

**Государственный комитет РСФСР
по делам науки и высшей школы
Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
БИПОЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ
МИКРОСХЕМ**

**Методические указания
к лабораторной работе**

Самара 1991

Составители: М.Н.П и г а н о в, В.Д.Д м и т р и е в,
М.А.Л е д н е в

УДК 621.382.82

Исследование конструкций полупроводниковых биполярных интегральных микросхем: Метод. указ. к лаборатор. работе / Самар. авиац. ин-т; Сост. М.Н.Пиганов, В.Д.Дмитриев, М.А.Леднев. Самара, 1991. 16 с.

Дается анализ конструктивно-технологических особенностей полупроводниковых интегральных микросхем, их элементов, методов изоляции и структуры. Предлагается определить метод изоляции элементов изучаемых интегральных микросхем, составить схему электрическую принципиальную и топологический чертеж, рассчитать степень интеграции и определить плотность упаковки элементов.

Рекомендуются студентам специальности 23.03. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология РЭА".

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

Рецензент В.Н.С о к о л о в

Ц е л ь р а б о т ы - анализ и изучение конструкции биполярной интегральной микросхемы, ее элементов, структуры, методов изоляции элементов и технологии изготовления.

З а д а н и е:

1. Изучить конструкцию интегральной микросхемы (ИМС) и ее элементов, определить метод изоляции элементов.
2. Составить топологический чертеж и по нему схему электрическую принципиальную. Воспроизвести чертежи структур элементов.
3. Рассчитать плотность упаковки элементов и определить степень интеграции микросхемы.
4. Составить схему технологического процесса изготовления изучаемой интегральной микросхемы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

П о л у п р о в о д н и к о в а я и н т е г р а л ь н а я
м и к р о с х е м а - интегральная микросхема, все элементы и меж-
элементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности
полупроводника. полупроводниковые ИМС характеризуются высокой плот-
ностью компоновки элементов, малыми массой и габаритами, возможностью
применения групповых методов производства почти на всех стадиях изго-
товления. Современная технология производства позволяет формировать
сотни тысяч элементов в объеме и на поверхности полупроводниковых
кристаллов.

Наряду с преимуществами полупроводниковые ИМС имеют и недостат-
ки, такие как повышенная температурная зависимость параметров резис-
торов и конденсаторов, а также невозможность изготовления катушек ин-
дуктивности. Для производства полупроводниковых ИМС требуется больше
капитальных вложений, чем для производства гибридных ИМС.

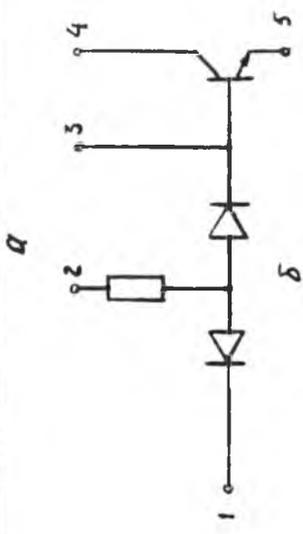
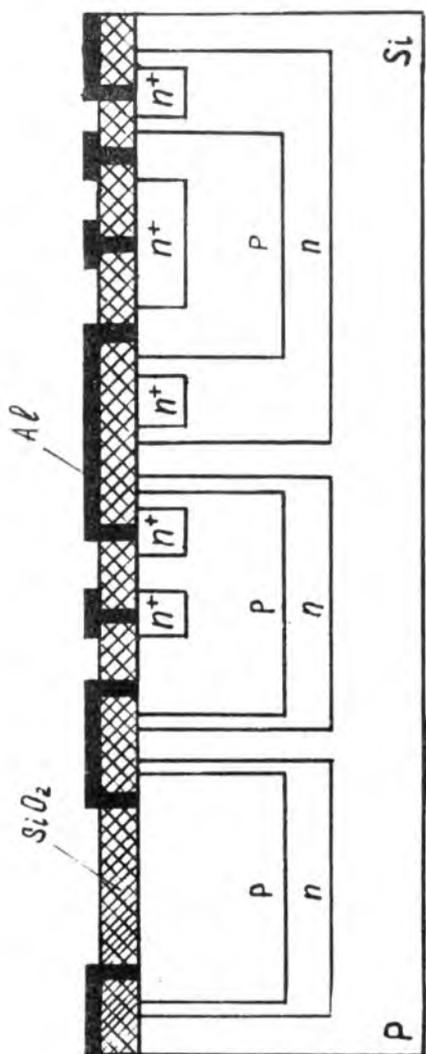
В основном применяются два вида полупроводниковых ИМС, различающихся типом активных элементов: на биполярных транзисторных структурах и на полевых транзисторах с изолированным затвором (МДП-транзисторных структурах). На их основе изготавливаются комбинированные ИМС.

