

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИС МЕТОДОМ  
ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Методические указания  
к лабораторной работе 32

Куйбышев 1990

Составители: А.В.Волков,  
В.Д.Дмитриев, Т.С.Калугина

УДК 621.382.049

Изучение технологии изготовления пассивных элементов ГИС методом термического напыления в вакууме :  
Метод. указ. к лаб. раб. 32 /Куйбышев. авиац. ин-т;  
Сост. А.В.Волков, В.Д.Дмитриев, Т.С.Калугина. Куйбышев, 1990. 20 с.

Приводятся сведения о материалах для испарителей, технологических процессах подготовки испарителей, навесок и масок к напылению. Описаны технологические процессы изготовления тонкопленочных резисторов, конденсаторов и проводников пассивных элементов ГИС, а также анализируется связь технологического процесса напыления с параметрами тонкопленочных элементов.

Рекомендуются студентам специальности 23.03 при изучении курса "Конструкции и технология микросхем и микропроцессоров".

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени  
авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензенты: Н.И.Полунин, В.И.Бояринцев

Ц е л ь   р а б о т ы: ознакомление с материалами для испарителей и изучение технологических процессов подготовки испарителей, навесок и масок к напылению, а также изготовление тонкопленочных резисторов, конденсаторов и проводников пассивных элементов ГИС.

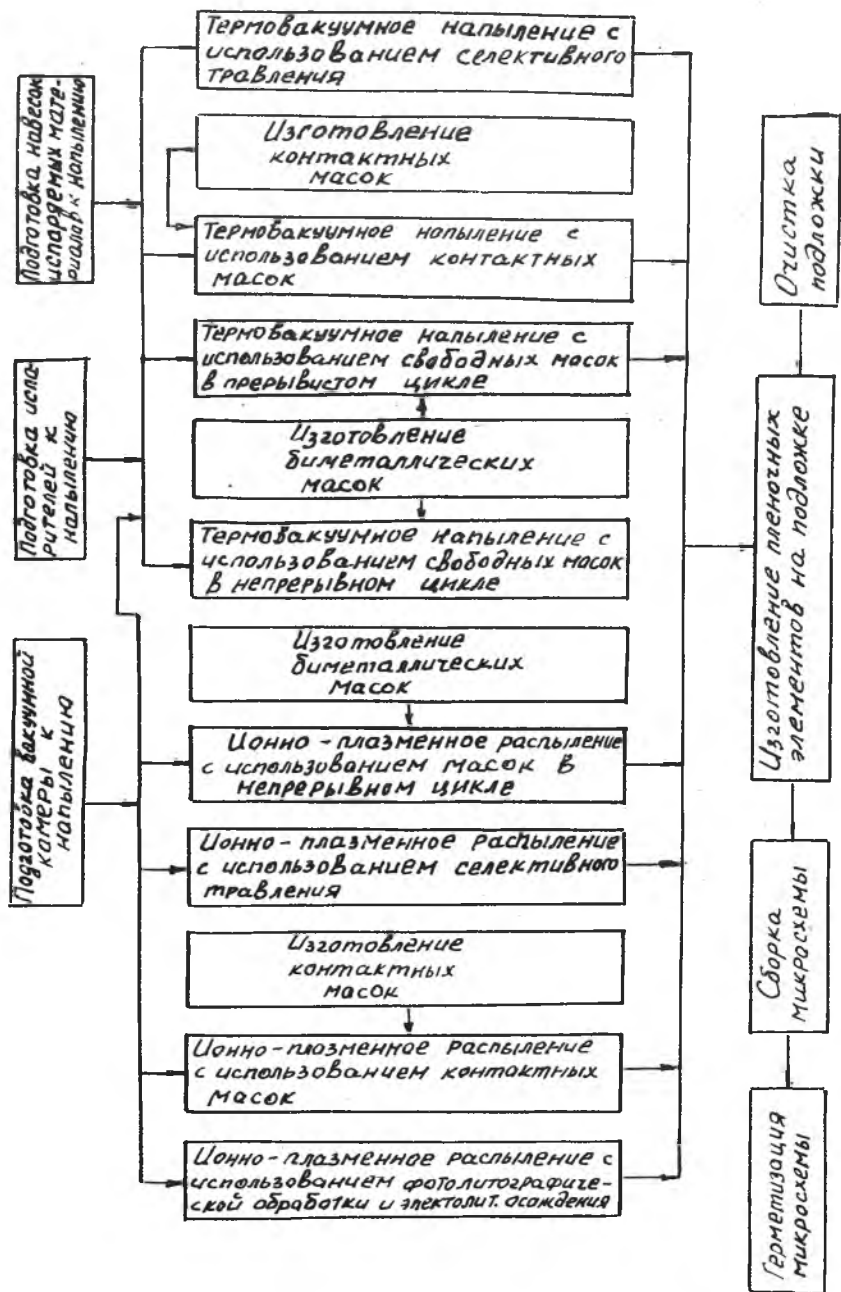
#### З а д а н и я:

