

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСХЕМ И МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Лабораторные работы для студентов дневной и заочной форм обучения
по направлениям 210200 «Проектирование и технология
электронных средств» и 210300 «Радиотехника»



Тамбов
◆ Издательство ГОУ ВПО ТГТУ ◆
2010

УДК 621.3.049.771(07)
ББК з844.15-02я73-5
П791

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
А.П. Пудовкин

Составители:

М.В. Макарчук, В.П. Шелохвостов

П791 Проектирование микросхем и микропроцессоров :
лабораторные работы / сост. : М.В. Макарчук, В.П. Шелохвостов.
– Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 32 с. – 100 экз.

Предложены лабораторные работы, в которых исследуются типы интегральных микросхем, технологии их изготовления, проводится анализ точности изготовления ИМС и видов возможного брака. В целях достижения максимальной пользы от полученных теоретических знаний и развития первых практических навыков проектирования технологии изготовления ИМС предлагается разработать технологическую карту и послонные эскизы изготовления ИМС.

Предназначены для студентов дневной и заочной формы обучения по направлению 210200 «Проектирование и технология электронных средств» и 210300 «Радиотехника».

УДК 621.3.049.771(07)
ББК з844.15-02я73-5

© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ГОУ ВПО ТГТУ), 2010

Учебное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСХЕМ И МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Лабораторные работы

Составители:

**МАКАРЧУК Максим Валерьевич,
ШЕЛОХВОСТОВ Виктор Прокопьевич**

Редактор **З. Г. Чернова**

Инженер по компьютерному макетированию **М. С. Анурьева**

Подписано в печать 24.10.2010

Формат 60×84 /16. 1,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 587.

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Цель работы. изучение устройства и методики работы с оптическим микроскопом.

Приборы и принадлежности. микроскоп с набором объективов и окуляров, металлическая пластина с малым отверстием, цифровая оптическая приставка, объект-микрометр, стеклянная пластинка.

Микроскоп (рис. 1) относится к приборам, вооружающим глаз.

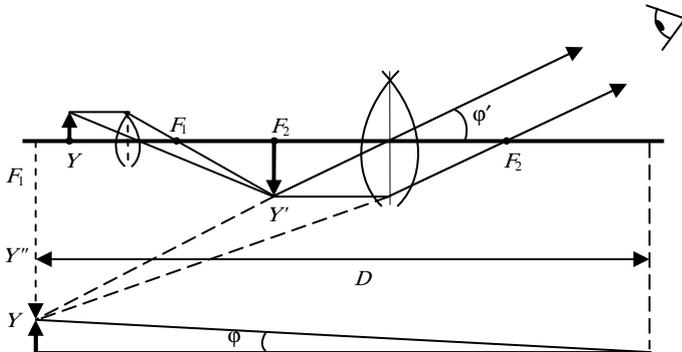


Рис. 1. Простейшая оптическая схема микроскопа

Объектив микроскопа даёт действительное увеличенное изображение Y' предмета Y . Это изображение Y' в свою очередь рассматривается глазом в окуляр как в лупу. Окончательное изображение Y'' получается на расстоянии наилучшего зрения D . Если бы предмет рассматривали простым глазом, то с того же расстояния D его видели бы под углом φ , $\operatorname{tg} \varphi = Y/D$.

В микроскоп объект виден под углом φ' , $\operatorname{tg} \varphi' = Y''/D$, т.е. увеличение микроскопа определяется выражением

$$N = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{Y''}{Y}, \quad (1)$$

но запишем эту формулу иначе, умножив и разделив на Y' :

$$N = \frac{Y' Y}{Y Y'}.$$

В этой форме записи увеличение микроскопа равно произведению поперечных увеличений объектива и окуляра, так как

$$\frac{Y'}{Y} = \frac{D}{F_2}; \quad \frac{Y''}{Y'} = \frac{\Delta}{F_1}$$

где Δ – расстояние между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра, то формула увеличения микроскопа будет иметь вид

$$N = \frac{D \Delta}{F_1 F_2}. \quad (2)$$

Обычно $\Delta = 10 \dots 15$ см, $D = 25$ см, поэтому, беря достаточно короткофокусные объектив и окуляр, можно получить увеличение до 800 ... 1000. Однако предел увеличения микроскопа обусловлен не техническими трудностями изготовления безабберационных короткофокусных объективов, предел увеличения ограничивается волновыми свойствами света.

Экспериментальная часть

Задание 1. Определение увеличения микроскопа.

Для определения увеличения микроскопа воспользуемся формулой

$$N = \frac{Y''}{Y},$$

где Y'' – величина мнимого изображения объекта, полученного с помощью микроскопа и расположенного на расстоянии 25 см от глаза; Y – величина предмета.

Объектом служит шкала – объект-микрометр – с ценой деления $\varepsilon = 0,1$ мм. Для измерения величины мнимого изображения нужно это изображение совместить с некоторым эталоном длины. Причём, удобно было бы работать с действительным изображением, полученным на каком-то экране. В этом случае можно пользоваться привычным эталоном длины – линейкой, привычным методом, прикладывая линейку к измеряемому отрезку.

Для проецирования увеличенного изображения объекта, рассматриваемого в микроскоп, используем насадку на микроскоп, преобразующей световой поток в электрический сигнал с последующим выводом изображения на экран компьютера.

Отметим, что для получения истинной величины N – увеличения микроскопа – необходимо, чтобы величина полученного на экране действительного изображения была равна величине мнимого изображения, видимого глазом в микроскопе, для чего необходимо, чтобы путь света от окуляра до экрана был равен расстоянию наилучшего зрения, т.е. 25 см.

Если величина изображения на экране измерялась в мм, то увеличение микроскопа будет равно

$$N = \frac{n_2}{n_1 \varepsilon},$$

где n_2 – величина изображения в мм; n_1 – количество взятых для анализа делений видимой шкалы; ε – цена деления шкалы объект-микрометра, мм.

Эксперимент проводим в следующем порядке:

1. Получаем чёткое изображение шкалы объект-микрометра с величиной деления 0,1 мм.
2. Получаем изображения на ПК с использованием цифровой камеры.
3. Определяем на экране видимый отрезок объект-микрометра в n_1 делений и если этим делениям будет соответствовать n_2 делений миллиметровой шкалы, то, очевидно, увеличение микроскопа будет

$$N = \frac{n_2}{\varepsilon n_1} = 10 \frac{n_2}{n_1}.$$

Измерения проделать несколько раз, меняя объектив с разными кратностями. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Объектив	Окуляры	n_1 , дел.	n_2 , мм	$N = 10n_2 / n_1$
1 (указать кратность объектива)	1 (указать кратность окуляра)			
2	2			

Задание 2. Определение цены деления окулярной шкалы и измерение размеров микрообъектов.

Возьмите окуляр для микроскопа со шкалой и вставьте его в тубус микроскопа. На предметный столик микроскопа положите объект-микрометр с ценой деления 0,01 мм. Наблюдая объект-микрометр, сопоставьте шкалу объекта и шкалу окуляра. Определите, какому размеру в мм соответствует одно деление окулярной шкалы для данного увеличения микроскопа, т.е. определите цену деления шкалы окуляра.

После этого на столик микроскопа вместо объект-микрометра положите объект измерения. Определите размеры объектов предложенных преподавателем.

Задание 3. Определение толщины стеклянной пластинки.

