

### Глава 3

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ГИС

### § 3.1. Подложки тонкопленочных ГИС

Подложки ГИС являются диэлектрическим и механическим основаниями для расположения пленочных и навесных элементов и служат для теплоотвода. Электрофизические параметры материалов подложек даны в табл. 3.1, а химический состав некоторых из них — в табл. 3.2.

Для маломощных ГИС можно применять бесщелочные боросиликатные стекла С41-1 и С48-3, а также ситаллы. По сравнению с ситаллами стекла имеют меньшую теплопроводность, что не позволяет использовать их при повышенных уровнях мощности. Ситалл имеет ряд преимуществ перед стеклами. Он хорошо обрабатывается, выдерживает резкие перепады температуры, обладает высоким электрическим сопротивлением, газонепроницаем, а по механической прочности в 2—3 раза прочнее стекла. Для мощных ГИС применяют керамику поликор, а для особо мощных ГИС — бериллиевую керамику, имеющую очень высокую теплопроводность (см. табл. 3.1).

Недостатком керамики является значительная шероховатость поверхности, что затрудняет получение воспроизводимых номиналов тонкопленочных элементов. По этой причине керамику 22ХС используют только для толстопленочных ГИС. Увеличение класса чистоты обработки поверхности путем глазурирования керамики слоем бесщелочного стекла приводит к значительному уменьшению теплопроводности (см. табл. 3.1).

В случаях, когда требуется обеспечить хороший теплоотвод, высокую механическую прочность и жесткость конструкции, применяют металлические подложки: алюминиевые подложки, покрытые слоем анодного оксида, или эмалированные стальные подложки.

Габаритные размеры подложек стандартизованы. Обычно на стандартной подложке групповым методом изготавливают несколько плат ГИС (заметим, что платой называется часть подложки с расположенными на ее поверхности пленочными элементами одной ГИС). Деление стандартной подложки на части, кратные двум и

Электрофизические параметры материалов подложек ГИС

Параметр	Материал							
	стекло		керамика					
	С41-1	С48-3	статалл СТ50-1	плавленый кварц	22ХС (96%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	люликор	глазуро- ванная	99,5% ВСО
Класс чистоты обработки поверхности	14	14	13—14	14	12	12—14	14	
Температурный коэффициент линейного расширения ТКЛР при $T = 20 \div 300^\circ\text{C}$	$(41 \pm 2) \cdot 10^{-7}$	$(48 \pm 2) \cdot 10^{-7}$	$(50 \pm 2) \cdot 10^{-7}$	$55 \cdot 10^{-7}$	$(60 \pm 5) \cdot 10^{-7}$	$(70-75) \times 10^{-7}$	$(73-78) \times 10^{-7}$	Высота микрорельефовностей до 0,45 мкм $70 \cdot 10^{-7}$
Коэффициент теплопроводности, $Вт/(м \cdot ^\circ\text{C})$	1	1,5	1,5	7—15	10	30—45	1,2—1,7	210
Диэлектрическая проводимость при $f = 10^6$ Гц и $T = 20^\circ\text{C}$	7,5	3,2—8	5—8,5	3,8	10,3	10,5	13—16	6,4—9,5
Тангенс угла диэлектрических потерь при $f = 10^6$ Гц и $T = 20^\circ\text{C}$	$20 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$	—	$6 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$18 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$
Объемное сопротивление при $T = 25^\circ\text{C}$ , Ом·см	$10^{17}$	$10^{14}$	—	$10^{15}$	—	—	—	$10^{14}$
Электрическая прочность, кВ/мм	40	40	—	—	50	—	50	20

Таблица 3.2

## Химический состав подложек ГИС

Материал подложки	Состав									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{Na_2O}{K_2O}$	$\frac{FeO}{MnO}$	LiO <sub>2</sub>
C41-1	60,5	13,5	—	9,5	9,0	7,5	—	0,25	—	—
C48-3	66,3	3,5	—	—	—	0,5	20,9	8,0	0,6	0,2
СТ50-1	25,0	20,0	25,0	—	—	—	30,0	—	0,06	—

Таблица 3.3

Типоразмеры плат ГИС  
(размеры, мм)

№ типо-размера	Ширина	Длина	№ типо-размера	Ширина	Длина	№ типо-размера	Ширина	Длина	№ типо-размера	Ширина	Длина
1	96	120	6	20	24	11	5	6	16	8	10
2	60	96	7	16	20	12	2,5	4	17	24	60
3	48	60	8	12	16	13	16	60	18	15	48
4	30	48	9	10	16	14	32	60	19	20	45
5	24	30	10	10	12	15	8	15	—	—	—

трех, дает ряд типоразмеров плат, приведенных в табл. 3.3. Платы № 3—10 используют в стандартных корпусах, остальные — в бескорпусных ГИС и микросборках. Толщина подложек составляет 0,35—0,6 мм. Размеры подложек имеют только минусовые допуски в пределах (0,1—0,3 мм).

## § 3.2. Материалы элементов тонкопленочных ГИС

**Материалы резисторов.** Параметры тонкопленочных резисторов определяются свойствами применяемых резистивных материалов, толщиной резистивной пленки и условиями ее формирования. Для создания ГИС необходимы резистивные пленки с удельным поверхностным сопротивлением  $\rho_s$  от десятков до десятков тысяч ом на квадрат. Чем меньше толщина пленок, тем выше  $\rho_s$ , но одновременно повышается ТКР, а также ухудшается временная и температурная стабильность пленок.

В качестве резистивных материалов используют чистые металлы и сплавы с высоким электрическим сопротивлением, а также специальные резистивные материалы — керметы, которые состоят из частиц металла и диэлектрика (например, Cr и SiO). Широко распространены пленки хрома и тантала (табл. 3.4). Сплавы, из

Основные параметры материалов тонкопленочных резисторов

Материал		Параметры			
для напыления резистивной пленки	контактных площадок	удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки $R_s$ , Ом/□	диапазон номинальных значений сопротивлений, Ом	допустимая удельная мощность рассеяния $P_0$ , Вт/см <sup>2</sup>	температурный коэффициент сопротивления ТКР при $T = -60 \div 125^\circ\text{C}$
Нихром, проволока Х20Н80 (ГОСТ 12766—67)	Медь	300	50—30 000	2	$1 \cdot 10^{-4}$
	Золото с подслоем хрома	10	1—10 000		$-2,25 \cdot 10^{-4}$
50		5—50 000	2		$2 \cdot 10^{-4}$
Сплав МЛТ-3М (БКО.028.005 ТУ)	Медь с подслоем ванадия (луженая)	500		50—50 000	
	Медь с подслоем никрома (защищенная никелем)				
Хром (ГОСТ 5905—67)	Медь (луженая)	500	50—30 000	2	$3 \cdot 10^{-4}$ $-4 \cdot 10^{-4}$ $-5 \cdot 10^{-4}$
Кермет К-50С (ЕТО.021.013 ТУ)	Золото с подслоем хрома (нихрома)	3000	1000—10 000		
		5000	500—200 000		
		10 000	10 000—10 000 000		

Продолжение табл. 3.4

Материал		Параметры			
для напыления резистивной пленки	контактных площадок	удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки $R_s$ , Ом/□	диапазон номинальных значений сопротивлений, Ом	допустимая удельная мощность рассеяния $P_0$ , Вт/см <sup>2</sup>	температурный коэффициент сопротивления ТКР при $T = -60 \div 125^\circ\text{C}$
Тантал ТВЧ; лента толщиной 0,3—3 мм (РЭТУ 1244—67)	Алюминий с подслоем ванадия	20—100	100—10 000	3	$-2 \cdot 10^{-4}$
	Медь с подслоем никрома	100	50—100 000		
	Тантал	10	10—15 000		
Сплав РС-3001 (ЕТО.021.019 ТУ)		1000	100—50 000	2	$-0,2 \cdot 10^{-4}$
		2000	200—100 000		
Сплав РС-3710 (ЕТО.021.034 ТУ)	Золото с подслоем хрома (нихрома)	3000	1000—200 000		$-3 \cdot 10^{-4}$

которых наиболее часто используют нихром, имеют большее значение  $\rho_{\Sigma}$  по сравнению с пленками чистых металлов. На основе керметов получают высокоомные резисторы. Наиболее распространен кермет, в состав которого входят хром и моноокись кремния (50—90% Cr, 50—10% SiO). В зависимости от содержания хрома можно получить резистивные пленки с удельным сопротивлением от сотен ом на квадрат до десятков килоом на квадрат, обладающие высокой стабильностью. Однако в связи с тем, что свойства керметных пленок в сильной степени зависят от технологических факторов, резисторы имеют худшую воспроизводимость номиналов и больший ТКР по сравнению с металлическими: В настоящее время промышленностью освоена большая группа металлосилицидных сплавов системы Cr—Si, легированных небольшими добавками железа, никеля, кобальта, вольфрама (РС-3001, РС-3710, РС-5604К, МЛТ-3М, РС-5406Н). При сравнительно малом ТКР и высокой стабильности воспроизведения удельных поверхностных сопротивлений диапазон номиналов сплавов РС достаточно широк: 50 Ом/□—50 кОм/□. Наиболее часто используют сплавы РС-3001, РС-3710 (37,9% Cr, 9,4% Ni, 52,7% Si), МЛТ-3М (43,6% Si, 17,6% Cr, 14,1% Fe, 24,7% W) (см. табл. 3.4).

**Материалы конденсаторов.** Обкладки конденсаторов должны иметь высокую проводимость, коррозионную стойкость, технологическую совместимость с материалом подложки и диэлектрика конденсатора: ТКЛР, близкие к ТКЛР подложки и диэлектрика, хорошую адгезию к подложке и диэлектрику, высокую механическую прочность.

Наилучшим материалом для обкладок конденсаторов является алюминий, который, однако, имеет плохую адгезию к подложке. Для предотвращения отслаивания нижней обкладки вначале напыляют подслои титана или ванадия. Верхняя обкладка, напыляемая на диэлектрик, не требует подслоя. Применение золота для обкладок не рекомендуется из-за высокой подвижности атомов и возможной диффузии сквозь диэлектрик, приводящей к короткому замыканию обкладок.

Материал диэлектрика должен иметь хорошую адгезию к подложке и материалу обкладок, обладать высокой электрической прочностью и малыми потерями, иметь высокую диэлектрическую проницаемость и минимальную гигроскопичность, не разлагаться в процессе формирования пленок. В качестве диэлектрических материалов наиболее часто используют моноокиси кремния и германия. В табл. 3.5 приведены основные параметры диэлектрических материалов тонкопленочных конденсаторов.

**Материалы проводников и контактных площадок.** Они должны иметь малое удельное сопротивление, хорошую адгезию к подложке, высокую коррозионную стойкость. Самым распространенным материалом тонкопленочных проводников и контактных площадок в ГИС повышенной надежности является золото с подслоем хрома, нихрома или титана. Подслой обеспечивает высокую адгезию, а золото — нужную проводимость, высокую коррозионную стой-

Таблица 3.5

## Основные параметры диэлектрических материалов тонкопленочных конденсаторов

Материал		Параметры								
для напыления диэлектрика	для напыления обкладок	Удельное сопротивление пленки обкладок $\rho_s$ , Ом/л	удельная емкость $C_0$ , пФ/см <sup>2</sup>	рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$ , В/В <sup>2</sup>	диэлектрическая прочность при $f = 1$ МГц $\epsilon$	тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ при $f = 1$ МГц	электрическая прочность $E_{\text{пр}}$ , В/см	рабочая частота $f$ , МГц, не более	температурный коэффициент емкости ТК при $T = -60 \pm 125^\circ\text{C}$ , $1/^\circ\text{C}$	
Моноксид кремния (ГОСТ 5.634—70)			5 000	60	5,0—6,0	0,01—0,02	(2—3) · 10 <sup>6</sup>	500	2 · 10 <sup>-4</sup>	
			10 000	30						
Моноксид германия (ГОСТ 19602—74)			5 000	10	11—12		0,005—0,007	1,0 · 10 <sup>6</sup>	300	3 · 10 <sup>-4</sup>
			10 000	7						
			15 000	5						
			2 500	24						
			5 000	15						
Боросиликатное стекло (ЕТО.035.015 ТУ)		0,2	10 000	10	4		0,001—0,0015	(3—4) · 10 <sup>6</sup>		0,35 · 10 <sup>-4</sup>
			15 000	8						
			15 000	12,6						
			20 000	10—12,6						
			30 000	6,3—10						
Стекло электровакуумное С41-1 (НПО.027.600)			40 000	6,3	5,2	0,002—0,003			(0,5—1) · 10 <sup>-4</sup> при $T = -60 \pm 25^\circ\text{C}$ (1,5—1,8) · 10 <sup>-4</sup> при $T = 25 \pm 155^\circ\text{C}$	
				4						

Материал		Параметры							
для наклеивания диэлектрика	для наклеивания обкладок	Удельное поверхностное сопротивление $R_s$ , Ом/□	удельная емкость $C_0$ , нФ/см <sup>2</sup>	рабочее напряжение $U_{раб.}$ , В	диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ при $f = 1$ кГц	тангенс угла диэлектрических потерь $tg \delta$ при $f = 1$ кГц	электрическая прочность $E_{пр}$ , В/см	Рабочая частота $f$ , МГц, не более	температурный коэффициент емкости ТКЭ при $T = -60 \div 125^\circ C$ , $1/^\circ C$
Пятиокись тантала (электрохимическое анодирование)	Тантал ТВЧ (РТУ 1244-67), нижняя обкладка	1—10	60 000	15	23	0,02	2 · 10 <sup>6</sup>	0,1	4 · 10 <sup>-4</sup>
			100 000	10					
			200 000	3					
	Алюминий А99 (ГОСТ 11069-64) с подслоем вандия (верхняя обкладка)	0,2							

кость, возможность пайки и сварки. Толщина золотых пленочных проводников обычно составляет 0,5—1 мкм.

В аппаратуре с менее жесткими требованиями к надежности в качестве проводников используют пленки меди или алюминия с подслоем хрома, никрома или титана. Для предотвращения окисления меди и улучшения условий пайки или сварки ее покрывают никелем, золотом или серебром. Для пайки медные контактные пло-

Т а б л и ц а 3.6

Параметры многокомпонентных систем проводников и контактных площадок тонкопленочных ГИС

Материалы подслоя, слоя и покрытия	Толщина слоев, мкм	Удельное поверхностное сопротивление $\rho_s$ , Ом/□	Рекомендуемый способ контактирования внешних выводов
Подслой — никром Х20Н80 (ГОСТ 2238—58) Слой — золото Зл999,9 (ГОСТ 7222—54)	0,01—0,03 0,6—0,8	0,03—0,05	Пайка микропаяльником или сварка импульсным косвенным нагревом
Подслой — никром Х20Н80 (ГОСТ 2238—58) Слой — медь МВ (вакуум-плавленная) (МРТУ 14-14-42—65) Покрытие — никель (МРТУ 14-14-46—65)	0,01—0,03 0,6—0,8 0,08—0,12	0,02—0,04	Сварка импульсным косвенным нагревом
Подслой — никром Х20Н80 (ГОСТ 2238—58) Слой — медь МВ (вакуум-плавленная) (МРТУ 14-14-42—65) Покрытие — золото Зл999,9 (ГОСТ 7222—54)	0,01—0,03 0,6—0,8 0,05—0,06	0,02—0,04	Пайка микропаяльником или сварка импульсным косвенным нагревом
Подслой — никром Х20Н80 (ГОСТ 2238—58) Слой — алюминий А97 (ГОСТ 11069—64)	0,01—0,03 0,3—0,5	0,06—0,1	Сварка сдвоенным электродом
Подслой — никром Х20Н80 (ГОСТ 2238—58) Слой — алюминий А99 (ГОСТ 11069—58) Покрытие — никель (МРТУ 14-14-46—65)	0,04—0,05 0,25—0,35 0,05	0,1—0,2	Сварка импульсным косвенным нагревом



щадки целесообразно облуживать погружением схемы в припой, при этом остальные пленочные элементы должны быть защищены.

Алюминий обладает достаточно высокой коррозионной стойкостью и может использоваться как с защитным покрытием никеля для обеспечения возможности пайки, так и без него, если присоединение навесных компонентов и внешних контактов осуществляется сваркой. Толщина медных и алюминиевых проводников равна ~ 1 мкм, а толщина никелевого или золотого покрытия обычно составляет десятые — сотые доли микрометра.

В табл. 3.6 приведены основные параметры токопроводящих материалов, подслоя и покрытия, а в табл. 3.7 — параметры диэлек-

Таблица 3.7

Электрофизические параметры материалов, применяемых для защиты элементов тонкопленочных ГИС

Материалы диэлектрика	Параметры				
	удельная емкость $C_0$ , пФ/мм <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ при $f=1$ кГц	удельное объемное сопротивление $\rho_v$ , Ом·см	электрическая прочность $E_{пр}$ , В/см	температурный коэффициент ТКС при $T = -60 \div 85^\circ\text{C}$ , 1/°C
Моноксид кремния БКО.028.004 ТУ	17	0,03	$1 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-4}$
Халькогенидное стекло ИКС-24	50	0,01	$1 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-4}$
Негативный фоторезист ФН-108 ХАО.028.077 ТУ	12	0,01	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-4}$
Фоторезист ФН-11 ТУ 6-14-631—71	50—80	—	$3 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^5$	—
Лак полиимидный электро- изоляционный	80—100	—	$2 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^5$	—
Оксид кремния $\text{SiO}_2$	100	—	$1 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^5$	—

трических материалов, применяемых для защиты элементов тонкопленочных ГИС. Следует различать многослойную разводку от многоуровневой, когда создается система коммутации элементов и компонентов ГИС в несколько этажей (уровней), разделенных слоем диэлектрика. В каждом из уровней разводка может быть многослойной.

### § 3.3. Методы формирования конфигураций элементов тонкопленочных ГИС

Для формирования конфигураций проводящего, резистивного и диэлектрического слоев используют различные методы: масочный — соответствующие материалы папыляют на подложку через съемные маски; фотолитографический — пленку наносят на всю поверхность подложки, а затем вытравливают с определенных участков; элек-

троннолучевой — некоторые участки пленки удаляют по заданной программе с подложки испарением под воздействием электронного луча; лазерный — аналогичен электроннолучевому, только вместо электронного применяют луч лазера. Наибольшее распространение получили два первых способа, а также их комбинации.

**Масочный метод.** При масочном методе рекомендуется такая последовательность формирования слоев для изготовления ГИС, содержащих резисторы, проводники, пересечения пленочных проводников, конденсаторы. Напыление: 1) резисторов; 2) проводников и контактных площадок; 3) межслойной изоляции; 4) проводников; 5) нижних обкладок конденсаторов; 6) диэлектрика; 7) верхних обкладок конденсаторов; 8) защитного слоя. При отсутствии конденсаторов исключаются операции 5—7, а при отсутствии пересечений — операции 3, 4.

**Фотолитографический метод.** При фотолитографическом методе для изготовления ГИС, содержащих резисторы и проводники, используют два варианта технологии:

1) напыление материала резистивной пленки; напыление материала проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя;

2) после проведения первых двух операций — фотолитография проводящего и резистивного слоев; фотолитография проводящего слоя; нанесение защитного слоя.

При производстве микросхем, содержащих проводники и рези-

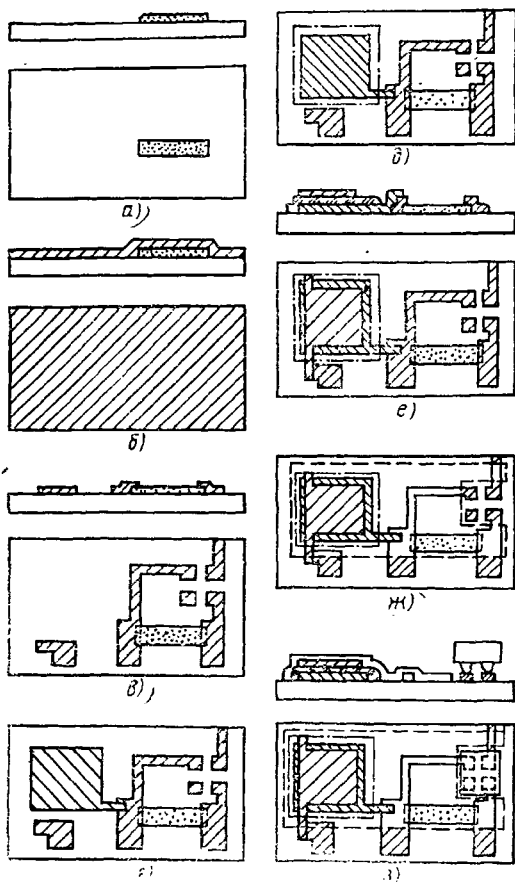


Рис. 3.1. Технологический процесс производства тонкопленочной ГИС комбинированным масочным и фотолитографическим методами:

а — напыление резисторов через маску; б — напыление проводящей пленки; в — фотолитография проводящего слоя. Напыление через маску; г — нижних обкладок конденсаторов; д — диэлектрика; е — верхних обкладок конденсаторов; ж — нанесение защитного слоя; з — монтаж навесных компонентов с жесткими выводами

сторы из двух разных резистивных материалов, рекомендуется такая последовательность операций: напыление пленки первого резистивного материала; напыление пленки второго резистивного материала; напыление материала проводящей пленки; фото-

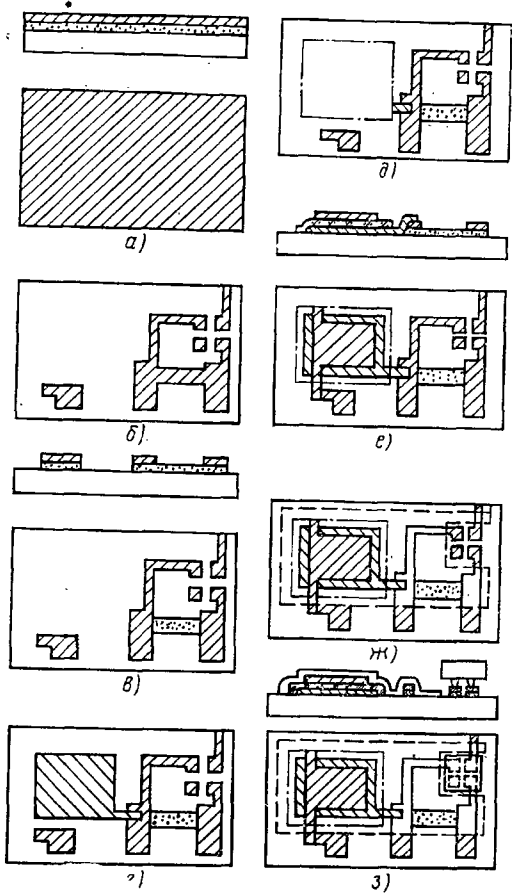


Рис. 3.2. Технологический процесс производства тонкопленочной ГИС комбинированным методом (масочным и двойной фотолитографии):

а — напыление сплошных резистивной и проводящей пленок; б — травление проводящего и резистивного слоев; в — селективное травление проводящего слоя. Напыление через маску: г — нижних обкладок конденсаторов; д — диэлектрика; е — верхних обкладок конденсаторов; ж — нанесение защитного слоя; з — монтаж навесных компонентов

конденсаторов; нанесение защитного слоя (рис. 3.2, а—ж). Монтаж навесных компонентов представлен на рис. 3.2, з.

Для схем, не содержащих конденсаторы, применяют один из трех вариантов:

1) напыление через маску резисторов; напыление проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; фотолитография второго резистивного слоя; фотолитография первого резистивного слоя; нанесение защитного слоя.

Комбинированный масочный и фотолитографический метод. При совмещении масочного и фотолитографического методов для микросхем, содержащих резисторы, проводники и конденсаторы, используют два варианта технологии:

1) напыление резисторов через маску; напыление проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего слоя; поочередное напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок конденсаторов; нанесение защитного слоя (рис. 3.1, а—ж). На рис. 3.1, з показан монтаж навесных компонентов с жесткими выводами;

2) напыление резистивной пленки; напыление проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего и резистивного слоев; фотолитография проводящего слоя; напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок

1) напыление через маску резисторов; напыление проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; нанесение защитного слоя;

2) напыление резистивной пленки; фотолитография резистивного слоя; напыление через маску проводников и контактных площадок; нанесение защитного слоя;

3) напыление резистивной пленки; напыление через маску контактных площадок и проводников; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя.

Рекомендации по применению методов изготовления ГИС. Масочный метод применяют в мелкосерийном и серийном производстве. Точность изготовления R- и C-элементов  $\pm 10\%$ . Фотолитографический метод используют в массовом производстве. Достижимая точность изготовления пассивных элементов  $\pm 1\%$ . Комбинированный масочный и фотолитографический метод применяют в серийном и массовом производстве, при этом максимальная разрешающая способность при изготовлении пленочных элементов 50 мкм, точность изготовления R- и C-элементов  $\pm 1$  и  $10\%$  соответственно.

### § 3.4. Компоненты ГИС

В качестве компонентов ГИС применяют диоды и диодные матрицы, транзисторы и транзисторные матрицы, полупроводниковые ИМС, конденсаторы, наборы прецизионных резисторов и конденсаторов, индуктивности, дроссели, трансформаторы. Компоненты могут иметь жесткие и гибкие выводы.

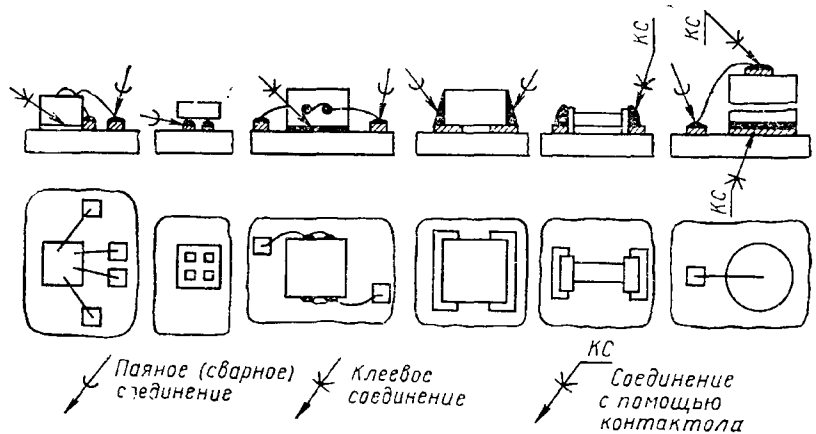


Рис. 3.3. Способы крепления компонентов ГИС и присоединения их выводов

Способ монтажа компонентов на плату должен обеспечить фиксацию положения компонента и выводов, сохранение его целостности, параметров и свойств, а также отвод теплоты, сохранение целостности ГИС при термоциклировании, стойкость к вибрациям и

ударам. На рис. 3.3 показаны способы установки, крепления и присоединения выводов компонентов ГИС. Гибкие выводы присоединяют в центре контактной площадки (рис. 3.4), при этом конец гибкого вывода не должен выступать за пределы площадки. Расстояние от места выхода гибкого вывода из защитного покрытия до места его присоединения к контактной площадке должно быть не менее половины высоты компонента.

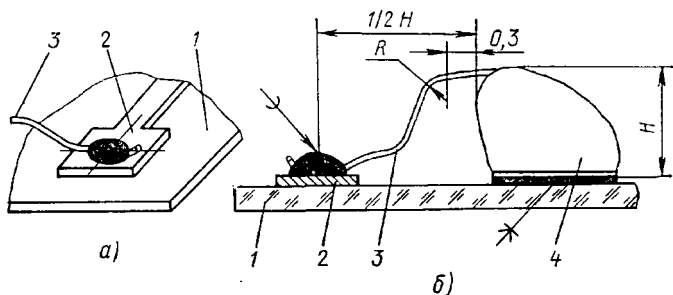


Рис. 3.4. Крепление компонентов ГИС к плате и присоединение гибкого вывода к контактной площадке:

*а* — расположение вывода на контактной площадке; *б* — крепление компонента ГИС (1 — подложка; 2 — контактная площадка; 3 — гибкий вывод; 4 — компонент ГИС)

Выбор того или иного типа прибора определяется технологическими возможностями производства, обеспечивающими установку, крепление и присоединение выводов прибора на плате ГИС, а также рядом параметров и критериев, характеризующих работу прибора в конкретной схеме. Поскольку надежность прибора определяется режимами его работы в схеме, следует учитывать зависимость электрических параметров от условий работы схемы, значений токов, напряжений, мощностей и т. д.

**Транзисторы и диоды.** В табл. 3.8 приведена система обозначений полупроводниковых приборов, используемых в качестве компонентов ГИС.

Способы установки на плату, электрические параметры, габаритные и присоединительные размеры транзисторов приведены в табл. 3.9 и на рис. 3.6, а диодов диодных матриц и диодных сборок — в табл. 3.10 и на рис. 3.5

**Конденсаторы.** Перспективными для применения в ГИС являются керамические конденсаторы К10-17 (рис. 3.7) и К10-9 (рис. 3.8, *а* — *в*). Их параметры приведены в табл. 3.11 и 3.12. Эти конденсаторы выпускаются двух типов — с нелужеными (посеребренными) и лужеными торцами, являющимися выводами обкладок. Нелуженые выводы предназначены для присоединения к контактным площадкам с помощью гибких выводов (рис. 3.9, *а*), луженые — непосредственно к контактным площадкам платы ГИС (рис. 3.9, *б*).

## Система обозначений полупроводниковых приборов

Первый элемент обозначения	Второй элемент обозначения	Третий, четвертый и пятый элементы обозначения (характеризуют качественные свойства, тип или назначение прибора, а также порядковый номер разработки технологического типа прибора)					Шестой элемент обозначения				
Г — германий и его соединения	Т — транзисторы биполярные	101—199	201—299	301—399	401—499	501—599	601—699	701—799	801—899	901—999	От А до Я
		Малой мощности $P_{\max} \leq 0,3 \text{ Вт}$	Средней мощности $0,3 \text{ Вт} < P_{\max} \leq 1,5 \text{ Вт}$	Средней мощности $0,3 \text{ Вт} < P_{\max} \leq 1,5 \text{ Вт}$	Средней мощности $0,3 \text{ Вт} < P_{\max} \leq 1,5 \text{ Вт}$	Средней мощности $0,3 \text{ Вт} < P_{\max} \leq 1,5 \text{ Вт}$	Большой мощности $P_{\max} > 1,5 \text{ Вт}$	Большой мощности $P_{\max} > 1,5 \text{ Вт}$			
К — кремний и его соединения	П — транзисторы полевые	$f \leq 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f \leq 30 \text{ МГц}$	$f \leq 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f \leq 30 \text{ МГц}$	$f < 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$	$f < 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$	$f < 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$	$f < 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$	$f < 3 \text{ МГц}$ $3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$	$3 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$ $f > 30 \text{ МГц}$	$f > 30 \text{ МГц}$	
		Выпрямительные малой мощности $I \leq 0,3 \text{ А}$ $0,3 < I \leq 10 \text{ А}$	Магнитодюды и термолюды	Универсальные $\tau > 50 \text{ нс}$	Универсальные $5 \text{ нс} < \tau \leq 30 \text{ нс}$ $3 \text{ нс} < \tau \leq 150 \text{ нс}$ $15 \text{ нс} < \tau \leq 50 \text{ нс}$	Импульсные	Импульсные	Импульсные	Импульсные	Импульсные	
	Д — диоды										

Способы установки на плату, электрические параметры, габаритные и присоединительные размеры транзисторов

Способ установки	Тип	Электрические параметры				Габаритные размеры, мм, не более		Интеграл рабочих температур, °С	Масса, г, не более	
		$I_{к\text{мах}}$ , мА	$P_{к\text{крат}}$ , мВт	$U_{кэ}$ , В	$h_{21э}$	$a$	$b$			
										$h$
Рис. 3б а	КТ120А—КТ120В	10	10	60	20—200	1,00	1,00	1,0	—10÷56	0,020
	КП201Е—КП201Д	20	150	20	20—90	1,20	1,20	0,6	—40÷85	0,005
	КТ202А—КТ202Г	10	15	15	40—150	0,83	0,83	0,5	—60÷85	0,012
	КТ307А—КТ307Г	20	15	10	20	0,86	0,86	0,8	260÷85	0,002
	КТ317А—КТ317В	15	15	5	25—250	1,30	1,30	1,1	—60÷85	0,010
	КТ318А—2Т318В	20	15	10	70—280	1,00	1,00	1,0	—60÷85	0,010
	КТ324А—КТ324Е	20	15	10	20—250	0,66	0,66	0,6	—55÷85	0,002
	КТ331А—КТ331Г	20	15	15	40—120	1,20	1,20	0,8	—60÷125	0,003
	КТ332А—КТ332Д	20	15	15	20—120	1,20	1,20	0,8	—60÷125	0,003
	2Т354А—2Т354В	20	20	10	40—400	1,20	1,00	0,8	—60÷85	0,001
Рис. 3б б	2Т360А—2Т360В	20	10	15	80—240	1,20	1,20	0,8	—40÷55	0,005
	КТ369А—КТ369Г	250	50	45	40—200	2,00	2,00	1,0	—60÷85	0,020
	2Т364А—2Т364В	200	30	20	40—240	1,25	3,00	1,00	—60÷85	0,006
	2Т333А—2Т333Е	20	15	10	50—280	0,75	0,75	0,34	—60÷85	0,010
Рис. 3б в	КТ348А—КТ348В	15	15	5	25—250	0,75	0,75	0,34	—40÷85	0,010
	КТ359А—КТ359В	20	15	15	50—280	0,75	0,75	0,34	—50÷85	0,010
Рис. 3б г	2Т205А	20	40	200	10—40	1,25	1,25	0,37	—60÷125	0,003

Примечание:  $I_{к\text{мах}}$  — максимальный ток коллектора; $P_{к\text{крат}}$  — максимальная мощность в цепи коллектора; $U_{кэ}$  — постоянное напряжение коллектор — эмиттер при  $R_{эб} \leq 10$  кОм; $h_{21э}$  — коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером.

Способы установки на плату, электрические параметры, габаритные и присоединительные размеры бескорпусных диодных матриц, диодных сборок, диодов

Способ установки	Тип	Электрические параметры				Габаритные размеры, мм, не более			Масса, г, не более
		$U_{обр\ max}$ , В	$I_{пр\ max}$ , мА	количество диодов	схема соединений	a	b	H	
Рис. 3.5, а	2Д918Б, 2Д918Г КД907Б, КД907Г	40	51	4	С общим анодом	1,15	1,15	1,0	0,005 0,006
Рис. 3.5, б	КД901А— КД901Г 2Д904А— 2Д904Е	11	—	6	С общим катодом	1,1	1,3	0,8	0,005
		12	5	6		1,3	1,1	1,0	0,010
Рис. 3.5, в	2ДС408А, 2ДС408Б	12	21	4	Диоды не соединены между собой	0,9	1,1	0,7	0,006
Рис. 3.5, г	2Д910А— 2Д910В 2Д911А— 2Д911Б	5	10	3	С общим катодом	1,0	1,0	1,0	0,01
		1,0	1,0	1,0		—			
Рис. 3.5, в	2Д912А  КД913А	11	5	3	С общим анодом	0,75	0,75	0,34	0,01
		10	10	3	С общим катодом	0,75	0,75	0,75	0,002

Примечание:  $U_{обр\ max}$  — постоянное обратное напряжение в интервале температур —60÷80°С;

$I_{пр\ max}$  — суммарный средний прямой ток через все диоды или один диод в интервале температур —60÷85°С.

Выбор типа конденсатора производят по значениям емкости, рабочего напряжения, интервалу рабочих температур, допустимой реактивной мощности и допустимому отклонению емкости от номинала.

Керамические конденсаторы в зависимости от вида примененной для диэлектрика керамики подразделяют на группы. Конденсаторы с диэлектриком из высокочастотной керамики имеют нормированный ТКС (группы П33, М47, М75, М750, М1500, М2200). В написании группа букв означает: П — положительный, М — отрицательный ТКС, а цифра — среднее значение  $\text{TKC} \cdot 10^{-6}$  на частотах порядка мегагерц. В зависимости от номинала допустимое

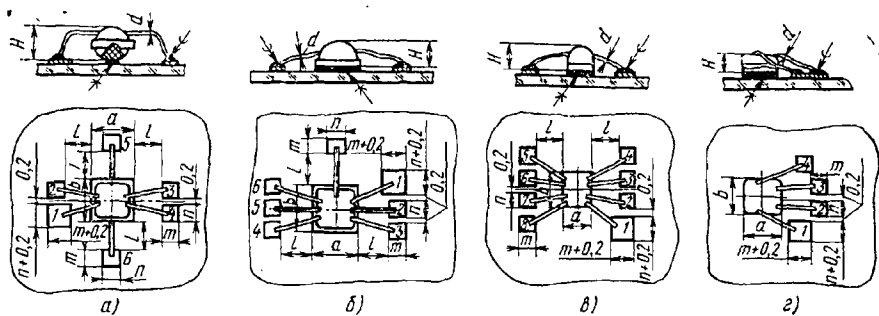


Рис. 3.5. Способы установки на плату, габаритные и присоединительные размеры транзисторов в соответствии с табл. 3.9  
Размеры контактных площадок приведены в табл. 3.15

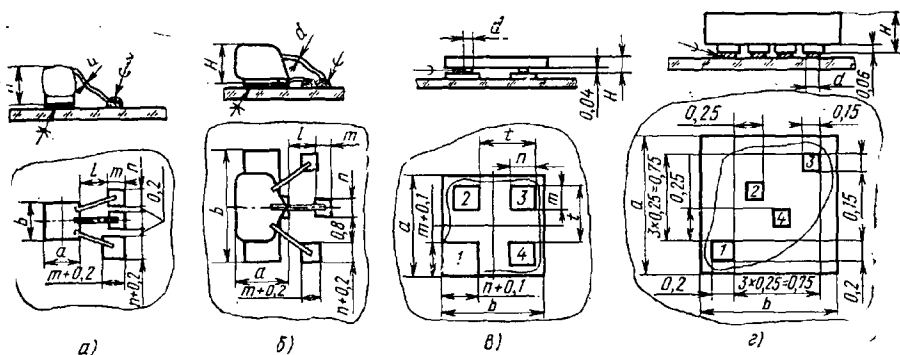


Рис. 3.6. Способы установки, габаритные и присоединительные размеры диодных матриц и диодных сборок в соответствии с табл. 3.10

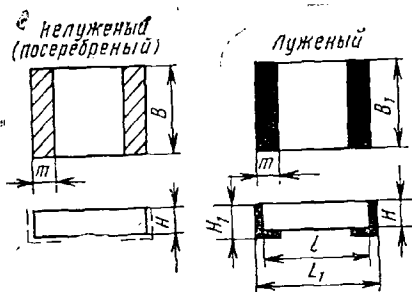


Рис. 3.7. Конструкции конденсатора К10-17 с нелужеными и лужеными выводами ( $B_1$ ,  $L_1$ ,  $H_1$  — размеры после лужения)



Параметры конденсаторов К10-17

Пределы номинальных емкостей для групп ТКС, мФ			Допустимая реактивная мощность, вар	Габаритные размеры, мм							Масса, г, не более
ПЗЗ	М47	М75		L	B	H	L <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	m	
22—68	22—82	33—100	1	1,5	1,2	1,0	1,5	1,4	1,2	0,2—0,5	0,1
75—150	91—180	110—200	2	2	1,7	1,0	2	1,9	1,2	0,2—0,7	0,1
160—510	200—620	220—910	3,5	4	2,7	1,0	4	3,0	1,2	1—1,5	0,2
560—910	690—1000	1000—1200	5	5,5	2,7	1,0	5,5	3,0	1,2	1,5—2	0,3
1000—1800	1100—2000	1300—2400	10	5,5	4,3	1,0	5,5	4,6	1,2	1,5—2	0,4
560—820	680—1000	1000—1500	7	4	2,7	1,8	4	3,0	2,0	1—1,5	0,3
1000—1500	1100—1800	1600—2000	10	5,5	2,7	1,8	5,5	3,0	2,0	1,2—2	0,4
2000—3000	2400—3600	2700—3900	20	5,5	4,3	1,8	5,5	4,6	2,0	1,5—2	0,5

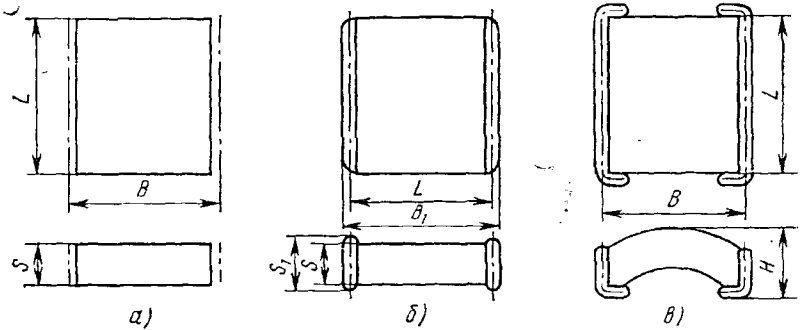


Рис. 3.8. Конструкции конденсатора К10-9 с нелужеными (а) и лужеными (б) выводами; конденсатора К10-9М с лужеными выводами (в) (B, S — размеры после металлизации, B<sub>1</sub>, S<sub>1</sub> — размеры после металлизации и лужения)

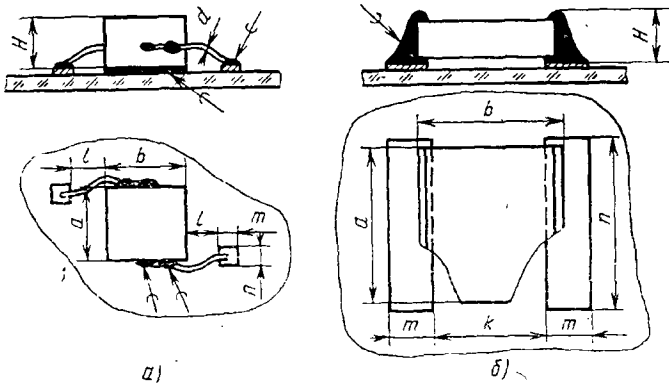


Рис. 3.9. Способы установки конденсаторов К10-17 и К10-9 на плату ГИС:

а — с гибкими выводами; б — на контактные площадки

Параметры конденсаторов К10-9

Типоразмер	Пределы номинальных емкостей для групп ТКС, пФ					Допустимая реактивная мощность, вар	Габаритные размеры, мм					Масса, г, не более
	П33, М47	М75	М1500	Н30	Н90		L	B	S	B <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	
1	2,2—10	11—24	36—1 000	150—1 000	1 000—3 300	1,25	2	2	0,6	2	1,2	0,1
2	11—27	27—51	110—200	1 500	4 700	2,5	2	4	0,6	4		0,15
3	30—51	56—120	220—390	2 200—3 300	6 800—10 000	5	4					0,3
4	10—51	22—120	180—390	680—3 300	1 000—10 000	5	2,5	5,5	0,6	5,5		0,3
5	56—120	130—270	430—1 000	4 700—6 800	15 000—2 200	10	6					0,6
6	11—24	27—62	110—240	1 500—2 200	4 700—10 000	1,25	2	2	1	2	1,5	0,1
7	30—62	56—120	220—470	2 200—4 700	6 800—15 000	2,5	2	4	1	4		0,15
8	68—120	130—270	520—1 000	6 800—10 000	22 000—33 000	5	4					0,3
9	56—120	130—270	430—2 000	4 700—10 000	15 000—33 000	5	2,5	5,5	1	5,5		0,6
10	130—330	300—620	1 100—2 400	15 000—33 000	57 000—68 000	10	6					

Продолжение табл. 3.12

Типоразмер	Пределы номинальных емкостей для групп ТКС, пФ					Допустимая реактивная мощность, вар	Габаритные размеры, мм					Масса, г, не более
	П33, М47	М75	М1500	Н30	Н90		L	B	S	B <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	
11	27—38	68—91	273—390	3 300	15 000	2,5	2	2	1,4	2	2	0,2
12	68—100	130—200	510—750	6 800	22 000	5	2	4	1,4	4		0,3
13	110—200	220—430	820—1 500	10 000—15 000	33 000—47 000	10	4					0,5
14	130—200	300—430	1 100—1 500	15 000	47 000	10	2,5	5,5	1,4	5,5		0,5
15	220—560	470—1200	1 600—4 700	22 000—47 000	68 000—100 000	20	6					1,0
16	110—150	220—430	820—1 500	10 000—15 000	33 000—47 000	5	2	4	2,5	4	3	0,3
17	160—330	470—820	1 600—3 000	22 000—33 000	68 000—100 000	10	5					0,5
18	220—330	470—820	1 600—3 000	22 000—33 000	68 000—100 000	10	2,5	5,5	2,5	5,5		0,5
19	360—820	910—2200	3 300—8 200	47 000—68 000	15 000—22 000	20	6					1,0
20	910—2200	2400—3900	9 100—15 000	10 000—15 000	33 000—47 000	30	8	8	2,5	8		1,5

Параметры конденсаторов К53-15

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Габаритные размеры, мм				Масса, г, не более
		L	B	H	A	
3	2,2; 3,3	2,5	4	2	2,3	0,15
	4,7; 6,7	5,0				0,25
	10; 15	10,0	8		5,5	0,65
	22; 33		1,5			
6,3	1,5; 2,2	2,5	4	2	2,3	0,15
	3,3; 4,7	5,0				0,25
	6,8	10,0	8		5,5	0,65
	10; 15		1,5			
10	1,0; 1,5	2,5	4	2	2,3	0,65
	2,2; 3,3	5,0				1,5
16	0,68; 1,0	2,5	4	2	2,3	0,15
	1,5; 2,2	5,0				0,25
	3,3; 4,7	10,0	8		5,5	0,65
	6,8; 10		1,5			
20	0,47; 0,68	2,5	4	2	2,3	0,15
	1,0; 1,5	5,0				0,25
	2,2; 3,3	10,0	8		5,5	0,65
	4,7; 6,8		1,5			
30	0,1; 0,15; 0,22	2,5	4	1,6	2,3	0,12
	0,68; 1,0	5,0				0,25
	1,5; 2,2	10,0	8	2	5,5	0,65
	3,3; 4,7					1,5
	0,33; 0,47		2,5		2,3	0,15

отклонение емкости конденсаторов этих групп составляет  $\pm 5, 10, 20\%$ . Конденсаторы с диэлектриком из низкочастотной керамики имеют ненормированный ТКС (группы Н30, Н50, Н70, Н90) и допустимое отклонение емкости от номинала соответственно  $\pm 30, \pm 50, -70 \div 50, -90 \div 50\%$ .