1. Ознакомиться с материалами и конструкциями испарителей.
2. Изучить технологические процессы подготовки испарителей, навесок и масок к напылению.
3. Изучить технологический процесс изготовления тонкопленочных элементов ГИС.
4. Изучить параметры термовакuumного напыления и способы формирования заданной конфигурации тонкопленочных элементов.
5. Выбрать материалы и конструкции испарителей.
6. Напылить резистивные, диэлектрические и проводящие пленки.
7. Измерить геометрические размеры и номиналы тонкопленочных элементов.
8. Провести анализ связи технологического процесса напыления материалов и параметров тонкопленочных элементов.

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

##### 1.1. Методы осаждения и формирования резистивных, проводящих и диэлектрических пленок

Тонкие проводящие, резистивные и диэлектрические пленки могут быть получены различными методами вакуумной технологии (рис. 1): термическое напыление, катодное распыление, ионно-плазменное распыление



Р и с. 1. Методы и основные этапы технологического процесса изготовления гибридных интегральных микросхем частного применения

и др. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки. Выбор способа осаждения материалов и формирования конфигурации пленок при производстве гибридных интегральных микросхем определяется в основном возможностью получения всех тонкопленочных элементов с высокими конструктивными и эксплуатационными характеристиками и малой трудоемкостью. В настоящее время наиболее универсальным и широко освоенным промышленностью методом является вакуумное термическое осаждение через съёмные (свободные) маски.

## 1.2. Условия термовакuumного напыления

При термовакuumном напылении вещество, подлежащее осаждению на поверхности подложки, помешают в устройство нагрева (испаритель), где оно при достаточной температуре интенсивно испаряется. В вакууме, который создается внутри камеры установки, молекулы вещества свободно и быстро распространяются в окружающее пространство, достигая, в частности, поверхности подложки. Если температура подложки не превышает критического значения, происходит конденсация вещества на подложке, т.е. рост пленки. На начальном этапе испарения во избежание загрязнения пленки за счет примесей, адсорбированных поверхностью испаряемого вещества, для вывода испарителя на рабочую температуру используется заслонка, временно перекрывающая поток вещества на подложку. В зависимости от функционального назначения пленки в процессе осаждения контролируется время напыления, толщина, электрическое сопротивление или какой-либо другой параметр. По достижении заданного значения параметра заслонка вновь перекрывает поток вещества, и процесс роста пленки на подложке прекращается. Нагрев подложки перед напылением способствует десорбции загрязнений с поверхности, а в процессе осаждения создает условия для улучшения структуры растущей пленки. Непрерывно работающая система откачки поддерживает вакуум порядка  $10^{-4}$  Па.

Эффективность процесса напыления определяется малым временем осаждения и равномерностью толщины пленки по поверхности подложки. В соответствии с этим должны быть обеспечены: интенсивное испарение вещества из испарителя, прямолинейное движение молекул вещества преимущественно на подложку, интенсивный и равномерный рост пленки по поверхности подложки. Следовательно, процесс термического вакуумного напыления целесообразно представить в виде трех последовательных стадий: испарение вещества, перенос атомов вещества к подложке и конденсация.

Испарение вещества. Испарение вещества с поверхности имеет место при любой температуре, отличной от абсолютного нуля. Наибольшую вероятность покинуть поверхность вещества имеют наиболее "нагретые", т.е. обладающие наибольшей энергией, молекулы (атомы). С повышением температуры средняя энергия молекул возрастает и на поверхности увеличивается с число молекул, энергия которых превышает энергию связи с другими молекулами. Процесс испарения становится равновесным, когда число молекул, покидающих поверхность вещества, равно числу молекул, возвращающихся в вещество. Давление пара  $P_S$ , соответствующее равновесному состоянию системы, называется давлением насыщенного пара, или его упругостью. Температуру вещества, при которой  $P_S = 1,33$  Па, называют условной температурой испарения  $T_{усл}$ . Для некоторых материалов условная температура испарения ниже температуры плавления (табл. 1), т.е. эти материалы достаточно интенсивно испаряются из твердого состояния (сублимация).