На верхней и нижней поверхностях стеклянной пластинки нанесены два штриха под прямым углом. Сфокусируйте микроскоп на отчётливое изображение штриха на определённой (например, нижней) поверхности пластинки. Посредством микрометрического винта переместите объект и найдите отчётливое изображение штриха на второй поверхности. Отсчитайте поступательное перемещение тубуса по шкале микрометрического винта. Это перемещение равно оптической толщине стеклянной пластинки h_1 . Действительную толщину h стеклянной пластинки определяют, зная n – показатель преломления стекла $h = nh_1$ ($n = 1,52$).

Список рекомендуемой литературы

1. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М. : Наука, 1976.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – 3 изд., испр. – М. : Наука, 1982. Т 2.
3. Физический практикум. Электричество и оптика / под ред. В.И. Ивероновой. – М. : Наука, 1968.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ И ИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Цель работы: изучение терминов, определений, классификации и системы условных обозначений, применяемых в микроэлектронике, а также конструктивно-технологических параметров интегральных микросхем (ИМС).

Различные виды интегральных микросхем являются основной элементной базой современной радиоэлектронной аппаратуры. По конструктивно-технологическим признакам ИМС подразделяются на тонкоплёночные, толстоплёночные и полупроводниковые. В зависимости от назначения производятся ИМС широкого применения, представляющие собой различные логические элементы, переключатели, линейные схемы и т.д., обладающие определённой универсальностью, и ИМС специального назначения, представляющие собой отдельные устройства РЭА и предназначенные для конкретных видов РЭА.

Термины и определения ИМС

Интегральная микросхема (ИМС) – микроэлектронное изделие, выполняющее определённую функцию преобразования и обработки сигнала и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединённых элементов и компонентов, которое с точки зрения требований к испытаниям, приёмке, поставке и эксплуатации рассматривается как единое целое.

Плёночная ИМС – интегральная микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде плёнок. Плёночные ИМС подразделяются на тонкоплёночные и толстоплёночные.

Гибридная ИМС – интегральная микросхема, содержащая кроме элементов компоненты и кристаллы.

Полупроводниковая ИМС – интегральная микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объёме и на поверхности полупроводника.

Элемент ИМС – часть интегральной микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая выполнена нераздельно от кристалла или подложки и не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приёмке, поставке и эксплуатации.

Подложка ИМС (подложка) – заготовка, предназначенная для нанесения на неё элементов гибридных и плёночных интегральных микросхем, межэлементных и межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

Плата ИМС (плата) – часть подложки плёночной ИМС, на поверхности которой нанесены плёночные элементы микросхемы, межэлементные и межкомпонентные соединения и контактные площадки.

Полупроводниковая пластина (пластина) – заготовка из полупроводникового материала, используемая для изготовления полупроводниковых ИМС.

Кристалл ИМС (кристалл) – часть полупроводниковой пластины, в объёме и на поверхности которой сформированы элементы полупроводниковой микросхемы, межэлементные соединения и контактные площадки.

Плотность упаковки ИМС – отношение числа элементов и компонентов интегральной микросхемы N к площади S_M , занимаемой ИМС

$$\omega = \frac{N}{S_M}.$$

Степень интеграции ИМС $K_{\text{и}}$ – показатель степени сложности микросхемы, характеризуемый числом содержащихся в ней элементов и компонентов. Степень интеграции определяется формулой

$$K_{\text{и}} = \lg N,$$

где N – число элементов и компонентов, входящих в ИМС. Коэффициент $K_{\text{и}}$ округляется до ближайшего большего целого числа.

Интегральная плотность элементов на подложке ω' характеризуется числом элементов, приходящихся на единицу площади подложки:

$$\omega' = \frac{N}{S_{\text{п}}} = \frac{10 K_{\text{и}}}{S_{\text{п}}},$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь подложки микросхемы.

Серия ИМС – совокупность типов интегральных микросхем, которые могут выполнять различные функции, имеют единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначены для совместного применения.

Классификация и система условных обозначений ИМС

По конструктивно-технологическому исполнению ИМС подразделяются на три группы, которым присвоены следующие обозначения:

- 1; 5; 7 – полупроводниковые;
- 2; 4; 6; 8 – гибридные;

- 3 – прочие (плёночные, вакуумные, керамические и т.д.).

По функциональному назначению ИМС подразделяются на подгруппы и виды. Например: подгруппа – логические элементы, вид – элемент «И-ИЛИ»; подгруппа – триггеры, вид – типа *Ј*-К. Наиболее характерный признак подгруппы и вида включается в условное обозначение ИМС.

Обозначение ИМС состоит из следующих элементов: первый элемент – цифра, обозначающая группу ИМС; второй элемент – две цифры, обозначающие порядковый номер разработки серии ИМС (от 0 до 99); третий элемент – две буквы, обозначающие подгруппу и вид ИМС; четвёртый элемент – порядковый номер разработки ИМС по функциональному признаку в данной серии. Два первых элемента обозначают серию микро-схемы.

Например: полупроводниковая логическая ИМС «И-НЕ/ИЛИ-НЕ» с порядковым номером разработки серии – 21, порядковым номером разработки данной схемы в серии по функциональному признаку – 1 имеет следующее условное обозначение: 121ЛБ1, где 1 – группа (по конструктивно-технологическому исполнению); 21 – порядковый номер разработки данной серии; 121 – серия; Л – подгруппа; В – вид (по функциональному назначению); 1 – порядковый номер разработки микросхемы по функциональному признаку в данной серии.

Допускается после обозначения порядкового номера разработки серии ставить буквенные обозначения от А до Я данного поддиапазона. Конечная буква может быть заменена цветной точкой. Значения электрических параметров поддиапазона и цвет маркировочной точки указываются в технической документации на микросхему конкретного типа.

Для микросхем, используемых в устройствах широкого применения, в начале обозначения указывается буква «К». Например: К121ЛБ1 – полупроводниковая ИМС серии 121, используемая в устройствах широкого применения.

Классификация питающих напряжений ИМС

Номинальные значения напряжений питания ИМС должны соответствовать следующему ряду: 1,2; 2,4; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 9,0; 12,0; 15,0; 24,0; 30,0; 48,0; 100; 150; 200 В.

ИМС должны сохранять электрические параметры и пределах заданных норм при отклонениях питающих напряжений от номинальных значений на величину, выбираемую из следующего ряда: ± 10 ; $\pm 20\%$.

Подложки микросхем

Подложки для плёночных микросхем должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Высокая механическая прочность при малых толщинах.
2. Высокое объёмное и поверхностное удельное электрическое сопротивление и малый тангенс угла диэлектрических потерь.
3. Температурные коэффициенты линейного расширения подложки и плёнки должны быть предельно согласованными.
4. Химическая инертность к осаждаемым веществам и травителям.
5. Физическая и химическая стойкости при нагреве до высоких температур порядка 800°C.
6. Незначительное газовыделение в вакууме.
7. Хорошая адгезия с осаждаемой плёнкой.
8. Высокий коэффициент теплопроводности.
9. Хорошая полируемость.
10. Низкая стоимость.

В полной мере перечисленным требованиям не удовлетворяет ни одна из применяемых подложек. Некоторые требования находятся в противоречии друг к другу, например, низкая стоимость и чистота обработки поверхности подложки. Поэтому выбор подложки основан на компромиссном решении.

Рекомендуемые размеры подложек для плёночных микросхем приведены в табл. 1.