Номинальное напряжение конденсаторов К10-17 25 В, интервал рабочих температур  $-60 \div 80^\circ \text{C}$ , сопротивление изоляции не менее 10 МОм. Конденсаторы К10-9 работают при более низких напряжениях (до 16 В), но в более широком интервале температур  $-60 \div 125^\circ \text{C}$  при том же значении сопротивления изоляции.

В качестве электролитических конденсаторов в ГИС целесообразно использовать малогабаритные оксидно-полупроводниковые конденсаторы К53. Они рассчитаны на рабочее напряжение до 30 В в интервале температур  $-60 \div 85^\circ \text{C}$ . Электролитические конденсаторы К53-15 и К53-16 отличаются конструкцией выводов.

Конденсатор К53-15 (рис. 3.10) имеет выводы по типу шариковых и предназначен для автоматизированного монтажа, а конденсатор К53-16 имеет гибкие выводы (рис. 3.11) и монтируется на плату с помощью проволочного монтажа. Параметры конденсаторов К53-15 и К53-16 приведены в табл. 3.13 и 3.14.

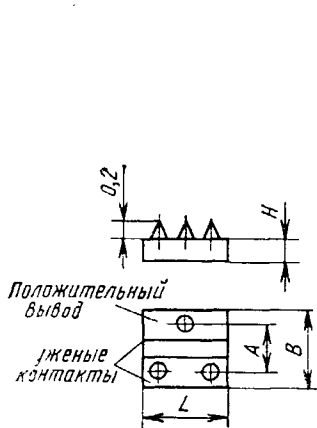


Рис. 3.10. Конструкция конденсатора К53-15

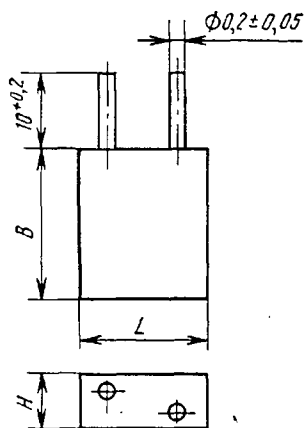


Рис. 3.11. Конструкция конденсатора К53-16

Таблица 3.14

Параметры конденсаторов К53-16

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Размеры, мм			Масса, г, не более
		$L_{\text{max}}$	$B_{\text{max}}$	$H_{\text{max}}$	
1,6	1,5; 2,2	1,9	3,4	3,4	0,05
	4,7	2,3	3,7	1,6	0,075
	6,8; 10	2,3	5,0	1,6	0,1

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Размеры, мм			Масса, г. не более
		$L_{\max}$	$B_{\max}$	$H_{\max}$	
3	1,0	1,9	3,4	1,2	0,05
	3,3	2,3	3,7	1,6	0,075
	4,7	2,3	5,0	1,6	0,1
4	2,2	2,3	3,7	1,6	0,075
	3,3	2,3	5,0	1,6	0,1
6,3	0,68	1,9	3,4	1,2	0,05
	1,5	2,3	3,7	1,6	0,075
	2,2	2,3	5,0	1,6	0,1
10	0,47	1,9	3,4	1,2	0,05
	1,0	2,3	3,7	1,6	0,075
	1,5	2,3	5,0	1,6	0,1
16	0,33	1,9	3,4	1,2	0,05
	0,68	2,3	3,7	1,6	0,075
	1,0	2,3	5,0	1,6	0,01
20	0,22	1,9	3,4	1,2	0,05
	0,47	2,3	3,7	1,6	0,075
	0,68	2,3	5,0	1,6	0,1
30	0,01; 0,015 0,022; 0,033 0,047; 0,047; 0,1 0,15	1,9	3,4	1,2	0,05
	0,22; 0,33 0,47	2,3 2,3	3,7 5,0	1,6 1,6	0,075 0,1

### § 3.5. Конструктивные и технологические ограничения при проектировании тонкопленочных ГИС

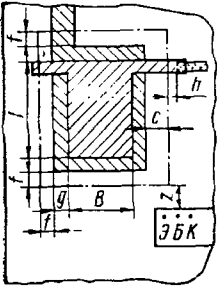
В табл. 3.15 приведены основные конструктивные и технологические ограничения при использовании следующих методов создания пленочных элементов: масочного (М), фотолитографического (Ф), комбинированного масочного и фотолитографического (МФ), электронно-ионного (ЭИ) и по танталовой технологии (ТА).

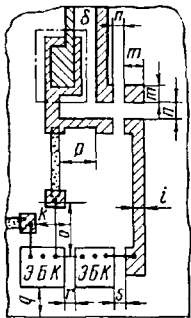
Помимо ограничений, приведенных в табл. 3.15, при проектировании ГИС необходимо выполнять общие правила и ограничения:

1) каждая плата микросхемы должна иметь ключ, которым является нижняя левая контактная площадка с вырезом по большей стороне платы или специальный знак в форме треугольника, прямоугольника;

Конструктивные и технологические ограничения  
при проектировании тонкопленочных ГИС

Элемент топологии	Содержание ограничения	Размер ограничения, мм, при использовании метода				
		М	Ф	МФ	ЭИ	ТА
	Точность изготовления линейных размеров пленочных элементов и расстояний между ними $\Delta l$ , $\Delta b$ , $\Delta a$ , $\Delta L$ , $\Delta B$ и других при расположении пленочных элементов в одном слое, мм	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
	Минимально допустимый размер резистора, мм		$0,1$		$0,15$	$0,05$
		$0,3$	$0,1$		$0,3$	$0,1$
	Минимально допустимые расстояния между пленочными элементами, расположенными в одном слое, $a$ , мм	$0,3$	$0,1$	$0,3$	$0,1$	$0,05$
	Максимально допустимое соотношение размеров $l/a$	10	$100$	$30$		100
	Максимально допустимое расстояние между пленочными элементами, расположенными в разных слоях, $c$ , мм	$0,2$	$0,1$	$0,2$		$0,1$
	Перекрытия для совмещения пленочных элементов, расположенные в разных слоях, $e$ , мм	$\geq 0,2$	$\geq 0,1$	$\geq 0,2$		$\geq 0,1$
	Минимальное расстояние от пленочных элементов до края платы $d$ , мм	$0,5$	$0,2$	$0,5$	$0,4$	$0,2$
	Минимальная ширина пленочных проводников $i$ , мм	$0,1$	$0,05$	$0,1$	$0,1$	$0,05$
Минимально допустимое расстояние между краем пленочного резистора и краем его контактной площадки $j$ , мм	$0,2$	$0,1$	$0,2$	$0,1$	$0,1$	

Элемент топологии	Содержание ограничения	Размер ограничения, мм, при использовании метода				
		М	Ф	МФ	ЭИ	ТА
	Минимально допустимые расстояния, мм: между краями диэлектрика и нижней обкладки конденсатора $f$	0,1	0,1	0,1	0,1	—
	между краями верхней и нижней обкладок конденсатора $g$	0,2				
	между краем диэлектрика и соединением вывода конденсатора с другим пленочным элементом $h$	0,3				
	между краем диэлектрика и нижней обкладкой конденсатора в месте вывода верхней обкладки $c$	0,2				
	от пленочного конденсатора до приклеиваемых навесных компонентов $z$	0,5				
	Минимальная площадь перекрытия обкладок конденсаторов $L \times B$ , мм <sup>2</sup>	0,5×0,5				
	Максимальное отклонение емкости конденсатора от номинального значения, %	±12				
Минимальное расстояние от проволочного проводника или вывода до края контактной площадки или до края пленочного проводника, не защищенного изоляцией, $k$ , мм	0,2					

Элемент топологии	Содержание ограничения	Размер ограничения, мм, при использовании метода				
		М	Ф	МФ	ЭИ	ТА
	Минимальные размеры контактных площадок для монтажа навесных компонентов с шариковыми или столбиковыми выводами, мм	$\frac{0,2}{0,1}$				
	Минимальные размеры контактных площадок для контроля электрических параметров, мм	0,2×0,2				
	Минимальное расстояние между контактными площадками для приварки и припайки проволочных проводников, мм	0,2				
	Максимальная длина гибкого вывода без дополнительного крепления $o$ , мм	3,0				
	Минимальные расстояния, мм, между контактными площадками для монтажа навесных компонентов с шариковыми или столбиковыми выводами и пленочным резистором $p$ , диэлектриком конденсатора $\delta$	$\frac{0,6}{0,35}$				
	Минимальные расстояния, мм, от края навесного компонента, до:	Для всех методов				
	края платы $q$					
края другого компонента $r$	0,4					
края навесного пассивного компонента	0,6					
края контактной площадки, предназначенной для приварки проволочных выводов, $s$	0,4					
проволочного проводника	0,3					
луженого пленочного элемента	0,2					



Продолжение табл. 3.15

Элемент топологии	Содержание ограничения	Размер ограничения, мм, при использовании метода				
		М	Ф	МФ	ЭИ	ТА
	Минимальные размеры контактных площадок для приварки проволочных проводников или проволочных выводов навесных компонентов при диаметре проволоки, мм:					
	∅ 0,03			0,15×0,1		
				0,2×0,2		
				0,2×0,3		
	∅ 0,04			0,2×0,15		
				0,25×0,25		
				0,25×0,40		
	∅ 0,05			0,25×0,2		
				0,3×0,3		
				0,3×0,5		

2) в одной микросхеме следует применять навесные компоненты с одинаковым диаметром и материалом гибких выводов. Однотипные по расположению выводов компоненты предпочтительнее ориентировать одинаково;

3) навесные компоненты рекомендуется по возможности располагать рядами, параллельными сторонам платы. Допускается установка навесных активных компонентов с гибкими выводами вплотную, если контакт между ними не влияет на работоспособность схемы;

4) при рядом расположении навесных компонентов рекомендуется рядное расположение контактных площадок под одноименные выводы;

5) не допускается установка навесных компонентов на пленочные конденсаторы, пленочные индуктивности и пересечения пленочных проводников. Допускается установка навесных компонентов на пленочные проводники и резисторы, защищенные диэлектриком;

6) не допускаются резкие изгибы и натяжение проволочных проводников. Не рекомендуется делать перегиб проволочного вывода

через навесной компонент. Проволочные проводники и гибкие выводы не должны проходить над пленочным конденсатором;

7) не допускается оставлять незакрепленными участки гибких выводов длиной более 3 мм. Необходимо предусмотреть закрепление их точками клея холодного отверждения (например, эпоксидного клея ЭД-20, ЭД-16).

### § 3.6. Расчет конструкций элементов тонкопленочных ГИС

**Конфигурации тонкопленочных резисторов.** Типовые конфигурации тонкопленочных резисторов приведены на рис. 3.12, *а—г*. Наиболее распространенной является прямоугольная форма, как самая простая по технологическому исполнению. Резистор в виде полосок занимает большую площадь, чем резисторы типа «меандр» или «змейка».

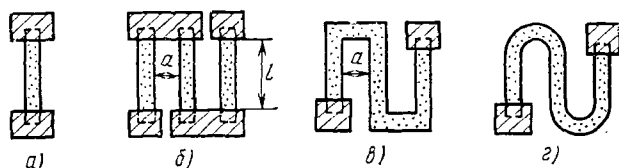


Рис. 3.12. Конфигурации тонкопленочных резисторов:

*а* — полоска; *б* — составной из полосок; *в* — меандр; *г* — змейка

При масочном методе изготовления резисторов, изображенных на рис. 3.12, *б—г*, расстояние между соседними резистивными полосками должно быть не менее 300 мкм, длина резистивных участков  $l$  не должна превышать расстояние  $a$  более чем в 10 раз для обеспечения необходимой жесткости маски. При этом точность изготовления резисторов типа «меандр» и «змейка» не превышает 20%. Для получения большей точности рекомендуется применять конфигурацию, изображенную на рис. 3.12, *б*, или выполнять резистор методом фотолитографии.

Меандр уступает в отношении стабильности и надежности конструкции типа «змейка» из-за перегрева в уголках, но он предпочтительнее с точки зрения изготовления фотошаблонов и поэтому более распространен.

Контактные площадки следует располагать с противоположных сторон резистора для устранения погрешности совмещения проводящего и резистивного слоев. По этой причине придавать резисторам форму, изображенную на рис. 3.13, не рекомендуется, так как сопротивление таких резисторов зависит от точности совмещения масок и фотошаблонов (неточности при совмещении изменяют длину таких резисторов).

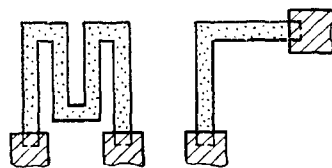


Рис. 3.13. Конфигурации резисторов, сопротивление которых зависит от погрешности совмещения слоев

**Конструктивный расчет тонкопленочных резисторов.** Конструктивный расчет тонкопленочных резисторов заключается в определении формы, геометрических размеров и минимальной площади, занимаемой резисторами на подложке. При этом необходимо, чтобы резисторы обеспечивали рассеивание заданной мощности при удовлетворении требуемой точности  $\gamma_R$  в условиях существующих технологических возможностей.

Исходные данные для расчета: номинал резистора  $R_i$ , Ом; допуск на номинал  $\gamma_{R_i}$ , %; мощность рассеяния  $P_i$ , мВт; рабочий диапазон температур  $T_{\max} - T_{\min}$ , °С; технологические ограничения (см. табл. 3.15); шаг координатной сетки, мм.

### Порядок расчета

1. Определяют оптимальное с точки зрения минимума площади под резисторами ГИС сопротивление квадрата резистивной пленки:

$$\rho_{S_{\text{opt}}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n R_i}{\sum_1^n 1/R_i}}, \quad (3.1)$$

где  $n$  — число резисторов;  $R_i$  — номинал  $i$ -го резистора.

2. По табл. 3.4 выбирают материал резистивной пленки с удельным сопротивлением, ближайшим по значению к вычисленному  $\rho_{S_{\text{opt}}}$ . При этом необходимо, чтобы ТКР материала был минимальным, а удельная мощность рассеяния  $P_0$  — максимальной.

3. Производят проверку правильности выбранного материала с точки зрения точности изготовления резисторов.

Полная относительная погрешность изготовления пленочного резистора  $\gamma_R = \Delta R/R$  состоит из суммы погрешностей;

$$\gamma_R = \gamma_{K_{\phi}} + \gamma_{\rho_S} + \gamma_{R_t} + \gamma_{R_{\text{ст}}} + \gamma_{R_k},$$

где  $\gamma_{K_{\phi}}$  — погрешность коэффициента формы;  $\gamma_{\rho_S}$  — погрешность воспроизведения величины  $\rho_S$  резистивной пленки;  $\gamma_{R_t}$  — температурная погрешность;  $\gamma_{R_{\text{ст}}}$  — погрешность, обусловленная старением пленки;  $\gamma_{R_k}$  — погрешность переходных сопротивлений контактов.

Погрешность коэффициента формы  $\gamma_{K_{\phi}}$  зависит от погрешностей геометрических размеров — длины  $l$  и ширины  $b$  резистора:

$$\gamma_{K_{\phi}} = \Delta l/l + \Delta b/b.$$

Погрешность воспроизведения удельного поверхностного сопротивления  $\gamma_{\rho_S}$  зависит от условий напыления и материала резистивной пленки. В условиях серийного производства ее значение не превышает 5%.

Температурная погрешность зависит от ТКР материала пленки:

$$\gamma_{R_t} = \alpha_R (T_{\max} - 20^\circ\text{C}), \quad (3.2)$$

где  $\alpha_R$  — температурный коэффициент сопротивления материала пленки,  $1/^\circ\text{C}$ .

Погрешность  $\gamma_{R_{\text{ст}}}$ , обусловленная старением пленки, вызвана медленным изменением структуры пленки во времени и ее окислением. Она зависит от материала пленки и эффективности защиты, а также от условий хранения и эксплуатации. Обычно для ГИС  $\gamma_{R_{\text{ст}}}$  не превышает 3%.

Погрешность переходных сопротивлений контактов  $\gamma_{R_k}$  зависит от технологических условий напыления пленок, удельного сопротивления резистивной пленки и геометрических размеров контактного перехода: длины перекрытия контактирующих пленок, ширины резистора. Обычно  $\gamma_{R_k} = 1 \div 2\%$ . Если материал контактных площадок выбран в соответствии с табл. 3.4, то этой погрешностью можно пренебречь.

Допустимая погрешность коэффициента формы

$$\gamma_{K_{\text{ф доп}}} = \gamma_R - \gamma_{\rho_S} - \gamma_{R_{\text{ст}}} - \gamma_{R_t} - \gamma_{R_k}. \quad (3.3)$$

Если значение  $\gamma_{K_{\text{ф доп}}}$  отрицательно, то это означает, что изготовление резистора заданной точности из выбранного материала невозможно. В этом случае необходимо выбрать другой материал с меньшим ТКР либо использовать подгонку резисторов, если позволяет технологическое оборудование.

4. Определяют конструкцию резисторов по значению коэффициента формы  $K_{\text{ф}}$ :

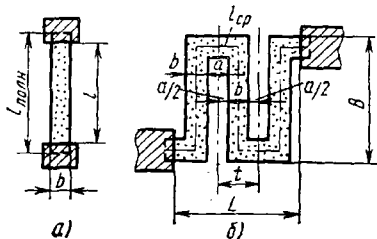
$$K_{\text{ф}_i} = R_i / \rho_S. \quad (3.4)$$

При  $1 \leq K_{\text{ф}_i} \leq 10$  рекомендуется проектировать резистор прямоугольной формы, изображенный на рис. 3.12, при  $K_{\text{ф}_i} > 10$  — резистор сложной формы (составной, меандр или типа «змейка», рис. 3.12, б—г), при  $0,1 \leq K_{\text{ф}_i} \leq 1$  — резистор прямоугольной формы, у которого длина меньше ширины. Конструировать резистор с  $K_{\text{ф}_i} < 0,1$  не рекомендуется, так как он будет иметь большие контактные площадки и занимать значительную площадь на подложке.

Если в одной схеме содержатся низкоомные и высокоомные резисторы, можно использовать два резистивных материала, для выбора которых определяют  $\rho_{S_{\text{онт}}}$  сначала для всех резисторов по формуле (3.1), после чего разбивают резисторы на две группы так, чтобы  $R_{i \max}$  первой группы было меньше, а  $R_{i \min}$  второй группы — больше значения  $\rho_{S_{\text{онт}}}$ , вычисленного для всех резисторов. Затем по этой же формуле рассчитывают  $\rho_{S_{\text{онт}_1}}$  и  $\rho_{S_{\text{онт}_2}}$  и выбирают материалы для каждой группы резисторов в отдельности.

5. Дальнейший расчет проводят в зависимости от формы резисторов.

**Расчет прямоугольных полосковых резисторов.** Для резисторов, имеющих  $K_{\Phi} \geq 1$  (рис. 3.14, а, б), сначала определяют ширину, а затем длину резистора. Расчетное значение ширины резистора должно быть не менее наибольшего значения одной из трех величин:



$$b_{\text{расч}} \geq \max \{ b_{\text{техн}}; b_{\text{точн}}; b_P \}, \quad (3.5)$$

где  $b_{\text{техн}}$  — минимальная ширина резистора, определяемая возможностями технологического процесса (см. табл. 3.15);  $b_{\text{точн}}$  — ширина резистора, определяемая точностью изготовления:

Рис. 3.14. К расчету резисторов типа «полоска» (а) и «меандр» (б)

$$b_{\text{точн}} \geq \frac{\Delta b + \Delta l / K_{\Phi}}{\gamma_{K_{\Phi} \text{ доп}}} \quad (3.6)$$

( $\Delta b$ ,  $\Delta l$  — погрешности изготовления ширины и длины резистора, зависящие от метода изготовления, см. табл. 3.15);  $b_P$  — минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность:

$$b_P = \sqrt{\frac{P_{\text{рз}}}{P_0 R}} = \sqrt{\frac{P}{P_0 K_{\Phi}}}. \quad (3.7)$$

За ширину  $b$  резистора принимают ближайшее к  $b_{\text{расч}}$  большее значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии с учетом масштаба. Для тонкопленочной технологии шаг координатной сетки обычно составляет 1 или 0,5 мм. Например, если шаг координатной сетки 1 мм, масштаб 20 : 1, то округление производят до величины, кратной 0,05 мм.

Далее находят расчетную длину резистора:

$$l_{\text{расч}} = b K_{\Phi}. \quad (3.8)$$

За длину  $l$  резистора принимают ближайшее к  $l_{\text{расч}}$  значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии с учетом масштаба. При этом следует оценивать получающуюся погрешность и при необходимости выбирать большее значение ширины  $b$  резистора, при котором округление длины  $l_{\text{расч}}$  дает приемлемую погрешность.

Определяют полную длину резистора с учетом перекрытия контактных площадок:

$$l_{\text{полн}} = l + 2e, \quad (3.9)$$

где  $e$  — размер перекрытия резистора и контактных площадок (см. табл. 3.15).

При использовании метода двойной фотолитографии  $l_{\text{полн}} = l$ .

Площадь, занимаемая резистором на подложке,

$$S = l_{\text{полн}} b. \quad (3.10)$$

Для резисторов, имеющих  $K_{\Phi} < 1$ , сначала определяют длину, а затем ширину резистора.

Расчетное значение длины резистора  $l_{расч}$  выбирают из условия

$$l_{расч} \geq \max \{l_{техн}, l_{точн}, l_P\}, \quad (3.11)$$

где  $l_{техн}$  — минимальная длина резистора, определяемая разрешающей способностью выбранного метода формирования конфигурации (см. табл. 3.15);  $l_{точн}$  — минимальная длина резистора, при которой обеспечивается заданная точность:

$$l_{точн} \geq (\Delta l + \Delta b K_{\Phi}) / \gamma_{K_{\Phi}}, \quad (3.12)$$

$l_P$  — минимальная длина резистора, при которой рассеивается заданная мощность:

$$l_P = \sqrt{PK_{\Phi}/P_0}. \quad (3.13)$$

За длину  $l$  резистора принимают ближайшее к  $l_{расч}$  значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии.

Расчетную ширину резистора определяют по формуле

$$b_{расч} = l / K_{\Phi}. \quad (3.14)$$

За ширину  $b$  резистора принимают ближайшее к  $b_{расч}$  значение, кратное шагу координатной сетки. При этом следует оценивать получающуюся погрешность и при необходимости корректировать значение длины  $l$  резистора в большую сторону, при котором округление ширины  $b_{расч}$  дает приемлемую погрешность.

Полную длину резистора с учетом перекрытия контактных площадок и площадь резистора определяют соответственно по формулам (3.9) и (3.10).

Для проверки находят действительную удельную мощность и погрешность резистора. Очевидно, резистор спроектирован удовлетворительно, если:

1) удельная мощность рассеяния  $P_0'$  не превышает допустимого значения  $P_0$ :

$$P_0' = P/S \leq P_0; \quad (3.15)$$

2) погрешность коэффициента формы  $\gamma'_{K_{\Phi}}$  не превышает допустимого значения  $\gamma_{K_{\Phi} доп}$ :

$$\gamma'_{K_{\Phi}} = \Delta l / l_{полн} + \Delta b / b \leq \gamma_{K_{\Phi} доп}; \quad (3.16)$$

3) суммарная погрешность  $\gamma'_R$  не превышает допуска  $\gamma_R$ :

$$\gamma'_R = \gamma_{r_s} + \gamma'_{K_{\Phi}} + \gamma_{R_l} + \gamma_{R_k} + \gamma_{R_{ст}} \leq \gamma_R. \quad (3.17)$$

**Конструктивный расчет тонкопленочных резисторов сложной формы.** При конструировании резистора в виде отдельных резистивных полосок, соединенных проводящими перемычками (см. рис.

3.12, б), сумма длин резистивных полосок должна быть равна длине, определенной по формуле  $l = bK_{\Phi}$ .

Резисторы типа «меандр» (рис. 3.14, б) рассчитывают из условия минимальной площади, занимаемой резистором.

Расчет меандра проводят после определения ширины  $b$  резистора в такой последовательности.

Определяют длину средней линии меандра:

$$l_{\text{ср}} = bK_{\Phi}. \quad (3.18)$$

Задают расстояние между резистивными полосками  $a$ . С учетом технологических ограничений (см. табл. 3.15) при масочном методе  $a_{\text{min}} = 300$  мкм, при фотолитографии  $a_{\text{min}} = 100$  мкм (обычно зад:  $a = b$ ).

Находят шаг одного звена меандра:

$$t = a + b. \quad (3.19)$$

Определяют оптимальное число звеньев меандра  $n_{\text{опт}}$  из условия чтобы площадь, занимаемая резистором типа «меандр», была минимальной. Очевидно, это будет в случае, когда меандр вписывается в квадрат ( $L = B$ ).

Если отношение длины средней линии меандра к ширине резистивной полоски больше 10, то оптимальное число звеньев меандра может быть вычислено по приближенной формуле

$$n_{\text{опт}} \approx \sqrt{(l_{\text{ср}}/t) (B/L)}. \quad (3.20)$$

При  $L = B$  (меандр квадратной формы) и  $a = b$  выражение упрощается:

$$n_{\text{опт}} \approx \sqrt{K_{\Phi}/2}. \quad (3.21)$$

Значение  $n_{\text{опт}}$  округляют до ближайшего целого.

Определяют длину меандра:

$$L = n(a + b). \quad (3.22)$$

Вычисляют ширину меандра:

$$B = \frac{l_{\text{ср}} - an}{n}, \quad (3.23)$$

где  $n$  — оптимальное число звеньев меандра, округленное до ближайшего целого.

Расстояние  $a$  выбирают из конструктивно-технологических соображений. Например, при напылении резисторов через маску размер  $a_{\text{min}}$  определяется минимально возможным расстоянием между соседними щелями в маске. Для обеспечения требуемой жесткости маски оно должно удовлетворять условию

$$B_{\text{max}}/a \leq 10. \quad (3.24)$$

Если это условие не выполняется, необходимо изменить расстояние  $a$  и вновь вычислить  $n_{\text{опт}}$ ,  $L$ ,  $B$ . Для фотолитографического метода указанное условие не критично.

Приведенные расчетные соотношения не учитывают, что в резисторах типа «меандр» плотность тока в изгибах неравномерна (рис. 3.15). Это приводит к сокращению электрической длины пленочного

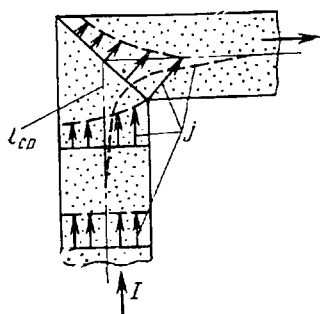


Рис. 3.15. Распределение плотности тока в резисторах типа «меандр»

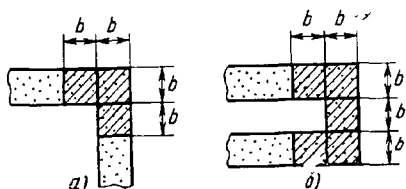


Рис. 3.16. Конструкции изгибов пленочных резисторов типа «меандр»: а — изгиб под прямым углом; б — П-образный изгиб

резистора и уменьшению его сопротивления. Неравномерное распределение плотности тока наблюдается в пределах трех квадратов области изгиба (рис. 3.16, а, б).

Для приближенной оценки сопротивления меандра можно воспользоваться формулой

$$R \approx \rho_S (l_{cp}/b) = \rho_S K_{\Phi}.$$

Для уточненного расчета с учетом изгибов конструкцию резистора типа «меандр» можно представить в виде последовательно соединенных прямолинейных участков и изгибов. При этом его сопротивление можно определить как сумму сопротивлений прямолинейных участков и изгибов:

$$R = R_n m + \frac{l_n n}{b} \rho_S, \quad (3.25)$$

где  $R_n$  — сопротивление изгибов;  $m$  — число изгибов,  $l_n$  — длина прямолинейных участков;  $n$  — число звеньев меандра.

Для изгиба под прямым углом (рис. 3.16, а)  $R_n = 2,55 \rho_S$ , для П-образного изгиба (рис. 3.16, б)  $R_n = 4 \rho_S$ . Отсюда длина прямолинейного участка одного звена меандра

$$l_n = \frac{R - m R_n}{\rho_S n} b. \quad (3.26)$$

После этого корректируют размеры  $L$  и  $B$  с целью обеспечения заданного номинала резистора.

Квадратная или близкая к ней форма резистора типа «меандр» часто оказывается неудобной при компоновке пленочных элементов на подложке микросхемы, например, из-за отличной от квадрата



площади, отводимой под резистор. Тогда, зная габаритную площадь меандра  $S=LB$  и задавшись одним из размеров меандра (например,  $B'$ ), определяют второй размер  $L'$  и число звеньев меандра  $n'$ :

$$L' = S/B', \quad n' = L'/t.$$

### Пример расчета группы резисторов

Определить форму, геометрические размеры, метод изготовления и минимальную площадь, занимаемую резисторами на подложке, при следующих исходных данных: номиналы резисторов  $R_1=6$  кОм,  $R_2=1$  кОм,  $R_3=100$  кОм, допустимое отклонение сопротивления резисторов от номинала  $\gamma_{R_1} = 5\%$ ,  $\gamma_{R_2, R_3} = 15\%$ ; мощности рассеяния  $P_1=10$  мВт,  $P_2=30$  мВт,  $P_3=16$  мВт; диапазон температур  $-20 \div 100^\circ\text{C}$ ; погрешность воспроизведения материала резистивной пленки  $\gamma_{\rho_s} = 2,5\%$ ; погрешность старения резистивной пленки  $\gamma_{R_{ст}} = 0,3\%$ .

Определяем оптимальное сопротивление квадрата резистивной пленки по формуле (3.1):

$$\rho_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{6 + 100 + 1}{1/6 + 1/100 + 1}} = 9,54 \text{ кОм}/\square.$$

По табл. 3.4 выбираем материал резистивной пленки с ближайшим к  $\rho_{\text{опт}}$  значением  $\rho_s$  — кермет К-50С. Его параметры:  $\rho_s=10$  кОм/ $\square$ ,  $\text{TKR}=-5 \times 10^{-4} \text{ } 1^\circ\text{C}$ ;  $P_0=20$  мВт/ $\text{мм}^2$ .

Проверяем правильность выбранного материала. В соответствии с выражением (3.2) температурная погрешность  $\gamma_{R_T} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 100 = 4\%$ , а допустимая погрешность коэффициента формы для наиболее точного резистора по (3.3)  $\gamma_{K_{\text{ф доп1}}} = 5 - 4 - 0,3 - 2,5 < 0$ . Это означает, что изготовление первого резистора с заданной точностью из данного материала невозможно. Необходимо выбрать другой материал с меньшей температурной погрешностью или изготовлять резистор  $R_1$  с меньшей точностью и последующей подгонкой его до точности 5%.

Допустим, что по условиям производства подгонка нежелательна. Выбираем другой материал. Наименьшую температурную погрешность имеет сплав РС-3001. Его параметры:  $\rho_s=2$  кОм/ $\square$ ,  $\text{TKR}=-0,2 \cdot 10^{-4} \text{ } 1^\circ\text{C}$ ,  $P_0=20$  мВт/ $\text{мм}^2$ .

Определяем температурную погрешность сплава РС-3001:  $\gamma_{R_T} = 0,2 \cdot 10^{-4} \times 80 \cdot 100 = 0,16\%$ . Допустимая погрешность коэффициента формы для первого, наиболее точного резистора  $\gamma_{K_{\text{ф доп1}}} = 5 - 2,5 - 0,16 - 0,3 = 2,04\%$ . Соответственно для второго и третьего резисторов  $\gamma_{K_{\text{ф доп2}}} = 15 - 2,5 - 0,16 - 0,3 = 12,04\%$ . Следовательно, сплав РС-3001 подходит для изготовления всех резисторов с заданной точностью без подгонки.

Определяем форму резисторов по коэффициенту формы (3.4):  $K_{\text{ф1}}=3$  — резистор  $R_1$  прямоугольной формы типа полоски,  $K_{\text{ф2}}=0,5$  — резистор  $R_2$  прямоугольной формы, но его длина меньше ширины,  $K_{\text{ф3}}=50$  — резистор  $R_3$  сложной формы.

Далее анализируем технологические возможности и выбираем метод формирования конфигурации резисторов.

С точки зрения технологичности все резисторы целесообразно изготовлять одним методом (см. табл. 3.15). Если метод изготовления заранее не задан, большая часть резисторов имеет прямоугольную форму и нет ограничений по площади подложки, то целесообразно выбрать масочный метод. С помощью этого метода можно изготовить резисторы типа «меандр» лишь с точностью  $\pm 20\%$ . Поскольку по условию точность изготовления резистора  $R_1 = \pm 5\%$  и требуется, чтобы резисторы занимали минимальную площадь, для данного случая следует выбрать фотолитографический метод и выполнять резистор в виде меандра.

По табл. 3.15 определяем технологические ограничения для метода фотолитографии  $\Delta l = \Delta b = 0,01$  мм,  $b_{\text{техн}} = l_{\text{техн}} = 0,1$  мм,  $a_{\text{min}} = 0,1$  мм,  $b_{\text{min}} = 0,1$  мм.

Далее проводим расчет последовательно для каждого резистора.

### Расчет резистора $R_1$

Расчетную ширину резистора определяем по выражениям (3.5) — (3.7):

$$b_{\text{точн}} = (0,01 + 0,01/3)/0,0204 = 0,654 \text{ мм},$$

$$b_p = \sqrt{10/(20 \cdot 3)} = 0,408 \text{ мм}.$$

С учетом округления принимаем  $b_1 = 0,66$  мм. Длина резистора по (3.8)  $l_1 = 0,66 \cdot 3 = 1,98$  мм. Полную длину резистора с учетом перекрытия контактных площадок (не определяется при методе двойной фотолитографии) находим по (3.9):  $l_{\text{полн}} = 1,98 + 2 \cdot 0,1 = 2,18$  мм. Площадь резистора по (3.10)  $S_1 = 0,66 \cdot 2,18 = 1,439 \text{ мм}^2$ .

Для проверки определяем действительную удельную мощность и погрешность изготовления резистора  $R_1$  по формулам (3.15) — (3.17):

$$P'_{01} = 10/1,439 = 6,95 \text{ мВт/мм}^2 < 20 \text{ мВт/мм}^2,$$

$$\gamma'_{K_{\phi 1}} = (0,01/2,18) + (0,01/0,66) = 0,019 < 0,0204,$$

$$\gamma'_{R_1} = 2,5 + 0,16 + 0,3 + 1,9 = 4,86\% < 5\%.$$

### ✓ Расчет резистора $R_2$

Поскольку коэффициент формы резистора  $R_2$  меньше единицы, расчет начинаем с определения длины по формулам (3.11) — (3.13):

$$l_{p_2} = \sqrt{(30 \cdot 0,5)/20} = 0,866 \text{ мм}; l_{\text{точн}2} = (0,01 + 0,01 \cdot 0,5)/0,12 = 0,125 \text{ мм}; l_{\text{техн}}$$

выбираем по табл. 3.15. Для метода фотолитографии  $l_{\text{техн}} = 0,1$  мм. Окончательно с учетом шага координатной сетки  $l_2 = 0,87$  мм. Расчетная ширина по (3.14)  $b_2 = 0,87/0,5 = 1,74$  мм. Полная длина с учетом перекрытия контактных площадок  $l_{\text{полн}2} = 0,87 + 2 \cdot 0,1 = 1,07$  мм. Площадь резистора  $S_2 = 1,07 \cdot 1,74 = 1,86 \text{ мм}^2$ .

Для проверки определяем действительную удельную мощность и погрешность изготовления резистора  $R_2$  по формулам (3.15) — (3.17):

$$P'_{02} = 30/1,86 = 16,1 \text{ мВт/мм}^2 < 20 \text{ мВт/мм}^2,$$

$$\gamma'_{K_{\phi 2}} = (0,01/1,07) + (0,01/1,74) = 0,015 < 0,12,$$

$$\gamma'_{R_2} = 2,5 + 0,16 + 0,3 + 1,5 = 4,46\% < 15\%.$$

### Расчет резистора $R_3$

После определения  $K_{\phi}$  и выбора формы резистора находим ширину резистора  $R_3$  типа «меандр» по формулам (3.5) — (3.7):

$$b_{\text{точн}3} = \frac{0,01 + 0,01/50}{0,12} = 0,085 \text{ мм}; b_{p_3} = \sqrt{\frac{16}{20 \cdot 50}} = 0,126 \text{ мм};$$

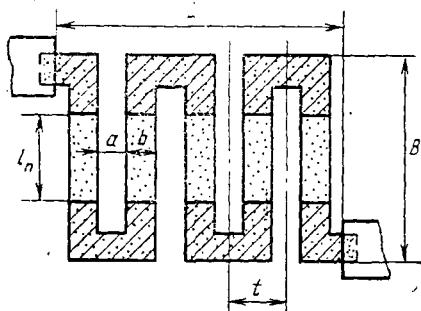
$$b_{\text{техн}} = 0,1 \text{ мм}.$$

С учетом округления  $b_3 = 0,130$  мм.

Длина средней линии меандра по (3.18)  $l_{\text{ср}3} = 0,13 \cdot 50 = 6,5$  мм. Задаемся расстоянием между соседними звеньями меандра. Для метода фотолитографии по табл. 3.15  $a_{\text{мин}} = 0,100$  мм. Пусть  $a_3 = b_3 = 0,13$  мм. Шаг одного звена по (3.19)  $t = 2b_3 = 0,26$  мм. Оптимальное число звеньев меандра по (3.11)  $n_{\text{опт}} = \sqrt{(0,13 \cdot 50)/0,26} = 5$ . Длина меандра по (3.22)  $L = 5 \cdot 0,26 = 1,3$  мм. Ширина меандра по (3.23)  $B = (6,5 - 0,13 \cdot 5)/5 = 1,17$  мм.

Проведем уточненный расчет резистора  $R_3$  с учетом неравномерности плотности тока в изгибах.

Топология резистора с  $n=5$  приведена на рис. 3.17. Выделим элемент П-образных изгибов, так как  $a=b$ . Количество элементов изгибов  $m=n$  (с учетом двух приконтактных областейгибов). Сопротивление П-образныхгибов  $R_{\Pi}=4\rho_s$ .



Рассчитаем длину прямолинейных участков по (3.26):

$$l_n = \frac{100 - 5 \cdot 4 \cdot 2}{2.5} \cdot 0,13 = 0,78 \text{ мм}$$

Окончательные габаритные размеры резистора: длина  $L$  по (3.22)  $L = 100 \times (0,13 + 0,13) = 1,3 \text{ мм}$ , ширина (рис. 3.17)

$$B = l_n + 4b = 0,78 + 4 \cdot 0,13 = 1,3 \text{ мм}$$

Габаритная площадь резистора  $S = LB = 1,3 \cdot 1,3 = 1,69 \text{ мм}^2$ .

Проверка расчета резистора  $R_3$  по формулам (3.15) — (3.17):

$$P'_{03} = 16/1,69 = 9,47 \text{ мВт/мм}^2 < 23 \text{ мВт/мм}^2;$$

$$\gamma'_{K_{\Phi 3}} = (0,01/0,13) + (0,01/0,13 \cdot 5) = 0,078 < 0,12;$$

$$\gamma'_{R_3} = 2,5 + 0,16 + 0,3 + 7,8 = 10,76\% < 15\%.$$

Проверки показывают, что все резисторы спроектированы удовлетворительно.

**Расчет тонкопленочных конденсаторов.** Все характеристики тонкопленочных конденсаторов: емкость, рабочее напряжение, температурный коэффициент емкости, частотные свойства и размеры — зависят от выбранных материалов, параметры которых рассмотрены в § 3.2.

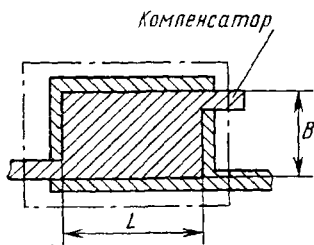


Рис. 3.18. Конструкция тонкопленочного конденсатора с площадью верхней обкладки более  $5 \text{ мм}^2$

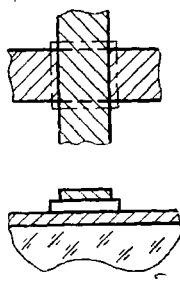


Рис. 3.19. Конструкция конденсатора с расчетной площадью от 1 до  $5 \text{ мм}^2$

Емкость тонкопленочных конденсаторов определяется площадью перекрытия его обкладок (активной площадью или площадью верхней обкладки). На рис. 3.18 приведена конструкция конденсатора

площадью верхней обкладки более  $5 \text{ мм}^2$ . Так как верхние обкладки формируют масочным методом, то для устранения погрешности нанесения маски в месте вывода верхней обкладки с противоположной стороны от вывода делают компенсатор. При значительной площади верхней обкладки эта погрешность мала и компенсатор не нужен. При активной площади пленочного конденсатора менее  $1 \text{ мм}^2$  начинает сказываться краевой эффект, причем тем сильнее, чем больше площадь. При активной площади от 1 до  $5 \text{ мм}^2$  обкладочного конденсатора можно выполнять в виде двух взаимно пересекающихся полосок (рис. 3.19). Если расчетная площадь конденсатора не  $1 \text{ мм}^2$ , конденсатор можно выполнять в виде последовательно соединенных конденсаторов (рис. 3.20). Если расчетная площадь

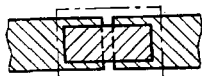


Рис. 3.20. Конструкция конденсатора расчетной площадью менее  $1 \text{ мм}^2$  в виде двух последовательно соединенных конденсаторов

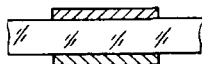


Рис. 3.21. Конструкция конденсатора, состоящего из двух последовательно соединенных конденсаторов, использующих в качестве диэлектрика подложку

обкладки мала и не позволяет конструировать конденсатор приемлемых размеров, можно использовать в качестве диэлектрика подложку (рис. 3.21), которая должна быть пригодна для напыления обкладок с обеих сторон. Можно конструировать также гребенчатый конденсатор (рис. 3.22). Емкость такого конденсатора почти целиком определяется емкостью, обусловленной краевым эффектом.

Потери в обкладках зависят от расположения выводов нижней и верхней обкладок по отношению друг к другу. На рис. 3.23 приведены конструкции конденсаторов с одно- и двусторонним расположением выводов

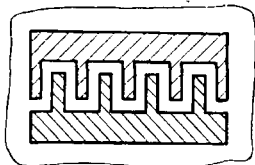


Рис. 3.22. Конструкция гребенчатого конденсатора

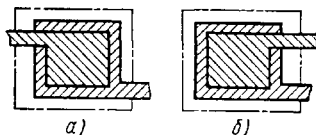


Рис. 3.23. Конструкция конденсатора с двусторонним (а) и односторонним (б) расположением выводов верхней и нижней обкладок

жением выводов. Предпочтительнее второй вариант, так как на частотах выше  $10 \text{ МГц}$  емкость конденсатора с ростом частоты падает медленнее при двустороннем (рис. 3.23, а), чем при одностороннем (рис. 3.23, б) расположении выводов.

Минимальная толщина диэлектрического слоя ограничена требованием получения сплошной пленки без сквозных отверстий и с за-

данной электрической прочностью, а максимальная толщина ограничена механическими напряжениями в растущей пленке. Толщину диэлектрика определяют по формуле

$$d_{\text{min}} \geq K_3 U_{\text{раб}} / E_{\text{пр}}, \quad (3.27)$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса электрической прочности (для пленочных конденсаторов  $K_3 = 2 \div 3$ );  $U_{\text{раб}}$  — рабочее напряжение, В;  $E_{\text{пр}}$  — электрическая прочность материала диэлектрика, В/мм.

Суммарную относительную погрешность емкости конденсатора определяют по формуле

$$\gamma_C = \gamma_{C_0} + \gamma_S + \gamma_{C_t} + \gamma_{C_{ст}}, \quad (3.28)$$

где  $\gamma_{C_0}$  — относительная погрешность удельной емкости, характеризующая воспроизводимость удельной емкости в условиях данного производства (зависит от материала и погрешности толщины диэлектрика и составляет 3—5%);  $\gamma_S$  — относительная погрешность активной площади пленочного конденсатора (зависит от точности геометрических размеров, формы и площади верхних обкладок конденсатора);  $\gamma_{C_t}$  — относительная температурная погрешность (зависит в основном от ТКС материала диэлектрика);  $\gamma_{C_{ст}}$  — относительная погрешность, обусловленная старением пленок конденсатора (зависит от материала и метода защиты и обычно не превышает 2—3%).

Относительная температурная погрешность

$$\gamma_{C_t} = \alpha_C (T_{\text{max}} - 20^\circ\text{C}), \quad (3.29)$$

где  $\alpha_C$  — ТКС материала диэлектрика, определяемый по табл. 3.6.

Относительная погрешность активной площади конденсатора

$$\gamma_S = \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta L B + \Delta B L}{L B}, \quad (3.30)$$

где  $\Delta S$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta B$  — соответственно погрешности площади, длины и ширины верхней обкладки.

Относительная погрешность активной площади конденсатора (площади перекрытия обкладок) минимальна, если обкладки имеют форму квадрата. Отклонение контура верхней обкладки от квадрата сопровождается увеличением  $\gamma_S$ .

Для учета этих отклонений используют коэффициент формы обкладок

$$K_\Phi = L/B. \quad (3.31)$$

Тогда относительную погрешность активной площади конденсатора при  $\Delta L = \Delta B$  можно определить по формуле

$$\gamma_S = \Delta L \frac{1 + K_\Phi}{\sqrt{K_\Phi} S}. \quad (3.32)$$

Для обеспечения заданной точности емкости при изготовлении конденсатора необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\Delta L \frac{1 + K_{\Phi}}{\sqrt{K_{\Phi} S}} \leq \gamma_{S_{\text{дон}}}, \quad (3.33)$$

где  $\gamma_{S_{\text{дон}}}$  — максимально допустимая относительная погрешность активной площади, которая может быть определена как

$$\gamma_{S_{\text{дон}}} = \gamma_c - \gamma_{c_0} - \gamma_{c_t} - \gamma_{c_{ct}}. \quad (3.34)$$

Из выражения (3.33) следует, что при выбранном из топологических соображений значении коэффициента формы площадь верхней обкладки

$$S \geq \left( \frac{\Delta L}{\gamma_{S_{\text{дон}}}} \right)^2 \frac{(1 + K_{\Phi})^2}{K_{\Phi}}. \quad (3.35)$$

Если равенство выполняется, то получаем выражение для удельной емкости:

$$C_{0 \text{ точн}} = C \left( \frac{\gamma_{S_{\text{дон}}}}{\Delta L} \right)^2 \frac{K_{\Phi}}{(1 + K_{\Phi})^2}. \quad (3.36)$$

В частном случае, когда  $K_{\Phi} = 1$  (для обкладок квадратной формы), приведенные выражения упрощаются:

$$2\Delta L / \sqrt{S} \leq \gamma_{S_{\text{дон}}}, \quad (3.37)$$

$$S \geq 4(\Delta L / \gamma_{S_{\text{дон}}})^2, \quad (3.38)$$

$$C_{0 \text{ точн}} = C [\gamma_{S_{\text{дон}}} / (2\Delta L)]^2. \quad (3.39)$$

### Порядок расчета

1. Выбирают материал диэлектрика по рабочему напряжению в соответствии с данными, приведенными в табл. 3.5. Чтобы конденсатор занимал как можно меньшую площадь, нужно выбирать материал с возможно более высокими диэлектрической проницаемостью, электрической прочностью, а также малыми значениями ТКС и  $\text{tg } \delta$ .

