в течение длительного времени, является стабильность поддержания давления влажной среды в канале диффузионной системы, где осуществляются процессы окисления и диффузии.

Используемые обычно установки термического окисления [1] обладают рядом недостатков, среди которых: отсутствие возможности осуществлять в автоматическом режиме (вследствие герметичности шлифового соединения на выходе трубы) медленную загрузку, выгрузку и возвратно-поступательное перемещение пластин с лодочкой, что необходимо для исключения деформации пластин большого диаметра; большие габариты и сложность системы получения увлажняющей среды из-за высокой инерционности барботера, а также малая скорость окисления во влажном кислороде.

Эти недостатки могут быть устранены путем применения малоинерционной системы образования увлажняющей среды. Основным конструктивным элементом этой системы является малоинерционный парогенератор, в котором на единицу нагреваемой поверхности кварца приходится объем воды, примерно на три порядка меньший, чем в обычной установке окисления. Малоинерционная система дает возможность получить увлажняющую среду в канале уже через несколько секунд после включения нагревателя, что позволяет быстро и надежно перейти от окисления в сухом кислороде к окислению в парах воды, и затем снова в сухом кислороде. Полученная таким способом пленка двуокиси не уступает по качеству пленке, выращенной во влажном кислороде [2]. Кроме того, окисление в парах воды характеризуется примерно в 1,5 раза большей производительностью по сравнению с окислением в кислороде и не требует герметичности шлифового соединения на выходе трубы.

Основным конструктивным недостатком устройства образования и подачи пара при использовании его в существующей конструкции диффузионной системы СДО-125/3-15 является установка клапана на выходе парогенератора. При этом высокое давление пара вызывает разгерметизацию соединения клапана с парогенератором. Это приводит к попаданию в клапан воды, ухудшению его пропускной способности, изменению давления пара в канале и в результате — к снижению воспроизводимости результатов процесса окисления.

Установка клапана не на выходе, а на входе парогенератора обеспечила стабилизацию давления паров воды в канале. Для улучшения пропускной способности и надежности работы увеличен диаметр проходного отверстия клапана. Изменена также конструкция парогенератора: с него сняты кожух, что обеспечивает возможность визуального наблюдения за кипением воды, и увеличен диа-

метр выходного отверстия. Благодаря наклонному расположению парогенератора относительно уровня воды исключено попадание воды в кварцевую трубу вместе с паром. Вследствие этого отпадает необходимость применения клапана для воды, что упрощает систему парообразования и повышает ее надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремниевые планарные транзисторы /Под ред. Я.А.Федотова, - М.: Сов.радио, 1973. - 335 с.
2. Мазель Е.З., Пресс Ф.П. Планарная технология кремниевых приборов. - М.: Энергия, 1974. - 384 с.

Статья поступила 24 сентября 1981 г.

УДК 621.385.64

Б.А.Егоров, Б.Г.Лысовол, И.Н.Пекишев,
Л.В.Рыбкина, Е.Е.Черняк

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ АЛЮМИНЕВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ИС

Устройство магнетронного типа, встраиваемое в смотровое окно установки вакуумного напыления, позволяет получать алюминиевые покрытия, которые могут использоваться в качестве металлизации ИС.

В технике нанесения покрытий за последнее время широкое распространение получил магнетронный метод, обеспечивающий наряду с высоким качеством покрытий их повышенную надежность и по производительности сравнимый с методами испарения [1-3].

Разработано магнетронное устройство УМ-5, состоящее из магнетрона МАГ-5, который может легко встраиваться в стандартное смотровое окно установок вакуумного напыления типа УРМ3.279.026, и блока питания.

С помощью данного устройства проводилось напыление алюминия и его сплавов для металлизации ИС. Свойства полученных слоев были исследованы. Толщина пленок составляла 0,5-1,6 мкм. Подложки, предварительно не подогреваемые, во время нанесения совершали циклоидальные движения относительно магнетрона. Для увеличения адгезии и получения зеркальных покрытий на подложку подавалось отрицательное смещение около 40 В. Давление аргона в рабочей камере составляло 0,1-0,2 Па, напряжение разряда 500-650 В, ток мишени 5-6 А. Время нанесения покрытий толщиной 1,0 мкм не превышало 14 мин.