1. Рекомендуемые размеры подложек для плёночных ИМС

Ширина в мм	30	24	20	16	16	16	12	12	10	10
Длина в мм	48	30	24	60	30	20	48	30	16	12

При изготовлении различных ИМС наиболее широко в качестве материалов для подложек и полупроводниковых пластин используют:

- в тонкоплёночных ГИМС – ситалл, поликор, сапфир, керамику;
- в СВЧ ИМС – поликор;
- в толстоплёночных ГИМС – керамику;
- в полупроводниковых ИМС – кремний, кремний на сапфире и ситалле.

Ситалл – продукт кристаллизации стекла с мелкими (0,01 ... 1 мм) кристаллитами. Получаемые при термообработке в результате катализируемой кристаллизации стекла ситаллы занимают промежуточное положение между стеклами и керамикой.

В различные марки ситаллов входят окислы кремния (30 ... 90%), остальное – окислы титана, магния, бора и др.

Поликор изготавливают из корундовой керамики, содержащей около 99,8% окиси алюминия. В поликоре удачно сочетается относительно высокая диэлектрическая проницаемость с малыми диэлектрическими потерями на СВЧ. Кроме того, поликор обладает хорошей полируемостью, что также снижает потери на СВЧ.

Керамические подложки сравнительно дешевы, имеют низкие потери, относительно высокую диэлектрическую проницаемость и малые температурные изменения диэлектрических параметров. К недостаткам керамических подложек следует отнести трудности, связанные с их полировкой (поверхность керамики после спекания всегда шероховатая), а также

относительно низкую механическую прочность. Наибольшее распространение получили две группы керамики, отличающиеся содержанием окиси алюминия. В первую группу, для которой содержание окиси алюминия составляет 98 ... 100%, входят такие керамики, как А-995, ГМ, сапфирит и др. Керамики первой группы применяются преимущественно для подложек СВЧ микросхем.

Во вторую группу, для которой содержание окиси алюминия составляет 93 ... 96%, входят такие керамики, как 22ХС, 22Х и др. Керамики второй группы применяются преимущественно для подложек толстоплёночных ИМС. Шероховатая поверхность керамики способствует повышению адгезии при вжигании паст толстоплёночных микросхем.

Сапфир представляет собой монокристаллическую окись алюминия. Он обладает весьма малыми диэлектрическими потерями на СВЧ, высокой теплопроводностью, механической прочностью, устойчивостью к действию высокой температуры, влаги, излучений. На сапфире возможно гетероэпитаксиальное осаждение кремния, арсенида галлия и других веществ, используемых для создания активных элементов и формирования на подложке микросхем типа «кремний на сапфире». Широкое применение сапфировых подложек ограничивается трудностями его изготовления и высокой стоимостью.

Пластины из кремния широко применяются для создания на их основе полупроводниковых микросхем. Активные и пассивные элементы, сформированные в кремниевой пластине, изолируются друг от друга *p-n* переходами или диэлектриком.

Корпуса микросхем

По форме проекции тела корпуса микросхемы на плоскость основания и расположению выводов корпуса делятся на типы, указанные в табл. 2.

По габаритным и присоединительным размерам типы корпусов подразделяются на типоразмеры, каждому из которых присваивают шифр, состоящий из индекса К (корпус), обозначения типа корпуса (цифра) и двузначного числа (01 ... 99), обозначающего номер типоразмера. Например: К301, К102 и т.п.

Условные обозначения корпусов состоят из:

- шифра типоразмера корпуса (без буквы К);
- цифрового индекса, определяющего количество выводов;
- порядкового регистрационного номера разработки.

2. Типы корпусов ИМС

Тип	Форма проекции тела корпуса на плоскость на плоскость основания	Расположение проекции выводов на плоскость основания	Расположение выводов относительно плоскости основания
1	Прямоугольная	В пределах проекции тела корпуса	Перпендикулярное
2	Прямоугольная	За пределами проекции тела корпуса	Перпендикулярное
3	Круглая	В пределах проекции тела корпуса по окружности	Перпендикулярное
4	Прямоугольная	За пределами проекции тела корпуса	Параллельное

Примечание. Корпуса, имеющие гибкие внешние выводы, которые при необходимости могут отгибаться за пределы проекции, относятся к корпусам двух типов одновременно.

Пример записи условного обозначения корпуса в конструкторской документации: корпус 201.14-2, где 201 – шифр типоразмера; 14 – количество выводов; 2 – порядковый регистрационный номер.

Нумерация внешних выводов корпуса начинается от ключа и идёт против часовой стрелки, если смотреть на корпус со стороны крышки.

По конструктивно-технологическому исполнению (конструкции) корпуса подразделяются на:

Металлостеклянные корпуса – корпуса, изготовленные из металлического основания с выводами, изолированными стеклом. Герметизация выводов осуществляется стеклянными бусами или стеклотаблетками. Бусой изолируется каждый вывод в отдельности, таблеткой – группа выводов.

Стеклянные – корпуса, основания которых изготовлены из стекла с впаянными в стекло выводами. Такой корпус может иметь как стеклянные, так и металлические крышки. Для монтажа микросхем используются корпуса без металлической площадки и с металлической площадкой.

Металлокерамические – корпуса, в которых керамическая подложка является основанием, герметизация выводов производится припоем. Металлическая крышка корпуса припаяется к ободку, который в свою очередь припаян по периметру керамического основания.

Керамические – корпуса, изготовленные из керамики с герметизацией выводов стекломалью или стеклоприпоем.

Керамические и металлокерамические корпуса применяют преимущественно для толстоплёночных микросхем.

Пластмассовые – корпуса, изготовленные из пластмассы с выводами, впрессованными в процессе литья или герметизации. Пластмассовые корпуса широко применяются для полупроводниковых микросхем при массовом производстве.

Металлополимерные – корпуса, в которых для защиты ИМС используется металлическая крышка, выводы герметизируются заливкой компаундом.

Порядок выполнения работы

1. Классификация и система условных обозначений ИМС. Для представленных ИМС по маркировке определить тип микросхемы и её функциональное назначение. Результаты свести в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Обозначение ИМС	Тип ИМС	Выполняемая функция ИМС
-------	-----------------	---------	-------------------------

2. Изучение корпусов ИМС.

1) Дать классификацию представленных корпусов по форме проекции корпуса на плоскость основания и расположению выводов корпуса.

2) Классифицировать представленные корпуса по конструктивно-технологическому исполнению. Результаты свести в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Тип корпуса по форме проекции и расположению выводов	Конструктивно-технологическое исполнение корпусов	Область применения
-------	--	---	--------------------

3. Изучение подложек ИМС.

1) Описать внешний вид подложек (цвет, прозрачность, толщина и т.д.).

2) Указать область применения подложек. Результаты свести в табл. 5.

Таблица 5

№ п/п	Материал подложки	Область применения (преимущественно)	Характерные внешние признаки подложки
-------	-------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

4. Изучение конструкции различных типов ИМС.

1) По типам подложек и корпуса определить тип ИМС (по указанию преподавателя).

2) Определить K_n , ω , ω' для предложенных ИМС.

3) Дать сравнительную оценку исследованных ИМС. Результаты свести в табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Обозначение ИМС	Тип ИМС	Функции, выполняемые ИМС	K_n	ω , эл см ²	ω' , эл см ²	Материал подложки
-------	-----------------	---------	--------------------------	-------	-------------------------------------	--------------------------------------	-------------------

Контрольные вопросы

1. Как подразделяются ИМС по конструктивно-технологическому признаку?
2. Дайте определение подложки ИМС.
3. Дайте определение корпуса ИМС.
4. Дайте определение плёночной, гибридной и полупроводниковой ИМС.
5. Приведите классификацию и систему условных обозначений ИМС.
6. Опишите классификацию материалов подложек и их предпочтительное применение в различных ИМС.
7. Представьте классификацию корпусов ИМС по форме проекции корпуса и расположению выводов.
8. Дайте классификацию корпусов ИМС по конструктивно-технологическому исполнению.