Приведенное в табл. 3.5 значение удельной емкости  $C_0$  соответствует определенной толщине диэлектрика без учета точности изготовления конденсатора.

2. Определяют минимальную толщину диэлектрика из условия электрической прочности (3.27). Толщина должна быть в пределах 0,1—1 мкм, в противном случае следует выбрать другой материал диэлектрика. При толщине диэлектрика менее 0,1 мкм возможны поры, что может привести к короткому замыканию обкладок. При толщине диэлектрика более 1 мкм возможен разрыв верхней обкладки в месте вывода из-за большой ступеньки по толщине пленки. Оптимальная толщина диэлектрика 0,3—0,5 мкм.

3. Определяют удельную емкость конденсатора ( $\text{пФ}/\text{см}^2$ ), исходя из условия электрической прочности:

$$C_{0V} = 0,0885\varepsilon/d. \quad (3.40)$$

Здесь  $d$  в см.

4. Оценивают по (3.29) относительную температурную погрешность.

5. Определяют по (3.34) допустимую погрешность активной площади конденсатора. Если  $\gamma_{\text{с доп}} \leq 0$ , то это означает, что изготовление конденсатора с заданной точностью невозможно, нужно выбрать другой материал диэлектрика с меньшей температурной погрешностью. Уменьшить погрешность старения можно за счет дополнительной защиты микросхемы от влаги.

6. Определяют удельную емкость конденсатора с учетом точности его изготовления по (3.36), для обкладок квадратной формы — по (3.39); погрешность длины  $\Delta L$  находят по табл. 3.15 для масочного метода.

7. Выбирают минимальное значение удельной емкости конденсатора, учитывая электрическую прочность и точность изготовления:

$$C_0 \leq \min \{C_{0V}, C_{0\text{проч}}\}. \quad (3.41)$$

8. Определяют коэффициент, учитывающий краевой эффект:

$$K = \begin{cases} 1; & C/C_0 \geq 5 \text{ мм}^2, \\ 1,3 - 0,06C/C_0; & 1 \leq C/C_0 < 5 \text{ мм}^2. \end{cases} \quad (3.42)$$

9. Определяют площадь верхней обкладки:

$$S = C/C_0 K. \quad (3.43)$$

Если площадь перекрытия обкладок меньше  $1 \text{ мм}^2$ , необходимо взять другой диэлектрик с меньшим значением  $\varepsilon$ , или увеличить толщину диэлектрика  $\varepsilon$  в возможных пределах, или конструировать конденсатор специальной формы (см. рис. 3.20—3.22).

Если площадь перекрытия обкладок больше  $200 \text{ мм}^2$ , требуется взять другой диэлектрик с большим значением  $\varepsilon$ , либо уменьшить толщину диэлектрика  $d$  в возможных пределах, либо использовать в ГИС навесной конденсатор, удовлетворяющий исходным данным.

10. Определяют размеры верхней обкладки конденсатора. Для обкладок квадратной формы ( $K_{\Phi} = 1$ )

$$L = B = \sqrt{S}. \quad (3.44)$$

Размеры  $L$  и  $B$  округляют до значения, кратного шагу координатной сетки с учетом масштаба топологического чертежа.

11. Определяют размеры нижней обкладки конденсатора с учетом допусков на перекрытие (см. рис. 3.18, табл. 3.15):

$$L_n = B_n = L + 2q, \quad (3.45)$$

где  $q$  — размер перекрытия нижней и верхней обкладок конденсатора (см. табл. 3.15).

12. Вычисляют размеры диэлектрика:

$$L_d = B_d = L_n + 2f, \quad (3.46)$$

где  $f$  — размер перекрытия нижней обкладки и диэлектрика (см. табл. 3.15). По танталовой технологии диэлектрик получают анодированием Ta, поэтому  $f=0$ .

13. Определяют площадь, занимаемую конденсатором:

$$S_d = L_d B_d. \quad (3.47)$$

Сначала проектируют обкладки конденсатора квадратной формы, а при отсутствии места на чертеже топологии для расположения квадрата задаются одной из сторон конденсатора, коэффициентом формы обкладок и вычисляют размеры обкладок прямоугольной формы.

Для проверки емкости в процессе или после изготовления микросхемы конденсатор необходимо снабдить специальными контактными площадками.

Если конденсатор шунтируется резистором и при этом полное сопротивление параллельного соединения измерить невозможно, то при проектировании топологии указанные элементы рекомендуется выполнять незашунтированными. В этом случае окончательное соединение производится навесным проводником после необходимых измерений.

14. Осуществляют проверку расчета.

Конденсатор спроектирован правильно, если:

а) рабочий тангенс угла диэлектрических потерь не превышает заданного:

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{раб}} \leq \operatorname{tg} \delta. \quad (3.48)$$

Если пренебречь сопротивлением выводов обкладок, то рабочий тангенс угла можно представить в виде суммы тангенсов углов потерь в диэлектрике  $\operatorname{tg} \delta_{\text{диэл}}$  и в обкладках  $\operatorname{tg} \delta_{\text{об}}$ :

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{раб}} = \operatorname{tg} \delta_{\text{диэл}} + \operatorname{tg} \delta_{\text{об}}. \quad (3.49)$$

Значение  $\operatorname{tg} \delta_{\text{диэл}}$  определяют по табл. 3.5 для выбранного материала диэлектрика.

Тангенс угла потерь в обкладках находят по формуле

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{об}} \approx \frac{2}{3} \omega R_{\text{об}} C, \quad (3.50)$$

где  $R_{\text{об}}$  — сопротивление обкладок конденсатора, Ом;  $C$  — емкость конденсатора, Ф;  $\omega$  — угловая частота;  $\omega = 2\pi f_{\text{max}}$  ( $f_{\text{max}}$  — частота, Гц).

Сопротивление обкладок конденсатора зависит от его формы:

$$R_{\text{об}} = \rho_{S_{\text{об}}} K_{\Phi}, \quad (3.51)$$

где  $\rho_{S_{\text{об}}}$  — удельное поверхностное сопротивление материала обкладок (определяют по табл. 3.5);



б) рабочая напряженность электрического поля  $E_{\text{раб}}$  не превышает  $E_{\text{пр}}$  материала диэлектрика:

$$E_{\text{раб}} \leq E_{\text{пр}}, \quad (3.52)$$

где

$$E_{\text{раб}} = U_{\text{раб}}/d, \quad (3.53)$$

$$d = 0,0885\epsilon/C_0, \text{ см}; \quad (3.54)$$

в) погрешность активной площади конденсатора не превышает допустимую:

$$\gamma_{S_{\text{раб}}} \leq \gamma_{S_{\text{доп}}}, \quad (3.55)$$

где  $\gamma_{S_{\text{раб}}}$  определяют по (3.32), а  $\gamma_{S_{\text{доп}}}$  — по (3.34).

Если один из п. а), б) или в) не выполняется, необходимо выбрать другой материал диэлектрика или изменить конструкцию конденсатора.

Если в схеме имеется несколько конденсаторов, то для изготовления их в едином технологическом цикле целесообразно выбрать для всех конденсаторов один и тот же диэлектрик с одинаковой толщиной, а следовательно, одинаковой удельной емкостью  $C_0$ . В противном случае для напыления пленки диэлектрика конденсаторов понадобятся различные маски, а возможно, и напылительные установки, что значительно усложнит технологический процесс.

Для нескольких конденсаторов на одной подложке расчет начинают с конденсатора, имеющего наименьший номинал емкости. После выбора материала и вычислений по формулам (3.27), (3.34), (3.36), (3.39), (3.40) определяют значение удельной емкости, при котором конденсатор будет занимать минимальную площадь на подложке:

$$C_{0\text{min}} = C_{\text{min}}/S_{\text{min}}. \quad (3.56)$$

Окончательный выбор  $C_0$  производят по формуле

$$C_0 \leq \min \{C_{0\text{min}}, C_{0V}, C_{0\text{точн}}\}. \quad (3.57)$$

Вычисляют толщину диэлектрика, соответствующую удельной емкости  $C_0$  по (3.54). Если толщина диэлектрика не выходит за пределы возможностей тонкопленочной технологии (0,1—1 мкм), то продолжают дальнейший расчет, если нет — выбирают другой материал.

#### Пример расчета конденсаторов

Определить геометрические размеры и минимальную площадь двух конденсаторов на одной подложке, изготовленных в едином технологическом цикле, при следующих исходных данных: емкость конденсаторов  $C_1 = 100$  пФ,  $C_2 = 2500$  пФ; допустимое отклонение емкости от номинала  $\gamma_C = 15\%$ ; рабочее напряжение  $U_{\text{раб}} = 15$  В; диапазон температур  $-60 \div 125^\circ\text{C}$ ; тангенс угла диэлектрических потерь на рабочей частоте  $\text{tg } \delta = 0,03$ ; максимальная рабочая частота  $f_{\text{max}} = 400$  кГц; погрешность воспроизведения удельной емкости  $\gamma_{C_0} = 5\%$ ; погрешность старения  $\gamma_{C_{\text{ст}}} = 1\%$ .

По табл. 3.5 с учетом изложенных рекомендаций выбираем материал диэлектрика для обоих конденсаторов — монооксид кремния. Его параметры:  $\epsilon = 5$ ;  $\operatorname{tg} \delta = 0,01$ ;  $E_{\text{пр}} = 2 \cdot 10^6$  В/см;  $\text{TKC} = 2 \cdot 10^{-4}$  1/°С. Минимальную толщину диэлектрика  $d_{\text{мин}}$  и удельную емкость  $C_{0V}$  для обеспечения необходимой электрической прочности находим по (3.27) и (3.40):

$$d_{\text{мин}} = (3 \cdot 15) / (2 \cdot 10^6) = 0,225 \cdot 10^{-4} \text{ см},$$

$$C_{0V} = 0,0885 \frac{5}{0,225 \cdot 10^{-4}} = 0,197 \cdot 10^5 \frac{\text{пФ}}{\text{см}^2} = 197 \frac{\text{пФ}}{\text{мм}^2}.$$

Температурная погрешность в соответствии с (3.29)  $\gamma_{CT} = 2 \cdot 10^{-4} \times (125 - 20) \cdot 100 = 2,1\%$ , а допустимая погрешность активной площади конденсатора согласно (3.34)  $\gamma_{\text{сдоп}} = 15 - 5 - 1 - 2,1 = 6,9\%$ .

Минимальную удельную емкость для обеспечения точности изготовления наименьшего по номиналу конденсатора определяем по (3.39):

$$C_{0\text{точн}} = 100 \left( \frac{0,069}{2 \cdot 0,01} \right)^2 = 119 \frac{\text{пФ}}{\text{мм}^2},$$

а  $\Delta L = 0,01$  мм (см. табл. 3.15).

Определяем, какова должна быть удельная емкость наименьшего по номиналу конденсатора с учетом технологических возможностей изготовления по площади перекрытия обкладок и толщине диэлектрика. Задаемся  $S_{\text{мин}} = 1$  мм<sup>2</sup>. Тогда по (3.56)

$$C_{0\text{мин}} = 100 / 1 = 100 \text{ пФ/мм}^2.$$

Таким образом, получены три значения удельной емкости:

$$C_{0V} = 197 \text{ пФ/мм}^2; C_{0\text{точн}} = 119 \text{ пФ/мм}^2; C_{0\text{мин}} = 100 \text{ пФ/мм}^2.$$

Окончательно выбираем  $C_0 = 100$  пФ/мм<sup>2</sup>.

Определяем, какая толщина диэлектрика соответствует выбранной удельной емкости  $C_0$  по (3.54):  $d = 0,0885 \cdot 5 / (100 \cdot 10^2) = 0,44 \cdot 10^{-4}$  см, что вполне приемлемо для тонкопленочной технологии.

Далее проводим расчет геометрических размеров конденсаторов по формулам (3.42) — (3.47).

Расчет конденсатора  $C_1$

Отношение  $C_1/C_0 = 100/100 = 1$  мм<sup>2</sup>. Коэффициент, учитывающий краевой эффект,  $K = 1,3 - 0,06 \cdot 1 = 1,24$ . Площадь перекрытия обкладок  $S_1 = 1 \cdot 1,24 = 1,24$  мм<sup>2</sup>; форма обкладок — перекрещивающиеся полоски (см. рис. 3.19) квадратной формы ( $K_{\Phi} = 1$ ); размеры обкладок  $L_1 = B_1 = \sqrt{1,24} = 1,11$  мм;  $L_{\text{пл}} = B_{\text{пл}} = 1,11$  мм,  $L_{\text{дл}} = B_{\text{дл}} = 1,11 + 2 \cdot 0,1 = 1,31$  мм; площадь конденсатора по диэлектрику  $S_{\text{дл}} = 1,72$  мм<sup>2</sup>.

Проверку расчета производим по формулам (3.48) — (3.55), (3.34):

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{обкл}} = \frac{2}{3} \cdot 2\pi \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 0,00003;$$

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{днэл}} = 0,02 \text{ (по табл. 3.5),}$$

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{раб1}} = 0,02 + 0,00003 < 0,03;$$

$$E_{\text{раб1}} = 15 / (0,44 \cdot 10^{-4}) = 0,34 \cdot 10^6 \text{ В/см} < 2 \cdot 10^6 \text{ В/см};$$

$$\gamma_{\text{сраб1}} = 0,01 \cdot 2 / \sqrt{1,24} = 1,8\% < 6,9\%.$$

Расчет конденсатора  $C_2$

Расчет конденсатора  $C_2$  проводят аналогично.

Отношение  $C_2/C_0 = 2500/100 = 25$  мм<sup>2</sup>. Коэффициент, учитывающий краевой эффект,  $k = 1$ . Площадь перекрытия обкладок  $S_2 = 25$  мм<sup>2</sup>; форма обкладок при-

ведена на рис. 3.18; размеры обкладок конденсатора квадратной формы ( $K_{\phi} = 1$ ):  $L_2 = B_2 = \sqrt{25} = 5$  мм,  $L_{н2} = B_{н2} = 5 + 2 \cdot 0,2 = 5,4$  мм,  $L_{п2} = B_{п2} = 5,4 + 2 \times 0,1 = 5,6$  мм; площадь конденсатора по диэлектрику  $S_{д2} = 5,6^2 = 31,36$  мм<sup>2</sup>.

Проверка расчета:

$$\operatorname{tg} \delta_{обкл2} = \frac{2}{3} \cdot 2\pi \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 2500 \cdot 10^{-12} = 1,88 \cdot 10^{-3},$$

$$\operatorname{tg} \delta_{раб2} = 0,02 + 0,00188 < 0,03;$$

$$E_{раб2} = 15 / (0,44 \cdot 10^{-4}) = 0,34 \cdot 10^6 < 2 \cdot 10^6 \text{ В/см},$$

$$\gamma_{Sраб2} = 0,01 \cdot 2 / \sqrt{25} = 0,4\% < 6,9\%.$$

Проверки показывают, что конденсаторы не выходят за пределы точности, имеют запас по электрической прочности и тангенс угла диэлектрических потерь меньше заданного.

### § 3.7. Разработка топологии тонкопленочных ГИС

Разработку топологии рекомендуется проводить в такой последовательности: составление схемы соединения элементов на плате; расчет конструкций пленочных элементов; определение необходимой площади платы и согласование с типоразмером корпуса, выбранного для ГИС; разработка эскиза топологии; оценка качества разработанной топологии и при необходимости ее корректировка.

Для составления схемы соединений на принципиальной электрической схеме выделяют пленочные элементы и навесные компоненты, намечают порядок их расположения и проводят упрощенные схемы соединений с целью уменьшения числа пересечений проводников и сокращения их длины.

Производят выбор материалов и расчет геометрических размеров пленочных элементов. Затем приступают к определению необходимой площади платы. Из технологических соображений элементы микросхемы располагают на некотором расстоянии от ее края (см. табл. 3.15). Промежутки между элементами определяются технологическими ограничениями и условиями теплоотвода.

Ориентировочную площадь платы определяют по формуле

$$S = K (S_{\Sigma R} + S_{\Sigma C} + S_{\Sigma K} + S_{\Sigma ПК}), \quad (3.58)$$

где  $K$  — коэффициент запаса по площади, определяемый количеством элементов в схеме, их типом и сложностью связей между ними (для ориентировочных расчетов можно принимать  $K = 2 \div 3$ );  $S_{\Sigma R}$ ,  $S_{\Sigma C}$ ,  $S_{\Sigma K}$  — площади, занимаемые всеми резисторами, конденсаторами, контактными площадками;  $S_{\Sigma ПК}$  — суммарная площадь навесных компонентов, которые не могут быть расположены над пленочными элементами и занимают площадь на плате.

После вычисления ориентировочной площади платы выбирают ее типоразмер согласно табл. 3.3. Одновременно выбирают способ

защиты ГИС (см. § 5.2) и в случае использования корпусов — типоразмер корпуса. Рекомендуемые размеры плат:  $20 \times 24$ ,  $20 \times 16$ ,  $15 \times 16$ ,  $15 \times 8$  мм и т. д.

Далее приступают к разработке эскиза топологии. На этом этапе решают задачу оптимального размещения на плате пленочных элементов, навесных компонентов и соединений между ними, а также между внешними контактными площадками на плате и выводами корпуса.

Для разработки эскизных топологических чертежей необходимо знать: схему электрическую принципиальную и схему соединения элементов; форму и геометрические размеры пленочных элементов и навесных компонентов; ориентировочные размеры и материал платы, предварительно выбранный метод индивидуальной герметизации, вид и размеры корпуса или метод установки платы в блоке при групповой герметизации; возможности производственной базы, предназначенной для изготовления разрабатываемой ГИС.

Начальный этап разработки топологии состоит в изготовлении эскизных чертежей, выполненных на миллиметровой бумаге в масштабе 10 : 1 или 20 : 1. Масштаб выбирают, исходя из удобства работы, наглядности и точности. Эскизный чертеж варианта топологии ГИС выполняют совмещенным для всех слоев.

Навесные компоненты изображают с соблюдением порядка расположения выводов. Грани навесных компонентов располагают вдоль осей координатной сетки. Если используются навесные компоненты с жесткими выводами, то в чертеже топологии выполняют контактные площадки (см. рис. 3.1, 2.2), которые соответствуют их цоколевке и имеют размеры, указанные в табл. 3.15. Если выводы навесных компонентов гибкие, то на чертеж выносят их изображение согласно рис. 3.3, 3.5, 3.6, 3.9, 3.11.

Одновременно с размещением элементов и компонентов проводят линии электрической связи (проводники). Для экономии времени на начальной стадии проводники предварительно слегка намечают карандашом в одну линию по оси проводника. Расстояние между параллельными линиями, изображающими проводники, берут с учетом ширины проводников и расстояний между ними. Линии проводят параллельно осям координат. При вычерчивании необходимо следить за тем, чтобы пленочные проводники отличались от проволочных выводов навесных компонентов, навесных перемычек, места соединения их обозначают контактными площадками. Следует избегать пересечения с начерченными ранее проводниками. После того как выполнена коммутационная схема и обеспечены минимальные длины проводников, а также минимальное число пересечений, проводники изображают в две линии.

Элементы ГИС, принадлежащие разным слоям, в первом эскизе рекомендуется изображать разными цветами.

При создании чертежа топологии необходимо обращать внимание на использование наиболее простых форм элементов, равномерность размещения элементов на плате, обеспечение удобств при вы-

полнении сборочных операций, увеличение размеров контактных площадок, расширение допусков на совмещение слоев и т. д.

При вычерчивании элементов следует экономно использовать площадь, что достигается выбором соответствующей конфигурации (если это допускается) размещаемых пленочных элементов.

При разработке топологии нужно учитывать обеспечение возможности измерений электрических параметров пленочных элементов (резисторов, конденсаторов и т. д.). Если структура электрической схемы не позволяет этого сделать (например, параллельное соединение конденсатора и резистора), методика проверки узлов и требования к топологии, связанные с этой проверкой, должны быть определены до начала разработки топологии.

При разработке топологии необходимо обеспечить возможность выполнения требований к монтажу применяемых навесных компонентов, а также требования к сборке и защите микросхемы.

При проработке первого варианта топологии обычно не удается получить приемлемую конфигурацию слоев. Работа над следующими вариантами топологии сводится к устранению недостатков первого варианта для того, чтобы чертеж отвечал всем конструктивно-технологическим требованиям и ограничениям, изложенным в табл. 3.15.

При масочном методе изготовления после окончательного размещения элементов рекомендуется произвести раскраску слоев в различные цвета, чтобы оценить возможность изготовления масок. Маски не должны содержать провисающих участков. В случае сложной конфигурации маски проводят распределение проводников на два слоя или часть проводников переносят в слой нижних обкладок конденсаторов, если это не нарушает жесткости маски для формирования нижних обкладок.

После того как окончательно выбран вариант топологии, приступают к изготовлению чертежей слоев микросхемы по элементам (резисторы, проводники и контактные площадки, нижние обкладки конденсаторов, диэлектрики и т. д.). Эти чертежи — основа для изготовления комплекта фотошаблонов и масок.

Способ и последовательность работы по размещению и выбору формы пленочных элементов могут быть различными: эта работа во многом определяется опытом разработчика и носит индивидуальный характер. Для нахождения оптимального варианта размещения элементов на плате в настоящее время используют методы проектирования топологии с помощью ЭВМ.

**Оценка качества разработки топологии ГИС.** Разработанная топология должна: соответствовать принципиальной электрической схеме; удовлетворять всем предъявленным конструктивным требованиям; быть составлена таким образом, чтобы для изготовления микросхемы требовалась наиболее простая и дешевая технология; обеспечить заданный тепловой режимы и возможность проверки элементов в процессе изготовления. Емкостные и индуктивные связи не должны нарушать нормальную работу схемы при заданных условиях эксплуатации.

При проверке правильности разработки топологии ГИС принимают такой порядок. Проверяют соответствие принципиальной электрической схеме; внешних контактных площадок — выводам корпуса; конструктивно-технологическим требованиям и ограничениям согласно табл. 3.15; расчетным значениям длины, ширины и коэффициента формы резисторов и в случае необходимости производят корректировку размеров резисторов. Проверяют наличие в схеме пересечения пленочных проводников и защиту их диэлектриком, возможность контроля элементов, обеспечение нормального функционирования микросхемы при заданных условиях эксплуатации. При необходимости проводят оценку емкостных и индуктивных связей.

#### Глава 4

### КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ГИС

#### § 4.1. Платы толстопленочных ГИС

Платы толстопленочных ГИС должны быть дешевыми, иметь высокие механическую прочность, теплопроводность, термостойкость и химическую стойкость.

Наиболее подходящими материалами для плат толстопленочных ГИС являются высокоглиноземистая керамика 22ХС, поликор и керамика на основе окиси бериллия, электрофизические параметры которых приведены в табл. 3.1.

Высокая механическая прочность керамики позволяет использовать плату в качестве детали корпуса с отверстиями, пазами, а высокая теплопроводность дает возможность изготавливать мощные микросхемы.

Самую высокую теплопроводность имеет бериллиевая керамика, но в массовом производстве ее не используют из-за высокой токсичности окиси бериллия. Керамику типа «поликор» применяют для создания многослойных толстопленочных БИС.

В условиях массового производства используют платы из керамики 22ХС, изготавливаемые прессованием порошков или методом шликерного литья с последующим обжигом при температуре 1650°С.

Точность изготовления пассивной части микросхемы в значительной мере зависит от плоскостности и шероховатости платы. Максимальная кривизна поверхности (макронеровность) не должна превышать 4 мкм на 1 мм. Шероховатость (микронеровность) рабочей поверхности платы должна быть не ниже 8-го класса (высота неровностей 0,32—0,63 мкм). Более высокая чистота обработки поверхности платы не нужна, так как адгезия толстых пленок к шероховатой поверхности лучше, а влияние микронеровностей мало сказывается на свойствах пленок толщиной 10—70 мкм.

Размеры плат определяются конкретной конструкцией корпусов (см. § 5.2). Максимальные размеры плат 60×48 мм. Платы больших размеров не применяют из-за ухудшения параметров пленочных элементов вследствие коробления плат при вжигании пленок. Толщина плат 0,6—1 мм.

## § 4.2. Пасты для толстопленочных ГИС

Нанесение материала толстых пленок, в состав которых, как правило, входят металл, оксид металла и стекло, на плату осуществляют продавливанием через сетчатый трафарет, имеющий закрытые и открытые участки (рис. 4.1). Для трафаретной печати материал толстых пленок должен иметь консистенцию пасты. Пасты подразделяют на проводящие (для проводников, контактных площа-

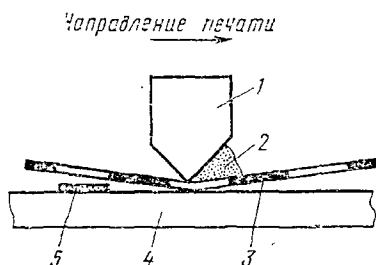


Рис. 4.1. Схема процесса трафаретной печати бесконтактным способом:

1 — рапель; 2 — паста; 3 — трафарет;  
4 — плата; 5 — отпечаток пасты

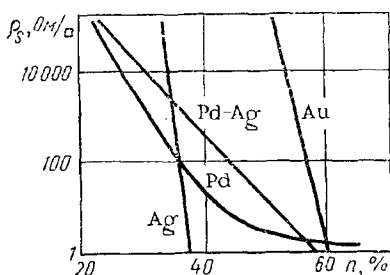


Рис. 4.2. Зависимость  $\rho_s$  паст от концентрации металлических порошков в стеклянйной фритте

док и обкладок конденсаторов), резистивные и диэлектрические (для конденсаторов, изоляционных и защитных слоев).

В состав паст входят основные материалы, придающие пленкам необходимые для их функционирования физические свойства и вспомогательные материалы, придающие пастам основные технологические и физико-химические свойства. В качестве основных материалов в проводящие и резистивные пасты входят металлы Ag, Au, Pt, Pd, In, Os, Ro, сплавы Pt—Au, Pd—Ag, Pd—Au, многокомпонентные системы Pd—PdO—Ag.

С целью экономии драгоценных металлов для формирования резисторов применяют сплавы Ag—Ru, Bi—Ru, Ru—Ir и пасты на основе рутения.

Зависимость удельного поверхностного сопротивления от концентрации металлических порошков в пасте представлена на рис. 4.2. Основным материалом для диэлектрической пасты служит размельченная керамика с высокой диэлектрической проницаемостью и низким  $\text{tg } \delta$ , например керамика на основе  $\text{BaTiO}_3$ . Для меж-

слоистой изоляции используют кристаллизующиеся стекла с малым значением диэлектрической проницаемости. Для хорошего сцепления пленки с платой и связывания частиц основного материала между собой в состав паст вводят порошок стекла (чаще всего висмутоборосиликатные стекла). Для придания пасте необходимых вязкости и поверхностного натяжения, позволяющих ей легко проникать через трафареты и, не растекаясь, закрепляться на плате, вводят дополнительные органические вещества и растворители. В состав паст входит примерно  $\frac{2}{3}$  основного вещества и стекла и  $\frac{1}{3}$  органических добавок. Характеристики проводящих, резистивных и диэлектрических паст приведены в табл. 4.1—4.3, а параметры пассивных элементов толстопленочных ГИС — в табл. 4.4.

Таблица 4.1

Характеристики проводящих паст (ПП)

Обозначение пасты	Толщина слоя, мкм	Удельное поверхностное сопротивление $\rho_s$ , Ом/□, не более	Область применения
ПП-1	10—20	0,05	Для изготовления проводников, нижних обкладок конденсаторов и контактных площадок первого слоя с размерами сторон элементов не менее 0,2 мм
ПП-2	15—20	5,0	
ПП-3	15—25	0,05	Для изготовления верхних обкладок конденсаторов, не смачиваемых припоем при лужении
ПП-4	15—25	0,05	Для изготовления проводников, нижних обкладок конденсаторов и контактных площадок под монтаж навесных компонентов с жесткими выводами
			Для изготовления проводящих элементов, наносимых на слой диэлектрика

Таблица 4.2

Удельное поверхностное сопротивление  $\rho_s$  резистивных паст (ПР)

Обозначение пасты	ПР-5	ПР-100	ПР-500	ПР-1к	ПР-3к	ПР-6к	ПР-20к	ПР-50к	ПР-100к
Удельное поверхностное сопротивление $\rho_s$ , Ом/□	5	100	500	1000	3000	6000	20 000	50 000	100 000



Характеристики паст для диэлектрика конденсаторов (ПК)  
и межслойного диэлектрика (ПД)

Обозначение пасты	Толщина пленки, мкм	Удельная емкость $C_0$ , пФ/см <sup>2</sup>	Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1,5 МГц $\text{tg} \delta \times 10^{-3}$	Область применения
ПК 1000-30	4)–6)	37))	3,5	Для диэлектрика конденсаторов, изоляции пересекающихся проводников
ПК12	4)–6)	1)000)	3,5	Для диэлектрика конденсаторов
ПД-1	6)–7)	16)	2	Для межслойной изоляции при двух уровнях пленочных элементов
ПД-2	5)–6)	22)	3	Для межслойной изоляции при трех (и более) уровнях пленочных элементов
ПД-3	3)–5)	—	2	Для верхнего защитного слоя при использовании пасты ПД-1
ПД-4	3)–5)	—	3	Для верхнего защитного слоя при использовании пасты ПД-2

Таблица 4.4

Основные параметры пассивных элементов толстопленочных ГИС

Параметры	Элементы		
	резисторы	конденсаторы	межслойная изоляция
Толщина пленки, мкм	15–2))	4)–6)	3)–7))
Минимальный размер $l \times b$ , мм	0,8 × 0,8	(диэлектрик) 1 × 1	—
Диапазон номиналов	25 Ом– 1 МОм	5)–25)) пФ	—
Допустимое отклонение от номинала, %	±2*	±15	—
Температурный коэффициент сопротивления ТКР, 1/°С, при $T = -60 \div 125^\circ \text{C}$	±8 · 10 <sup>-4</sup>	—	—
Максимальная допустимая удельная мощность рассеяния $P_0$ , мВт/мм <sup>2</sup>	3)–8))	—	—
Температурный коэффициент емкости ТКС, 1/°С, при $T = -60 \div 85^\circ \text{C}$	—	±3,5 · 10 <sup>-4</sup>	3 · 10 <sup>-4</sup>
Напряжение пробоя $U_{проб}$ , В	—	15)	5))

\* После лазерной подгонки.

### § 4.3. Основные технологические операции изготовления толсто пленочных ГИС

**Нанесение паст.** Нанесение паст можно производить двумя способами: бесконтактным и контактным.

При бесконтактном способе подложку, на которую нужно нанести пасту, устанавливают под сетчатым трафаретом с некоторым зазором; пасту подают поверх трафарета и передвиганием ракеля через отверстия в трафарете переносят на подложку в виде столбиков, копирующих отверстия в сетке (см. рис. 4.1). Растекаясь, столбики соединяются, образуя такой же рисунок, как на трафарете. Сетчатые трафареты изготавливают из капрона, нейлона или нержавеющей стали.

Качество трафаретной печати зависит от скорости перемещения и давления ракеля, зазора между сетчатым трафаретом и платой, натяжения трафарета и свойств пасты. Необходимо строго соблюдать параллельность платы, трафарета и направления движения ракеля.

Для устранения неравномерности толщины резисторов рекомендуется составлять топологию так, чтобы все резисторы располагались по длине в одном направлении по движению ракеля. По этой же причине не рекомендуется проектировать длинные и узкие, а также короткие и широкие резисторы.

Из рис. 4.3 видно, что при использовании одной и же пасты короткие резисторы имеют большую толщину пленки, а следовательно, меньшее значение  $\rho_s$ , чем длинные, из-за разных прогибов открытых участков сетчатого трафарета.

При контактном способе трафаретной печати плату устанавливают под трафаретом без зазора. Отделение платы от трафарета осуществляют вертикальным перемещением без скольжения во избежание размазывания отпечатка пасты. При контактном способе пасту можно наносить пульверизацией с помощью распылителя. Точность отпечатка при контактном способе выше, чем при бесконтактном.

**Термообработка паст.** Пасты после нанесения подвергают термообработке — сушке и вжиганию. Сушка необходима для удаления из пасты летучих компонентов (растворителя). Сушку проводят при температуре 80—150°С в течение 10—15 мин в установках с инфракрасным (ИК) нагревом. ИК-излучение проникает в глубь слоя пасты на всю его толщину, обеспечивая равномерную сушку без образования корочки на поверхности.

Вжигание производят в печах конвейерного типа непрерывного действия с постепенным повышением температуры до максимальной, выдержкой при ней и последующим охлаждением. Ряд печей

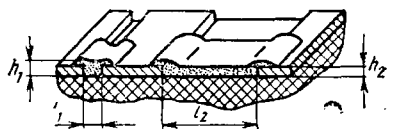


Рис. 4.3. Влияние ширины и длины резистора на толщину отпечатка (при  $l_1 < l_2$ ,  $h_1 > h_2$ )

содержит приставки ИК-сушки, что позволяет объединить эти операции.

Вначале при термообработке происходит выгорание органической связи (температура 300—400° С, при этом скорость нагрева во избежание образования пузырьков не должна превышать 20 град/мин). Во второй, центральной температурной зоне конвейерной печи происходит сплавление частиц основных материалов между собой с образованием проводящих мостиков и спекание их со стеклом и керамической платой при температуре 500—1000° С. На выходе из печи платы охлаждаются с небольшой скоростью во избежание их растрескивания и отслаивания пленок от плат.

Перед первым нанесением паст платы подвергают очистке и термическому отжигу при температуре 600—620° С. Пасты для создания проводящих слоев вжигают при температуре 750—800° С, пасты диэлектрика конденсаторов и изоляционный слой — при 700—750° С, верхние обкладки конденсаторов — при 700—720° С, диэлектрик защитного слоя — при 620—650° С, резисторы — при 600—650° С. Для исключения появления сквозных пор в диэлектрике конденсаторов его наносят в два слоя, причем каждый слой сушат и вжигают отдельно.

Если одна и та же паста наносится на обе стороны платы, то возможны раздельное нанесение и вжигание пасты с каждой стороны, а также нанесение и сушка пасты с одной стороны, нанесение, сушка и вжигание пасты с другой стороны при одновременном вжигании ранее нанесенной пасты.

Последовательность технологических операций нанесения и термообработки паст при производстве толстопленочной ГИС следует выбирать такой, чтобы каждая последующая операция имела более низкую температуру вжигания по сравнению с предыдущей. Последними наносят и вжигают резистивные пасты. Возможны такие варианты:

1) для схем с однослойной разводкой, содержащих проводники, конденсаторы и резисторы, — формирование проводников, контактных площадок и нижних обкладок конденсаторов; формирование слоя диэлектрика; формирование верхних обкладок конденсаторов; формирование резисторов;

2) для схем с двухслойной разводкой, содержащих проводники и резисторы, — формирование проводников; нанесение межслойной изоляции с отверстиями для контактных переходов; формирование второго слоя проводников; формирование резисторов;

3) для схем с трехслойной разводкой, содержащих проводники и резисторы, — формирование проводников, шин питания и внешних контактных площадок; нанесение диэлектрика межслойной изоляции с окнами для контактов; формирование второго слоя проводников и контактов к первому слою; нанесение еще одного слоя изоляции; формирование верхнего слоя проводников; формирование защитного диэлектрика; формирование резистивных слоев.

Последовательность нанесения слоев указана для одной стороны

платы, при использовании второй стороны эта последовательность сохраняется.

**Защита толстопленочных ГИС.** Ее осуществляют глазурированием поверхности сформированной пленочной структуры стеклами с низкой температурой размягчения, не превышающей  $500^{\circ}\text{C}$  во избежанные изменения параметров резисторов. Толщина защитного диэлектрического слоя 30—60 мкм, сопротивление изоляции более  $10^{12}$  Ом при постоянном напряжении 100 В.

Если толстопленочная ГИС устанавливается в корпус, то защиту с использованием глазурирования, как правило, не производят.

**Сборка.** После нанесения и вжигания всех слоев пассивной части схемы производят подгонку пленочных элементов, монтаж навесных компонентов, армирование (установку выводов) и герметизацию.

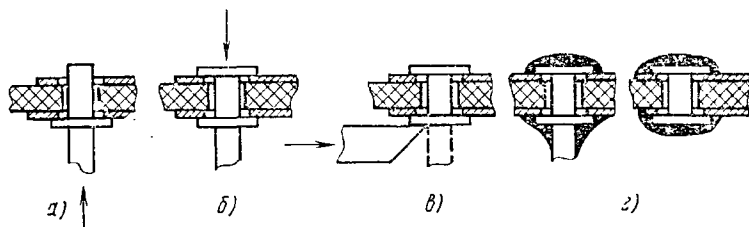


Рис. 4.4. Армирование плат выводами и контактными переходами:

а — установка вывода; б — расклепывание; в — обрезание вывода для образования контактного перехода; г — вывод и контактный переход после облучивания

Для осуществления контроля в процессе подгонки контактные площадки элементов должны быть облужены. Армирование можно производить до и после подгонки. Выводы и контактные переходы в виде проволочек (рис. 4.4, а—г) устанавливают перед подгонкой, а рамочные выводы, соединенные между собой на общей рамке, — на заключительном этапе сборки перед герметизацией. После герметизации рамку обрезают и выводы разъединяют.

**Подгонка резисторов.** В условиях массового производства отклонение от номиналов сопротивлений резисторов может достигать 50%, поэтому необходимо производить их подгонку. Подгонка толстопленочных резисторов и конденсаторов принципиально не отличается от тонкопленочных и производится изменением конфигурации элементов или отжигом.

Используется лазерная подгонка удалением части резистивной пленки. Точность изготовления резисторов с подгонкой в условиях массового производства около 2%.

Сначала производят грубую подгонку выжиганием пленки поперек резистора, затем точную — вдоль резистора (рис. 4.5, а). Вы-

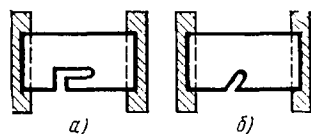


Рис. 4.5. Толстопленочный резистор после лазерной подгонки:

а — с участками грубой и точной подгонки; б — с подгонкой под углом

жигание резистивной пленки под углом (рис. 4.5, б) позволяет совместить грубую и точную подгонку.

Если при лазерной подгонке сопротивление резистора только увеличивается за счет уменьшения его ширины, то отжиг нагревом до температуры 400—500°С позволяет изменить сопротивление в обе стороны, поскольку при этом меняются свойства резистивных пленок.

**Подгонка конденсаторов.** Для толстопленочных конденсаторов используют воздушно-абразивную подгонку удалением части верх-

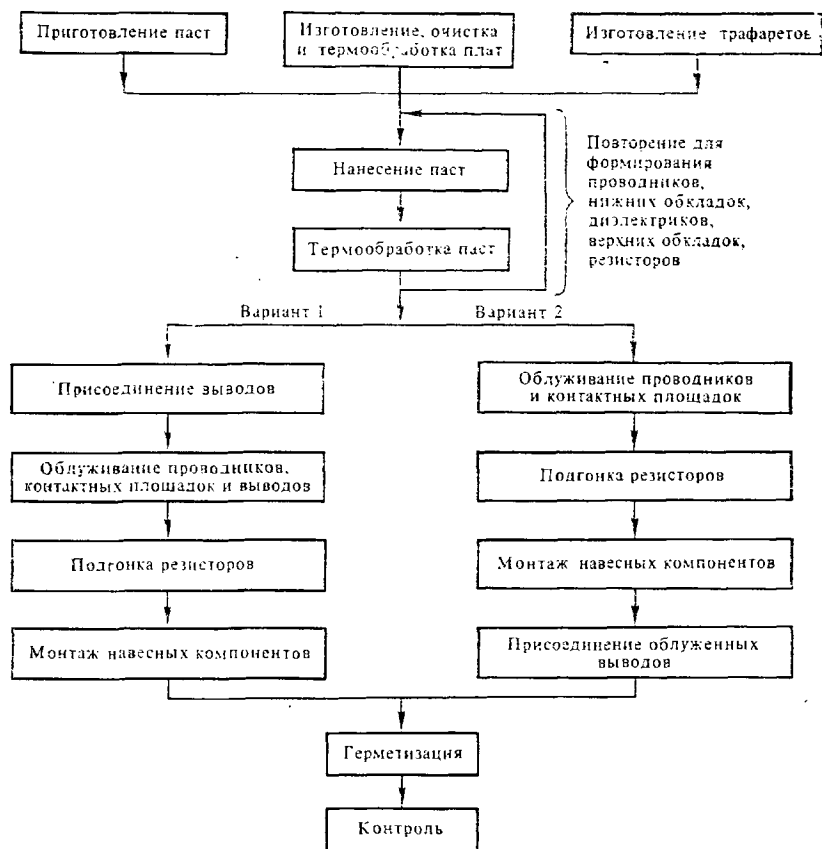


Рис. 4.6. Структурная схема технологического процесса изготовления толстопленочных ГИС

ней обкладки абразивом. Это сложная малопроизводительная операция, при осуществлении которой возможно повреждение диэлектрика и нижней обкладки, что снижает выход годных схем.

В толстопленочных ГИС широко применяют навесные малогабаритные конденсаторы. Монтаж навесных компонентов производят теми же методами, что и для тонкопленочных ГИС (см. § 3.4).

Толстопленочные ГИС герметизируют в металлополимерные, металлокерамические, керамические и пластмассовые корпуса или заливкой стекломалью.

На рис. 4.6 приведена общая структурная схема технологического процесса изготовления толстопленочных ГИС. Вариант 1 используют для схем с проволочными выводами, герметизируемых в металлополимерные корпуса, а вариант 2 — для схем с рамочными выводами, герметизируемых в керамические, металлокерамические и пластмассовые корпуса.

Последовательность операций изготовления толстопленочной ГИС, содержащей резисторы, навесные и пленочные конденсаторы, проводники и пересечения, активные компоненты с жесткими выводами, армированной рамочными выводами, с герметизацией опрессовкой представлена на рис. 4.7.

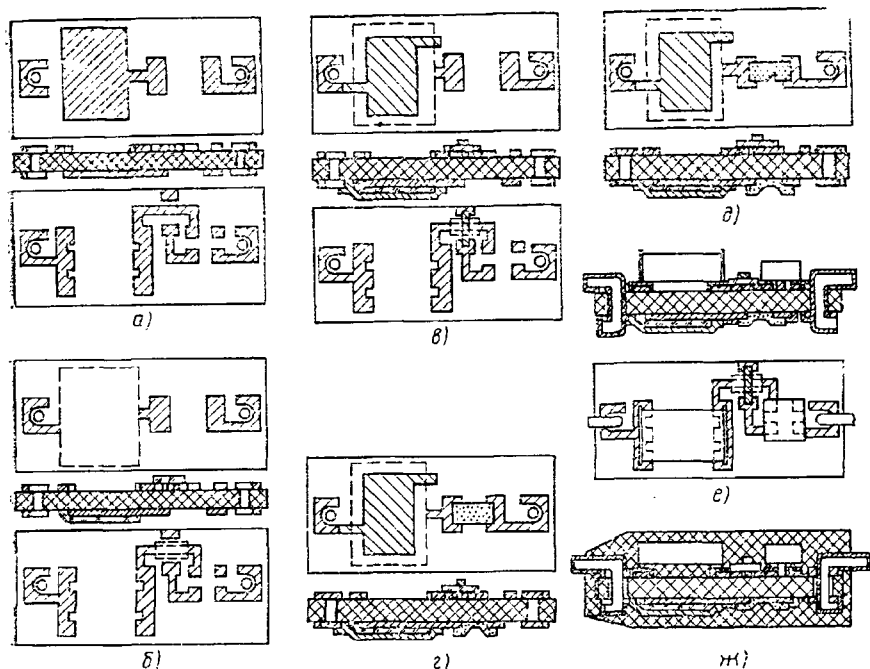


Рис. 4.7. Последовательность операций изготовления толстопленочной ГИС

После очистки и отжига платы на нее наносят и вжигают поочередно с обеих сторон проводящую пасту для формирования проводников, контактных площадок и нижних обкладок конденсаторов (рис. 4.7, а), после чего формируют диэлектрик для конденсаторов и пересечений проводников (рис. 4.6, б). Верхние обкладки и пленочные перемычки (рис. 4.7, в) изготавливают из одной пасты. Последними формируют резисторы (рис. 4.7, г), имеющие самую низкую температуру вжигания. После облуживания контактных площадок

(верхние обкладки конденсаторов, резисторы и диэлектрик припоём не смачиваются, так как их изготавливают из паст, инертных к припою) производят лазерную подгонку резисторов (рис. 4.7, *д*), На рис. 4.7, *е, ж* представлены заключительные сборочные операции: установка выводов, монтаж навесных компонентов и герметизация опрессовкой с использованием пластмассы, после чего производят обрезание рамки и разъединение выводов.

#### § 4.4. Разработка топологии толстопленочных ГИС

При разработке топологии учитывают особенности толстопленочной технологии, конструктивные и технологические ограничения.

Последовательность разработки топологии аналогична последовательности, принятой для тонкопленочных ГИС (см. гл. 3).

**Особенности толстопленочной технологии.** Пленочные элементы могут располагаться на обеих сторонах платы. Соединения между элементами, расположенными на разных сторонах платы, осуществляют через отверстия или внешние контактные площадки (рис. 4.8, *а, б*). Суммарная площадь элементов в одном уровне не должна превышать 70% площади рабочей стороны платы.