Адгезионные свойства покрытий оценивались по усилию отрыва от контактных площадок золотой проволоки диаметром 40 мкм, которая присоединялась к металлизации термокомпрессионным методом. Значения усилия отрыва для покрытий, полученных магнетронным, термическим и элект-

ронно-лучевым методами, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип металлизации	Усилие отрыва, мН	Характер разрушения
Алюминий (магн.)	100-130	Разрыв по проволоке
Алюминий (терм.)	110-120	Разрыв по проволоке
Алюминий (эл.-луч.)	70-100	Разрыв по проволоке или отрыв пленки
Алюминий+кремний 1% (магн.)	110-130	Разрыв по проволоке или отрыв пленки

Исследования влияния термообработки на структуру и морфологию поверхности слоев (морфология поверхности изучалась методом электронной микроскопии [4]) показали следующее (см. рисунок). После термообработки при 500°C в течение 5 мин и 300°C в течение 15 мин в атмосфере аргона на поверхности алюминиевых покрытий возникают "бугры" высотой 0,8 мкм. Размер зерна при этом составляет в среднем 0,23 мкм. Увеличение температуры и времени термообработки вызывает возрастание количества и высоты бугров. Термообработка покрытий из сплава алюминий-кремний изменяет структуру слоя, плотность и величину бугров так же, как и покрытий из чистого алюминия. Присутствие в алюминиевом сплаве меди снижает степень миграции алюминия и препятствует образованию бугров.

Для мишени с исходным содержанием кремния 0,8-1% его количество в покрытии составило 0,7%.

Степень заполнения "ступенек" рельефа, сформированного методом ионно-химического травления окисла на кремнии, достаточно высока: при толщине окисла 1 мкм коэффициент заполнения ступенек металлизацией равен 0,8 даже без планетарного вращения подложки.

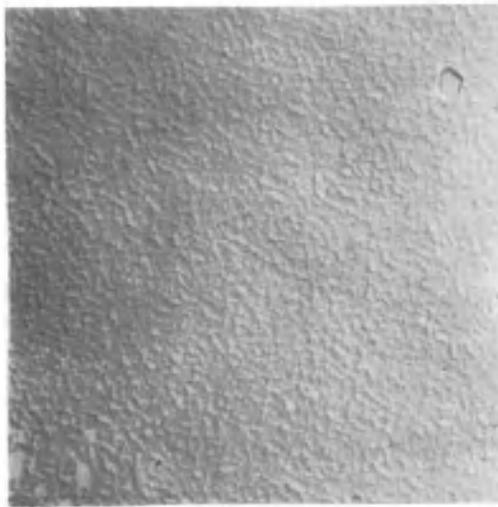
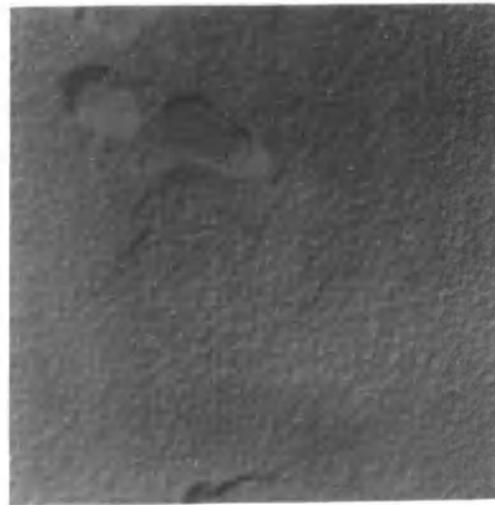
Исследования удельного сопротивления металлизации после термообработки в атмосфере аргона при температуре 500°C в течение 5 мин, проведенные на тестовых фигурах [5], показали, что сопротивление слоев алюминия и сплава алюминий-кремний, нанесенных магнетронным методом, несколько выше, чем слоев металлизации, полученных термическим и электронно-лучевым методами (табл. 2). С увеличением содержания кремния в алюминии удельное сопротивление слоя растет, а наличие в сплаве меди при-

Таблица 2

Тип металлизации	Толщина слоя, мкм	Удельное сопротивление, мкОм·см
Алюминий (терм.)	0,71	2,9
	1,07	2,87
Алюминий (эл.-луч.)	1,25	2,88
	1,58	2,81
Алюминий (магн.)	0,93	3,33
	1,45	3,13
Алюминий + кремний 1% (магн.)	0,97	3,34
	1,50	3,20
Алюминий + кремний 2% (магн.)	1,00	3,40
	1,34	3,12
Алюминий + медь 4% (магн.)	1,02	2,85
	1,57	2,66

водит к его снижению до значений, которые получены для термических и электронно-лучевых покрытий. Повышенное удельное сопротивление слоев, нанесенных магнетронным методом в установке

УРМЗ.279.026, связано с адсорбированием этими слоями значительного количества реактивных газов из остаточной среды в вакуумной камере во время многократного прохождения подложки вне

*Al**Al-Si**Al-Cu* α β

Морфология поверхности слоев металлизации, полученной магнетронным методом, на основе алюминия до (*a*) и после (*б*) термообработки

