МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**В. Д. Дмитриев, М. Н. Пиганов, С. В. Тюлевин**

# Технология микросборок специального назначения

Электронное учебное пособие

САМАРА

2012

УДК 621.382.8
Д534

Авторы: **Дмитриев Василий Дмитриевич,**
**Пиганов Михаил Николаевич,**
**Тюлевин Сергей Викторович**

Рецензенты: И. В. Лофицкий, к.т.н., доцент кафедры электронных систем и устройств;
Г. Ф. Краснощекова, к.т.н., доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств.

**Дмитриев, В. Д.** Технология микросборок специального назначения [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. Д. Дмитриев, М. Н. Пиганов, С. В. Тюлевин; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,2 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-RW).

Приводятся общие принципы и основные рекомендации, необходимые при разработке технологических процессов для изготовления тонкопленочных плат микросхем и микросборок.

В приложениях пособия приведены типовые технологические процессы изготовления тонкопленочных микросхем и микросборок, характеристики основного оборудования , оснастки и их краткие технико-экономические показатели, перечень и методика расчета норм расхода материалов, применяемых в производстве микросхем и микросборок.

Учебное пособие предназначено для студентов радиотехнического факультета, обучающихся по направлению магистров 211000.68 «Конструирование и технология электронных средств», изучающих дисциплину «Технология микросборок специального назначения» в семестре В.

Электронное учебное пособие разработано на кафедре конструирования и производства радиоэлектронных средств.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....4
1. Классификация методов изготовления пленочных микросхем и микросборок ..... 5
2. Основные этапы технологического процесса изготовления тонкопленочных микросхем и микросборок .....7
3. Особенности организации участка производства микросхем.....13
4. Основные материалы для изготовления тонкопленочных микросхем и микросборок.....14
5. Нормы расхода материалов при производстве микросхем..... 21
Приложения..... 23
Приложение А. Перечень основного оборудования, инструментов, приспособлений и их краткая технико-экономическая характеристика.....23
Приложение Б..... 33
Приложение В. Типовые технологические процессы (ТТП) изготовления микросхем и микросборок .....38
Приложение Г. Пример заполнения технологических карт ..... 75
Приложение Д. Краткий перечень материалов, применяемых при изготовлении микросхем и микросборок ..... 82
Список использованных источников ..... 87

# ВВЕДЕНИЕ

Технология специализированных микросхем, к которым относятся гибридные интегральные микросхемы (ГИС) и микросборки (МСБ), характеризуется двумя направлениями:

1. Применение типовых отработанных технологических процессов и стандартного оборудования. Это обеспечивает быстрое освоение производства новых изделий, воспроизводимость их параметров, стабильность рабочих участков и малые затраты на отработку технологии.

2. Освоение и внедрение новых технологических процессов или операций вследствие возрастания требований, определяемых более жесткими техническими условиями на разрабатываемые изделия. Освоение передовой технологии сопряжено с приобретением нового и модернизацией существующего оборудования и отработкой технологии, что отдаляет создание новых изделий.

В основу разработки технологического процесса изготовления гибридных интегральных микросхем и микросборок должно быть положено следующее:

1) получение качественных ГИС, удовлетворяющих ТУ как на отдельные элементы, так и на изделие в целом;

2) возможная автоматизация или создание условий
введения комплексной механизации и автоматизации для обеспечения высокой производительности;

3)максимальное оснащение современным оборудованием, оснасткой, стандартным и специальным инструментом;

4) отражение вопросов гигиены и охраны труда, специфичных для производства ГИС;

5) экономическое обоснование выбранного варианта технологического процесса.

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСХЕМ И МИКРОСБОРОК

Технологический процесс изготовления пленочной микросхемы и микросборки (МСБ) содержит определенное, по возможности оптимальное, число технологических операций, расположенных в определенной последовательности и обеспечивающих экономически обоснованное получение микросхем заданной конструкции с заданными электрофизическими параметрами. В массовом и серийном производстве применяют хорошо отработанные, проверенные типовые технологические процессы, доказавшие надежность микросхем в процессе эксплуатации. Такие технологические процессы характеризуются единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками. На рисунке 1 приведена укрупненная модель формирования пленок, где основными технологическими вариантами являются тонкопленочная (вакуумная) и толстопленочная технологии.

В первом случае одну и ту же технологическую операцию можно реализовать различными (по физико-химической природе) технологическими методами. Например, технологическую операцию осаждения материала на поверхность подложки можно осуществить термическим испарением, ионно-плазменным распылением и химическими методами. Количество операций в ряде случаев доходит до нескольких сотен.

В соответствии с разделением производства на технологические участки различают следующие методы обработки: механические, химические, термические, фотолитографические, элионики (обработка электронным и ионным лучами), сборки, герметизации и др.

Технологические процессы производства ГИС и МСБ, как правило, представляют собой совокупность групповых и индивидуальных методов обработки. Химическую обработку и отжиг подложек осуществляют групповым методом; операции контроля и разделения подложек на платы гибридных интегральных микросхем проводят индивидуальным методом. Поскольку на одной подложке формируют большое число микросхем, то индивидуальные методы обработки подложек являются групповыми по отношению к каждой отдельной микросхеме. Операции монтажа и сборки микросхемы в корпус, контроль на функционирование являются чисто индивидуальными.

Основным преимуществом технологии ГИС, БГИС и МСБ является разделение и независимость основных технологических операций. Это позволяет обоснованно применять более простые модели для оценки качества технологии и использовать широкие возможности межоперационной подгонки и отбраковки микросхем и МСБ. Данное преимущество обеспечивает эффективность изменения параметров микросхем и МСБ, повышение их точности и стабильности при неизменной отработанной технологии. Специфичным процессом, использующим групповой принцип производства, является изготовление групп пленочных пассивных элементов и пленочных проводников на общей подложке.

Любая технология изготовления групп пленочных элементов включает в себя две обязательные операции: нанесение пленок из проводящего, изоляционного и резистивного материалов на изоляционную подложку; формирование из этих пленок контуров элементов в плоскости подложки. Операции нанесения пленки и формирование рисунка можно осуществлять либо последовательно друг за другом, либо одновременно. Кроме того, контуры элементов можно формировать одновременно по всей подложке или же последовательной обработкой границ контуров.

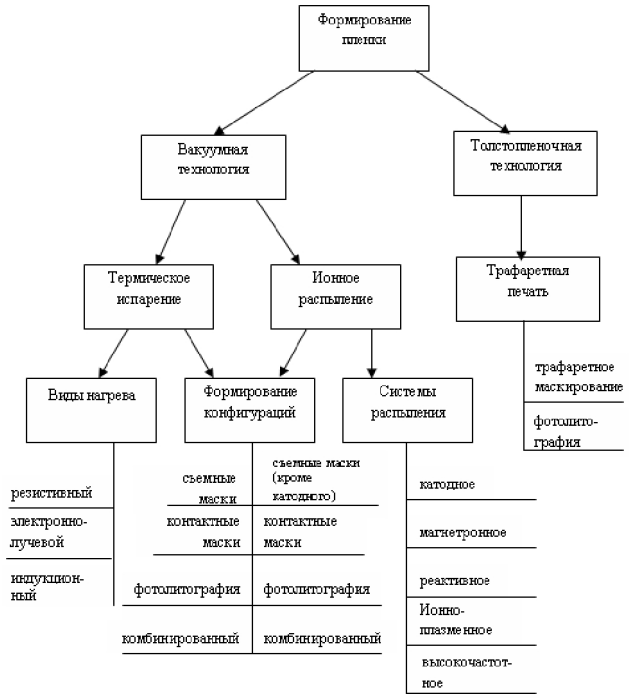



Рисунок 1. Укрупненная модель формирования пленки различными технологическими вариантами

Второй метод формирования тонких пленок – ионное распыление. Ионное распыление имеет свои разновидности: катодное, реактивное, магнетронное, ионно-плазменное и высокочастотное распыление. При двухэлектродной системе распыления (катодное, магнетронное и реактивное) нельзя применять металлическую маску для получения рисунка слоя пленочного элемента, поскольку она является экраном, искажающим электрическое поле между анодом и катодом. В результате этого искажения значительно уменьшается энергия ионов, бомбардирующих катод, и, следовательно, уменьшается скорость распыления, либо процесс прекращается вообще. В связи с этим катодное распыление чаще используют для нанесения сплошных тонкопленочных слоев, рисунок которых получают затем фотолитографией.

Для термического испарения материала используют токовый (резистивный), электронно-лучевой и индукционный методы нагрева. Различие методов нагрева связано с температурой испарения материалов. Наиболее часто применяют резистивный и электронно-лучевой методы нагрева.

## 2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСХЕМ И МИКРОСБОРОК

Технологический маршрут производства тонкопленочных плат МСБ – это совокупность технологических операций, направленных на подготовку материалов и подложки, осаждения материала на поверхность подложки, формирование конфигураций пленок и элементов, монтаж навесных компонентов, контроль и функциональная подготовка. Огромное значение имеют операции подготовки производства: изготовление комплекта масок и фотошаблонов; приобретение, проверка и подготовка компонентов и др. Важную роль при изготовлении тонкопленочных плат играет контрольно-проверочные мероприятия осуществляемые в цехе (внутриоперационный и межоперационный контроль) и в отделе технического контроля (контроль готовых изделий).

Основные этапы типового технологического процесса изготовления тонкопленочных микросхем и плат МСБ представлены схемой на рисунке 2, а наиболее широко применяемые методы получения тонких пленок и методы формирования изображения элементов микросхем - на рисунках 3, 4 , 5 и 6 .

Начальный этап технологического процесса изготовления тонкопленочной микросхемы представляет с собой комплекс подготовительных операций: очистка подложек, изготовление и подготовка биметаллических масок; изготовление фотооригиналов (фотомасок); подготовка испарителей, навесок и мишеней; подготовка вакуумной камеры; контроль (навесных бескорпусных элементов); подготовка корпуса микросхемы.

Рисунок тонкопленочной микросхемы и платы МСБ слагается из рисунков слоев, совмещенных между собой с




Рисунок 2. Основные этапы технологического процесса изготовления тонкопленочных ГИС и МСБ

.

требуемой точностью. В связи с этим очевидно, что электрические параметры элементов и платы МСБ зависят не только от электрофизических свойств пленок, но и от точности воспроизведения как рисунков отдельных слоев, так и рисунка платы в целом в процессе изготовления, то есть от метода формирования контуров элементов.

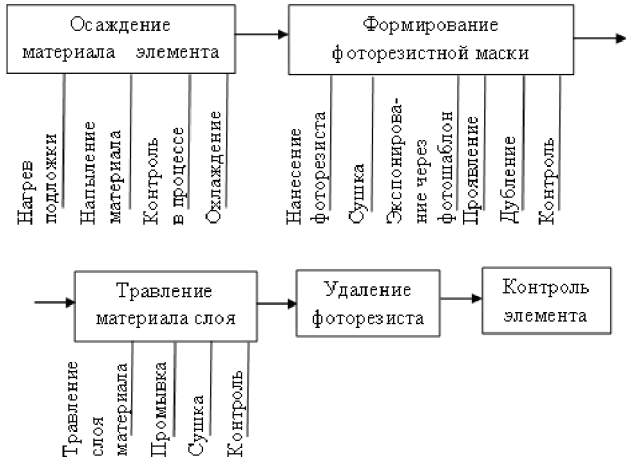


Рисунок 3.Технологический маршрут последовательности изготовления тонкопленочного элемента фотолитографией.

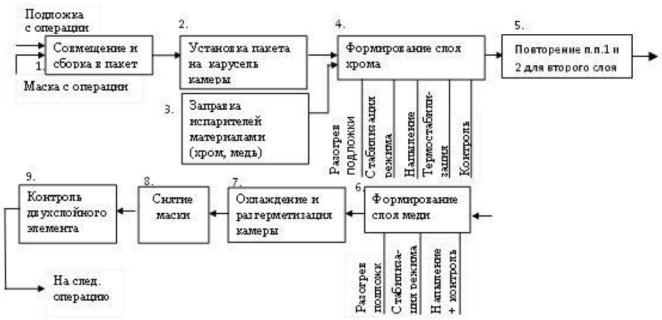



Рисунок 4. Технологический маршрут изготовления тонкопленочного элемента при раздельном методе напыления

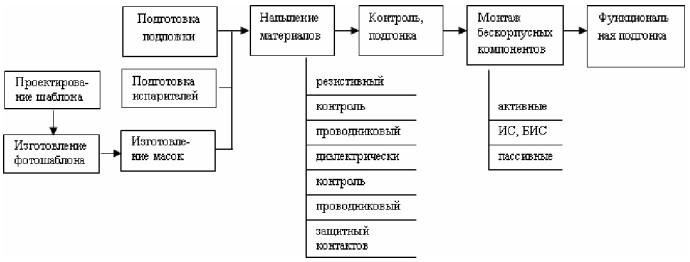



Рисунок 5. Технологический маршрут производства тонкопленочных плат МСБ методом свободных масок при непрерывном вакуумном цикле

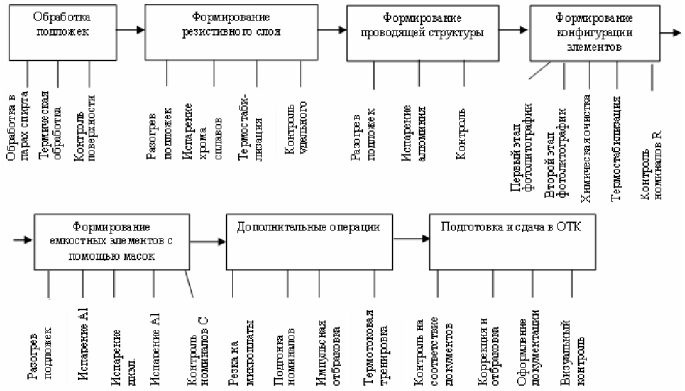



Рисунок 6. Технологический маршрут изготовления тонкопленочной резистивно-емкостной микросхемы комбинированным методом

В производстве микросхем используют в основном три метода получения рисунков слоев тонкопленочных элементов.

Первый, наиболее распространенный в серийном производстве, основан на осаждении пленок через съемные маски, представляющие собой тонкие металлические пластинки со

сквозными окнами определенного рисунка. Меняя маски перед нанесением каждого слоя, получают требуемый рисунок тонкопленочной платы.

Второй метод – контактное маскирование. Контактная маска обычно изготовляется непосредственно на поверхности подложки (или ранее нанесенной пленки) в виде защитной пленки заданной конфигурации. Она используется однократно обеспечивает высокую точность (3 – 5 мкм).

Третий метод – метод фотолитографии сплошных тонкопленочных слоев – основан на фотопереносе изображения со специального фотошаблона на светочувствительный слой (фоторезист), нанесенный на сплошную пленку. При последующем проявлении изображения отдельные участки пленки оказываются незащищенными слоем фоторезиста и могут быть легко удалены с поверхности подложки путем химического травления. Этот вариант основан на использование контактной маски.

Таким образом, в производстве тонкопленочных микросхем и плат МСБ применяют два типа масок: съемные (свободные) и контактные, которые, в свою очередь, изготавливают путем фотопереноса изображения с фотошаблонов.

**Изготовление фотошаблонов.** Фотошаблон представляет собой фотокопию рисунка слоя тонкопленочных элементов, выполненную в натуральном масштабе с высокой точностью. Характерной особенностью фотошаблона является то, что рисунок слоя элементов на нем повторяется много раз, то есть мультиплицируется. Такие фотошаблоны затем используют для получения многоместных фотошаблонов и масок, позволяющих изготовлять по нескольку микросхем на одной подложке одновременно. В таблице 1 приведены варианты технологических процессов изготовления фотошаблонов.

Для малой и средней степени интеграции изготовление эталонного фотошаблона начинается с вычерчивания фотооригинала, то есть первичного изображения рисунка слоя микросхемы или платы в увеличенном масштабе .

К первичному фотооригиналу предъявляются требования точности и стабильности размеров изображения, высокой контрастности и бездефектности. Заготовкой фотооригинала является лист полированного стекла, покрытого черной эмалью.

Масштаб изображения фотооригинала зависит от требуемой точности способа изготовления фотооригинала. Если известная допустимая погрешность негатива $\Delta_н$ и достижимая точность фотооригинала $\Delta_0$, то масштаб изображения М на фотошаблоне определяется как

$$M = \frac{\Delta_0}{\Delta_н}.$$

Например, если известно, что $\Delta_н$=0,005 мм, а $\Delta_0$=0,05 мм, то изображение на фотооригинале следует выполнить в масштабе М=0,05/0,005=10.

Элементы рисунка фотооригинала получают на координатографе путем резания резцом (скрайбирования) участков пленки эмали, подлежащих удалению. Координатограф (ручной или с числовым программным управлением) представляет собой жесткий массивный стол, снабженный подвижной кареткой с резцом. Каретка с помощью ручного или ароматического привода может перемещаться по координатам х и у, при этом резец наносит риски на пленке. Резец поворачивается так, что его передняя грань всегда направлена в сторону движения.

В производстве находят применение ручные ЭМ-701 и ЭМ-707 с рабочим полем до 800×800 мм и автоматизированные ЭМ-703 и ЭМ-706 с рабочим полем 1200×1200мм координатографы (Приложение А). Точность позиционирования резца для указанных моделей составляет ±50 мкм .

Первичный отсъем с уменьшением (редуцирование) производят в редукционной фотокамере. Редукционные фотокамеры ЭМ-503 и ЭМ-513 позволяют производить отсъем с фотооригиналов, имеющих максимальные размеры 750×750 и 1200×1200 мм соответственно на фотопластины с размерами 60×90 или 90×120 мм. Уменьшение для фотокамеры ЭМ-503 — 1:30, 1: 20 и 1:10; для ЭМ-513 — 1:50, 1:40, 1 : 30 (Приложение А).

Отсъем производят на эмульсионные фотопластины высокого разрешения, например, СРБШ, имеющие разрешающую способность 2000 линий/мм, светочувствительность 5 ед. ГОСТа и оптическую плотность (после проявления) непрозрачных участков более 3 ед. ГОСТа.

В результате последующей фотохимической обработки (проявления и фиксации изображения) промежуточный фотооригинал на эмульсионной основе для сохранения качества которого целесообразно снять с него копии на пластины с прочным покрытием (например, хромом).

Групповой фотошаблон получают путем мультиплицирования изображения рисунка т. е. пошагового впечатывания уменьшенного до натурального размера изображения промежуточного оригинала на фотопластину. Процесс выполняется на специальных оптико-механических установках — фотоповторителях (таблица А1). Фотоповоторители должны обеспечивать высокую степень совмещаемости комплекта фотошаблонов.

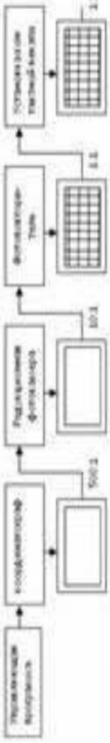
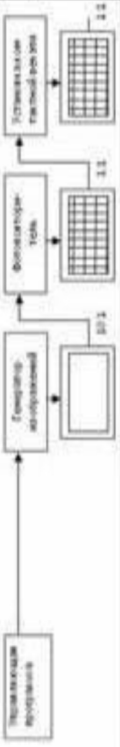
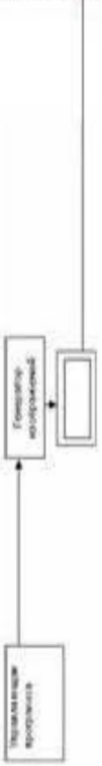
Мультиплицирование изображений можно выполнять не только на эмульсионных фотопластинах, но и на пластинах, покрытых фоторезистом с подслоем хрома. Это позволяет сократить число этапов производства фотошаблонов за счет исключения этапа экспонирования эмульсионного эталонного фотошаблона, который имеет низкую стойкость к контактной печати. Поскольку чувствительность фоторезистов ниже, чем фотоэмульсий, для достижения приемлемых выдержек при мультиплицировании (десятые доли секунды) необходимы мощные источники света. Из-за повышения требований к качеству нанесенных слоев целесообразно применять пластины специализированного производства ПФХ-03-0,5 (с фоторезистом и подслоем хрома), имеющие плотность проколов в пределах 0,2—0,8 $см^2$. Основой этих пластин является оптическое стекло К-8.

Рабочие фотошаблоны, т. е. фотошаблоны, используемые непосредственно для экспонирования фотослоя на диэлектрических подложках и полупроводниковых пластинах представляют собой копии с эмульсионных или хромированных эталонов полученные методом контактной печати. Для хромированных фотошаблонов могут быть использованы пластины ПФХ-03-0,5, а для полупрозрачных (транспарентных) — пластины ПМС-В или ПМС-ФП-1, покрытые окисью железа. Пластины ПМС-ФП-1 имеют также покрытие из фоторезиста (ФП-617).

В целом изготовление рабочих копий с эталонных фотошаблонов представляет собой процесс контактной фотолитографии. Качество фотошаблона, т. е. пригодность его для дальнейшего использования, определяется количеством (плотностью) дефектов, их размерами и местом расположения в поле модуля. Контроль групповых фотошаблонов — эталонных и рабочих — необходим не только непосредственно после изготовления, но и периодически в процессе эксплуатации.

Во втором варианте (таблица 1)процесс изготовления фотошаблонов начинается созданием оригинала с относительно небольшим масштабом увеличения (10:1). Полученный оригинал непосредственно может быть использован для изготовления группового эталонного фотошаблона с помощью фотоповторителя. Такой сокращенный технологический цикл возможен при условии, если размеры элементов топологического рисунка оригинала и их взаимное расположение обеспечиваются с погрешностью, не превышающей ±(1÷1,5) мкм. Эти возможности реализованы в прецизионных оптико-механических установках, получивших название генераторов изображения (Приложение А).

Таблица 1.Варианты техпроцесса производства фотошаблонов и формирование изображений на подложках в зависимости от степени интеграции ИС и шат МСБ

| Степень интеграции | Основные этапы и оборудование, масштаб изображений на фотошаблонах | Способ воспроизведения изображений на пластинах |
|---|---|---|
| Малая и средняя |  | Контактная печать |
| Средняя и большая |  | Контактная печать |
| Большая |  | Проекционная печать с мультиплицированием |
| Сверх-большая |  | Генерирование изображений с мультиплицированием |

В основе работы генератора изображения лежит принцип фотонабора: топологическая структура рисунка расчленяется на элементарные прямоугольники с различным отношением сторон и определенной ориентацией по углу. По заданной программе очередной элемент формируется подвижными шторками диафрагмы и разворачивается на необходимый угол, а двухкоординатный стол, несущий светочувствительную пластину, отрабатывает заданные координаты. После остановки стола производится экспонирование с заранее установленной выдержкой.

Управление генератором ЭМ-559Б ведется с клавиатуры электрической печатающей машинки «Консул». Управляющая программа предусматривает диалог с оператором.

Третий вариант предполагает изготовление оригинала на генераторе изображений и последующее мультиплицирование изображения оригинала (с уменьшением) непосредственно на полупроводниковых пластинах и подложках, покрытых фоторезистом. Фотоповторитель, таким образом, используется в основном производстве.

По сравнению с предыдущим вариантом время, затрачиваемое на операцию совмещения помодульного экспонирования полупроводниковых пластин, здесь с изготовлением, контролем и отбраковкой групповых шаблонов, снижается дефектность модулей и

повышается выход годных микросхем . Этот вариант предпочтителен при небольших объемах выпуска и значительных размерах кристаллов, т. е. в условиях производства БИС.

Четвертый вариант, основанный на генерировании мультиплицированного изображения непосредственно в слое чувствительного резиста на поверхности пластины (подложки), требует разработки систем программированной развертки острофокусированного луча (светового, электронного). Процесс может быть эффективным при наличии высокочувствительных резистов, а также высокопроизводительных и точных средств совмещения.

Полученный в результате пересъемки и мультипликации негатив иногда ретушируют, исправляя дефекты изображения. После этого негатив контролируют на соответствие техническим требованиям по контрастности и точности изображения, а также на отсутствие размытостей.

Кратность использования фотошаблонов приведена в таблице 2 .

Таблица 2 . Кратность использования фотошаблонов

| Тип фотошаблона | Кратность |
|---|---|
| Эмульсионный | 10 – 15 |
| Металлизированный | 60 – 80 |
| Цветной | 100 – 120 |
| Диффузионный | 150 – 200 |

## 3. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТКА ПРОИЗВОДСТВА МИКРОСХЕМ

Исходными данными для определения основных показателей специализированного участка (цеха) по производству микросхем и микросборок являются: номенклатура изделий; годовая программа выпуска изделий; технологический процесс изготовления изделий; трудоемкость по операциям; тип производства и значения пооперационного технологического выхода годных изделий. Плановая величина выхода годных изделий используется для определения объема запуска изделий, величины брака, расчета норм расхода основных и вспомогательных материалов, а также для контроля за ходом производства.

Важным моментом является группирование изделий участка и выбор типового изделия. Выбранное типовое изделие, изготовляемое на участке, приводится к условной единице, под которой понимается изделие с определенными конструктивно-технологическими параметрами. Применительно к типовым изделиям ведется разработка технологических процессов и их нормирование.