Т а б л и ц а I  
Температуры плавления и испарения некоторых элементов и соединений

Элемент, соединение	$t_{пл}, ^\circ C$	$t_{усл}, ^\circ C$	Элемент, соединение	$t_{пл}, ^\circ C$	$t_{усл}, ^\circ C$
<i>Ag</i>	961	1047	<i>Ni</i>	1455	1510
<i>Al</i>	660	1150	<i>Si</i>	1415	1342
<i>Au</i>	1063	1485	<i>Ti</i>	1725	1546
<i>Cd</i>	321	264	<i>W</i>	3382	3309
<i>Cz</i>	1800	1205	<i>Zn</i>	419	313
<i>Cu</i>	1083	1273	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2030	1800
<i>Ge</i>	959	1251	<i>SiO</i>	-	1025
			<i>SiO<sub>2</sub></i>	1730*	1230

Осаждение вещества на поверхность подложки возможно лишь за счет неравновесного процесса испарения, т.е. пары вещества должны интенсивно отводиться от испарителя и конденсироваться на относительно холодной поверхности. При этом молекулы вещества удаляются из испарителя с определенной скоростью

$$\omega = C(P_s - P)/P_0,$$

где  $\omega$  - скорость испарения (количество вещества в граммах, покидающее  $2 \text{ см}^2$  свободной поверхности за 1 с);  $C$  - постоянный коэффициент;  $P_s$  - упругость пара;  $P$  - истинное (неравновесное) давление пара;  $P_0$  - давление окружающего газа.

Из этого выражения следует, что чем выше давление окружающего газа, тем ниже скорость рассасывания пара в окружающее пространство, а следовательно, и скорость испарения. Следует отметить, что с технологической точки зрения важнее знать скорость конденсации паров на подложке, чем скорость испарения материала.

Перенос атомов вещества к подложке. Высокий коэффициент использования испаряемого материала можно получить при прямолинейном и направленном движении молекул испаряемого вещества к подложке. Это особенно важно при осаждении драгоценных металлов, сплавов и соединений на основе редкоземельных элементов, потому что повышает скорость роста пленки на подложке.

Прямолинейные траектории молекул вещества (молекулярный поток) характеризуются средней длиной свободного пробега молекул, которая определяется степенью вакуума в камере установки (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Зависимость средней длины  $\lambda$  свободного пробега атомов (молекул) от степени давления  $P$  газов

$P, \text{ Па}$	$\lambda, \text{ м}$	Степень вакуума
101325	$6,21 \cdot 10^{-8}$	Низкая
$1,333 \cdot 10^2$	$4,72 \cdot 10^{-5}$	
$1,333 \cdot 10^1$	$4,72 \cdot 10^{-4}$	
1,333	$4,72 \cdot 10^{-3}$	
$1,333 \cdot 10^{-1}$	$4,72 \cdot 10^{-2}$	Средняя
$1,333 \cdot 10^{-2}$	$4,72 \cdot 10^{-1}$	

$P, \text{Па}$	$\lambda, \text{м}$	Степень вакуума
$1,333 \cdot 10^{-3}$	4,72	Высокая
$1,333 \cdot 10^{-4}$	$4,72 \cdot 10^1$	
$1,333 \cdot 10^{-5}$	$4,72 \cdot 10^2$	

В случае  $\lambda > \frac{1}{2}$  ( $\frac{1}{2}$  - расстояние от испарителя до подложки) молекулярный поток вещества достигает поверхности подложки без столкновения с молекулами остаточного газа. С учетом реального расстояния  $\frac{1}{2}$  в производственных вакуумных установках давление в камере должно составлять не более  $10^{-3}$  Па.

Для повышения чистоты осаждаемой пленки (отсутствия химического взаимодействия с остаточными газами и адсорбции их растущей пленкой) требуется более глубокий вакуум. Однако экономичным в производственных условиях является вакуум  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  Па, который достигается относительно простыми средствами откачки за 1...1,5 ч.

Конденсация вещества на подложке. Процесс осаждения вещества на подложке состоит из двух этапов: начального - с момента адсорбции первых атомов (молекул) вещества подложкой до момента образования сплошного покрытия и завершающего, на котором происходит рост пленки до заданной толщины.