Список рекомендуемой литературы

1. ГОСТ 17021–75. Микросхемы интегральные. Термины и определения.

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Цель работы: изучение топологической структуры и конструктивно-технологических особенностей тонкоплёночной гибридной интегральной микросхемы частного применения.

Разработка топологии является одним из основных этапов проектирования ГИМС. На этом этапе решается задача взаимного расположения плёночных и навесных элементов и общей компоновки микросхемы. Топологический чертёж является основой для изготовления фотошаблонов или масок. Количество топологических чертежей должно соответствовать числу плёночных слоёв, наносимых на подложку.

При разработке топологии тонкоплёночной ГИМС необходимо учитывать следующие основные конструктивно-технологические ограничения:

- пассивные элементы располагаются на расстоянии не менее 1000 мкм от краев подложки;
- для совмещения элементов, расположенных в разных слоях, предусматривают перекрытие не менее 200 мкм при масочном и совмещённом методах;
- размеры контактных площадок должны быть не менее 200×200 мкм;
- навесные элементы устанавливают на расстоянии не менее 0,5 мм от плёночных элементов и не менее 600 мкм от контактной площадки, минимальное расстояние между навесными элементами составляет 300 мкм.

Конструирование и расчёт резисторов

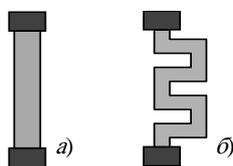


Рис. 1. Плёночные резисторы:

a – в виде прямоугольных полосок; *б* – в виде змейки

Плёночные резисторы конструктивно выполняют в виде прямоугольных полосок (рис. 1, *a*). Для увеличения номинала плёночного резистора ему придают форму змейки (меандра) (рис. 1, *б*).

Электрический контакт с проводником микросхемы обеспечивается перекрытием концов резистора проводящей плёнкой.

Сопротивление плёночного резистора прямоугольной формы (рис. 1, *a*) рассчитывается по формуле

$$R = R_0 n, \quad (1)$$

где R_0 – удельное поверхностное сопротивление, Ом/кв; n – число квадратов, определяемое как

$$n = l/b, \quad (2)$$

где l – длина; b – ширина резистора.

Мощность, рассеиваемую резистором, вычисляют по формуле

$$P = P_0 S, \quad (3)$$

где P_0 – допустимая удельная мощность рассеяния резистивной плёнки, Вт/см²; S – площадь резисторов, см².

Для резисторов, изготовленных из нихрома,

$$R_0 = 300 \text{ Ом/кв}, \quad P_0 = 2,0 \text{ Вт/см}^2.$$

Для резисторов, изготовленных из сплава МЛТ-3м,

$$R_0 = 500 \text{ Ом/кв}, \quad P_0 = 2,0 \text{ Вт/см}^2.$$

Конструирование и расчёт конденсаторов

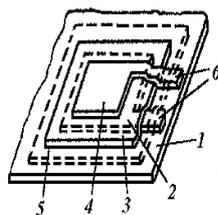


Рис. 2. Конструкция тонкоплёночного конденсатора:

1 – подложка; *2* – нижняя обкладка;
3 – диэлектрик; *4* – верхняя обкладка; *5* – изоляционный слой;
6 – контактные площадки

Плёночный конденсатор представляет собой две проводящие плёнки, разделённые диэлектрическим слоем (рис. 2).

Линейные размеры верхней проводящей плёнки (верхней обкладки конденсаторов) должны быть на 0,2 мм меньше, а размеры диэлектрического слоя на 0,2 мм больше соответствующих линейных размеров нижней обкладки. При этом исключается опасность замыкания обкладок и влияние взаимного смещения обкладок на величину ёмкости.

Номинальное значение ёмкости плёночного конденсатора определяется по формуле

$$C = C_0 S,$$

где C_0 – удельная ёмкость, пФ/см²; S – полезная площадь конденсатора, см² (площадь перекрытия обкладок конденсатора).

Порядок выполнения работы

1. Снять эскиз топологии микросхемы.
2. Определить последовательность напыления плёночных слоев.
3. Измерить электрическое сопротивление и ёмкость указанных преподавателем резисторов и конденсаторов.
4. Измерить линейные размеры всех резисторов и конденсаторов микросхем.
5. Рассчитать удельное поверхностное сопротивление R_0 и удельную ёмкость C_0 .
6. Рассчитать значение сопротивления и рассеиваемой мощности для всех резисторов и ёмкостей для всех конденсаторов микросхемы.
7. Составить принципиальную электрическую схему.
8. Составить эскизы комплекта масок для одного из резисторов микросхемы.

Содержание отчёта

1. Принципиальная электрическая схема.
2. Эскиз топологии микросхемы с нумерацией контактных площадок и послойные чертежи.
3. Результаты выполнения задания пункта 5, сведённые в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование элемента	Обозначение по схеме	Номинальное значение	Рассеиваемая мощность, Вт	Геометрические параметры элемента, мм
1	Резистор	R_1			
2	Конденсатор	C_1			

4. Расчёт удельного сопротивления и удельной ёмкости.
5. Последовательность нанесения плёночных слоёв (с указанием материала и толщины слоя).
6. Эскиз комплекта масок для одного из резисторов микросхемы.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические ограничения необходимо учитывать при разработке топологии гибридно-плёночных микросхем?
2. Объясните последовательность нанесения плёночных слоев.
3. Каким требованиям должен удовлетворять материал, используемый в качестве диэлектрика в плёночных конденсаторах?
4. Почему проводники в плёночных микросхемах имеют, как правило, многослойную структуру?
5. Из каких соображений выбирается величина перекрытия концов плёночного резистора проводящим слоем?
6. Какие методы получения рисунка схемы элементов в плёночных микросхемах Вы знаете?
7. Почему полупроводниковые приборы, входящие в микросхему, выполнены в дискретном виде?

Список рекомендуемой литературы

1. Парфенов, О.Д. Технология микросхем / О.Д. Парфенов. – М. : Высшая школа, 1977.
2. Николаев, И.М. Микроэлектронные устройства и основы их проектирования / И.М. Николаев, Н.А. Филинук. – М. : Энергия, 1979.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛЁНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы: изучение погрешности изготовления тонкопленочных конденсаторов.

Ёмкость плёночного конденсатора определяется выражением

$$C = C_0 S,$$

где C_0 – удельная ёмкость, пФ/см²; S – полезная площадь конденсатора, см² (площадь перекрытия обкладок).

Относительная погрешность ёмкости плёночного конденсатора является суммой относительной погрешности удельной ёмкости и относительной погрешности полезной площади конденсатора:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{\Delta S}{S},$$

где ΔC_0 – абсолютная погрешность удельной ёмкости; ΔS – абсолютная погрешность полезной площади.

Относительная погрешность удельной ёмкости

Удельная ёмкость представляет собой ёмкость конденсатора единичной площади. Для конденсатора, обкладки которого представляют собой параллельные пластины, удельная ёмкость определяется из электростатики формулой

$$C_0 = 0,885 \cdot 10^{-3} \frac{\varepsilon}{h},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость; h – толщина диэлектрика.

