

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

С А М А Р А
Издательство СГАУ
2010

УДК СГАУ : 621.315(075)

Составители: *М.Н. Пиганов, А.В. Волков, А.И. Меркулов.*

Рецензент: В.А. М е д н и к о в

Анализ конструкций полупроводниковых интегральных микросхем: метод. указания / *М.Н. Пиганов, А.В. Волков, А.И. Меркулов.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 20 с.

Приведены конструкции полупроводниковых биполярных и униполярных микросхем, их элементов, показаны методы изоляции, структура. Студентам предлагается определить метод изоляции элементов изучаемых микросхем, воспроизвести топологический чертеж общего вида, структуру кристалла, принципиальную электрическую схему, составить схему технологического процесса изготовления микросхемы, рассчитать степень интеграции и определить плотность упаковки элементов.

Рекомендуется студентам специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

Занятие 1

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МИКРОСХЕМ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО БИПОЛЯРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Цель работы – анализ и изучение конструкции полупроводниковой биполярной интегральной микросхемы, её элементов, структуры, методов изоляции элементов.

Задания:

1. Изучить конструкцию микросхемы и элементов, определить метод изоляции элементов.
2. Воспроизвести топологический чертеж общего вида и структуру кристалла и по ним составить электрическую принципиальную схему.
3. Рассчитать плотность упаковки элементов и определить степень интеграции микросхемы; ознакомиться с условиями эксплуатации и электрическими параметрами изучаемой микросхемы.
4. Составить схему технологического процесса изготовления изучаемой микросхемы, используя персональный компьютер и пакет прикладных программ VIS.EXE.

1. Теоретические основы.

Общие сведения о полупроводниковых микросхемах

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

Основным преимуществом полупроводниковых микросхем является сравнительно простая технология изготовления большого числа высококачественных активных элементов.

К недостаткам этих микросхем следует отнести наличие большого числа паразитных связей, узкий диапазон номинальных значений **R**- и **C**-элементов, низкую точность их изготовления, сильную температурную зависимость сопротивлений и емкостей, трудность создания индуктивных элементов.

В полупроводниковом исполнении реализуются, как правило, цифровые схемы.

Для изготовления полупроводниковых микросхем используется в основном монокристаллический кремний, германий, арсенид и фосфид галлия.

Полупроводниковые микросхемы делятся на биполярные и униполярные.

2. Технология изготовления биполярных полупроводниковых микросхем

Наибольшее распространение для изготовления полупроводниковых микросхем получила планарная технология, в основе которой лежат методы эпитаксии и контролируемой диффузии примесей в локальных областях полупроводниковой пластины. Процессы локальной диффузии и эпитаксиального выращивания позволяют сформировать в кристалле *p-n*-переходы и образовать схему, включающую как активные, так и пассивные элементы. Готовая схема, изготовленная по данной технологии, имеет в целом монокристаллическую структуру. Отличительной чертой планарных структур полупроводниковых микросхем является образование всех элементов и выводов от них с одной стороны полупроводниковой пластины (рис. 1).

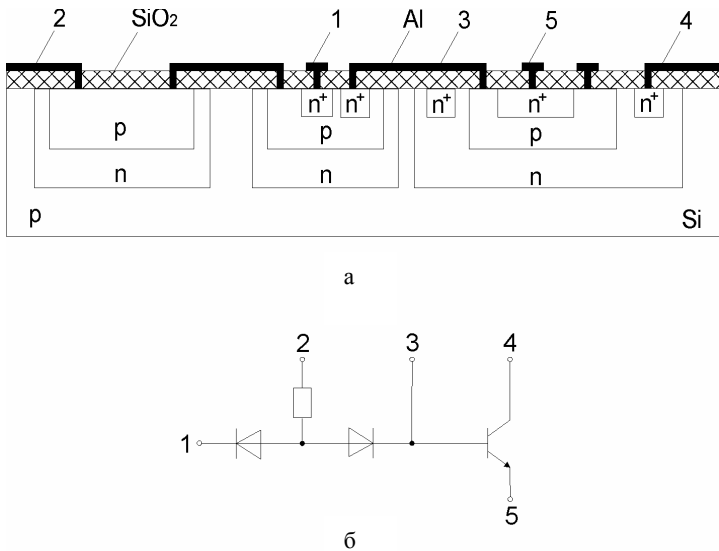


Рис. 1 – Биполярная интегральная микросхема:
а – поперечный разрез структуры; б – принципиальная электрическая схема

Полупроводниковая пластина – заготовка из полупроводникового материала, используемая для изготовления полупроводниковых интегральных микросхем.