Условия, в которых протекает начальный этап, имеют определяющее значение для структуры полученной пленки, прочности ее сцепления с подложкой, времени формирования пленки. Атомы вещества движутся к подложке со скоростями порядка сотен-тысяч метров в секунду. Например, атомы алюминия при испарении с температурой 1500 К имеют среднюю скорость около 1100 м/с и среднюю энергию 0,2 эВ. При столкновении с подложкой атом передает ей часть энергии, причем доля этой энергии тем меньше, чем выше температура подложки. Обладая некоторым избытком энергии, атом вещества некоторое время перемещается (мигрирует) по поверхности подложки, теряя постепенно энергию и стремясь к тепловому равновесию с подложкой, т.е. происходит адсорбированное состояние. После соударения атомов с подложкой может происходить адсорбция с формированием мелкозернистой или крупнозернистой структуры или вторичное испарение. Для каждого вещества существует критическая температура подложки, выше которой атомы



потока полностью отражаются от подложки. Если плотность потока высока и температура подложки относительно низка, то вероятность вторичного испарения уменьшается, а вероятность встречи атомов на подложке увеличивается. При этом атомы образуют группы из двух и более атомов, которые и являются центром кристаллизации (зародышем). Дальнейший рост зародышей происходит за счет присоединения к ним вновь адсорбированных атомов, а также за счет непосредственного осаждения атомов на поверхность зародыша. Разрастаясь, отдельные островки-зародыши сливаются, постепенно образуя сплошную пленку. На завершающем этапе происходит рост сплошной пленки, и от поверхности пленки атомы практически не отражаются.

Крупнозернистая структура пленки устойчива к колебаниям температуры в процессе эксплуатации. Мелкозернистые пленки при повышенных рабочих температурах эксплуатации рекристаллизуются что ведет к не обратимому изменению электрофизических параметров. Поэтому резистивные и проводящие пленки напыляют на нагретые до 150...350<sup>0</sup>С подложки.

### 1.3. Испарители для термического вакуумного напыления

Конструкции испарителей должны обеспечивать стабильность потока вещества во времени и достаточно равномерную плотность потока атомов в поперечном сечении. Материал должен нагреваться с наименьшими затратами и потерями энергии, т.е. быть экономичным даже при низкой теплопроводности испаряемого материала и плохом тепловом контакте его с испарителем. В конструкции испарителя должна учитываться исходная форма испаряемого материала (проволочка, гранулы, порошок), его емкость должна быть достаточной для выполнения цикла многопозиционной обработки или непрерывного процесса напыления. Материалы нагревателя и держателя испаряемого вещества не должны взаимодействовать с испаряемым материалом с образованием летучих химических соединений, должны иметь более высокую температуру испарения.

При термическом вакуумном напылении испаряемые материалы нагреваются прямым или косвенным путем: при прямом нагреве – за счет непосредственного пропускания через материал тока (резистивный нагрев), индукционным способом или электронной бомбардировкой; при косвенном нагреве – за счет теплопередачи от испарителя.

Простейшими являются проволочные и ленточные испарители различных конструкций (рис. 2). Испарители из ленточного (листового) материала обычно изготавливают из тантала или молибдена толщиной 0,25 мм. Они используются для навесок до нескольких граммов, а также в случае плохой смачиваемости. Испарители в виде тиглей (см. рис. 2) применяют, если необходимо загружать большие количества материала (несколько граммов и более). Материал тигля подбирают в зависимости от испаряемого материала (табл. 3).

Т а б л и ц а 3  
Рекомендуемые материалы испарителя

Испаряемый материал	Материал испарителя		Испаряемый материал	Материал испарителя	
	проволоки, ленты	тигля		проволоки, ленты	ТИГЛЯ
<i>Ag</i>	<i>Mo, Ta</i>	<i>Mo, C</i>	<i>Ce</i>	<i>W, Mo, Ta</i>	<i>W, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
<i>Al</i>	<i>W</i>	<i>C, BN, TiB<sub>2</sub>-BN</i>	<i>Ni</i>	<i>W</i>	<i>ОКСИДЫ</i>
<i>As</i>	<i>W, Mo</i>	<i>Mo, C</i>	<i>Si</i>	—	<i>BeO, ZnO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, C</i>
<i>Cd</i>	<i>W, Mo, Ta, Ni, Fe</i>	<i>Металлы</i>	<i>Zn</i>	<i>W, Ta, Ni</i>	<i>FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, Mo</i>
<i>Cz</i>	<i>W, Ta</i>	<i>—</i>			
<i>Cu</i>	<i>W, Mo, Ta</i>	<i>Mo, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Sb</i>	<i>Mo, Ta, Ni</i>	<i>Металлы, ОКСИДЫ, BN, C</i>