Рис. 4.8. Контактные переходы для соединения элементов, расположенных на разных сторонах платы:

*а* — через отверстие в плате;  
*б* — через боковую поверхность платы

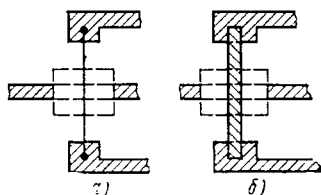


Рис. 4.9. Конструкции перемычек при однослойной разводке толстопленочных ГИС:

*а* — проволочные; *б* — пленочные

**Проводники, контактные площадки, выводы.** Пасты для проводников и контактных площадок выбирают по табл. 4.2. Проводники, расположенные в нижнем слое при многослойной разводке соединений, не должны находиться под резисторами, подгоняемыми лазерным лучом. Минимальный размер круглого отверстия в межслойной изоляции для соединения двух уровней 0,6 мм, квадратного отверстия 0,5×0,5 мм. Контактная площадка над переходом должна быть удалена от других элементов не менее чем на 0,3 мм. Пересечения проводников в однослойной разводке выполняют с помощью проволочных или пленочных перемычек (рис. 4.9, *а, б*).

Проволочные перемычки используют в случае навесных компонентов с гибкими выводами, а пленочные — с жесткими выводами. При этом размеры контактных площадок пленочных перемычек

должны быть на 0,2 мм больше ширины перемычки (рис. 4.9, б) с каждой стороны.

Варианты конструктивного выполнения внешних контактных площадок и выводов показаны на рис. 4.10. Отогнутый конец вывода не должен выходить за пределы внешнего контура контактной площадки. Внутренний диаметр контактной площадки для монтажа внешнего вывода должен быть больше диаметра отверстия в плате на 0,1 мм.

**Навесные компоненты.** Навесные компоненты — бескорпусные диоды и диодные матрицы, транзисторы, полупроводниковые ИМС, конденсаторы, трансформаторы — могут быть с гибкими или с жесткими выводами.

В одной толстопленочной ГИС следует применять навесные компоненты с одинаковым диаметром гибких выводов для упрощения процесса сборки. С этой же целью расположение навесных компонентов с гибкими выводами на плате целесообразно указывать технологическими знаками, выполненными резистивными или диэлектрическими пастами (рис. 4.11). Навесные компоненты рекомендуется располагать на одной стороне платы. Допускается устанавливать их на резисторах и проводниках, защищенных диэлектриком. Нельзя уста-

Рис. 4.10. Варианты конструктивного выполнения внешних контактных площадок и выводов

навливать навесные компоненты на стороне платы, заливаемой компаундом.

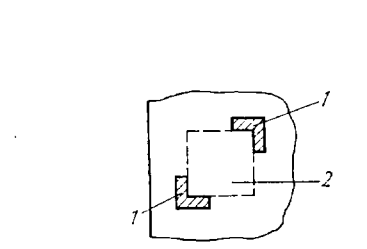


Рис. 4.11. Технологический знак и место установки навесного компонента с гибкими выводами (1 — технологический знак; 2 — место установки)

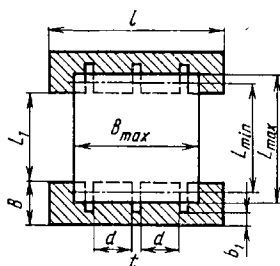


Рис. 4.12. Конструкция контактных площадок для монтажа навесных конденсаторов

навливать навесные компоненты на стороне платы, заливаемой компаундом.

Активные компоненты (транзисторы, диоды, транзисторные и диодные сборки) рекомендуется располагать рядами, параллельно



сторонам платы. Компоненты, одноинные по расположению выводов, предпочтительно ориентировать одинаково. Контактные площадки следует располагать напротив выводов активных компонентов. Контактные площадки для одноименных выводов активных компонентов рекомендуется располагать в одном ряду.

При монтаже навесных компонентов с жесткими выводами проводники целесообразно покрывать защитным диэлектриком, оставляя открытыми лишь контактные площадки. Пленка диэлектрика должна отстоять от края облуженной контактной площадки на 0,5 мм. Учитывая, что навесные конденсаторы имеют большой допуск по длине и ширине, размеры контактных площадок (мм) для них (рис. 4.12) определяют из следующих зависимостей:

$$\begin{aligned} l &\geq B_{\max} + 0,4 \text{ мм}, \\ L_1 &= L_{\min} - 0,2 \text{ мм}, \\ L_1 + 2B &\geq L_{\max} + 0,4 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  — минимальная и максимальная длина конденсатора;  $B_{\max}$  — максимальная ширина конденсатора;  $B$ ,  $l$  — ширина и длина контактных площадок;  $L_1$  — расстояние между контактными площадками.

Для уменьшения толщины слоя припоя контактные площадки для монтажа навесных конденсаторов допускается выполнять с прорезями шириной  $t$  не более 0,2 мм (рис. 4.12). Минимальное расстояние между прорезями  $d = 0,5$  мм. Минимальное расстояние от края контактной площадки до прорези  $b_1 = 0,2$  мм.

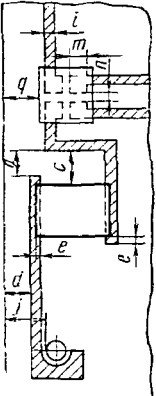
**Резисторы.** Максимальное число резистивных слоев на одной стороне платы, выполненных из паст с различным удельным сопротивлением, равно трем. Резисторы рекомендуется ориентировать одинаково, а резисторы, близкие по номиналам, изготавливать из одной пасты и располагать на одной стороне платы. Контактные площадки резисторов целесообразно располагать в одном слое с проводящими элементами. Если принципиальная электрическая схема не предусматривает внешних выводов для каждого резистора, то для обеспечения контроля в процессе лазерной подгонки необходимо создавать технологические проволочные перемычки для соединения элемента с внешними контактными площадками, которые удаляют после подгонки (срывают пинцетом).

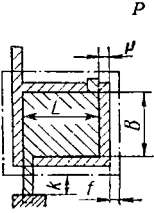
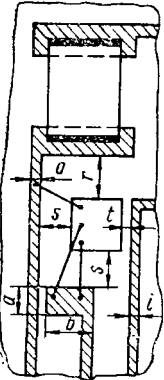
**Пленочные конденсаторы.** Их не следует располагать на стороне платы, заливаемой компаундом. Если пленочные конденсаторы соединены между собой, то они могут иметь общую нижнюю или верхнюю обкладку.

Основные конструктивно-технологические ограничения для толстопленочных ГИС приведены в табл. 4.5.

**Разработка эскиза топологии.** Эскиз топологии следует выполнять в масштабе 10:1 или 20:1 на миллиметровой бумаге. Шаг координатной сетки топологического чертежа рекомендуется выбирать равным 1 или 0,5 мм. На чертеже необходимо показывать обе стороны платы.

Конструктивно-технологические ограничения  
при проектировании толстопленочных ГИС

Элемент технологии	Содержание ограничения	Величина ограничения, мм
	<p>Точность изготовления линейных размеров пленочных элементов и расстояний между ними <math>\Delta l</math>, <math>\Delta b</math>, <math>\Delta a</math> при расположении пленочных элементов в одном слое: для пасты ПП-3 для остальных паст</p>	<p><math>\pm 0,05</math> <math>\pm 0,1</math></p>
	<p>Минимальный размер резистора <math>b_{\min} \times l_{\min}</math></p>	<p><math>0,8 \times 0,8</math></p>
	<p>Максимальное отклонение сопротивления от номинала: до подгонки после лазерной подгонки</p>	<p><math>-50\%</math> <math>\pm 2\%</math></p>
	<p>Минимальное расстояние <math>a</math> между пленочными элементами, расположенными в одном слое: для паст ПП-1, ПП-2 для пасты ПП-3 для пасты ПП-4 для остальных паст</p>	<p><math>0,2</math> <math>0,05</math> <math>0,1</math> <math>0,3</math></p>
	<p>Минимальное расстояние <math>c</math> между пленочными элементами, расположенными в разных слоях</p>	<p><math>0,4</math></p>
	<p>Перекрытие <math>e</math> для совмещения пленочных элементов, расположенных в разных слоях</p>	<p><math>0,1</math></p>
	<p>Минимальные расстояния от края платы до: пленочного элемента <math>d</math> края отверстия <math>j</math> края навесного компонента <math>q</math></p>	<p><math>0,1</math> <math>0,5</math> <math>1,0</math></p>
	<p>Минимальные размеры контактных площадок для монтажа навесных компонентов с шариковыми или столбиковыми выводами: <math>m</math> <math>n</math></p>	<p><math>0,2</math> <math>0,1</math></p>

Элемент топологии	Содержание ограничения	Величина ограничения
	<p>Минимальные расстояния:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>между краями диэлектрика и нижней обкладки <math>f</math> — 0,2</li> <li>между краями нижней и верхней обкладок <math>P</math> — 0,3</li> <li>между краем диэлектрика и проводником в месте вывода верхней обкладки <math>k</math> — 0,4</li> </ul> <hr/> <p>Минимальная площадь перекрытия обкладок конденсатора <math>L \times B</math> — 1,0×1,0</p> <hr/> <p>Максимальное отклонение емкости конденсатора от номинала, % — ±15</p>	
	<p>Минимальная ширина проводников <math>i</math>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>при нанесении на керамику: <ul style="list-style-type: none"> <li>паста ПП-1 — 0,2</li> <li>паста ПП-3 — 0,15</li> </ul> </li> <li>при нанесении на диэлектрический слой: <ul style="list-style-type: none"> <li>паста ПП-1 — 0,3</li> <li>паста ПП-3 — 0,2</li> <li>паста ПП-4 — 0,2</li> </ul> </li> </ul> <hr/> <p>Минимальная ширина проводника при пайке к нему гибких выводов <math>o</math> — 0,4</p> <hr/> <p>Минимальные размеры контактных площадок <math>a \times b</math> для монтажа активных компонентов с гибкими выводами и проволочных перемычек методом пайки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>при ручном монтаже: <ul style="list-style-type: none"> <li>для одного вывода — 0,3×0,4</li> <li>для двух выводов — 0,4×0,7</li> <li>для трех выводов — 0,4×1,0</li> </ul> </li> <li>при автоматизированном монтаже: <ul style="list-style-type: none"> <li>для одного вывода — 0,6×0,6</li> <li>для двух выводов — 0,6×0,9</li> <li>для трех выводов — 0,6×1,2</li> </ul> </li> </ul> <p>Минимальные размеры контактных площадок для контроля — 0,4×0,4</p> <hr/> <p>Минимальное расстояние от края активного компонента:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>до контактной площадки навесного конденсатора <math>r</math> — 1,0</li> <li>до контактной площадки, к которой припаивается вывод этого элемента, <math>s</math> — 0,8</li> <li>до луженого пленочного элемента <math>t</math> — 0,2</li> </ul> <p>Максимальная длина гибкого вывода навесного компонента без дополнительного крепления — 3,0</p>	

Поскольку в состав резистивных и проводящих паст входят драгоценные металлы, чем меньше суммарная площадь пленочных проводников и резисторов, тем экономичнее производство микросхемы. Для учета расхода материалов на чертеже платы указывают площади элементов, нанесенных различными пастами.

#### § 4.5. Конструктивный расчет элементов толстопленочных ГИС

**Расчет толстопленочных резисторов.** Учитывая особенности толстопленочной технологии, все толстопленочные резисторы изготавливают с подгонкой, в связи с чем расчет резисторов на точность не производят.

Минимальный размер резистора, определяемый возможностями толстопленочной технологии, находят по табл. 4.4.

Резисторы можно располагать на обеих сторонах платы, но не более трех резистивных слоев на одной стороне. Все резисторы должны иметь прямоугольную форму. Не рекомендуется использовать резисторы с коэффициентом формы более 5—6 и менее 0,2.

Исходные данные для расчета: номинал резистора  $R_i$ , кОм; мощность рассеяния  $P_i$ , мВт; относительная погрешность изготовления резисторов до подгонки  $\gamma_R$ , % (см. табл. 4.5); максимально допустимая удельная мощность рассеяния резистивной пленки  $P_0$ , мВт/мм<sup>2</sup>; минимальные размеры резистора  $b_{\min} \times l_{\min} = 0,8 \times 0,8$  мм; шаг координатной сетки, мм.

#### Порядок расчета

1. Все резисторы располагают в порядке возрастания их номиналов и разбивают ориентировочно на группы так, чтобы при изготовлении каждый резистор состоял не более чем из 5—6 квадратов. Разбивку проводят на основании номиналов сопротивлений и значения  $\rho_S$  резистивных паст (см. табл. 4.2).

2. Для каждой группы определяют оптимальное значение удельного сопротивления резистивной пасты  $\rho_{S_{\text{опт}}}$ :

$$\rho_{S_{\text{опт}}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n R_i}{\sum_1^n 1/R_i}}, \quad (4.2)$$

где  $n$  — количество резисторов.

3. По рассчитанному значению  $\rho_{S_{\text{опт}}}$  выбирают согласно табл. 4.2 пасту с удельным сопротивлением  $\rho_S$ , ближайшим к  $\rho_{S_{\text{опт}}}$ .

4. Определяют коэффициент формы резистора:

$$K_{\phi} = R/\rho_S. \quad (4.3)$$

Для  $K_{\phi} \geq 1$  определяют геометрические размеры резистора: ширину  $b$  и длину  $l$ .

5. Ширина резистора прямоугольной формы  $b_{\text{расч}}$  должна быть

не меньше наибольшего значения одной из двух величин  $b_p$  и  $b_{\text{техн}}$ :

$$b_{\text{расч}} \geq \max \{b_p, b_{\text{техн}}\}, \quad (4.4)$$

где  $b_{\text{техн}}$  — минимальная ширина резистора, обусловленная возможностью толстопленочной технологии;  $b_{\text{техн}} = 0,8$  мм (см. табл. 4.5).

Ширина резистора из условия выделения заданной мощности

$$b_p \geq \sqrt{(K_p P_i) / (P_0 K_\phi)}, \quad (4.5)$$

где  $K_p$  — коэффициент запаса мощности, учитывающий подгонку резистора:

$$K_p = 1 + \gamma_R / 50. \quad (4.6)$$

При  $\gamma_R = 50\%$   $K_p = 2$ .

6. Расчетная длина резистора

$$l_{\text{расч}} = b_{\text{расч}} K_\phi. \quad (4.7)$$

Расчетные значения  $b_{\text{расч}}$  и  $l_{\text{расч}}$  корректируют. За длину  $l$  и ширину  $b$  резистора принимают значения, ближайšie к расчетным в сторону уменьшения сопротивления резистора  $R_i$ , кратные шагу или половине шага координатной сетки с учетом масштаба чертежа топологии. Например, если шаг координатной сетки 1 мм, масштаб 10:1, то геометрические размеры округляют до значения, кратного 0,1 мм, причем ширину  $b_{\text{расч}}$  корректируют в большую, а длину  $l_{\text{расч}}$  — в меньшую сторону. По откорректированному значению длины резистора  $l$  в зависимости от ширины  $b$  из графиков рис. 4.13, а—ж находят исправленное значение длины резистора  $l_{\text{испр}}$  с учетом растекания паст.

Для резисторов, имеющих  $K_\phi < 1$ , расчет начинают с определения длины по аналогии с приведенными формулами:

$$l_{\text{расч}} \geq \max \{l_p, l_{\text{техн}}\},$$

$$l_p \geq \sqrt{(K_p P K_\phi) / P_0}, \quad (4.8)$$

$$l_{\text{техн}} = 0,8 \text{ мм (см. табл. 4.5),}$$

$$b_{\text{расч}} = l_{\text{расч}} / K_\phi.$$

7. Длина резистора с учетом перекрытия с контактными площадками

$$l_{\text{полн}} = l_{\text{испр}} + 2e, \quad (4.9)$$

где  $e$  — минимальный размер перекрытия, определяемый по табл. 4.5. Обычно значение  $e$  берут равным ширине проводника.

8. Площадь резистора

$$S = l_{\text{полн}} b. \quad (4.10)$$

Оптимальное число паст определяют из условия, чтобы площадь, занимаемая всеми резисторами на плате, была минимальной. Если окажется, что при увеличении числа паст выигрыш в

площади незначителен или размеры платы достаточны, то целесообразно остановиться на меньшем числе паст. При этом погрешность изготовления резисторов будет тем меньше, чем меньше отличается форма резистора от квадрата. Для выбора оптимального варианта можно воспользоваться программой расчета толстопленочных резисторов на ЭВМ (см. гл. 6).

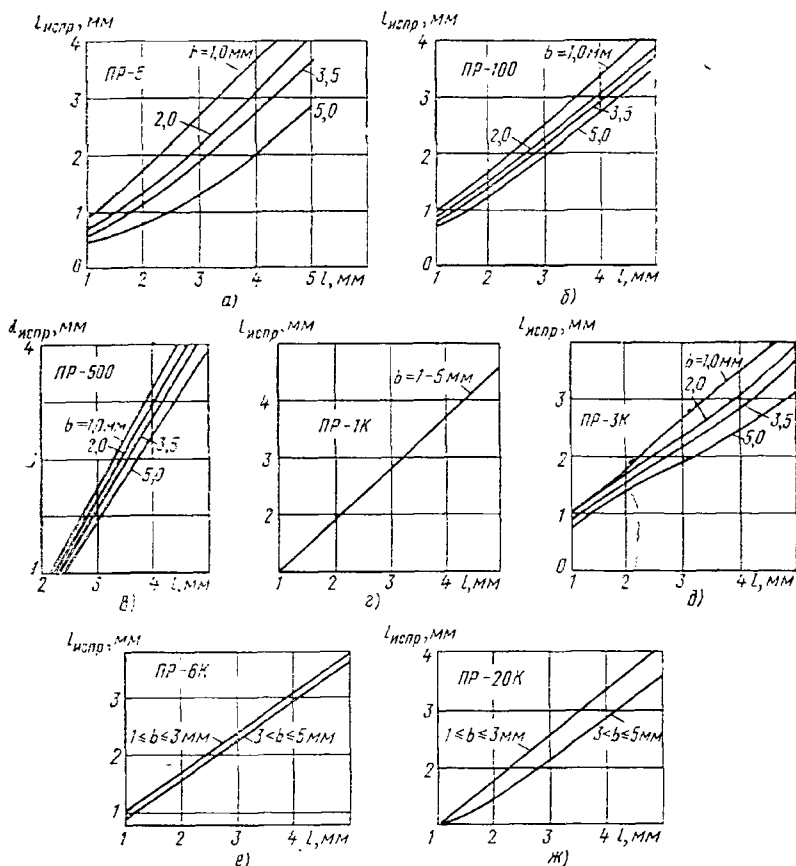


Рис. 4.13. Графики корректировки длин резисторов для учета растека паст

**Расчет толстопленочных конденсаторов.** Исходные данные для расчета: емкость конденсатора  $C$ , пФ; относительная погрешность изготовления конденсатора  $\gamma_c$ , %; рабочее напряжение  $U_{раб}$ , В; технологические ограничения (см. табл. 4.5).

Расчет конденсаторов на точность не проводят. Если точность изготовления конденсатора задана выше 15%, необходимо предусмотреть участок подгонки на верхней обкладке.

## Порядок расчета

1. В зависимости от диапазона номинальных значений выбирают диэлектрическую пасту по табл. 4.3. Пасты для нижней и верхней обкладок выбирают в соответствии с табл. 4.1.

2. Определяют площадь верхней обкладки конденсатора:

$$S = C/C_0. \quad (4.11)$$

3. Рассчитывают геометрические размеры верхней обкладки конденсатора. Для обкладок квадратной формы

$$L = B = \sqrt{S}. \quad (4.12)$$

4. Вычисляют геометрические размеры нижней обкладки конденсатора:

$$L_n = B_n = L + 2p; \quad (4.13)$$

где  $p$  — перекрытие между нижней и верхней обкладками (см. табл. 4.5).

5. Определяют геометрические размеры диэлектрика:

$$L_d = B_d = L_n + 2f, \quad (4.14)$$

где  $f$  — перекрытие между нижней обкладкой и диэлектриком (см. табл. 4.5).

6. Вычисляют площадь, занимаемую конденсатором на плате:

$$S_d = L_d B_d. \quad (4.15)$$

Если квадратная форма обкладок конденсаторов по каким-либо причинам неудобна, конструируют обкладки прямоугольной формы, задавшись одним из размеров верхней обкладки,  $L$  или  $B$ , и определяют второй размер, исходя из необходимой площади конденсатора и коэффициента формы обкладок.

В случае большого числа конденсаторов в схеме можно воспользоваться программой расчета на ЭВМ (см. гл. 6).

## Часть III

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

---

### Глава 5

## КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ИМС

### § 5.1. Технические условия на ИМС

Технические условия (ТУ) на ИМС представляют собой комплекс основных требований к ней и определяют ее выходные параметры, условия эксплуатации и хранения. ТУ подразделяют на общие (ОТУ), частные (ЧТУ), временные (ВТУ) и др. Общие ТУ устанавливают заданные требования ко всем типам ИМС опытного или массового производства, изготавливаемых отечественной промышленностью. Частные ТУ определяют назначение каждого типа ИМС (ее принадлежность к типу и серии ИМС), уточняют нормы на параметры и режимы испытаний, устанавливают специальные и дополнительные требования. В связи с тем, что в процессе разработки, которая обычно сопровождается изготовлением опытной партии ИМС, проектировщикам еще не известны точные значения отдельных параметров, выпускаются временные технические условия. ОТУ и ЧТУ взаимосвязаны и дополняют друг друга. Они обязательны для предприятия-заказчика, предприятия-разработчика и завода-изготовителя.

**ОТУ на ИМС широкого применения.** Согласно ГОСТ 18725—73, ОТУ содержат требования к электрическим параметрам, конструкции, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, надежности, долговечности и сохраняемости.

**Требования к электрическим параметрам и режимам.** Электрические параметры ИМС при изготовлении, хранении и эксплуатации в режимах и условиях, допускаемых в технической документации на ИМС конкретных типов, должны соответствовать установленным в ней нормам. Согласно ГОСТ 17230—71, предпочтительным является следующий ряд номинальных значений напряжения питания ИМС: 1,2; 2,4; 3,0; 4,0; 5,2; 6,0; 9,0; 12,0; 15,0; 24,0; 30,0; 48,0; 100; 150; 200 В.

**Требования к конструкции.** Габаритные и присоединительные размеры, внешний вид и масса ИМС должны соответствовать требованиям, установленным в технической документации на ИМС конкретных типов. Бескорпусные ИМС должны быть стойкими к процессу сборки. Выводы ИМС должны выдерживать растягивающие усилия и изгибы, легко паяться и свариваться.

**Требования к устойчивости при механических воздействиях.** ИМС должны сохранять параметры в пределах норм, установлен-



ных технической документацией в соответствии с группой жесткости согласно ГОСТ 16962—71 в процессе и после воздействия механических нагрузок: вибрационных с частотой 1—2000 Гц и максимальным ускорением 10—20 g, многократных ударов длительностью 2—6 мс с ускорением 75—150 g, линейных (центробежных) нагрузок с максимальным ускорением 25—2000 g.

**Требования к устойчивости при климатических воздействиях.** ИМС должны сохранять параметры в пределах норм, установленных технической документацией, в процессе и после воздействия на них следующих климатических факторов: температуры воздуха с верхними значениями +55, +70, +85, +100, +125, +155° С и нижними значениями —10, —25, —40, —45, —55, —60° С, изменения температур от верхнего до нижнего пределов (пределы выбирают из указанного ряда значений в соответствии с ТУ на конкретную микросхему); относительной влажности окружающей среды (для корпусных ИМС) 98% при температуре 35° С. ИМС должны допускать эксплуатацию после их транспортировки при температуре —50° С. ИМС в корпусном исполнении, предназначенные для эксплуатации в условиях тропического климата, должны быть устойчивыми к длительному воздействию влаги, соляного тумана и среды, зараженной плесневыми грибами.

**Требования к надежности.** Минимальная наработка ИМС в указанных режимах и условиях должна быть не менее 15 000 ч.

Интенсивность отказов ИМС в режимах и условиях работы, соответствующих ТУ, не должна превышать  $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$  для ИМС первой и второй степеней интеграции и  $5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$  для ИМС третьей—шестой степеней интеграции.

**Срок хранения ИМС.** Для ИМС в корпусном исполнении, размещенных в упаковке предприятия-изготовителя, срок хранения в отапливаемых помещениях не менее шести лет; для ИМС в бескорпусном исполнении, размещенных в негерметичной упаковке в цеховых условиях при влажности не более 65% и нормальной температуре, — не менее 30 сут; для ИМС в герметичной или влагонепроницаемой упаковке предприятия-изготовителя в складских условиях — не менее двух лет; для ИМС, установленных в герметизируемые объемы, — как для корпусных микросхем. Срок хранения ИМС исчисляются с момента изготовления.

**Маркировка.** На каждом корпусе ИМС должны быть отчетливо нанесены: товарный знак предприятия-изготовителя; условное обозначение типа ИМС, месяц и две последние цифры года изготовления; обозначение первого вывода, если он не указан другим способом. Маркировка должна оставаться прочной и разборчивой при эксплуатации ИМС в режимах и условиях, оговоренных в технической документации.

**Упаковка.** Каждая бескорпусная ИМС должна быть упакована в индивидуальную тару, защищающую ее от механических нагрузок. Тара должна обеспечивать возможность измерения электрических параметров, а также возможность извлечения ИМС без повреждений. Все ИМС должны быть упакованы в потребительскую

тару (индивидуальную или групповую), исключающую возможность их повреждения и деформацию выводов, и уложены в картонные коробки, куда вкладывают паспорт.

## § 5.2. Конструктивные меры защиты ИМС от воздействия дестабилизирующих факторов

Основным способом защиты ИМС от воздействия дестабилизирующих факторов (температуры, влажности, солнечной радиации, пыли, агрессивных химических и биологических сред, механических воздействий) является герметизация. Ее осуществляют с помощью специально разработанных конструкций — корпусов, в которых размещают ИМС, либо нанесением защитных материалов непосредственно на поверхность ИМС.

В настоящее время разработка полупроводниковых ИМС в корпусах, как правило, сопровождается разработкой их аналогов в бескорпусном варианте. Бескорпусные полупроводниковые, а также гибридные ИМС разрабатывают для эксплуатации в составе ячеек и блоков микроэлектронной аппаратуры, которые подвергают общей герметизации.

**Герметизация с использованием корпусов.** Корпусы ИМС классифицируют по форме и расположению выводов и делят на пять типов в соответствии с табл. 5.1 и рис. 5.1—5.5 (ГОСТ 17467—79).

По габаритным и присоединительным размерам корпуса подразделяют на *типоразмеры*, каждому из которых присваивается шифр, состоящий из номера *подтипа* (табл. 5.1) и двузначного числа (01—99), означающего порядковый номер типоразмера; номер подтипа и порядковый номер типоразмера дают шифр типоразмера. Стандартом регламентируются габаритные размеры корпусов, количество выводов, расстояние между ними, диаметр (ширина) и длина выводов и т. д. В конструкторской документации корпусам присваиваются *условные обозначения*, содержащие слово «Корпус», шифр типоразмера, цифровой индекс, определяющий число выводов, порядковый регистрационный номер разработки и указание на стандарт (например, корпус 2103.16-8 ГОСТ 17467—79). Значительная часть используемых в настоящее время корпусов была разработана до введения в действие нового стандарта и обозначается согласно ГОСТ 17467—72, в котором не были предусмотрены подтипы и отсутствовали корпуса типа 5. Далее, где это возможно, приводятся обозначения типоразмеров согласно новому и старому стандартам.

В зависимости от применяемых материалов корпуса ИМС подразделяют на стеклянные, керамические, пластмассовые, металло-стеклянные, металлокерамические, металлополимерные, стеклокерамические и др. Конструкции наиболее широко применяемых для герметизации полупроводниковых ИМС корпусов показаны на рис. 5.6—5.14, а их конструктивно-технологические характеристики даны в табл. 5.2—5.4.

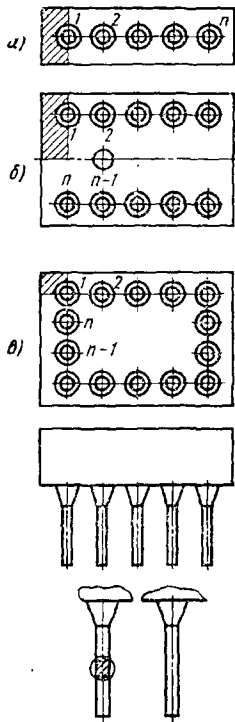


Рис. 5.1. Конструкции корпусов типа 1 подтипов 11(а), 12(б), 14(в) с вариантами конструкций выводов

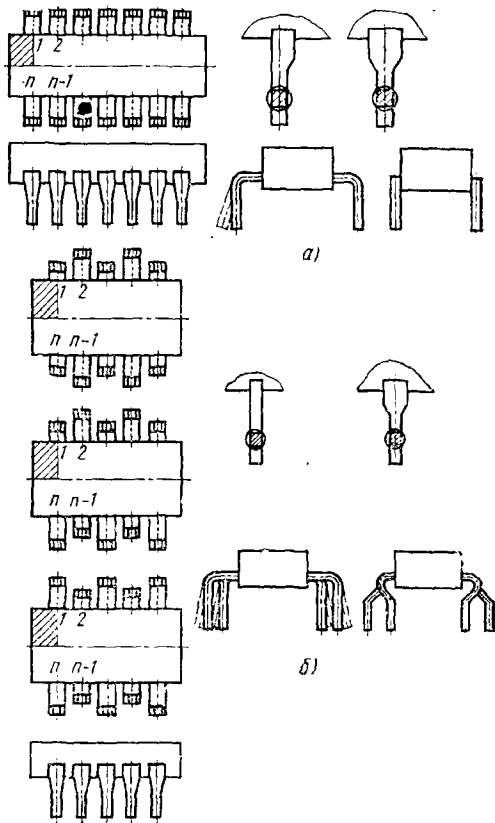


Рис. 5.2. Конструкции корпусов типа 2 подтипов 21(а) и 22(б) с вариантами формовки и конструкций выводов

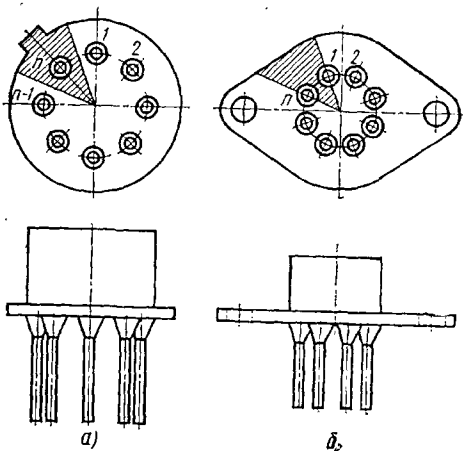


Рис. 5.3. Конструкции корпусов типа 3 подтипов 31(а) и 32(б) с выводами круглого сечения

Типы корпусов ИМС по ГОСТ 17467—79

Тип	Подтип	Форма проекции корпуса на плоскость основания	Расположение проекции выводов (выводных площадок) на плоскость основания	Расположение выводов (выводных площадок) относительно плоскости основания
1	11	Прямоугольная	В пределах проекции корпуса	Перпендикулярное, в один ряд
	12			Перпендикулярное, в два ряда
	13			Перпендикулярное, в три ряда и более
	14			Перпендикулярное, по контуру прямоугольника
2	21	То же	За пределами проекции корпуса	Перпендикулярное, в два ряда
	22			Перпендикулярное, в четыре ряда в шахматном порядке
3	31	Круглая Овальная	В пределах проекции корпуса	Перпендикулярное, по одной окружности
	32			
4	41	Прямоугольная	За пределами проекции корпуса	Параллельное, по двум противоположным сторонам
	42			Параллельное, по четырем сторонам
5		То же	В пределах проекции корпуса	Перпендикулярное, для боковых выводных площадок; в плоскости основания для нижних выводных площадок

На рис. 5.6, 5.8, 5.9, 5.11 и 5.13 представлены конструкции металлокерамических и металлостеклянных корпусов. Корпусы состоят из металлического дна и металлической крышки, а также стеклянных или керамических деталей, в которые впаяны либо впрессованы металлические выводы круглого или прямоугольного сечения. Металлическое дно также спаяно или спресовано со стеклом или керамикой. Такие корпуса герметизируют созданием вакуумплотного соединения крышки с вваренным в диэлектрик фланцем путем пайки или сварки. Монтажная площадка, контактные площадки и выводы подобных корпусов имеют золотое покрытие толщиной 2—5 мкм для обеспечения процессов эвтектической пайки, разварки выводов и улучшения паяемости при сборке,

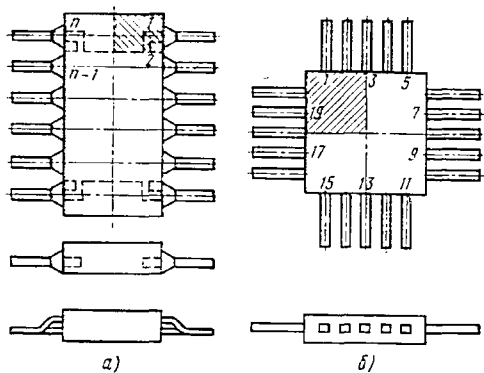


Рис. 5.4. Конструкции корпусов типа 4 подтипа 41 с двумя вариантами формовки выводов прямоугольного сечения (а) и подтипа 42 (б)

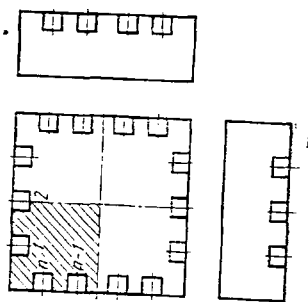


Рис. 5.5. Конструкция корпуса типа 5

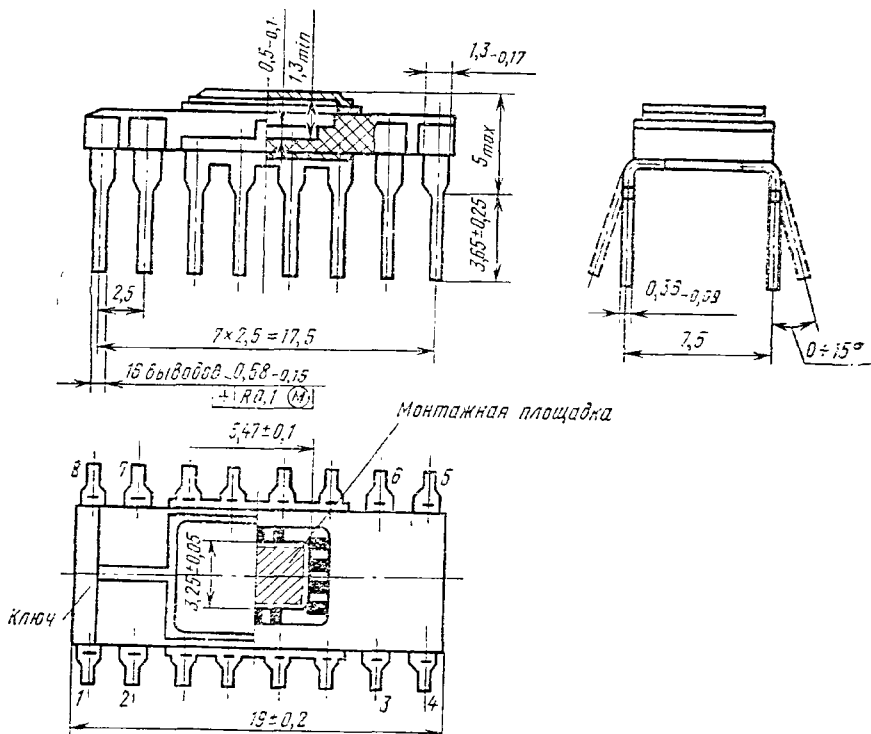


Рис. 5.6. Конструкция металлокерамического корпуса 2103 (2018-1)

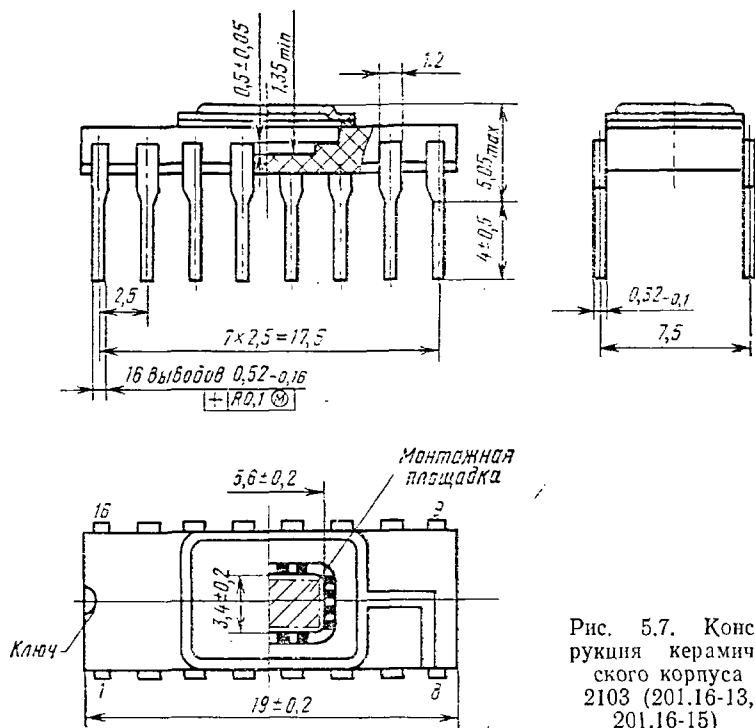


Рис. 5.7. Конструкция керамического корпуса 2103 (201.16-13, 201.16-15)

Таблица 5.2  
Конструктивно-технологические характеристики корпусов типа 2 для герметизации полупроводниковых ИМС

Условное обозначение корпуса	Вариант исполнения	Масса, г, не более	Размер монтажной площадки, мм	Метод крепления кристалла в корпусе	
				электрическая пайка	посадка на клей
2103(201.8-1)	МК	1,8	5,0×3,0	+	+
2102(201.14-10)	МК	1,55	5,6×3,0	+	—
2103(201.16-8)	К	1,6	5,0×3,0	+	—
2103(201.16-13)	К	1,6	4,4×2,2	+	+
2106(201.16-17)	К	2,9	7,0×3,5	+	+
2106(201.А.16-1)	К	2,9	6,0×5,0	+	—
2108(210.А.22-1)	К	3,9	5,0×4,0	+	+
2120(210.Б.24-1)	К	4,9	7,5×7,5	+	+
2114(212.32-1)	МК	4,6	6,0×5,0	+	—
2104(238.18-1)	К	3,0	5,5×3,7	+	—
2205(244.48-11)	К	5,0	∅ 8,0	+	+
2204(249.42-1)	К	4,15	6,2×6,2	+	+
2104.18-2	К	1,6	7,0×3,5	—	+
2121.28-3	МК	4,5	5,0×5,0	—	+
2123.40-4	МК	6,9	6,0×5,0	—	+

Примечания: 1) К, МК — керамические и металлокерамические корпуса; 2) метод используется (+) и не используется (—); 3) корпуса герметизируют методом шовной контактной сварки; герметичность корпусов  $5 \cdot 10^{-5}$  л·мкм/с.

При отсутствии золочения монтажной площадки для монтажа ИМС в корпус применяют не эвтектическую пайку, а используют клей холодного отверждения. Для изготовления металлокерамических корпусов используют дефицитные материалы — золото, никель-кобальтовые сплавы, поэтому они служат лишь для герметизации ИМС специального назначения, БИС и СБИС с большим количеством выводов.

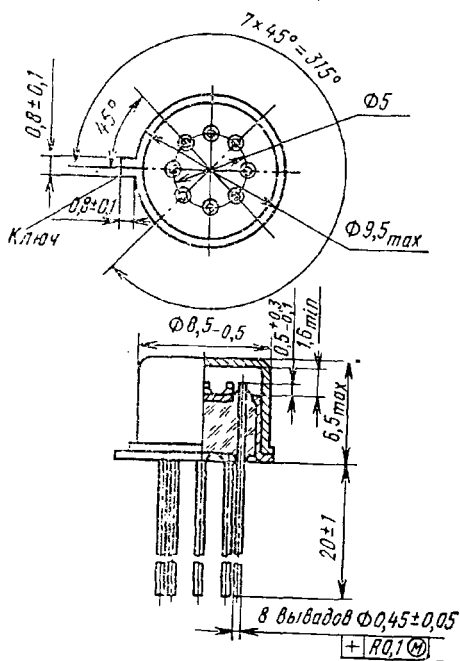


Рис. 5.8. Конструкция металлокерамического корпуса 3104 (302.8-1)

Конструкции керамических корпусов (рис. 5.7, 5.12), согласно данным табл. 5.2, 5.4, обеспечивают большое количество типоразмеров, хотя и обладают менее хорошими защитными свойствами и характеристиками надежности из-за большей хрупкости керамического основания и крышки, если она выполняется тоже из керамики, и более высокого теплового сопротивления корпуса. Керамические корпуса изготавливают из нескольких (двух-трех) слоев керамики, на которые наносят методами толстопленочной технологии проводящие дорожки и контактные площадки внутри и снаружи корпуса. После прессования многослойной структуры осуществляют обжиг, в результате которого формируется монолитное тело керамического корпуса с встроенными проводящими дорожками. Внешние плоские металлические выводы прямоугольного сечения приваривают к внешним контактным площадкам сбоку (рис. 5.7) или поверх основания корпуса (рис. 5.12). Аналогично формируются выводы и у плоских прямоугольных металлокерамических корпусов (рис. 5.13).