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИМС НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУРАХ

Наибольшее распространение для изготовления полупроводниковых ИМС получила планарная технология, в основе которой лежат методы эпитаксии и диффузии примесей в локальных областях полупроводниковой пластины. Процессы локальной диффузии и эпитаксиального выращивания позволяют сформировать в объеме подложки $p-n$ — переходы и образовать схему, включающую как активные, так и пассивные элементы. Отличительной чертой планарных структур полупроводниковых ИМС является образование всех элементов и выводов от них с одной стороны полупроводниковой пластины (рис.1).

Технологический процесс изготовления полупроводниковых ИМС включает следующие операции и процессы: подготовка пластины (подложки), эпитаксиальный процесс, окисление, фотолитография, диффузия, изоляция, металлизация и др. Одним из основных процессов планарной технологии является диффузия примесей в полупроводниковую пластину. Она проводится локально, т.е. в заданные участки пластины через маску из двуокиси кремния. Поочередная диффузия в кремний примесей p — и n — типов позволяет создавать последовательность нескольких $n-p$ — переходов, необходимых для образования элементов. В качестве примесей используют фосфор, бор, мышьяк, галлий, свинец, алюминий. По отношению к кремнию и германию фосфор, мышьяк, свинец обладают электронным типом проводимости, а бор, галлий и алюминий — дырочным. Чаще всего используют фосфор и бор, имеющие наиболее близкие коэффициенты диффузии в кремний, обладающие большой растворимостью в нем и имеющие малые коэффициенты диффузии в двуокись кремния. Металлизацию осуществляют осаждением проводящего слоя (как правило, из алюминия).

Методы изоляции элементов. При размещении как активных, так и пассивных элементов на общей подложке возникает необходимость электрически изолировать их друг от друга. Поэтому одной из важнейших проблем при создании полупроводниковых ИМС является обеспечение надежной электрической изоляции между отдельными компонентами. В связи с этим



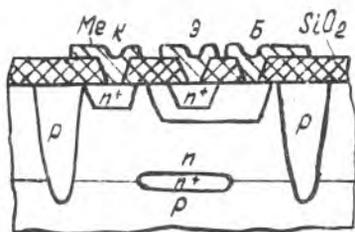
Р и с. 1. Интегральный микросхема: а - поперечный разрез структуры; б - схема электрическая принципиальная

структуры ИМС, а также технологический процесс их создания можно классифицировать по способу изоляции (рис.2-12, табл.1). Из всего многообразия методов изоляции можно выделить три группы существенно отличающихся физическими принципами построения изоляционных областей: обратносмещенным $p-n$ -переходом (рис.2-6, табл. 1) диэлектрическими пленками (рис.7,8, табл. 1) и комбинированным методом (рис.9-12, табл.1).