При определении производственной структуры цеха (участка) закладывается технологический принцип специализации подразделений, причем необходимо предусматривать резервные мощности порядка 5—10% в подразделениях, где могут возникнуть «узкие места». В цехе такими подразделениями являются участки: изготовления оригиналов и фотошаблонов; вакуумного напыления; фотолитографии; окисления ; прошивки отверстий; сборки и монтажа.

При организации единого производства изделий (тонкопленочных и толстопленочных) в структуре предусматривают общие производственные подразделения: очистки подложек; измерения и доводки резисторов; резки плат; сборки, монтажа; функционального контроля; герметизации; маркирования и лакирования.

Расчетное количество оборудования определяется в основном исходя из производительности его работы (шт/ч), а при отсутствии таких данных — по трудоемкости изготовления изделий . Годовой фонд времени работы оборудования принимается в расчетах в соответствии в таблице Б1 (Приложение Б).

Численность основных рабочих определяется исходя из норматива годового фонда времени одного рабочего при продолжительности основного отпуска 18 и 24 дн. Перечень основных профессий в производстве микросборок представлен в таблице Б2 .

Планировку участка (цеха) разрабатывают на основе рассчитанной производственной и вспомогательной площади с учетом требований к помещениям, расположению оборудования и рабочих мест, специфичных для производства микросборок. Удельные нормы для расчета производственной площади и перечень подразделений с обоснованиями необходимости выделения их в отдельные помещения представлены в таблицах Б3 и Б4 соответственно. Нормы расстояний между оборудованием, рабочими местами и элементами зданий и требования к обеспечению чистоты технологических сред регламентируются таблицей Б5. Участки (цехи) по производству микросборок могут располагаться в одноэтажных и многоэтажных корпусах.

Для укрупненного расчета рабочих площадей отдельных участков берутся нормы удельных площадей на единицу оборудования и на одно рабочее место):

$$S = \sum_{i=1}^{k} S_{уд i} \cdot K_i,$$

где $S_{уд i}$ - удельная площадь единицы оборудования или рабочего места;

$K_i$ - принятое количество единиц оборудования и рабочих мест.

Разрабатывая технологические планировки, необходимо учесть:

- категории помещений, в которых выполняются отдельные операции;
- рабочие места и оборудование располагаются в последовательности технологических процессов;

- обеспечение безопасности работы.

С этой целью рабочие места, на которых выполняются работы, связанные с вредными воздействиями на организм человека (лужение, пропитка и др.), должны размещаться в отдельных помещениях. Межоперационное транспортирование и хранение материалов, оригиналов, фотошаблонов и обрабатываемых изделий осуществляется только в специальной таре по всему технологическому циклу. Конструкция тары должна обеспечивать защиту изделий] от механических повреждений, попадания влаги, пыли и других; загрязнений. Для подложек предусмотрены специальные кассеты, которые помещают в контейнеры соответствующей вместимости. Детали корпусов микросборок допускается хранить и транспортировать россыпью. Производственная тара изготовляется из гладкого, износоустойчивого, негигроскопичного материала, не выделяющего со временем загрязнений (полистирола, полиэтилена, алюминиевого сплава и др.).

## 4. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСХЕМ И МСБ

**Подложка** для тонкопленочных плат МСБ является конструктивным элементом, на поверхности которого формируются пленочные элементы и устанавливаются навесные компоненты. Материал и свойства подложек оказывают существенное влияние на параметры пленочных элементов.

Подложки должны обладать: шероховатостью поверхности подложки по 13-14 классу рабочей поверхности для тонкопленочных элементов; высокой теплопроводностью; инертностью химического состава к наносимым пленкам; устойчивостью к химическим реагентам; достаточной механической прочностью; высокой теплостойкостью; однородностью состава; согласованностью коэффициента теплового расширения с наносимыми пленками; высокими изоляционными свойствами; возможностью механической обработки (резки).

Шероховатость поверхности подложек является одним из наиболее критичных параметров тонкопленочных элементов, так как задает структуру и равномерность толщины пленки на подложке и воспроизводимость ее от подложки к подложке, что в конечном, счете определяет разброс параметров элементов и процент выхода годных.

В случае тонкопленочных резисторов толщина пленок составляет сотни ангстрем, поэтому вследствие микрошероховатости размером около сотен и более ангстрем удельное сопротивление резко колеблется по площади, что приводит к локальному нагреву и выходу из строя резистивного элемента.

В тонкопленочных конденсаторах из-за неравномерности толщины диэлектрического слоя происходит перераспределение электрического поля в диэлектрическом слое, то есть возникают места повышенной электрической напряженностью, что является причиной пробоя диэлектрика и выхода конденсатора из строя.

Стабильности пленочных элементов способствует теплопроводность подложки. При низкой теплопроводности может возникнуть местный перегрев, вызывающий изменение характеристик или даже разрушение тонкой пленки. Высокая теплопроводность подложки обеспечивает выравнивание температурного градиента на поверхности, а также отвод тепла от резистора.

Диэлектрическим свойствам подложки предъявляются высокие требования. Они должны иметь высокие значения объемного и поверхностного сопротивления, а также электрической прочности. Для уменьшения паразитных емкостных связей между отдельными элементами, расположенными на подложке, необходимо низкое значение диэлектрической, проницаемости материала подложки.

Технологический процесс изготовления ГИС и плат МСБ состоит из ряда термических

операций: напыления и термообработки резистивных диэлектрических и проводящих пленок, защитных покрытий при температурах до 350°С, присоединения выводов к контактным площадкам методами пайки, сварки. В связи с этим подложка должна обладать хорошими механическими свойствами и высокой температурой начала деформации.

Для уменьшения возникновения внутренних напряжений, при водящих к разрывам или отслаиванию пленки от подложки при нагревании и охлаждении структуры подложка—пленка коэффициенты термического расширения подложки и наносимого материала должны быть близки. Необходимо, чтобы механические свойства подложки были удобными для разрезания ее на отдельные платы при чистой поверхности излома.

Форма подложки представляет собой четырехугольную пластину длиной *L*, шириной В и толщиной D. Для длины и ширины подложек ГИС и плат МСБ, изготовляемых по тонкопленочной технологии, установлены соответствующие размеры:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L, мм | 60 | 30 | 30 | 20 | 10 | 10 | 5 | 4 |
| B, мм | 48 | 48 | 24 | 16 | 16 | 12 | 6 | 4,5 |

Допустимое отклонение размеров для длины и ширины — 0,2…0,3 мм. Толщина подложек составляет 0,6; 1,0; 1,6 мм с отклонением 0,06 мм.

В качестве материала подложек МСБ используют стекло, ситаллы, керамика, металлы с изолирующей поверхностью. Применение нашли аморфные силикатные бесщелочные, боросиликатные, кварцевые стекла, ситаллы, фотоситаллы. Наибольшее применение получил ситалл .

Ситаллы относятся к стеклокристаллическим материалам. Они механически более прочны, чем аморфные силикатные стекла, имеют поверхность как и у стекол по 13 – 14 классу чистоты обработки.

Разновидностью ситалла является фотоситалл — закристаллизированное светочувствительное стекло. Он состоит из 75 % оксида кремния, 11,5,%, оксида лития, 10 % оксида алюминия и оксида калия, остальное – азотнокислое серебро и оксид церия. Фотоситалл устойчив к кислотам, обладает высокой механической прочностью и термоустойчив. Удельное сопротивление его не превышает $10^{10}$ Ом·см. Рельеф рисунка фотошаблона проявляют ультрафиолетовым излучением на фотоситалле.

Основные электрофизические параметры ситалловых подложек приведены в таблице Д1 (Приложение Д).

**Резистивные материалы.** К резистивным пленкам, являющимся основой пленочных резисторов, предъявляются жесткие, не всегда совместимые требования:

1) высокая адгезия резистивных пленок к материалу подложки;
2) высокое значение $\rho_{\square}$ (сопротивление квадрата);
3) малый температурный коэффициент сопротивления;
4) высокая стабильность по времени и при воздействии влажности;
5) высокая четкость кромок;
6) низкая стоимость материала пленки;
7) возможная регенерация резистивного материала пленок с экранов колпаков и т.д.

Наиболее часто применяемые резистивные материалы приведены в таблице Д2 . В микросборках тонкопленочные резисторы изготовляют из различных материалов: металлов, оксидов металлов и соединений металлов с диэлектриками. Следует отметить, что свойства тонких пленок из металлов и сплавов значительно отличаются от свойств этих материалов в монолитном виде. Так, тонкие пленки всех материалов и сплавов имеют более высокое удельное сопротивление, чем основной материал. На основе пленок титана и тантала, а

также силицидов железа, никеля и хрома можно получать резисторы, обладающие значительным сопротивлением. Рениевые и вольфрамовые резисторы могут работать при повышенных температурах.

Пленки нихрома $Х_{20}Н_{80}$, нанесенные термическим вакуумным испарением и конденсацией на подложках, нашли применение в микроэлектронике в качестве резисторов в микросхемах и микросборках. При этом получают сопротивление квадрата R=10…300 Ом, ТКС – от $-3\cdot10^{-4}$ до $2\cdot10^{-4}$. Допустимая мощность рассеяния $Р_{доп}$=1Вт/см$^2$. Его достоинства – сравнительно высокое удельное сопротивление, стабильность, низкий ТКС – удалось реализовать в тонкопленочном варианте с помощью так называемого «взрывного» испарения, исключающего сегрегацию компонентов и обеспечивающего полную тождественность состава сплава в пленке и исходном материале. Нихром используют для получения только низкоомных резисторов (R<20…50кОм), так как его поверхностное сопротивление – 10…300Ом/□ при толщинах 10…300нм.

Кроме того, резистивные пленки высокого удельного сопротивления могут быть получены при использовании в качестве исходных материалов композиции из порошкообразных смесей железа, кремня, никеля, хрома, оксидов титана, железа, алюминия, хрома, кадмия, кобальта, никеля с керамикой, стеклом или полимером. Изменяя состав проводящих компонентов (частиц металла) и их количество в общем объеме материала, можно изменить сопротивление пленочных резисторов.

В микроэлектронике находят также применение резистивные двух- и трехкомпонентные сплавы МЛТ. Один из таких сплавов МЛТ-3 (55 % Si, 30% Cr, 15% Fe) широко используются для изготовления тонкопленочных резисторов с удельным поверхностным сопротивлением пленки 300 Ом / □ и ТКС равным $10^{-4}$ 1/ °С. Наиболее распространены резистивные сплавы РС .

Наибольшее распространение получили три из них: РС 3001 (30 % Cr, 1% Fe, остальное Si ), РС 3710 (37% Cr, 10% Ni, остальное Si ) и сплав номер 3 (17% Cr, 14% Fe, остальное Si), имеющие поверхностное сопротивление $\rho_s$=50…1000 Ом/ □ и ТКС<$1\cdot10^{-4}$ $К^{-1}$ Установлено, что большую роль в пленочных силицидах играет кислород, который интенсивно поглощается кремнием из остаточной атмосферы вакуумной камеры при насыщении. Захваченный пленкой кислород в виде $SiO_2$ выделяется по границам зёрен, образуя тонкую диэлектрическую прослойку, что в сильной мере сказывается на удельном сопротивлении и ТКС плёнки.

Хромосилицидные сплавы выпускаются в виде порошков с равнозернёнными частицами диаметром 40…70 мкм, удобных для «взрывного» испарения. Если резистивные пленки получают ионно-плазменным методом, исходные сплавы необходимо изготовлять в виде мишеней-дисков диаметром 150…200 мкм.

Для изготовления высокоомных ТПР используют ряд резистивных сплавов РС-1004, РС-3710 и др.

Пленки на основе РС получают методом «взрывного» испарения в вакууме, а также методами ионно-плазменного распыления. Для РС-1004 материалом контактов служит алюминий, а для РС-3710 – хром – никель, хром – золото.

В резисторах на основе РС-1004 с R = 40-50 кОм/□ при естественном хранении за 1000 ч сопротивление изменяется на ±1,0%, под воздействием нагрузки 5 Вт/см$^2$ за 1000 ч – на ±2%, после 15 термоциклов (–60…+125°С) – на 0,5±0,3%. При температуре 150°С ТКС составляет $(1,5\text{-}2,5)\cdot10^{-3}$ 1/град.

Основным недостатком, ограничивающим применение резисторов на основе РС-1004, является высокое абсолютное значение ТКС. Изменение скорости испарения в широких пределах, варьирование в процессе напыления температуры подложки от 150 °С до 450 °С, отжиг образцов на воздухе при температуре 150°С не позволяют уменьшить ТКС. Несмотря на это высокоомные резисторы с $R_{\square}$ =50 кОм/□ применяются.

На основе сплава РС-3710 возможно создание «взрывным» испарением стабильных ТПР

с удельным сопротивлением 3 кОм/□. Однако для этого необходимо проводить термообработку при температуре 350°С в течение 4 ч. Уход от номинала не превышает 5%, а ТКС близок к нулю.

Стабильность таких резисторов при температуре 75°С в течении 500 ч не ниже 0,15%. При использовании ионно-плазменного распыления сплава РС-3710 резисторы с удельным сопротивлением в 300 Ом/□ обладают хорошей временной стабильностью, которая с увеличением удельного сопротивления до 5000 Ом/□ ухудшается.

В микросборках широкое применение нашли керметы – пленочные материалы на основе микрокомпозиции, состоящей чаще всего их хрома и монооксида кремния в соотношении 10:1. Иногда используют другие соотношения (К-20С, К-30С, К-50С). Наиболее часто применяют керметы двухкомпонентного состава. Получение на их основе пленок с данным составом требует контроля скорости испарения каждого компонента, что возможно при испарении из двух независимых источников. Однако такой способ является достаточно сложным. Поэтому для получения пленок данного состава используют «взрывное» испарение порошкообразных смесей или катодное распыление мишени из кермета.

Скорость испарения имеет важное значение для металлокерамических пленок. Уменьшение скорости испарения при хорошем вакууме повышает значение удельного сопротивления и ведет к более положительному ТКС.

Снижение скорости испарения при недостаточном вакууме может вызвать окисление пленки, изменение ее состава и снижение стабильности.

Параметры керметных пленочных резисторов определяет температура подложки. С ее увеличением происходит спекание компонентов пленки и их кристаллизация, а удельное сопротивление уменьшается.

В металлокерамических пленках с диэлектриком, обладающим малой подвижностью, процессы рекристаллизации менее выражены, чем в случае диэлектрика с большой подвижностью.

Температура подложки в процессе напыления является одним из факторов, определяющих ТКС резисторов: с ее увеличением ТКС уменьшается. Температурная обработка керметных пленок оказывает значительное влияние на параметры ТПР.

Увеличение температуры и длительности стабилизации приводит к более положительному значению ТКС, причем в отличие от времени стабилизации металлических резисторов время стабилизации керметных пленок составляет не менее 2 ч. Стабилизация производится как в вакууме, так и в атмосфере при защитном диэлектрическом слое толщиной 10000 А, например, SiO.

Для системы Cr-SiO повышение температуры стабилизации до 350°С улучшает характеристики резисторов. Однако дальнейшее повышение температуры стабилизации может вызвать ухудшение стабильности резисторов, что связано с неустойчивостью SiO и образованием соединения $Cr_3SiO$. Для системы Cr-SiO эта критическая температура составляет 450-550°С.

**Диэлектрические материалы МСБ (**Приложение Д , таблица Д3**).** Диэлектрические материалы применяют в составе емкостных элементов , а также в качестве защитных покрытий и межуровневой изоляции коммутационных схем МСБ. Для этих целей используют: окислы металлов ($A1_20_3$, $Ta_2O_5$, $Hf_2O_5$, и другие); окислы и нитриды полупроводников ($SiO_2$, GeO, $Si_3N_4$, SiO и другие); стекла различного состава, например боросиликатное (БСС) и алюмосиликатное (АСС); различные органические соединения, например фоторезисты и полиимиды.

Диэлектрические пленки на основе окислов металлов получают различными способами: термическим испарением в вакууме с помощью электронного луча; высокочастотным ионно-плазменным распылением; химическим осаждением из газовой фазы и электрохимическим анодированием. Метод электрохимического анодирования как наиболее простой и гибкий, с точки зрения получения пленок с заданными свойствами предназначены для межуровневой

изоляции в коммутационных схемах и формирования диэлектрика емкостных элементов. В качестве диэлектриков для тонкопленочных конденсаторов применяют так же оксиды тантала $Ta_2O_5$ и титана $TiO_2$. При изготовлении тонкопленочного конденсатора с диэлектриком из оксида тантала толщиной менее 1 мкм, который служит одним из электродов, диэлектрическая пленка оксида тантала образуется в результате анодного окисления слоя тантала. Для получения второго электрода на образовавшийся слой оксида тантала наносят слой золота, алюминия или снова тантала. Пленки оксида тантала позволяют получать удельную емкость конденсаторов порядка $10^5$ пФ/см$^2$. Высокая удельная емкость танталовых конденсаторов обусловлена не столько повышенной диэлектрической проницаемостью оксида тантала (ε=20), сколько возможностью нанесения тонких пленок диэлектрика.

Наиболее распространенными диэлектрическими окисными пленками являются пленки из моноокиси кремния. Пленки SiO механически прочные, твердые, имеют высокое значение пробивного напряжения для однородных аморфных пленок ($E_{пр}=10^3$ В/мкм).

Состав и свойства пленок моноокиси кремния, полученных осаждением в вакууме, существенно зависят от условий осаждения: от температуры испарения, скорости осаждения, давления в вакуумной камере. Пленки полученные при температуре испарения ($T_и$) ниже 1250°С (малые скорости осаждения), имеют значительные внутренние растягивающие напряжения, что в результате приводит к их отслаиванию от подложки. Это объясняется тем, что пленки SiO на воздухе легко окисляются до $SiO_2$, в результате увеличивается их плотность ($Y_{SiO}$=2,15 г/см$^3$; $Y_{SiO2}$=2,20 г/см$^3$) и растягивающие напряжения переходят в сжимающие.

Пленки, осажденные при $T_и$=1250…1400°С (средние скорости осаждения), получаются более плотными и окисляются только с поверхности, так как образовавшаяся защитная пленка $SiO_2$ препятствует дальнейшему окислению пленки и поэтому в пленке сохраняются растягивающие напряжения.

Пленки получены при Т>1400 °С (большие скорости осаждения), имеют большие внутренние напряжения, которые приводят к появлению в них многочисленных трещин. Для изготовления пленок SiO с удовлетворительными параметрами осаждение следует проводить при $T_и$=1300°С и температуре подложки 300°С, что соответствует скорости осаждения 0,0012 – 0,0015 мкм/с. Пленки SiO, полученные в этих условиях механически прочные, твердые, имеют в интервале частот от 1 кГц до 1 МГц диэлектрическую проницаемость ε=5…7, а тангенс угла диэлектрических потерь tgδ=0.01…0,02 при 20°С.Близким по параметрам к пленкам моноокиси кремния являются пленки моноокиси германия, которые получают методом термического испарения в вакууме. Сравнение свойств SiO и GeO, полученных методом термического испарения в вакууме показывает:

1) электрические свойства пленок GeO в большей степени зависят от частоты, чем SiO;

2) пленки GeO значительно ухудшают свои свойства под действием влаги;

3) GeO имеет более низкую температуру испарения (700°С), чем SiO (1300°С), что снижает загрязнение пленки посторонними примесями, например материалом испарителя.

Пленки $Si_3N_4$ имеют достаточно большое электросопротивление ($10^{12}$ Ом·м), высокую электрическую прочность $10^{-4}$В/мкм. Электрические свойства стабильны даже при высоких температурах, значение диэлектрической постоянной в 2…2,5 раза выше по сравнению с окисными, коэффициент теплопроводности отличается примерно на порядок. Существенным является то, что пленки слабо подвергаются химическим воздействиям растворов, составленных на основе плавиковой кислоты. Пленки $Si_3N_4$ изготавливаются двумя основными способами: реактивным сопротивлением и пиролизом.

Пленки окиси алюминия по сравнению с пленками окиси кремния обладают более высокими значениями диэлектрической проницаемости и лучшими маскирующими свойствами(ограничивают диффузию воды, кислорода, водорода и ряда других веществ).

Пленки $A1_20_3$ можно получать различными методами: электронно-лучевым испарением, анодированием, анодированием в плазме, высокочастотным и реактивным катодным

распылением, термическим окислением, газоплазменным распылением, пиролизом. Диэлектрическая проницаемость пленки ε=4…7, а для объемного материала ε=8,5. Пробивная напряженность для пленок и объемного материала одинакова ($E_{пр}$=300 В/мкм). Удельное объемное сопротивление для пленок несколько выше. Тангенс угла диэлектрических потерь пленок на порядок выше, что можно объяснить присутствуем связанного кислорода в пленке и его поляризацией. При нагревание пленок на воздухе благодаря десорбции tgδ уменьшается.

Боросиликатное стекло применяют при проектировании как низкочастотных, так и высокочастотных схем, а также некоторых прецизионных схем на RC-структурах, в том числе с распределенными параметрами. Алюмосиликатное стекло используют преимущественно при формировании многослойных емкостных структур с целью повышения удельной емкости на единицу площади.

Последняя группа диэлектрических материалов — это фоторезисты и полиимиды, которые выполняют обычно функции защитных слоев низкочастотных и прецизионных схем, а также межуровневой изоляции коммутационных схем с многоуровневой разводкой. Для повышения качества емкостных элементов высокочастотных схем и межуровневой изоляции применяют комбинированные диэлектрики, состоящие из двух слоев пленок различных материалов с отличными свойствами, например по диэлектрической проницаемости или плотности.

**Материалы проводников и контактных площадок**. Пленочные проводники в составе микросборок выполняют функции контактных площадок, коммутационных проводников, металлизированных переходов с одного уровня на другой, обкладок емкостных элементов, индуктивных элементов и микрополосковых линий передач, а также вспомогательных элементов (экранов, реперных знаков, топологических ключей). Тонкопленочные контактные площадки МСБ могут быть выполнены в виде одно- двух- и трехслойных структур. Число слоев проводящих структур и выбор исходных материалов определяются их назначением, методами монтажа и конструкцией компонентов МСБ.

Многослойность контактных площадок обусловлена требованиями, которые предъявляются к проводящим элементам в зависимости от их функционального назначения. Основными и общими требованиями являются: адгезионная и антикоррозионная стойкость; способность к пайке или сварке; малое удельное сопротивление и хорошая электропроводность.

Трудно выполнить все эти требования, если использовать однослойные структуры (на основе одного материала). В качестве основного материала проводящего слоя применяют металлы с хорошей электропроводностью (Al, Cu, Au). Для повышения адгезии основных материалов к поверхности подложки применяют пленки хрома, титана, ванадия и нихрома. Однако применение в производстве МСБ NiCr при методе фотолитографии требует использования сильных травителей.

Примерами двуслойных проводящих структур служат пары: Ti—Al, V—Al, Cr—Al, Cr—Au, Ti—Au и V—Au, которые нашли широкое применение в производстве плат МСБ. Данные структуры используют также для коммутационных проводников первого уровня и контактных площадок схем с многоуровневой разводкой.

Материалы для проводящих, адгезионных и защитных пленок и конструктивные разновидности структур контактных площадок представлены в таблице Д4, а перечень дополнительных применяемых материалов – в таблице Д5.

В качестве антикоррозионных слоев используют пленки золота, никеля и низкотемпературные сплавы типа припоев различного состава. Защитная пленка должна не только предохранять слой проводящего материала от воздействия внешней среды, но и обеспечивать возможность пайки или сварки. Известно, что пленочная структура медь — золото при длительных высокотемпературных воздействиях в процессе монтажа и эксплуатации обладает повышенным коэффициентом взаимодиффузии. Это может привести к образованию интерметаллических соединений и деградации свойств контактной области.

Никель обладает высокой химической и температурной стойкостью, однако объемное удельное сопротивление его достаточно велико. Поэтому для уменьшения удельного поверхностного сопротивления однослойных пленочных структур необходимо увеличивать их толщину. Кроме того, для пленок никеля процессы пайки затруднены, так как требуются кислотные флюсы.

Алюминий имеет ряд преимуществ: обл**а**дает высокой электропроводностью, а разработанные технологические процессы позволяют получать пленки алюминия в широком диапазоне толщин; алюминий легко испаряется при вакуумном напыление из вольфрамовых графитовых тиглей; благодаря высокой пластичности алюминий, нанесенный на подложку, устойчив к циклам  нагрев – охлаждение и не теряет с ней сцепления, несмотря на существенное различие ТКЛР. Основной недостаток пленки алюминия после снятия вакуума - окисление поверхности ($Al_2O_3$), что усложняет процесс пайки и сварки.

Двухслойные проводящие структуры контактных площадок на основе золота с адгезионным подслоем гарантируют высокое качество сварных и паяных соединений. При использование в качестве проводящего слоя меди или алюминия контактную площадку выполняют трехслойной. Такие контактные площадки, кроме адгезионного подслоя и проводящего слоя, содержат дополнительный защитно-монтажный. Пленки меди или алюминия характеризуются низким удельным сопротивлением, но не отличаются высокой коррозионной стойкостью. Защитное покрытие должно выполнять функции монтажного слоя, обеспечивающего возможность проведения процессов пайки или сварки. Трехслойные контактные структуры широко используются в тонкопленочной технологии. Однако применение многослойных контактных площадок удлиняет технологический цикл изготовления плат МСБ.