Керамическими являются и корпуса типа Б (см. рис. 5.5), называемые микрокорпусами или кристаллодержателями. Они представляют собой керамическую пластину, внутри которой встроены металлические дорожки, а по периметру расположены металлизированные контактные площадки, используемые в качестве внешних выводов. Такая конструкция позволяет уменьшить размеры корпуса, увеличить стойкость к механическим воздействиям и улучшить схемотехнические и технологические характеристики. Благодаря более коротким выводам верхний частотный предел ИМС, помещенных в кристаллодержатель, увеличивается примерно в три раза по

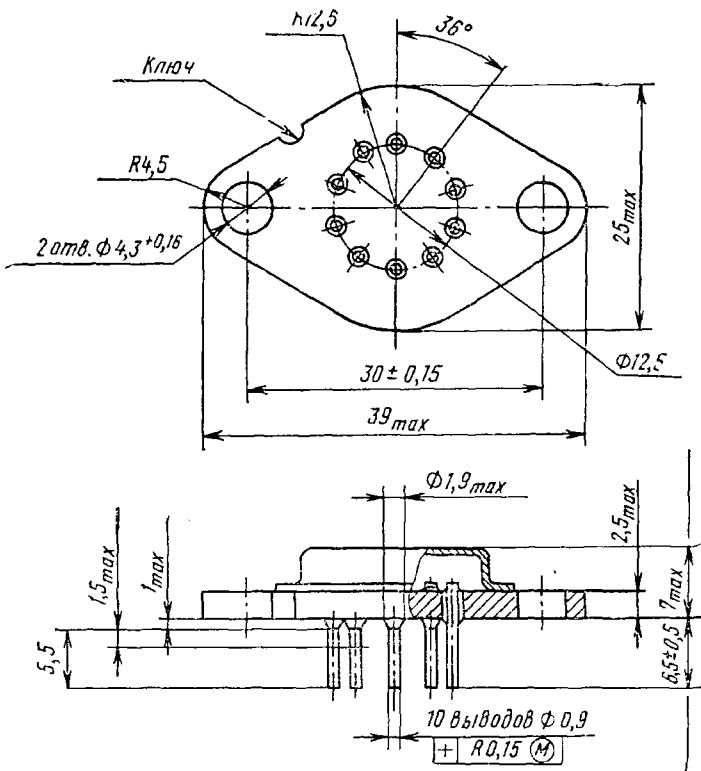


Рис. 5.9. Конструкция металлостеклянного корпуса 3204 (311.10-1)

Таблица 5.3

Конструктивно-технологические характеристики металлостеклянных корпусов типа 3 для герметизации полупроводниковых ИМС

Условное обозначение корпуса	Масса, г, не более	Диаметр контактной площадки, мм	Метод крепления кристалла в корпусе		Мощность рассеяния при температуре 20°C, Вт	Герметичность, л·мкм/с
			эвтектическая пайка	посадка на клей		
3101 (301.8-2)	1,3	3,0	+	+	0,4	$6,1 \cdot 10^{-6}$
3107 (301.12-1)	3,0	3,8	+	+	0,5	$6,1 \cdot 10^{-6}$
3104 (302.8-1)	1,25	3,0	+	+	—	$6,1 \cdot 10^{-6}$
3203 (311.8-1)	20,0	8,0	+	—	3,5	$5 \cdot 10^{-5}$
3203 (311.8-2)	20,0	8,0	+	—	—	$5 \cdot 10^{-5}$
3204 (311.10-1)	20,0	8,0	+	—	5,0	$5 \cdot 10^{-5}$



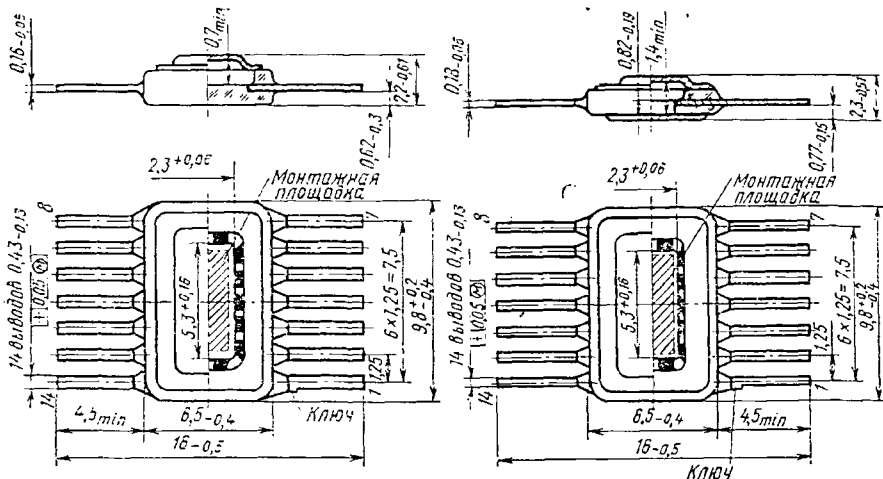


Рис. 5.10. Конструкция стеклянного корпуса 4105 (401.14-3)

Рис. 5.11. Конструкция металлостеклянного корпуса 4105 (401.14-4)

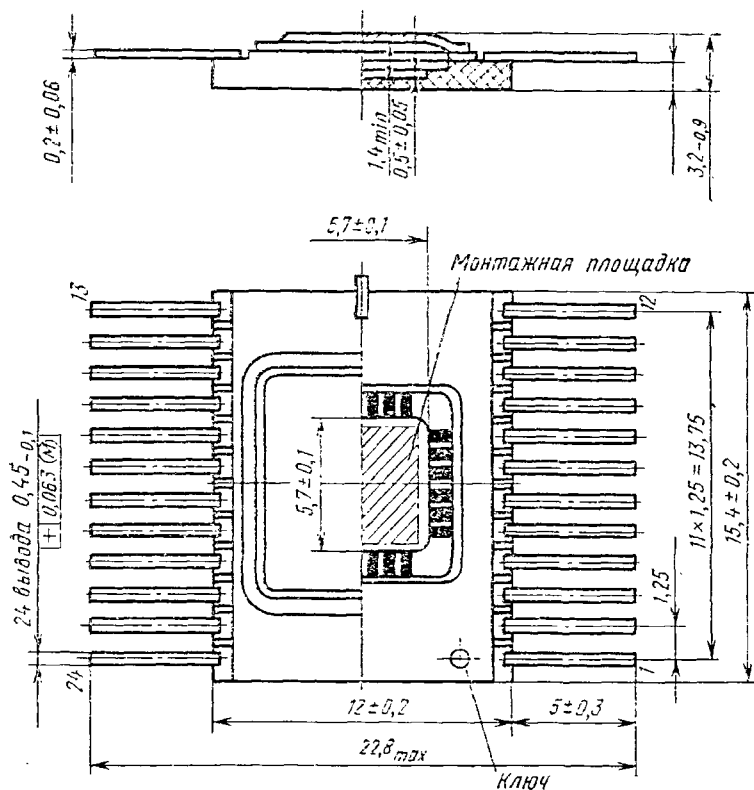


Рис. 5.12. Конструкции керамических корпусов 4118.24-1, 4118.24-2, 4118.24-3, 4118.24-4

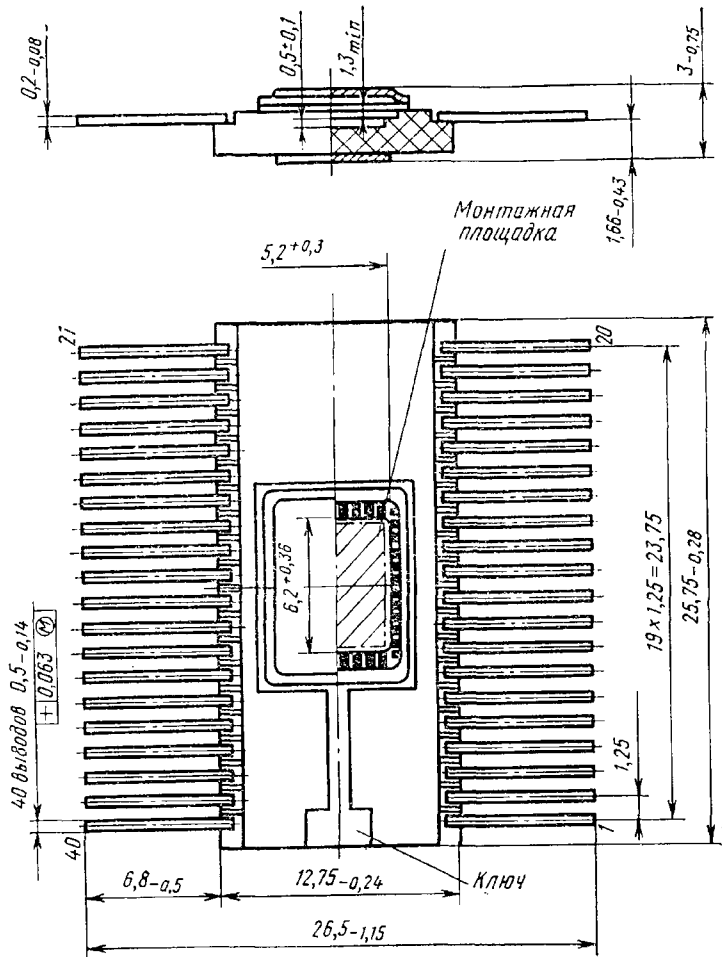


Рис. 5.13. Конструкция металлокерамического корпуса 4122.40-2

Таблица 5.4

Конструктивно-технологические характеристики корпусов типа 4 для герметизации полупроводниковых ИМС

Условное обозначение корпуса	Вариант исполнения	Масса, г, не более	Размеры монтажной площадки, мм	Метод крепления кристалла в корпусе	
				эвтектическая пайка	посадка на клей
4105 (401.14-3)	С	0,35	4,9×2,0	—	+
4105 (401.14-4)	МС	0,35	4,9×2,0	+	+
4105 (401.14-5)	МС	0,6	4,9×2,0	+	—
4112 (402.16-21)	К	1,6	5,1×3,1	+	+
4112 (402.16-23)	К	1,6	5,1×3,1	—	+

Условное обозначение корпуса	Вариант исполнения	Масса, г, не более	Размеры монтажной площадки, мм	Метод крепления кристалла в корпусе	
				эвтектическая пайка	посадка на клей
4112(402.16-25)	К	1,6	5,1×3,1	+	+
4112(402.16-32)	К	1,0	4,0×3,2	+	—
4112(402.16-33)	К	1,0	4,0×3,2	—	+
4118(405.24-2)	К	1,6	7,5×5,0	+	+
4118(405.24-4)	К	1,51	7,5×5,0	+	+
4134(413.48-1)	МС	2,2	∅ 8,0	+	—
4116(427.18-2)	МК	1,6	7,2×6,2	—	+
4151(429.42-1)	К	4,0	6,2×6,2	+	—
4151(429.42-3)	К	4,0	6,2×6,2	—	+
4151(429.42-5)	К	4,0	7,0×7,2	+	—
4151(429.42-6)	К	4,0	7,0×7,2	—	+
4202(460.24-1)	МС	1,9	∅ 80	+	—
4112.16-1	К	1,1	5,5×4,5	—	+
4112.16-2	К	1,1	5,5×4,5	+	—
4112.16-3	К	1,16	5,5×4,5	+	—
4117.22-2	МК	2,0	7,2×6,2	—	+
4118.24-1,3	К	1,9	5,0×5,0	+	—
4118.24-2,4	К	1,9	5,0×5,0	—	+
4119.28-2	МК	2,2	5,0×5,0	—	+
4122.40-2	МК	3,0	6,0×5,0	—	+
4131.24-2	МК	2,9	10,7×8,3	—	+
4138.42-2	МК	4,8	10,7×8,3	—	+

Примечания: 1) С, К, МС, МК — соответственно стеклянные, керамические, металлостеклянные, металлокерамические корпуса; 2) герметичность корпусов 4134.48-1 и 4202.24-1 —  $1 \cdot 10^{-5}$  л·ммк/с, всех остальных —  $5 \cdot 10^{-5}$  л·ммк/с; 3) корпуса герметизируют шовой контактной сваркой, за исключением корпусов 4105.14-3, 4134.48-1, 4202.24-1, герметизируемых пайкой с использованием мягких припоев ПОС-61, ПСр-2,5.

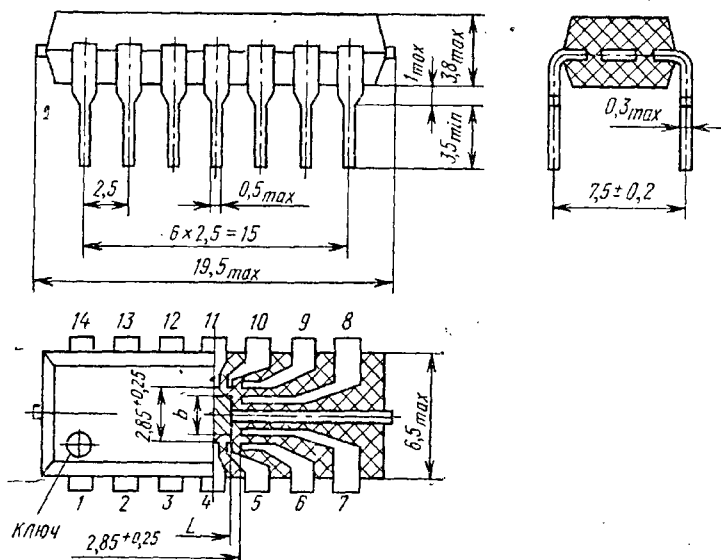


Рис. 5.14. Конструкция пластмассового корпуса 2102(201.14-1)

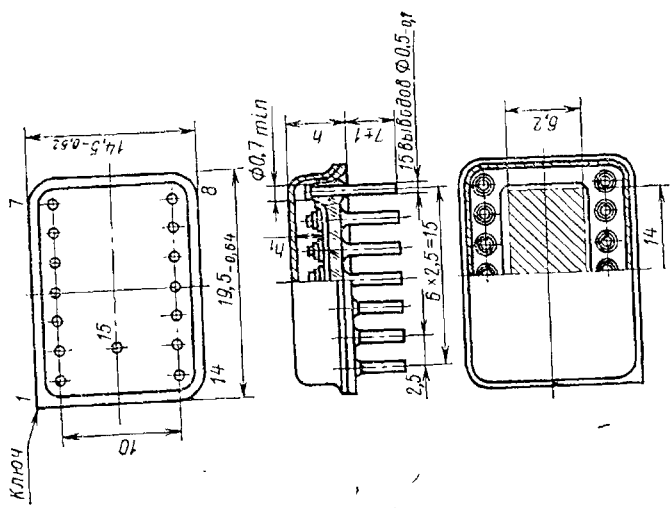


Рис. 5.17. Конструкции металлокляных корпусов 1203 (151.15-4) ( $h_{max} = 5$  мм,  $h_{1min} = 3$  мм); 151.15-5 ( $h_{max} = 4$  мм,  $h_{1min} = 2,05$  мм); 151.15-6 ( $h_{max} = 3,2$  мм,  $h_{1min} = 1,3$  мм)

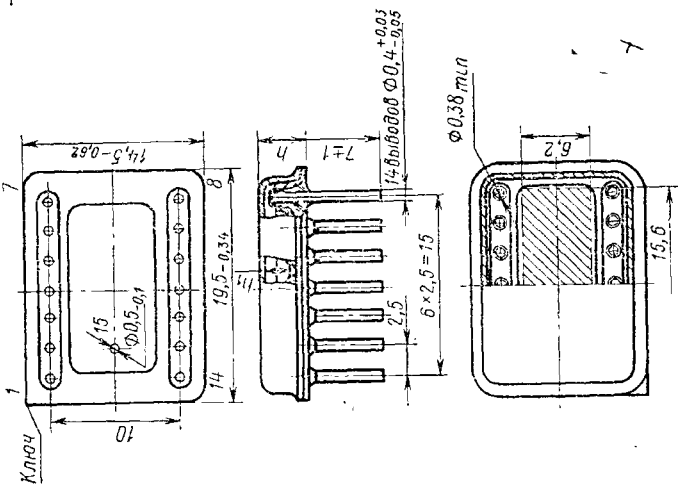


Рис. 5.16. Конструкции металлокляных корпусов 1203 (151.15-2) ( $h_{max} = 4$  мм,  $h_{1min} = 2,6$  мм); 151.15-3 ( $h_{max} = 3,2$  мм,  $h_{1min} = 2,15$  мм)

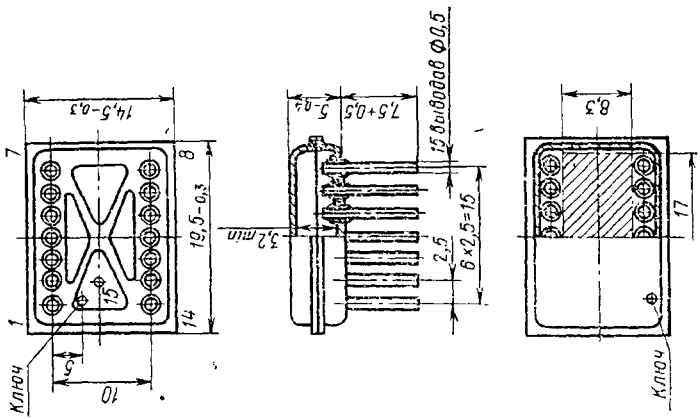


Рис. 5.15. Конструкция металлоклядного корпуса 1203 (151.15-1)

сравнению с частотным пределом той же ИМС, размещенной в другом корпусе. Упрощаются технологические процессы установки и сборки кристаллодержателей в микросборках и на печатных платах, ремонтпригодность аппаратуры за счет упрощения процесса смены (перепайки) микрокорпусов.

Наиболее дешевой и доступной является конструкция пластмассового корпуса (рис. 5.14). Низкая стоимость

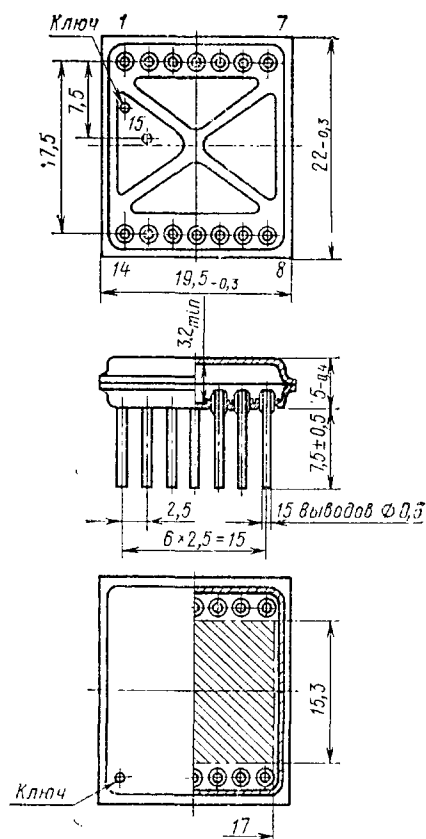


Рис. 5.18. Конструкция металлостеклянного корпуса 1206 (153.15-1)

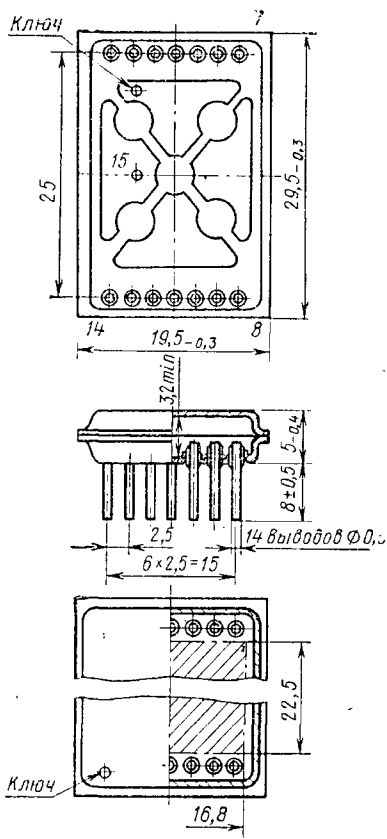


Рис. 5.19. Конструкция металлостеклянного корпуса 1207 (155.15-1)

пластмассового корпуса определяется: дешевизной применяемого материала и технологии изготовления корпуса, в которой операции формирования монолитного корпуса и герметизации ИМС совмещены; возможностью автоматизации сборки с использованием плоских выводов в виде рамок; возможностью осуществления групповой технологии герметизации, например литьевого прессования с помощью многоместных прессформ или метода заливки эпоксидным компаундом в многоместные литьевые формы.

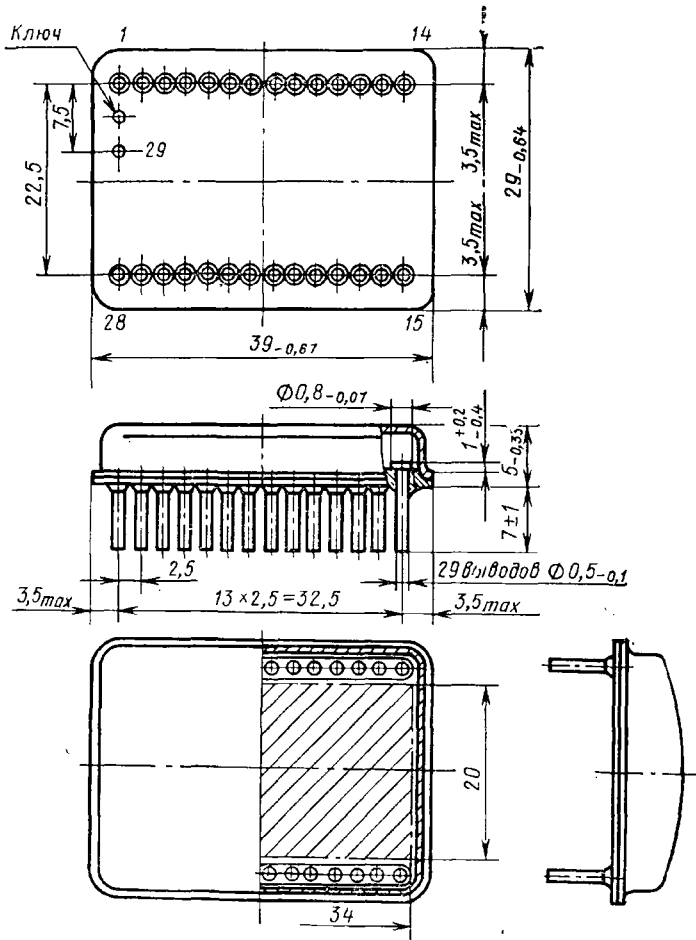


Рис. 5.20. Конструкция металлостеклянного корпуса 1210 (157.29-1)

Защитные свойства пластмассовых корпусов невысоки в связи с тем, что пластмассы обладают низкими влагозащитными свойствами; кроме того, герметичность соединений металла с пластмассой нарушается из-за большой (на порядок!) разницы коэффициентов термического расширения этих материалов. По этой причине применение пластмассовых корпусов разрешено для герметизации ИМС, устанавливаемых в стационарной аппаратуре, работающей в закрытых отапливаемых помещениях.

Для герметизации гибридных ИМС необходимы корпуса с большими размерами монтажных площадок. Конструкции корпусов, представленные на рис. 5.15—5.20, разрешены для применения при разработке ИМС ОСТ 11.0737001--75. Допускается в порядке исключения использовать металлополимерные корпуса, представленные на рис. 5.21—5.23. Технические характеристики этих корпусов приведены в табл. 5.5.

Выбор типа корпуса для ИМС и конструктивно-технологического варианта его исполнения определяется условиями работы аппаратуры, для которой данная ИМС предназначена, и требованиями по сборке, установке и монтажу ИМС на печатных платах.

Выбор типоразмера корпуса определяется размером монтажной площадки для установки полупроводникового кристалла или платы ГИС, высотой ИМС, равной толщине подложки (для ГИС плюс высота самого высокого навесного компонента), и числом выводов ИМС.

Каждый вывод корпуса ИМС имеет свою нумерацию. Нумерация начинается с вывода, расположенного в зоне ключа. Ключ следует располагать в заштрихованной на рис. 5.1—5.5 зоне. В качестве ключа может быть выступ, выемка, углубление или другой конструктивный знак на корпусе, знак или надпись, выполненные маркировкой.

Допускается применять корпусы с большим, чем это необходимо по схеме, числом выводов. При установке ИМС на печатную плату незадействованные выводы удаляют, но нумерацию выводов сохраняют.

**Бескорпусная герметизация.** Начальным этапом герметизации, как бескорпусной, так и с использованием корпусов, часто является

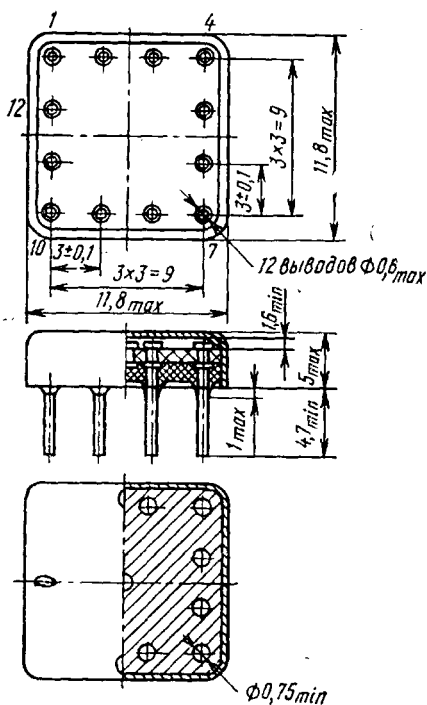


Рис. 5.21. Конструкция металлополимерного корпуса «Тропа»

пассивация поверхности кристалла полупроводниковых ИМС и предварительная защита поверхности гибридных ИМС. Для этого в полупроводниковой технологии используют пленки  $\text{SiO}_2$ , боросиликатного или фосфоросиликатного стекла толщиной около 1 мкм. В МДП-ИМС, где роль поверхности особенно велика, при герметизации в пластмассовые корпуса наряду с этими материалами целе-

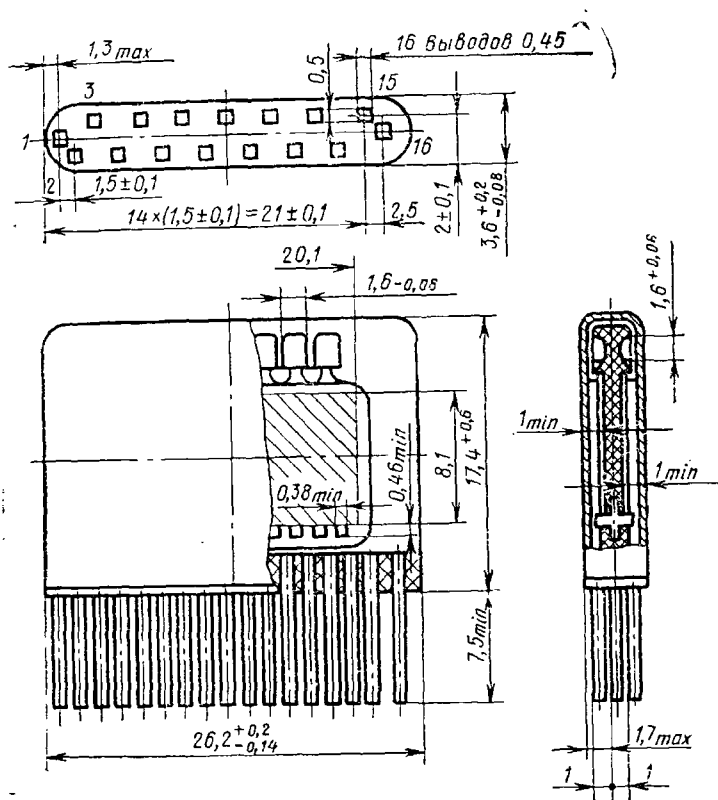


Рис. 5.22. Конструкция металлополимерного корпуса «Пенал»

сообразно применять химически чистые и электрически нейтральные полимерные материалы, например фторопласт-4, который можно нанести в вакууме в тлеющем разряде в виде пленки толщиной 0,2—0,4 мкм. В гибридной технологии для предварительной защиты используют пленки  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}$ ,  $\text{GeO}$ , негативный фоторезист ФН-103 (см. табл. 3.7), для толстопленочных ГИС — стекла. Поверх этих сравнительно тонких слоев электрически и химически инертных материалов при бескорпусной герметизации наносят герметики:

для герметизации полупроводниковых ИМС — кремнийорганиче-



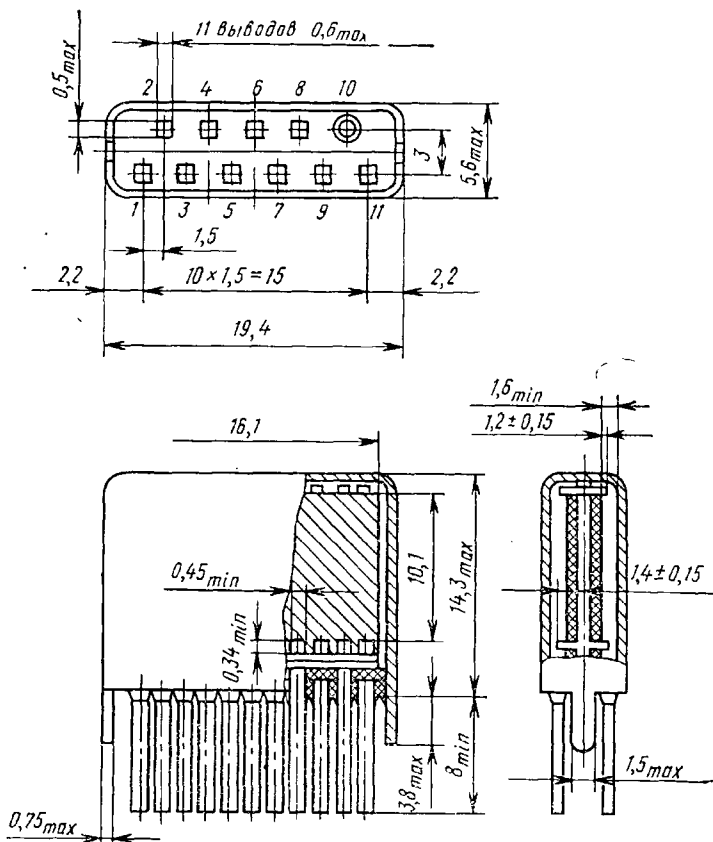


Рис. 5.23. Конструкция металлополимерного корпуса «Акция»

Таблица 5.5  
Конструктивно-технологические характеристики корпусов  
для герметизации гибридных ИМС

Условное обозначение корпуса	Вариант исполнения	Масса, г, не более	Размеры монтажной площадки, мм	Мощность рассеяния при температуре 20°C, Вт	Метод герметизации корпуса
1203(151.14-2,3)	МС	1,6	15,6×6,2	3,2	КС
1203(151.15-1)	МС	2,0	17,0×8,3	1,6	КС, АДС
1203(151.15-2,3)	МС	1,6	15,6×6,2	3,3	АДС
1203(151.15-4,5,6)	МС	2,4	14,0×6,2	3,2	КС
1206(153.15-1)	МС	2,8	17,0×15,3	2,0	АДС
1207(155.15-1)	МС	6,5	16,8×22,5	2,5	КС
1210(157.29-1)	МС	14,0	34,0×20,0	4,6	ЛС
«Тропа»	МП	1,5	8,1×8,1	0,7	ЗК
«Пенал»	МП	2,4	20,1×8,1	0,6	ЗК
«Акция»	МП	1,8	16,1×10,1	0,5	ЗК

Примечания: 1) МС и МП — металлоглазненные и металлополимерные корпуса; 2) для посадки платы в корпус используют клей холодного отверждения; 3) КС, АДС, ЛС, ЗК — конденсаторная, аргодуговая, лазерная сварка и заливка компаундом соответственно.

скую эмаль КО-97, эпоксидсодержащую эмаль ЭП-91, фторсодержащий лак ФП-525, эпоксидный компаунд ЭКМ; эмали и лаки наносят

на одну, рабочую сторону кристалла, компаунд — на обе стороны и на боковые грани; эмали и лаки наносят на кристалл «с иглы» в виде растекающейся по его поверхности капли, компаунд — методом окунания или обволакивания (толщина герметизирующего покрытия 200—400 мкм);

для герметизации тонкопленочных ГИС — лаки ФП-525, УР-231, эмаль ФП-545; их наносят в электростатическом поле распылением из пульверизатора, погружением или поливом;

для герметизации толстопленочных ГИС — компаунды Ф-47, ЭК-91, ПЭП-177, ПЭК-19, наносимые методом обволакивания или вихревого напыления до образования оболочки толщиной 0,2—1,2 мм.

Как правило, бескорпусные ИМС имеют прямоугольную или квадратную форму (рис. 5.24, а, б), что более удобно для оптимального их размещения на подложки или платы в сочетании с другими электрорадиоэлементами.

### § 5.3. Обеспечение тепловых режимов работы ИМС

Конструкция ИМС должна быть такой, чтобы теплота, выделяющаяся при ее функционировании, не приводила в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации к отказам элементов в результате перегрева. К тепловыделяющим элементам следует отнести прежде всего резисторы, активные элементы и компоненты. Мощности, рассеиваемые конденсаторами и индуктивностями, невелики. Пленочная коммутация ИМС благодаря малому электрическому сопротивлению и высокой теплопроводности металлических пленок способствует отводу теплоты от наиболее нагретых элементов и выравниванию температуры платы ГИС или кристаллов полупроводниковых ИМС.

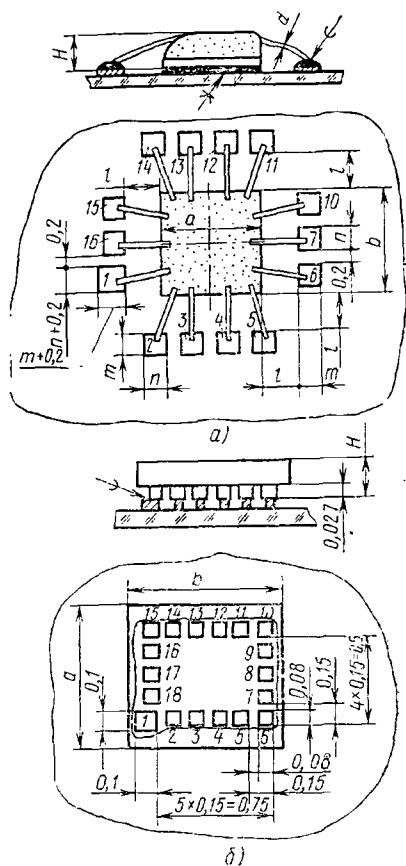


Рис. 5.24. Конструкции бескорпусных полупроводниковых ИМС и способы их установки на плату:

а — ИМС серии БК734 с гибкими выводами; б — ИМС серии БК776 с жесткими выводами

Введем следующие понятия, необходимые для осуществления тепловых расчетов.

*Перегрев элемента или компонента ИМС* ( $\Theta$ , °С), — разность между их температурой и средней температурой поверхности корпуса. *Максимально допустимая температура*  $T_{\text{max доп}}$  — максимальная температура элемента или компонента ИМС, при которой обеспечиваются требования к их надежности. *Удельная мощность рассеяния* ( $P_0$ , Вт/°С) — плотность теплового потока от элемента ИМС, кристалла или платы ИМС. *Внутреннее тепловое сопротивление* элемента, кристалла или компонента ИМС ( $R_{T \text{ ин}}$ , °С/Вт) — тепловое сопротивление самого элемента (кристалла, компонента) и тепловое сопротивление контакта между элементом (компонентом) и платой (кристаллом и корпусом) с учетом теплового сопротивления клеевой прослойки.

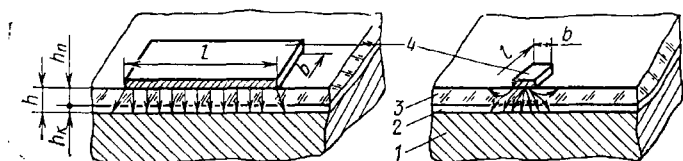


Рис. 5.25. Тепловой поток от источника теплоты при различных соотношениях между размерами тепловыделяющих элементов и толщиной подложки:

1 — теплоотвод; 2 — слой клея или компаунда; 3 — подложка; 4 — тепловыделяющий элемент

В случае, когда весь тепловой поток сосредоточен под элементом ИМС и направлен к подложке (рис. 5.25), при соотношении  $l, b \gg h$  тепловой поток плоскопараллелен и тепловое сопротивление

$$R_T = \left( \frac{h_n}{\lambda_n} + \frac{h_k}{\lambda_k} \right) \frac{1}{bl}, \quad (5.1)$$

где  $R_T$  — тепловое сопротивление;  $\lambda_n$  и  $\lambda_k$  — коэффициенты теплопроводности материала подложки и клея, Вт/(м·°С);  $h_n$  и  $h_k$  — их толщины;  $b$  и  $l$  — размеры контакта тепловыделяющего элемента с подложкой;  $h = h_n + h_k$ .

При уменьшении размеров источника тепла тепловой поток становится расходящимся (рис. 5.25), эффективность теплоотвода увеличивается и соответственно уменьшается тепловое сопротивление. Этот факт учитывается функцией  $\gamma(q, r)$ :

$$R_{T \text{ эфф}} = R_T \gamma(q, r), \quad (5.2)$$

где  $q = l/2h$ ,  $r = b/2h$ ,  $l$  и  $b$  — линейные размеры плоского источника теплоты.

Для корпусов, представленных на рис. 5.6—5.13, 5.15—5.20, значения функции  $\gamma(q, r)$  даны на рис. 5.26.

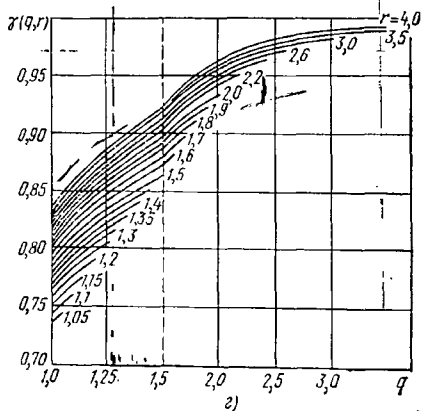
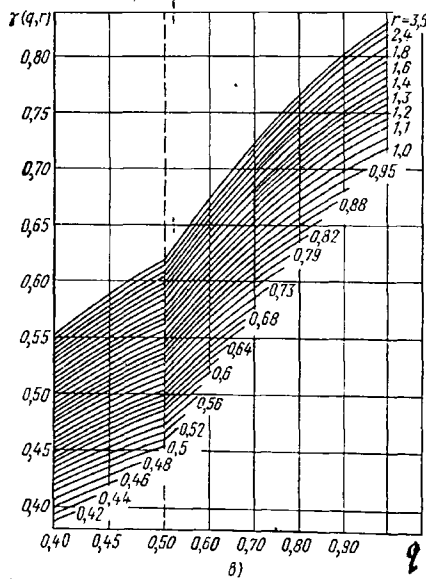
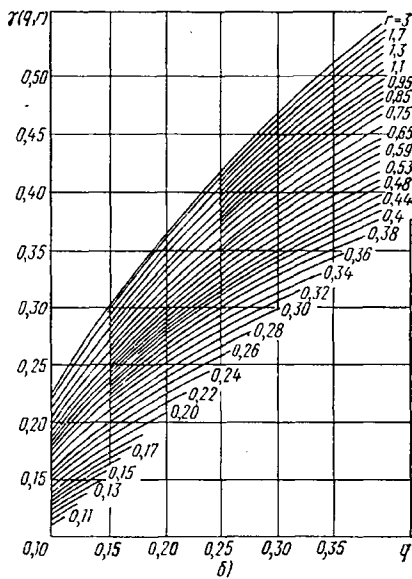
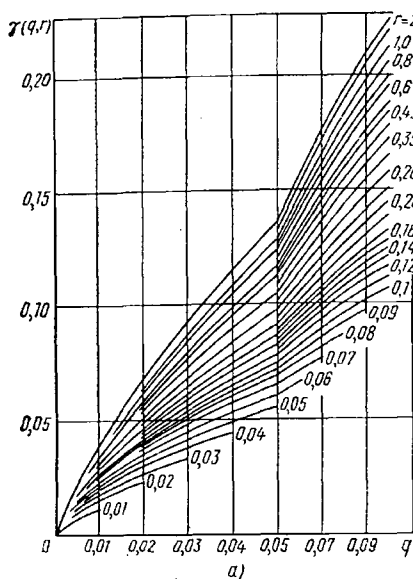


Рис. 5.26. Значения функции  $\gamma(q, r)$ :  
 а — при  $q=0+0,1$ ; б — при  $q=0,1+0,4$   
 в — при  $q=0,4+1,0$ ; г — при  $q=1,0+4,0$

Зная значения  $R_T$  или  $R_{T\text{эфф}}$  для каждого элемента ИМС, легко рассчитать перегрев элементов за счет рассеиваемой мощности  $P_{\Sigma}$ :

$$\Theta_{\Sigma} = P_{\Sigma} R_{T\text{эфф}}. \quad (5.3)$$

Температура элемента

$$T_{\Sigma} = T_{\kappa} + \Theta_{\Sigma}, \quad T_{\Sigma} = T_c + \Theta_{\kappa} + \Theta_{\Sigma}, \quad (5.4)$$

где  $T_c$  — температура окружающей среды;  $\Theta_{\kappa}$  — перегрев корпуса относительно температуры окружающей среды.

В навесных дискретных компонентах наиболее чувствительны к перегреву области  $p$ - $n$ -переходов. Их перегрев относительно подложки определяется выражением

$$\Theta_{\text{вн}} = R_{T\text{вн}} P_{\Sigma}. \quad (5.5)$$

Для навесного полупроводникового компонента

$$T_{\text{нк}} = T_c + \Theta_{\kappa} + \Theta_{\Sigma} + \Theta_{\text{вн}}. \quad (5.6)$$

Перегрев корпусов  $\Theta_{\kappa}$  определяется конструкцией корпуса и мощностью рассеяния помещенных в него кристалла или платы ИМС, особенностями монтажа ИМС в составе микросэлектронного узла или блока, способом охлаждения. Тепловое сопротивление корпуса

$$R_{\kappa} = 1/(\alpha S_T), \quad (5.7)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $S_T$  — площадь теплового контакта корпуса с теплоотводом.

При охлаждении путем естественной конвекции  $\alpha = 5 \div 20$ , при обдуве  $\alpha = 20 \div 100$ , при теплоотводе кондукцией через тонкий (0,1 мм) воздушный промежуток  $\alpha \approx 3 \cdot 10^2$ , при теплоотводе кондукцией через слой эпоксидного клея толщиной 0,1 мм  $\alpha = 3 \cdot 10^2 \div 3 \cdot 10^3$ , при металлическом теплоотводе  $\alpha = 10^4 \div 10^5$ .

Перегрев корпуса  $\Theta_{\kappa}$  можно оценить по формуле

$$\Theta_{\kappa} = P_{\Sigma} R_{\kappa}, \quad (5.8)$$

где  $P_{\Sigma}$  — суммарная мощность, рассеиваемая ИМС.

Формула (5.4) не учитывает перегрева за счет взаимного влияния тепловыделяющих элементов, обусловленного наложением тепловых потоков всех источников теплоты, содержащихся в ИМС. Однако этот фоновый перегрев частично учитывается значением  $\Theta_{\kappa}$ .

Приведенные формулы справедливы при следующих допущениях: коэффициенты теплопроводности всех материалов конструкции ИМС в исследуемом диапазоне температур постоянны; теплоотдачей через газовую прослойку внутри корпуса и через гибкие проводочные выводы можно пренебречь; тепловыделяющие элементы являются плоскими источниками теплоты; температура корпуса одинакова во всех его точках (изотермичный корпус).

Нормальный тепловой режим элементов и навесных компонентов ИМС обеспечивается при выполнении условий

$$T_э = T_{с\max} + \theta_k + \theta_э \leq T_{\max\text{ доп}}, \quad (5.9)$$

$$T_{нк} = T_{с\max} + \theta_k + \theta_э + \theta_{рн} \leq T_{\max\text{ доп}}$$

где  $T_{с\max}$  — максимальная температура окружающей среды в процессе эксплуатации, заданная ТУ;  $T_{\max\text{ доп}}$  — максимально допустимая рабочая температура элемента и компонента, обычно оговариваемая в ТУ на компоненты или материалы пленочных элементов.

Для дискретных полупроводниковых приборов и полупроводниковых ИМС  $T_{\max\text{ доп}} \approx 55, 85$  и  $125^\circ\text{C}$  (см. табл. 3.9), для диодов  $85^\circ\text{C}$ , для конденсаторов К10-9, К10-17 ( $80^\circ\text{C}$ ), для конденсаторов К53-15, К53-16  $75^\circ\text{C}$  (см. § 3.4).

Нормальный тепловой режим ИМС обеспечивается, если температура самого теплонагруженного элемента ИМС не превышает его максимально допустимой рабочей температуры.

Таким образом, ориентировочный расчет обеспечения теплового режима ГИС сводится к определению  $T_{нк}$  и  $T_э$  всех навесных компонентов и всех резисторов ГИС и сравнению ее с  $T_{\max\text{ доп}}$ .

Необходимые данные для расчета: толщина подложки 0,6—0,8 мм, коэффициент теплопроводности материала подложки — согласно табл. 3.1, толщина слоя клея 0,1 мм, его коэффициент теплопроводности 0,3 Вт/(м·°С), внутреннее тепловое сопротивление дискретных полупроводниковых приборов в зависимости от конструктивного исполнения  $200—1600^\circ\text{C/Вт}$ . Например, для бескорпусных транзисторов КТ331, КТ332 с заливкой герметиком с одной стороны (согласно рис. 3.6) тепловое сопротивление  $R_T = 220^\circ\text{C/Вт}$ , а с заливкой герметиком с двух сторон  $R_T = 1600^\circ\text{C/Вт}$ , для КТ307  $R_T = 630^\circ\text{C/Вт}$ , для КТ324  $R_T = 860^\circ\text{C/Вт}$ , для диодов КД901, 904, 910, 911 (см. табл. 3.10; 3.11)  $R_T = 220^\circ\text{C/Вт}$ .

При несоблюдении неравенств (5.9) необходимо принимать дополнительные конструктивные меры для обеспечения теплового режима ИМС.

**Пример.** Провести ориентировочный тепловой расчет резисторов и дискретного транзистора фрагмента ГИС, изображенного на рис. 5.27, при следующих исходных данных: ГИС размещена на ситалловой подложке СТ-50-1 толщиной 0,6 мм в металлостеклянном корпусе К151.14-2, посаженном с помощью клея (0,1 мм) на теплоотводящую шину;

размеры контакта корпуса с теплоотводом  $15 \times 7$  мм; мощность, выделяемая в корпусе, 0,2 Вт; максимальная температура окружающей среды в процессе эксплуатации ИМС  $50^\circ\text{C}$ . Геометрические размеры элементов и рассеиваемые ими мощности приведены в табл. 5.6.

В таблице расчетные значения  $R_T$  и  $R_{T,эф}$  получены по формулам (5.1) и (5.2),  $\gamma(q, r)$  — по графикам рис. 5.26,  $\theta_э$  — по выражению (5.3).

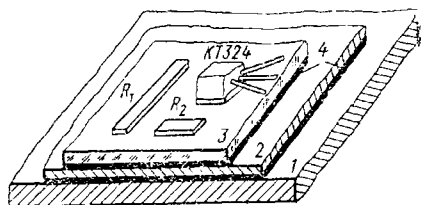


Рис. 5.27. Фрагмент ГИС:

1 — теплоотводящая шина (медь); 2 — обозначение металлостеклянного корпуса (квар); 3 — ситалловая подложка; 4 — слой оксидного клея

Исходные и расчетные значения тепловых параметров для компонентов ГИС

Элемент	Исходные значения			Расчетные значения					
	$l, \text{м} \times 10^{-3}$	$b, \text{м} \times 10^{-3}$	$P_p, \text{Вт} \times 10^{-3}$	$q = l/2h$	$r = b/2h$	$T(q, r)$	$R_T$	$R_T \text{ эфф}$	$\theta_s$
КТ324	0,7	0,7	15	0,5	0,5	0,45	$1,55 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$	10,5
$R_1$	5	0,5	25	3,6	0,36	0,53	$0,3 \cdot 10^3$	$0,16 \cdot 10^3$	4,0
$R_2$	2	0,6	60	1,4	0,43	0,54	$0,63 \cdot 10^3$	$0,34 \cdot 10^3$	20,4

Внутренний перегрев области  $p$ - $n$ -перехода транзистора КТ324 [см. формулу (5.5)]

$$\theta_{\text{вн}} = 860 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 17,5^\circ\text{C}.$$

Оцениваем перегрев корпуса по соотношениям (5.7) и (5.8):

$$\theta_{\text{к}} = 0,2 / (300 \cdot 15 \cdot 7 \cdot 10^{-6}) = 6,3^\circ\text{C}$$

Принимаем максимально допустимую рабочую температуру резисторов  $125^\circ\text{C}$ , транзистора КТ324 равной  $85^\circ\text{C}$  (см. § 3.4).

Проводим оценки рабочих температур и сравнение с максимально допустимой температурой:

$$T_{R_1} = 50 + 6,3 + 4,0 \approx 60^\circ\text{C} < 125^\circ\text{C},$$

$$T_{R_2} = 50 + 6,3 + 20,4 \approx 77^\circ\text{C} < 125^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{КТ324}} = 50 + 6,3 + 10,5 + 17,5 \approx 84,3^\circ\text{C} < 85^\circ\text{C}.$$

Таким образом, наиболее теплонагруженным из рассматриваемых радиоэлементов является транзистор, его рабочая температура в самых неблагоприятных условиях лишь немного меньше предельно допустимой.

В рамках допущений ориентировочного расчета можно сделать вывод, что для данной ИМС температура внешней среды  $50^\circ\text{C}$  является предельно допустимой.

В том случае, если тепловой расчет покажет необходимость принятия конструктивных мер для снижения перегревов элементов и компонентов ИМС, в первую очередь уменьшают тепловые сопротивления за счет использования материалов с более высокими коэффициентами теплопроводности: поликорковых подложек вместо ситалловых, компаундов с наполнителями в виде пылевидных кварца или кремния, увеличивающих коэффициент теплопроводности компаундов до  $0,5$ — $0,8$  и до  $1,9$ — $2,4$  Вт/(м·°С), вместо клеев с коэффициентами, равными  $0,2$ — $0,4$ . Следующим шагом для облегчения тепловых нагрузок ИМС является перемещение мощных тепло выделяющих элементов с платы на металлическое основание корпуса. Результатом такого изменения конструкции ИМС является исключение теплового сопротивления подложки и слоя компаунда в цепи передачи теплоты мощных элементов. Дальнейшее снижение

тепловых нагрузок связано с мерами по обеспечению более интенсивного теплообмена корпуса ИМС с элементами конструкции узла или блока, вплоть до применения жидкостного охлаждения теплоотводов и термоэлектрических холодильников.

Особенность теплового расчета полупроводниковых ИМС заключается в том, что полупроводниковый кристалл можно рассматривать как единственный тепловыделяющий элемент и считать, что суммарная мощность источников теплоты в нем равномерно распределена в приповерхностном слое. Эта особенность вызвана в первую очередь высоким коэффициентом теплопроводности кремния [80—130 Вт/(м·°С)], малыми размерами элементов и небольшими расстояниями между элементами полупроводниковой ИМС. Экспериментально установлено, что разброс температур на поверхности кристалла невелик (единицы или доли градуса).