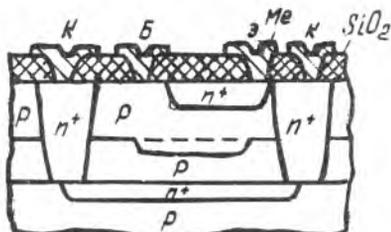
Т а б л и ц а 1
Основные технологические операции изоляции элементов ИМС

Принципы взаимной изоляции элементов	Номера рисунков	Основные технологические операции
Обратносмещенный изолирующий $p-n$ -переход	Рис. 2 Рис. 3 Рис. 4 Рис. 5 Рис. 6	I-2-5-8-4-I4-I8-I9 I-3-6-7-4-I4-I8-I9 2-9-4-I4-I8-I9 7-I0-I8-I9 4-II-I2-I3-I4-I8-I9
Изоляция диэлектрическими пленками	Рис. 7 Рис. 8	I-4-I5-I6-I7-8-I4-I8-I9 I-I7-8-I4-I8-I9-20-2I
Комбинированная изоляция	Рис. 9 Рис. 10 Рис. 11 Рис. 12	I-2-8-22-23-24-I4-I8-I9 I-2-8-22-23-I4-I8-I9 I-2-23-24-25-7-I4-I8-I9 I-26-4-28-27-7-I8-I4-I9

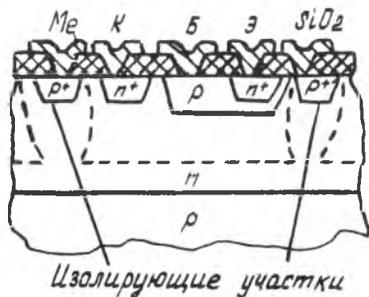
Примечание к табл. 1: I - формирование скрытого n^+ -слоя; 2-эпитаксиальное наращивание кремния n -типа; 3 - эпитаксиальное наращивание кремния p -типа; 4 - формирование защитной ски; 5 - изолирующая диффузия акценторов; 6 - изолирующая диффузия доноров; 7 - базовая диффузия без маски; 8 - базовая диффузия без маски; 9 - базовая диффузия при одновременном создании изолирующих участков; 10 - одновременная диффузия эмиттера и коллектора; 11 - одновременная диффузия фосфора и мышьяка; 12 - удаление защитной маски; 13 - высокотемпературное окисление; 14 - эмиттерная диффузия; 15 - сильное травление изолирующих канавок в кремнии; 16 - эпитаксиальное наращивание поликристаллического кремния; 17 - сошлифовка монокристаллического кремния; 18 - вскрытие контактных окон; 19 - формирование контактов и внутрисхемных соединений; 20 - спекание вспомогательной стеклянной пластиной; 21 - удаление лишнего кремния между контактами; 22 - маскирование и травление V -образных канавок; 23 - травление рельефа диэлектрическими пленками; 24 - заполнение канавок поликристаллическим кремнием; 25 - формирование разделительных областей;



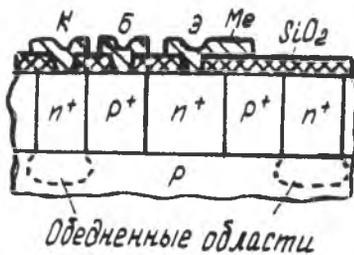
Р и с. 2. Разделительная диффузия



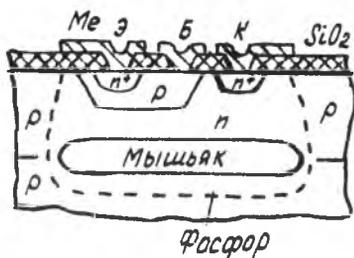
Р и с. 3. Коллекторная изолирующая диффузия