Часть полупроводниковой пластины, в объеме и на поверхности которой сформированы элементы полупроводниковой микросхемы, межэлементные соединения и контактные площадки, называют кристаллом интегральной микросхемы.

Технологический процесс изготовления биполярных полупроводниковых микросхем включает следующие операции и процессы: приготовление пластины, эпитаксиальный процесс, окисление, фотолитографию, диффузию, изоляцию, металлизацию (рис. 2) и др.

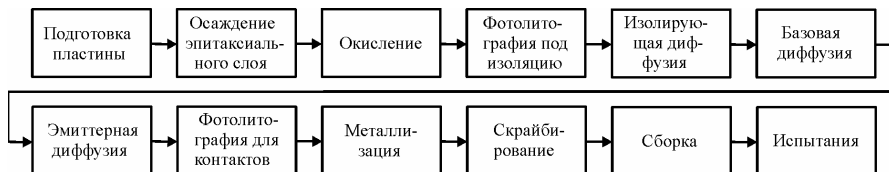


Рис. 2 – Схема технологического процесса получения биполярной микросхемы

Пластины монокристалла (чаще кремния) подвергают механическому шлифованию до требуемой толщины (0,2...0,3 мм), затем тщательно полируют и подвергают травлению сильным реактивом, например, парами соляной кислоты. Эпитаксиальный процесс заключается в покрытии кремниевой подложки дополнительным монокристаллическим слоем толщиной около 25 мкм. Слово «эпитаксиальный» образовано от двух греческих слов, означающих «над» и «располагать». Эпитаксиальная пленка выращивается при высоких температурах (около 1200°С) на совершенно чистой кремниевой подложке осаждением атомов кремния из газовой фазы.

Для получения на поверхности пластин слоя SiO₂ их помещают в печь, где при температуре 900 ... 1300° С над ними пропускается кислород или водяной пар.

Одним из основных процессов планарной технологии является диффузия примесей в полупроводниковую пластину. Диффузия 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 *p-n*-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.

В качестве примесей чаще всего используют фосфор и бор, так как они составляют технологическую пару: имеют близкие коэффициенты диффузии в кремний, обладают большой растворимостью в нём, имеют очень малые коэффициенты диффузии в SiO₂. Металлизация осуществляется осаждением на пластину через трафареты проводящих полосок (как правило, из алюминия).

3. Методы изоляции элементов

В полупроводниковых микросхемах возникает необходимость изолировать элементы друг от друга. Для этого необходимо изготавливать отдельные островки, электрически изолированные друг от друга и от других участков пластины.

В настоящее время формирование изолирующих областей осуществляется, в основном, двумя способами: созданием изолирующего *p-n*-перехода и диэлектрического изолирующего слоя. На основе первого способа изоляции создана следующая группа технологических методов: разделяющая диффузия (изоляция обратносмещенным *p-n*-переходом), коллекторная изолирующая диффузия, метод трех фотошаблонов, самоизоляция *n*-областью (метод двойной диффузии). Во втором случае применяют различные диэлектрические материалы: двуокись кремния, поликристаллический кремний, а также воздух. Второй способ реализуется с помощью следующей группы технологических методов: ЭПИК-процесс, изоляция диэлектриком и поликристаллическим кремнием (VIP-процесс), метод воздушной изоляции (декаль-метод), метод вертикального анизотропного травления (V-АТЕ-технология), изготовление элементов на диэлектрических подложках (сапфире или шпинели), изопланарная технология, метод локальной эпитаксии. В настоящее время наиболее отработана технология изоляции обратносмещенным *p-n*-переходом (диодная изоляция). Ток утечки такой изоляции обычно не превышает $10^{-7} - 10^{-8}$ А. В этом случае используются все важнейшие процессы: эпитаксия, диффузия, окисление, использование фотошаблонов, нанесение фоторезиста, маскирование и травление.

Для изготовления микросхемы используют отшлифованную и очищенную кремниевую пластину *p*-типа (рис. 3, а), имеющую диаметр 25...120 мм (в перспективе до 170 мм) и толщину 0,2...0,3 мм и обладающую удельным сопротивлением порядка 0,1 Ом · м. На её отшлифованной поверхности выращивается эпитаксиальный слой кремния *n*-типа (рис. 3, б), имеющий удельное сопротивление около 0,005 Ом · м. Поверх эпитаксиального слоя термически выращивается пленка двуокиси кремния толщиной 0,5...1 мкм (рис. 3, в). Затем на окисленную поверхность кремниевой пластины наносится слой фоторезиста (рис. 3, г).