Температура элементов полупроводниковой ИМС

$$T_{\text{э}} = T_{\text{с}} + \Theta_{\text{к}} + \Theta_{\text{кр}} + \Theta_{\text{ин}}. \quad (5.10)$$

Условие обеспечения нормальных тепловых режимов записывается в виде

$$T_{\text{э}} = T_{\text{сmax}} + \Theta_{\text{к}} + \Theta_{\text{кр}} + \Theta_{\text{ин}} \leq T_{\text{max доп}}, \quad (5.11)$$

где  $\Theta_{\text{кр}}$  — перегрев кристалла относительно подложки или основания корпуса.

**Пример.** Оценить рабочую температуру элементов полупроводниковой ИМС, потребляющей мощность 0,2 Вт, размещенной в металлостеклянном круглом корпусе с использованием эвтектического сплава. Диаметр основания корпуса 15 мм. Условия эксплуатации:  $T_{\text{сmax}} = 125^\circ\text{C}$ , охлаждение корпуса осуществляется кондукцией через тонкий воздушный промежуток.

При установке кристалла непосредственно на основании металлостеклянного корпуса эвтектической пайкой  $h_{\text{д}} = 0$ ,  $h_{\text{к}} = 0$ , согласно (5.1)  $R_{\text{T}} = 0$ ,  $\Theta_{\text{кр}} = 0$  и согласно (5.7) и (5.8)

$$\Theta_{\text{к}} = 0,2 / (3 \cdot 10^2 \cdot 3,14 \cdot 7,5^2 \cdot 10^{-6}) = 3,7^\circ\text{C},$$

$$\Theta_{\text{вн}} = R_{\text{Tвн}} P = h_{\text{кр}} P / \lambda_{\text{кр}} = (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2) / 80 = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \approx 0,$$

$$T_{\text{э}} = 125 + 3,7 \approx 129^\circ\text{C} < 150^\circ\text{C}.$$

Можно оценить максимальную мощность, которую мог бы потреблять кристалл ИМС в данных условиях, сохраняя свою работоспособность:

$$T_{\text{max доп}} - T_{\text{сmax}} = \Theta_{\text{к}} = P_{\text{max}} / (3 \cdot 10^2 \cdot 3,14 \cdot 7,5^2 \cdot 10^{-6}).$$

Поскольку  $\Theta_{\text{кр}} = 0$ ,  $\Theta_{\text{вн}} \approx 0$ ,

$$P_{\text{max}} = (150 - 125) \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 3,14 \cdot 7,5^2 \cdot 10^{-6} \approx 1,3 \text{ Вт}.$$

## § 5.4. Обеспечение влагозащиты ИМС

Общая характеристика окружающей среды и влагостойкости герметизирующих материалов. Необходимость влагозащиты ИМС возникает при использовании герметизирующих конструкций, изготовленных с применением органических полимерных материалов (см. рис. 5.14, 5.21—5.23). В отличие от неорганических эти мате-



риалы обладают повышенными значениями влагопоглощения и влагопроницаемости.

Окружающий воздух практически всегда представляет собой паровоздушную смесь. Содержание паров воды в воздухе при различных температурах определяется из рис. 5.28.

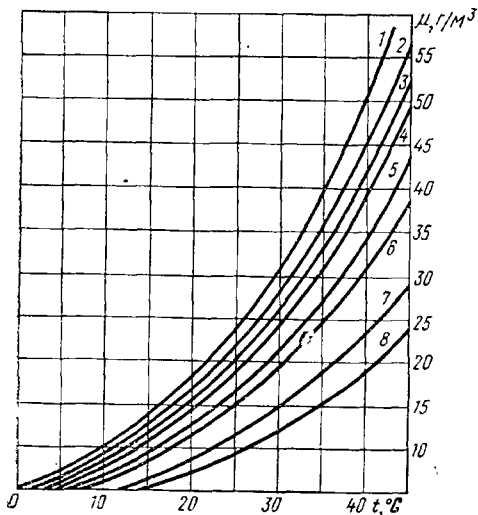


Рис. 5.28. Содержание паров воды в воздухе при различных температурах и относительной влажности (1 — 100%; 2 — 90%; 3 — 85%; 4 — 80%; 5 — 70%; 6 — 65%; 7 — 50%; 8 — 40%)

Количество поглощенной герметизирующей конструкцией из воздуха влаги  $M$  увеличивается с повышением парциального давления паров воды  $p_{H_2O}$  (закон Генри):

$$M = \Gamma p_{H_2O}, \quad (5.12)$$

где  $\Gamma$  — коэффициент растворимости.

Коэффициент  $\Gamma$  ( $с^2/м^2$ ) определяет количество влаги, которое способен поглотить материал в данных климатических условиях. Скорость процесса поглощения влаги материалом определяется коэффициентом диффузии молекул воды  $D$  ( $м^2/с$ ) в материале. Коэффициент влагопроницаемости  $B$  ( $с$ ) характеризует способность материала пропускать влагу и определяется количеством воды, прошедшей через мембрану из

этого материала при наличии разности давлений паров воды по обе стороны мембраны. Коэффициент  $B$  отражает процесс выравнивания концентраций влаги в двух объемах, разделенных мембраной из испытуемого материала и имеющих в начальный момент различные концентрации влаги.

Коэффициенты  $B$ ,  $D$  и  $\Gamma$  связаны между собой соотношением

$$B = D\Gamma. \quad (5.13)$$

Значения коэффициентов  $B$ ,  $D$  и  $\Gamma$  различных герметизирующих полимерных материалов приведены в табл. 5.7.

Зная значения влажностных коэффициентов, можно расчетным путем оценить влагозащитные свойства материалов и герметизирующих конструкций на их основе.

**Исходные данные для обеспечения влагозащиты ИМС.** Исходные данные для расчета влагозащиты микросхем:  $T_c$  — температура окружающей среды, К;  $\varphi$  — относительная влажность окружающей среды, %;  $p_0$  — парциальное давление паров воды окружающей среды, Па;  $p_{кр}$  — критическое давление паров воды, приводящее к откату ИМС, Па;  $S$  — площадь герметизирующей оболочки, через которую влага диффундирует в корпус,  $м^2$ ;  $d$  — толщина герметизи-

Таблица 5.7

## Значения влажностных коэффициентов различных герметизирующих полимерных материалов

Материал	Влажностные коэффициенты			Назначение материала
	$\beta, \text{с}$	$D, \text{м}^2/\text{с}$	$\Gamma, \text{с}^2/\text{м}^2$	
Фторопласт-4	$1 \cdot 10^{-16}$	$8,34 \cdot 10^{-13}$	$12,0 \cdot 10^{-5}$	Полый пластмассовый корпус То же Герметизация заливкой, рис. 5.21—5.23 Герметизация заливкой Бескорпусная и корпусная герметизация полупроводниковых ИМС, рис. 5.24, а Корпусная герметизация, рис. 5.14 То же Бескорпусная герметизация толсто-пленочных ГИС вихревым напылением Герметизация толсто-пленочных ГИС обволакиванием То же Герметизация заливкой, рис. 5.21—5.23 Бескорпусная герметизация полупроводниковых ИМС, рис. 5.24, а То же Бескорпусная герметизация тонкопленочных ГИС То же Герметизация корпусов клеевым швом То же
Полиэтилен	$6,27 \cdot 10^{-16}$	$6,4 \cdot 10^{-13}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	
Полистирол	$4,22 \cdot 10^{-15}$	$3,32 \cdot 10^{-11}$	$12,6 \cdot 10^{-5}$	
Пластмасса	$1,66 \cdot 10^{-16}$	$8,34 \cdot 10^{-14}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	
К-124-38				
Пластмасса	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$3,06 \cdot 10^{-13}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	
В4-70				
Компаунд	$2,08 \cdot 10^{-16}$	$6,4 \cdot 10^{-13}$	$3,25 \cdot 10^{-4}$	
ЭК-16 «Б»				
Кремнийорганический эластомер	$8,2 \cdot 10^{-15}$	$8,2 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	
Компаунд ЭКМ	$4,1 \cdot 10^{-16}$	$7,1 \cdot 10^{-13}$	$5,77 \cdot 10^{-4}$	
Прессматериал	$1,83 \cdot 10^{-16}$	$6,1 \cdot 10^{-13}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	
ЭФП-63				
Прессматериал	$3,5 \cdot 10^{-16}$	$8,0 \cdot 10^{-13}$	$4,37 \cdot 10^{-4}$	
К-81-39с				
Порошковый компаунд ПЭП-177	$8,0 \cdot 10^{-16}$	$1,14 \cdot 10^{-12}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	
Тиксотропный компаунд Ф-47	$8,5 \cdot 10^{-16}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	
Тиксотропный компаунд ЭК-91	$6,0 \cdot 10^{-16}$	$3,0 \cdot 10^{-12}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	
Таблетлируемый компаунд ПЭК-19	$7,8 \cdot 10^{-16}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	
Эмаль ЭП-91	$7,0 \cdot 10^{-16}$	$1,08 \cdot 10^{-12}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	
Эмаль КО-97	$8,2 \cdot 10^{-16}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	$7,45 \cdot 10^{-4}$	
Лак УР-231	$5,2 \cdot 10^{-16}$	$3,5 \cdot 10^{-12}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$	
Лак ФП-525	$4,5 \cdot 10^{-16}$	$1,18 \cdot 10^{-12}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	
Клей ВК-3	$2,9 \cdot 10^{-16}$	$8,0 \cdot 10^{-13}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	
Клей ВК-9	$3,3 \cdot 10^{-16}$	$6,5 \cdot 10^{-13}$	$5,63 \cdot 10^{-4}$	

рующей оболочки, м;  $V$  — внутренний объем корпуса, в котором происходит растворение влаги, м<sup>3</sup>;  $B$  — коэффициент влагопроницаемости герметизирующей оболочки, с;  $D$  — коэффициент диффузии молекул влаги в герметизирующей оболочке, м<sup>2</sup>/с,  $\Gamma$  — коэффициент растворимости влаги в материале, окружающем ИМС, с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Рассчитывают время влагозащиты ИМС  $\tau$ , с, в течение которого обеспечивается безотказная работа ИМС. Влагостойкость ИМС оценивают из расчета влияния влаги на самый чувствительный к ее воздействию элемент или компонент ИМС.

**Влагостойкость полых корпусов.** Корпусы, имеющие свободный внутренний объем, называются полыми. Влагозащита таких корпусов оценивается временем  $\tau$ , в течение которого давление паров воды внутри корпуса достигает критического значения  $p_{кр}$ , при котором наступает отказ ИМС:

$$\tau = \tau_0 + \tau_1, \quad (5.14)$$

где  $\tau_0$  — время увлажнения материала оболочки;  $\tau_1$  — время натекания влаги во внутренний объем корпуса.

Значение  $\tau_0$  зависит от толщины оболочки  $d$  и коэффициента диффузии  $D$  молекул воды в материале оболочки:

$$\tau_0 = d^2 / (6D). \quad (5.15)$$

Формула предполагает, что насыщение материала влагой осуществляется только путем молекулярной диффузии в оболочку корпуса. Обычно  $\tau_0$  следует учитывать при толщине оболочки корпуса  $d > 0,1$  мм.

Время натекания влаги

$$\tau_1 = \frac{V\Gamma d}{BS} \ln \left( \frac{p_0}{p_0 - p_{кр}} \right). \quad (5.16)$$

Тогда время  $\tau$  составит

$$\tau = \frac{V\Gamma d}{BS} \ln \left( \frac{p_0}{p_0 - p_{кр}} \right) + \frac{d^2}{6D}. \quad (5.17)$$

В большинстве случаев внутри полых корпусов находится воздух, который обладает определенной влажностью. Если в начальный момент времени в корпусе ИМС имеется влага с парциальным давлением  $p_n$ , то  $\tau$  уменьшается:

$$\tau = \frac{V\Gamma d}{BS} \ln \left[ \frac{p_0(p_{кр} - p_n)}{(p_0 - p_{кр})(p_0 - p_n)} \right] + \frac{d^2}{6D}. \quad (5.18)$$

В формулах (5.16) — (5.18)  $\Gamma$  — коэффициент растворимости влаги в воздухе, равный  $7,4 \cdot 10^{-6}$  с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Если для герметизации ИМС выбран стандартный пластмассовый или металлополимерный корпус, то время влагозащиты рассчитывают, исходя из влажности внешней среды в условиях хранения и эксплуатации ИМС и давления  $p_{кр}$ . В зависимости от чувствительности к влаге элементов ИМС значение  $p_{кр}$  можно принять

равным  $0,85-0,95 p_0$ , так как при этих значениях  $p_{кр}$  влага приводит к внезапному или к постепенному отказу ИМС.

**Пример.** Определить время влагозащиты ИМС в металлополимерном корпусе при  $T=293\text{ К}$ ,  $V=2 \cdot 10^{-7}\text{ м}^3$ ,  $d=3 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ,  $S=5,3 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ . Использовать аэрозольный компаунд ЭК-16 «Б».

Определяем время насыщения влагой компаунда по (5.15):

$$\tau_0 = \frac{(3 \cdot 10^{-3})^2}{6,6,4 \cdot 10^{-13}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ с} \approx 26 \text{ сут.}$$

Полагая, что в начальный момент влага внутри корпуса отсутствует, находим время накопления влаги внутри корпуса до давления паров  $p_{кр}$  по (5.16), используя данные табл. 5.6:

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 7,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,08 \cdot 10^{-16}} \ln \left( \frac{1}{1 - 0,95} \right) = 12,1 \cdot 10^6 \approx 140 \text{ сут.}$$

Общее время влагозащиты

$$\tau = 26 + 140 = 166 \text{ сут.}$$

Если внутри корпуса содержится некоторое количество влаги, например  $p_n=0,5p_0$ , и по-прежнему  $p_{кр}=0,95p_0$ , то время диффузионного натекания влаги

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 7,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,08 \cdot 10^{-16}} \ln \frac{1(0,95 - 0,5)}{(1 - 0,95)(1 - 0,5)} = 11,65 \cdot 10^6 \text{ с} \approx 135 \text{ сут.}$$

Общее время влагозащиты

$$\tau = 26 + 135 = 161 \text{ сут.}$$

При заполнении внутреннего объема корпуса кремнийорганическим эластомером, имеющим коэффициент  $\Gamma=1 \cdot 10^{-3}\text{ с}^2/\text{м}^2$ , при  $p_{кр}=0,85p_0$  время натекания влаги

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,08 \cdot 10^{-6}} \ln \left( \frac{1}{1 - 0,85} \right) = 10,2 \cdot 10^8 \text{ с} \approx 1180 \text{ сут} \approx 32,3 \text{ года.}$$

При  $p_n=0,5p_0$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2,08 \cdot 10^{-6}} \ln \frac{1(0,85 - 0,5)}{(1 - 0,85)(1 - 0,5)} = \\ &= 8,35 \cdot 10^8 \text{ с} \approx 9700 \text{ сут} \approx 24,5 \text{ года.} \end{aligned}$$

Приведенные расчеты предполагают отсутствие пор, трещин в герметизирующем материале и других путей ускоренного поступления влаги в корпус. Путем ускоренной диффузии влаги может произойти поверхностная диффузия по границе раздела выводов с герметизирующим покрытием, что уменьшает время  $\tau$ .

С другой стороны, расчет не учитывает явлений адсорбции влаги на внутренних стенках полового корпуса, которые должны повысить  $\tau$ . Тем не менее в приведенном примере герметизация с использованием эластомера удовлетворяет ТУ на срок хранения ИМС.

**Влагостойкость монолитных корпусов.** Потеря работоспособности ИМС, герметизированных в монолитные корпуса (см. рис. 5.14), вызывается поглощением герметизирующим материалом влаги и увлажнением поверхности ИМС. При достижении критической концентрации, соответствующей критическому давлению  $p_{кр}$  паров воды, наступает отказ ИМС. Время, в течение которого на поверхно-

сти ИМС достигается критическая концентрация влаги, определяют из выражения

$$\tau = - \frac{4d^2}{\pi^2 D} \ln \left[ \frac{\pi^2}{8} \left( 1 - \frac{p_{кр}}{p_0} \right) \right]. \quad (5.19)$$

Как видно, оно определяется толщиной герметизирующего материала, коэффициентом диффузии молекул воды в нем и отношением  $p_{кр}/p_0$ . Формула (5.19) предполагает, что с поверхностью ИМС полимер имеет слабую адгезию.

**Пример.** Определить минимальную толщину монолитного пластмассового корпуса, обеспечивающего безотказную работу ИМС в течение 30 сут при  $p_{кр} = 0,9p_0$ . Материал корпуса — пресспорошок ЭФП-63.

Из (5.19) и табл. 5.6 находим

$$d = \sqrt{\frac{3,142 \cdot 30 \cdot 2,4 \cdot 3600 \cdot 6,1 \cdot 10^{-13}}{4 \ln[3,142/8(1-0,9)]}} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,36 \text{ мм}.$$

Герметизирующая оболочка такой толщины обеспечивает требуемую влагозащиту при отсутствии в ней дефектов.

## Глава 6

### АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИМС

#### § 6.1. Специализированная система автоматического проектирования топологии ИМС

Разработка топологии современной ИМС является сложным и трудоемким процессом. Конечный результат часто зависит от интуиции и опыта разработчика, которому приходится создавать и анализировать многие варианты топологии для выбора окончательного решения. В этом окончательном варианте должны быть учтены в соответствии с ТЗ одновременно схемотехнические требования, конструктивные и технологические ограничения, которые часто противоречат друг другу. Конструктору приходится проводить многократные проверки разработанной технической документации. Использование программно-управляемого оборудования в производстве ИМС (например, фотонаборных установок для изготовления фотошаблонов) требует подготовки больших массивов информации, так как даже в одном слое современной БИС содержится до 50 тыс. координат точек. Без средств вычислительной техники выполнить весь объем работ затруднительно, а в ряде случаев и невозможно. С другой стороны, труд разработчика, как и всякий творческий процесс, трудно поддается формализованному описанию и требует очень сложного программного обеспечения. Это в свою очередь вызывает необходимость использования вычислительных машин, обладающих большой памятью и быстродействием.

Оптимальным вариантом решения задач конструирования явилось создание систем автоматического проектирования (САПР) с участием разработчика, в которых разработка топологии ИМС ве-

дется в форме «диалога» человека с машиной. Применение САПР во много раз повышает эффективность труда разработчика, позволяет свести к минимуму возможность появления ошибок, а также более полно использовать творческий потенциал разработчика, освобождая его от рутинного труда. В системах автоматического проектирования предусмотрен ввод и вывод информации в форме, удобной для разработчика, не являющегося специалистом в области программирования. Хранение исходной, промежуточной и окончательной информации и выдача ее разработчику производится на любом этапе работы. Система контролирует действие разработчика и оперативно информирует его о допущенных ошибках. Примером такой «диалоговой» системы, предназначенной для автоматизации проектирования гибридных и полупроводниковых ИМС и БИС, является отечественная система «Кулон» (рис. 6.1).

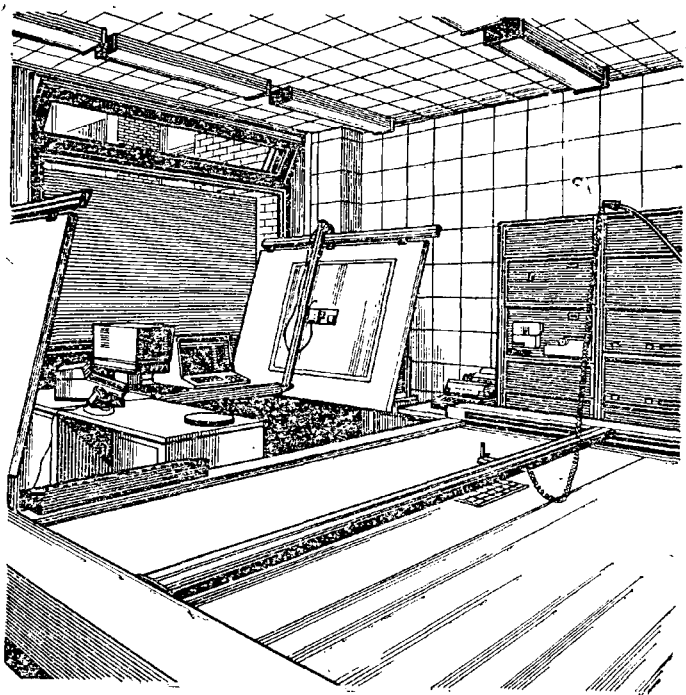


Рис. 6.1. Программно-аппаратный комплекс системы «Кулон»

Система обеспечивает выполнение следующих функций:  
ввод графической информации с топологического чертежа, геометрия элементов которого представляет: прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат; прямоугольник со сторонами, имеющими наклон относительно осей координат; многоугольник со сторонами, параллельными одной из осей координат или образующими угол  $45^\circ$  с осями; описание проводников заданной ширины (трассировка); формирование библиотеки элементов тополо-

гии; отображение вводимого фрагмента топологии на экране графического дисплея;

перемещение, стирание, копирование, повороты и зеркальное отображение фрагментов топологии с помощью графического дисплея;

проверку минимальных расстояний между элементами топологии в одном и в разных слоях;

вывод топологической информации на графопостроитель;

формирование массива координат точек для изготовления фотошаблонов.

Для оперативного ввода и вывода информации служат два поста операторов. Каждый пост имеет в своем составе пульт управления и контроля, символьный и графический дисплеи, устройство управления положением маркера (светового знака) на экране графического дисплея, полуавтомати-

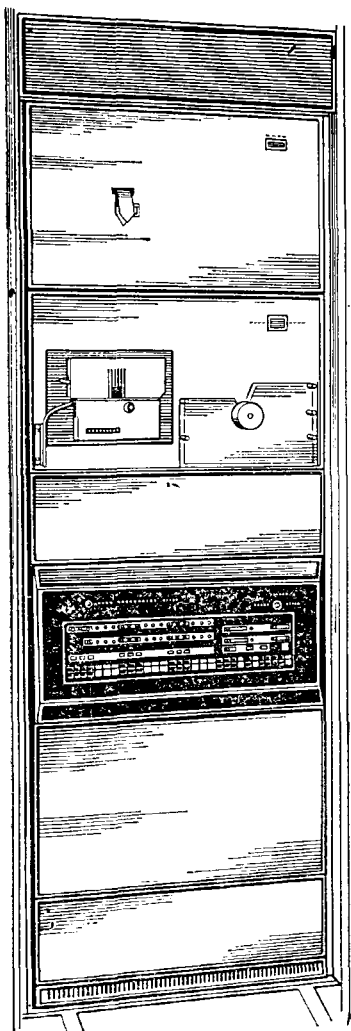


Рис. 6.2. ЭВМ «Электроника 100-25»

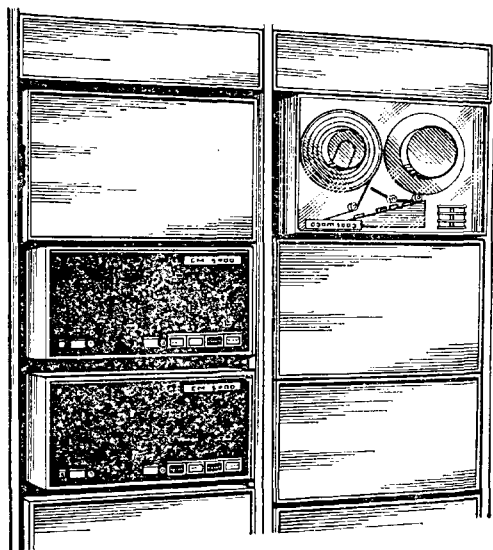


Рис. 6.3. Внешнее запоминающее устройство ЭВМ

ческий кодировщик графической информации. Все эти устройства сопрягаются с ЭВМ «Электроника 100-25» (рис. 6.2) через интерфейсный блок.

Ввод информации в систему может производиться в цифровой

или текстовой форме, а также в виде координат точек с топологического чертежа.

Вывод результирующей графической информации производится с помощью автоматического графопостроителя в виде топологических чертежей слоев ИМС на бумаге. Возможен также вывод результирующей информации в виде массива координат точек заданного слоя топологического чертежа с помощью мозаичного печатающего устройства DZM-180 на языке генератора изображений. Эти данные являются исходными для фотонаборной установки автоматизированного изготовления фотошаблонов слоев ИМС и БИС.

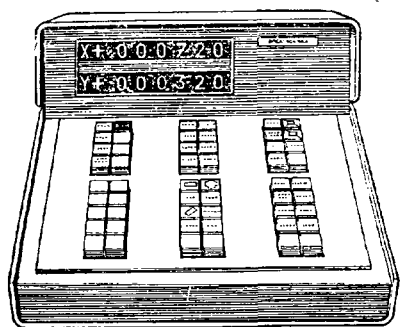


Рис. 6.4. Пульт управления и контроля

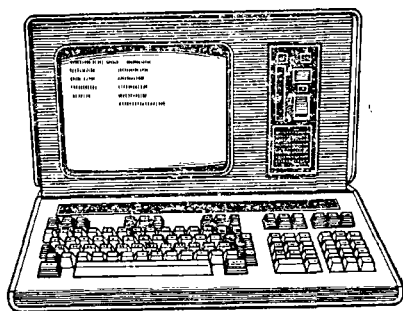


Рис. 6.5. Символьный дисплей

Программно-аппаратные средства системы «Кулон» позволяют одновременно работать двум разработчикам, проектирующим различные ИМС. В течение определенного времени каждый разработчик получает необходимые для проектирования ресурсы системы. Работа строится на приоритетной основе в режиме разделения времени и позволяет обеспечить более полную загрузку системы и повысить эффективность работы ЭВМ.

ЭВМ «Электроника 100-25» (см. рис. 6.2) имеет оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) емкостью 32 К 16-разрядных слов ( $64 \cdot 10^3$  байт данных) и внешнее запоминающее устройство (рис. 6.3), в котором записана и хранится библиотека элементов и фрагментов топологии ИМС. Запись и считывание информации во внешнем запоминающем устройстве (ЗУ) могут производиться с магнитных лент и магнитных дисков.

ЗУ на магнитных лентах представляет собой устройство с последовательным доступом к информации, поэтому время, необходимое для выборки нужной информации, достаточно велико (несколько минут). Преимуществом ЗУ на магнитных лентах является большое количество хранимой информации (емкость ленты  $10^7$  байт) и сравнительно низкая стоимость ленты.

ЗУ на магнитных дисках является устройством с произвольным доступом к информации. Время обращения практически не зависит



от места расположения нужной информации и составляет не более 2 с. Дисковые ЗУ имеют емкость  $2,5 \cdot 10^6$  байт данных.

Для управления работой всей системы служит пульт управления и контроля (рис. 6.4).

Символьный дисплей (рис. 6.5) выполняет в системе роль терминала и используется для ввода и вывода текстовой и цифровой информации, а также специальных знаков. Дисплей имеет внутреннюю память и является автономным устройством, работающим независимо от ЭВМ, связь с которой осуществляется только на время приема и передачи данных.

Графический дисплей (рис. 6.6) служит для наблюдения топологии или ее фрагментов. В графическом дисплее с размером рабочего поля экрана  $162 \times 210$  мм используется электроннолучевая трубка с запоминанием, что позволяет удерживать неподвижным на время до 15 мин четкое изображение элементов топологического чертежа с толщиной линий не более 0,8 мм.

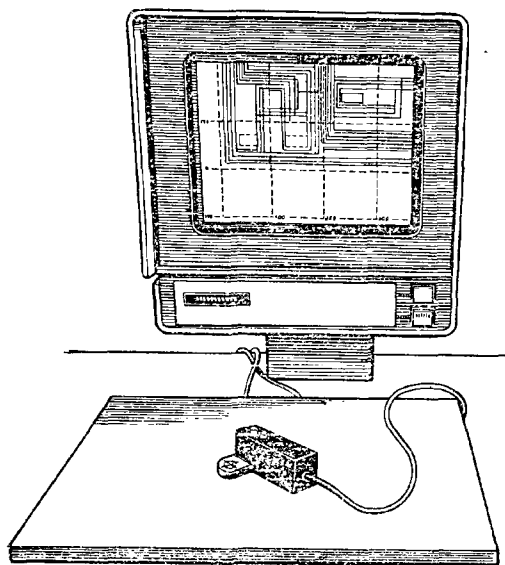


Рис. 6.6. Графический дисплей с устройствами управления положением маркера на экране ЭМ-729

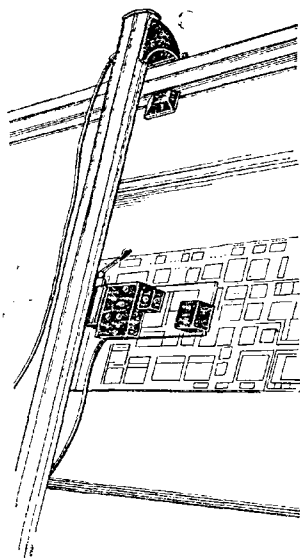


Рис. 6.7. Полуавтоматический кодировщик графической информации ЭМ-719

Получить изображение на экране графического дисплея можно с помощью устройства управления положением маркера, полуавтоматического кодировщика графической информации (рис. 6.7) либо вызвав соответствующий фрагмент топологии из памяти ЭВМ.

Устройство управления положением маркера (см. рис. 6.6) располагается рядом с дисплеем и представляет собой планшет, имитирующий рабочее поле экрана дисплея. По поверхности планшета

разработчик вручную перемещает головку датчика перемещения (курсор) и одновременно наблюдает изображение на экране графического дисплея. Данные о топологии с графического дисплея передаются в ЭВМ.

Ввод графической информации в систему предварительно разработанного «вручную» топологического чертежа производится с помощью кодировщика графической информации (рис. 6.7). Это устройство типа чертежного координатного прибора с размером рабочего поля  $1100 \times 1500$  мм, к поверхности которого прикреплен чертеж, выполненный на бумаге или кальке с прецизионной координатной сеткой с шагом не менее 2 мм. Описание топологии производится путем совмещения перекрестия курсора с характерными точками фигур топологии и фиксации оператором координат этих точек. Так, например, прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат, описывается двумя диагонально расположенными

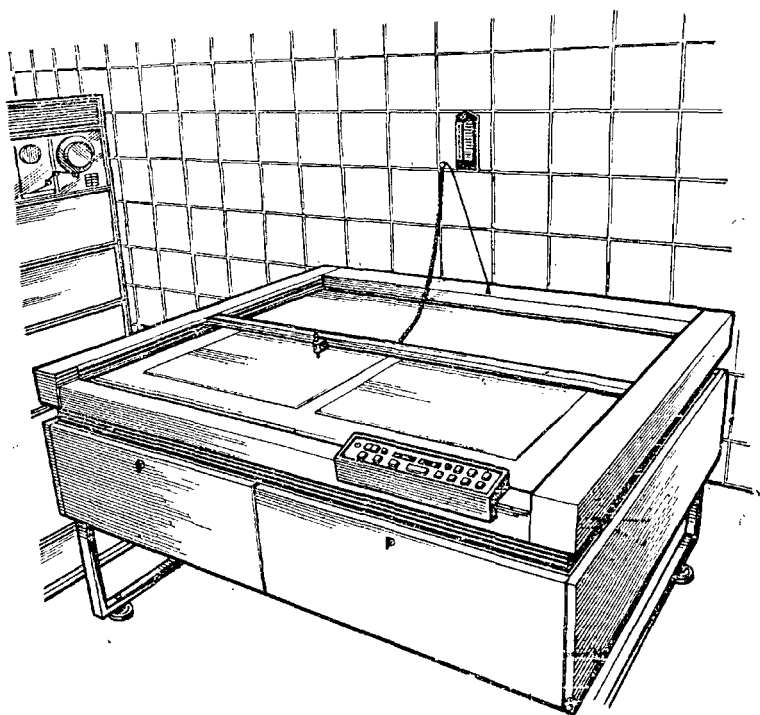


Рис. 6.8. Графопостроитель ЭМ-7022

точками его вершин, прямоугольник со сторонами, имеющими наклон относительно осей координат, — тремя точками и т. д. Погрешность фиксации координат точек не более  $\pm 0,15$  мм.

Координаты характерных точек запоминаются в ЭВМ и одновременно изображение фигур высвечивается на экране графического дисплея для визуального контроля.

Для вывода результирующей графической информации разработанной топологии ИМС на чертежную бумагу или безусловную кальку используется графопостроитель планшетного типа ЭМ-7022 (рис. 6.8) с размерами рабочего поля 1200×1600 мм. По поверхности планшета в двух взаимно перпендикулярных направлениях перемещается каретка с пишущим узлом. Одновременное перемещение каретки в двух взаимно перпендикулярных направлениях позволяет вычерчивать кривые и окружности из отрезков линий под углом 45° с усредненным шагом перемещения не более 0,1 мм и погрешностью установки координат не более  $\pm 0,15$  мм. Управление работой двигателей перемещения каретки с пишущим узлом осуществляется ЭВМ в соответствии с описанием топологии в памяти машины.

## § 6.2. Работа с системой «Кулон»

Разработку топологии ИМС начинают с расчета ее элементов, после чего выделяют отдельные элементы и фрагменты, которые встречаются неоднократно. Как правило, в современной БИС можно выделить 15—20 фрагментов, причем один и тот же фрагмент может иметь несколько конструктивных решений. Каждый фрагмент представляет собой набор фигур (контуров) из отрезков прямых линий, параллельных осям координат или имеющих наклон к ним под углом 45°, и описывается координатами его характерных точек.

Библиотека отдельных элементов и фрагментов, как ранее, так и вновь разработанных, хранится в памяти ЭВМ.

Исходная информация вводится в систему либо с предварительно разработанного «вручную» топологического чертежа, либо в виде изображения топологии или ее фрагментов, которое «рисует» разработчик на экране графического дисплея, обращаясь к библиотеке фрагментов топологии. Связь разработчика с системой осуществляется через терминал (символьный дисплей) пульта оператора. По результатам предварительного размещения и анализа топологии система выдает данные разработчику на ее корректировку, после чего в соответствии с функциональными возможностями производит доработку и контроль топологического чертежа на соответствие принципиальной электрической схеме и конструктивно-технологическим требованиям и ограничениям. Одновременно описание топологии в виде массива координат точек заносится в память ЭВМ. Программное обеспечение системы позволяет получить данные о топологии на любом этапе в удобном для разработчика виде: на экране графического дисплея, в виде чертежа на бумаге или массива координат.

На этапе разработки топологии производится:

создание такого взаимного расположения элементов и компонентов, при котором пересечения проводников отсутствуют или их число минимально;

построение конкретного размещения элементов и компонентов ИМС с учетом корректировки, а также схемотехнических и конструктивно-технологических ограничений;

вычерчивание совмещенного чертежа топологии ИМС, представляющего собой совокупность всех слоев, а также послойных топологических чертежей;

формирование массива координат угловых точек топологии ИМС для изготовления комплекта фотошаблонов.

Конечный результат разработки топологии выдается с графопостроителя в виде совмещенного топологического чертежа всех сло-

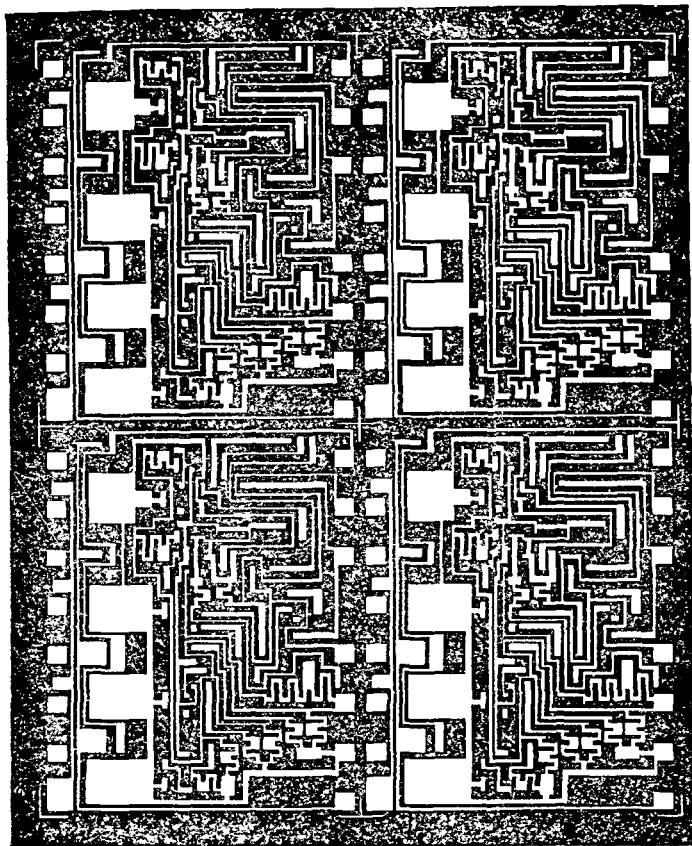


Рис. 6.9. Топология проводящего слоя тонкопленочной ГИС на фотошаблоне, спроектированная с использованием системы «Кулон»

ев ИМС, а при необходимости — и послойных чертежей. Описание топологии в виде массива координат точек отдельных слоев, полученное на перфоленте или в другом виде, используется в фотонаборной установке для изготовления комплекта фотошаблонов.

Пример топологии проводящего слоя ГИС на фотошаблоне, спроектированной с помощью системы «Кулон», приведен на рис. 6.9.

### § 6.3. Использование ЭВМ для расчета элементов ГИС

Один из наиболее трудоемких этапов на начальной стадии разработки ИМС — расчет геометрических размеров резисторов и конденсаторов, количество которых в одной схеме может быть велико. Использование ЭВМ типа ЕС-1020 позволяет значительно сократить время вычислений, а также провести анализ вариантов топологии при использовании различных резистивных или диэлектрических материалов. Приведем программы на языке ФОРТРАН-IV с примерами распечатки результатов расчетов тонко- и толстопленочных резисторов и конденсаторов. Программы тонкопленочных резисторов и конденсаторов составлены по расчетным формулам гл. 3, программы толстопленочных резисторов и конденсаторов — по расчетным формулам гл. 4.

На рис. 6.10—6.13 представлены структурные схемы перечисленных программ.

Для того, чтобы воспользоваться программой расчета тонкопленочных резисторов, приведенной на с. 194, нужно сначала по формуле (3.1) определить оптимальное сопротивление квадрата резистивной пленки, затем по табл. 3.4 выбрать резистивный материал, параметры которого ввести в исходные данные программы. В процессе вычислений по программе определяются топология резисторов, их геометрические размеры и суммарная площадь. Пример распечатки результатов в виде таблицы приведен на с. 197, список идентификаторов, использованных в программе, — на с. 198.

Программа расчета тонкопленочных конденсаторов на с. 200 позволяет проверить правильность выбранного материала диэлектрика, определить топологию, геометрические размеры и суммарную площадь диэлектрика всех конденсаторов. Пример распечатки результатов расчета приведен на с. 201, список идентификаторов, использованных в программе, — на с. 202.

Чтобы воспользоваться программой расчета толстопленочных резисторов, нужно разбить резисторы на группы в соответствии с рекомендациями гл. 4, для каждой группы определить оптимальное удельное сопротивление квадрата резистивной пленки по формуле (4.2), затем выбрать по табл. 4.2 резистивные пасты. Программа на с. 204 позволяет определить правильность выбора паст, топологию, геометрические размеры и суммарную площадь всех резисторов. Там же приведен список идентификаторов, использованных в программе.

Программа расчета толстопленочных конденсаторов составлена таким образом, что не требует предварительного выбора материала диэлектрических паст, а в процессе вычислений выбирается паста, определяется топология, геометрические размеры и суммарная площадь диэлектрика всех конденсаторов. На с. 206 приведен список идентификаторов, использованных в программе.

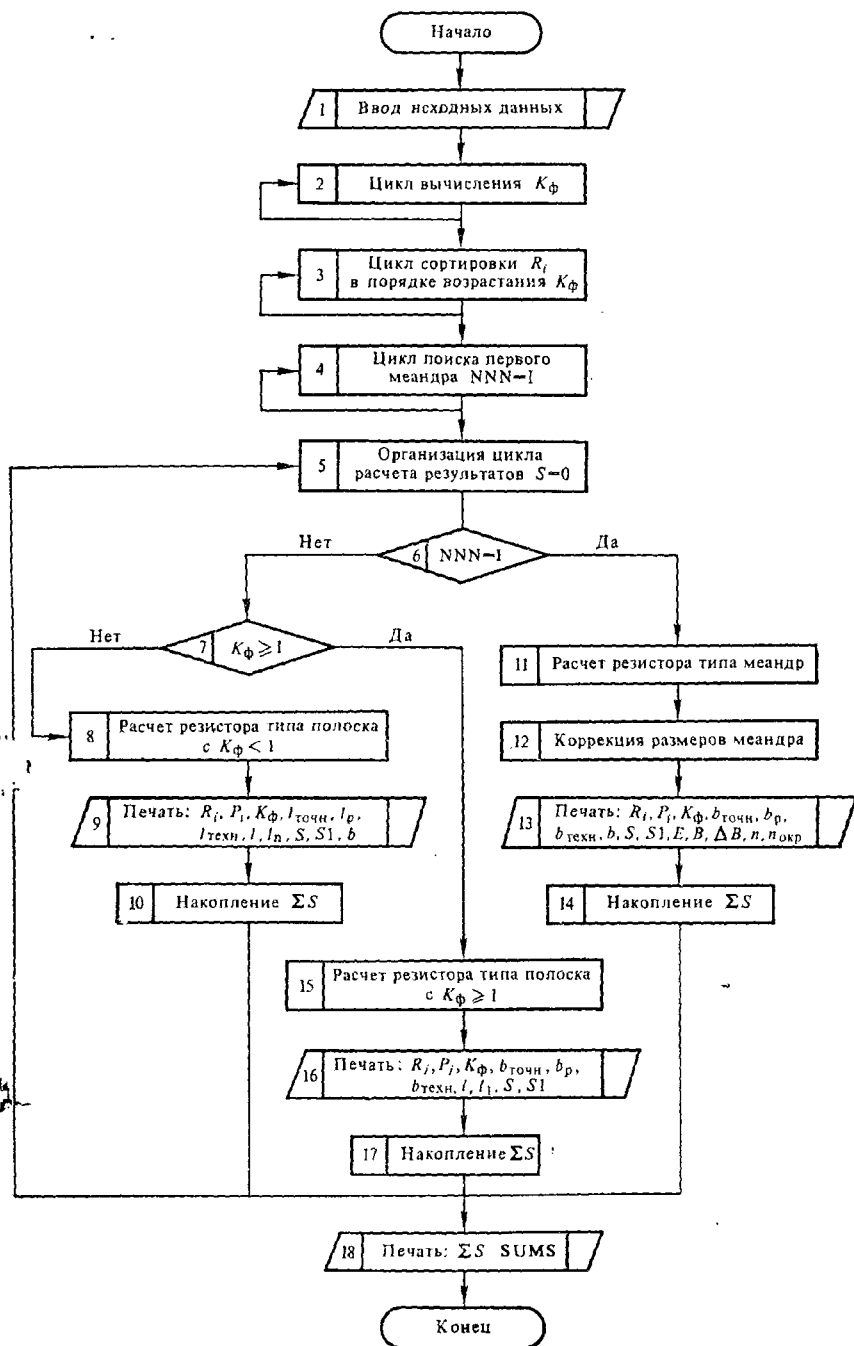


Рис. 6.10. Структурная схема программы расчета тонкопленочных резисторов



```

0043      WRITE(3,9999)
0044      WRITE(3,9993)
0045      WRITE(3,9999)
0046      WRITE(3,9991)
0047      WRITE(3,9999)
0048      IF(Z(1)-10.) GE0,400,500
0049      400 WRITE(3,101)
0050      WRITE(3,9994)
0051      WRITE(3,9999)
0052      500 CONTINUE
C
C      PASCHEТ ТОПОЛОГИИ.
0053      DC 6 :=1,K
0054      IF(1.NE.NNN) GO TO 501
0055      WRITE(3,102)
0056      WRITE(3,9994)
0057      WRITE(3,9999)
0058      501 CONTINUE
0059      IP(Z(1),GE-1.0) GOTO 562
0060      LTD=(Z(1)+B)/D
0061      LMO=SQRT(P(1)*Z(1)/PY)
0062      LR=AMAXPR(LTD,LMO,BTEX)
0063      LR=INT(LR/H)*H+H
0064      B=LR/Z(1)
0065      L1=LR-2.*C
0066      S=LR*B
0067      S1=L1*B
0068      WRITE(3,9999)
0069      WRITE(3,101),R(1),Z(1),P(1),B,LTD,LMO,BTEX,LR,L1,S,S1
0070      WRITE(3,9999)
0071      GO TO 6
0072      522 CONTINUE
0073      BTD=(A+B/Z(1))/D
0074      BMD=SQRT(P(1)/PY/Z(1))
0075      BR=AMAXPR(BTD,BMD,BTEX)
0076      BR=INT(BR/H)*H+H
0077      - 4 IF(Z(1).GT.10)GOTO5
0078      L=BR*Z(1)
0079      L1=L-2.*C
0080      S=L*BR
0081      S1=L1*BR
0082      WRITE(3,9999)
0083      WRITЕ(3,11),L,R(1),Z(1),P(1),BTD,BMD,BTEX,BR,L1,S,S1
0084      WRITE(3,9999)
0085      SUMS=SUMS+S;
0086      GOTO6
0087      5 N=SQRT(a-0.625+Z(1)/2.)-0.25
0088      KFN=N*0.5
0089      FN=KFN
0090      H=BR*(Z(1)-FN)/FN
0091      E=2.*FN*BR
0092      S=2.*C*BR
0093      S2=E*H+S
0094      CP=BR*Z(1)

```





**Список идентификаторов, использованных  
в программе расчета тонкопленочных резисторов**

- VTEX** — минимальная ширина резистора, обусловленная возможностями технологии  $b_{техн}$ , мм (по формату 7.3).
- RO** — удельное сопротивление квадрата резистивной пленки  $\rho_s$ , кОм/□ (по формату 7.3).
- PY** — допустимая удельная мощность рассеяния  $P_0$ , мВт/мм<sup>2</sup> (по формату 7.3).
- A, B** — погрешности геометрических размеров  $\Delta b, \Delta l$ , мм (по формату 7.3).
- C** — перекрытие резистора с контактной площадкой  $e$ , мм (по формату 7.3).
- D** — погрешность коэффициента формы  $\gamma_{кф}$  (по формату 7.3).
- K** — число резисторов (по формату J3).
- H** — шаг координатной сетки, мм (по формату 7.3).
- R(J)** — номинальное значение сопротивления  $R$ , кОм (по формату 7.3).
- P(J)** — мощность рассеяния  $P$ , мВт (по формату 7.3).
- S** — площадь резистора, мм<sup>2</sup>.
- S1** — площадь резистора с учетом перекрытия с контактными площадками, мм<sup>2</sup>.
- SUMS** — суммарная площадь резисторов  $\Sigma S_R$ , мм.
- Z(J)** — коэффициент формы  $K_f$ .
- B** — расчетная ширина резистора  $b_{расч}$ , мм.
- ВТОЧ** — ширина резистора из условия точности  $b_{точн}$ , мм.
- B(P)** — ширина резистора из условия выделения заданной мощности,  $b_p$ , мм.
- L** — расчетная длина резистора  $l$ , мм.
- L1** — полная длина резистора  $l_{полн}$ , мм.
- N** — число звеньев меандра,  $n$ .
- NOK** — округленное значение числа звеньев меандра.
- M** — ширина меандра  $B$ , мм.
- E** — длина меандра  $L$ , мм.
- L<sub>ср</sub>** — средняя длина меандра  $l_{ср}$ , мм.
- LS1** — длина прямолинейной части меандра, мм.
- S21** — площадь меандра после коррекции ее размеров с учетом изгибов.
- DB** — коррекция ширины меандра  $\Delta B$ , мм.
- E1** — полная длина меандра с учетом перекрытия с контактными площадками, мм.