# 5 . НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСХЕМ

Сокращение материальных затрат является одним из основных направлений снижения себестоимости и увеличения выпуска продукции. Материальные затраты в себестоимости изделий электронной промышленности составляют 40-50%. При этом необходимо учитывать некоторые особенности изготовления микроэлектронных изделий:

а) слабую управляемость многих технологических процессов по качеству продукции;

б) использование широкой номенклатуры основных материалов, в том числе дефицитных, дорогостоящих и драгоценных материалов;

в) сравнительно низкий процент выхода годной продукции.

Для расчета необходимо иметь исходную документацию:

1) чертежи изделия, схемы;
2) технические условия (ТУ) на изделие;
3) технологические инструкции или карты процесса изготовления микросхем;
4) данные, ГОСТы, ТУ на нормируемые материалы и т.п.;
5) типы оборудования и его характеристика.

Нормы расхода материала на изделие в общем случае определяются следующим образом:

$$M = M_г + M_о + M_п + M_{и.о.} + M_б , \qquad (5.1)$$

где M - норма расхода; $M_г$ - полезный расход (чистый вес);
$M_о$ - отходы; $M_п$ - безвозвратные потери; $M_{и.о.}$ - используемые отходы;
$M_б$ - количество материала, возвращенное из брака и используемое в производстве.

Нормы расхода основных материалов на создание элементов интегральных пленочных схем методом термического напыления в высоком вакууме определяются количеством испаряемого материала (металла, сплава) за один цикл, необходимого для образования пленки заданной толщины, и рассчитываются по формуле

$$M = m / n^* \ k_{в.г.}, \qquad (5.2)$$

где m - количество испаряемого материала за один цикл;
n - количество одновременно напыляемых микросхем на одну подложку за один цикл;
$k_{в.г.}$ - коэффициент выхода годных изделий (задается).

В зависимости от типа испарителя m за один цикл определяется одним из следующих методов:

1. Количество m, испаряемое с плоского направленного испарителя на плоский приемник (подложку), расположенный параллельно испарителю типа "лодочка", находится по формуле

$$m = \pi\beta\gamma t h^2, \qquad (5.3)$$

где $\pi = 3{,}14$;
$\beta$ - поправочный коэффициент, учитывающий отклонения направленного потока вследствие деформации испарителя при нагревании (определяется для каждого вида испарителя); $\gamma$ - удельный вес испаряемого материала;
t - заданная средняя толщина покрытия; h - расстояние от испарителя до подложки.

2. Количество m , испаряемое с точечного испарителя типа "гусарик" на плоский приемник, определяется по формуле

$$m = 4\pi\beta\gamma t h^2. \qquad (5.4)$$

3. Количество m, испаряемое с плоского испарителя на плоский приемник, рассчитывается по формуле

$$m = 2\pi\beta\gamma t h^2. \qquad (5.5)$$

Чистый вес напыленной пленки $M_г$ находится по формуле

$$M_г = St\gamma. \qquad (5.6)$$

где $S$ - площадь напыленной пленки в микросхеме, $см^2$ .

*Нормирование расхода драгоценных металлов.* Нормирование расхода драгоценных металлов на вакуумное серебрение (золочение) исчисляется как сумма чистого веса по-

крытия (полезного слоя) $M_г$, возвратных отходов (металла, осаждаемого на кассетах и внутренних стенках вакуумной установки) $M_{u.o.}$ и безвозвратных потерь $M_п$, учитываемых в строго нормируемой их величине:

$$M = M_г + M_{u.o.} + M_п = F\,t\,\gamma, \qquad (5.7)$$

где F - площадь всего покрытия; t - средняя толщина покрытия; $\gamma$ - удельный вес драгоценного металла.

Чистый вес

$$M_г = F_г\,t\,\gamma, \qquad (5.8)$$

где $F_г$ - площадь элементов микросхемы.

Безвозвратные потери $M_п$ берутся в размере 3% от $M_г$ для серебра, а при напылении золота -9% от чистого веса, тогда $M_{u.o.}$= M- ( $M_г$+ $M_п$) подлежат возврату. Значение M уточняется по результатам опытно-производственной проверки за один цикл напыления.

*Пример расчета.* Золотая проволока Ø 0,5 мм используется для образования методом напыления контактных площадок и токоведущих дорожек, предназначенных для соединения пассивных пленочных элементов и присоединения к ним выводов активных элементов схемы.

Для образования на подложках проводящего слоя золота толщиной в 0,5 - 1,0 мкм на установке УВН-2М-2 согласно типовой технологии при расстоянии от испарителя до подложки h = 10 см с учетом, что КПД испарителя и системы экранов равняется 30%, необходимо 3,15 г золота. Если это пересчитать на одну подложку размерами 48х60 мм при полной загрузке установки (7 подложек), то количество золота на подложку будет равно 0,45 г или 0,025 г на одну микросхему размером 16х10 мм.

Площадь S, подвергающаяся покрытию, с внутренним радиусом $r_1$, = 8 см и внешним радиусом $r_2$ = 16,5 см равна

$S = \pi(r_2^2 - r_1^2) = \pi(16{,}5^2 - 8^2) = 654\text{см}^2$.

При средней толщине пленки $t$ =0,75 мкм количество золота, осевшего на площади S, равно

$M_г = S\,t\,\gamma = 654 \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 19{,}3 = 0{,}946$ г,

где $\gamma = 19{,}3$ г/см$^3$ – удельный вес золота.

При учете КПД испарителей и системы экранов, равном 30%, количество золота, необходимое для загрузки:

$$M=100/30 * M_г=3{,}15\text{г}.$$

На одну подложку размером 48× 60 мм норма золота должна быть равна (при полной загрузке установки в 7 подложек):

$M_{под}$=M/7= 3,15/7= О,45г ,

а при расчете на микросхему 16× 10 мм норма равняется:

$M_{сх}$=$M_{под}$/18=О,45/18=О,О25г.

Контактные площадки микросхемы 16х10 мм согласно технологии в среднем занимают 55 мм$^2$ . Норма золота для контактов:

$M_к = 0{,}55 \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 19{,}3 = 0{,}0007961$ г.

При уровне отходов в 9% от количества золота, предназначенного для напыления одной платы 16х10 мм, допускаются потери:

$M_п = 0{,}09\,M_{сх} = 0{,}025 \cdot 0{,}09 = 0{,}00225$ г.

Тогда

$M_{u.o} = M_{сх} – (M_к + M_п) = 0{,}02195$ г.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

## ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТОВ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ИХ КРАТКАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

*1. Оборудование для производства фотошаблонов*

*Координатограф ЭМ-701*
Величина рабочего поля - 750х750 мм.
Потребляемая мощность - 0,15 кВт.
Габариты - 1285х1160х975 мм.
Вес - 280 кг.

*Координатограф К-800А*
Максимальный размер фотооригиналов - 800х800 мм.
Потребляемая мощность - 0,2 кВт.
Габариты - 1400х1340х1110 мм.
Вес - 250 кг.

*Фотокамера редукционная прецизионная ЭМ-513*
Размер оригинала - 1300х1300, 800х800 мм.
Рабочее поле оригиналов - 1200х1200, 750х750 мм.
Размеры фотопластин - 90х120, 60х90, 70х70, 51х51 мм.
Масштабы съемки - 1:30, 1:40, 1:50.
Потребляемая мощность - 3 кВт.
Габариты - 8600х1790х2165 мм.
Вес - 2700 кг.

*Проекционный многоместный фотошаблон БЛИК-1*
Количество одновременно получаемых оригиналов - 20.
Размеры фотопластин оригинала - 120х90, 180х130 мм.
Уменьшение - 1:5.
Покрываемое снимками поле - 50х60 мм.
Максимальные размеры изображения - 24х30 мм.
Габариты - 3000х2150х1600 мм.
Вес - 1500 кг.

*Установка для размножения фотошаблонов ЭМ-505*
Величина рабочего поля - 60х90 мм.
Масштаб уменьшения - 1:2, 1:5, 1:10.
Размеры пластинок оригинала - 70х70 мм.
Размеры фотопластинок - 50х60 мм.
Потребляемая мощность - I кВт.
Габариты - 1200х780х1820 мм. Вес - 600 кг.

*Генератор изображений ЭМ-559Б*

Максимальный рабочий ход стола по каждой из координат, мм -150 Точность позиционирования координатного стола, мкм - ±0,5

Погрешность размера, мкм, наборного элемента при размерах элемента, мкм:

до 50 - ±1

от 50 до 100 - ±1,4

от 100 до 3000 - ±1,8

Погрешность поворота наборной диафрагмы на угол 0—90° - ±3

Время экспонирования, с - 0,05—10

Дискретность времени экспонирования, с - 0,01

Расход обеспыленного сжатого воздуха, $м^3$/ч - 3 Напряжение питания, В - 220/380 (50 Гц)

Потребляемая мощность, кВт - 2,5

Занимаемая площадь, $м^2$ - 20

Максимальный рабочий ход стола по каждой из координат, мм - 150.

Таблица А1. Основные характеристики фотоповторителей

| Характеристики | ЭМ-515А | ЭМ-522А | ЗМ-525 | ЭМ-552 |
|---|---|---|---|---|
| Максимальный рабочий ход по двум осям координат, мм | 80×80 | 80×80 | 80×80 | 140×140 |
| Точность позиционирования, мкм | ±2,5 | ±0,2 | ±0,25 | ±0,5 |
| Число позиций | 6 | 1 | 6 | 1 |
| Масштаб уменьшения | 10 | 20, 10, 4 | 10 | 10, 4 |
| Диаметр рабочего поля объектива, мм | 4,5 | 3,5, 8,5, 21 | 4,5 | 8,5, 21 |
| Разрешающая способность объектива, линий/мм | 1100 | 600, 1000, 1360 | 750–850 | 900–1200 |

2. Вакуумное оборудование

*Агрегат непрерывного действия 01НИ-7-006*

Модель - дЕМЗ.273.038. Предельный вакуум в рабочей камере – 6,7 $*10^{-5}$ Па. Производительность агрегата – 150 шт\ч. Количество подложек на планетарном механизме – 15 шт. Количество материалов, напыляемых за один цикл – 2. Рабочий газ при напылении – аргон. Удельная энергоемкость агрегата – не более 3,5 Вт\$см^2$ .Габаритные размеры, мм:

длина – 2950, ширина – 2610, высота – 2050.

*Установка вакуумного напыления УВН-71П-3 (модернизированная для напыления моноокиси кремния )*

Модель - дЕМЗ.273.007.Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па . Габаритные размеры, мм: дина – 1300, ширина – 850, высота – 1940. Масса, кг – 680. Габаритные размеры блока питания и управления: длина – 960, ширина – 300, высота – 1750. Масса, кг -680.

*Установка для многослойного нанесения материалов УВН-75П-1*

Модель - дЕМЗ.273.027.Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па. Количество материалов, напыляемых на один цикл откачки: ионным напылением – 2, электронно-лучевым напылением – 3.Количество одновременно напыляемых подложек 60х48 за один цикл откачки – 90 шт. Рабочий газ при ионном напылении – аргон. Максимальная температура нагрева подложек – 350 °С. Потребляемая мощность – 33 кВт. Габаритные размеры, мм: длина – 1400, ширина -2060, высота – 1900. Масса, кг – 3010.

*Установка вакуумного напыления УВН-74П-3*

Модель - дЕмз.273.024. Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па . Количество одновременно напыляемых подложек 60х43 мм за один цикл откачки – 40 шт. Диапазон температур нагрева подложек – от 100 до 300° С. Количество испарителей: резистивных – 1, электронных с кольцевым катодом – 2. Максимальная толщина наносимого слоя, мкм: меди – 10, алюминия – 7. Потребляемая мощность- 15 кВт. Габаритные размеры установки, мм: длина – 1500, ширина – 2710, высота – 2150. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 950, ширина – 600, высота – 1750. Масса, кг – 1700.

*Установка вакуумного напыления УВН-71П-3 (модернизированная для напыления моноокиси кремния )*

Модель - дЕМЗ.273.007. Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па . Габаритные размеры, мм: длина – 1300, ширина – 850, высота – 1940. Масса, кг – 680. Габаритные размеры блока питания и управления: длина – 960, ширина – 300, высота – 1750. Масса, кг -680.

*Установка для многослойного нанесения материалов УВН-75П-1*

Модель- дЕМЗ.273.027. Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па . Количество материалов, напыляемых на один цикл откачки: ионным напылением – 2, электронно-лучевым напылением – 3.Количество одновременно напыляемых подложек 60х48 за один цикл откачки – 90 шт. Рабочий газ при ионном напылении – аргон. Максимальная температура нагрева подложек – 350 °С. Потребляемая мощность – 33 кВт. Габаритные размеры, м: длина – 1400, ширина -2060, высота – 1900. Масса, кг – 3010.

*Установка вакуумного напыления УВН-74П-3*

Модель- дЕмз.273.024. Предельный вакуум в рабочей камере – $6,7x10^{-5}$ Па . Количество одновременно напыляемых подложек 60х43 мм за один цикл откачки – 40 шт. Диапазон температур нагрева подложек – от 100 до 300° С. Количество испарителей: резистивных – 1, электронных с кольцевым катодом – 2. Максимальная толщина наносимого

слоя, мкм: меди – 10, алюминия – 7. Потребляемая мощность- 15 кВт. Габаритные размеры установки, мм: длина – 1500, ширина – 2710, высота – 2150. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 950, ширина – 600, высота – 1750. Масса, кг – 1700.

*Установка вакуумного напыления УВН–2М–1*

Назначение установки – для изготовления многослойных пленочных микросхем в непрерывном вакуумном цикле. Предельный вакуум в рабочей камере – $1 \cdot 10^{-6}$ Па. Количество резистивных испарителей – 6. Максимальный ток для резистивных испарителей 5 шт. до 500А; 1 шт. до 50А (электронный). Напряжение для резистивных испарителей – 4В; 8В; 16В; 32В. Количество одновременно напыляемых подложек – 6. Потребляемая мощность – 9кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 1550, ширина – 1050, высота – 1800.

*Установка вакуумного напыления УВН–2М–2*

Назначение установки – для однослойного напыления (раздельного). Предельный вакуум в рабочей камере – $1 \cdot 10^{-6}$ Па. Количество резистивных испарителей – 5 (карусель) . Максимальный ток для резистивных испарителей 500А. Напряжение в резистивных испарителей – 4В; 8В; 16В; 32В. Количество одновременно напыляемых подложек – 8. Потребляемая мощность – 7,6кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 1550, ширина – 1050, высота –1950.

*Установка вакуумного напыления УВН–2М–3*

Назначение установки – для изготовления элементов за один вакуумный цикл. Предельный вакуум в рабочей камере – $5 \cdot 10^{-7}$ Па. Количество резистивных испарителей – 6 . Максимальный ток для резистивных испарителей 500А. Напряжение в резистивных испарителей – 4В; 8В; 16В; 32В. Количество одновременно напыляемых подложек – 8. Потребляемая мощность – 7кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 1550, ширина – 1050, высота –1950.

*Установка вакуумного напыления УВН–71Р-2*

Назначение установки – для изготовления элементов схем за один вакуумный цикл методом раздельного нанесения слоев. Предельный вакуум в рабочей камере – $5 \cdot 10^{-5}$ Па. Количество резистивных испарителей – 5 (карусель) . Максимальный ток для резистивных испарителей 500А. Напряжение для резистивных испарителей – 4В; 8В; 16В; 32В. Количество одновременно напыляемых подложек – 2. Потребляемая мощность – 7,6кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 1550, ширина – 1050, высота –1950.

*Установка вакуумного напыления УВН–71П-2*

Назначение установки – для нанесения проводящих пленок (из Та и других металлов) на кремниевые пластины. Предельный вакуум в рабочей камере – $5 \cdot 10^{-7}$ Па. Количество резистивных испарителей –2 . Максимальный ток для резистивных испарителей 500А с автономным питанием. Напряжение в резистивных испарителей – 6В; 12В; 24В. Количество одновременно напыляемых подложек – 58. Потребляемая мощность – 18кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 2085, ширина – 1300, высота –1800.

*Установка вакуумного напыления УВН–62П-1*

Назначение установки – для нанесения пленок Та на пассивные и полупроводниковые подложки методом катодного распыления. Предельный вакуум в рабочей камере – $5 \cdot 10^{-6}$ Па. Количество резистивных испарителей –1 (катод) . Напряжение для резистивных испарителей – 5000В (рабочее напряжение). Количество одновременно напыляемых подложек – 200. Потребляемая мощность – 20кВт. Габаритные размеры шкафа управления, мм: длина 1550, ширина – 1550, высот.

3. Химическое оборудование

Таблица А2. Характеристики оборудования

| № п/п | Оборудование | Марка | Габариты | Производительность |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Установка контроля загрезнения поверхности | УКЗ -1 | 1000×1250×1600 | 30 подл./час. |
| 2 | Установка контроля угла смачивания | УКУС-1 | 1000×1250×1600 | 60 –//– |
| 3 | Установка визуального контроля | УВК-2 | 1000×1250×1600 | 40 – 50 –//– |
| 4 | Установка обезжиривания в парах растворителя | ПВХО-ГС60-2 | 1000×1400×2020 | 100 шт./час. |
| 5 | Установка очистки в растворителях с применением ультразвука | ПВХО-ПК-60-1 | 1000×1030×1080 | 60 шт./час |
| 6 | Установка инфракрасной сушки | УИС-1 | 1300×1200×1970 | 300 шт./час. |
| 7 | Полуавтомат нанесения фоторезиста | ПНФ-1 | 1000×1538×1802 | 40 шт./час |
| 8 | –//– | ПНФ-2 | 1000×1250×1600 | 300 шт./час. |
| 9 | Установка сушки и задубливания | УСДФ-1 | 1000×1538×1796 | 40 шт./час |
| 10 | Полуавтомат термообработки фоторезиста | ПТФ-1М | 1180×1300×1825 | 1000 шт./час |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 11 | Установка экспонирования и совмещения | ЭМ-512А<br><br>ЭМ-520<br>ЭМ-526<br>ЭМ-596 | 1180×950×1100<br><br>1180×1500×1600<br>1180×1500×1600<br>1180×1500×1600 | 60 шт./час<br><br>40 шт./час<br>60 шт./час<br>150 шт./час |
| 12 | Установка проявления и удаления фоторезиста; травление металлических слоев | ПТУ-1 | 1000×1300×1800 | 100-200 |

*Аквадистилятор ДЭ-25 , ТУ64-1-2718-78*

Производительность – $1,1x10^{-7}$ $м^3$\с (4±0,3 л\ч). Потребляемая мощность 3600±10% Вт. Габаритные размеры, мм: длина – 125, ширина – 245, высота – 700.

*Шкаф вытяжной*

Гост 23308-78. Габаритные размеры, мм: длина – 1952, ширина – 750, высота – 2600.

*Электрошкаф сушильный СНОЛ 3,5/3М2У.4.2*

ТУ16-531.639-78.Потребляемая мощность – 2,4 кВт. Точность поддержания температуры - ±10° С. Время разогрева до температуры 350° С при незагруженной камере – 70 мин. Габаритные размеры, мм: длина – 810, ширина – 680, высота – 870.

*Шкаф сушильный электрический 2В-151*

ТУ64-1-1411-81. Потребляемая мощность – 575 вт. Точность поддерживания температуры - ±3° С. Время разогрева до температуры 200° С при незагруженной камере-2 ч. Габаритные размеры, мм: длина – 470, ширина – 395, высота – 600.

Термостат

Температура рабочая - 125°С.

Число камер - 2.

Производительность - 100 шт/ч.

Потребляемая мощность - 1,4 кВт.

Габариты - 800х554х1400 мм.

Вес - 196 кг.

*Установка обезжиривания в парах растворителя типа ДЕ4.932.001.*

Производительность – 20 шт/ч.

Установка травления (скафандр ПФ)

Производительность - 20 шт/ч.

Камера холода КТХ-00I5-65/I65
Регулировка температуры - ручная и автоматическая.
Полезный объем - 0,015 $м^3$.
Мощность установления - 9 Вт.
Габариты: а) камеры - 1850х850х1100 мм;
б) пульта управления - 1850х830х865 мм;
в) холодильной машины - 1035х1370х1045 мм.

4. *Монтажно — сборочное оборудование*

Стол монтажный И.020.002
Объем колпака - 0,0225 $м^3$.
Расход воздуха - 150 $м^3$ /ч.
Габариты - 1160х705х1320 мм.
Вес - 120 кг.

Стол монтажный с вытяжкой СМ.028.0020
Расход воздуха - 400 $м^3$/ч.
Мощность - 0,32 кВт.
Габариты - 1020х850х1300 мм.
Вес - 80 кг.

Стол монтажный с вытяжкой НО.200.002
Освещение рабочей зоны на высоте 100 мм от плоскости стола - 2100 лк. Мощность - 0,32 кВт.
Габариты - 1020х695х1270 мм.
Вес - 50 кг.

*Стол монтажный СМ-7; А2МО.238.001ТУ;*

Освещенность в рабочей зоне – 1100 – 2100 лк. Потребляемая мощность – 0,32 кВт. Габаритные размеры, мм: длина – 1000, ширина – 695, высота 1270.

*Стол сварочный ССП-1; 2.337.001;*

Освещенность в рабочей зоне – 2100лк. Потребляемая мощность – 2,8 кВт. Габаритные размеры, мм: длина – 1000, ширина – 850, высота – 1300.

*Установка ультразвуковой сварки ЭМ-423М*

Модель М2.332.022. Потребляемая мощность – 20 кВт, производительность – 4000 присоединений\ч. Ход манипулятора – 25х25 мм. Габаритные размеры:
длина – 960, ширина – 710, высота – 1400. Масса, кг – 100.

*Установка пневмоструйная «Град»*

Модель- Мо 2.950012. Потребляемая мощность – 8,5 кВт, максимальные размеры обрабатываемой детали, мм: длина – 825, ширина – 190, высота – 130. Габаритные размеры, мм: длина – 825, ширина – 725, высота 1600.

Полуавтомат для алмазной резки пластин ЖК.10.П
Наименьшая толщина заготовки - 0,2 мм.
Мощность - 1,65 кВт.
Габариты - 842х970х1530 мм.
Вес - 650 кг.

*Установка сварки давлением с импульсным нагревом ("Контакт-3А")*

Материал выводов - золото, алюминий, медь.
Диаметр проволоки - 0,02 - 0,1 мм.
Материал контактных площадок - золото, алюминий, медь.
Размер контактной площадки - 40х40 мкм.
Длительность сварки - 0,02 - 2 с.
Производительность - 160 - 250 соед./ч.
Потребляемая мощность - 0,3 кВт.
Габариты - 1220х640х1220 мм.
Вес - 177 кг.

*Установка для сварки давлением с косвенным импульсным нагревом СКИН-1*

Материал выводов - золото, медь, алюминий.
Диаметр выводов - 0,03 - 0,1 мм.
Материал контактных площадок - золото, алюминий, медь.
Размер контактной площадки - 80х80 мкм.
Длительность сварки - 0,05 - 3 с.
Производительность - 250 сварок/ч.
Потребляемая мощность - 0,9 кВт.
Габариты - 1100х1100х775 мм.
Вес - 160 кг.

*Установка для подгонки величины сопротивлений резисторов ("Квант-3В")*

Диаметр фокального пятна - 100 - 300 мкм.
Увеличение для наблюдения - 30; 72.
Длительность импульса - 1 мс.
Габариты - 1100х700х1800 мм.
Вес - 300 кг.

*Лазерная установка ("Луч-1М")*

Количество резисторов на плате - до 6 штук.
Количество плат в кассете - 6 шт.
Точность подгонки - ±1%.
Дискретность установки эталона сопротивления - 1 Ом.
Размеры рабочего поля, в котором ведется подгонка резисторов - 50х50 мм.
Диаметр фокального пятна - 30 - 150 мкм.
Время подгонки шести сопротивлений на плате, изготовленных с допуском 50% до номинала с точностью ±1%, не более 2,5 мин.

Режим работы - ручной и автоматический.
Габариты - 1305х1200х1550 мм.
Вес - 300 кг.

## 5. Контрольно-измерительные приборы

*Измеритель скорости осаждения и толщины пленки в процессе вакуумного напыления (ИСТИ-1)*

Диапазон измеряемой скорости осаждения – 10 – 200 Å/с.
Диапазон измеряемой толщины – 100 – 10000 Å.
Габариты- 450х530х233 мм.
Вес – 28кг.

*Кварцевый измеритель толщины пленки КИТ-1*

Минимально измеряемое изменение массы - 10 мкг/см$^2$.
Максимально измеряемое изменение массы - 5000 мкг/см$^2$.
Использование датчика - многократное, не менее 10 раз.
Габариты - 450х200х350 мм.
Вес - 10 кг.

*Прибор для контроля величины сопротивления в процессе напыления КС-2*

Диапазон измерения сопротивлений -0,1-1; 0,1-10; 0,1 - 100; 1 - 1000 кОм.
Потребляемая мощность - не более 100 В · А.
Габариты - 536х425х225 мм.
Вес - 15 кг.