После сушки фоторезиста на него накладывается прецизионный фотошаблон. Через фотошаблон проводится засветка пластины ультрафиолетовыми лучами. Освещенные участки фоторезиста (негативного) полимеризуются (рис. 3, д). В процессе проявления неполимеризованные участки фоторезиста вымываются.

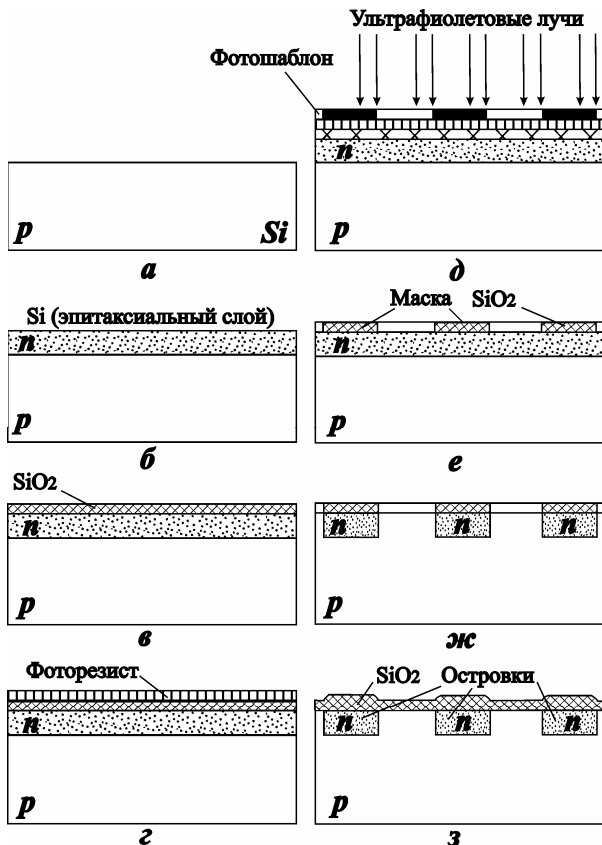


Рис. 3 – Технология образования изолированных островков разделяющей диффузией

Затем осуществляют травление незащищенного слоя двуокиси кремния в плавиковой кислоте. После этого с помощью серной кислоты удаляют полимеризованный фоторезист. Получают маску из SiO_2 для диффузии через нее бора (рис. 3, е). Процесс диффузии проводится с таким расчетом, чтобы образующиеся участки p -типа в эпитаксиальном слое сомкнулись с кремниевой пластиной p -типа. В процессе диффузии островки кремния n -типа окружаются кремнием p -типа (рис. 3, ж). Поверх пластины выращивается новый слой SiO_2 (рис. 3, з). В образованных островках формируют транзисторы, резисторы и другие элементы схемы. Для этого применяют операции, аналогичные рассмотренным, но с использованием других фотошаблонов.

Недостатками такого метода изоляции являются наличие емкостной связи между элементами, невысокое пробивное напряжение между зонами и др.

По сравнению с диодной, диэлектрическая изоляция позволяет снизить емкость между элементами, на порядок снизить ток утечки изоляции, улучшить частотные характеристики, повысить радиационную стойкость.

Технология образования таких островков показана на рис. 4. Монокристаллическая пластина кремния окисляется (рис. 4, а). На образовавшийся слой SiO_2 наносят слой фоторезиста (рис. 4, б). Затем осуществляют экспонирование и проявление (рис. 4, в). После экспонирования травят незащищенные участки SiO_2 и удаляют фоторезист (рис. 4, г). Следующей операцией является травление кремния на определенную глубину (рис. 4, д). Образовавшаяся поверхность окисляют (рис. 4, е). На слой SiO_2 наносят монокристаллический кремний (рис. 4, ж). Затем осуществляют сошлифовывание излишков монокристаллического кремния (рис. 4, з).

Недостатком диэлектрической изоляции является слабый теплоотвод из-за низкой теплопроводности диэлектрического слоя.