Величина удельной ёмкости зависит от целого ряда технологических факторов: скорости и направленности испарения (т.е. температуры и эмиссионной способности испарителя и расстояния от него до подложки), температуры подложки, давления и состава остаточных газов и т.д. Для конденсаторов, расположенных на общей подложке, величина диэлектрической постоянной будет одинакова.

Толщина слоя диэлектрика зависит прежде всего от скорости испарения и времени напыления. Кроме того, у конденсаторов, расположенных ближе к центру подложки, толщина диэлектрика будет больше, чем у конденсаторов, расположенных ближе к краям подложки. Это приводит к разбросу величины удельной ёмкости.

Очевидно, что для минимизации относительной погрешности удельной ёмкости необходимо как можно более жёстко стабилизировать технологические режимы процесса напыления и использовать конструкцию испарителя диэлектрика, обеспечивающую наиболее равномерное распределение толщины напыленного слоя по подложке.

Относительная погрешность полезной площади

Величина абсолютной погрешности полезной площади плёночного конденсатора определяется неточностью воспроизведения линейных размеров верхней обкладки и зависит от следующих основных факторов:

- 1) погрешности изготовления маски;
- 2) неточности совмещения масок верхней и нижней обкладок;
- 3) наличия зазора между маской и подложкой;
- 4) различия коэффициентов линейного расширения маски и подложки:

$$\Delta S = \Delta S_M + \Delta S_C + \Delta S_{\Pi} + \Delta S_T.$$

Рассмотрим перечисленные факторы несколько подробнее.

1. При изготовлении биметаллических съёмных масок ошибки линейных размеров отверстий в маске составляют обычно 5 ... 15 мкм.

Причинами возникновения ошибок являются, во-первых, погрешности изготовления оригинала и фотошаблона и, во-вторых, погрешности технологического процесса изготовления самой маски (разрешающая способность фоторезиста, наличие зазора между фотошаблоном и заготовкой маски при экспонировании, боковое подтравливание никеля и т.п.). Следовательно, вклад данного фактора в общую величину абсолютной погрешности полезной площади пропорционален линейным размерам конденсатора

$$\Delta S_M = (l_1 + l_2) \Delta l_M,$$

где l_1, l_2 – линейные размеры конденсатора; $\Delta l_M = 5 \dots 15 \text{ мкм} = \text{const}$ – средняя ошибка линейных размеров маски.

2. Несовмещение масок верхней и нижней обкладок приводит к изменению полезной площади конденсатора вследствие того, что вывод верхней обкладки выходит за пределы нижней обкладки (рис. 1).

Как следует из рисунка, величина изменения площади зависит от ширины вывода m и точности совмещения Δl , которая обычно лежит в пределах 50 ... 100 мкм:

$$\Delta S_c = m \Delta l_c$$

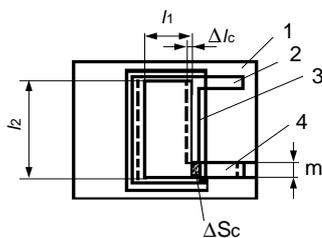


Рис. 1. Изменение площади конденсатора за счёт неточности совмещения масок верхней и нижней обкладок:

1 – подложка; 2 – нижняя обкладка;
3 – диэлектрик; 4 – верхняя обкладка

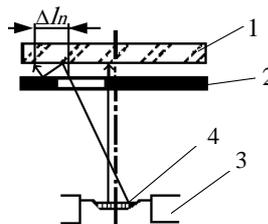


Рис. 2. Изменение линейных размеров при наличии зазора между маской и подложкой:

1 – подложка; 2 – маска; 3 – испаритель; 4 – испаряемое вещество

3. Наличие зазора между маской и подложкой приводит к возникновению так называемого «подпыления» (рис. 2) и соответствующему увеличению площади конденсатора:

$$\Delta S_n = (l_1 + l_2) \Delta l_n,$$

4. При вакуумно-термическом напылении для обеспечения оптимальных свойств напыленной плёнки подложку обычно нагревают до определённой температуры (порядка 100 ... 400°). За счёт разности температурных коэффициентов расширения материалов маски и подложки линейные размеры напылённых участков плёнки отличаются от линейных размеров отверстий в маске, измеренных при комнатной температуре (рис. 3).

$$\Delta S_r = (l_1 + l_2) \Delta l_r,$$

так как

$$\Delta l_r = (1 + \alpha \Delta T) l,$$

то

$$\Delta S_r = (1 + \alpha \Delta T) (l_1^2 + l_2^2).$$

Таким образом, абсолютная погрешность полезной площади плёночного конденсатора содержит составляющие, не зависящие от линейных размеров конденсатора (ΔS_c); пропорциональные линейным размерам (ΔS_m и ΔS_n); пропорциональные квадрату линейных размеров (ΔS_r).

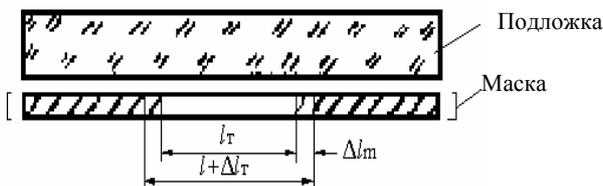


Рис. 3. Изменение линейных размеров конденсатора за счёт температурных коэффициентов материалов маски и подложки

Поскольку площадь конденсатора пропорциональна квадрату линейных размеров, величина относительной погрешности $\frac{\Delta S}{S}$ уменьшается при увеличении номинала конденсатора.

Порядок выполнения работы

1. Произвести измерение величины ёмкости для трёх типов конденсаторов (по указанию преподавателя). Результаты измерений занести в табл. 1.
2. Для тех же конденсаторов измерить линейные размеры верхней обкладки. Результаты занести в табл. 2.
3. Для каждой группы конденсаторов вычислить среднее значение ёмкости и среднее значение полезной мощности.

4. По данным для группы конденсаторов с наибольшей ёмкостью вычислить удельную ёмкость.
5. Для двух других групп конденсаторов номинальные значения ёмкости.
6. Для всех типов конденсаторов вычислить среднее квадратическое отклонение и относительную погрешность ёмкости и полезной площади.
7. Вычислить относительную погрешность удельной ёмкости.
8. Построить графики зависимости относительных погрешностей ёмкости, полезной площади и удельной ёмкости от номинала.

Таблица 1

Номинальные конденсаторы Номинальные микросхемы	Ёмкость, пФ		
	1	2	3
1			
...			
8			
Сумма $\sum_1^n C_i$			
Среднее арифметическое $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_1^n C_i$			
Среднее квадратичное $\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (C_i - C_{\text{НОМ}})^2}$			
Относительная погрешность $\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{C_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%$			

Таблица 2

Номинальные конденсаторы Номинальные микросхемы	Линейные размеры, мм					
	1		2		3	
	X	Y	X	Y	X	Y

Таблица 3

Номинальные конденсаторы Номинальные микросхемы	Полезная площадь, мм ²		
	1	2	3
1			
...			
8			
Сумма $\sum_1^n S_i$			
Среднее арифметическое $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_1^n S_i$			
Номинальное значение $S_{\text{НОМ}}$			
Среднее квадратичное $\sigma_S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (S_i - S_{\text{НОМ}})^2}$			
Относительная погрешность $\varepsilon_S = \frac{\sigma_S}{S_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%$			

Содержание отчёта

1. Результаты измерений ёмкости и геометрических размеров конденсаторов.
2. Результаты расчётов.
3. Графики зависимости относительных погрешностей ёмкости, полезной площади и удельной ёмкости от номинала.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на величину абсолютной погрешности удельной ёмкости?
2. Почему геометрические размеры верхней обкладки плёночных конденсаторов меньше геометрических размеров нижней обкладки?
3. Какими путями может быть уменьшено влияние несовмещения масок на разброс ёмкости?
4. Объясните характер зависимости относительной погрешности ёмкости пленочного конденсатора от его номинала.