Таблица А3. Измерительные приборы.

| Название прибора | ГОСТ,ТУ |
|---|---|
| Весы лабораторные ВЛК-500г-М , | ТУ 25-06.1101-79 |
| Измеритель удельного сопротивления ИУС-3, | дЕМ2.600.002 |
| Микроинтерферометр МИИ-4, | ТУ 3-3. 1145-81 |
| Микроскоп МБС-9 , | ТУ 3-3.1210-78 |
| Омметр Щ-34 , | ТУ 25-04-3002-75 |
| Секундомер , | ГОСТ 5072-79 |
| Термометр , | ГОСТ 27544-87 |
| Стенд Т1744 , | 1077.424981.052 |
| Часы сигнальные , | ТУ 25-07-1268-77 |
| Штангенциркуль ШЦ-11, | ГОСТ 166-80 |

ТаблицаА4. Технологическая оснастка

| Наименование и тип | Нормативно-технический документ или чертеж |
|---|---|
| Баллоны стальные бесшовные | ГОСТ 9731-79 |
| Воронки стеклянные | ГОСТ 25336-82 |
| Держатель | 1077.505161.011 |

| | |
|---|---|
| Зондовое устройство для контроля микросборок | 1077.396190.083 |
| Зубило слесарное | ГОСТ 7211-86 |
| Испаритель для алюминия | 1077.396190.043 |
| Испаритель для ванадия | 1077.396190.042 |
| Испаритель для меди | 1077.505583.001 |
| Испаритель для моноокиси кремния | 1077.396190.038 |
| Испаритель для никеля | 1077.396190.044 |
| Карандаш чернографитный 2Т | ГОСТ б.1009-71 |
| Кассета | 1077.443772.137 |
| Катод (для установки УВН-75П-1) | 1077.505121.020 |
| Катод (для агрегата 01НН-7-006) | 7.080.020 |
| Ключ гаечный | ГОСТ 2839-80 |
| Колбы | ГОСТ 1770-74 |
| Линейка измерительная | ГОСТ 427-75 |
| Мензурки | ГОСТ 1770-74 |
| Микрокалькулятор «Электроника С3-22» | 3.050.230ТУ |
| Молоток слесарный | ГОСТ 2310-77 |
| Ножницы ручные для резки металла | ГОСТ 7210-75 |
| Отвертка слесарно-монтажная | ГОСТ 17199-88 |
| Пинцет Па-15 | ТУ 64-1-37-78 |
| Пинцет медицинский | ГОСТ 21241-77 |
| Плитка электрическая бытовая с закрытым элементом | ГОСТ 14919-83 |
| Плоскогубцы комбинированные | ГОСТ 5547-86 |
| Приспособление для проверки качества паяных соединений | 7600.104 |
| Пылесос бытовой | ГОСТ 10280-83 |
| Свидетель контрольный | Сб 7.100.106 |
| Свидетель контрольный | Сб.7.100.107 |
| Свидетель контрольный | Сб.7.100.486 |
| Свидетель контрольный | Сб.7.100.487 |
| Скальпель медицинский | ГОСТ 21240-77 |
| Сосуд Дьюара | ГОСТ 16024-79 |
| Стаканчики | ГОСТ 25336-82 |
| Стаканы стеклянные лабораторные | ГОСТ 25336-82 |
| Стаканы фарфоровые лабораторные | ГОСТ 9147-80 |
| Термокарандаш | 9389.392 |
| Тиски слесарные | ГОСТ 4045-75 |
| Цилиндры лабораторные стеклянные | ГОСТ 1770-74 |
| Эксикаторы | ГОСТ 25336-82 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Т а б л и ц а Б 1 . Действительный годовой фонд времени работы оборудования и рабочих мест, ч /6/

| Наименование оборудования | Годовой фонд времени при работе | |
|---|---|---|
| | односменной | двухсменной |
| Для изготовления пленочной части изделий, в том числе вжигания паст в конвейерных электропечах | - | 3810 |
| Для фотолитографии | 2030 | 4015 |
| Для сборки и герметизации изделий | 2030 | 4015 |
| Для регулирования и контроля | 2030 | 4015 |
| Для изготовления оригиналов и фотошаблонов | 2030 | 4015 |
| Рабочие места | 2070 | 4140 |

Таблица Б2. Список лиц по профессиям, занятых в производстве интегральных схем и микросборок.

| Профессия по производственным участкам | Диапазон разрядов |
|---|---|
| Участок изготовления оригиналов, фотошаблонов | |
| Маляр | 1 – 3 |
| Координатографист прецизионной фотолитографии | 3 – 5 |
| Оператор прецизионной фотолитографии | 3 – 6 |
| Фотолаборант | 2 – 5 |
| Ретушер прецизионной фотолитографии | 1 – 5 |
| Программист | 3 – 6 |
| Участки фотолитографии и очистки подложек | |
| Эмульсировщик прецизионной фотолитографии | 2 – 4 |
| Травильщик прецизионной фотолитографии | 2 – 5 |

| | |
|---|---|
| Измеритель электрофизических свойств | 3 – 5 |
| Травильщик прецизионного травления | 2 – 5 |
| Промывщик деталей и узлов | 1 – 2 |
| Участок изготовления схем | |
| Оператор вакуумно-напылительных процессов | 3 – 6 |
| Оператор термических процессов | 2 – 6 |
| Измеритель макрофизических свойств | 3 – 5 |
| Сборщик микросхем | 2 -5 |
| Изготовитель сетчатых трафаретов | 2 - 4 |
| Сборщик микросборок | 2 -6 |
| Сварщик на электронно-лучевой сварочной установке | 3 -6 |
| Сварщик на лазерной сварочной установке | 3 - 6 |

Т а б л и ц а Б 3 . Нормы площадей на единицу оборудования и рабочее место

| Наименование оборудования | Площадь на единицу оборудования, $м^2$ |
|---|---|
| Микрофотонаборные установки к фотолитографии | 20—22 |
| Микрофотонаборные установки и установки фотолитографии в чистых комнатах | 40—45 |
| Координатографы | 12—15 |
| Редукционные камеры | 18—20 |
| Оборудование для резки стекла, торцовки и снятия фасок | 7—8 |
| Оборудование для шлифовки и полировки стекла | 5—6,5 |
| Оборудование для ионно-плазменного напыления металлов | 12—14 |
| Комплект оборудования для изготовления копий фотошаблонов | 18—20 |
| Оборудование химической очистки | 4,5—5,5 |
| Установки ионно-плазменные | 20—25 |
| Оборудование изготовления пленочной части изделий | 11—25 |
| Электропечи автоматизированные диффузионные с комплектом сервисного оборудования | 17—20 |

Продолжение

| | |
|---|---|
| Электропечи конвейерные | 18—20 |
| Оборудование приготовления паст | 5—6 |
| Шкафы химические вытяжные | 8—10 |
| Оборудование лужения | 5 - 6 |
| Оборудование подгонки резисторов до номинала | 5—6 |
| Оборудование для раздела пластин на кристаллы | 4,5—5,5 |
| Оборудование сборки и монтажа | 4,5—5,5 |
| Установка контроля качества монтажа | 4,5—5,5 |
| Оборудование функционального контроля | 5-6 |
| Оборудование герметизации сваркой | 4,5—6,5 |
| Оборудование герметизации компаундами | 6,0—6,5 |
| Оборудование лакирования | 6 - 7 |

Примечания. Площадь на одного работающего в помещениях цехов (участков) не должна быть менее 4,5 $м^2$.

Таблица Б4. Перечень подразделений, которые необходимо выделять в отдельные помещения (производство микросборок)

| Наименование подразделения | Данные по технологическому процессу |
|---|---|
| Изготовление сетчатых трафаретов | Изготовление сетчатых трафаретов на основе фоторезистов и металлических сеток. |
| Химическая очистка подложек, полупроводниковых пластин и кварцевой оснастки | Химическая обработка подложек и полупроводниковых пластин |
| Подготовка паст | Корректировка паст |
| Фотолитография | Нанесение фоторезиста |

| | |
|---|---|
| | Экспонирование фоторезиста<br>Проявление фоторезиста<br>Удаление фоторезиста |
| Термические и диффузионные процессы | Термическая и диффузионная обработка пластин |
| Вакуумное напыление | Напыление пленочных структур |
| Высокотемпературная обработка | Вжигание паст |
| Наименование подразделения | Данные по технологическому процессу |
| Резка пластин и подложек | Резка плат на модули и скрайбирование подложек и пластин |
| Сборка, монтаж и функциональный контроль | Установка и присоединение компонентов на платы, установка плат в<br>корпуса<br>Контроль электрических параметров |
| Измерение и доводка резисторов | Лазерная корректировка сопротивления резисторов |

Продолжение

| | |
|---|---|
| Лужение | Лужение плат и проводниковых элементов |
| Золочение (химическое) | Защита проводниковых элементов химическим и электролитическим осаждением |
| Маркирование и лакирование | Обезжиривание, нанесение маркировки сетко-графическим методом, защита лаком |
| Герметизация | Герметизация микросборок в металлостеклянных корпусах лазерной сваркой |
| Изготовление оригиналов | Изготовление оригиналов комбинированным методом |
| Изготовление фото шаблонов | Изготовление эталонных, эмульсионных, металлизированных и транспарентных фотошаблонов |

Таблица Б5.Нормы расстояний между оборудованием, рабочими местами и элементами здания

| № п/п | Расстояние (мм) | Тип оборудования | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | газотермическое и вакуумное оборудование | Оборудование для изготовления фотошаблонов | Оборудование для фотолитографии и очистки подложки | Вытяжные шкафы |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Между оборудованием по фронту | 1500 – 2000 | 1000– 2000 | 100 – 200 | 500– 1000 |

Продолжение

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Между тыльными сторонами оборудования | 1200 – 1500 | 1000– 2000 | 700 – 800 | 1000 |
| 3 | Между оборудованием при поперечном расположении к проходу | 1500 – 2000 | 1000– 2000 | 1200 – 1500 | 1600- 2000 |
| 4 | Между фронтами двух линий оборудования | 2100 – 2500 | 1600– 2000 | 1500 – 2000 | 1600– 2000 |
| 5 | От стен здания до<br>- тыльной стороны оборудования;<br>- боковой стороны оборудования;<br>- фронта оборудования. | 1000 – 1200<br><br>1000 – 1200<br><br>1000 – 1200 | 1000<br><br>1000<br><br>1000– 1200 | 500 – 600<br><br>500 – 600<br><br>1200 – 1500 | 500– 1000<br><br>500– 1000<br><br>– |

ПРИЛОЖЕНИЯ В

# ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ (ТТП) ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИС И МСБ

## *ТТП-1. Очистка подложек из ситалла*

1. Произвести перегонку воды дистиллятором.
2. Произвести перегонку изопропилового спирта лабораторным аппаратом.
3. Приготовить моющий раствор следующего состава: перекись водорода - 320 мл;

аммиак - 8 мл;

вода дистиллированная до I л.

Раствор готовить каждый раз непосредственно перед промывкой. В одном литре раствора южно одновременно промыть до 15 подложек размером 48х60 мм, после чего раствор к дальнейшему употреблению непригоден. Все работы проводить в вытяжном шкафу.

4. Заложить в кассету 7-8 подложек 48х60 мм и поместить в химический стакан, в который залить моющий раствор так, чтобы его уровень был выше верхнего края подложки не менее чем на 10 мм. Закрыть стакан крышкой и довести раствор до кипения. Кипячение производить в течение 20 минут.
5. Вынуть кассету с подложками из моющего раствора и тщательно промыть проточной дистиллированной водой. На промывку одной кассеты с подложками требуется не менее 0,5 л дистиллированной воды.
6. Поместить кассету с подложками на 5 минут в химический стакан с кипящей дистиллированной водой так, чтобы уровень ее был на 10 мм выше верхнего края подложки.
7. Произвести очистку подложек на парах изопропилового спирта: налить в аппарат для очистки предварительно перегнанный изопропиловый спирт. Изопропиловый спирт менять в аппарате после очистки каждой партии подложек (до 25 штук).
8. Определить качество очистки подложек испытанием на разрыв водной пленки согласно методике, приведенной в разделе "Контроль".
9. Перед напылением очищенные и проверенные подложки прогреть в вакуумной камере при вакууме не хуже $2*10^{-3}$ Па , температуре 320±30°С в течение 30 минут. После прогрева хранение подложек не допускается.

Норма времени - 0,2 ч на 1 подложку. Разряд – II

Контроль

1. Качество очистки подложек определяется испытанием на разрыв пленки воды. Контролируемую подложку, удерживаемую за край пинцетом, погружают кратковременно в сосуд с дистиллированной водой, переливающейся через край сосуда. Вынимают подложку в вертикальном положении.

Если поверхность подложки свободна от гидрофобных загрязнений, то высыхающая пленка воды распределяется по ней тонким слоем (ровным). Если же поверхность подложки загрязнена, то высыхающая пленка воды будет стремиться разорваться и стянуться к смоченным участкам.

2. Подложки, не имеющие загрязнений на поверхности, подвергают дополнительному контролю на количественную оценку степени очистки по краевому углу (угол, образуемый касательной, проведенной к проекции капли масла объемом $1х10^{-2}$ $мм^3$, и плоскостью подложки, на которую нанесена эта капля). Для этого подложку укрепляют в держателе, позволяющем устанавливать ее в вертикальном положении под объектив микроскопа, наносят

5-6 капель масла диаметром $d$ = 2+3 мм и помещают под объектив микроскопа. Наблюдаемую в окуляре пунктирную линию угломерной головкой микроскопа совмещают с вершинами капли, имеющей чечевицеобразную форму. Фиксируют показания штриховой сетки круговой шкалы. Пунктирную линию переводят в положение касательной к капле. Показания снова фиксируют. При этом разница в показаниях составляет краевой угол Θ, который не должен превышать 3°. Чем меньше этот угол, тем лучше качество очистки. Подложку, на которой производилось определение угла Θ, бракуют, так как она загрязнена маслом.

3. Для качественного контроля от каждой партии отбирают 10% подложек, для количественного – 5%. Каждый замер выполняют пять раз и усредненный результат оформляют в виде таблицы.

4. После выборочного контроля на эксикаторе, в который кладутся на хранение подложки, фиксируется дата их очистки.

Норма времени - 0,02 ч на 1 подложку.

### *ТТП-2.* ***Обработка испарителей из молибдена***

*Обезжиривание испарителей*

Дополнительные указания: для испарителей, подвергающихся перед напылением вакуумному отжигу, допускается обработку не производить.

1. Поместить молибденовые испарители (15-20 шт.) в химический стакан и поместить в вытяжной шкаф .Норма времени - 0,12 мин.

Дополнительные указания: допускается обрабатывать различное количество испарителей в зависимости от требований производства.

2. Налить в стакан растворитель трихлорэтилен или четыреххлористый углерод – 500 мл , температура 20±5 °С . Норма времени - 0,30 мин.

3. Выдержать испарители в растворителе в вытяжном шкафу при температуре 20±5 °С, время 1,0-1,5 ч ( норма времени перекрываемое).

Дополнительные указания: уровень растворителя должен быть выше поверхности испарителей не менее чем на 10 мм.

*Травление испарителей*

1. Налить в стакан раствор (натр едкий, тринатрий-фосфат, натрий углекислый, вода дистиллированная) 500 мл и поставить в водяную баню ( шкаф вытяжной, плитка электрическая ). Норма времени - 0,30 мин.
2. Подогреть раствор ( шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная стакан), температура 65±5 °С, время 15-20 мин.
3. Поместить испарители в стакан с подогретым раствором ( шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная ) , норма времени - 0,50 мин.
   Дополнительные указания: уровень раствора должен быть выше поверхности испарителей не менее чем на 10 мм.
4. Выдержать испарители в подогретом растворе ( шкаф вытяжной, плитка электрическая,), температура 65±5 °С, время - 8 мин.

5. Поместить испарители под проточную горячую воду ( шкаф вытяжной, стакан , вода водопроводная, температура 60±5 °С .Норма времени - 0,10 мин.

6. Промыть испарители проточной горячей водой шкаф вытяжной, стакан - вода водопроводная) . Время - 20-30 мин.

7. Поместить испарители под проточную дистиллированною воду ( шкаф вытяжной, стакан, вода дистиллированная , температура 20±5 °С). Норма времени - 0,10 мин.

8. Промыть испарители проточной дистиллированной водой ( шкаф вытяжной, стакан , вода дистиллированная). Норма времени – 1мин.

*Сушка испарителей*

1. Протереть испарители каждый в отдельности батистовой салфеткой. Норма времени - 0,25 мин.
   Дополнительные указания: норма времени приведена на протирку одного .испарителя.
2. Поместить испарители в нагретый сушильный шкаф на салфетке. Температура 90±5 °С, норма времени - 0,1 мин.
3. Выдержать в сушильном шкафу при температуре 90±5 °С, время - 20-30 мин. Поместить испарители в эксикатор с силикагелем . Норма времени - 0,1 мин.
   Дополнительные указания: срок хранения обработанных испарителей не более 7 суток.

*ТТП-3.* ***Обработка заготовок из вольфрамовой проволоки***

*Обезжиривание заготовок*

1. Поместить вольфрамовую проволоку (150-200 заготовок для испарителей) в химический стакан . Норма времени - 0,12 мин.
   Дополнительные указания: допускается обрабатывать различное количество заготовок в зависимости от требования производства.
2. Налить в стакан трихлорэтилен или четыреххлористый углерод, температура 20±5 °С. Норма времени - 0,3 мин.
   Дополнительные указания: уровень растворителя должен быть выше верхнего края заготовок не менее чем на 10 мм.
3. Выдержать заготовки в растворителе : температура- 20±5 °С, время - 1,0-1,5 ч.

Травление заготовок

Налить в два стакана раствор и поставить стакан в водяную баню – шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы – раствор (натр едкий, вода дистиллированная), 1000 мл - температура 20±5 °С – норма времени 0,60 мин.

1. Довести раствор до кипения - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы - время 25-30 ч – норма времени перекрываемое.
2. Поместить заготовки в стакан с кипящим раствором - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы – норма времени 0,50 мин.
   Дополнительные указания: уровень раствора должен быть выше поверхности заготовок не менее чем на 10 мм.

3. Выдержать заготовки в кипящем растворе - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы - время 10-15 ч – норма времени перекрываемое.
4. Поместить заготовки в стакан с новым объемом кипящего раствора - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы – норма времени 0,50 мин.
   Дополнительные указания: уровень раствора должен быть выше поверхности заготовок не менее чем на 10 мм.
5. Выдержать заготовки в новом объеме кипящего раствора - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы - время 10-15 ч – норма времени перекрываемое.
6. Поместить заготовки под проточную горячую воду – шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 60±5 °С – норма времени 0,10 мин.
7. Промыть заготовки проточной горячей водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 60±5 °С, время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
8. Поместить заготовки под проточную дистиллированную воду - шкаф вытяжной, стакан – вода дистиллированная - температура 20±5 °С – норма времени 0,10 мин.
9. Промыть заготовки проточной дистиллированной водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 20±5 °С, время 1,0-2,5 мин. – норма времени 1,00 мин.
10. Проверить качество очистки поверхности заготовки – норма времени 0,50 мин.
    Дополнительные указания: поверхность вольфрамовых заготовок должна полностью смачиваться водой. В случае разрыва водной пленки операции обезжиривания и травления повторить.

*Сушка заготовок*

1. Протереть заготовки каждую в отдельности батистовой салфеткой – батист отбеленный – норма времени 0,07 мин.
   Дополнительные указания: норма времени приведена на протирку одной заготовки.
2. Поместить заготовки в нагретый сушильный шкаф на салфетке – шкаф сушильный - температура 90±5 °С – норма времени 0,1 мин.
3. Выдержать в шкафу - шкаф сушильный - температура 90±5 °С, время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
4. Поместить испарители в эксикатор с силикагелем - эксикатор – силикагель – норма времени 0,1 мин.
   Дополнительные указания: срок хранения обработанных испарителей не более 7 суток.

*ТТП-4. Изготовление прецизионных биметаллических масок*

I. Проверить марку, толщину и качество поверхности фольги на соответствие ГОСТу.

II. Разрезать фольгу на заготовки. Размер заготовки определяется размером маскодержателя вакуумной установки с припуском на технологическую зону по 15 мм на каждую сторону.

III. Просверлить два технологических отверстия диаметром 4-5 мм с центрами на длинной оси заготовки на расстоянии 7-8 мм от краев.

IV. Проверить поверхность заготовок на отсутствие механических повреждений (вмятин, царапин) визуальным осмотром и сличением с эталоном. Согнутые углы и заусенцы по периметру заготовки и окружности технологических отверстий не допускаются.

V. Подготовить поверхность заготовок:

1. Обезжирить с помощью щетинной кисти последовательным погружением в две кюветы с бензином или ацетоном на 1-2 мин.

2. Промыть проточной водой в течение 5-10 с.

3. Удалить окислы погружением заготовок в 20-процентный раствор серной кислоты на 40-60 с.

4. Промыть тщательно холодной проточной водой в течение 30-40 с.

5. Погрузить в кювету с ацетоном или бензином на 5-10 с.

6. Сушить между листами фильтровальной бумаги и холодным воздухом с помощью вентилятора.

7. Проверить поверхность заготовок на отсутствие окислов, механических повреждений (вмятин, царапин) визуальным осмотром.

Примечание. При наличии на поверхности заготовок окислов, трудно удаляемых в 20-процентном растворе серной кислоты, обработку заготовок после промывки производить следующим образом:;

а) погрузить заготовку в раствор хромовый ангидрид $KaCr_2O_7$450; серная кислота (уд. в. 1,84) 27 мл; Режим: температура раствора 18-22°С, время 5-10 с;

б) тщательно промыть заготовки холодной (проточной) водой в течение 20-30 с; дальнейшую обработку заготовок производить, как указано в п.V (3-7).

VI. Произвести термическую обработку заготовок:

1. Уложить заготовки пакетом по 20-30 штук (не более) и поместить в вакуумную печь в свободном состоянии.

2. Отжечь заготовки при температуре 400°С в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$–$10^{-3}$ Па в течение двух часов.

Повышение и снижение температуры в печи производить со скоростью не выше 100С в час. Загрузку и выгрузку заготовок производить при температуре не выше 30°С.

VII. Изготовить копию схемы:

1. Декапировать заготовки в 10-процентном растворе соляной кислоты при температуре 15-20°С в течение 5-6 с.

2. Промыть проточной водой в течение 1 мин.

3. Зачистить заготовку кашицей из венской извести с помощью паралоновой губки или волосяной щетки.

4. Промыть проточной водой в течение 1 мин.

5. Тщательно обезжирить поверхность заготовки кашицей из просеянной венской извести с помощью паралоновой губки или волосяной щетки.

6. Промыть тщательно холодной проточной водой с помощью волосяной щетки или паралоновой губки в течение1-2 мин.

7. Декапировать в 10-процентном растворе соляной кислоты погружением заготовок на 20-40 с.

8. Промыть тщательно холодной водой с помощью паралоновой губки или ватного тампона в течение 1-2 мин.

9. Проверить качество обезжиривания смачиванием заготовки водой.

Примечание. 1. При наличии на поверхности заготовки пленки окислов рыжевато-красного цвета повторить операции, указанные в п. VII (7, 8).

2. Разрыв во времени между операциями, указанными в п.VII (8, 9), не допускается.

10. Промыть заготовку дистиллированной водой в течение 30-40 с.

11. Нанести светочувствительную эмульсию на заготовку, погружая ее в раствор или поливая им, закрепить заготовку на крестовине центрифуги, включить привод и сушить до полного высыхания слоя. Нагрев включить в процессе подготовки центрифуги к работе.

Режим: температура воздуха в центрифуге – 35 ± 5°С; скорость вращения центрифуги - 100-120 об/мин; продолжительность центрифугирования - 8-10 мин.

Попадание прямых ультрафиолетовых лучей на заготовку при нанесении светочувствительного слоя и сушки его не допускается. Разрыв между операциями, указанными в п.VII (9, 10), допускается не более 3 ч.

12. Поместить заготовку, покрытую светочувствительным слоем, в вакуумную раму, включить вакуум и произвести экспонирование; время экспонирования подбирают опытным путем(2-4 мин); расстояние от лампы ПКР-7 до экспонируемой поверхности 150 мм; лампы и вентиляцию включить за 5-10 мин до начала работы.

Примечание. Чистку рабочих негативов от пыли и других загрязнений производить непосредственно перед экспонированием один раз в смену путем мягкого протирания поверхности заготовки тампоном, смоченным в спирте-ректификате и отжатым от избытка жидкости. Расход спирта 0,003 л на 1 негатив.

13. Проявить копию погружением заготовки в стакан или кювету с проточной горячей водой.

Режим: температура - 60-70°С, продолжительность 1-1,5 мин.

14. Окрасить копию погружением заготовок в ванну с раствором метилвиолета.

Режим: температура - 18-25°С, продолжительность - 5-10 с.

15. Тщательно промыть заготовку холодной водой под душем в течение 1-2 мин. При наличии "вуали" (абсорбированного коллоида) на проявленных участках схемы заготовку следует забраковать.

16. Дубить копию погружением заготовки в ванну с раствором: хромовый ангидрид - 50 г, вода - 1000 мл.

Режим: температура - 18-25°С, продолжительность - 30-40 с.

17. Промыть тщательно копию холодной водой под душем в течение 3-5 с.

18. Сушить обдувкой холодным воздухом от вентилятора.

19. Удалить с обратной стороны заготовки остатки эмульсионного слоя и окислы влажным абразивным микропорошком с помощью ватного тампона.