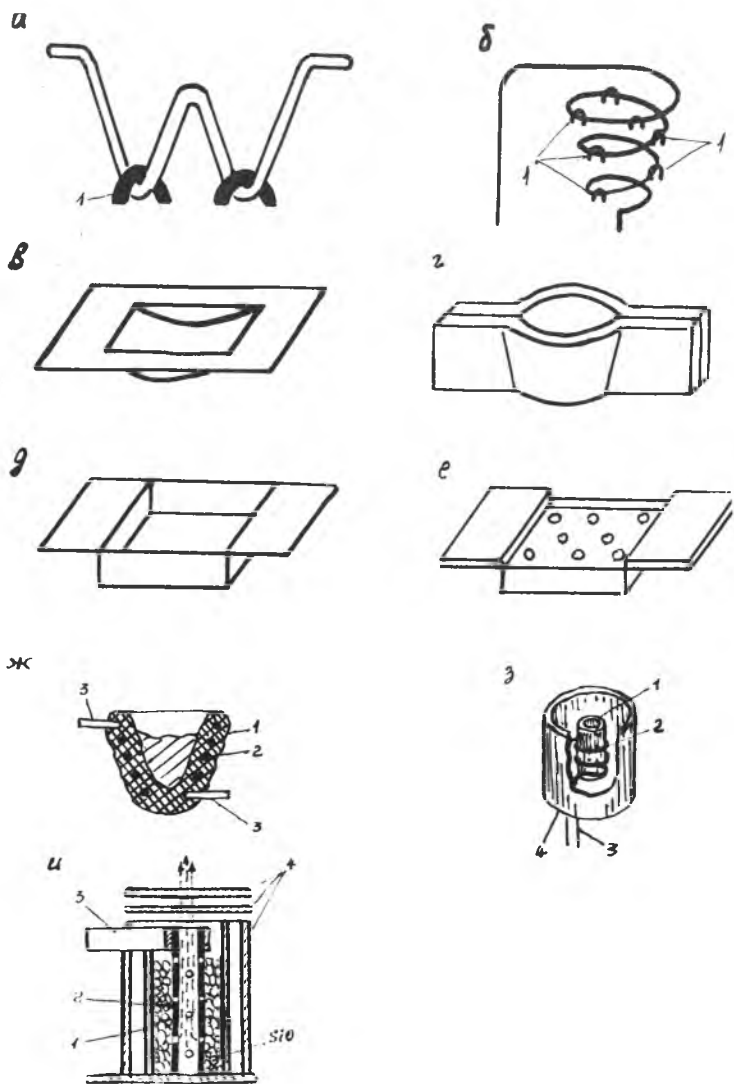
Максимально допустимые (рабочие) температуры [°C] некоторых материалов тиглей следующие:

*Mo* 1820, *BeO* 1900, *Ta* 2240, *ZrO<sub>2</sub>* 2200, *W* 2410, *ThO<sub>2</sub>* 2500, *SiO<sub>2</sub>* 1400 (кварцевое стекло), *C* 3000 (графит), *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* 1900.

Подготовительные работы перед процессами напыления вещества

Перед напылением материалов должны быть выполнены работы по подготовке испарителей материалов (навесок), масок, работы очистке подложек, по подготовке вакуумных установок к процессу напыления.

Технологические процессы подготовки вакуумной установки, испарителей, материалов (навесок) и масок перед напылением приведены в приложении.



Р и с. 2. Теплоизоляция: а, б — проволочное (1 — навески соответствующего материала); в, г, д, е — ленточные; ж, з, и — ячеистые (1 — панель, 2 — направляющая, 3 — теплопод, 4 — тепловое экран)

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Технологический процесс изготовления пассивных элементов интегральной микросхемы с использованием вакуумной установки типа УВН-2М-1 приведен в табл. 4.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема технологического процесса изготовления пассивных элементов гибких интегральных схем (ГИС).
2. Таблица режимов изготовления пленочных элементов.
3. Эскизы пленочных элементов, их геометрические размеры и параметры.
4. Результаты анализа связи технологического процесса напыления и параметров тонкопленочных элементов.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каких условиях протекает процесс испарения материалов? Сравните низкий, средний и высокий вакуум.
2. Поясните процесс испарения материалов в вакууме. Объясните процессы плавления, сублимации. Как влияют температура, скорость испарения и давление паров на процесс испарения?
3. Какова связь между длиной свободного пробега молекул и степенью вакуума в камере установки?
4. Объясните теорию конденсации и формирования тонких пленок.
5. В чем состоит сущность методов свободной и контактной маски и в каких случаях эти методы применяются?
6. Каков порядок и содержание операций при напылении тонкопленочных элементов?
7. Каковы особенности испарения материалов, использованных в работе?
8. Каковы технологические режимы напыления пленок резисторов, конденсаторов и проводников?
9. Какая взаимосвязь существует между условиями напыления и электрическими параметрами тонких пленок?