Список рекомендуемой литературы

1. Черняев, В.Н. Технология производства интегральных микросхем / В.Н. Черняев. – М. : Энергия, 1977.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИМС

(планарно-эпитаксиальная технология)

Цель работы: ознакомление с планарно-эпитаксиальной технологией изготовления полупроводниковых интегральных микросхем (ПИМС), методами измерения и расчёта параметров слоёв, видами брака на отдельных технологических операциях.

**Описание лабораторного макета и методики исследования.
Характеристика полупроводниковых пластин и оформленных структур**

Лабораторный макет состоит из набора пластин после различных операций технологического процесса ПИМС.

Пластины выполнены из монокристаллического кремния типа Исс КДБ 7,5/0,1. Данное условное обозначение расшифровывается следующим образом: Исс – подгруппа, кремний (К), проводимость дырочная (Д), легирован бором (Б), номинальное удельное сопротивление 7,5 Ом-см, диффузионная длина неосновных носителей не менее 0,1 мм. Для использования в качестве подложек ПИМС промышленность выпускает монокристаллический кремний, по параметрам и качеству подразделяющийся на пять групп. Слиток кремния поступает с паспортом, в котором указывается группа, характеристики материала, масса слитка, его размеры и другие монокристаллические слитки разрезаются затем на пластины толщиной 0,15 ... 0,4 мм, которые подвергают шлифовке, механической и химической полировке.

Пластины, исследуемые в лабораторной работе, представляют собой заготовки для кристаллов микросхем, содержащих следующие элементы: биполярные транзисторы, диоды, резисторы, диффузионные перемычки, межэлементные соединения, контактные площадки. На топологии кристалла предусмотрены также специальные элементы для осуществления контроля параметров слоев. Фрагмент готовой структуры кристалла с сформированным в нём биполярным транзистором изображен на рис. 1.

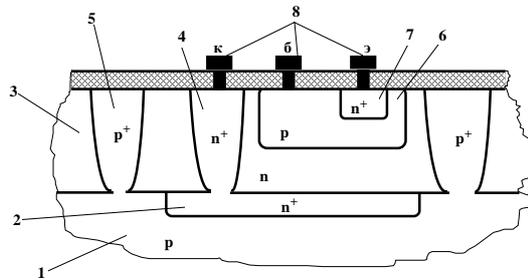


Рис. 1. Полупроводниковый биполярный транзистор

Создание такой структуры происходит в следующем порядке:

- 1) формирование в подложке 1 p -типа скрытого слоя 2 n^+ -типа;
- 2) наращивание эпитаксиального слоя 3 n -типа;
- 3) формирование вертикального слоя 4 n^+ -типа;
- 4) формирование изолирующих областей 5 p^+ -типа;
- 5) формирование базовых областей 6 p -типа;
- 6) формирование эмиттерных областей 7 n^+ -типа;
- 7) формирование контактных площадок и внутрисхемных соединений 8;
- 8) нанесение защитного слоя (на рис. 1 не показан).

Основными технологическими процессами при создании приведённой структуры являются: очистка пластин кремния, окисление пластин, фотолитография, диффузия примесей, эпитаксиальное наращивание кремния, напыление металлической разводки. Перечень технологических операций приведён далее в маршрутной карте.

Маршрутная карта технологического процесса

1. Выращивание монокристаллического кремния.
2. Резка монокристаллического слитка.
3. Механическое шлифование пластин.
4. Химическая полировка пластин.
5. Механическая полировка пластин.
6. Маркировка и составление партии пластин.
7. Входной контроль качества пластин.
8. Химическая обработка.
9. Окисление 1.
10. Термообработка.
11. Определение толщины окисла.
12. Фотолитография 1 (вскрытие окон под диффузию скрытого слоя): а) подготовка пластин; б) нанесение фоторезиста; в) сушка фотослоя; г) экспонирование; д) проявление; е) задубливание; ж) травление; з) снятие фоторезиста.

13. Контроль пластин.
14. Химическая обработка.
15. I стадия диффузии скрытого слоя.
16. II стадия диффузии скрытого слоя.
17. Снятие стекла (оксида).
18. Контроль ВАХ p - n переходов.
19. Химическая обработка: а) ультразвуковая отмывка в кислотах; б) ультразвуковая отмывка в растворителях; в) отмывка в деионизованной воде; г) вакуумная сушка.
20. Нарращивание эпитаксиального слоя.
21. Окисление II.
22. Термообработка.
23. Фотолитография II (вскрытие окон под диффузию вертикального слоя).
24. I стадия диффузии вертикального слоя.
25. II стадия диффузии вертикального слоя.
26. Снятие стекла (оксида).
27. Окисление III.
28. Термообработка.
29. Фотолитография III (вскрытие окон под разделительную диффузию).
30. I стадия разделительной диффузии.
31. II стадия разделительной диффузии.
32. Снятие стекла (оксида).
33. Контроль ВАХ p - n переходов.
34. Химическая обработка.
35. Окисление IV.
36. Термообработка.
37. Фотолитография IV (вскрытие окон под базовую диффузию).
38. I стадия базовой диффузии.
39. II стадия базовой диффузии.
40. Снятие стекла (оксида).
41. Контроль пластин: а) контроль ВАХ p - n переходов; б) контроль толщины диффузионного слоя; в) измерение удельного поверхностного сопротивления.
42. Химическая обработка.
43. Окисление V.
44. Термообработка.
45. Фотолитография V (вскрытие окон под эмиттер).
46. I стадия эмиттерной диффузии.
47. II стадия эмиттерной диффузии.
48. Окисление VI.
49. Фотолитография VI (вскрытие окон под контакты).
50. Химическая обработка.
51. Напыление ванадия.
52. Напыление алюминия.
53. Фотолитография VII (формирование межсоединений).
54. Контроль толщины и адгезии.
55. Пассивация (напыление оксида в плазме).
56. Фотолитография VIII (вскрытие окон в пассивации).
57. Вплавление ванадия, алюминия.
58. Крайбирование пластин.
59. Ломка пластин на кристаллы.
60. Посадка кристалла на основание корпуса.
61. Термокомпрессионное присоединение выводов.
62. Герметизация корпуса.
63. Контроль герметизации.
64. Маркировка микросхем.
65. Приёмосдаточные испытания.
66. Контроль микросхем на функционирование.
67. Упаковка приборов (микросхем).

Определение толщины оксида и времени окисления

Для определения толщины слоя диоксида кремния применяют в основном оптические методы и чаще всего метод цветных оттенков Ньютона, который основан на использовании интерференционных цветов, возникающих при отражении белого света от пластины. Порядок интерференции оценивается по красным кольцам клина травления. Толщина слоя оксида оценивается по табл. 2.