20. Проверить качество изображения схемы на заготовке визуальным осмотром, сличением с эталоном и с помощью микроскопа МБС-9. Элементы изображения должны быть четкими, с ровными краями. Наличие "вуали" в рабочей зоне заготовки не допускается.

На изображении схемы не должно быть механических повреждений (рисок, царапин), инородных включений, участков, не покрытых эмульсионным слоем, и пузырей.

21. Дубить копию в сушильном шкафу или в установке для дубления инфракрасными лучами.

Режим: температура в сушильном шкафу- 130-150°С, продолжительность - 90 мин; температура в установке - 160-180°С, продолжительность - 20-30 мин; расстояние от ламп до экспонируемой поверхности - 120 мм, общая мощность ламп - 2,5 кВт, лампы типа ЗС-3 мощностью 0,5 кВт.

VIII. Нанести защитный слой лака:

1. Декапировать заготовку погружением в 10-процентный раствор соляной кислоты на 5-6 с.

2. Промыть тщательно холодной проточной водой в течение 0,5 - 1,0 мин.

3. Сушить между листами фильтровальной бумаги с помощью вентилятора в течение 10-15 мин.

4. Нанести на обратную сторону заготовки клей АК-20 поливом в два приема с последовательной сушкой каждого слоя на воздухе.

Режим: вязкость клея АК-20 по вискозиметру 25 с.; время сушки 1-го слоя - 20-30 мин, 2-го слоя - 2-3 часа. До рабочей вязкости клей доводится ацетоном.

5. Проверить качество лакового слоя визуальным осмотром и сличением с эталоном. Покрытие не должно иметь инородных включений, царапин, пузырьков, окислов меди, наплывов лака.

IX. Произвести электролитическую металлизацию.

1. Тщательно обезжирить поверхность заготовки кашицей из просеянной полировальной извести с помощью паралоновой губки или ватного тампона.

2. Промыть проточной водой в течение 1 мин с помощью ватного тампона.

3. Декапировать в 10-процентном растворе соляной кислоты в течение 15-20 с.

4. Промыть проточной водой (холодной) в течение 1 мин с помощью ватного тампона.

5. Произвести затравку поверхности погружением заготовки в раствор следующего состава: аммоний надсернокислый - 300 г; серная кислота - 40-50 г; вода дистиллированная - 1000 мл.

Режим: температура раствора - 35-40°С, продолжительность не более 10 с.

6. Промыть тщательно холодной проточной водой (дистиллированной) в течение 1 мин.

Примечание. Очистку заготовок производить непосредственно перед никелированием; запрещается разрывать техпроцесс во времени между операциями.

7. Никелирование на толщину 10-12 мкм в электролите следующего состава: никель борфтористоводородный - 250-300 г/л; кислота борная свободная - 20-30 г/л; кислота борфтористоводородная - 10-30 г/л; сахарин - 0,5 г/л; моющее средство - 0,2-0,3 г/л; pH - кислотность - 3,0-3,5.

Режим: температура электролита - 20-30°С; плотность тока - 2-3 А/дм$^2$; время - 15-20 мин.

8. Промыть тщательно проточной водой в течение 1 мин.

9. Сушить между листами фильтровальной бумаги с помощью вентилятора.

10. Проверить качество никелевого покрытия визуальным осмотром, сличением с эталоном и с помощью микроскопа МБС-1. Никелевое покрытие должно быть эластичным, светлым, без подгара (дендритов), отслаиваний, микротрещин. Радиус кривизны заготовки после никелирования не должен превышать 2 мм. Не допускается зарастание никелем элементов схемы и участков, не покрытых никелем в "узких" местах.

11. Удалить скальпелем или мягкой иглой тонкие перемычки и заусенцы. При этом не допускаются механические повреждения элементов схемы по периметру.

X. Удалить задубленную копию схемы.

Погрузить заготовку в ванну с водным раствором 1 или 2.

Состав раствора 1: щавелевая кислота - 250 г/л; натрий хлористый - 60 г/л.

Состав раствора 2: натрий едкий - 400 г/л.

Режим: температура раствора 70-80°С, продолжительность 2-3 мин.

Примечание. 1).Раздубливание односторонних масок производить в растворе 1, двусторонних - в растворе 2.

2). Промыть в проточной воде с помощью мягкой волосяной щетки.

3). В случае неполного удаления задубленного слоя повторить операции по п.X.

4). В случае нарушения лакового покрытия при выполнении операций по п.IX (7) и X лак удалить и нанести заново, как указано в п.VIII.

XI. Травить бронзу с участков, не защищенных никелем, погружением заготовки в раствор следующего состава: хромовый ангидрид - 450 г; серная кислота (уд.в.1,84) - 50 г; вода - 1000 мл.

После травления промыть тщательно проточной водой в течение 1-2 мин.

Режим: температура раствора 55-60°С, продолжительность - 40-50 мин.

XII. Удалить защитную пленку лака:

1. Удалить пленку лака с оборотной стороны с помощью скальпеля.
2. Декапировать в 10-процентном растворе соляной кислоты в течение 5-6 с.
3. Промыть холодной проточной водой в течение 1 мин.
4. Нейтрализовать заготовку погружением в 10-15-процентный раствор аммиака на 4-5 мин (18-20°С).
5. Промыть проточной дистиллированной водой в течение 15-20 с.
6. Промыть тщательно последовательным погружением заготовки в две емкости с кипящей дистиллированной водой в течение 10 мин. в каждую.
7. Сушить между листами фильтровальной бумаги с помощью вентилятора в течение 10-15 мин.
8. Проверить качество вытравленного изображения визуальным осмотром, сличением с эталоном и с помощью микроскопа МБС-1. Элементы изображения на маске должны быть четкими, без заусениц, перемычек, вмятин, стравленных и подтравленных участков, механических повреждений (рисок, царапин, скручивания или разрыва никелевого слоя по периметру элементов и т.д.).

Нормы времени - 0,01 ч на 1 слой напыления (на одну плату) или 2 ч на маску.

*Контроль*

Проверить маски на соответствие чертежу и эталону визуальным осмотром и с помощью измерительного микроскопа УИМ-23 или МИИ – 4.

Профиль и размеры элементов на маске должны соответствовать чертежу с учетом технологических допусков, предусмотренных техническими условиями.

Норма времени - 0,01 ч.

*ТТП-5. 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 проточной 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 целью предохранения масок от дальнейшего окисления и для ускорения процесса сушки.
7. Сушить холодным воздухом от вентилятора в течение 2-5 мин.

Норма времени - 0,6 ч.

*ТТП-6. Обработка навесок* ***алюминия и меди перед напылением***

*Обезжиривание навесок*

1. Поместить навески (300-500 г) в стакан – шкаф вытяжной, стакан – норма времени 0,12 мин.
   Дополнительные указания: допускается обрабатывать различное количество навесок в зависимости от требования производства.
2. Налить в стакан трихлорэтилен или четыреххлористый углерод - шкаф вытяжной, стакан - трихлорэтилен или четыреххлористый углерод - температура 20±5 °С – норма времени 0,3 мин.
   Дополнительные указания: уровень растворителя должен быть выше поверхности навесок не менее чем на 10 мм.
3. Выдержать навески в растворителе - температура 20±5 °С, время 2-4 ч – норма времени перекрываемое.

*Травление навесок*

1. Налить в стакан раствор – шкаф вытяжной, стакан –

- раствор №3 (натр едкий, вода дистиллированная), 500 мл - температура 20±5 °С – норма времени 0,63 мин.
  Дополнительные указания: раствор №3 использовать для навесок алюминия. Способ приготовления раствора №3 приведен в приложении 3.
- раствор №3 (хрома окись, кислота серная, вода дистиллированная), 500 мл - температура 20±5 °С – норма времени 0,63 мин.
  Дополнительные указания: раствор №34 использовать для навесок меди. Способ приготовления раствора №4 приведен в приложении 3.

2. Подогреть раствор в водяной бане - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стакан - температура 35±5 °С, время 10-15 мин. – норма времени перекрываемое.
   Дополнительные указания: для травления навесок меди в растворе №4 переход не

выполнять.

3. Поместить навески в стакан с раствором - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы – норма времени 0,50 мин.
   Дополнительные указания: уровень раствора должен быть выше поверхности навесок не менее чем на 10 мм.
4. Выдержать навески в стакане с раствором - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стаканы –

- раствор №3 - температура 35±5 °С, время 4-5 мин. – норма времени 5,00.
  Дополнительные указания: для навесок алюминия.
- раствор №4 - температура 20±5 °С, время 5-10 мин. – норма времени 0,17.
  Дополнительные указания: для навесок меди.

5. Поместить навески под проточную горячую воду – шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 35±5 °С – норма времени 0,10 мин.
6. Промыть навески проточной горячей водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 35±5 °С, время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
7. Поместить навески под проточную дистиллированную воду - шкаф вытяжной, стакан – вода дистиллированная - температура 20±5 °С – норма времени 0,10 мин.
8. Промыть навески проточной дистиллированной водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 20±5 °С, время 0,5-1,0 мин. – норма времени 1,00 мин.

*Сушка навесок*

1. Просушить навески салфетками – батист отбеленный, 0,2 м – норма времени 2,00 мин.
2. Проверить внешний вид обработанных навесок меди. Навески должны иметь блестящий розовый цвет – норма времени 0,50 мин.
   Дополнительные указания: при наличии пятен, потеков, радужной окраски осветлить навески меди в растворе №5 при температуре 20±5 °С в течении 3-5 сек. с последующей промывкой в теплой и холодной воде. Способ приготовления раствора №5 приведен в приложении 3.
3. Поместить навески в нагретый сушильный шкаф на салфетке – шкаф сушильный –

- температура 90±5 °С – норма времени 0,1 мин.
  Дополнительные указания: температура сушки навесок алюминия.
- температура 65±5 °С – норма времени 0,1 мин.
  Дополнительные указания: температура сушки навесок меди.

4. Выдержать в шкафу - шкаф сушильный - время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
5. Поместить навески в стаканчик, стаканчик - в эксикатор с силикагелем – стаканчик, эксикатор – силикагель – норма времени 0,1 мин.
   Дополнительные указания: допускается хранить навески в стаканчике с этиловым спиртом. Срок хранения обработанных навесок не более 7 суток.

*ТТП-7. Обработка навесок ванадия и никеля перед напылением*

*Обезжиривание навесок*

1. Поместить навески (100-200 г) в стакан – шкаф вытяжной, стакан – норма времени 0,12 мин.
   Дополнительные указания: допускается обрабатывать различное количество навесок в зависимости от требование производства.
2. Налить в стакан трихлорэтилен или четыреххлористый углерод - шкаф вытяжной, стакан - трихлорэтилен или четыреххлористый углерод - температура 20±5 °С – норма времени 0,3 мин.
   Дополнительные указания: уровень растворителя должен быть выше поверхности навесок не

менее чем на 10 мм.

3. Выдержать навески в растворителе - температура 20±5 ℃, время 1,0-1,5 ч – норма времени перекрываемое.

*Травление навесок*

1. Налить в стакан раствор – шкаф вытяжной, стакан – раствор (кислота азотная, , вода дистиллированная), 500 мл - температура 20±5 ℃ – норма времени 0,30 мин.
2. Подогреть раствор в водяной бане - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стакан - температура 35±5 ℃, время 10-15 мин. – норма времени перекрываемое.
   Дополнительные указания: для травления навесок ванадия переход не выполнять.
3. Поместить навеску в отдельности в стакан с раствором и выдержать в нем - шкаф вытяжной, плитка электрическая, баня водяная, стакан, пинцет –

- время 5-10 с,
  Дополнительные указания: норма времени приведена для одной навески.
- температура 20±5 ℃,
  Дополнительные указания: температура раствора для травления навесок ванадия.
- температура 35±5 ℃
  Дополнительные указания: температура раствора для травления навесок никеля.
  – норма времени 0,18 мин.

4. Промыть каждую навеску под проточной теплой водой и поместить в стакан – шкаф вытяжной, пинцет, стакан – вода водопроводная - температура 35±5 ℃, время 5-10 с – норма времени 0,30 мин.
   Дополнительные указания: норма времени приведена для одной навески.
5. Промыть навески в стакане проточной теплой водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 35±5 ℃, время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
6. Поместить стакан с навесками под проточную дистиллированную воду - шкаф вытяжной, стакан – вода дистиллированная - температура 20±5 ℃ – норма времени 0,10 мин.
7. Промыть навески проточной дистиллированной водой - шкаф вытяжной, стакан – вода водопроводная - температура 20±5 ℃, время 0,5-1,0 мин. – норма времени 1,00 мин.
8. Проверить качество очистки поверхности заготовки – норма времени 0,50 мин.
   Дополнительные указания: поверхность навесок должна полностью смачиваться водой. В случае разрыва водной пленки операции обезжиривания и травления повторить.

*Сушка навесок*

1. Протереть навески каждую в отдельности батистовой салфеткой – батист обеливающий, 0,2 м – норма времени 0,22 мин.
   Дополнительные указания: норма времени приведена для одной навески.
2. Поместить навески в нагретый сушильный шкаф на салфетке – шкаф сушильный – температура 90±5 ℃ – норма времени 0,1 мин.
3. Выдержать в шкафу - шкаф сушильный - температура 90±5 ℃, время 20-30 мин. – норма времени перекрываемое.
4. Поместить навески в стаканчик, стаканчик - в эксикатор с силикагелем – стаканчик, эксикатор – силикагель – норма времени 0,1 мин.
   Дополнительные указания: допускается хранить навески в стаканчике с этиловым спиртом. Срок хранения обработанных навесок не более 7 суток.

*ТТП-8. Подготовка материалов из нихрома и золота перед напылением*

1. Обезжирить навески материалов в бензине, последовательно промыв в двух

емкостях и протерев батистовым тампоном. Плотность загрузки - 5 $дм^2$/л.

2. Сушить навески на воздухе в течение 5-10 мин до полного высыхания растворителя.

3. Обезжирить навески из нихрома и золота в водном растворе следующего состава: натр едкий или кали едкое - 10-20 г/л; углекислый натрий - 50 г/л.

Режим: температура раствора - 80-90°С; время обработки - 5-7 мин; плотность загрузки - 1 $дм^2$/л.

4. Промыть навески из нихрома и золота горячей проточной водой при температуре 70-80°С в течение 15-20 с для удаления травильного раствора. Обмен воды – 1 объем в 2 часа.

5. Промыть навески из нихрома и золота проточной холодной водой. Обмен воды - 2 объема в 1 час. Время промывки - до 1 мин. После промывки поверхность навесок должна полностью смачиваться водой. В противном случае операции обезжиривания и последующих промывок в воде повторить.

6. Произвести травление навесок из нихрома в водных растворах состава: серная кислота (уд.в.1,84); соляная кислота (уд.в.1,19); вода дистиллированная - в равных объемных частях.

Режим: температура раствора - 30-40°С: время травления - 3-5 с; плотность загрузки - 3-5 $дм^2$/л.

7. Промыть навески из нихрома и алюминия горячей проточной водой при температуре 50-60°С в течение 15-20 с для удаления с них травильного раствора. Обмен воды – 1 объем в 2 часа.

8. Промыть навески из нихрома 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.в.1,4) - 50 мл/л.

Режим: температура раствора - 18-25°С; время осветления - 3-5 с; плотность загрузки - 0,5 $дм^2$/л.

10. Промыть навески из алюминия проточной холодной водой в течение 15-20 с. Обмен воды - 2 объема в 1 час.

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

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

### *ТТП-9. Подготовка установок УВН-71-Р-2, УВН-2М-1, УВН-2М-2 к вакуумному напылению*

1. Очистить поверхности деталей подколпачного устройства и приспособлений от следов предыдущего напыления:

снять все детали установки;

очистить шкуркой;

последовательно промыть в бензине и спирте;

промытые детали протереть чистой бязью.

2. Очистить поверхность экранов и стенки колпака скальпелем; оставшиеся куски пленки собрать с помощью пылесоса.

3. Очистить подколпачное устройство перед напылением: детали протереть бязью, смоченной в спирте; тщательно протереть спиртом маскодержатели; подготовить испарители;

протереть спиртом подложкодержатели;

подготовить маски.

4. Подготовка к напылению: перед герметизацией камеры протереть места вакуумного

уплотнения колпака и крышки камеры бязью, смоченной в спирте.

Норма времени - 0,42 ч на 1 цикл или на 126 плат.

*ТТП -10. Напыление резистивных материалов на установке УВН-75П-1*
( сплавы РС-3710, РС-4206, РС-5402П, РС-5406Н )

*Подготовительная*

1.Проверить наличие заземления установки. Включение и эксплуатация вакуумной установки осуществлять в соответствии с эксплуатационными документами.

2.Проверить давление холодной, горячей воды и сжатого воздуха по нанометрам, встроенным в магистрали.

3.Открыть вентиля холодной, горячей воды и сжатого воздуха.

4.Включить питание на пульте установки.

5.Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0,05 мин.

6.Включить подачу горячей воды на рабочую камеру, 0,05 мин.

7.Включить механический насос, 0, 05 мин.

8.Открыть форвакуумный клапан, 0,05 мин.

9.Включить диффузионный насос. Время выхода диффузионного насоса на режим 50-60 мин.

10.Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель.

11. Проверить наличие аргона в баллоне по входному манометру редуктора.

12. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 0, 20 мин.

13. Открыть рабочую камеру, 0,05 мин.

14. Отключить натекатель воздуха.

15. Проверить целостность мишени и надежность ее крепления или при необходимости установить новую мишень. Мишень должна плотно прилегать к водоохлаждающему держателю, 0,50 мин. Мишени изготовлены из сплавов РС-3710, РС-4206 , РС-5402П и РС-5406Н. Рекомендуемое количество циклов напыления с каждой мишени : 250 – 500.Необходимость установки конкретной мишени зависит от напыляемой структуры, указанной в чертеже.

16. Проверить целостность катода или при необходимости установить новый кольцевой катод - проволока вольфрамовая ВА-1 1,5 мм , время - 0,50 мин. На одном катоде допускается производить не более 15-18 циклов напыления. Время на установку новой мишени и катода составляет 20-25 мин.

17. Протереть детали внутрикамерного устройства, внутренние поверхность камеры и смотровых окон, а также подложкодержатели батистовыми салфетками, смоченными этиловым спиртом, до полного отсутствия на ткани следов загрязнений, 12,00 мин18. Влючить омметр.

19. Установить контрольный «свидетель» на держатель, проверить надежность его соединения с омметром, замкнув контакты «Свидетеля» медной проволокой или пинцетом, 1, 10 мин. Выполнять переходы напальчниках или капроновых перчатках.

20. Установить подложки в держатели на барабане и обдуть их очищенным воздухом. 0,26 мин, норма времени приведена на установку.

21. Закрыть рабочую камеру.

*Напыление*

22. Включить подачу жидкого азота, 0,05 мин.

23. Включить вакуумметр, 0,05 мин. Создать вакуум в рабочей камере, давление $5*10^{-3}$-$5*10^{-4}$ Па.

25. Произвести запуск инертного газа и довести вакуум в рабочей камере до $5*10^{-2}$ Па ; 2,00 мин.
26. Включить привод вращения барабана.
27. Установить режимы и произвести тренировку мишени. Время 10-15 мин.
Для вновь поставленной мишени время тренировки 30-40 мин.
28. После окончания тренировки мишени установить ручки ТОК КАТОДА, ТОК ЭЛЕКТРОМАГНИТА и высокое напряжение в исходное положение, 0,15 мин.
29. Отключить напуск инертного газа, 0,05 мин.
30. Включить нагрев подложек и нагреть их до 350 $^0$С, время 20 мин.
31. Выдержать подложки при заданной температуре 5,00 мин.
32. Отключить нагрев подложек, 0,05 мин.
33. Произвести напуск инвертного газа и довести вакуум до 1 Па, 2,00 мин.
34. Установить режимы ионно-плазменного напыления, 1,00 мин.
35. Выдержать режимы для стабилизации процесса напыления, 1,10 мин.
36. Открыть заслонку и произвести напыление до расчетного сопротивления контрольного «свидетеля», замеряемого омметром. Расчет величины сопротивления для каждой конкретной схемы производить по формуле
Rсв = $\rho \cdot n \cdot k$, где $\rho$ – удельное поверхностное сопротивление пленки по чертежу, Ом/кв;
n – число квадратов свидетеля;
к – коэффициент, зависящий от топологии, взаимного расположения подложек и материала мишени (подбирается экспериментально и находится в пределах от 0,80 до 0,95.
37. Закрыть заслону, отключить высокое напряжение, отключить ток катода, ток дугового разряда, и напуск инертного газа, отключить тумблер СЕТЬ на шкафу управления, 0,5 мин.
38. Включить нагреватель подложек и нагреть их до 330-350 $^0$С; 2,00 мин.
39. Произвести термостабилизацию напыленной пленки; 30,0 мин.
40. Отключить нагрев подложек и охладить их; 5,00 мин.
41. Отключить вакуумметр, 0,05 мин.
42. Отключить подачу жидкого азота, 0,05 мин.
43. Отключить вращение барабана, 0,05 мин.
44. Подать горячую воду на рабочую камеру установки и прогреть ее в течение 1,50 мин.
45. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать камеру 2,20 мин.
46. Открыть рабочую камеру и охладить подложки; 18 мин.
47. Снять напыление подложки и контрольный «свидетель» с барабана установки, установить подложки в кассету и поместить кассету в эксикатор с силикагелем, 0,20 мин. Норма времени приведена для снятия и установки одной подложки. выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках.
48. Закрыть рабочую камеру установки .
49. Отключить установку по окончании работы в соответствии с эксплуатационными документами.

*ТТП – 11. Напыление адгезионных и проводниковых материалов (ванадия, алюминия, меди, никеля) на установке УВН-75П-1*

Проверить наличие заземления установки. Включение и эксплуатация. вакуумной установки осуществлять в соответствии с эксплуатационными указаниями.

1. Проверить давление холодной, горячей воды и сжатого воздуха по нанометрам, встроенным в магистрали.
   Давление холодной воды, кгс/см$^2$ 2-4 (2-4)*$10^5$ Па
   Давление горячей воды, кгс/см$^2$ 2-4 (2-4)*$10^5$ Па
   Давление сжатого воздуха, кгс/см$^2$ 3-5 (2-4)*$10^5$ Па
2. Открыть вентиля холодной, горячей воды и сжатого воздуха

3. Включить питание на пульте установки.
4. Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0, 05 мин.
5. Включить подачу горячей воды на рабочую камеру, 0, 05 .
6. Включить металлический насос, 0, 05.
7. Открыть форвакуумный клапан, 0, 05.
8. Включить диффузионный насос, 0, 05. Время выхода диффузионного насоса на режим 50-60 мин. Норма расхода жидкого азота приведена на один цикл.
9. Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель, 0, 30.
10. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
11. Открыть рабочую камеру, 0, 20.
12. Отключить натекатель воздуха, 0, 05.
13. Протереть детали внутрикамерного устройства, внутренние поверхности камеры и смотровых окон, а такие подложкодержатели батистовыми салфетками, смоченные этиловым спиртом, до полного отсутствия до полного отсутствия на ткани следов загрязнений, 12,0. Норма расхода материалов приведена на один цикл напыления. Порядок проведения ежесменной и периодической очистки вакуумных установок изложен в приложениях 5 и 6.
14. Проверить целостность кольцевых вольфрамовых катодов и при необходимости установить новые катоды на позиции испарения, 0, 50. Переходы 14-17 выполнять в напальчниках или резиновых перчатках. Катоды должны иметь кольцевую форму и устанавливаться на держателях. Долговечность катода – 10 циклов напыления.
15. Установить тигли для испарения проводниковых материалов, 0, 50. Тигель для испарения ванадия устанавливать на 3-5 мм ниже катода. Верхнюю кромку Тигиля для испарения алюминия, меди или никеля устанавливать на 14-16 мм выше катода. Материал и долговечность испарительных элементов, используемых при напылении, приведены в приложении.
16. Установить зеркала для визуального наблюдения за процессом напыления. В качестве зеркал использовать забракованные подложки с напыленной структурой, 1, 00.
17. Закрыть рабочую камеру, 0, 20.
18. Отжиг испарительных элементов, 0, 05.
19. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
20. Включить вакуумметр, 0, 05.
21. Создать вакуум в рабочей камере, 18,00. Давление, Па $6{,}7\cdot10^{-3}$-$6{,}7\cdot10^{-4}$ .
22. Установить режимы и произвести поочередно отжиг испарительных элементов. Режим отжига в испарительных элементов в зависимости от распыляемых материалов приведены в справочном приложении. При повторном использования испарительных элементов отжиг их не производит. Использовать тигли до появления прожогов, трещин или изменения формы.
23. Закрыть высоковакуумный затвор диффузионного насоса через 5-6$^{мин}$после отжига испарителей, 5, 00.
24. Отключить вакуометр, 0, 05.
25. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.
26. Включить подачу горячей воды на камеру,прогреть ее,1, 50.
27. Нажать кнопкунатекателя воздуха и развакуумировать камеру, 2, 20.
28. Открыть рабочую камеру, 0, 20.
29. Загрузить испарительные элементы навесками испаряемых материалов, 2, 80. Необходимость загрузки испарительных элементов конкретными материалами зависит от напыляемой структуры, указанной в чертеже. Навески алюминия и меди должны быть в соответствии с картой. 8.Навески ванадия и никели должны быть изготовлены в соответствии с картой 9.
30. Закрыть испарительные элементы так чтобы испарительные элементы экрана не касались катода, 2, 20.