потока распыленных с мишени атомов, при вращении карусели.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение разработанного устройства магнетронного типа в серийных промышленных напылительных установках будет способствовать повышению их производительности в 3–5 раз при незначительных затратах на модернизацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Waits R.K. Planar magnetron sputtering. – J. Vac. Sci. Technol., 1978, vol. 15, N 2, p. 179–187.
2. Class W.H. Deposition and characterization of magnetron sputtered aluminum and aluminum alloy films. – SST, 1979, vol. 22, N 6, p. 61–68.
3. Gosh J. Sputtering system has high yield. – Electronics, 1980, vol. 53, N 2, p. 153–156.
4. Прохоров В.И., Сорокин Л.М. Получение тонких кристаллов кремния и осажженных на его поверхность слоев для просвечивающей электронной микроскопии. – ПТЗ, 1973, № 3, с. 220–222.
5. Павлов Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. – М.: Высш. школа, 1975. – 206 с.

Статья поступила 12 июня 1981 г.

УДК 542.49:621.134.029.64

Т.Г.Аминов, Г.И.Гладков, А.И.Егоров

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИГА МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ

Создание специализированных вакуумных установок для обжига Mn-Zn ферритов различных типоразмеров обеспечило улучшение свойств изделий и повышение производительности труда.

Совершенствование процесса обжига ферритов [1–3] связано прежде всего с установлением научно обоснованных требований к используемому для этих целей оборудованию и контрольно-измерительной аппаратуре для регулирования технологических режимов. Эти требования различаются в зависимости от групп обрабатываемых ферритов [4].

У ферритов первой группы (1000НМ, 1500НМ и 2000НМ) контролируются два параметра: начальная магнитная проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Ферриты данной группы применяются в условиях, когда требуется повышенная температурная стабильность начальной магнитной проницаемости.

У ферритов второй группы (1500НМ1, 2000НМ1, 1500НМ2 и 3000НМС) дополнительно контролируется температурный коэффициент магнитной проницаемости в интервалах 10–20, 20–50 и 20–70°С. У ферритов марки 3000НМС помимо этих параметров измеряются потери энергии при перемагничивании и максимальная индукция в нормальных условиях и при 100°С.

Для ферритов третьей группы (1000НМ3, 1500НМ3) необходимы измерения тангенса угла

диэлектрических потерь, значение которого в три раза меньше, чем у материалов группы НМ, а также контроль температурного коэффициента магнитной проницаемости в интервалах от –60 до 20, 20–70 и 20–155°С.

У материалов четвертой группы, предназначенных для применения в режиме импульсного намагничивания (700НМ и 1100НМИ) и используемых в запоминающих элементах с модуляцией магнитного сопротивления (ММС) [5, 6], требуется контроль большого числа параметров при различных значениях намагниченности и в различных температурных диапазонах. Например, у элементов ММС измеряются амплитуда разрушенного сигнала "0" и "1" при –60, 25, 120°С, задержка переднего фронта и длительность выходного сигнала при 25 и 120°С, определяется форма выходного сигнала (в том числе наличие выбросов обратной полярности при 25 и 120°С). У сердечников 700 НМ, кроме начальной магнитной проницаемости контролируется тангенс угла магнитных потерь в слабых полях, а также температурная стабильность начальной магнитной проницаемости в диапазоне температур от –60 до 155°С.

Для получения требуемого комплекса электромагнитных свойств изделий решающее значение имеют два фактора – температура спекания и вакуумная программа охлаждения. Необходимая точность их регулирования при обжиге ферритов различных групп, установленная путем статистической обработки априорных данных известными методами [7], приведена в табл. 1.

Таблица 1

Группа ферритов	Температура спекания, °С	Вакуумная программа охлаждения, %
1	± 15	± 25
2	± 10	± 15
3	± 8	± 10
4	± 3	± 5

При определении требований к оборудованию и контрольно-измерительной аппаратуре необходимо также учитывать скорость нагрева до проведения процессов изотермической выдержки и вакуумного охлаждения. Это объясняется тем, что наличие влаги, содержащейся в заготовке после сушки, вызывает при большой скорости нагрева повышение давления паров во внутренних ее областях, что может привести к разрушению или растрескиванию заготовки. Быстрый нагрев способствует также интенсивному разложению технологической связки, вызывающему разрушение заготовки. Все это накладывает ограничения на скорость нагрева в интервале температур от 200 до 500°С. Кроме того, необходимо ограничивать скорость нагрева в интервалах температур от 400 до 1000°С, так как при этих температурах происходят реакции, связанные с химическими превращениями соединений марганца, что вызывает значительные механические напряжения в заготовке.