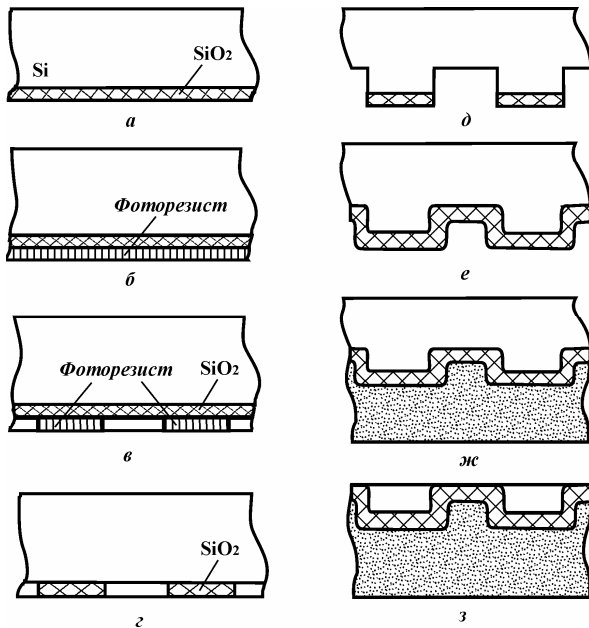


Рис. 4 – Технология получения изолированных островков

4. Элементы биполярных микросхем

4.1. Типы биполярных транзисторов

Наиболее распространенными элементами биполярных микросхем являются транзисторы. Типовой структурой биполярного транзистора является плоскостной *n-p-n* транзистор со скрытым n^+ -слоем и без него (рис. 5, а, б). Он представляет собой систему двух или трех взаимосвязанных *p-n*-переходов, включенных встречно и расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Транзистор со скрытым n^+ -слоем обладает низким горизонтальным сопротивлением коллекторного слоя (10 Ом), имеет большой инверсный коэффициент усиления и меньший избыточный заряд в коллекторной области, который накапливается в режиме двойной инжекции. Транзисторы без скрытого n^+ -слоя имеют высокое сопротивление коллекторного слоя (~100 Ом).

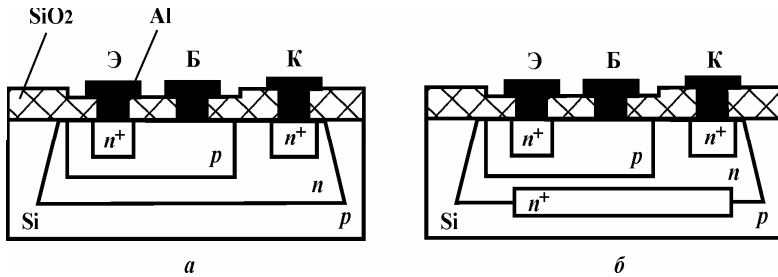


Рис. 5 – Структуры биполярного транзистора

Скрытые слои получают до получения эпитаксиального слоя путем диффузии. Скрытый слой частично расположен в эпитаксиальном. Это объясняется тем, что во время эпитаксиального наращивания донорные атомы скрытого слоя под действием температуры диффундируют в нарастающий эпитаксиальный *n*-слой. Чтобы уменьшить распространение доноров из скрытого слоя в эпитаксиальный (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.

Биполярные *n-p-n* транзисторы могут иметь асимметричную (рис. 6, а) или симметричную (рис. 6, б) конфигурацию (в плане). В первом случае коллекторный ток протекает к эмиттеру только в одном направлении (на данном рисунке – справа). Во втором случае коллекторный ток протекает к эмиттеру с трех сторон. В связи с этим сопротивление коллекторного слоя оказывается

меньше (в 3 раза), чем у асимметричной конструкции. Во втором случае контактное окно и металлизация коллекторной области разбиты на две части.

Это облегчает выполнение металлической разводки, так как алюминиевая полоска, например от эмиттера, может проходить над коллектором по защитному окислу.

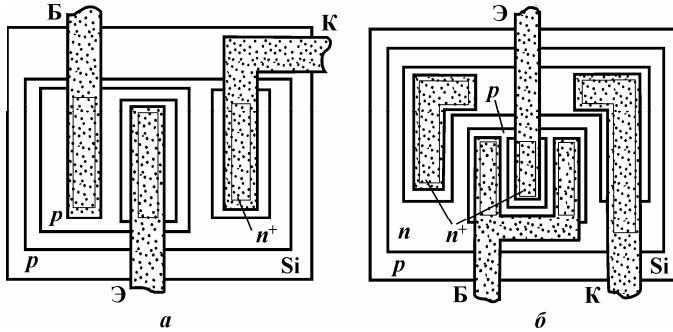


Рис. 6 – Конструкции биполярного транзистора

4.2. Многоэмиттерный и многоколлекторный транзисторы

В ТТЛ и И²Л - схемах часто используются многоэмиттерные (рис. 7, а) и многоколлекторные (рис. 7, б) транзисторы. Число эмиттеров и коллекторов может составлять 5...10 и более. Чтобы избежать горизонтального транзисторного эффекта, необходимо, чтобы расстояние между эмиттерами было больше диффузионной длины носителей в базовом слое. Для построения некоторых типов схем используют горизонтальные *p-n-p* транзисторы (рис. 8, а). Такой транзистор является бездрейфовым, так как в качестве базовой области используется однородный эпитаксиальный слой. Коллекторный слой охватывает эмиттер со всех сторон.