31. Включить омметр, 0, 05.
32. Установить контрольный «свидетель» в держатель на барабане и проверить целостность соединения его с омметром, замкнута контакты «свидетеля» медной проволокой или пинцетом, 1, 10.Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках. Сопротивление цепи «свидетеля» не должно быть более.
33. Установить подложки в держатели на барабане и обдуть их очищенным воздухом, 0,26. Норма времени приведена на установку одной подложки выполнять переходы 4 и 5 в напальчниках или капроновых перчатках.
34. Закрыть рабочую камеру, 0, 20 и 0, 05.
35. Включить подачу жидкого азота
36. Включить вакуометр, 2, 20.
37. 37. Создать вакуум в рабочей камере, 18,0. Давление, Па $6{,}7\cdot10^{-3}$-$6{,}7\cdot10^{-4}$ .
38. Включить привод вращения барабана, 0, 05. 25-30 об/мин.
39. Включить нагрев подложек и нагреть их, 3, 00.
40. Отключить нагрев подложек и охладить их, 2,00. Охлаждение производить до температуры, указанной в приложении 8, в зависимости от напыляемого материала. Процесс расплавления меди или алюминия контролировать через смотровое окно.
41. Установить режимы и произвести предварительное расплавление навесок меди или алюминия, 2, 40. Режимы расплавления и напыления всех материалов приведены в справочном приложении 9.
42. Установить режимы и произвести расплавление навесок ванадия, 2, 00.
43. Открыть заслонку и произвести напыление ванадия до расчетного сопротивления цепи «свидетели», 2,00. Расчет величины сопротивления цепи «свидетеля» при напылении ванадия, алюминия, меди и никеля производить по формуле $Rсв = \rho \times n \times k$

    где $\rho$- удельное поверхностное сопротивление пленки по чертежу, ом/□;

    $n$- число квадратов «свидетеля»;

    $k$- коэффициент, зависящий от взаимного расположения подложек и испарительных элементов (подбирается экспериментально и находиться в пределах от 0,80 до 0,95).
44. Закрыть заслонку, 0, 05.
45. Установить режимы и произвести расплавление навесок алюминия или меди, 1, 5.
46. Открыть заслонку и произвести напыление алюминия или меди до расчетного сопротивления цепи «свидетеля»,8,00. Разрыв во времени между напылением адгезионного и проводникового слоев должен быть не более 2 мин.. Процесс напыления считать законченным при полном испарении материала из тигля. При напылении алюминия охладить подложки до температуры 120±10.
47. Закрыть заслонку, 0, 05.
48. Установить режимы и произвести расплавление навесок никеля, 1,50. Режимы расплавления приведены в приложении 8.
49. Открыть заслонку и произвести напыление никеля до расчетного сопротивления цепи «свидетеля», 11, 50. Процесс напыления считать законченным при полном испарении материала.
50. Закрыть заслонку, 0, 05.
51. Охладить подложки, 13,00.
52. Отключить вакуумметр, 0,05.
53. Отключить подачу жидкого азота, 0,05.
54. Отключить вращение барабана, 0,05.
55. Включить подачу горячей воды на колпак и прогреть его, 7,00.
56. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2,20.
57. Открыть рабочую камеру, 0,20.
58. Снять напыленные подложки и контрольный «свидетель» с барабана установки, установить подложки в кассету и поместить кассету в эксикатор с силикагелем, 0,20. Норма времени приведена на снятие и установку одной подложки. Выполнять переход в напальчниках или

капроновых перчатках.

59. Закрыть камеру установки, 0,20.
60. Отключить установку по окончании работы в соответствии с эксплуатационными документами.

*ТТП-12. Напыление адгезионных и проводниковых материалов* (ванадия, алюминия, меди, никеля) на установке УВН-71П-3

1. Проверить наличие заземления установки. Включение и эксплуатацию вакуумной установки осуществлять в соответствии с эксплуатационными документами.
2. Проверить давление холодной и горячей воды, сжатого воздуха по манометрам, встроенным в магистрали.

Давление холодной воды, кгс/см² (2-4)·$10^5$ Па

Давление горячей воды, кгс/см² (2-4)·$10^5$ Па

Давление сжатого воздуха, кгс/см² (3-5)·$10^5$ Па

3. Открыть вентили холодной, горячей воды и сжатого воздуха.
4. Включить питание на пульте установки.
5. Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0,05.
6. Включить подачу горячей воды на рабочую камеру, 0,05.
7. Включить механический насос, 0,05.
8. Открыть вакуумный клапан, 0,05.
9. Включить диффузионный насос, 0,05. Время выхода диффузионного насоса на режим 40-50 мин.
10. Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель, 0, 30. Норма расхода жидкого азота приведена на один цикл напыления.
11. Нажать кнопку натекатели воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
12. Открыть рабочую камеру, 0, 20.
13. Отключить натекатель воздуха 0, 05.
14. Протереть детали внутрикамерного устройства, внутренние поверхности камеры и смотровых окон, а также подложкодержатели, батистовыми салфетками, смоченными этиловым спиртом до полного отсутствия на ткани следов загрязнений, 10, 00. Нормы расхода материалов приведены на один цикл напыления. Порядок проведения ежесменной и периодической очистки вакуумных установок изложен в приложениях 5.
15. Установить испарители на позиции напыления, 0, 80. Норма времени приведена на установку одного испарителя. Порядок заготовки и изготовления испарителей из вольфрамовой проволоки для напыления ванадия, алюминия, никеля приведен в картах 1,2 . Порядок подготовки испарителей из вольфрамовой проволоки.
16. Закрыть рабочую камеру, 0, 35.

*010 Отжиг испарительных элементов*

1. Поставить переключатель рода работ в положение АВТОМАТ, 0, 05.
2. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
3. Включить вакуумметр, 0, 05.
4. Создать вакуум в рабочей камере, 20, 00.
5. Установить режимы и произвести поочередно отжиг установленных испарителей, 4, 00. Режимы отжига испарителей приведены в справочном приложении 10. Подавать ток плавно. Время отжига приведено.
6. Охладить внутрикамерную оснастку испарителя, 10, 00.
7. Отключить вакуумметр, 0, 05.
8. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.

9. Включить подачу горячей воды на камеру и прогреть ее, 1, 50.
10. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать камеру, 2, 20.
11. Открыть рабочую камеру, 0, 30.

015 Загрузка подложек и распыление материалов

1. Произвести загрузку испарителей навесками испаряемых материалов, 5, 30.Необходимость загрузки испарительных элементов конкретным материалом зависит от напыляемой структуры, указанной в чертеже. Нормы расхода материалов приведены на один цикл напыления. Навески алюминия и меди должны быть подготовлены в соответствии с картой 8. Навески ванадия и никеля должны быть подготовлены в соответствии.
2. Закрыть позиции напыления экранами, 0, 70.
3. Установить контрольный «свидетель» на курусель установки и проверить надежность соединения контрольного «свидетеля» с омметром, замкнув контакты «свидетеля» медной проволокой или пинцетом, 1, 00. Выполнять переходы 2-4 в напальчниках или капроновых перчатках. Сопротивление цепи «свидетеля» не должно быть более 2 Ом.
4. Установить подложки в подложкодержатели, подложкодержатели установить на карусель и обдуть подложки очищенным воздухом, 0, 50. Норма времени приведена на установку одной подложки.
5. Закрыть рабочую камеру, 0, 35.

020 Напыление

1. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
2. Включить вакуумметр, 0, 05.
3. Создать вакуум в рабочей камере, 20, 00.
4. Включить привод вращения карусели подложек, 0, 05. 60-70 об/мин.
5. Включить нагреватель подложек и нагреть их, 30, 00.
6. Установить режимы и произвести предварительное расплавление навесок алюминия или меди, 1, 00. Режимы расплавления всех материалов приведены в справочном.
7. Отключить испаритель меди или алюминия, 0, 05.
8. Подать ток на испаритель ванадия и расплавить навеску ванадия1, 00
9. Открыть заслонку и произвести напыление ванадия до расчетного сопротивления контрольного«свидетеля», замеренного омметром, 2, 00. Сопротивление цепи «свидетеля» должно быть от 1,0 до 1,2 кОМ. Режимы напыления всех материалов приведены в приложении 10.
10. Закрыть заслонку и отключить испаритель ванадия, 0, 05.
11. Включить испаритель алюминия или меди, подать плавно ток на испаритель, 1, 00.
12. Открыть заслонку и после расплавления навесок алюминия или меди произвести напыление, 9,00. Перед напылением алюминия охладить подложки до температуры (120±10°)С. Напыление производить до полного испарения проводникового материала. При напылении алюминия для получения необходимой толщины напыление производят с двух испарителей. Разрыв во времени между напылением адгезионного и проводникового слоев не должен быть более 2 мин.
13. Закрыть заслонку и отключить испаритель алюминия или меди, 0, 20.
14. Включить испаритель никеля, подать плавно ток на испаритель, 1, 00.
15. Открыть заслонку и после расплавления навески никеля произвести напыление никеля, 4,50. Режимы напыления приведены в таблице.
16. Закрыть заслонку и отключить испаритель никеля, 0, 20.
17. Отключить нагреватель подложек, 0, 05.
18. Охладить подложки, 10, 00.
19. Отключить вакуумметр, 0, 05.
20. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.

21. Отключить вращение карусели, 0, 05.
22. Включить подачу горячей воды на колпак и прогреть его, 5, 00.
23. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
24. Открыть рабочую камеру, 0, 30.
25. Снять напыленные подложки и контрольный «свидетель» с карусели установки и поместить подложки в кассету и установить кассету с подложками в эксикатор с силикагелем, 0, 50. Норма времени приведена на снятие и установку одной подложки. Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках. Межоперационное время хранения подложек с напыленной структурой в эксикаторе с силикагелем не должно быть.
26. Закрыть камеру установки, 0, 36.
27. Отключить установку по окончании работы в согласно инструкции по ее эксплуатации.

*ТТП -13. Напыление проводниковых материалов на установке УВН-74П-3*

Проверить наличие заземления установки. Включение и эксплуатацию вакуумной установки осуществлять в соответствии с эксплуатационными документами.

1. Проверить давление холодной и горячей воды, сжатого воздуха по манометрам, встроенным в магистрали.
2. Открыть вентили холодной, горячей воды и сжатого воздуха.
3. Включить питание на пульте установки.
4. Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0,05.
5. Включить подачу горячей воды на рабочую камеру, 0,05.
6. Включить механический насос, 0,05.
7. Открыть форвакуумный клапан, 0,05.
8. Включить диффузионный насос, 0,05. Время выхода диффузионного насоса на режим.
9. Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель, 0, 30. Норма расхода жидкого азота приведена.
10. Нажать кнопку натекатели воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
11. Открыть рабочую камеру, 0, 20.
12. Отключить натекатель воздуха, 0, 05.
13. Протереть детали внутрикамерного устройства, внутренние поверхности камеры и смотровых окон, а также подложкодержатели, батистовыми салфетками, смоченными этиловым спиртом до полного отсутствия на ткани следов загрязнений, 12, 0. Нормы расхода материалов приведены на один цикл напыления.
14. Проверить целостность кольцевых вольфрамовых катодов и при необходимости установить новые катоды на позиции испарения в электронных узлах, 0, 50. При смене катода рекомендуется произвести Переходы 14-17 выполнять в напальчниках или резиновых перчатках. Катоды должны иметь кольцевую форму и устанавливаются на держателях. Долговечность катода -20 циклов напыления.
15. Установить тигли и резистивный испаритель для испарения материалов, 0, 80. Для напыления алюминия и меди используются тигли, установленные. Для испарения ванадия и никеля используется резистивный испаритель, установленный на тоководы.
16. Установить зеркала для визуального наблюдения за процессом напыления, 1, 00. Периодичность замены зеркал 10-15 циклов. В качестве зеркал использовать забракованные подложки с напыленной структурой.
17. Закрыть рабочую камеру, 0,20.
18. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
19. Включить вакуумметр, 0, 05.
20. Создать вакуум в рабочей камере, 18,00.
21. Установить режимы и произвести поочередно отжиг резистивного испарителя при положении тумблера РЕЖИМ и тиглей при положении тумблера ПРОГРЕВ, 4, 00.

Использовать тигли до появления прожогов, трещин или до изменения формы. Режимы отжига испарительных элементов в зависимости от распыляемых материалов приведены в справочном приложении 9. При повторном использовании испарительных элементов отжиг их не производить.

22. Закрыть высоковакуумный затвор диффузионного насоса через 5-7 мин после отжига испарительных элементов .
23. Отключить вакуумметр, 0, 05.
24. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.
25. Включить подачу горячей воды на камеру и прогреть ее, 1, 50.
26. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать камеру, 2, 20
27. Открыть рабочую камеру, 0, 20. Загрузить испарительные элементы навесками испаряемых материалов, 2,80. Необходимость загрузки испарительных элементов конктретными материалами зависит от напыляемой структуры, указанной в чертеже . Навески алюминия и меди должны быть подготовлены в соответствии с картой 8.
28. Закрыть испарительные элементы, так чтобы испарительный элемент и экран не касались катода, 2, 20.
29. Включить омметр, 0, 05.
30. Установить контрольный «свидетель» в держатель на барабане и проверить надежность соединения контрольного «свидетеля» с омметром, замкнув контакты «свидетеля» медной проволокой или пинцетом, 1, 10. Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках.
31. Установить подложки в держатели на барабане и обдуть подложки очищенным воздухом,0, 26. Норма времени приведена на установку одной подложки. Выполнять переходы 4 и 5 в напальчниках или капроновых перчатках .
32. Закрыть рабочую камеру, 0, 20.
33. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
34. Включить вакуумметр, 0, 05.
35. Создать вакуум в рабочей камере, 18, 00.
36. Включить привод вращения барабана, 0, 05.
37. Включить нагрев подложек и нагреть их, 8, 00.
38. Установить режимы и произвести предварительное расплавление навесок алюминия или меди, 1, 00. Режимы напыления и расплавления всех материалов приведены в справочном приложении . Процесс расплавления меди или алюминия контролировать визуально через смотровое окно. Поверхность расплава должна быть зеркальной без оксидной пленки.
39. Установить режимы и произвести расплавление навески ванадия, 1, 00.
40. Открыть заслонку и произвести напыление ванадия до расчетного сопротивления цепи «свидетеля», 1, 00. Расчет величины сопротивления цепи «свидетеля» при напылении ванадия, алюминия, меди и никеля производить по формуле

$$Rсв = \rho \times n \times k,$$

где $\rho$- удельное поверхностное сопротивление пленки по чертежу, Ом/□; $n$- число квадратов «свидетеля»; $k$- коэффициент, зависящий от взаимного расположения подложек и испарительных элементов (подбирается экспериментально и находиться в пределах от 0,80 до 0,95.

41. Закрыть заслонку, 0, 05.
42. Установить режимы и произвести расплавление навесок алюминия или меди, 1, 00.
43. Открыть заслонку и произвести напыление алюминия или меди до расчетного сопротивления цепи «свидетеля», 7, 00. Напыление производить с одного или двух тиглей в зависимости от заданной толщины пленки алюминия. Разрыв во времени между напылением адгезионного и проводникового слоев должен быть не более 2 мин. Процесс напыления считать законченным при полном испарении материала из тигля.
44. Закрыть заслонку, 0, 05.
45. Установить режимы и произвести расплавление навесок никеля, 0, 80.

46. Открыть заслонку и произвести напыление никеля до расчетного сопротивления цепи «свидетеля», 4, 50. Процесс напыления считать законченным при полном испарении материала.
47. Закрыть заслонку, 0, 05.
48. Отключить нагреватель подложек и охладить подложки, 13,00.
49. Отключить вакуумметр, 0, 05.
50. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.
51. Отключить вращение барабана, 0, 05.
52. Включить подачу горячей воды на колпак и прогреть его, 7, 00.
53. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
54. Открыть рабочую камеру, 0, 20.
55. Снять напыленные подложки и контрольный «свидетель» с барабана установки и поместить подложки в кассету и установить кассету с подложками в эксикатор с силикагелем, 0, 20. Межоперационное хранение подложек с напыленной структурой в эксикаторе с силикагелем не должно быть. Норма времени приведена на снятие и установку одной подложки. Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках.
56. Закрыть камеру установки, 0, 20.
57. Отключить установку по окончании работы в согласно инструкции по ее эксплуатации.

*ТТП – 14. Напыление структуры титан-алюминий на агрегате непрерывного действия 01НИ-7-006*

1. Проверить наличие заземления агрегата. Включение и эксплуатацию агрегата осуществлять в соответствии с эксплуатационными документами.
2. Проверить давление холодной и горячей воды, сжатого воздуха по манометрам, встроенным в магистрали.
   давление холодной воды, кгс/см$^2$ 3-4
   давление горячей воды, кгс/см$^2$ 3-4
   давление сжатого воздуха, кгс/см$^2$ 4-5
3. Открыть вентили холодной, горячей воды и сжатого воздуха.
4. Включить питание на пульте установки.
5. Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0, 05.
6. Включить механический насос, 0, 10.
7. Открыть форвакуумные клапаны, 0, 10.
8. Включить диффузионный насос, 0, 05. Время выхода диффузионного насоса на режим 50-60 мин.
9. Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель, 0, 50.
10. Проверить наличие аргона в баллоне по входному манометру на редукторе, 0, 30. Давление в баллоне должно быть не менее 25 кгс/см$^2$. Норма расхода аргона приведена на одну смену.
11. Включить подачу жидкого азота перед открытием затвора, 0, 20.
12. Включить вакуумметры, 0, 20.
13. Произвести тренировку катодов из алюминия и титана, установив режимы. Режимы тренировки катода из алюминия $6{,}6\cdot10^{-3}$Па. Режимы тренировки катода из титана $6{,}6\cdot10^{-3}$ Па.
14. Тренировку катодов рекомендуется производить в начале каждой смены. Пригодность катода определяется по напряжению: если напряжение падает ниже 340 В, то необходимо катод заменитьДля вновь установленного катода необходимо провести пробный процесс напыления для уточнения режимов и равномерного распределения пленки по подложке. Время на установку нового катода составляет 50-60 минут. После каждого контакта магратрона с атмосферой необходимо производить очистку магратрона на малых напряжениях и токах до исчезновения пробоев и по мере тренировки постепенно увеличить напряжение и ток до заданного значения.

*010 Загрузка подложек*

1. Произвести напуск воздуха в загрузочную камеру, 3 ,00 . По мере запыленности необходимо производить очистку поверхностей от отслаивающейся пленки при помощи скальпеля и пылесоса.
2. Открыть крышку загрузочной камеры, 0, 50.
3. Вынуть планетарный механизм из загрузочной камеры, 1, 00.
4. Установить подложки в планетарный механизм, 0, 30. Норма времени приведена на установку одной подложки.
5. Установить планетарный механизм с подложками в загрузочную камеру, 2, 50.
6. Закрыть крышку загрузочной камеры, 0, 50.

015 Нагрев подложек

1. Выровнять вакуум в загрузочной и рабочей камерах, 15, 00. $6,7*10^{-3}$ – $6,7*10^{-4}$ Па . Для работы агрегата в непрерывном цикле необходимо произвести загрузку подложек на планетарный механизм в загрузочной камере, повторив операцию 010.
2. Опустить шлюз в загрузочной камере, 1, 00.
3. Перевести планетарный механизм на позицию нагрева, 0, 50.
4. Поднять шлюзы, 1, 00.
5. Включить вращение планетарного механизма, 0, 20.
6. Включить нагрев и нагреть подложки, 5, 00.

020 Напыление

1. Опустить шлюзы, 1, 00.
2. Перевести планетарный механизм на позицию напыления титана, 0, 50.
3. Поднять шлюзы, 1, 00.
4. Установить режимы и произвести напыление титана, 30, 00.
5. Опустить шлюзы, 1, 00.
6. Перевести планетарный механизм на позицию напыления алюминия, 0, 50.
7. Поднять шлюзы, 1, 00.
8. Установить режимы и произвести напыление алюминия, 7, 00.
9. Опустить шлюзы, 1, 00.
10. Перевести планетарный механизм в загрузочную камеру, 0, 50.
11. Поднять шлюзы, 1, 00.
12. Произвести напуск воздуха в загрузочную камеру, 2, 20.
13. Вынуть планетарный механизм из загрузочной камеры, 2, 50.
14. Снять подложки с планетарного механизма, установить их в кассету и поместить кассету в эксикатор с силикагелем, 0, 20. Норма времени приведена на снятие и установку одной подложки. Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках. Для работы агрегата в непрерывном цикле следует повторить операции 010-020.
15. Отключить установку по окончании работы в соответствии с эксплуатационными документам.

*ТТП -15. Напыление моноокиси кремния на установке УВН-71П-3*

Проверить наличие заземления установки. Включение и эксплуатацию вакуумной установки осуществлять в соответствии с эксплуатационными.

1. Проверить давление холодной и горячей воды, сжатого воздуха по манометрам, встроенным

в магистрали.
Давление холодной воды, кгс/см² 2-4
Давление горячей воды, кгс/см² 2-4
Давление сжатого воздуха, кгс/см² 3-5

2. Открыть вентили холодной, горячей воды и сжатого воздуха.
3. Включить питание на пульте установки.
4. Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ, 0, 05.
5. Включить подачу горячей воды на рабочую камеру, 0, 05.
6. Включить механический насос, 0, 05.
7. Открыть форвакуумный клапан, 0, 05.
8. Включить диффузионный насос, 0, 05. Время выхода диффузионного насоса на режим 40-50 мин.
9. Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель, 0, 30. Норма расхода жидкого азота приведена на один цикл напыления.
10. Нажать кнопку натекатели воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
11. Открыть рабочую камеру, 0, 30.
12. Отключить натекатель воздуха, 0, 05.
13. Очистить камеру установки от наслоившихся продуктов предыдущего напыления, 13, 00.
14. Очистить камеру установки от наслоившихся пленок при помощи пылесоса, 5, 00.
15. Протереть детали внутрикамерного устройства, внутренние поверхности камеры и смотровых окон, а также подложкодержатели, батистовыми салфетками, смоченными этиловым спиртом до полного отсутствия на ткани следов загрязнений, 10, 00. Нормы расхода материалов приведены на один цикл напыления. Порядок проведения ежесменной и периодической очистки вакуумных установок изложен в приложении 6.
16. Снять крышку с сеткой с испарителя и заполнить бункер испарителя моноокисью кремния, 0, 50. Норма расхода моноокиси кремния приведена на один цикл напыления.
17. Собрать испаритель и закрепить его вольфрамовой проволокой, 1, 50. Норма расхода вольфрамовой проволоки приведена на один испаритель.
18. Установить испарители на позиции напыления, 1, 80.
19. Закрыть позиции напыления экранами, 0, 70.
20. Установить контрольный «свидетель» на карусель установки, 0, 50. Переходы 21 и 22 выполнять в напальчниках или капроновых перчатках.
21. Установить в каждый подложкодержатель по три подложки, установить подложкодержатели на карусель установки и обдуть их очищенным воздухом, 2, 20. Норма времени приведена на установку одного подложкодержателя.
22. Закрыть камеру установки, 0, 35.

*010 Напыление*

1. Включить подачу жидкого азота, 0, 05.
2. Включить ультрафиолетовую лампу, 0, 05.
3. Включить вакуумметр, 0, 05.
4. Создать вакуум в рабочей камере, 20, 00.
5. Включить привод вращения карусели подложек, 0, 05. 60-70 об/мин
6. Включить нагреватель подложек, 0, 05.
7. Нагреть подложки, 20, 00.
8. Отключить подачу горячей воды на рабочую камеру при достижении необходимой температуры подложек, 0, 05.
9. Подать холодную воду на рабочую камеру, 0, 05.
10. Продолжить нагрев подложек, 12, 00.
11. Переключить рукоятку ИСПАРИТЕЛЬ на позицию напыления моноокиси кремния, 0, 05.

12. Плавно вывести ток до заданной величины реостатом и отжечь испаритель, 1, 50; $6,7*10^{-3}$ Па.
13. Открыть заслонку, 0, 05.
14. Через 5 минут после открытия заслонки произвести напуск воздуха из атмосферы через барботер до достижения необходимого вакуума, 8, 00.
    Произвести напыление моноокиси кремния, 10, 00; 50, 00; 90, 00.
15. Закрыть заслонку, 0, 05; $1,33* 10^{-2}$ Па.
16. Отключить ток испарителя, закрыть подачу воздуха под колпак и отключить ультрафиолетовую лампу, 0, 60.
17. Произвести стабилизацию напыленной пленки, 30, 00.
18. Отключить нагрев подложек, 0, 05.
19. Охладить подложки, 20, 00.
20. Отключить вакуумметр, 0, 05.
21. Отключить подачу жидкого азота, 0, 05.
22. Отключить вращение карусели, 0, 05.
23. Включить подачу горячей воды на колпак и прогреть его, 5, 00
24. Нажать кнопку натекателя воздуха и развакуумировать рабочую камеру, 2, 20.
25. Открыть рабочую камеру, 0, 30.
26. Снять напыленные подложки и контрольный «свидетель» с карусели установки и поместить подложки в кассету и установить кассету с подложками в эксикатор с силикагелем, 0, 60.
27. Закрыть камеру установки, 0, 35. Норма времени приведена на снятие и установку одной подложки. Выполнять переход в напальчниках или капроновых перчатках.
28. Отключить установку по окончании работы в согласно инструкции по ее эксплуатации.