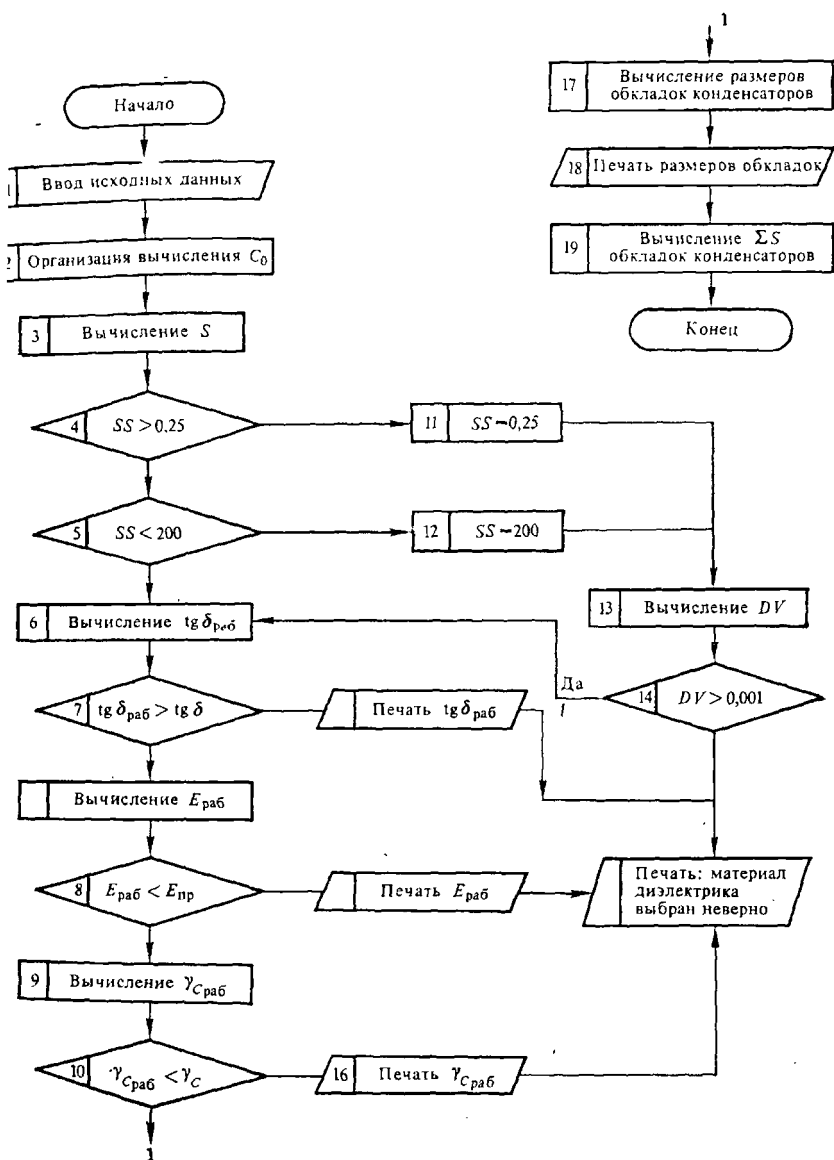


Рис. 6.11. Структурная схема программы расчета тонкопленочных конденсаторов

## Программа расчета тонкопленочных конденсаторов

```

0001      C      РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО КОНДЕНСАТОРА
0002      REAL K3
0003      DIMENSION C(40),UR(40),S(140)
0004      READ(1,1)K
0005      READ(1,2)((C(I),UR(I)),I=1,K)
0006      READ(1,3)F,DL,N,ERR,EP3,C,CG,RO,TO,K3
0007      READ(1,4)TKC,DT
0008      1  FORMAT(2E8,3)
0009      2  FORMAT(10E9,1)
0010      3  FORMAT(10E0,1)
0011      SUMS=0,
0012      M=1
0013      50  0041=1,K
0014      WRITE(3,18)(C(I),UR(I)),F
0015      10  FORMAT('C=',E12.5,' URAB=',E12.5,' FRAB=',E12.5)
0016      15  DUK=4*UR(1)/ERR
0017      35  COV=0,00005*EP3/DT
0018      CCI=TKC*DT
0019      CSO=CC-CCI
0020      COT=C(1)*CGO/2,/(DL)**2
0021      CO=COU
0022      IF(CO-CT-COT) CO=COT
0023      30  ACC=11/CO
0024      *AK=1-0.06*AK
0025      DIIA=CE-2,1 AK=1,
0026      SS=AK/K-2,1 AK=1,
0027      IF(SS.LE.0,25)CO TO 15
0028      IF(SS.LE.200) CO TO 6
0029      SS=200,
0030      15  SS=0,29
0031      45  AK=4/SS
0032      AA=(1,1-AK)/0,05
0033      CO=C(1)/AA
0034      DIF=0,00005*EP3/CO
0035      FID=CI-D,0,01)SO,TO,40
0036      6  FCR=1,02*F+0,01/10,10**12
0037      1  (IGR,LE,TD) CO TO 8
0038      KPIE(1,9) IGR,TD
0039      9  FORMAT('ТАН ДЕЛЬТА РАВ=',E12.5,'ТАН ДЕЛЬТА=',E12.5/)
0040      CD TO 40
0041      8  EP=UR(1)/0,00005/EP3*CO
0042      IF(EP.LE,ERR)CD TO 11
0043      WRITE(3,12)ERR,EP,CD TO 11
0044      12  FORMAT(1 EN=',E12.5,' EPN=',E12.5/)
0045      CD TO 40
0046      11  CCR=G+ESD
0047      IF(IGR,LE,IGV) CD TO 14
0048      WRITE(3,15)CCR,CD
0049      05  FORMAT(18X,'CCR=',E12.4,'CG=',E12.4)
0050      CO TO 40
0051      14  ALB=2*RT(SS)
0052      VB=ALB-H
0053      ALH=ALB+0,4
0054      BH=BB+0,4
0055      ALD=ALH+0,2
0056      BD=BH+0,3
0057      S(1)=ALD*BD
0058      WRITE(3,10)IGR,ERR,CCR,ALB,BH,ALH,VB,ALD,BD,S(1)
0059
0060
0061

```

```

0062      16  FORMAT('  ТАН ДЕЛЬТА РАВ=',E12.5,'      EPN=',E12.5,
0063      1'      ГАММА С РАБ=',E12.5,'      LB=',E12.5,'      BB=',E12.5,
0064      2'      LH=',E12.5,'      BH=',E12.5,'      LD=',E12.5,'      BD=',E12.5)
0065      3'      S=',E12.5/)
0066      SUMS=SUMS+S(1)
0067      GO TO 4
0068      40  WRITE(3,17)
0069      17  FORMAT('      МАТЕРИАЛ ДИЭЛЕКТРИКА ВЫБРАН НЕВЕРНО')
0070      M=1
0071      4  CONTINUE
0072      WRITE(3,18)SUMS
0073      18  FORMAT('      СУММА ПЛОЩАДЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ SUMS=',E12.5)
0074      END

```

Пример распечатки результатов расчета тонкопленочных конденсаторов

// EXEC

```

C= 0.82000E 02      URAB= 0.63000E 01      FRAB= 0.12000E 05      LB= 0.90000E 00      BB= 0.89000E 00
TAN ДЕЛЬТА РАБ= 0.11328E-01      EPN= 0.53066E 05      ГАММА С РАБ= 0.12000E 00      S= 0.23850E 01
LH= 0.13000E 01      BH= 0.12900E 01      LD= 0.15000E 01      BD= 0.15900E 01
СУММА ПЛОЩАДЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ SUMS= 0.23850E 01

```

Список идентификаторов, использованных  
в программе расчета тонкопленочных конденсаторов

- К — количество конденсаторов.  
C(J) — емкость конденсаторов C, пФ.  
UP(J) — рабочее напряжение  $U_{\text{раб}}$ , В.  
E — рабочая частота  $f_{\text{раб}}$ , Гц.  
DL — погрешность линейных размеров  $\Delta L, \Delta B$ , мм.  
EPR — пробивная напряженность  $E_{\text{пр}}$ , В/мм.  
EPS — диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ .  
G — относительная погрешность удельной емкости  $\gamma_{C_0}$ .  
GS — относительная погрешность изготовления конденсаторов  $\gamma_C$ .  
GCT — температурная погрешность изготовления конденсаторов.  
RO — сопротивление квадрата материала обкладок  $\rho_S$ , Ом/□.  
TD — тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$ .  
KЗ — коэффициент запаса электрической прочности  $K_3$ .  
H — шаг координатной сетки, мм.  
TKC — ТКС ( $\times 10^4$ ) в диапазоне температур,  $1/^\circ\text{C}$ .  
M — признак проведения корректировки.  
DY — толщина диэлектрика  $d$ , мм.  
SUMC — суммарная площадь конденсаторов  $\Sigma S_C$ , мм.  
GSD — допустимая погрешность площади  $\gamma_{S_{\text{доп}}}$ .  
COV — удельная емкость исходя из электрической прочности  $C_{0V}$ .  
TGR — рабочий тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta_{\text{раб}}$ .  
ERP — рабочая напряженность электрического поля  $E_{\text{раб}}$ , В/мм.  
GCR — относительная погрешность  $\gamma_{C_{\text{раб}}}$ .  
DT — температурный диапазон  $\Delta T$ ,  $^\circ\text{C}$ .  
COT — удельная емкость исходя из точности изготовления конденсатора  $C_{0\text{точн}}$ , пФ/мм<sup>2</sup>.  
LB, VB — длина и ширина верхней обкладки конденсатора, мм.  
LN, VN — длина и ширина нижней обкладки конденсатора, мм.  
LD, VD — длина и ширина диэлектрика конденсатора, мм.

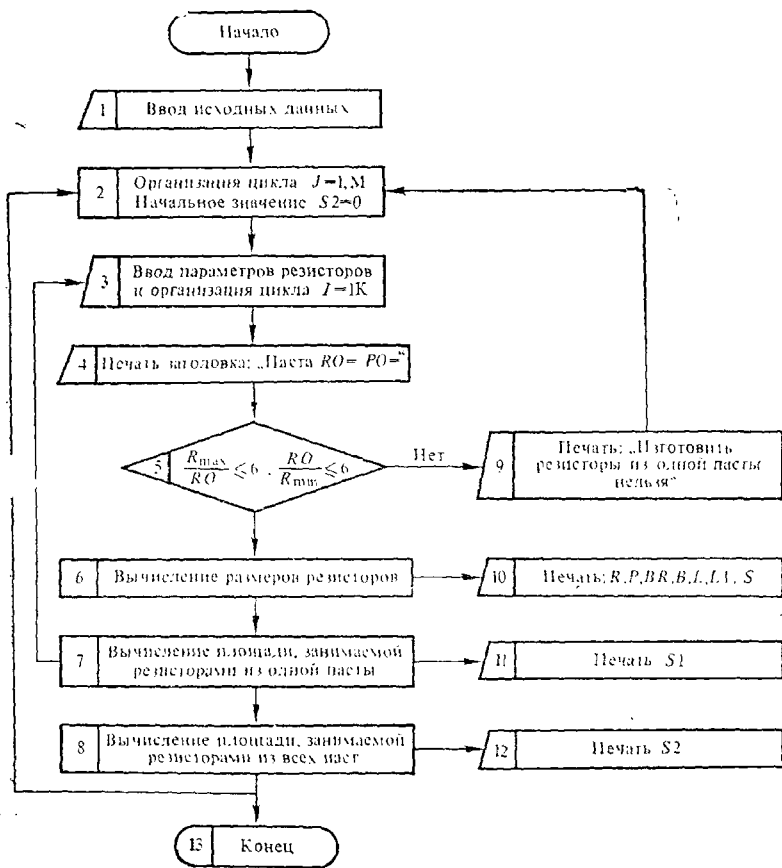


Рис. 6.12. Структурная схема программы расчета толсто пленочных резисторов

## Программа расчета толстопленочных резисторов

```

// EXEC FFORTRAN
C
C   РАСЧЕТ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ
C
REAL KF,R(100),P(100),S(100)
READ(1,90)M
90 FORMAT(13)
S2=0.
DO 6 J=1,M
  READ(1,1)K
  READ(1,2)((R(I),P(I)),I=1,K)
  READ(1,3)(P0,RO,H,DH)
  1 FORMAT(13)
  2 FORMAT(10F8.3)
  3 FORMAT(4F8.3)
  WRITE(3,98)RO,P0
98 FORMAT('/// ПАСТА: RO=',F8.3,' P0=',F8.3//)
  DO 77 I=1,K
    KF=R(I)/RO
    IF(KF.LE.6..OR.KF.GE.0.167)GO TO 107
    PRINT 5
  5 FORMAT(
1 ' ИЗГОТОВИТЬ РЕЗИСТОРЫ ИЗ ОДНОЙ ПАСТЫ НЕЛЬЗЯ')
    GO TO 6
107 BP=SQRT(2.*P(I)/KF/P0)
    BPT=FIX(BP/H)*H*H
    BR=0.8
    IF(BPT.GT.0.8) BR=BPT
    AL=BR*KF
    AL1=AL+2.*DH
    S(I)=AL1*BR
    WRITE(3,4)R(I),P(I),BPT,BR,AL,AL1,S(I)
  4 FORMAT(' R=',F8.2,' P=',F8.2,' BR=',
F8.2,' B=',F8.2,' L=',F8.2,' L1=',F8.2,' S=',F8.2)
77 CONTINUE
S1=0.
DO 7 I=1,K
  S1=S1+S(I)
  WRITE(3,9)S1
9 FORMAT('//5X,'СУММА S=',F10.3)
S2=S2+S1
6 CONTINUE
WRITE(3,97)S2
97 FORMAT('/// СУММАРНАЯ ПЛОЩАДЬ РЕЗИСТОРОВ S2=',F14.3)
END

```

### Список идентификаторов, использованных в программе расчета толстопленочных резисторов

- R(I) — номинал резистора  $R_i$ , КОМ.
- P(I) — мощность, выделяемая на резисторе,  $P_i$ , мВт.
- K — число резисторов в группе.
- KF — коэффициент формы  $K_f$ .
- M — число групп резисторов (резистивных паст).
- RO — сопротивление квадрата резистивной пленки  $\rho_B$ , КОМ/□.
- PO — удельная мощность  $P_0$ , мВт/мм<sup>2</sup>.
- BP — ширина резистора с учетом мощности  $b_P$ , мм.
- BR — расчетная ширина резистора  $b_{расч}$ , мм.
- BPT — округленная ширина резистора, мм.
- B — выбранная ширина резистора  $b$ , мм.
- AL, L — длина резистора  $l$ , мм.
- AL1, L1 — длина резистора с учетом перекрытия  $l_{полн}$ , мм.
- S — площадь резистора, мм<sup>2</sup>.
- H — шаг координатной сетки с учетом масштаба чертежа, мм.

$\Delta H$  — величина перекрытия резистора и контактной площадки  $\Delta H$ , мм.  
 $S_1$  — общая площадь резисторов, изготавливаемых из одной пасты, мм<sup>2</sup>.  
 $S_2$  — общая площадь резисторов, мм<sup>2</sup>.

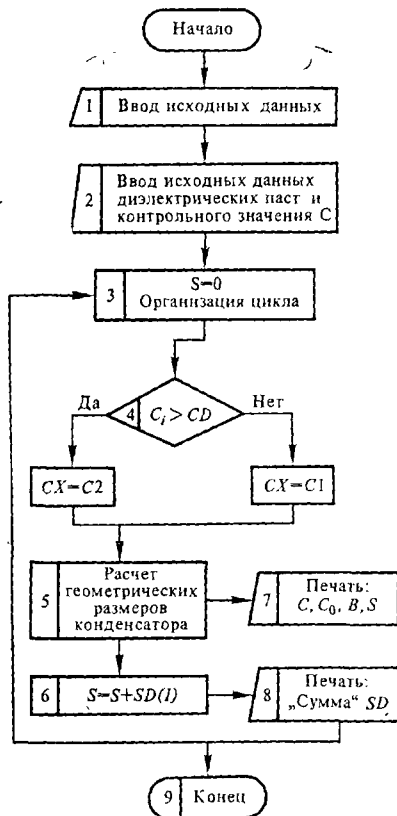


Рис. 6.13. Структурная схема программы расчета толстопленочных конденсаторов



## Программа расчета толстоленочных конденсаторов

```

// EXEC FFORTRAN
*   PASCET TOLCTOПЛEHOЧHЫX KОНДEHCАТОPOB
   DIMENSION C(15)
   READ(1,2)K
   DO 4 I=1,K
4  READ(1,1)C(I)
   2 FORMAT(12)
   1 FORMAT(F5.0)
   C1=37.
   C2=100.
   CD=200.
   S=0.
   DO 5 I=1,K
   CX=C1
   IF(C(I)-GT.CD)CX=C2
   B=SQRT(C(I)/CX)
   BB=0.1*AIN(10.*B)
   BX=B-BB
   IF(BX-GT.0.05)BB=BB+0.1
   SA=BB**2.
   BH=BB+0.6
   SH=BH**2.
   BD=BB+1.0
   SD=BO**2.
   WRITE(3,3)C(I),CX,BB,SB,BH,SH,BD,SD
3  FORMAT( 2X,'2HC='F5.0,'5X','3HC0='F4.0,'5X','3HLB='F7.2,
   *5X','3HLH='F5.2,'5X','3HSH='F7.2,'5X','3HLD='F5.2,'5X','3HSD='F7.2)
   5 S=S+SD
   WRITE(3,6)S
   6 FORMAT(12X,'СУММА SD ',F8.2)
   STOP
   END

```

### Список идентификаторов, использованных в программе расчета толстоленочных конденсаторов

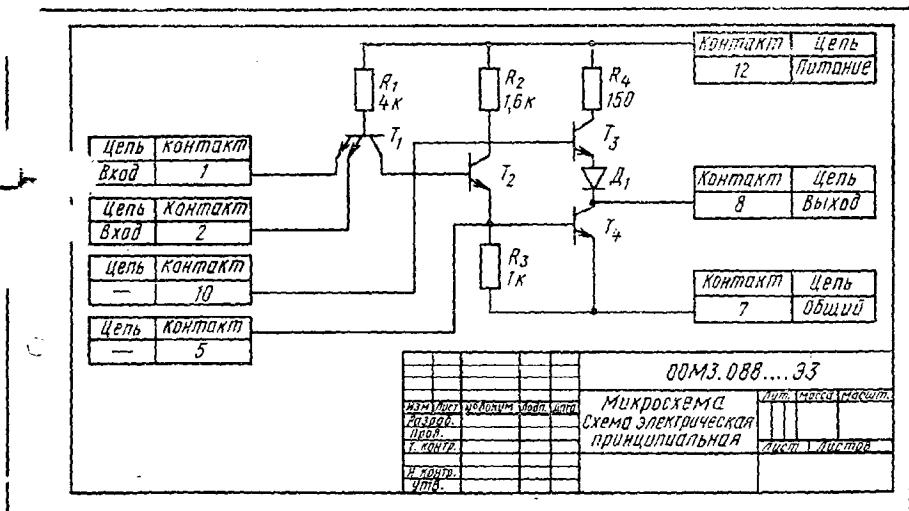
- C(I)** — емкость конденсатора  $C_i$ , пФ.  
**K** — число конденсаторов.  
**C1=37 пФ/мм<sup>2</sup>** — удельная емкость пасты ПК 1000-30.  
**C2=100 пФ/мм<sup>2</sup>** — удельная емкость пасты ПК-12.  
**CD=200 пФ** — контрольное значение емкости.  
**CX, CO** — удельная емкость пасты, пФ/мм<sup>2</sup>.  
**BB, LB, SB** — ширина, мм; длина, мм; площадь верхней обкладки, мм<sup>2</sup>.  
**BH, LH, SH** — то же, для нижней обкладки.  
**BD, LD, SD** — то же, для диэлектрика.  
**СУММА SD** — суммарная площадь конденсаторов, мм<sup>2</sup>.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Примеры выполнения конструкторских документов

Процесс проектирования ИМС заканчивается оформлением конструкторско-технологической документации. Она включает в себя основной комплект документов, комплекты документов на составные части ИМС, инструкции по эксплуатации ИМС, ведомости-спецификации, ведомости покупных изделий, формуляр и паспорт ИМС и др. В основной комплект документов входят принципиальная электрическая схема, функциональная схема, сборочный чертеж, чертеж общего вида топологии, послонные топологические чертежи, чертеж структуры элементов ИМС.

Пример 1. Комплект конструкторских документов на полупроводниковую ИМС, выполненную по планарно-эпитаксиальной технологии (см. рис. на с. 207—212).



					00МЗ.088...33		
ИЗМ. УСТ.	ИЗМ. КОИМ.	ИЗМ. ЧИСТ.	ИЗМ. ДИСТ.	ИЗМ. ПЕР.	ИЗМ. Т. КОИМ.	ИЗМ. И. КОИМ.	ИЗМ. ЧИСТ.
Микросхема						Лист	Страна
Схема электрическая						Лист	Листов
принципиальная							

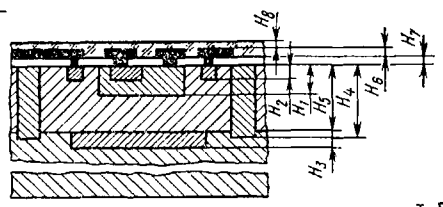
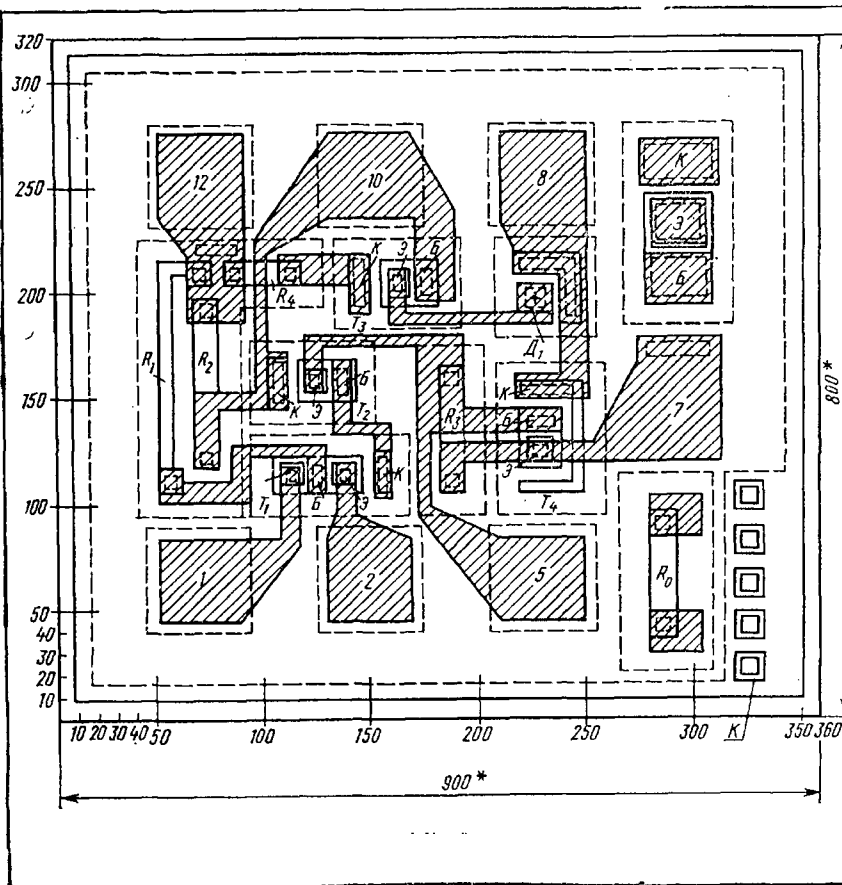
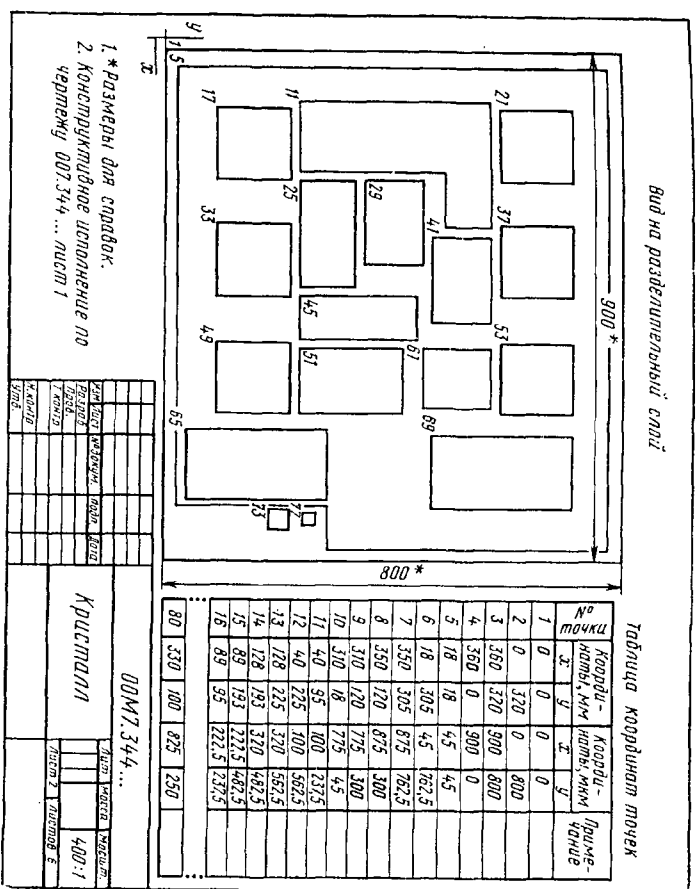
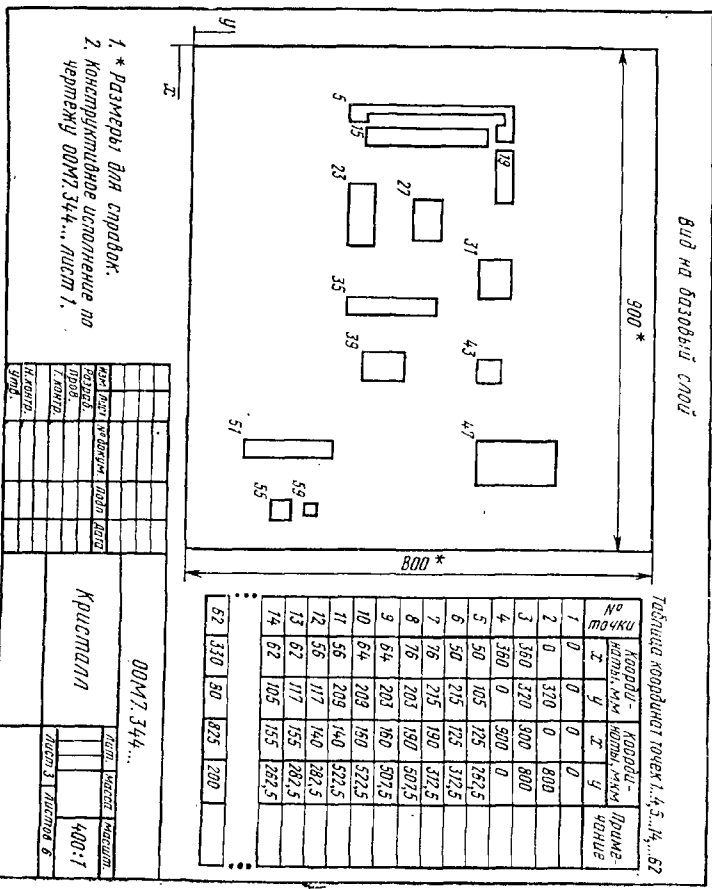


Таблица 1

Элементы структуры наименование	Толщина мкм	Тип электро- провод- ности	Используемый материал		ρ, Ом/см	
			Наименование	ГОСТ, ГОСТ, ТУ		
Базовая область	H <sub>1</sub>	2,2 ± 0,3	p	бор трехдромистый	...ТУ	200 ± 20
Эмиттерная область	H <sub>2</sub>	1,6 ± 0,3	p*	фосфор трехдромистый	...ТУ	3,5 ± 1,5
Скрытый слой	H <sub>3</sub>	3,5 ± 1,5	p*	трехокись сурьмы	МРТУ...	25 ± 5
Разделительная область	H <sub>4</sub>	10 ± 2	p*	бор трехдромистый	...ТУ	6 ± 4
Эпитаксиальный слой	H <sub>5</sub>	6,5 ± 2	p	кремниевые эпитаксиальные структуры	...ТУ	—
Проводники и контактные площадки	H <sub>6</sub>	1,2 ± 0,1	—	алюминий	—	не более 0,005
Пленка диэлектрика	H <sub>7</sub>	0,6 ± 0,05	—	двухокись кремния	—	—
Пассивация	H <sub>8</sub>	0,8 ± 0,1	—	то же	—	—

1. Все размеры на чертеже даны в мкм.
2. Характеристики и данные по изготовлению отдельных слоев приведены в табл. 1.
3. Нумерация контактных площадок и обозначение элементов показаны условно.
4. К - фигура совмещения.

00М7.344.				Лист	Масса	Масштаб
Кристалл						400:1
Кремний ...				Лист 1	Листов 6	
ГОСТ ...						



Вид на эмиттерный слой

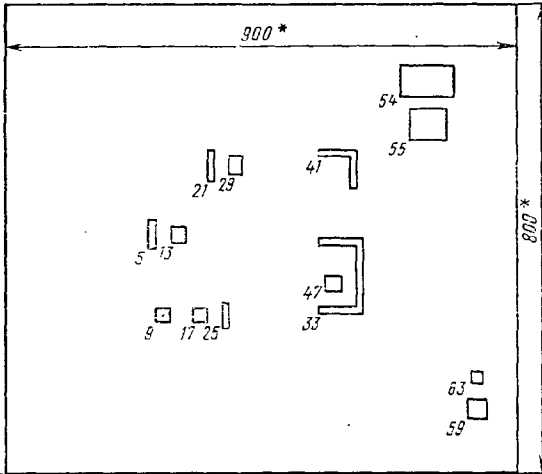


Таблица координат точек

№ точки	Координаты, мм		Координаты, мкм		Примечание
	X	Y	X	Y	
1	0	0	0	0	
2	0	320	0	800	
3	360	320	900	800	
4	360	0	900	0	
5	104	148	260	370	
6	104	168	260	420	
7	109	168	272,5	420	
8	109	148	272,5	370	
...	...	...	...	...	...
66	330	60	825	150	

- \* Размеры для справок.
- Конструктивное исполнение по чертежу ООМ7.344... лист 1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т. контр.				
Н. контр.				
Упр.				

ООМ7.344...

Кристалл	Лит.	Масса	Масшт.
			400:1
	Лист 5 / листов 6		

Вид на контактные окна

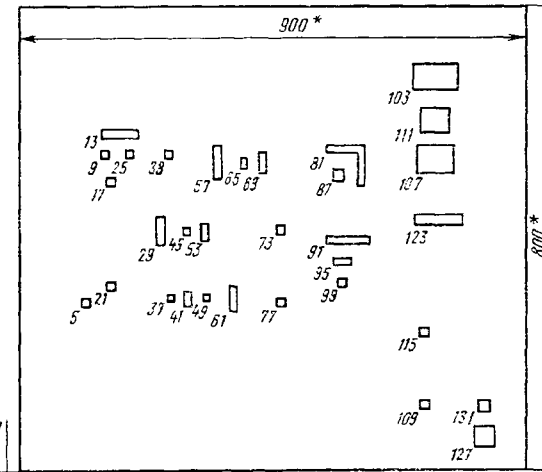


Таблица координат точек

№ точки	Координаты, мм		Координаты, мкм		Примечание
	X	Y	X	Y	
1	0	0	0	0	
2	0	320	0	800	
3	360	320	900	800	
4	360	0	900	0	
5	53	108	132,5	270	
6	53	114	132,5	285	
7	59	114	147,5	285	
8	59	108	147,5	270	
...	...	...	...	...	...
134	330	40	825	100	

- \* Размеры для справок.
- Конструктивное исполнение по чертежу ООМ7.344... лист 1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т. контр.				
Н. контр.				
Упр.				

ООМ7.344...

Кристалл	Лит.	Масса	Масшт.
			400:1
	Лист 5 / листов 6		

Вид на слой металлизации

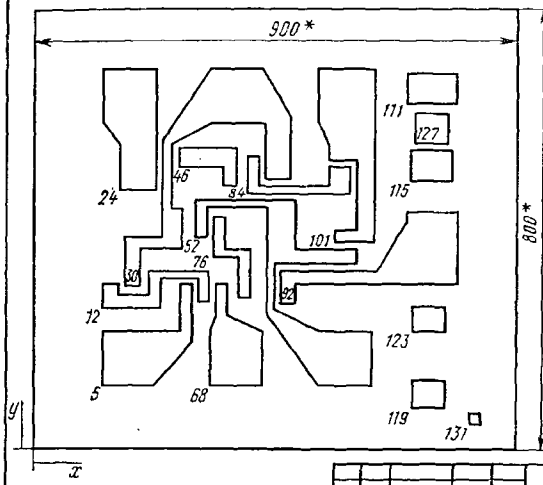


Таблица координат точек

№ точки	Координаты, мм		Координаты, мм		Примечание
	X	Y	X	Y	
1	0	0	0	0	
2	0	320	0	800	
3	360	320	900	800	
4	360	0	900	0	
5	50	45	100	112,5	
6	50	85	100	212,5	
7	108	85	270	212,5	
8	108	118	270	295	
9	117	118	292,5	295	
10	117	75	292,5	187,5	
11	90	45	225	112,5	
134	330	20	825	50	

- \* Размеры для справок.
- Конструктивное исполнение по чертежу 00M7.344... лист 1.

00M7.344...

Изм.	Лист	№ докум.	Дата	Кристалл	Лит.	Масса	Масшт.
Разраб.							400:1
Утвер.					Лист 6	Листов 5	
И.контр.							
Утв.							

1. \* Размеры для справок.

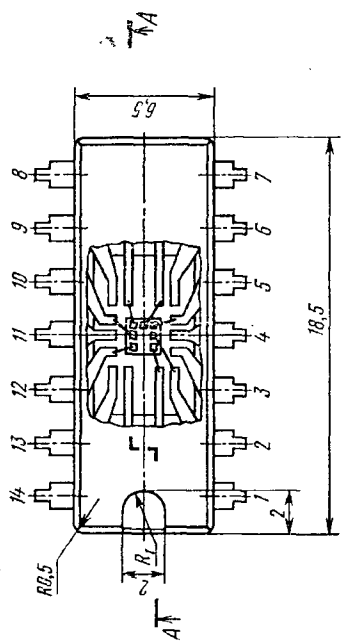
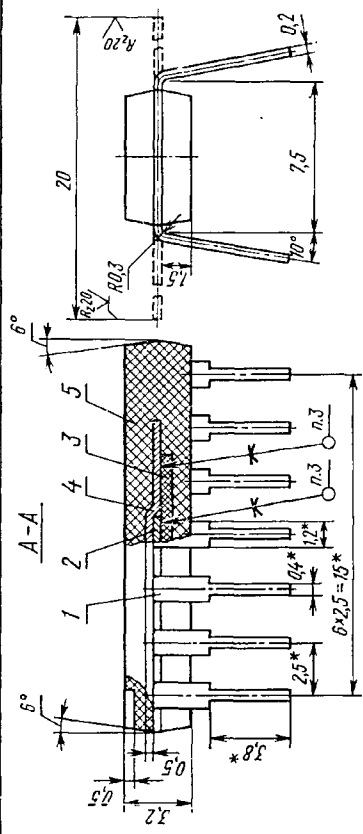
2. Литейные уклоны не более 10°, кроме указанных на чертеже.

3. Кристалл поз.2 крепить к ситалловой подложке поз.3 и подложку крепить к выводной рамке поз.1 клеем ВК-32-200.

4. Проводник поз.4 присоединять к контактным площадкам на кристалле и к выводам выводной рамки методом термомонтажестии.

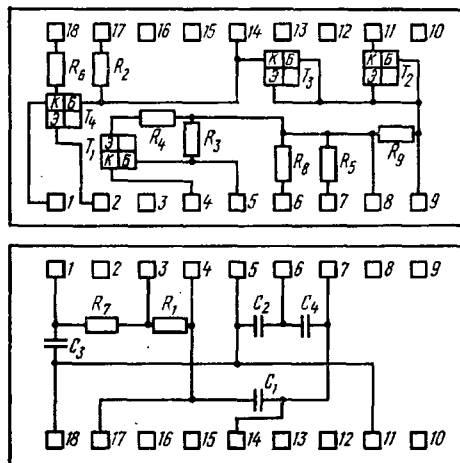
5. Нумерация выводов показана условно.

6. Корпус 2102.14-6.ГОСТ 17461-79.

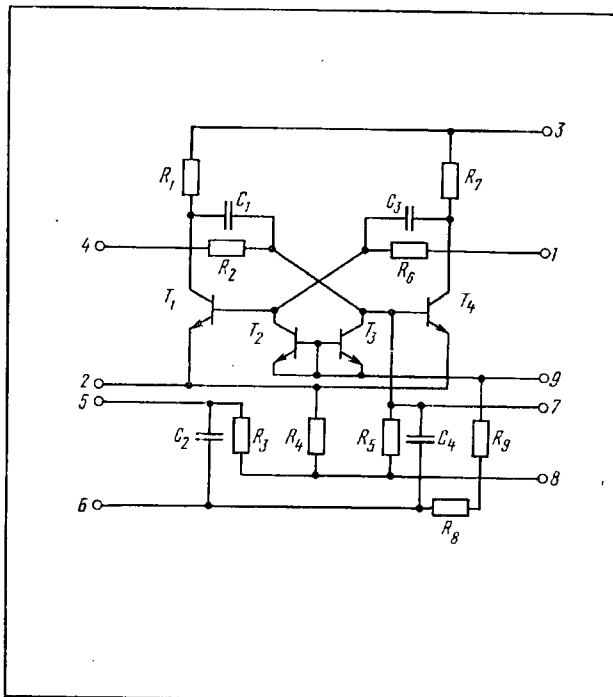


00МЗ.088...СБ			
Лист	Масштаб	10:1	
Микросхема вводочный чертеж			
Исполн.	Провер.	Дата	Листов 1
Л.АВР12			
И.СЕНГА			
УМТ			

**Пример 2.** Комплект конструкторских документов на толсто пленочную ГИС, состоящий из: спецификации микросхемы, сборочного чертежа, принципиальной электрической схемы, спецификации на элемент, сборочного чертежа элемента, топологического чертежа платы, чертежей деталей (вывода и платы) (см. рис. на с. 214—220). На сборочном чертеже микросхемы в качестве разъяснения тонкими линиями показана часть вывода, отделяемая в процессе сборки микросхемы. Топологический чертеж выполнен на девяти листах, три из которых приводятся, в том числе приводится чертеж топологии обратной стороны платы. Таблицы координат элементов должны быть выполнены в виде отдельных документов.



**Пример 3.** Схема электрическая принципиальная и топологический чертеж платы тонкопленочной гибридной микросхемы (см. рис. на с. 221—224). Схема электрическая принципиальная выполнена как групповой документ. Каждый вариант исполнения может быть получен путем изменения номиналов конденсаторов, резисторов и транзисторов, а также исключением связей между отдельными элементами. Топологический чертеж платы также выполнен групповым документом. Варианты исполнения получают при разрезке проводников, соединяющих отдельные элементы на плате.



Позиционное обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
R <sub>1</sub>	Резистор 22кОм ± 30% 90 мВт	1	
R <sub>2</sub>	" 22кОм ± 30% 10 мВт	1	
R <sub>3</sub>	" 10кОм ± 30% 5 мВт	1	
R <sub>4</sub>	" 150 Ом ± 25% 10 мВт	1	
R <sub>5</sub>	" 22кОм ± 30% 10 мВт	1	
R <sub>6</sub>	" 10кОм ± 30% 5 мВт	1	
R <sub>7</sub>	" 2,2кОм ± 30% 90 мВт	1	
R <sub>8</sub> , R <sub>9</sub>	" 1,5кОм ± 30% 5 мВт	2	
C <sub>1</sub>	Конденсатор 430 пФ ± 30% U <sub>p</sub> = 12В	1	
C <sub>2</sub>	" 82 пФ ± 30% U <sub>p</sub> = 12В	1	
C <sub>3</sub>	" 430 пФ ± 30% U <sub>p</sub> = 12В	1	
C <sub>4</sub>	" 82 пФ ± 30% U <sub>p</sub> = 12В	1	
T <sub>1</sub> ...T <sub>4</sub>	Транзистор КТ359 АБ ... ТУ	4	

АБЗ. 410. 016. 33			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.	Проект.	Микросхема К224ТС1	
Т. контр.	Схема электрическая принципиальная		Лист 1
И. контр.			Листов 1
Утв.			