## Напыление конденсаторов и резисторов на установке УВН-2М-1

Номер пере-ходов	Содержание операций	Оборудование, приспособление, инструмент	Материалы	Режимы		Дополнительные указания
				ток, А	время, мин	
1.	Загрузить испарители навесками испаряемых материалов	Установка вакуумного напыления типа УВН-2М-1, плавцет	Материал навески			Масса навески для одного испарителя 0,5 ± 0,005
2.	Установить подложки, маски и контрольную плату ("свидетель") на карусель установки	Подложкодержатели, маскодержатели	Алюминий Монокислородмангия Хром Нихром Ванадий			0,1 ± 0,01 0,9 ± 0,1 0,9 ± 0,1 0,9 ± 0,1
3.	Создать вакуум в камере					Давление в камере от 6,65 до 10,64 Па
4.	Произвести ионную очистку подложек	Часы сигнальные		От 0,2 до 10 от 0,22 до 15		
5.	Создать вакуум в камере					Давление в камере не выше 0,00399 Па
6.	Нагреть подложки и выдержать при температуре	Часы сигнальные				Температура подложек 250 ± 10°C

Номер пере-ходов	Содержание операций	Оборудование, приспособление, инструмент	Материалы	Режимы		Дополнительные указания
				ток, А	время, мин	
7.	Совместить подложкодержатель с маслосдержателем на позиции напыления хрома (нихрома, ванадия)			120±10 220±20 270±20	2±0,5 2±0,5 2±0,5	Хром Нихром Ванадий
8.	Подать ток через испаритель	Секундомер		120±10 220±20 270±20	2±0,5 2±0,5 2±0,5	Хром Нихром Ванадий
9.	Слаблизировать режим напыления					
10.	Прогнать напыление	Омметр				Производить для заданного значения сопротивления пленки, определяемого с помощью контрольной платы. При использовании напыляемых слоев в качестве подслоя сопротивление пленки должно быть от 150 до 400 Ом/кв.см
11.	Завести ток через испаритель					Температура подложки 110±10°C
12.	Нагреть подложки					
13.	Совместить подложкодержатель с маслосдержателем на позиции напыления ручных образцов и проволочков					Переходы 13-17 повторить для всех подложек

Продолжение табл. 4

Номер пере-ходов	Содержание операций	Оборудование, приспособление инструмент	Материалы	Режимы		Дополнительные указания
				ток, А	время, мин	
14.	Подавать ток через испаритель алюминия	Секундомер		От 300 до 350	0,5+0,1	
15.	Стабилизировать режим напыления				0,5+0,1	За состоянием навески наблюдать в зеркало
16.	Произвести напыление					До полного испарения навески
17.	Вывести ток через испаритель					
18.	Сместить подложку-держатель с маскодержателем на позицию напыления диэлектрического слоя					Переходы 18-23 повторить для всех подложек с напыленными нижними оохлаждаемыми конденсатора
19.	Установить на приборе толщину диэлектрического слоя	Прибор типа КИТ-1				Толщина диэлектрического слоя должна быть 0,980 мм
20.	Подавать ток через испаритель монооксида германия	Секундомер		От 120 до 150	2,0+0,5	За состоянием навески наблюдать в зеркало
21.	Стабилизировать режим напыления				1,0+0,2	
22.	Произвести напыление					
23.	Вывести ток через испаритель					По достижении заданной толщины заслонка закрывается автоматически