*ТТП-16. Напыление контактных площадок*

1. Установить испарители нихрома, меди и никеля, предварительно протерев их бязью, смоченной в спирте.
2. Отжечь испаритель в вакууме (1-2 мин), напустить воздух в рабочий объем камеры.
3. Загрузить испаритель.
4. Закрепить маски.
5. Установить маскодержатели с масками, на маскодержатели установить подложкодержатели.
6. Откачать рабочий объем камеры.
7. Напылить подслой нихрома:
подогреть подложкодержатель; включить подогрев подложек;
вывести испаритель нихрома на позицию напыления;
провести испарение в течение 20-30 с.
8. Напылить слой меди:
подвести на позицию испаритель меди;
плавно увеличивать ток, после расплавления навески через 5 с;
открыть заслонку и провести испарение в течение 3 мин;
закрыть заслонку.
9. Напылить слой никеля:
вывести на позицию напыления испаритель никеля;
увеличить ток, после расплавления открыть заслонку и провести испарение в течение 1-2 мин;
по истечении 1-2 мин закрыть заслонку и снять напряжение с испарителя;
охладить подложку;
напустить воздух в рабочую камеру;
снять подложкодержатель с подложками.

*Контроль*

На подложках не должно быть сколов, трещин, несовмещенных слоев (осмотр проводится визуально).

Толщина контактных площадок измеряется на микроскопе МИИ-4.

Норма времени - 4,2 ч на 126 плат.

*ТТП-17. Напыление проводников и контактных площадок на основе золота*

1. Установить испарители.
2. Установить у испарителя золота экран, выложенный внутри алюминиевой фольгой.
3. Закрепить маски на маскодержателе.
4. Установить маскодержатели с масками на нижний диск подколпачного устройства.
5. Закрепить подложкодержатели с подложками на верхний диск установки. Проверить прилегание масок к подложкам.
6. Отжечь испарители в вакууме не хуже $6{,}7 \cdot 10^{-1}$ Па.
7. Загрузить испарители с помощью манипуляторов.
8. Провести оплавление навески золота при вакууме не хуже $1 \cdot 10^{-2}$ Па. При наблюдении скачка тока (момент оплавления) быстро снять напряжение с испарителя и выключить накал.
9. Откачать рабочий объем камеры до вакуума не хуже $2 \cdot 10^{-3}$ Па.
10. Напылить подслой нихрома:

нагреть подложку до температуры 200-220°С, дать выдержку 5 мин; установить подложку с маской под испарителем нихрома;

включить накал испарителя нихрома; установить ток 7,5 – 8 А, открыть заслонку и провести испарение в течение 15-20 с;

выключить накал испарителя нихрома.

11. Напылить слой золота:

подвести подложку с напыленным подслоем нихрома на позиции напыления золота;

включить накал испарителя; установить ток 5,5 – 6 А, открыть заслонку и провести испарение в течение 1-1,5 мин;

выключить накал испарителя золота, напустить воздух в рабочий объем камеры.

Норма времени - 4,25 ч на 126 плат.

*ТТП-18. Напыление обкладок из алюминия*

1. Установить испарители. Расстояние испарителя от подложки 200±10 мм.
2. Отжечь испарители в вакууме не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. при токе 100 А. Время отжига 1 мин. Плавно снизить ток до нуля. Напустить воздух в рабочий объем камеры.
3. Загрузить навески алюминия в испарители.
4. Установить экраны.
5. Закрепить маски в маскодержателях.
6. Установить на диск маскодержатели с масками. На маскодержателе установить подложкодержатели с подложками. Проверить прилегание масок к подложкам.
7. Опустить колпак и прижать термопару к первому подложко-держателю.
8. Откачать рабочий объем камеры до вакуума не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.

9. Включить электронный нагрев подложки, установить ток эмиссии 2-3 А, напряжение 2,5 кВ; нагреть подложкодержатель до температуры 120 ± 10°С и выдержать при этой температуре в течение 10 мин.

10. Расплавить алюминий, плавно в течение 30 с увеличивая ток через испаритель до 130 ± 5 А, вакуум при этом должен быть не хуже $2,6 \cdot 10^{-3}$ Па.

11. Установить в цепи испарителя первоначальное значение тока и через 5 с открыть заслонку испарителя.

12. Провести испарение.

13. Плавно снизить ток через испаритель до нуля.

14. Закрыть шибер диффузионного насоса.

15. Провести охлаждение подложек до температуры 80 ± 10°С, после чего напустить воздух в рабочий объем камеры.

16. Снять подложкодержатели с подложками и передать их на следующую операцию технологического процесса.

Норма времени - 3,9 ч на 126 плат.

*ТТП-19. Технологический процесс напыления диэлектрика конденсаторов из SiO на УВН-2М-2*

1. Очистить шкуркой внешний край карусели подложек со стороны испарителей.

2. Очистить камеру пылесосом.

3. Протереть все детали и узлы подколпачной аппаратуры марлей, смоченной в спирте.

4. Закрепить 5 испарителей при помощи ключа в 5 парах тоководов карусели испарителей.

5. Загрузить испарители моноокисью кремния 1 категории весом 1,4-1,5 г каждый.

6. Закрепить очищенные экраны испарителей на карусели испарителей.

7. Вынуть подложкодержатели с подложками из кассеты, поступившей с предыдущей операции, и установить на них маскодержатели с масками диэлектрика.

8. Записать в рабочем журнале номера маскодержателей и подложко-держателей, установленных на них.

9. Вставить совмещенные маскодержатели (с масками) с подложкодержа-телями (подложками) на карусель подложек.

10. Опустить колпак вакуумной установки на собранную систему.

11. Откачать подколпачную систему установки до вакуума не хуже $6,7 * 10^{-3}$ Па .

12. Включить вращение карусели и установить скорость 70 об/мин.

13. Включить нагреватель подложек и нагреть подложки до температуры +330 ± 20°С.

14. Выдержать подложки при температуре +330 ± 20°С в течение 10 мин.

15. Включить питание испарителя и обезгазить испаритель моноокиси кремния током 140-160А до тех пор, пока вакуум не достигнет первоначального уровня.

16. Увеличить ток через испаритель до 160-220А.

17. Открыть заслонку и включить секундомер.

18. Провести напыление кремния в течение 10-15 мин.

19. Закрыть заслонку, выключить секундомер и снять питание испарителя.

20. Перевести в рабочую позицию 2-й из 5 испарителей.

21. Повторить переходы 15-19,

22. Перевести в рабочую позицию 3-й из 5 испарителей.

23. Повторить переходы 15 - 19,

24. Перевести в рабочую позицию 4-й из 5 испарителей.

25. Повторить переходы 15 - 19,

26. Закрыть заслонку и выключить секундомер.

27. Выключить испаритель.

28. Выдержать подложки при температуре 330 ± 20°С в течение 10 мин.
29. Выключить нагреватель подложек.
30. Охладить подложки до температуры +70°С.
31. Выключить привод вращения карусели.
32. Напустить воздух в подколпачную систему согласно техническому описанию.
33. Положить подложкодержатель с подложками в кассету.

*Контроль*

Измерение толщины напыленных слоев периодически производить на микроскопе МИИ-4. ,

Норма времени - 3,2 ч на 126 плат.

*ТТП-20. Изготовление пленочной схемы методом ионно-плазменного распыления с использованием масок в непрерывном цикле*

I. Подготовка подколпачного устройства вакуумной установки ГГ-1764 к напылению. Установить подложкодержатели с подложками в камеру.

1. Установить маскодержатели в камеру.
2. Установить мишени из резистивного материала, нихрома, меди, алюминия (две), кварца в камеру.
3. Установить маски в маскодержатель.
4. Установить "свидетели".
5. Создать в камере вакуум не ниже $1 \cdot 10^{-3}$ Па.
7. Наполнить камеру аргоном до давления $1 \cdot 10^{-1}$ Па .

*II. Напыление резисторов из сплава МЛТ-3М.*

1. Установить мишень из сплава МЛТ-3М и маску резисторов на рабочую позицию.
2. Нагреть подложки на предварительной и рабочей позициях до 200± 10°С и выдержать в течение 10 мин.
3. Установить параметры дугового разряда, А:

ток накала катода - 270;

ток дуги - 5,5;

ток катушки - 8,0.

4. Подать напряжение 2,5 кВ на мишень, при этом величина ионного тока должна составлять 100 мА.
5. Тренировать мишень в течение 10 мин.
6. Открыть заслонку и произвести распыление сплава МЛТ-3М до заданного номинального значения резистора.
7. Снять напряжение мишени.
8. Установить следующую подложку на рабочую позицию.
9. Повторить переходы 4, 6, 7.
10. Повторить переходы 8, 4, 6, 7 для остальных подложек.

*III. Напыление резисторов из нихрома.*

1. Установить мишень из нихрома и маску резисторов на рабочую позицию.
2. Нагреть подложки на предварительной и рабочей позициях до 200±10°С и выдержать в течение 10 мин.
3. Установить параметры дугового разряда, А:

ток накала катода - 270;

ток дуги - 5,5;

ток катушки - 8,0.

4. Подать напряжение 2 кВ на мишень, при этом величина тока должна составлять 250 мА.

5. Тренировать мишень в течение 10 мин.

6. Открыть заслонку и произвести распыление нихрома до заданного номинала резистора.

7. Снять напряжение с мишени.

8. Установить следующую подложку на рабочую позицию.

9. Повторить переходы 4, 6, 7.

10. Повторить переходы 8, 4, 6, 7 для остальных подложек.

IV. Напыление подслоя проводников для контактных площадок.

1. Установить мишень из нихрома и маску проводников и контактных площадок на рабочую позицию.

2. Довести температуру подложек до 150±I0°C и выдержать в течение 10 мин.

3. Подать напряжение 2 кВ на мишень, при этом величина ионного тока должна составлять 250 мА.

4. Тренировать мишень в течение 10 мин.

5. Открыть заслонку и произвести распыление нихрома в течение 30 с.

6. Снять напряжение с мишени.

7. Установить следующую подложку на рабочую позицию.

8. Повторить переходы 3, 5, 6.

9. Повторить переходы 7, 3, 5, 6 для остальных подложек.

*V. Напыление проводников и контактных площадок.*

1. Установить мишень из меди и маску проводников и контактных площадок на рабочую позицию.

2. Нагреть подложки на предварительной и рабочей позициях до 150 ± 10°C и выдержать в течение 10 мин.

3. Подать напряжение 3 кВ на мишень, при этом величина ионного тока должна составлять 250 мА.

4. Тренировать мишень в течение 10 мин.

5. Открыть заслонку и произвести распыление меди в течение 3 мин.

6. Снять напряжение с мишени.

7. Установить следующую подложку на рабочую позицию.

8. Повторить переходы 3, 5, 6.

9. Повторить переходы 7, 3, 5, 6 для остальных подложек.

VI. Напыление нижних обкладок конденсаторов.

1. Установить мишень из алюминия и маску нижних обкладок конденсаторов на рабочую позицию.

2. Нагреть подложки на предварительной и рабочей позиции до 120 ± 10°C и выдержать в течение 10 мин.

3. Подать напряжение 2 кВ на мишень, при этом величина ионного тока должна составлять 210 мА.

4. Тренировать мишень в течение 5 мин.

5. Открыть заслонку и произвести распыление алюминия в течение 12 мин.

6. Снять напряжение с мишени.

7. Установить следующую подложку на рабочую позицию.

8. Повторить переходы 3, 5, 6.

9. Повторить переходы 7, 3, 5, 6 для остальных подложек.

*VII. Напыление диэлектрического (для конденсаторов) и защитного (для резистивной пленочной схемы) слоя.*

1. Установить кварцевую мишень и маску диэлектрического слоя на рабочую позицию.
2. Нагреть подложки на рабочей и предварительной позициях до 200 ± 10°С и выдержать в течение 10 мин.
3. Включить высокочастотный генератор.
4. Подать напряжение 1,1 кВ с генератора на мишень.
5. Тренировать мишень в течение 10 мин.
6. Открыть заслонку и произвести распыление диэлектрического слоя кварца в течение 20 мин.
7. Снять высокое напряжение с мишени.
8. Установить следующую подложку на рабочую позицию.
9. Повторить переходы 4, 6, 7.
10. Повторить переходы 8, 4, 6, 7 для остальных подложек.
11. Выключить высокочастотный генератор.

*VIII. Напыление верхних обкладок конденсаторов*

1. Установить мишень из алюминия и маску верхних обкладок конденсаторов на рабочую позицию.
2. Повторить переходы 2-9 операции VI шесть раз.
3. Снять напряжение с анода и катушки.
4. Вывести ток накала катода и нагревателя подложек.
5. Закрыть вентиль подачи аргона.
6. Охладить подложки под вакуумом до 50 ± 5°С.
7. Закрыть заслонку, развакуумировать камеру.
8. Снять подложки с подложкодержателей.
9. Проверить качество полученных слоев под микроскопом при 16-кратном увеличении. Пленка должна быть четкой, без царапин и отслоений, с четкими краями.
10. Уложить подложки в тару и тару в эксикатор.

*Контроль*

Провести измерения электрических параметров всех резисторов и конденсаторов.

*ТТП-21. Резка ситалловых подложек*

1. Настроить приспособление для резки подложек, для чего:
установить подложку (из брака или без напыленных элементов) в держатель;

экспериментально подобрать угол наклона алмаза к плоскости подложки. Настройку угла производить с помощью специального кронштейна приспособления до появления нормального излома;

для окончательной настройки алмазной иглы установить деление иглы на поверхность пластины с помощью пружины. Настройку иглы считать законченной в случае нормального излома полоски шириной не более 2 мм на полной длине пластины;

установить подложку в держатель;

произвольно нанести риску с помощью алмазной иглы на поверхность пластины;

определить положение риски на подложке относительно перекрестия оптической головки микроскопа, перемещая иглу в поперечном направлении, периодически наносить риски до полного их совпадения с оптическим перекрестком.

2. Разрезать подложки, для чего:

протереть подложку с напыленной схемой куском батиста, смоченного спиртом;

установить подложку в держатель и совместить линию реза, отмеченную крестами, с перекрестием оптической головки микроскопа с помощью винта поворотного стола;

ограничить длину реза микровинтом;

нанести линию реза в продольном направлении;

для нанесения рисок на второй половине подложки необходимо снять подложку и повернуть ее на 180°;

ослабить винты держателя;

установить держатель и произвести резку в поперечном направлении подложки.

Примечание. Линию реза установить либо по перекрестию оптической головки микроскопа, либо с помощью лимба микрометрического винта;

разрезанную подложку положить на резиновую пластину, покрытую батистом, схемой вниз и с помощью эбонитовой палочки поломать на части.

Резку подложек производить в хирургических перчатках или напальчниках, соблюдая правила вакуумной гигиены.

*Контроль*

Проверить габаритные размеры плат на соответствие чертежу с помощью штангенциркуля. Проверить платы на отсутствие сколов, нарушающих схему.

Норма времени - 0,03 ч на одну плату.

### *ТТП-22. Проверка микросхем*

I. Последовательность проверки микросхем (плат) по внешнему виду.

1. Визуальный осмотр на соответствие чертежу.
2. Проверка плат под микроскопом МБС-1 при 16-кратном увеличении.

II. Требования к внешнему виду микросхем (плат).

1. При визуальном осмотре микросхема (плата) должна соответствовать чертежу.
2. Обратная сторона микросхем (плат) должна быть отмечена порядковым номерок согласно установленному порядку (простым карандашом марки 2Т-4Т).
3. При визуальном осмотре допускаются: сколы и раковины (не более 0,5 мм по краям платы), имеющие плавные переходы и не затрагивающие элементы микросхемы.
4. При осмотре микросхем с увеличением в 16 раз допускаются:

а) линии, возникающие в результате обработки ситалла или от чистки обкладок конденсаторов кистью и обнаруживаемые только при определенном направлении освещения под микроскопом;

б) материалы других слоев вне рабочих полей микросхем (плат) при условии сохранения электрических параметров микросхем (плат);

в) несовмещение слоев не более 100 мкм при условии сохранения расстояния между токоведущими элементами в разных слоях не менее 100мкм и полном перекрытии контактирующих участков;

г) линии, меняющие интенсивность блеска при изменении направления освещения под микроскопом, остающиеся серыми, неблестящими, но и не являющиеся царапинами на напыленных слоях;

д) следы на обкладках конденсаторов и контактов, образующиеся при совмещении масок, кроме любых следов, соединяющих границы первой и второй обкладок конденсаторов или способных вызвать короткое замыкание токоведущих элементов;

е) ненапыленные участки вне рабочей поверхности конденсатора и RC-структур, которые получаются в результате заусениц на маске, при этом дефект в нижней обкладке не

должен доходить до границы второй (верхней) обкладки.

5. Не допускаются:

а) царапины, вздутия, отслаивающиеся участки, сколы, трещины, затрагиваю-щие элементы микросхем (плат);

б) линии, которые видны при любом направлении света под микроскопом;

в) отпечатки пальцев, жировые пятна, пятна сухого остатка и чернил на микросхемах;

г) устранение любых загрязнений растворителями;

д) царапины, линии перелома контактов или других элементов схем, а также ситалла под ними, которые могут появиться при разрезе плат;

е) трещины в ситалловой плате.

*III. Требования к внешнему виду микросхем (плат) по элементам с 16-кратным увеличением.*

*Контактные площадки*

Допускается:

а) размытость (нечеткость, неровность) границ контактных площадок при сохранении электрических параметров;

б) наличие пятен с напыляемого материала на контактных площадках (трехслойных, обычных и золотых);

в) дефекты на контактных площадках (следы от приварки, расплющенные куски золота, царапины, дырки, раковины) при условии, что неповрежденная часть имеет размеры для сварки 300х300 мкм (царапины, дырки и раковины не допускаются между местом контакта и контактируемым элементом);

г) следы и царапины от измерительных щупов, не идущие до ситалла;

д) размещение контактных площадок на самом краю ситалловой подложки, если размеры отличаются от предусмотренных чертежом,с условием, что их размер не менее 300х300 мкм;

е) присутствие на контактах Al иSiO при условии, что место для сварки 300х300 мкм.

Не допускаются размеры контактных площадок менее 300х300 мкм (место для приварки).

*Конденсаторы и RC – структуры*

Допускаются:

а) отверстия в верхней обкладке конденсаторов и в рабочей поверхности конденсаторов не более 0,2 мм;

б) размытость, неровность границ конденсаторов при условии сохранения электрических параметров;

в) пятна от напыляемого материала конденсаторов при условии сохранения электрических параметров;

г) дырки от ситалла $\leq$ 0,2 мм на конденсаторах, если $R_{изол} \geq$ 150 МОм;

д) мелкие точки на конденсаторах, отличающиеся цветом от остального фона;

е) сквозные дырки вне рабочей области RC – структур;

ж) сквозные дырки на рабочей области RC – структур размером $\leq$ 0,2 мм;

з) дырки в верхней обкладке конденсаторов на рабочей области RC – структур размером $\leq$ 0,2 мм.

*Не допускаются:*

а) пятна, капли других напыляемых материалов (нихром, никель);

б) сквозные дырки на конденсаторах, за исключением дырок, перечисленных в пункте "допускается".

*Защитный слой*

*Допускается:*

а) неровность границ;

б) наличие пятен от напыляемого материала (SiO на SiO);

в) отверстие в защитном слое конденсатора - не более 0,2 мм, на остальных элементах микросхемы - до 0,6 мм, а на элементах платы - до 1,5 мм.

Не допускается:

а) отслоение защитного слоя;

б) перекрытие диэлектриком нижней обкладки конденсаторов менее 50 мкм.

## *IV. Измерение электрических параметров микросхем (плат).*

### *А. Измерение параметров резисторов после напыления контактов*

После напыления контактов произвести измерение всех резисторов.

1. Подложку ориентировать так, чтобы конфигурация элементов на плате соответствовала чертежу.
2. Измерить величину сопротивления всех резисторов на всех платах. Величина сопротивления резисторов должна соответствовать номиналам чертежа. При обнаружении плат с резисторами, не соответствующими номиналам чертежа, платы передать на токовую корректировку резисторов в сторону увеличения сопротивления согласно технологической инструкции.

Если на одной плате после подгонки все резисторы соответствуют номиналам чертежа, подложку передать на следующую операцию.

Платы, имеющие резисторы с отклонением от номинала чертежа, фиксировать в протоколе как брак по сопротивлению.

Измерения произвести согласно инструкции на измерительном приборе Р 336.

### *Б. Измерение конденсаторов*

После напыления верхней обкладки конденсаторов измерение их производится выборочно согласно инструкции по эксплуатации приборов.

1. Подложку ориентировать так, чтобы конфигурация элементов на плате соответствовала чертежу.
2. Измерить величину емкостей всех конденсаторов на первой, восьмой и восемнадцатой платах (см.пример). Если на одной плате все конденсаторы соответствуют номиналам чертежа, подложку передать на следующую операцию. Если на всех трех платах конденсаторы не соответствуют номиналам, продолжать измерения на остальных платах до тех пор, пока не обнаружится плата с конденсаторами, соответствующими номиналам чертежа. Если такой платы нет, подложку следует забраковать.

Измерение емкостей конденсаторов на f = 1 кГц проводится на приборе ЕI2-2 и на f = 1 МГц на приборе Л2-7. Частота измерения выбирается согласно чертежу.

### *В. Проверка конденсаторов на отсутствие короткого замыкания*

Конденсаторы, имеющие короткое замыкание, тренировать в режиме 0,5 мкА, число импульсов 3-5. Амплитуда импульсов - 10-15 В.

Если конденсатор не восстанавливается при тренировке, плату забраковать.

*ТТП-23. Приклеивание бескорпусных транзисторов к ситалловой или керамической подложке с пленочной схемой*

1. Приготовить клей:

а) налить в выпаривательную чашку эпоксидную смолу (толщина слоя 20-30 мм) и просушить в сушильном шкафу при 120 ± 5°С в течение 5-6 ч, периодически перемешивая стеклянной палочкой. Хранить высушенную смолу в банке с притертой пробкой в эксикаторе с силикагелем;

б) маршалит прокалить в муфельной печи на металлической прокладке при 700-800°С в течение 2 ч и просеять через сито № 008;

в) отвесить необходимое количество компонентов с точностью до 0,01 г в соответствии с рецептом: эпоксидная смола - 100 г; дибутилфталат - 15 г; маршалит (прокаленный) - 30 г; полиэтиленполиамин - 10 г;

г) смешать компоненты (кроме полиэтиленполиамина); смесь тщательно перемешать стеклянной палочкой, нагреть в сушильном шкафу до +40°С и отвакуумировать на вакуумной тарелке Камовского в течение 5-10 мин до удаления пузырьков воздуха из смеси при остаточном давлении 5-10 мм рт.ст.;

д) охладить смесь до комнатной температуры, ввести полиэтиленполиамин и перемешать до однородного состояния.

2. В случае приклеивания транзисторов к металлическому слою нанести подслой эпоксидного клея во избежание замыкания :

а) с помощью пинцета установить плату в приспособление для склеивания и поместить под микроскоп;

б) согласно чертежу под каждый транзистор нанести деревянной палочкой на корпус тонкий слой клея с диаметром поверхности - 0,5 – 1,0 мм. Толщина клеевого шва - 0,1 – 0,2 мм. Платы с нанесенным слоем клея установить в приспособление для полимеризации.

3. Поместить приспособление в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 75 ± 5°С и полимеризовать в течение 3 ч.

4. С помощью пинцета установить плату в приспособление для склеивания и поместить под микроскоп. Нанести деревянной палочкой на плату (под каждый транзистор) тонкий слой клея с диаметром поверхности - 0,5 – 1,0 мм. Толщина клеевого шва - 0,1 – 0,2 мм.
5. Подготовить транзистор для приклеивания к изоляционной плате или металлическому слою:

а) вынуть транзистор из эксикатора, вскрыть упаковку скальпелем, расправить выводы вверх, взять транзистор пинцетом за выводы, установить на точку клея и слегка придавить пинцетом так, чтобы клей не попал на наружную поверхность транзистора;

б) монтаж транзисторов производить при относительной влажности воздуха не более 50% и при 15-30°С;

в) платы с приклеенными транзисторами установить в приспособление для полимеризации клея.

7. Полимеризовать клеевой слой согласно п.4.
8. Склеенные детали поместить в эксикатор с силикагелем.
9. Произвести дополнительное крепление привариваемых выводов транзисторов:

а) с помощью пинцета установить плату в приспособление для склеивания и поместить под микроскоп;

б) осторожно приподнять металлической иглой вывод транзистора над платой, обеспечив зазор;

в) ввести деревянной палочкой каплю эпоксидного клея диаметром 0,5-1,0 мм;

г) опустить вывод на каплю клея;

д) полимеризовать клеевой слой согласно п.4.

Контроль

Контроль толщины клеевого слоя осмотром по эталону.

Норма времени - 0,2 ч на 1 транзистор. Разряд - III.