Цвет	Толщина слоя оксида, мкм при порядке интерференции			
	I	II	III	IV
Серый	0,05			
Рыжевато-коричневый	0,07			
Коричневый	0,10			
Синий	0,15			
Жёлтый	0,22	0,39	0,57	0,77
Оранжевый	0,25	0,41	0,58	0,80
Красный	0,27	0,44	0,62	
Фиолетовый	0,30	0,46	0,63	0,86
Голубой	0,31	0,49	0,68	0,87
Зелёный	0,35	0,52	0,74	

При толщинах плёнок, превышающих 0,1 мкм, и окислении при температурах более 1000°C рост толщины плёнки подчиняется параболическому закону:

$$X^2 = kt,$$

где X – толщина двуокиси кремния; k – константа скорости роста; t – время окисления.

В атмосфере сухого кислорода при атмосферном давлении

$$t = 1,19 \cdot 10^{-2} x^2 \exp\left(\frac{1,7}{kT}\right),$$

где t – время окисления (мин); X – толщина оксида (мкм); k – постоянная Больцмана : $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$ (ЭВ/град); T – температура (К).

В атмосфере паров воды при атмосферном давлении

$$t = 0,1377 x^2 \exp\left(\frac{0,8}{kT}\right).$$

При выращивании на поверхности кремния маскирующего слоя оксида последний обычно формируется из двух или трёх слоёв: первый слой толщиной 0,02 ... 0,05 мкм выращивают в атмосфере сухого кислорода, второй – толщиной 0,4 ... 0,8 мкм – в парах воды и третий – 0,2 мкм – снова в сухом кислороде. Такое многослойное выращивание оксида определяется тем, что в сухом кислороде образуется плотный оксид, а в парах воды обеспечивается высокая скорость роста (но меньшая плотность).

Порядок выполнения работы

1. Изучить последовательность операций изготовления ПИМС, используя набор пластин, взятых на различных стадиях технологического процесса. Просматривая с помощью микроскопа весь набор, рекомендуется упорядочить расположение пластин по мере усложнения формируемых структур. Выбрать на кристалле какую-либо транзисторную структуру. Проследить процесс её формирования, определить наименование технологических операций, пользуясь маршрутной картой. Результаты выполнения данного пункта сводятся в табл. 3.

Таблица 3

№ образца	Наименование операций в маршрутной карте	Номер операции в маршрутной карте	Характерные признаки операции	Вид и причина брака	Эскиз топологии структуры

2. Изучить технологические операции изготовления ПИМС, указав характерные признаки каждой операции на соответствующей пластине набора. Используя альбом контроля качества (имеется на рабочем месте), указать виды и причины брака на каждой операции изделия. Результаты выполнения пункта занести в табл. 3.

3. Измерить параметры оксидных слоёв ПИМС, для чего, пользуясь данными табл. 2, определить толщину слоя оксида на всех пластинах, имеющих данный слой. По результатам выполнения пункта заполнить табл. 4.

№ пластины	Цвет оксида	Толщина слоя оксида, мкм
------------	-------------	--------------------------

4. Рассчитать время выращивания маскирующего оксида на одной из пластин, пользуясь формулами (1), (2). Найти время окисления для случаев:

- оксид выращивается в сухом кислороде;
- оксид выращивается в парах воды;
- оксид имеет трёхслойную структуру.

Содержание отчёта

- Результаты выполнения работы, сведенные в табл. 3 и 4.
- Расчёты времени выращивания оксидной плёнки.

Контрольные вопросы

- Какова последовательность операций изготовления ПИМС?
- Изобразить сечение ПИМС после заданной операции.
- Каково назначение скрытого слоя, вертикального слоя, разделительной диффузии, других областей ПИМС?
- Для чего нужен эпитаксиальный слой? Почему область коллектора не формируют, как и другие области, диффузией, а наращивают с помощью эпитаксии?
- Расскажите о фотошаблонах, их назначении, особенностях, технологии изготовления.
- Охарактеризуйте отдельные операции технологического процесса ПИМС: фотолитографию, окисление, диффузию и др.
- Какое оборудование и материалы применяются на отдельных технологических операциях?
- С какой целью проводится формирование маскирующего оксида из двух или трёх слоев?
- С какой целью проводится двухстадийная диффузия?
- Охарактеризуйте методы контроля параметров слоёв.
- Какие виды технологического брака Вам известны и какими причинами они вызваны?
- Из каких соображений выбираются толщина и удельное сопротивление подложки и эпитаксиального слоя?
- Для чего область эмиттера делается с высокой степенью легирования (n^+)?
- Зачем при создании n -областей с металлической разводкой зону контакта дополнительно легируют?
- На какой операции формируются резисторы ПИМС?
- Для чего металлизация делается многослойной?

Список рекомендуемой литературы

- Ефимов, И.Б. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надёжность / И.Б. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. – М. : Высшая школа, 1986. – С. 202 – 207, 217 – 221, 241 – 244, 250 – 254, 292 – 296.

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ТОЛСТОПЛЁНОЧНЫХ ГИМС

- Цель работы.* 1. Изучение технологии изготовления и конструктивного исполнения толстоплёночных ГИМС.
2. Изучение топологии, определение конструктивных и электрических параметров пассивной части толстоплёночных ГИМС.
3. Ознакомление с основными конструкторско-технологическими требованиями и различными видами брака при изготовлении толстоплёночных ГИМС.

Описание лабораторной установки и особенностей технологического процесса

В технологии толстоплёночных ГИМС можно выделить следующие основные стадии: изготовление и очистка подложек; приготовление паст; изготовление трафаретов; трафаретная печать; термообработка паст, нанесенных на подложку; армирование плат внешними выводами и лужение проводников; подгонка резисторов; монтаж навесных компонентов; герметизация; измерения, испытания, маркировка.

В качестве материалов подложек используют керамику 22ХС, поликор, бериллиевую керамику (при необходимости повышенного теплоотвода от схемы), нержавеющую сталь с диэлектрическим покрытием.

Форма подложек – прямоугольные плоскопараллельные пластины толщиной 0,6 ... 1 мм. Размеры подложек определяются конструкцией корпусов. В подложках формируются сквозные отверстия для установки внешних выводов и контактных переходов с одной стороны подложки на другую. Поверхность подложек механически обрабатывают до 8 класса чистоты.

Очищают подложки промывкой и кипячением в растворителях с ультразвуковой активацией растворов и сушкой в нагретом инертном газе.

Пасты представляют собой суспензии порошков наполнителя (функционального компонента, придающего пасте проводниковые, резистивные или диэлектрические свойства) и легкоплавкого стекла в органической связующей жидкости, обеспечивающей необходимую консистенцию и вязкость пасты.

Удельное поверхностное сопротивление проводниковых паст $\rho_s = (0,01 \dots 0,05) \text{ Ом/м}$, резистивных $\rho_s = (1 \dots 10^6) \text{ Ом/м}$. Удельная ёмкость паст для диэлектриков конденсаторов $C_0 = (3 \dots 10)10^3 \text{ пФ/м}$, паст для межслойных изоляций $C_0 = (160 \dots 220)10^3 \text{ пФ/м}$.

В последнее время разработаны полимерные и фотополимерные пасты, представляющие собой суспензии порошков функциональных компонентов в полимерном связующем (эпоксидных и фенолформальдегидных смолах). После нанесения таких паст на подложки их полимеризуют при температуре (150 ... 200)°С, в результате чего полимерная основа переходит в непластичное и нерастворимое состояние, образуя конструктивную основу пленки.