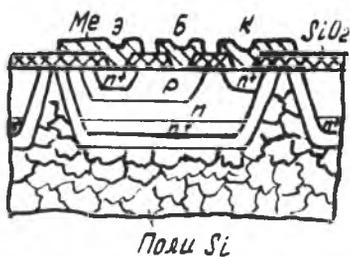
Р и с. 4. Базовая изолирующая диффузия



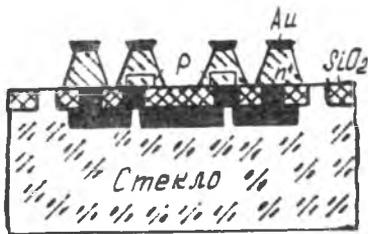
Р и с. 5. Метод трех фотошаблонов



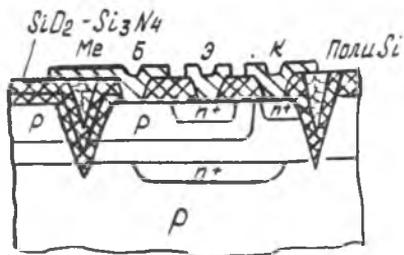
Р и с. 6. Метод двойной диффузии



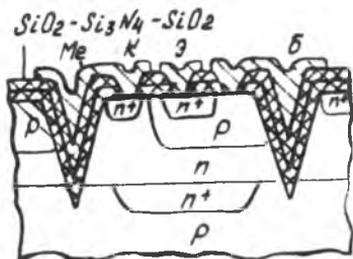
Р и с. 7. Полная диэлектрическая изоляция



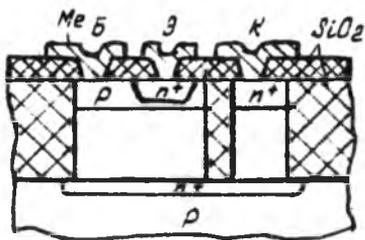
Р и с. 8. Метод воздушной изоляции



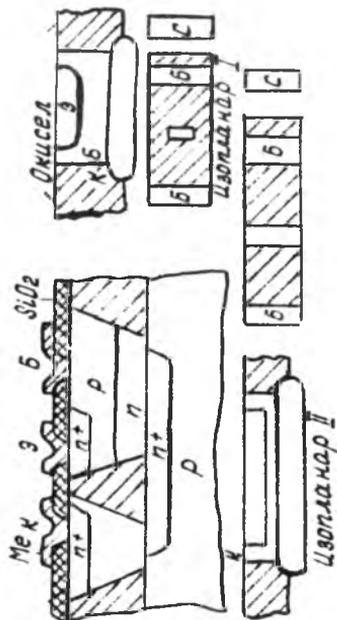
Р и с. 9. Изоляция диэлектриком и поликристаллическим кремнием



Р и с. 10. метод вертикального анизотропного травления



Р и с. 12. Метод локальной эпитаксии



Р и с. 11. планарная технология

26 - локальное термическое окисление; 27 - локальное эпитаксиальное наращивание кремния в окнах защитной маски; 28 - подтравливание кремния в местах, не защищенных маской.

Первый метод изоляции компонентов ИМС использует свойства обратно смещенных $p-n$ -переходов. Этот метод является в настоящее время наиболее распространенным, так как его выполнение не требует проведения сложных технологических операций. Второй метод осуществляется путем введения в структуру ИМС диэлектрических изолирующих слоев и подложек. Применение диэлектрической изоляции повышает максимально допустимые напряжения между компонентами, увеличивает радиационную стойкость схемы, существенно уменьшает паразитные емкости и токи утечки. Третий метод является комбинированным. Изоляцию в данном случае осуществляют путем сочетания боковых диэлектрических слоев и обратнсмещенных $p-n$ -переходов, что позволяет использовать преимущества первого и второго методов изоляции.

Изоляция обратнсмещенным $p-n$ -переходом использует в качестве изолирующих областей $p-n$ -переходы, полученные диффузией, ионным легированием, включенные навстречу друг другу и смещенные в обратном направлении. На базе этого метода реализован ряд конкретных технологических процессов формирования изолирующих областей: разделительная диффузия (изоляция осуществляется $p-n$ -переходом, смещенным в обратном направлении: рис.2); коллекторная изолирующая диффузия (Идд-технология, рис.3); базовая изолирующая диффузия (БИД-технология, рис.4); метод трех фотошаблонов (рис.5); метод двойной диффузии (рис.6).