Для изделий различных размеров скорости нагрева и охлаждения могут сильно отличаться (табл. 2).

Таблица 2

Размеры изделий	Скорость нагрева, °С/ч	Скорость охлаждения, °С/ч
До 12 мм	500 - 700	800 - 1200
От 12 до 30 мм	700 - 300	200 - 500
Более 30 мм	50 - 150	50 - 100

Обеспечение хорошей воспроизводимости указанных технологических режимов достигается использованием в составе комплексных установок локальных АСУ вакуумного охлаждения [2].

На рис. 1 представлена блок-схема вакуумной установки непрерывного обжига для получения ферритов третьей и четвертой групп, в которой для уменьшения перепада температуры в процессе нагрева, спекания и охлаждения применено экранирование изделий — обжиг проводится в теплоизоляционных муфелях. Высокая степень воспроизводимости вакуумных программ охлаждения достигается благодаря применению трех автоматических программных регуляторов вакуума [2], работающих в режиме "давление воздуха — температура". Причем, применяемые вакуумные программы охлаждения отличаются от программ, используемых в ранее разработанных вакуумных установках непрерывного обжига [3]. Плавное изменение давления воздуха при уменьшении температуры примерно до 360°С стало возможным за счет прецизионного регулирования вакуума в камерах 6, 8, 9 и вакуумном приемнике 10 (см. рис. 1).

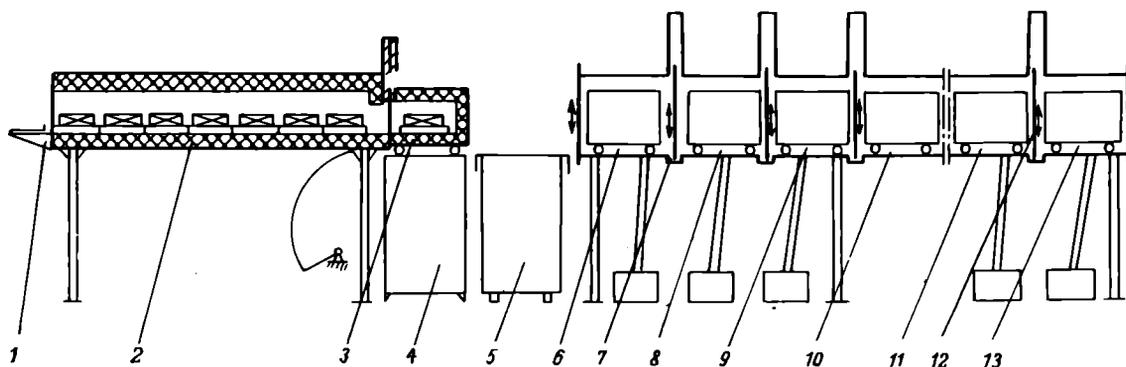


Рис. 1. Блок-схема установки для обжига изделий с особо прецизионными свойствами: 1 — толкатель; 2 — туннельная печь; 3 — промежуточная печь; 4 — экран нагрева; 5 — транспортная тележка; 6, 8-11 — вакуумные камеры; 7, 12 — вакуумные затворы; 13 — разгрузочная вакуумная камера

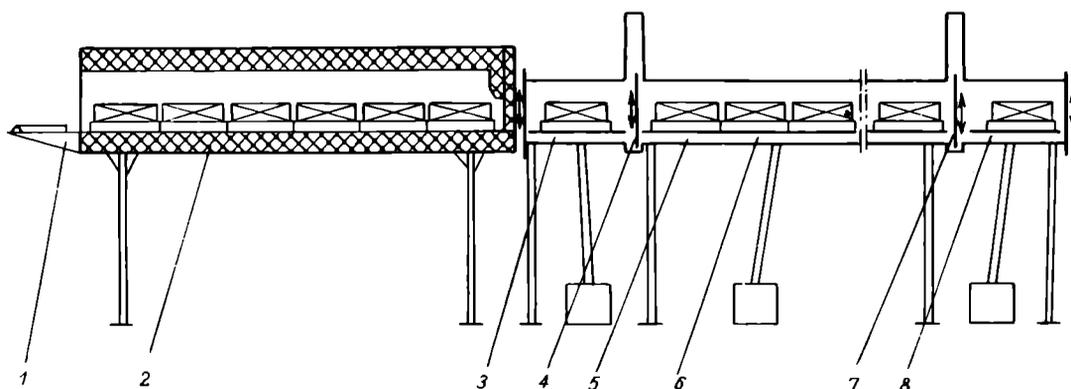


Рис. 2. Блок-схема установки для обжига малогабаритных изделий: 1 — толкатель; 2 — туннельная печь; 3 — входная вакуумная камера; 4, 7 — вакуумные затворы; 5 — центральная вакуумная камера; 6 — теплоинерционный муфель; 8 — выходная вакуумная камера

Применение указанной установки для производства ферритов марки 700НМ позволило повысить выход годных на 9,5% и увеличить съём продукции за единицу времени в 25 раз.