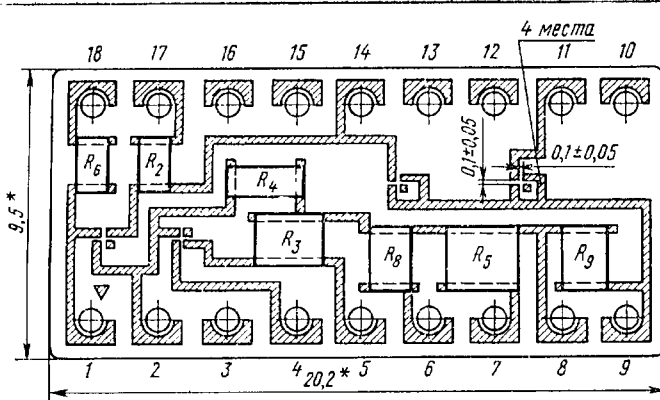


Таблица 1

Таблица 2

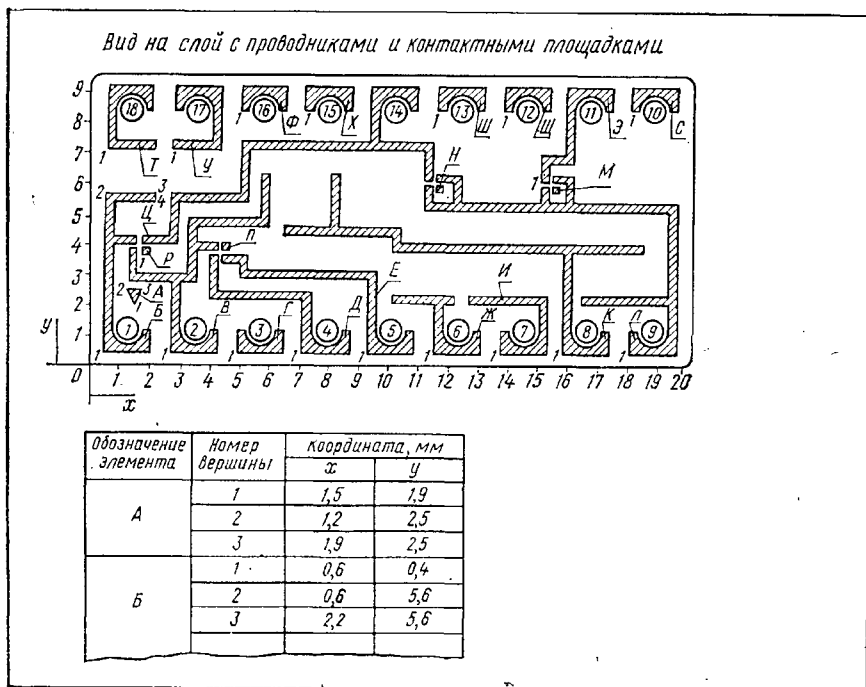
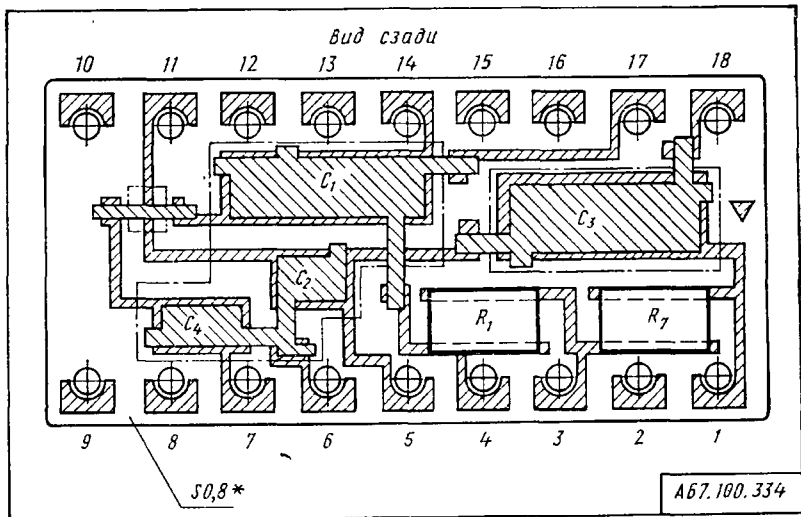
Условное обозначение слоя	Наименование слоя	Материал слоя		Электрические характеристики	Номер листа чертежа
		Наименование, марка	ГОСТ, ОСТ, ТУ		
	Проводящие контактные площадки и нижние обкладки конденсатора	Паста ПП-3	ОСТ 11. 073. 023-74	$R_6 \leq 0,05 \text{ Ом}$	3, 4
	Диэлектрик	Паста ПК1000-30	ОСТ 11. 073. 023-74	$C_0 = 3700 \text{ пФ/см}^2$	5
	Верхние обкладки конденсаторов	Паста ПП-2	ОСТ 11. 073. 023-74	$R_0 \leq 50 \text{ мОм}$	6
	Резистивный слой	Паста ПР-100 Паста ПР-3К Паста ПР-20К	ОСТ 11. 073. 023-74	$R_0 = 1000 \text{ мОм}$ $R_0 = 30 \text{ мОм}$ $R_0 = 20 \text{ кОм}$	7 8 9

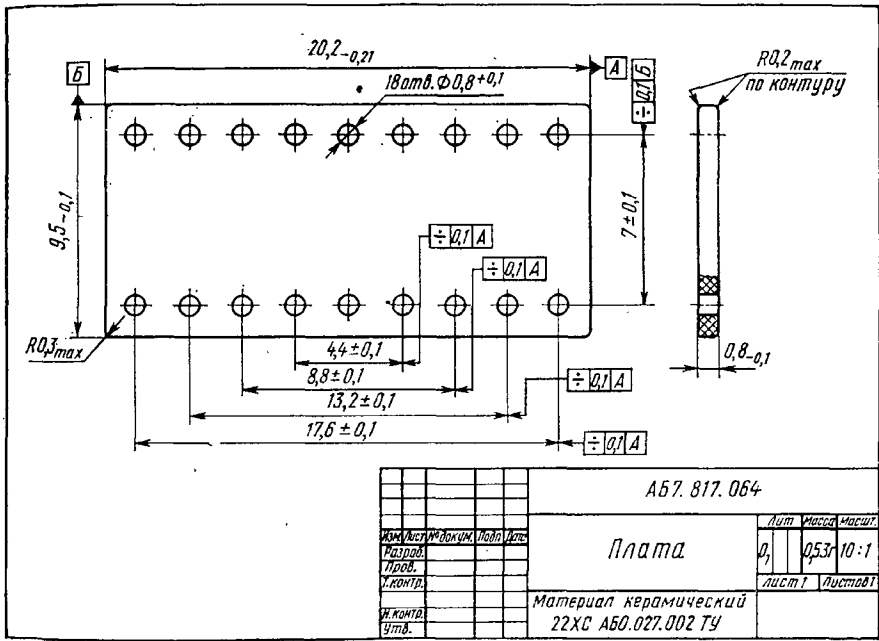
Позиционное обозначение	Точки измерения	Расчетный номинал и допуск
R <sub>1</sub>	3-4	22кОм ± 25%
R <sub>2</sub>	14-17	22кОм ± 25%
R <sub>3</sub>	5-8	10кОм ± 25%
R <sub>4</sub>	2-8	150кОм ± 25%
R <sub>5</sub>	7-8	10кОм ± 25%
R <sub>6</sub>	1-18	22кОм ± 25%
R <sub>7</sub>	1-3	22кОм ± 25%
R <sub>8</sub>	6-8	15кОм ± 25%
R <sub>9</sub>	8-9	15кОм ± 25%
C <sub>1</sub>	4-7	430 пФ ± 25%
C <sub>2</sub>	5-6	82 пФ ± 25%
C <sub>3</sub>	7-5	430 пФ ± 25%
C <sub>4</sub>	6-7	82 пФ ± 25%

1. Плата должна соответствовать ГОСТ 2789-73.
2. \* Размеры для справок.
3. Координаты вершин элементов слоев приведены в АБЗ.100.334-Т6. Допустимые предельные отклонения размеров элементов ± 0,1 мм, кроме мест, оговоренных особо.
4. Цифрами 1'÷18' на листе 3 обозначены радиусы контактных площадок. Радиусы контактных площадок 0,5 мм.
5. Электрические характеристики и данные по изготовлению отдельных слоев приведены в табл. 1.
6. Величины сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов должны соответствовать данным, указанным в табл. 2.
7. Отношение номиналов резисторов  $R_2/R_5 = R_6/R_3 = 1,6 \pm 3,0$ ;  $R_1/R_7 = 0,9 \pm 1,1$ .
8. Нумерация контактных площадок и обозначения элементов показаны условно и соответствуют схеме электрической принципиальной АБЗ.410.016.33.

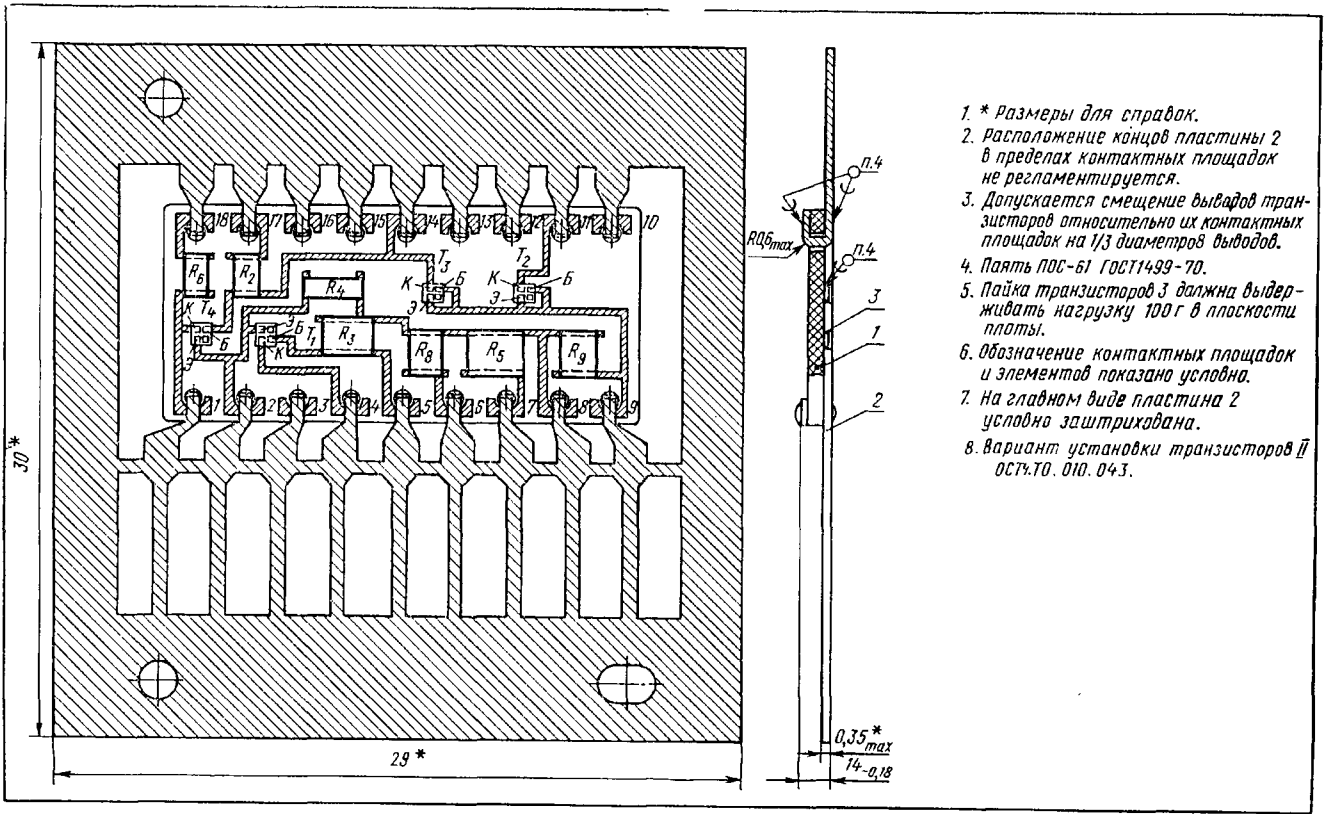
АБЗ. 100.334			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.	Проект.	Плата	
Т. контр.	Заготовка АБЗ 817.064		Лист 1
И. контр.			Листов 9
Утв.			



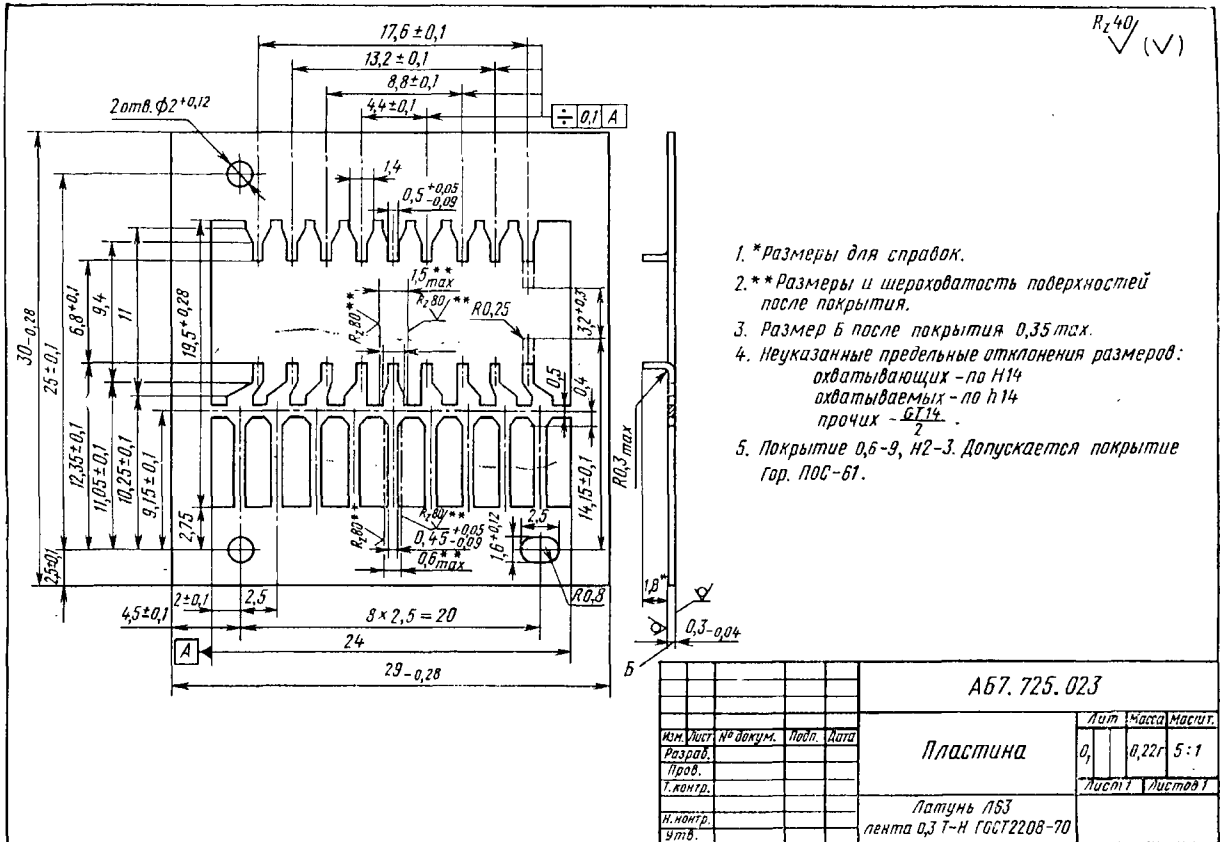




					А57.817.064	
Изм.	Исполн.	Провер.	Лист	Лист	Плата Материал керамический 22ХС А60.027.002 ТУ	
Разработ.	Проект.	Утвержд.	Лист	Лист		
Исполн.	Провер.	Лист	Лист	Лист		
Исполн.	Провер.	Лист	Лист	Лист		
					Лист	Масштаб
					0,1	0,53/10:1
					Лист 1	Листов 1



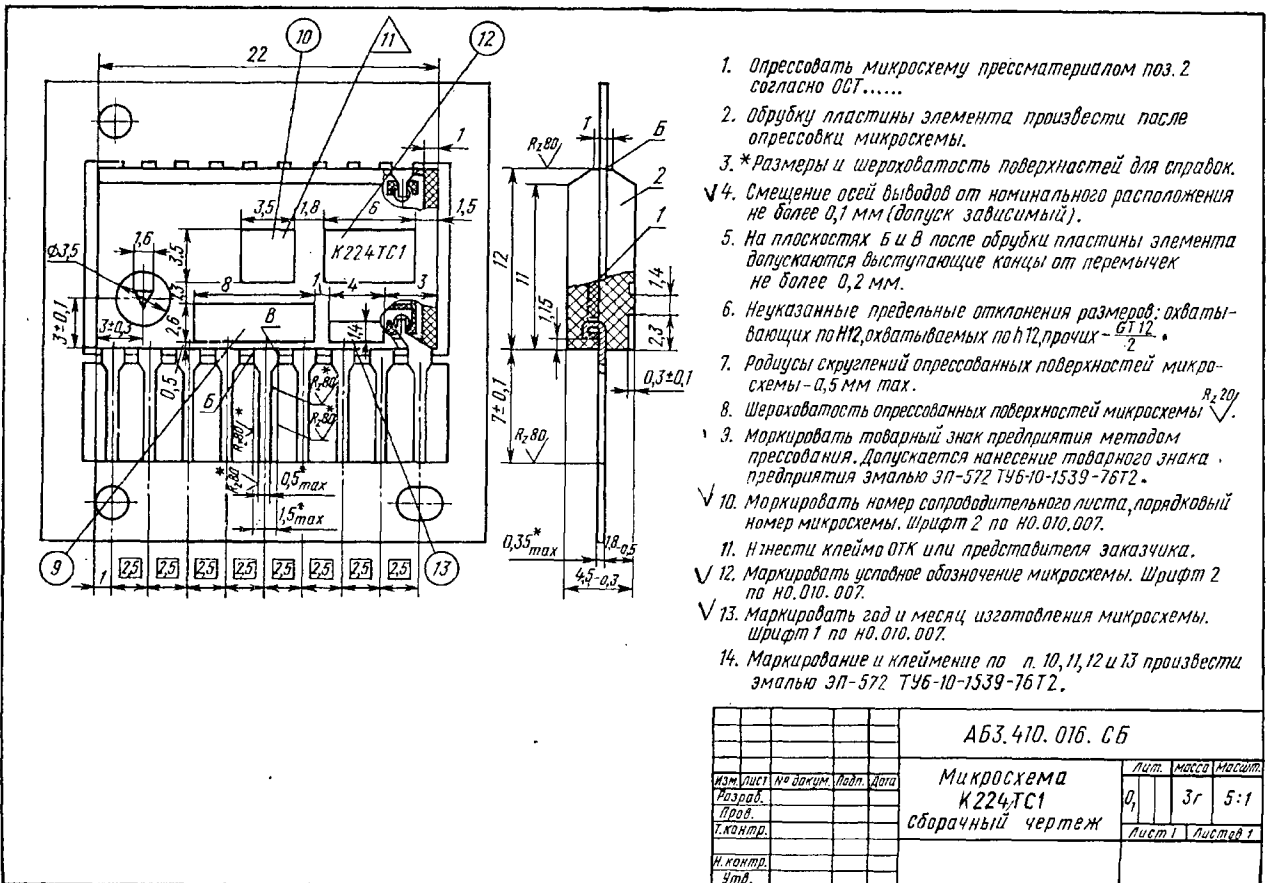
1. \* Размеры для справок.
2. расположение концов пластины 2 в пределах контактных площадок не регламентируется.
3. Допускается смещение выводов транзисторов относительно их контактных площадок на 1/3 диаметров выводов.
4. Паять ПОС-61 ГОСТ1499-70.
5. Пайка транзисторов 3 должна выдерживать нагрузку 100 г в плоскости платы.
6. Обозначение контактных площадок и элементов показано условно.
7. На главном виде пластина 2 условно заштрихована.
8. вариант установки транзисторов II ост.ГО. ОЮ. 043.



1. \* Размеры для справок.
2. \*\* Размеры и шероховатость поверхностей после покрытия.
3. Размер Б после покрытия 0,35 max.
4. Неуказанные предельные отклонения размеров: охватываемых - по Н14 охватываемых - по h14 прочих - БГ14.
5. Покрытие 0,6-9, H2-3. Допускается покрытие Гор. ПОС-61.

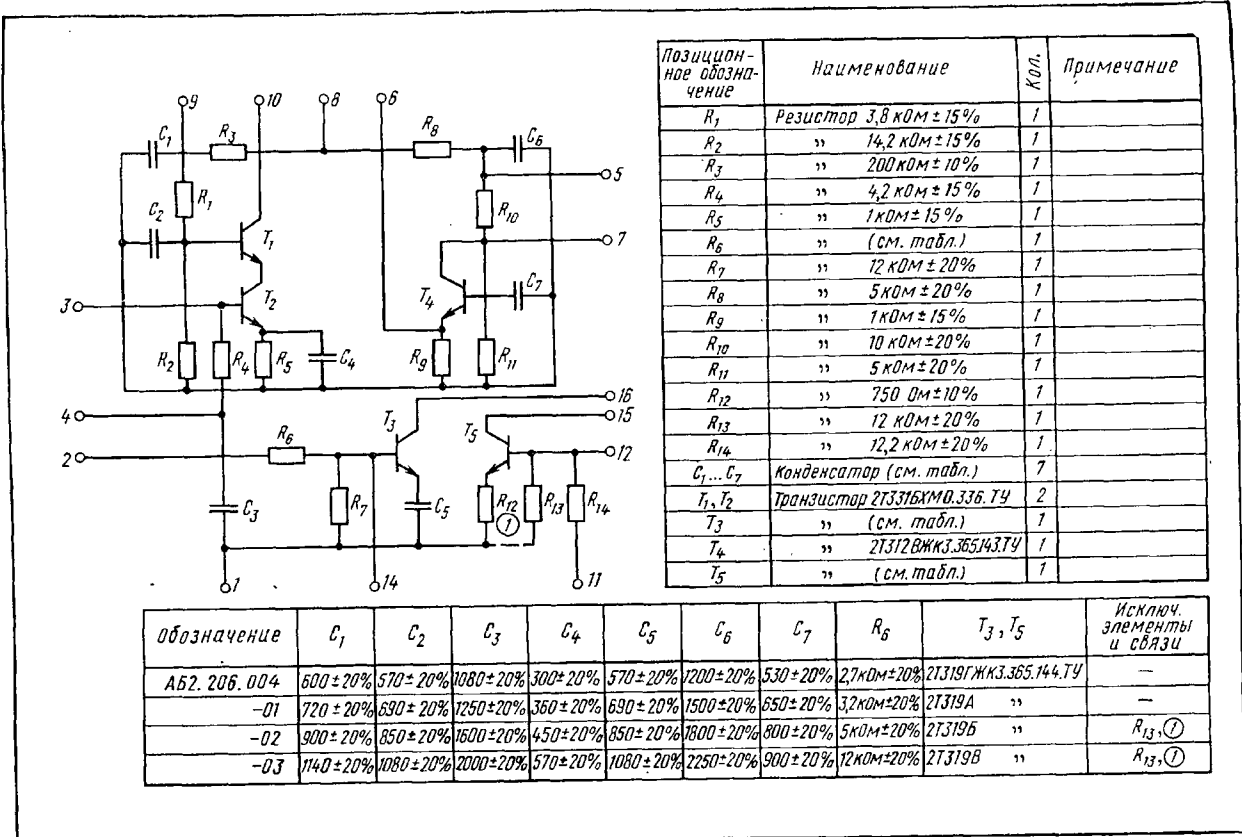
				A67.725.023		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пластина	
Разр.	Проб.	Г. контр.				
				Литунь А63		
				лента 0,3 Т-Н ГОСТ2208-70		
				Лит	Масса	Масшт.
				0,	0,22г	5:1
				Лист 1	Листов 1	

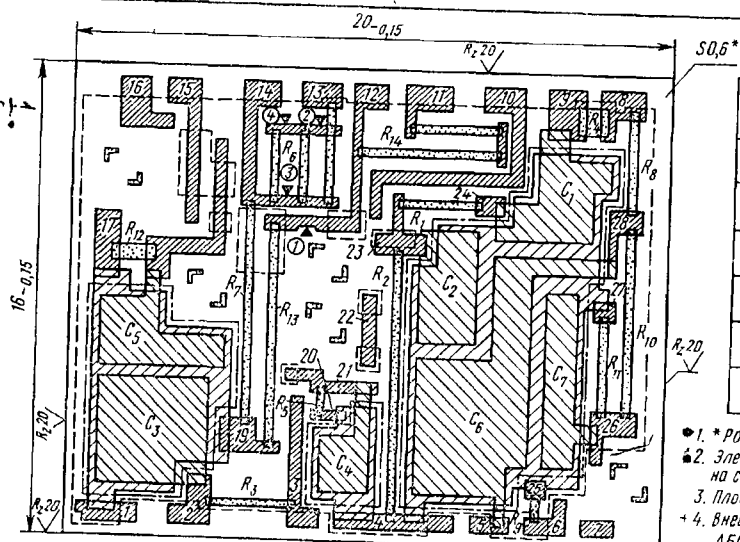
4152/15



1. Прессовать микросхему прессматериалом поз. 2 согласно ССТ.....
2. Обрубку пластины элемента произвести после опрессовки микросхемы.
3. \*Размеры и шероховатость поверхностей для справок.
4. Смещение осей выводов от номинального расположения не более 0,1 мм (допуск зависимый).
5. На плоскостях Б и В после обрубki пластины элемента допускаются выступающие концы от перемычек не более 0,2 мм.
6. Неуказанные предельные отклонения размеров: охватываемых по Н12, охватываемых по h12, прочих -  $\frac{GT12}{2}$ .
7. Радиусы скруглений опрессованных поверхностей микросхемы - 0,5 мм max.
8. Шероховатость опрессованных поверхностей микросхемы  $R_{a20}$ .
9. Маркировать товарный знак предприятия методом прессования. Допускается нанесение товарного знака предприятия эмалью ЭП-572 196-10-1539-76Т2.
10. Маркировать номер сопроводительного листа, порядковый номер микросхемы. Шрифт 2 по но. 010.007.
11. Нанести клейма ОТК или представителя заказчика.
12. Маркировать условное обозначение микросхемы. Шрифт 2 по но. 010.007.
13. Маркировать год и месяц изготовления микросхемы. Шрифт 1 по но. 010.007.
14. Маркирование и клеймение по п. 10, 11, 12 и 13 произвести эмалью ЭП-572 ТУ6-10-1539-76Т2.

		АБ3.410.016.СБ			
Изм. лист	№ докум.	Подп.	Дата	Микросхема	Лист
Разраб.				К 224ТС1	0
Пров.				Сборачный чертёж	3г 5:1
Т.контр.					Лист 1
И.контр.					Листов 1
Знак.					





(✓)(✓)  
Таблица 1

Условное обозначение слоя	Наименование слоя	Материал слоя				Метод нанесения	Номер листа чертежа
		Наименование, марка	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Толщина, мм	Электрическая проводимость, Ом/мм		
	Резистор	Сплав РС-3001	ГОСТ 91919	—	$\rho_p = 1000 \text{ Ом/мм}$	Вакуумное напыление через маску	2
	Проводники и контактные площадки	Нихром Х20ХЗ Золото ДС 999,9	ГОСТ 103-58 ГОСТ 1635-56	1 2	$\rho_p \leq 0,10 \text{ Ом/мм}$	То же	3
	Нижняя диэлектрическая подложка конденсатора	Литен ВТ-В	АМУ 475-67	1	$\rho_p \leq 0,20 \text{ Ом/мм}$	"	4
	Диэлектрик	См. табл. 3	См. табл. 3	—	См. табл. 3	"	5
	Верхняя диэлектрическая подложка конденсатора	Алюминий А99	ГОСТ 1618-62	—	$\rho_p \leq 0,20 \text{ Ом/мм}$	"	6
	Защитный слой	Фоторезист, негидрофильный ПН 103	ОСТ...	—	—	Фотолитография	7

- 1. \* Размеры для справок.
- 2. Элементы в слоях выполнять по координатам, приведенным в таблицах на соответствующих листах. Координаты даны в масштабе чертежа.
- 3. Площадь напыления золота 45 мм<sup>2</sup>, толщина напыления  $\rho_4 = 0,5 \text{ мкм}$ .
- 4. Внешний вид платы должен соответствовать требованиям инструкции АБ0.005.021.
- 5. Характеристики отдельных слоев приведены в табл. 1 и 2.
- 6. Значения электрических сопротивлений резисторов и емкости конденсаторов должны соответствовать данным, указанным в табл. 3.
- 7. Знаками  $\nabla$   $\odot$   $\nabla$   $\odot$  условно показаны места резки проводников (связей), указанных в табл. 3.
- 8. Номера контактных площадок и обозначения элементов показаны условно и соответствуют схеме электрической принципиальной АБ3.430.004.33.

Таблица 2

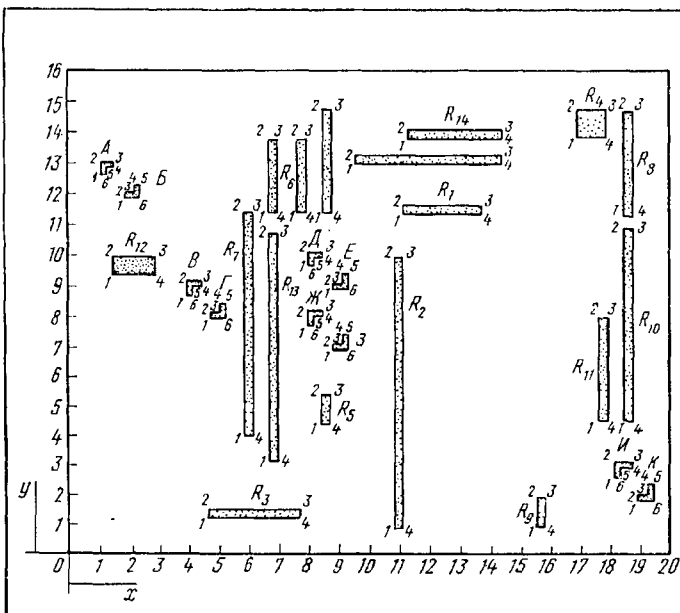
Позиционное обозначение	Точки измерения		Проверяемые номиналы и допускаемые отклонения		Отношения мощностей
	После 2-го слоя	После 6-го слоя	После 2-го слоя	После 6-го слоя	
R1	2-3	4-23	3,6 кОм ± 15%	3,4 кОм ± 15%	< 0,1
R2	—	9-23	14 кОм ± 15%	—	< 0,1
R3	2-3	4-23	4,2 кОм ± 20%	8,9 кОм ± 15%	—
R4	8-9	8-9	200 Ом ± 20%	200 Ом ± 20%	< 0,1

Таблица 3

Обозначение	Емкость цепи в точках	Позиционные обозначения номиналы и допускаемые отклонения								Номер листа чертежа	Материал слоя	
		4-9	4-23	C3	C4	C5	C6	C7	R6		Наименование слоя	ГОСТ, ОСТ, ТУ
АБ7.100.382	1000 пФ ± 20%	1310 пФ ± 20%	1000 пФ ± 20%	300 пФ ± 20%	50 пФ ± 20%	200 пФ ± 20%	330 пФ ± 20%	17 кОм ± 20%	—	Диэлектрик	СТ0335.0351	$\epsilon_p = 5000 \text{ пФ/мм}^2$
-01	1740 пФ ± 20%	1800 пФ ± 20%	1750 пФ ± 20%	300 пФ ± 20%	50 пФ ± 20%	200 пФ ± 20%	330 пФ ± 20%	17 кОм ± 20%	2,4	"	"	$\epsilon_p = 10000 \text{ пФ/мм}^2$
-02	2000 пФ ± 20%	1830 пФ ± 20%	1800 пФ ± 20%	300 пФ ± 20%	50 пФ ± 20%	200 пФ ± 20%	330 пФ ± 20%	17 кОм ± 20%	1,4	Стекло СЧ-1	ИГО 027.600	$\epsilon_p = 16000 \text{ пФ/мм}^2$
-03	2200 пФ ± 20%	1900 пФ ± 20%	1900 пФ ± 20%	570 пФ ± 20%	100 пФ ± 20%	220 пФ ± 20%	300 пФ ± 20%	17 кОм ± 20%	1,3	"	"	$\epsilon_p = 20000 \text{ пФ/мм}^2$

АБ7.100.382

Имя листа	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Адрес	Масшт.
Резерв	Пров.	И.контр.	Учт.			
				Сигнал СТ50-1	лист 1 / листов 7	
				НТХ0.027.029		



Обозначение элемента	Номер вершины	Координата, мм	
		X	Y
Резистор R12	1	1,41	9,36
	2	1,41	9,87
	3	2,82	9,87
	4	2,82	9,36
A	1	0,96	12,69
	2	0,96	13,2
	3	1,15	13,2
	4	1,15	13,0
	5	1,41	13,0
	6	1,41	12,69
B	1	1,79	11,92
	2	1,79	12,05
	3	2,05	12,05
	4	2,05	12,30
	5	2,24	12,30
	6	2,24	11,92
B	1	3,80	8,65
	2	3,80	9,10
	3	4,36	9,10
	4	4,36	8,91
	5	3,97	8,91
	6	3,97	8,65
Г	1	4,60	7,88
	2	4,60	8,08
	3	5,00	8,08
	4	5,00	8,33
	5	5,19	8,33

## ПРИЛОЖЕНИЕ II

### Состав и литерность технологических документов

Технологическая документация на ИМС разрабатывается в соответствии с требованиями системы технологической документации (СТД).

На процессы изготовления микросхем, их сборки и герметизации составляется основная технологическая документация, обязательная для ведения технологического процесса, которая состоит из: спецификации технологической (СПТ); маршрутной карты технологического процесса (МК); операционной карты технологического процесса (ТК) по видам работ; карты эскизов, схем и таблиц (КЭ); карты раскрыя материала (КР); технологической инструкции (ТИ); контрольной карты (КК) или маршрутно-контрольной карты (МКК).

Создание технологических документов производится на стадии разработки эскизного проекта, технического проекта или рабочей документации (документации опытного образца или опытной партии, установочной серии, установившегося серийного или массового производства). При этом технологическим документом эскизного и технического проектов присваиваются литеры соответственно «Э», «Т», опытных образцов (опытных партий) — литеры «О<sub>1</sub>», «О<sub>2</sub>», «О<sub>3</sub>», «О<sub>4</sub>» и т. д., после проведения установочной серии — литера «А», установившегося серийного или массового производства — литера «Б».

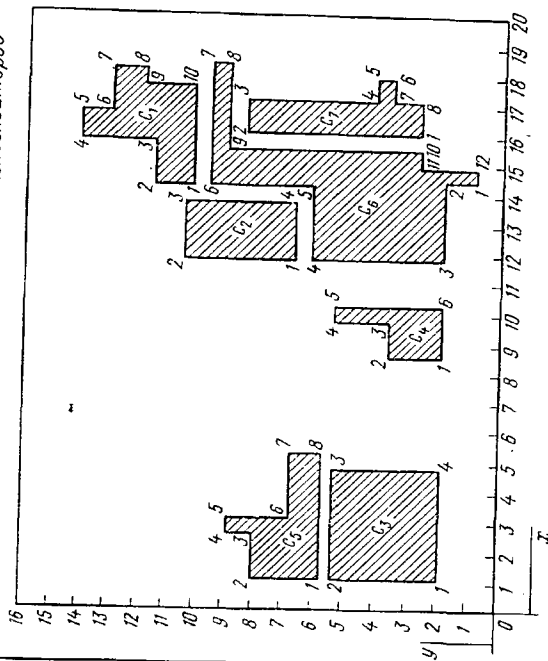
По мере необходимости на процесс изготовления, сборки и герметизации ИМС разрабатывается вспомогательная технологическая документация, к которой относятся: перечень технологической документации (ПТД); ведомость оборудования (ВО); ведомость инструмента, оснастки и тары (ВИ).

Перечень разрабатываемых основной и вспомогательной технологической

### Стадии разработки и литерность технологических документов

Стадии разработки	Вид технологической документации	Литерность технологических документов	Применение формы технологических документов
Проектирование	Эскизный проект Технический проект	«Э» «Т»	ТИ ТИ и другие формы СТД по усмотрению разработчика
Опытное производство	Рабочая документация опытного образца (опытной партии)	«О <sub>1</sub> », «О <sub>2</sub> », «О <sub>3</sub> », «О <sub>4</sub> » и т. д. при последующих изготовлении и испытаниях опытного образца и соответствующей корректировке технологической документации для условий серийного производства	Формы и положения СТД по усмотрению разработчика в объеме, необходимом для организации серийного производства
Установившееся серийное или массовое производство	Документация установочной серии	«А»	Документы и СТД, оформленные в виде основного или полного комплекта. Допускается сокращенное заполнение форм СТД

Вид на слои с верхними обкладками конденсаторов



Обозначение элемента	Номер детали	Координата, мм	
		X	Y
C <sub>3</sub>	1	1,02	1,79
	2	1,02	5,51
	3	4,74	5,51
	4	4,74	1,79
C <sub>5</sub>	1	1,02	5,88
	2	1,02	8,08
	3	2,56	8,08
	4	2,56	8,97
	5	2,95	8,97
	6	2,95	6,92
	7	5,25	6,92
	8	5,25	5,88
C <sub>4</sub>	1	8,46	1,79
	2	8,46	3,72
	3	9,61	3,72
	4	9,61	5,51
	5	10,3	5,51
	6	10,3	1,79
C <sub>6</sub>	1	14,49	0,77
	2	14,49	1,79
	3	11,67	1,79
	4	11,67	6,41
	5	14,10	6,41
	6	14,10	10,0
	7	18,20	10,0
	8	18,20	9,34
	9	15,38	9,34
	10	15,38	2,82
	11	14,74	2,82
	12	14,74	0,77

Стадии разработки	Вид технологической документации	Литерность технологических документов	Применение форм технологических документов
	Документация установившегося серийного или массового производства	«Б»	Документы по СТД, оформленные в виде основного или полного комплекта

документации и литерность документов определяются конкретным видом технологического процесса и стадией разработки.

Формы, комплектность и правила заполнения форм технологических документов, разрабатываемых на продукцию основного производства предприятиями, проектирующими и изготовляющими изделия электронной техники, приведены в ОСТ 11 ГО.040.006—73.

### ПРИЛОЖЕНИЕ III

#### Перечень основных стандартов на ИМС

1. ОСТ 11.073.002—75. Микросхемы интегральные гибридные. Подложки и платы.
2. ОСТ 11.073.042—75. Микросхемы интегральные. Габаритные чертежи.
3. ГОСТ 17.467—79. Микросхемы интегральные. Основные размеры.
4. ГОСТ 18472—78. Приборы полупроводниковые. Корпуса. Габаритные и присоединительные размеры.
5. ОСТ 11.073.011—75. Микросхемы интегральные. Корпуса. Общие технические условия.
6. ОСТ 11.0.000.028—73. Микросхемы интегральные. Правила выполнения конструкторской документации.
7. ОСТ 11.073.063—76. Микросхемы интегральные. Выбор и определение допустимых значений параметров, действующих технологических факторов при производстве РЭА на ИМС.
8. ГОСТ 17021—75. Микросхемы интегральные. Термины и определения.
9. ОСТ 11.073.915—80. Микросхемы интегральные. Классификация и система условных обозначений.
10. ОСТ 11.073.909—78. Микросхемы интегральные. Ленты-носители. Конструкция и размеры.
11. ОСТ 11.730.900—77. Микросхемы интегральные. Рамки выводные. Конструкция: размеры и технические требования.
12. Стандарт СЭВ. СТ СЭВ 299—76. Микросхемы интегральные для устройств широкого применения. Общие технические требования. Методы испытаний и правила приемки.
13. Стандарт СЭВ. СТ СЭВ 1624—79. Микросхемы интегральные. Ряд питающих напряжений.
14. ГОСТ 21392—79. Изделия электронной техники для устройства широкого применения: механические и климатические воздействия. Классификация по условиям применения.
15. ОСТ 4.ГО.010.009. Аппаратура радиоэлектронная. Блоки и ячейки на микросборках и микросхемах. Конструирование.
16. ОСТ 4.ГО.010.043. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах. Микросборки. Установка бескорпусных элементов и микросхем. Конструирование.

17. ОСТ 4.ГО.010.202. Микросборки СВЧ-диапазона. Конструирование.
18. ОСТ 4.ГО.010.203. Микросборки СВЧ-диапазона. Корпуса. Элементы типовых конструкций. Конструирование.
19. ОСТ 4.ГО.014.000. Покрытия металлические и неметаллические органические. Выбор. Область применения и свойства.
20. ОСТ 4.ГО.014.002. Покрытия лакокрасочные. Классификация. Выбор. Свойства. Область применения.
21. ОСТ 4.ГО.029.003. Материалы полимерные для герметизации изделий радиоэлектронной аппаратуры.
22. ОСТ 4.ГО.029.204. Клеи. Выбор, свойства и область применения.
23. ОСТ 4.ГО.029.207. Материалы неорганические (стекло, керамика, ситаллы). Руководство по выбору.
24. ОСТ 4.ГО.054.014. Узлы и блоки РЭА на ИМС. Типовые технологические процессы сборки.
25. ОСТ 4.ГО.054.204. Микросборки тонкопленочные. Типовые технологические процессы.
26. ОСТ 4.ГО.054.208. Микросборки СВЧ-диапазона. Сборка и герметизация. Типовые технологические процессы.
27. ОСТ 4.ГО.054.210. Склеивание металлических и неметаллических материалов. Типовые технологические процессы.
28. ОСТ 4.ГО.054.213. Герметизация изделий радиоэлектронной аппаратуры полимерными материалами. Типовые технологические процессы.
29. ОСТ 4.ГО.054.230. Пластмассы. Изготовление изделий методами прессования и пресс-литья. Типовые технологические процессы.
30. ОСТ 4.ГО.054.240. Микросборки. Платы толстопленочные. Типовые технологические процессы.
31. ОСТ 4.ГО.054.241. Микросборки. Герметизация сваркой. Типовые технологические процессы.
32. ОСТ 4.ГО.070.026. Изделия электронной техники и микросборки для радиоэлектронной аппаратуры, разрабатываемой на базе комплексной миниатюризации. Общие технические требования.
33. ОСТ 4.ГО.071.200. Автоматизированная система технологического проектирования. Основные положения.
34. ОСТ 4.ГО.073.203. Микросборки корпусные. Конструирование. Обеспечение тепловых режимов.
35. ОСТ 4.ГО.091.273. Система автоматизированного проектирования. Информационная база. Микросборки. Язык и формы описания исходной информации для проектирования.
36. ОСТ 4.ГО.054.241. Микросборки. Герметизация сваркой. Типовой технологический процесс.
37. ОСТ 4.ГО.054.059. Герметизация малогабаритных изделий в металло-стеклянных корпусах электродуговой сваркой в защитных газах. Типовой технологический процесс.
38. ОСТ 4.ГО.054.213. Герметизация изделий РЭА полимерными материалами. Типовой технологический процесс.
39. ОСТ 11.054.271—80. Изделия электронной техники. Герметизация лазерной сваркой. Типовой технологический процесс.
40. ОСТ 4.ГО.054.036—78. Композиции токопроводящие и поглощающие полимерные. Покрытие и склеивание. Типовой технологический процесс.
41. ГОСТ 9.047—75. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий.
42. ГОСТ 19789—80. Микросхемы интегральные аналоговые. Основные параметры.
43. ГОСТ 17447—72. Микросхемы интегральные для цифровых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики. Основные параметры.
44. ГОСТ 24403—80. Микросхемы интегральные оптоэлектронные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
45. ГОСТ 22565—77. Микросхемы интегральные. Запоминающие устройства и элементы запоминающих устройств. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров.



46. ГОСТ 19480—74. Микросхемы интегральные. Электрические параметры. Термины, определения и буквенные обозначения.

47. ГОСТ 23089—78. Микросхемы интегральные. Методы измерения электрических параметров операционных усилителей. Общие положения.

48. ГОСТ 5458—75. Материалы керамические радиотехнические. Технические условия.

49. ГОСТ 13927—80. Материалы пьезокерамические. Технические условия.

50. ГОСТ 19604—74. Бор трехбромистый особой чистоты. Технические условия.

51. ГОСТ 19670—74. Фосфор треххлористый особой чистоты. Технические условия.

52. ГОСТ 24354—80. Приборы полупроводниковые визуального представления информации. Основные размеры.

53. ГОСТ 24352—80. Излучатели полупроводниковые. Основные параметры.

54. ГОСТ 23622—79. Элементы логических интегральных микросхем. Основные параметры.

55. ГОСТ 23448—79. Диоды полупроводниковые излучающие. Основные размеры.

56. ГОСТ 23547—79. Коммутаторы оптоэлектронные. Основные параметры.

57. ГОСТ 15172—70. Транзисторы. Перечень основных и справочных параметров.

58. ГОСТ 15605—70. Диоды полупроводниковые. Перечень основных и справочных электрических параметров.

59. ГОСТ 21322—75. Изделия электронной техники для устройств широкого применения. Механические и климатические воздействия. Классификация по условиям применения.

60. ГОСТ 21518—76. Изделия электронной техники производственно-технического назначения и народного потребления. Требования к сохраняемости и методы испытаний.

61. Единая система программной документации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Пономарев М. Ф. Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА. — М.: Радио и связь, 1982.
2. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. — М.: Советское радио, 1980.
3. Ермолаев Ю. П., Пономарев М. Ф., Крюков Ю. Г. Конструкция и технология микросхем. — М.: Советское радио, 1980.
4. Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе/Под ред. Б. Ф. Высоцкого. — М.: Радио и связь, 1981.
5. Фомин А. В., Боченков Ю. И., Сорокопуд В. А. Технология, надежность и автоматизация производства БГИС и микросборок. — М.: Радио и связь, 1981.
6. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем. — М.: Энергия, 1977.
7. Ефимов И. Е., Горбунов Ю. И., Козырь И. Я. Микроэлектроника. — М.: Высшая школа, 1977, 1978.
8. Гребен А. Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. — М.: Энергия, 1976.
9. Остапенко Г. С. Аналоговые полупроводниковые интегральные микросхемы. — М.: Радио и связь, 1981.
10. Курносоев А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. — М.: Высшая школа, 1979.
11. Николаев И. М., Филинчук Н. А. Микроэлектронные устройства и основы их проектирования. — М.: Энергия, 1979.
12. Малышева И. А. Технология производства микроэлектронных устройств. — М.: Энергия, 1980.
13. Интегральные схемы на МДП-приборах/Пер. с англ. под ред. А. Н. Кармазинского. — М.: Мир, 1975.
14. Волков В. А. Сборка и герметизация микроэлектронных устройств. — М.: Радио и связь, 1982.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>ЧАСТЬ I. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Конструирование и технология полупроводниковых ИМС на биполярных транзисторах . . . . .</b>	<b>11</b>
§ 1.1. Элементы полупроводниковых ИМС на биполярных транзисторах . . . . .	11
§ 1.2. Изоляция элементов и технологические процессы производства ИМС . . . . .	28
§ 1.3. Конструирование и расчет параметров элементов ИМС на биполярных транзисторах . . . . .	34
§ 1.4. Разработка топологии ИМС . . . . .	45
<b>Глава 2. Конструирование и технология полупроводниковых ИМС на униполярных транзисторах . . . . .</b>	<b>56</b>
§ 2.1. Механизм работы и классификация МДП-транзисторов . . . . .	56
§ 2.2. Особенности использования МДП-транзистора как типового схемного элемента ИМС . . . . .	58
§ 2.3. Технологические процессы производства МДП-ИМС . . . . .	59
§ 2.4. Основные параметры МДП-структур и МДП-транзисторов . . . . .	61
§ 2.5. Режимы работы и связь между конструктивными и электрическими параметрами МДП-транзисторов в цифровых ИМС . . . . .	66
§ 2.6. Конструирование транзисторов и топологии кристалла МДП-ИМС . . . . .	75
§ 2.7. Порядок расчета конструктивных и электрических параметров элементов МДП-ИМС . . . . .	83
<b>ЧАСТЬ II. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ . . . . .</b>	<b>89</b>
<b>Глава 3. Конструирование и технология тонкопленочных ГИС . . . . .</b>	<b>89</b>
§ 3.1. Подложки тонкопленочных ГИС . . . . .	89
§ 3.2. Материалы элементов тонкопленочных ГИС . . . . .	91
§ 3.3. Методы формирования конфигураций элементов тонкопленочных ГИС . . . . .	98
§ 3.4. Компоненты ГИС . . . . .	101
§ 3.5. Конструктивные и технологические ограничения при проектировании тонкопленочных ГИС . . . . .	112
§ 3.6. Расчет конструкций элементов тонкопленочных ГИС . . . . .	117
§ 3.7. Разработка топологии тонкопленочных ГИС . . . . .	134
<b>Глава 4. Конструирование и технология толстопленочных ГИС . . . . .</b>	<b>137</b>
§ 4.1. Платы толстопленочных ГИС . . . . .	137
§ 4.2. Пасты для толстопленочных ГИС . . . . .	138
§ 4.3. Основные технологические операции изготовления толстопленочных ГИС . . . . .	141
§ 4.4. Разработка топологии толстопленочных ГИС . . . . .	146
§ 4.5. Конструктивный расчет элементов толстопленочных ГИС . . . . .	151

ЧАСТЬ III. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ . . . . .	155
Глава 5. Конструктивные и технологические методы обеспечения требований к ИМС . . . . .	155
§ 5.1. Технические условия на ИМС . . . . .	155
§ 5.2. Конструктивные меры защиты ИМС от воздействия дестабилизирующих факторов . . . . .	157
§ 5.3. Обеспечение тепловых режимов работы ИМС . . . . .	173
§ 5.4. Обеспечение влагозащиты ИМС . . . . .	179
Глава 6. Автоматизация конструирования ИМС . . . . .	184
§ 6.1. Специализированная система автоматического проектирования топологии ИМС . . . . .	184
§ 6.2. Работа с системой «Кулон» . . . . .	190
§ 6.3. Использование ЭВМ для расчета элементов ГИС . . . . .	192
Приложения . . . . .	207
Приложение I. Примеры выполнения конструкторских документов . . . . .	207
Приложение II. Состав и literность технологических документов . . . . .	225
Приложение III. Перечень основных стандартов на ИМС . . . . .	226
Список литературы . . . . .	229