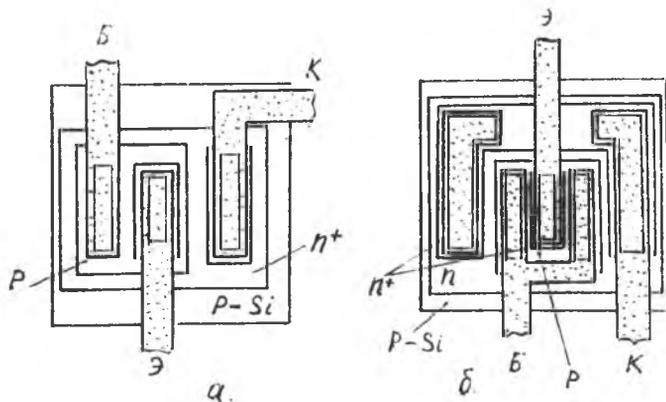
Общими недостатками методов, использующих изолирующий $p-n$ -переход, является наличие паразитных транзисторов, возникновение положительных обратных связей, отрицательно влияющих на работу схемы, большие утечки, повышенная площадь изоляционных областей.

Диэлектрическая изоляция предусматривает использование в качестве межкомпонентного изолирующего материала пленок оксидов полупроводников и металлов, нитридов, карбидов, стекла, керамики, полиамидных пленок и воздуха. Она реализуется следующими технологическими методами: полная диэлектрическая изоляция (см.рис.7); воздушная изоляция (см.рис.8); изготовление элементов ИМС на диэлектрических подложках (сапфире, шпинели); изоляция с помощью керамики и стекол.

Основные недостатки ИМС с диэлектрической изоляцией: достаточно напряженный тепловой режим работы элементов из-за низкой теплопроводности изолирующих слоев и высокая стоимость.

Наиболее распространенными элементами полупроводниковых ИМС являются транзисторы. Транзистор представляет собой систему двух или трех взаимосвязанных $p-n$ -переходов, включенных встречно и расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Для уменьшения сопротивления тела коллектора и снижения влияния подложки на работу транзистора применяют сильнолегированный (скрытый) слой n^+ -типа с концентрацией атомов донорной примеси (см.рис.2), который формируют диффузией перед эпитаксиальным наращиванием коллекторного слоя n -типа. Скрытый слой частично расположен в эпитаксиальном. Это объясняется тем, что во время эпитаксиального наращивания донорные атомы скрытого слоя под действием высокой температуры диффундируют в нарастающий эпитаксиальный n -слой. Для уменьшения диффузии (при большом распространении доноров возможно смыкание скрытого n^+ -слоя с базовым p -слоем) в качестве диффузанта для образования скрытого слоя используют сурьму или мышьяк, имеющие малые коэффициенты диффузии.

Две типичные конфигурации интегральных транзисторов (на основе рис.1) показаны на рис. 13. Для асимметричной конфигурации (рис.13,а) характерно то, что коллекторный ток в ней протекает к эмиттеру только в одном направлении. При симметричной конфигурации (рис.13,б) коллекторный ток протекает к эмиттеру с трех сторон и сопротивление коллектора примерно втрое меньше, чем при асимметричной конфигурации.