При разработке оборудования для непрерывного обжига малогабаритных ферритовых изделий (размером до 16 мм) в основу технологического процесса положена необходимость обеспечения быстрого нагрева и охлаждения. В установке, блок-схема которой показана на рис. 2, предусмотрена передача изделий после спекания из туннельной печи на охлаждение в шлюзовой проходной вакуумный приемник без использования промежуточных печей. При этом изделия загружаются в толстостенные теплоинерционные муфели. Непосредственная передача изделий на охлаждение, помимо уменьшения размеров установки, дает возможность повысить ее производительность по сравнению с аналогичными установками в 3-4 раза и сократить время охлаждения в вакууме в 4-5 раз. Вакуумные программы охлаждения приведены на рис. 3.

Для оценки эффективности установки проанализированы результаты разбраковки сердечников ММС из 11 муфелей. Неоднородность свойств сердечников оценивалась при помощи коэффициента вариации процента выхода годных изделий:

$$\delta(Y) = \frac{S(Y)}{\bar{Y}} 100\%$$

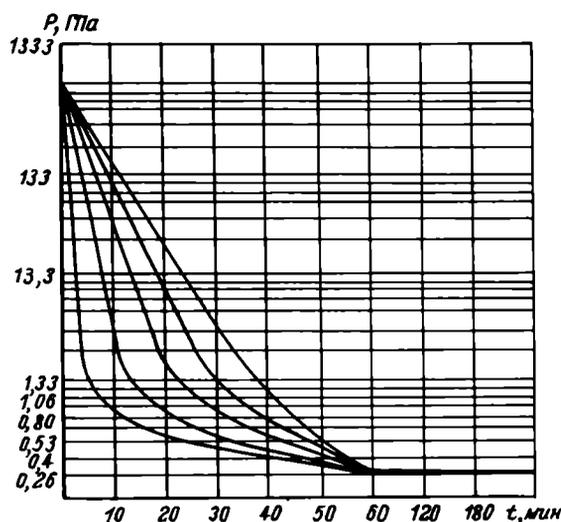


Рис. 3. Вакуумные программы охлаждения при обжиге малогабаритных изделий

где \bar{Y} — среднее значение процента выхода годных; $S(Y)$ — стандартное отклонение.

Проведенные расчеты показали, что коэффициент вариации составляет 16%, тогда как при обжиге в камерных печах аналогичная статистическая характеристика обычно оказывается в 2–3 раза выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. АСУ операцией обжига марганец-цинковых ферритов /Н.П.Адлер, Т.Г.Аминов, О.Н.Андреев, Г.И.Гладков, А.Ф.Пашков, В.Е.Прохоров, В.Н.Шишкин. — Электронная промышленность, 1974, вып. 11, с. 25–28.
2. Локальная АСУТП вакуумного охлаждения марганец-цинковых ферритов /Т.Г.Аминов, О.Н.Андреев, Г.И.Гладков, А.И.Егоров, А.Ф.Пашков, В.Е.Прохоров. — Электронная промышленность, 1976, вып. 3, с. 32–35.
3. Технология и оборудование для непрерывного обжига ферритов /Т.Г.Аминов, А.И.Егоров, В.Г.Надежин, А.Ф.Пашков. — Электронная промышленность, 1978, вып. 9, с. 60–63.
4. Шольц Н.Н., Пискарев К.А. Ферриты для радиостот. — М.—Л.: Энергия, 1968. — 289 с.
5. Злобин В.А., Мурамкина Т.С., Поспелов П.В. Изделия из ферритов и магнитоэлектриков: Справочник. — М.: Сов. радио, 1972. — 240 с.
6. Ашман А.Е. Запоминающие элементы с модуляцией магнитного сопротивления. — М.: Сов. радио, 1971. — 239 с.
7. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, 1965. — 233 с.

Статья поступила 11 мая 1981 г.

УДК 621.791.3:621.3.049.77

А.И.Берзина, Ю.К.Лапшов, А.П.Ляшок

ПАЙКА ПЛОСКИХ КОРПУСОВ МИКРОСХЕМ ПАСТООБРАЗНЫМ САМОФЛЮСУЮЩИМ ПРИПОЕМ

Использование пастообразных припоев на оловянно-свинцовой основе дает возможность проводить пайку никелированных корпусов микросхем без золотого покрытия на ободке с сохранением их герметичности в пределах $6 \cdot 10^{-3}$ — $6 \cdot 10^{-4}$ Па/с.