Номер пере-ходов	Содержание операций	Оборудование, приспособление, инструмент	Мате-риалы	Режимы		Дополнительные указания
				ток, А	время, мин	
24.	Совместить подложкодержатель с маскодержателем на позиции напыления верхних обкладок и недостающих проводников					Переходы 24-29 повторить для всех подложек с напыленным диэлектрическим слоем
25.	Подать ток через испаритель алюминия	Секундомер		От 150 до 200	0,5±0,2	
26.	Стабилизировать режим напыления				0,5±0,02	За состоянием навески наблюдать в зеркало
27.	Произвести напыление					До полного испарения навески
28.	Вывести ток через испаритель					Производить с помощью механизма нагрузки
29.	Загрузить испаритель алюминия навеской					Температура подложек 40±5°C. Давление в камере не выше 0,00266 Па.
30.	Охлаждать подложки					
31.	Развакуумировать камеру					



Окончание табл. 4

Номер пере-хода	Содержание операций	Оборудование, приспособление, инструмент	Материалы	Режимы		Дополнительные указания
				ток, А	время, мин	
32.	Поместить подложки с напыленными конденсаторами в тару, а тару в эксикатор с селитратом	Тара пеховая Эксикатор	Селитрат гель, Спирт этиловый реактивный технический			Производить в резиновых перчатках или напальчниках, протертых спиртом
33.	Проверить внешний вид напыленных конденсаторов	Микроскоп стереоскопический				Производить при 16-кратном увеличении на соответствие п. 3 "Содержание отчета"

## Библиографический список

1. Парфенов О.Д. Технология микросхем. М.: Высш. шк., 1986. 320 с.
2. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.
3. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.
4. Холопов В.Д. и др. Разработка технологического процесса изготовления гибридных интегральных микросхем /Казанск. авиац. ин-т. Казань, 1977. 88 с.

Подготовка установки УВН-2М-1, УВН-2М-2, УВН-71-Р-2  
к вакуумному напылению

1. Очистить поверхности деталей подколпачного устройства и приспособлений от следов предыдущего напыления:  
очистить детали подколпачного устройства;  
последовательно промыть в бензине и спирте;  
промытые детали протереть чистой бязью.
2. Очистить поверхность экранов и стенки колпачка скальпелем, оставшиеся куски пленки собрать с помощью пылесоса.
3. Очистить подколпачное устройство перед напылением:  
детали протереть бязью, смоченной в спирте;  
тщательно протереть спиртом маскодержатель;  
подготовить испарители;  
протереть спиртом подложкодержатели;  
подготовить маски.
4. Подготовка к напылению: перед герметизацией камеры протереть места вакуумного уплотнения колпака и базовую плиту камеры бязью, смоченной в спирте.

Подготовка испарителей из молибдена, тантала  
и вольфрама перед вакуумным напылением

1. Обезжирить испарители в бензине путем последовательной промывки в двух емкостях (после каждой промывки протирать батистовым тампоном).
2. Сушить на воздухе в течение 5...10 мин до полного высыхания бензина.
3. Обезжирить испарители из молибдена и тантала в водном растворе следующего состава: натр едкий - 20...30 г/л; тринатрийфосфат - 30...50 г/л; углекислый натрий - 20...30 г/л.  
Режим: температура раствора - 70...80°C; время обработки - до 10 мин; плотность загрузки - 1 дм<sup>2</sup>/л (или в пересчете на вес: для тантала - лист толщиной 0,2 мм весом 20 г, для молибдена - лист толщиной 0,2 мм весом 12 г).

4. Промыть испарители из молибдена и тантала горячей водой при температуре 70...80°C в течение 15...20 с для удаления щелочного раствора с поверхности испарителей. Обмен воды - I объем в 2 часа.

5. Промыть испарители из молибдена и тантала проточной холодной водой. Обмен воды - 2 объема в I час. После промывки поверхность испарителей должна полностью смачиваться водой, в противном случае операции обезжиривания и последующих промывок водой следует повторить.

6. Произвести травление в водных растворах следующего состава:

а) для испарителей из молибдена: серная кислота (уд. вес I,84); азотная кислота (уд. вес. I,4); вода дистиллированная - в разных объемных частях.

Режим: температура раствора - 50...60°C, время обработки до I мин; плотность загрузки - 0,5 дм<sup>2</sup>/л (или в пересчете на вес: лист толщиной 0,2 мм весом 6 г);

б) для испарителей из вольфрама калий железосинеродистый - 300 г/л; натр едкий - 45 г/л. Режим: температура раствора - 80...90°C; время обработки - 2...3 мин; плотность загрузки - I дм<sup>2</sup>/л (или в пересчете на вес: проволока диаметром 0,8 мм весом 40 г).

7. Промыть испарители из молибдена и вольфрама проточной горячей водой при температуре 70...80°C с целью удаления с них травильного раствора. Обмен воды - I объем в 2 часа; время промывки - 15...20 с.