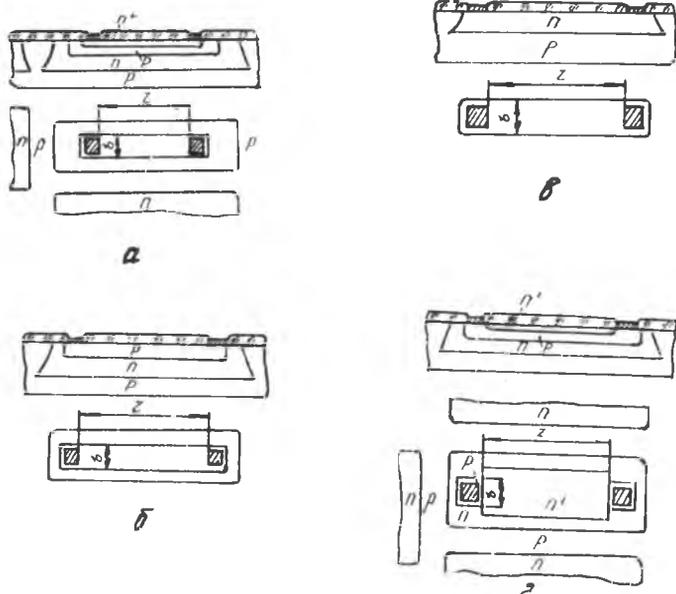


Р и с. 13. Конструкции биполярных транзисторов: а - асимметричная; б - симметричная

Для конструкции транзистора симметричной конфигурации облегчается разработка топологии металлической разводки, так как оказывается возможным часть коллекторной области разместить под окислом, а поверх окисла над коллектором провести алюминиевую полосу к эмиттерной или базовой области.

В полупроводниковых ИМС в качестве резисторов используют обычные участки полупроводника, создаваемые одновременно с коллекторными или базовыми областями транзистора. Области, создаваемые вместе с эмиттерами транзисторов, применяют для этой цели реже ввиду малого удельного сопротивления. Если ИМС должна содержать резисторы с достаточно высоким сопротивлением (порядка нескольких десятков килоом и более), то изготавливают так называемые сжатые резисторы (пинч-резисторы).

Структуры и топология резисторов показаны на рис. 14. Параметры полупроводниковых резисторов приведены в табл. 2.



Р и с. 14. Структура интегральных полупроводниковых резисторов: а - на основе эмиттерного слоя; б - на основе базового слоя; в - на основе коллекторного слоя; г - сжатый резистор на основе базового слоя

Т а б л и ц а 2

Параметры полупроводниковых резисторов

Тип резистора	Номинальное значение сопротивления, Ом	Удельное сопротивление R_{σ} , Ом/а	ТКС $\cdot 10^3$, 1/град
Эмиттерный слой	$2,5 \cdot 10^3$	2...6	2
Базовый слой	$150 \dots 20 \cdot 10^3$	50...250	2
Коллекторный слой	$250 \dots 10 \cdot 10^3$	200...300	5
Сжатые резисторы	$(5 \dots 500) \cdot 10^3$	$(2 \dots 10) \cdot 10^3$	5

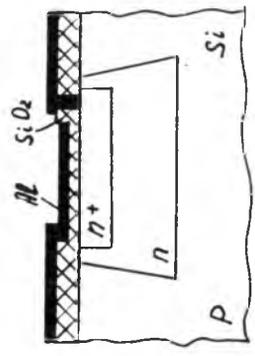
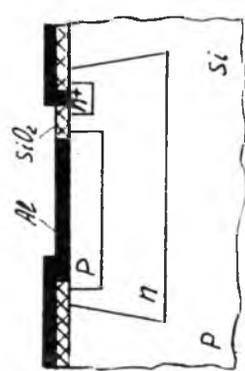
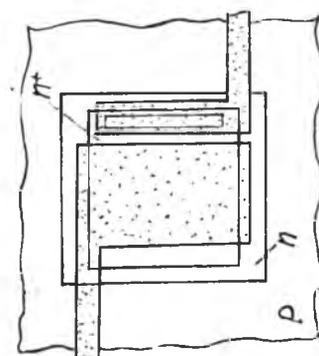
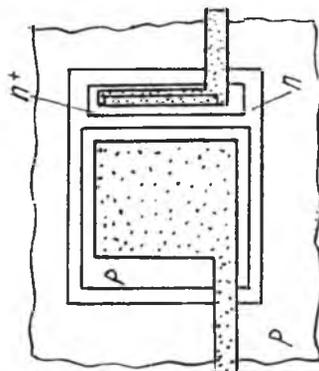
В интегральных полупроводниковых конденсаторах роль диэлектрика могут выполнять обедненные слои обратнорасположенных $p-n$ -переходов или пленка двуоксида кремния, роль обкладок - легированные полупроводниковые области или напыленные металлические пленки совместно с легированной областью. В первом случае конденсатор называют д и ф ф у з и о н н ы м, а во втором - МОП (металл, окисел, полупроводник). Характеристики конденсаторов полупроводниковых ИМС невысоки (табл.3); кроме того, для получения сравнительно больших емкостей необходима значительная площадь подложки. Поэтому при проектировании электрической схемы полупроводниковой ИМС стремятся избегать применения конденсаторов.