Для трафаретной печати используют трафареты двух типов – цельнометаллические (из бериллиевой бронзы, нержавеющей стали или никеля с прорезями, соответствующими рисунку плёночных элементов) и сетчатые, представляющие из себя натянутую на рамку сетку из капрона или нержавеющей стальной проволоки диаметром 30 ... 40 мкм с размером ячеек 0,025 ... 0,08 мм; на сетку наносят фоторезист и методами фотолитографии формируют открытие участки сетки, соответствующие рисунку плёночных элементов. При контактной печати трафарет плотно прилегает к подложке по всей её площади. При бесконтактной печати между трафаретом и подложкой имеется зазор 0,4 ... 0,1 мм. Паста продавливается в отверстия трафареты при перемещении ракеля; толстоплёночные элементы формируются последовательно при перемещении линии контакта трафарета с подложкой (рис. 1).

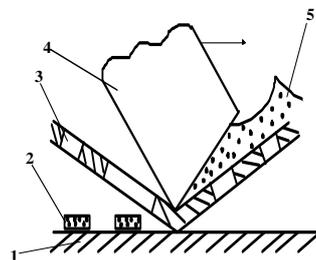


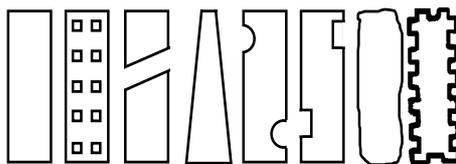
Рис. 1. Схема бесконтактной трафаретной печати:

- 1 – подложка; 2 – отпечаток пасты;
3 – трафарет; 4 – рапель;
5 – паста на трафарете

Толщина нанесённых плёнок составляет 10 ... 80 мкм. Ракель изготавливают из полиуретана или фторуглерода. Качество рисунка толстоплёночных элементов зависит от свойств пасты и соблюдения технологии трафаретной печати (рис. 2).

Термообработка паст проводится в две стадии. Первая стадия – сушка в инфракрасных лучах при температуре 80 ... 150°С в течение 5 ... 15 минут для удаления летучих компонентов. Вторая стадия – вжигание в конвейерных печах на воздухе с зонами контролируемого нагрева. В процессе вжигания при температуре 300 ... 400°С происходит разложение и удаление нелетучих органических компонентов паст; при дальнейшем повышении температуры происходит расплавление

стеклянного компонента и спекание частиц наполнителя между собой и с подложкой. Максимальная температура вжигания для проводников составляет – 800°С, для диэлектриков – 700°С, для резисторов – (600 – 650)°С. Длительность вжигания порядка 1,5 ч. При изготовлении ГИМС каждый последующий слой должен вжигаться при более низкой температуре, чем предыдущий, что определяется последовательность нанесения слоев.



А Б В Г Д Е Ж З

Рис. 2. Дефекты трафаретной печати:

А – бездефектный отпечаток; Б – зубцы (велика вязкость пасты, большое давление ракеля); В – разрывы (большая ступень на подложке); Г – неоднородная ширина (неточная установка трафарета); Д – неполная ширина (большая величина зазора трафарет-подложка); Е – регулярное искажение формы (мало натяжение сетки); Ж – уширение (мала вязкость пасты); З – видимая сетчатая структура (слишком высокий предел текучести пасты)

Точность номиналов толстоплёночных резисторов не превышает 50%, поэтому для них обязательна операция подгонки. Элементы толстоплёночных ГИМС могут располагаться на обеих сторонах подложки. Контактные переходы с одной стороны подложки на другую осуществляются через армированные отверстия или через боковую поверхность платы.

Армирование плат (механическое крепление внешних выводов и контактных переходов) осуществляется расклепыванием или подгибкой с опрессовкой. Для получения надёжного электрического соединения выводов и контактных переходов с плёночными контактными площадками плату облуживают.

Навесные компоненты с гибкими выводами приклеивают к плате, с жёсткими выводами присоединяют пайкой.

Для герметизации толстоплёночных ГИМС используют полимерные или металлополимерные корпуса типов «Тропа», «Акция», «Пенал», «Трапедия» с заливкой компанудом холодного отверждения. Возможна бескорпусная герметизация нанесением защитных материалов (компанудов) непосредственно на поверхность ГИМС с последующим формованием (опрессовкой).

Порядок выполнения работы

1. Изучение топологии и конструктивных параметров пассивной части толстоплёночных ГИМС

Начертить на миллиметровой бумаге эскиз топологии пассивной части образца толстоплёночной ГИМС с резистивными элементами.

Измерить основные конструктивные параметры топологии, регламентируемые конструктивно-технологическими ограничениями при проектировании толстоплёночной ГИМС.

Измеренные величины представить на эскизе топологии.

2. Определить наличие брака при изготовлении ГИМС. Описать вид брака и указать, какие нарушения технологического процесса при выполнении соответствующих операций явились причиной брака. Результаты занести в таблицу.

Таблица 1

Номер образца	Номер операции в маршрутной карте	Наименование операции в маршрутной карте	Характерные признаки операции	Вид и причины брака
---------------	-----------------------------------	--	-------------------------------	---------------------

3. Определение величины и точности номиналов резистивных элементов платы толстоплёночной ГИМС.

Провести измерения сопротивления и геометрических размеров резистивных элементов платы.

На основании результатов измерений определить величину удельного поверхностного сопротивления каждого резистора по формуле

$$R_0 = \frac{Rb}{l},$$

где R_0 – удельное поверхностное сопротивление, Ом/кв; l, b – соответственно длина и ширина резистора, мм.

Определить среднее арифметическое значение удельного поверхностного сопротивления резисторов на плате по формуле

$$\bar{R}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{0i},$$

где n – число резисторов на плате.

Определить среднее квадратическое отклонение σ_R величины удельного поверхностного сопротивления от номинального, принимая в качестве номинального среднее арифметическое значение, определённое по формуле (2)

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{0i} - R_{\text{НОМ}})^2}.$$

Определить относительную погрешность ε_R воспроизведения номинального значения удельного поверхностного сопротивления резисторов на плате по формуле

$$\varepsilon_R = \frac{\sigma_R}{R_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%$$

Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Обозначение резистора в эскизе топологии	l , мм	b , мм	R , Ом	R_0 , Ом/кв	\bar{R}_0 , Ом/кв	σ_R , Ом/кв	ε_R , %
--	----------	----------	----------	---------------	---------------------	--------------------	---------------------

Содержание отчёта

1. Результаты определения видов и причин брака при изготовлении толстоплёночных ГИМС (табл. 1).
2. Эскиз топологии пассивной части толстоплёночной ГИМС с измеренными величинами основных параметров, определяемых конструкторско-технологическими ограничениями.
3. Результаты определения величины и точности номиналов резистивных элементов платы толстоплёночной ГИМС (табл. 2).

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику материалов подложек толстоплёночных ГИМС.
2. Каков фазовый и химический состав паст толстоплёночных ГИМС?
3. В чём особенности применения полимерных и фотополимерных паст в технологии толстоплёночных ГИМС?
4. Опишите процесс трафаретной печати с применением цельно – металлических и сетчатых трафаретов.
5. Дайте характеристику основных типов дефектов трафаретной печати и объясните причины их возникновения.
6. Опишите основные этапы термообработки паст при изготовлении толстоплёночных ГИМС.
7. Каковы основные особенности технологии толстоплёночных СВЧ ГИМС?

Список рекомендованной литературы

1. Парфенов, О.Д. Технология микросхем / О.Д. Парфенов. – М. : Высшая школа, 1986.
2. Краснов, В.Г. Толстоплёночная технология в СВЧ микроэлектронике / В.Г. Краснов, Г.Б. Петраускис, Ю.С. Чернозубов. – М. : Радио и связь, 1985.