8. Промыть испарители из молибдена и вольфрама дистиллированной водой 2...3 раза, каждый раз меняя воду.

9. Промыть испарители ацетоном 2 раза, каждый раз меняя ацетон.

10. Сушить на воздухе до полного высыхания ацетона (0,1 мин).

### Контроль

Все испарители подвергаются контролю визуальным осмотром. После обработки поверхность молибденовых испарителей должна иметь серебристо-белый цвет, танталовых и вольфрамовых - серометаллический. На поверхности испарителей не должно быть видимых пятен, подтеков, следов пальцев.

Подготовка материалов (Ni, Cz, Au, Ag) перед напылением

1. Обезжирить навески материалов в бензине, последовательно промыв в двух емкостях и протерев батистовым тампоном. Плотность загрузки -  $5 \text{ дм}^2/\text{л}$ .
2. Сушить навески на воздухе в течение 5...10 мин до полного высыхания растворителя.
3. Обезжирить навески из никрома и золота в водном растворе следующего состава: натр едкий или калий едкий - 10...20 г/л; углекислый натрий - 50 г/л.  
Режим: температура раствора -  $80...90^\circ\text{C}$ ; время обработки - 5...7 мин; плотность загрузки  $1 \text{ дм}^2/\text{л}$ .
4. Промыть навески из никрома и золота горячей проточной водой при температуре  $70...80^\circ\text{C}$  в течение 15...20 с для удаления травильного раствора. Обмен воды - 1 объем в 2 часа.
5. Промыть навески из никрома и золота проточной водой. Обмен воды - 2 объема в 1 час. Время промывки - до 1 мин. После промывки поверхность навесок должна полностью смачиваться водой. В противном случае операцию обезжиривания и последующих промывок в воде повторить.
6. Произвести травление навесок из никрома в водных растворах состава: серная кислота (уд. вес 1,64); соляная кислота (уд. вес 1,19); вода дистиллированная - в равных объемных частях.  
Режим: температура раствора -  $30...40^\circ\text{C}$ ; время травления - 3...5 с; плотность загрузки -  $3...5 \text{ дм}^2/\text{л}$ .
7. Промыть навески из никрома и алюминия горячей проточной водой при температуре  $50...60^\circ\text{C}$  в течение 15...20 с для удаления с них травильного раствора. Обмен воды - 1 объем в 2 часа.
8. Промыть навески из никрома и алюминия холодной проточной водой. Обмен воды - 2 объема в 1 час, время промывки - до 1 мин.
9. Осветлить навески из алюминия в водном растворе азотной кислоты (уд. вес 1,4) - 50 мл/л.  
Режим: температура раствора -  $18...25^\circ\text{C}$ ; время осветления - 3...5 с; плотность загрузки -  $0,5 \text{ дм}^2/\text{л}$ .
10. Промыть навески из алюминия проточной холодной водой в течение 15-20 с. Обмен воды - 2 объема в 1 час.

II. Промыть навески дистиллированной водой 2...3 раза, каждый раз меняя воду.

12. Сушить навески в сушильном шкафу при температуре 100°C до полного высыхания.

#### Подготовка масок перед напылением

1. Обезжирить маски последовательным погружением на 2...3 мин в две кюветы с растворителем (бензин или трихлорэтилен).

2. Сушить обдувкой холодным воздухом от вентилятора в течение 1...2 мин.

3. Декапировать погружением в 10-процентный раствор серной кислоты на 5...10 с до полного удаления окислов.

4. Промыть тщательно холодной водой в течение 2...3 мин.

5. Промыть холодной дистиллированной водой в течение 1 мин.

6. Погрузить в кювету с ацетоном или бензином на 5...10 с с целью предохранения масок от дальнейшего окисления и для ускорения процесса сушки.

7. Сушить холодным воздухом от вентилятора в течение 2...5 мин.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИС МЕТОДОМ  
ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Составители: В о л к о в Алексей Васильевич,  
Д м и т р и е в Василий Дмитриевич,  
К а л у г и н а Татьяна Серафимовна

Редактор Е.Д.А н т о н о в а  
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к  
Корректор Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 11.11.90. Формат 60x84<sup>I</sup>/16  
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.п.л. 1,2. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л.1,0.  
Тираж 500 экз. Заказ № 6261. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева.  
443086. Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Типография им. В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического  
объединения. 443099. Куйбышев, ул. Венцека, 60.