Золоченые корпуса микросхем герметизируют на воздухе с помощью стандартных припоев на оловянно-свинцовой основе в сочетании со спирто-канифольным флюсом. Герметизация никелированного корпуса с никелевой крышечкой по данной технологии до недавнего времени была невозможной. Применение для этих целей самофлюсующих композитных паст на оловянно-свинцовой основе позволило герметизировать плоские корпуса типа 401.14—3,4 без золотого покрытия на ободке с сохранением их герметичности в пределах $6 \cdot 10^{-3}$ — $6 \cdot 10^{-4}$ Па/с.

Пастообразный припой (слой 70—80 мкм) наносили на ободки оснований корпусов, которые затем нагревали в тече-

ние 8—10 с до оплавления и равномерного растекания припойной пасты по ободку, после чего проводилась герметизация. (Использовали крышки из никеля НП-2 с тонким лужением ПОС-61 толщиной 3—4 мкм и без него, основания корпусов были покрыты никелем химическим или электрохимическим способом). Оптимальная температура в зоне пайки составляла 260—270°С, время пайки 3—4 с.

Сравнение процента выхода корпусов без золотого покрытия на ободке, загерметизированных указанным способом, и корпусов с золоченым основанием, герметизация которых проводилась по серийной технологии с применением припойной прокладки ПоСуу-61-0,5 толщиной 120—130 мкм и спирто-канифольного флюса ФкСп, показало, что после термических испытаний герметичность всех вышеуказанных корпусов несколько снижается.

Термические испытания проводились в шкафу СНОЛ в следующих температурно-времен-

ных режимах: 150°С — 3 ч; 200°С — 3 ч; 200°С — 24 ч; 150°С — 100 ч; 150°С — 200 ч; 150°С — 300 ч; 150°С — 400 ч; 150°С — 500 ч.

В качестве критерия температурно-временных нагрузок использовался фактор Q , представляющий собой произведение температуры испытаний на его продолжительность. При возрастании этого фактора в 166 раз (отношение Q конечного температурного режима к начальному) процент выхода по герметичности золоченых корпусов уменьшается на 29—30% (рис.1,а), а никелированных — только на 26% (рис.1,б). Причем после термических испытаний абсолютное значение герметичности никелированных корпусов в сочетании с облуженными крышками выше, чем золоченых, в среднем на 2—4%.

Загерметизированные корпуса подвергали также механическим испытаниям, которые проводили на разрывной машине РМУ-1М. Результаты

среднего усилия отрыва крышек от оснований золоченых корпусов (рис.2, а — кривая 1) свидетельствуют, что в случае сочетания золоченого основания с чистой никелевой крышкой среднее усилие разрыва паяного шва сразу после герметизации составляет 56 Н. С возрастанием температурно-временного фактора в 166 раз прочность резко снижается до 17—18 Н, что объясняется активным образованием хрупких интерметаллидных

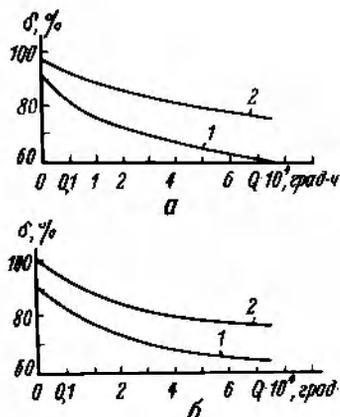


Рис. 1. Процент выхода после контроля герметичности корпусов с золоченым основанием (а) и корпусов с электрохимическим никелированием оснований (б) в зависимости от температурно-временных нагрузок: 1 — чистые никелевые крышки; 2 — никелевые крышки с тонким лужением

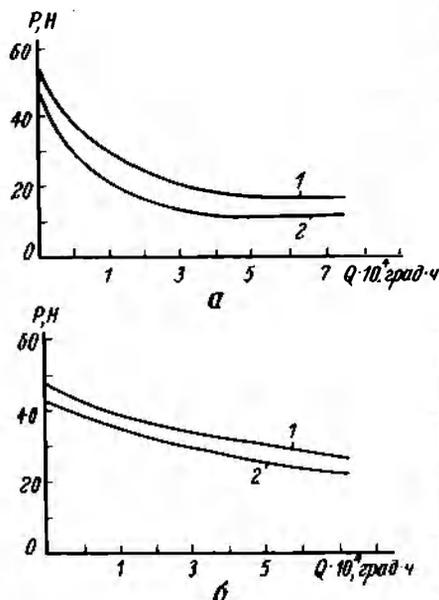


Рис. 2. Зависимость усилия отрыва крышки от золоченого основания (а) и от основания корпуса с электрохимическим никелированием (б) при действии температурно-временных нагрузок: 1 — чистые никелевые крышки; 2 — крышки с тонким лужением

фаз AuSn_2 , AuSn_4 [1]. При применении крышки с тонким лужением среднее усилие отрыва после герметизации составляет 53—54 Н, а после конечных термических испытаний не менее 11—13 Н.