*ТТП-24. Сварка микродавлением и косвенным нагревом*

*I. Сварка на монтажном столе НО.200.002 с термокарандашом.*

1. Подготовить установку к работе:

включить установку в сеть 220 В;

включить микроскоп МБС-1;

переключатели "общий", "сварка", "напряжение" на панели дозировщика поставить в верхнее положение;

проверить электрод внешним осмотром под микроскопом (наличие трещин и отслоений не допускается).

2. На контрольных образцах подобрать режим сварки для каждого сочетания свариваемых пар (ориентировочные режимы сварки указаны в таблице (таблица 2, приложение 4). Режим считается подобранным, если при испытании на обрыв прочность контактного соединения соответствует значениям, указанным в таблице 2, а ширина вывода в месте сварки составляет 1,8 – 2,5 диаметра вывода.
3. Установить в приспособление для сварки основание корпуса с приклеенной платой и активными элементами.
4. Проверить плату внешним осмотром под микроскопом МБС-1 с 16-кратным увеличением.
5. Пинцетом разнести выводы активных элементов к листам контактов.
6. Произвести сварку:

с помощью пинцета подвести вывод к месту сварки и положить его на середину контактной площадки;

установить электрод термокарандаша так, чтобы на выводе находился центр электрода;

прижать вывод электродом; усилие прижима должно обеспечивать прочность сварочного соединения, указанного в таблице 4;

подать сварочный импульс нажатием педали;

отвести термокарандаш от места сварки;

обрезать свободные концы выводов скальпелем так, чтобы они не выходили за пределы контактных площадок.

7. Снять пинцетом основание корпуса с присоединенными элементами с приспособления и уложить в тару.

*II. Сварка на установках СКИН-1 и «Контакт 3А».*

1.Подготовить установку к работе:

включить установку в сеть 220 В;

переключатель «сеть» на пульте управления поставить в верхнее положение;

установить первичное напряжение на обоих диапазонах настройки режима сварки равным нулю;

проверить подъем и опускание сварной головки;

проверить срабатывание реле времени путем нажатия кнопки переключателя «сварка»;

проверить перемещение предметного столика.

2. Произвести сварку:

установить проводник на место сварки;

опустить электрод;

нажать кнопку переключателя "сварка";

поднять электрод;

совместить следующее место сварки с электродом;

обрезать свободные концы проводников скальпелем.

4. Снять пинцетом основание корпуса с приваренными элементами с приспособления и поместить в тару.

Норма времени - 0,7 ч.

*Контроль*

1. Качество напаянных контактных площадок проверяется сваркой контрольных площадок с последующей проверкой усилия сварного соединения.
2. Партия плат, предъявляемая для контроля, должна быть изготовлена за один технологический цикл напыления. Контроль производить выборочно, но не менее 5 контактных площадок от каждой подложки в следующей последовательности:

а) сварить золотой проводник диаметром 0,03-0,06 мм с контактной площадкой на установке "Контакт 3А" и СКИН-1 по режиму, указанному в карте сварки;

б) закрепить плату в приспособление и поместить на установочный столик так, чтобы место контакта находилось под зажимом;

в) закрепить проводник в зажиме и постепенно увеличивать нагрузку путем засыпки полистироловых гранул в чашку весов до разрушения соединения.

3. Контроль сварки производится внешним осмотром всех сварных контактных соединений под микроскопом МБС-I при 16-кратном увеличении; внешним осмотром определяют:

соответствие сварной схемы чертежу;

отсутствие отслоения пленок контактных площадок на месте сварки;

отсутствие обрывов проводников.

Выборочно проводят испытание на прочность сварных соединений.

4. В процессе производства периодически, но не реже чем через 2000 сваренных контактных соединений, производить сварку контактных образцов в количестве не менее трех контактов каждой контактной пары на каждой установке с последующей проверкой на прочность и определением ширины проводника в месте сварки.

Норма времени -0,5 ч.

Таблица В1. Ориентировочные режимы сварки

| Материал и диаметр проволоки, мкм | Материал пленки и подложки | Параметры режима сварки | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Напряжение, В | Длительность импульса, с | Условия сжатия, кг |
| Алюминий 100 | Алюминий на стекле | 120 | 0,2 | 0,15 |
| | Золото с подслоем нихрома на ситалле | 120 | 0,2 | 0,15 |
| | Медь с подслоем нихрома на ситалле | 125 | 0,2 | 0,15 |
| Алюминий 30 | Золото с подслоем нихрома на ситалле | 110 | 0,2 | 0,06 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Золото на кремнии | 125 | 0,8 | 0,06 |
| Золото 50 | Ковар золоченый | 120 | 0,2 | 0,1 |
| | Золото с подслоем нихрома на ситалле | 110 | 0,2 | 0,06 |
| | Золото на кремнии | 120 | 0,8 | 0,1 |
| Медь 50 | Медь с подслоем нихрома на ситалле | | 0,2 | 0,25 |
| | Золото с подслоем нихрома на ситалле | 120 | 0,2 | 0,25 |
| | Возжженное серебро на фотоситалле | 120 | 0,2 | 0,28 |

*ТТП-25. Установка микросхемы в корпус*

1. Промыть и обезжирить корпуса:

вставить пинцетом корпуса в сетку и погрузить в стакан с четырех-хлористым углеродом;

поместить стакан в ванну установки УЗМ-1,5;

включить установку и, промыв в течение 5 мин, выключить установку, переложить сетку с корпусами в другой стакан;

поместить стакан в ванну УЗМ-1,5;

включить установку и вторично промыть корпуса в течение 5 мин;

нагреть сушильный шкаф до температуры 10 ± 5°С;

промытые корпуса перенести пинцетом в сушильный шкаф и просушить в течение 15 мин;

подготовить технологическую тару;

высушенные корпуса уложить в технологическую тару.

2. Приготовить клей:

налить в выпаривательную чашку эпоксидную смолу;

прогреть сушильный шкаф до 120 ± 5°С;

поместить выпаривательную чашку в сушильный шкаф и просушить 5-6 ч;

подготовить тару с притертой пробкой;

поместить высушенную смолу в тару;

прокалить маршалит в муфельной печи при 700-800°С в течение 2 ч;

прокаленный маршалит просеять через сито № 008;

отвесить необходимое количество компонентов;

смешать компоненты;

поместить в сушильный шкаф, нагреть до температуры 40°С;

смесь поместить в вакуумную тарелку;

отвакуумировать 5-10 мин при остаточном давлении 5-10 мм рт.ст.;

охладить смесь до комнатной температуры;

в смесь ввести полиэтиленполиамин и перемешать до однородного состояния.

3. Установить корпус пинцетом в приспособление для склеивания.

4. Извлечь плату с пленочной схемой из упаковки.

5. Нанести клей на корпус.

6. Нанести клей на плату.
7. Наложить плату на корпус.
8. Зажать в приспособление для склеивания.
9. Поместить приспособление в сушильный шкаф:
выдержать при температуре 100°С в течение 2 ч;
вынуть приспособление из сушильного шкафа;
охладить до комнатной температуры;
склеенные детали снять с приспособления;
склеенный корпус с платой поместить в эксикатор с силикагелем.

*Контроль*

1. Склеенные детали поместить под микроскоп МБС-1.
2. Произвести внешний осмотр.
3. Подготовить технологическую тару.
4. Склеенные детали поместить в технологическую тару, а затем в эксикатор с силикагелем.

Норма времени - 0,1 ч на 1 корпус.

*ТТП-26. Герметизация микросхем электронно-лучевой сваркой*

1. Обезжирить оправки и удалить с них нагар.
2. Протереть кромки крышки и оснований корпусов бязью, смоченной спиртом.
3. Сушить крышки и основания корпусов на фильтровальной бумаге при комнатной температуре до полного высыхания.
4. Нанести на наружную поверхность металлостеклянных спаев по одной капле вакуумного масла (попадание масла на свариваемые кромки не допускается).
5. Совместить кромки фланцев крышек и оснований корпусов и произвести их прихватку по углам. Смещение крышек относительно оснований не должно быть больше 0,1 мм.
6. Вставить корпуса в оправки, вводя штырьки корпусов в отверстия оправок.
7. Собрать оправки с корпусами в пакет, пользуясь направляющими планками.
8. Протереть окна, стенки камеры установки и поверхность устройства для подачи корпусов бязью, смоченной спиртом.
9. Установить пакет оправок с корпусами в специальное приспособление и, зафиксировав его прижимным винтом, снять направляющие планки.
10. Включить электропривод и проверить правильность установки пакета в устройство.
11. Закрыть камеру.
12. Создать в камере вакуум $(2\text{-}5) \cdot 10^{-1}$ Па.
13. Обеспечить охлаждение анода путем поворота вентиля "холодная вода".
14. Установить переключатели модулятора и высоковольтного выпрямителя в положение "включено".
15. Включить подогреватель катода, плавно (в течение 25-30 с) поднять ток накала до 8,5 А, прогреть катод (в течение 2-3 мин), затем снизить ток до 5,5-6,0 А.
16. Включить с пульта управления модулятор, высоковольтный выпрямитель и блок фокусировки.
17. Установить контрольный режим:
ток накала - 6 А;
ускоряющее напряжение - 16 кВ;
ток пучка - 10 мА;

длительность импульсов - 1 мс;

частота импульсов – 7 Гц;

скорость вращения деталей – 2 об/мин.

18. Ввести крайний корпус в зону действия электронного луча, сфокусировать его на свариваемые кромки основания и крышки и проверить в «контрольном» режиме правильность прохождения свариваемого контура в зоне действия сфокусированного луча. Расстояние между нижним торцом фокусирующей катушки и изделием должно быть 100 – 120 мм.

19. Запереть электронный луч.

20. Установить рабочий режим:

ток накала – 7,5 А; ускоряющее напряжение – 16 кВ; ток пучка – 25 мА; длительность импульсов – 2 мс; частота импульсов – 15 Гц; скорость вращения деталей – 2 об/мин.

21. Произвести сварку, проведя лучом по периметру кромок, и перекрыть шов на длине 3-5 мм.

22. Запереть электронный луч.

23. Повторить переходы 21, 22 для всех загруженных корпусов, последовательно вводя корпуса в зону действия электронного луча.

24. Снять ускоряющее напряжение, уменьшить ток накала до нуля, выключить питание высоковольтного выпрямителя и модулятора.

25. Выключить питание фокусирующей катушки и мотор электропривода.

26. Охладить электронную пушку (в течение 7 мин).

27. Заполнить камеру воздухом.

28. Открыть камеру и извлечь пакет оправок с корпусами.

29. Разобрать пакет.

30. Удалить остатки масла, промыв загерметизированные микросхемы и оправки в бензине.

31. Произвести визуальный контроль всех микросхем при 8-кратном увеличении.

Сварной шов должен быть непрерывным, без непроваров, трещин и пор.

Осмотреть поверхность металлостеклянных спаев (спаи должны быть без трещин).

32. Уложить микросхемы в тару.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Пример заполнения технологических карт

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | Кшт. | Тп.з. | Тшт. |
| н/м | Наименование детали, сб. единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| 01 | Требования безопасности согласно ИОТ № 47-88 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 | 005 Подготовка | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | Установка для многослойного нанесения | | | | | | | | | | | | | 4 | 0,58 | 20,83 |
| 06 | материалов УВН-75П-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 | Азот жидкий I сорт ГОСТ 9293-74 | | | | | | | | | | | | п | | | На цик |
| 09 | Аргон газообразный ГОСТ 10157-79 | | | | | | | | | | | | м3 | | | На цик |
| 10 | Мишень из сплава РС-3710 ГОСТ 23774-79 | | | | | | | | | | | | Г | | | На цик |
| 11 | Проволока вольфрамовая ВА-1, 1,5 мм | | | | | | | | | | | | Г | | | На анус. |
| 12 | ТУ 48-19-39-85 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Бинт отбеленный мед. | | | | | | | | | | | | М | | | 0,05 |
| 14 | (салфетки 10х10, см – 4 шт) | | | | | | | | | | | | | | | На цик |
| 15 | … | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МКАтгд. | Напыление резистивного сплава РС-3710 | | | | | | | | | | | | | | | |

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | Кшт. | Тпз. | Тшт. |
| н/м | Наименование детали, сб. единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| 01 | Вязь хлопчатобумажная арт.225 ГОСТ 11680-76 | | | | | | | | | | | | | | | 0,20 |
| 02 | (салфетки 20х20 см) 4 шт0,... | | | | | | | | | | | | | | | На цех |
| 03 | Спирт этиловый ректификованный "Экстра" | | | | | | | | | | | | | | | 0,02 |
| 04 | ГОСТ 18300-87 | | | | | | | | | | | | | | | На цех |
| 05 | Подложка сигнальная СТ 50-1-1-0,6 -1-1-1-)--1-г | | | | | | | | | | | | | | | 38 |
| 06 | ТХО.735.062ТУ | | | | | | | | | | | | | | | на цех |
| 07 | Наголенники резиновые П.Е.2 ГОСТ 14681-80 | | | | | | | | | | | | | | | 6 |
| 08 | | | | | | | | | | | | | | | | В смену |
| 09 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 2. Проверить давление холодной, горячей воды и сжатого воздуха по манометрам, встроенным | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | в магистрали | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | давление холодной воды - 2-4 кгс/см | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | давление горячей воды - 2-4 кгс/см | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | давление сжатого воздуха - 3-5 кгс/см | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МКАртп | | | | | | | | | | | | | | | | |

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Тп.з. | Т шт. |
| н/м | Наименование детали, сб. единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| 01 | 3 | Открыть вентили холодной, горячей водыИ сжатого -воздуха | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 | 4 | Включить питание на пульте установки | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 | 5 | Установить переключатель рода работ в положение РУЧНОЙ | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | 6 | Включить подачу горячей воды на рабочую камеру | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | 7 | Включить механический насос | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 | 8 | Открыть форвакуумный клапан | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 | 10 | Проверить наличие жидкого азота в сосуде Дьюара и установить в него азотный питатель | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | Сосуд Дьюара ГОСТ 1.6024-79 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 11 | Проверить наличие аргона в баллоне по входному манометру на редукторе. | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | Давление в баллоне должно быть не менее 25 кгс/см^2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 12 | Открыть рабочую камеру | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МКлатп | | | | | | | | | | | | | | | | |

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | Кшт. | Тпз. | Тшт. |
| н/м | Наименование детали, сб., единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| А 01 | | | | 010 | Напыление | | | | | | | | | | | |
| Б 02 | | | | | | | 14980 | 4 | | | | | | | 3.19 | 114.91 |
| О 03 | 1 | Включить подачу жидкого азота | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | 2 | Включить вакуумметр | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | 3 | Создать вакуум в рабочей камере не ниже 6.7×10 Па (5×10 мм рт. ст.) | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 | 4 | Произвести напуск аргона и довести вакуум в рабочей камере до (6-10) ×10 Па | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 | | (5-8)×10 мм рт. ст. | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 | 5 | Включить привод вращения барабана и установить частоту вращения 0.50-0.67 с (30-40 об/мин) | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 6 | Произвести тренировку мишени при следующих установленных режимах: | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | ток дугового разряда, А 10-15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | ток катода, А 65-95 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | ток мишени, мА 150-200 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | ток электромагнита, А 130-150 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | высокое напряжение, кВ 2-3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | время тренировки, мин 10-15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Напыление резистивного сплава РС-3710 | | | | | | | | | | | | | | | |

| А | Цех | Ун. | Р М | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Тпз. | Т шт. |
| н/м | Наименование детали, сб. единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| Р 01 | | | | | Температура, °С | | Время, мин | | | | | | | | | |
| О 02 | 7 | После окончания тренировки установить ручки ТОК КАТОДА. ТОК ЭЛЕКТРОМАГНИТА и ВЫСОКОЕ | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 | | НАПРЯЖЕНИЕ в исходное положение | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 | 9 | Включить нагрев подложек и нагреть их | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 | | | | | 350+10 | | 15-20 | | | | | | | | | |
| 09 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | Выдержать подложки при заданной температуре | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | 350+10 | | | 5 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 11 | Отключить нагрев подложек | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 12 | … | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК/ттп | | Напыление резистивного сплава РС-3710 | | | | | | | | | | | | | | |

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | См | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Тпз. | Т шт. |
| н/м | Наименование детали, сб. единицы или материала | | | | | Обозначение, код | | | | | | ОПП | ЕВ | ЕН | КИ | Н. расх. |
| 01 | 13. Проверить целостность мишени и надежность ее крепления или при необходимости | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 | | Установить новую мишень. Мишень должна плотно прилегать к водоохлаждаемому держателю | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 | | Примечания: 1. Мишень рассчитана на 500-550 циклов напыления. | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | Для вновь установленной мишени необходимо провести пробный процесс | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | | Напыления для определения времени травления пленки и равномерности ее | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 | | Распределения по подложкам | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 | | Пинцет ПА-15 ТУ 64-1-37-78; отвертка 7810-0359 НП2 ХЛ ГОСТ 17199-71 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 | 14 | Проверить целостность катода или при необходимости установить новый кольцевой катод | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | Примечания: 1. Катод устанавливается на радиально расположенных относительно мишени | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | держателях и должен иметь правильную кольцевую форму без изгибов. | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | 2. На одном катоде допускается производить не более 15-18 циклов напыления. | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | Пинцет ПА-15 ТУ 64-1-37-78; плоскогубцы 7814-0253 ХЛ ГОСТ 5547-86; отвертка 7810-0359 НП2 ХЛ | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | ГОСТ 17199-71; ключ 7211- 00003 НП ХЛ ГОСТ 2839-80 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 15 | … | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК/дтд | | Напыление резистивного сплава РС-3710 | | | | | | | | | | | | | | |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## КРАТКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МИКРОСХЕМ И МИКРОСБОРОК

*Таблица Д1. Основные свойства ситаллов*

| Свойство | Марка | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ст-38-1. | Ст-50-1 | Ст-50-2 | Ст-83 | Ст-90 |
| Плотность, г/см$^2$ | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 |
| Удельное сопротив-ление $p10^{14}$,Ом·см | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Электри-ческая прочность, кВ/мм | 40 | 70 | 80 | 90 | 105 |
| Тепло-проводность, Вт/(м·К) | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 |
| Относительная диэлектрическая проница-емость | 7,3 | 8,5 | 6,4 | 6,6 | 6,8 |
| Тангенс угла диэлектри-ческих потерь tgδ·10$^{-3}$ | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| • КТР-10 ,1/°С | 3,8 | 5,2 | 5,7 | 8 | 9 |
| Предел прочности при изгибе $\sigma_н$·10$^8$, Н/м$^2$ | 1,8 | 2,5 | 1,7 | 2,5 | 2,6 |

*Таблица Д2 . Свойства и состав резистивных сплавов*

| Свойство | РС-3710 | РС-1004 | РС-1747 | РС-3001 | РС-4800 |
|---|---|---|---|---|---|
| Плотность,г/см$^3$ | 7 | 3,5 | 5 | 4 | 4,7 |
| Удельное сопротивление, Rs·$10^4$Ом/□ | 7 | 2 | 0,05 | 0,3 | 0,01 |
| Температура плавления,°С | 1250 | 1380 | 1420 | 1350 | 1550 |
| Мощность рассеивания, Вт/см$^2$ | 4,8 | 5 | 3,5 | 5 | 5 |
| Толщина пленки, мкм | 0,3 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,15 |
| ТКР $10^{-4}$, 1/°С. | 2 | 1,5 | 5 | 3 | 2 |
| Состав, %:<br>Хром<br>Кремний<br>Железо<br>Вольфрам<br>Никель | <br>37<br>53<br>-<br>-<br>10 | <br>-<br>86<br>4<br>-<br>10 | <br>17<br>42<br>14<br>27<br>- | <br>30<br>69<br>1<br>-<br>- | <br>48<br>52<br>-<br>-<br>- |

*Таблица Д3. Диэлектрические материалы, применяемые при создании микросборок*

| Исходный материал | Толщина, мкм | Электрические параметры | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ε | Удельная емкость, пФ/см$^2$ | ТКЕ $\times 10^4$/°С | tgδ $\times 10^4$ |
| Боросиликатное стекло | 0,6…2,0 | 4 | (5…15)10$^3$ | 0,3…2,0 | 10...15 |
| Алюмосили-катное стекло | 0,4…0,8 | 5 | (15… 30)10$^3$ | 0,5…2,0 | 20…30 |
| Окись алюминия | 0,15…0,2 | 10 | (30…50)10$^3$ | 2 | 50…80 |
| Пятиокись тантала | 0,15…0,2 | 22 | (50..100)10$^3$ | 4 | 100 |
| Моноокись кремния | 0,15…0,2 | 5 | 12*10$^3$ | 3 | 5 |
| Двуокись титана | 0,15…0,2 | 80 | 25*10$^3$ | 3 | 3 |

*Таблица Д4.Характеристики пленочных контактных площадок*

| Материал | Толщина слоя, Å | Удельное сопротивление, Ом | Способ контактирования внешних выводов |
|---|---|---|---|
| Подслой – нихром Х20Н80<br>Слой – золото Зл 999,9 | 100 – 300<br>6000 – 8000 | –<br>0,03 – 0,05 | Пайка или сварка |
| Подслой – нихром Х20Н80<br>Слой – медь вакуумплавленная<br>Покрытие – никель | 100 – 300<br>6000 – 8000<br>800 – 1200 | –<br>–<br>0,02 – 0,04 | Пайка или сварка |
| Подслой – нихром Х20Н80<br>Слой – медь вакуумплавленная<br>Покрытие – золото Зл 999,9 | 100 – 300<br>6000 – 8000<br>500 – 600 | –<br>0,02 – 0,04 | Пайка или сварка |

Таблица Д5. Перечень применяемых материалов

| Наименование материала | Нормативно-технический документ |
|---|---|
| Алюминий А 200*25к | ЯеО.021.157ТУ |
| Азот жидкий 1 сорт | ГОСТ 9293-74 |
| Аммоний надсернокислый ч.д.а. | ГОСТ 20478-75 |
| Аргон газообразный | ГОСТ 10157-79 |
| Ванадий Вн Пл-1 0,1 | ТУ 48-4-373-76 |
| Кислота азотная х.ч. (плотность 1,41 г/см$^3$) | ГОСТ 4461-77 |
| Кислота серная х.ч. (плотность 1,83 г/см$^3$ ) | ГОСТ 4204-77 |
| Кислота соляная х.ч. (плотность 1,19 г/см$^3$) | ГОСТ 3118-77 |
| Кислота фтористоводородная х.ч. (плотность 1,13 г/см$^3$) | ГОСТ 10484-78 |
| Кремний монооксись х.ч. | ТУ 6-09-17-225-88 |
| Лента никелевая ДПРНМ 0,10*150 НБ НП1 | ГОСТ 2170-73 |
| Микропорошок М63-В | ГОСТ 3647-80 |
| Мишень из сплава РС -3710 | ГОСТ 23774-79 |
| Мишень из сплава РС-4206 | ЕТО.032.547ТУ |
| Мишень из сплава РС -5402П | ТУ 147М-33-47-86 |
| Мишень из сплава РС-5406Н | ЕТО.032.547ТУ |
| Мишень из сплава РТР 24-73-3 | ТУ 147М-32-07-84 |
| Мишень из сплава Х27К50ТМ | ТУ 064-73-81 |
| Натр едкий очищенный 1 сорт | ГОСТ 11078-78 |
| Натрий углекислый х.ч. | ГОСТ 83-79 |
| Подложка ситаловая СТ-50-1-1-0,6 | ТХО.735.062ТУ |
| Подложка поликоровая | ЩеО.781.ОООТУ |
| Подложка молибденовая необожженная МЧ-1 0,2*200-х | ТУ 48-19-272-83 |
| Проволока алюминевая А99 2,2 | ОСТ 1- |

Продолжение

| | |
|---|---|
| Проволока медная МВ ø3 мм | НеО.021.112ТУ |
| Проволока вольфрамовая ВА-1 (толщина 0,6;0,8; 1,5; 2,0-2,5 мм) | ТУ 48-19-39-85 |
| Силикагель КСКГ | ГОСТ 3956-76 |
| Спирт этиловый ректификованный марки «Экстра» | ГОСТ 18300-89 |
| Титан НТ 1-0 | ГОСТ 22170-76 |
| Тринатрийфосфат | ГОСТ 201-76 |
| Трихлоратилен | ГОСТ 9976-83 |
| Углерод четыреххлористый х.ч. | ГОСТ 20288-74 |
| Хрома (У1) окись | ГОСТ 3776-78 |
| Шкурка шлифовальная водостойкая 500*50 М64С М14-11 А | ГОСТ 10054-82 |

## Список использованных источников

1. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок.- М.: Лань, 2006.- 400 с.

2. Пиганов М.Н. Материалы гибридных микросхем и микросборок. – Самара: СГАУ, 2004. – 204с.

3. Анискин Ю.П., Андрейчук И.Е, Рогачев Н.А., Солдак Ю.М. Методика выполнения курсовых проектов и работ. – М.: Высшая школа,1988. – 200с.

4.Парфенов О.Д. Технология микросхем. -М.: Высшая школа, 1986.-320 с.

5.Холопов В.В. и др. Разработка технологического процесса изготовления гибридных интегральных схем. –Казань: КАИ, 1977.-88с.

6. Руководящие материалы по технологии РДТ 25 230-89.

7. Пиганов М.Н., Дмитриев В.Д., Березков Б.Н. Разработка технологического процесса изготовления тонкопленочных плат гибридных интегральных схем и микросборок. - Самара: СГАУ,2011.- 18с.