Структура и топология конденсаторов показаны на рис. 15.

Т а б л и ц а 3

Параметры интегральных конденсаторов

Тип конденсатора (на переходах)	Максимальная емкость, пФ	Допуск, %	ТКС $\cdot 10^3$ 1/°С	Добротность
Б-К	300	$\pm 15 \dots 20$	-1,0	50...100
Э-Б	1200	± 20	-1,0	1...20
МОП	500	$\pm 15 \dots 20$	0,015	25...80



Р и С. 15. Структура и топология конденсаторов: а - диффузионный конденсатор;
 б - МОП-конденсатор

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит микроскопы МБС-9 и МИИ-4 и набор исследуемых полупроводниковых ИМС.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с заданием.
2. Получить у преподавателя полупроводниковую ИМС.
3. Изучить конструкцию ИМС и ее элементов.
4. Определить границу разделительного слоя вокруг каждого элемента.
5. Определить метод изоляции элементов.
6. Составить эскиз общего вида топологии.
7. Воспроизвести структуру ИМС.
8. Замерить геометрические размеры ИМС.
9. Определить плотность упаковки элементов и степень интеграции изучаемой ИМС.
10. Составить схему технологического процесса изготовления данной ИМС.
11. Составить принципиальную электрическую схему ИМС.
12. Сделать вывод о целесообразности изготовления данной ИМС по диффузионной технологии.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема электрическая принципиальная.
3. Эскиз общего вида топологии.
4. Структура элементов ИМС.
5. Расчет плотности упаковки и степени интеграции.
6. Схема технологического процесса изготовления полупроводниковой ИМС.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводниковая ИМС?
2. В чем заключается сущность планарной технологии?
3. Составьте структурную схему технологического процесса изготовления полупроводниковой ИМС.
4. Какие методы изоляции элементов использованы в данной ИМС?
5. Нарисуйте структурную схему формирования изолированных островков методом обратномещенного *p-n*-перехода.
6. В чем заключается сущность изоляции диэлектрической пленкой? Опишите схему технологического процесса формирования изоляционного слоя.
7. Нарисуйте структуру и вид в плане биполярного транзистора в случае комбинированной изоляции.
8. Какие типы резисторов используют в полупроводниковых ИМС? Их преимущества и недостатки.
9. Нарисуйте основные типы полупроводниковых конденсаторов с различными видами изоляции элементов.

Библиографический список

- К о л е д о в Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.
- П о н о м а р е в М.Ф. Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА. М.: Радио и связь, 1982. 288 с.
- Д о с т а н к о А.П. Технология интегральных схем. Минск: Вышэйш. шк., 1982. 206 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
БИПОЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

**Составители: П и г а н о в Михаил Николаевич,
Д м и т р и е в Василий Дмитриевич,
Л е д н е в Михаил Алексеевич**

**Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн. редактор Г.А.У с а ч е в а
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а**

**Подписано в печать 19.11.91. Формат 60x84¹/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.п.л. 0,93.
Усл.кр.-отт. 1,05. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 300 экз.
Заказ № 4925. Бесплатно.**

**Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.**

**Тип. им. В.П.Мяги Самарского полиграфического
объединения. 443099 Самара, ул.Венцека, 60.**