Среднее усилие отрыва для никелированных корпусов в сочетании с чистыми никелевыми крышками (рис.2, б — кривая 1) сразу после герметизации составляет 48—49 Н, снижаясь после термических испытаний только до 30 Н, а при использовании крышек с тон-



Рис. 3. Структура микрошлифа паяного шва корпуса с электрохимическим никелированием основания, загерметизированного крышкой с тонким лужением ПОС-61 и самофлюсующей композитной пастой ($\times 100$)



Рис. 4. Структура микрошлифа паяного шва корпуса с электрохимическим никелированием основания, загерметизированного чистой никелевой крышкой и самофлюсующей композитной пастой ($\times 1250$)

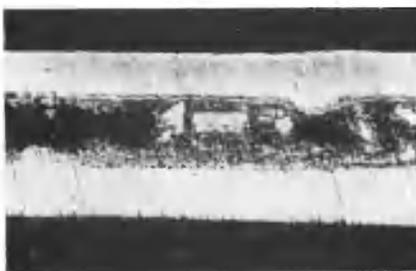


Рис. 5. Структура микрошлифа паяного шва корпуса с электрохимическим никелированием основания, загерметизированного крышкой с тонким лужением ПОС-61 и самофлюсующей композитной пастой, подвергнутого температурно-временной нагрузке ($T = 150^\circ\text{C}$, $t = 150$ ч)

ким лужением — с 45—47 (после герметизации) до 23—24 Н.

Таким образом, у никелированных корпусов паяные швы при использовании самофлюсующих композитных паст имеют после термических испытаний более высокую механическую прочность (в среднем на 12—14 Н), чем у золоченых. Это объясняется практическим отсутствием интерметаллидных фаз Ni_3Sn_4 в процессе термостарения (рис.3, 4).

Исследованиями с использованием метода концентрационных профилей [2] установлено, что интерметаллидные фазы начинают образовываться в незначительном количестве при действии температурно-временных нагрузок не менее чем $Q = 2,25 \cdot 10^4$ град ч на расстоянии 1/13 ширины паяного шва от основания корпуса с электрохимическим покрытием никелем (рис.5).

Учитывая тот факт, что наиболее критичным параметром паяных корпусов является герметичность, а несколько меньшая механическая прочность паяного шва в случае использования никелированных корпусов с облуженными крышками не влияет на надежность микросхем, сочетание основания с электрохимическим покрытием никелем и крышки тонкого лужения при герметизации самофлюсующей композитной пастой ПОС-61 является наиболее оптимальным.

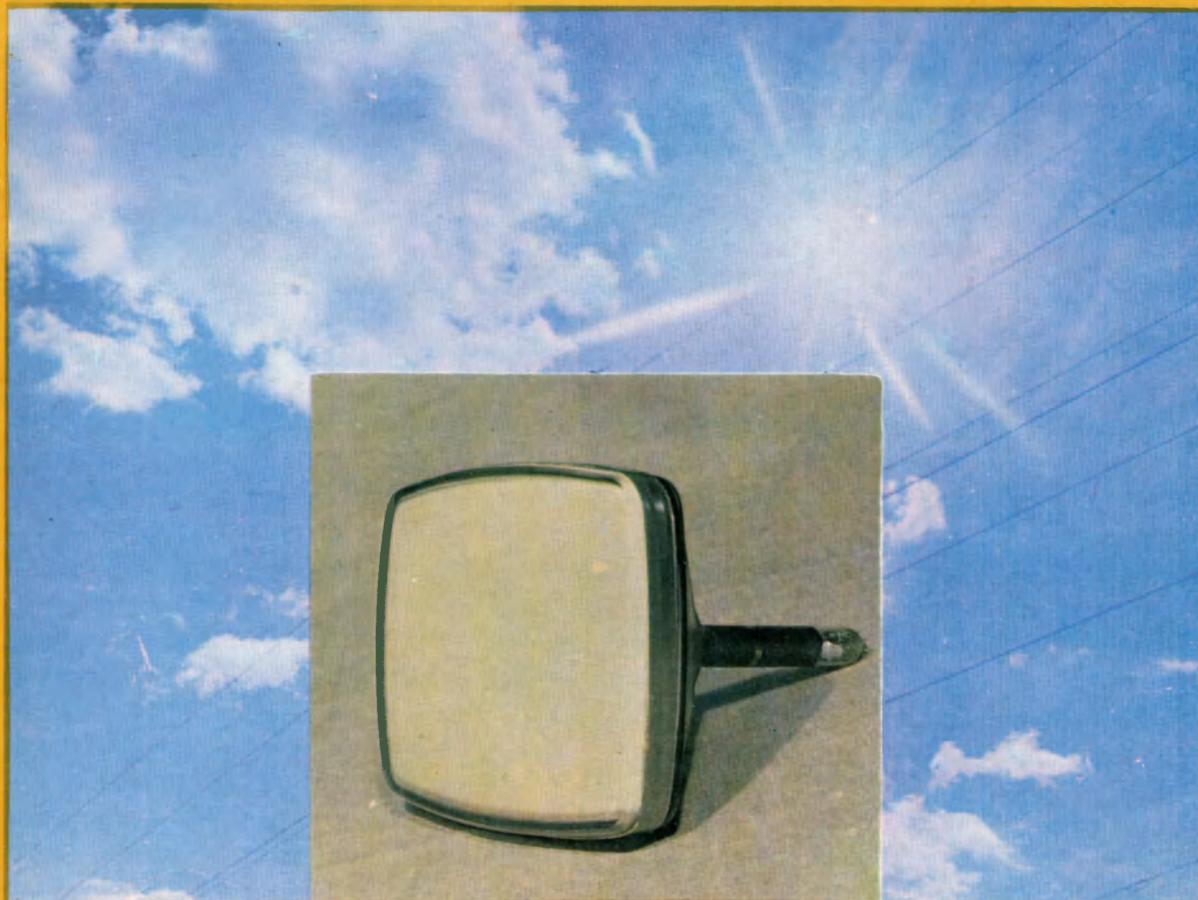
Использование пастообразных припоев позволяет сократить расход олова и свинца, поскольку припойную пасту можно наносить с помощью пневмодозатора, и расширяет возможность автоматизации процесса герметизации. Однако незначительное потемнение никелевых покрытий в процессе термических испытаний заставляет искать пути совершенствования этого метода герметизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герметизация плоских корпусов / А.Я.Сорокин, С.С.Стаховский, В.А.Попов, Б.И.Казуров. — Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование, 1973, вып.5, с. 21—25.
2. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ / Под ред. А.И.Козленкова. — М.: Мир, 1979. — 412 с.

Статья поступила 12 октября 1981 г.

индикаторная ЭЛТ 23ЛМ21Э



Трубка 23ЛМ21Э предназначена для работы в условиях с высоким уровнем внешней засветки и может применяться в малогабаритной аппаратуре.

Высокие параметры трубки обеспечены благодаря использованию новой ЭОС, арматура которой состоит из двух электродов чашечного типа и трех плоских. Конструкция электродов дает возможность жестко закрепить их в стеклянных изоляторах арматуры, что исключает смещение электродов в процессе сборки ЭОС. ЭОС проста по конструкции и технологии изготовления. Используемая в ней линза подфокусировки позволяет менять апертуру пучка в области главной фокусирующей линзы и отклоняющей системы без влияния на область формирования кроссовера.

Изменяя напряжение подфокусировки, можно уменьшать апертуру электронного пучка в области главной фокусирующей линзы и отклоняющей системы, уменьшать aberrацию, улучшать разрешающую способность и ее равномерность по полю.

Техническая характеристика

Диагональ экрана, см	23
Рабочий размер раstra	170x125
Угол отклонения, град	90
Диаметр горловины трубки, мм	20
Анодное напряжение, кВ	16
Яркость свечения экрана, Кд/м ² . .	1500
Ток луча, мкА	не более 250
Разрешающая способность, лин/мм	
в центре	не менее 950
по краям	не менее 750

Ответственные за выпуск С. И. Баранова, В. М. Дмитриев
Технический редактор Г. М. Корнеева Художник В. А. Чернецов
Фото на 4-ой стр. обложки Ю. Афонина
Корректоры А. В. Смирнова, Л. П. Данченкова



Подписано в печать 30/III-82.
Т-06459 Формат 60x90/8 Объем 8 п. л.
Уч.-изд. л. 9 Индекс 3833 31 статья, 2 реф.
Заказ 292 Тираж 4218 Цена 2 руб. 90 коп.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ "Электроника"

Москва, 117415, проспект Вернадского, 39

20 ЛЕТ

МОСКОВСКОМУ ИНСТИТУТУ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ



Приглашаем выпускников МИЭМ принять участие в юбилейных торжествах, которые состоятся в конце июня — начале июля 1982 года.

Справки по телефонам: 297-90-89, 297-13-86