Основными недостатками такого транзистора являются большая ширина базы и её однородность. Эти недостатки отсутствуют в вертикальной структуре *p-n-p* транзистора (рис. 8, б).

4.3. Диоды

В качестве диодов в полупроводниковых микросхемах можно использовать любой из двух *p-n*-переходов (как эмиттерный, так и коллекторный). Основные параметры диодов при различных вариантах диодного включения *n-p-n*-транзистора приведены в табл. 1, где принято следующее обозначение: до черточки стоит обозначение анода, а после черточки – катода; если два слоя соединены, их обозначения пишутся слитно; U_{np} - напряжение пробоя.

Таблица 1 – Основные параметры диодов

Параметр	Тип диода				
	БК – Э	Б – Э	БЭ – К	Б – К	Б – ЭК
$U_{пр}, В$	7 – 8	7 – 8	40 – 50	40 – 50	7 – 8
$I_{обр}, нА$	0,5 – 1	0,5 – 1	15 – 30	15 – 30	20 – 40
$C_d, пФ$	0,5	0,5	0,7	0,7	1,2
$C_o, пФ$	3	1,2	3	3	3
$T_v, нс$	10	50	50	75	100

Примечание. $I_{обр}$ – обратный ток (без учета тока утечки); C_d – емкость диода; C_o – паразитная емкость на подложку; T_v – время восстановления обратного тока (время переключения диода из открытого состояния в закрытое).

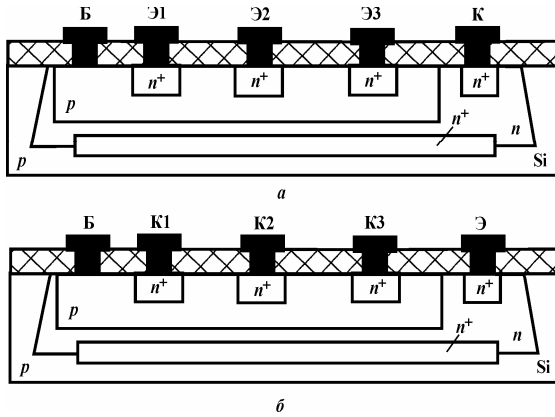


Рис. 7 – Транзисторы:

а) многоэмиттерный; б) многоколлекторный

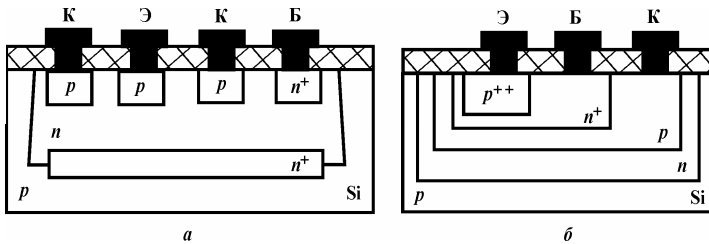


Рис. 8 – Транзисторы p-n-p:

а) горизонтальный; б) вертикальный

4.4. Полупроводниковые резисторы и конденсаторы

В полупроводниковых микросхемах широко распространены резисторы различных типов: объемные (рис. 9, а), эпитаксиальные (рис. 9, б), диффузионные (рис. 9, в, г), ионно-легированные пинч-резисторы и др. Объемные резисторы изготавливают путем создания омических контактов в двух точках кристалла. Точность их изготовления очень низкая. Более высокую точность обеспечивает эпитаксиальная структура.

В настоящее время чаще используют диффузионные резисторы. Их изготавливают методами селективной диффузии примесей в отдельные островки эпитаксиального слоя пластины. Эта операция проводится одновременно с диффузией, в результате которой создаются базовые или эмиттерные области транзисторов, входящих в данную интегральную микросхему. В процессе эмиттерной диффузии создаются резисторы с малым удельным сопротивлением (порядка 2,5 Ом/квadrat). В процессе базовой диффузии, для которой характерны меньшие концентрации вводимых примесей, создаются более высокоомные резисторы (100...300 Ом/квadrat).

В качестве конденсаторов полупроводниковых микросхем часто используют *p-n*-переходы, смещенные в обратном направлении (рис. 10, а). Емкость таких конденсаторов зависит от приложенного напряжения. У них один или оба слоя (обкладки) выполнены в процессе диффузии, поэтому их называют диффузионными. На рис. 10,б показана структура МОП-конденсатора. Нижней обкладкой служит эмиттерный *n*⁺-слой. Основные параметры полупроводниковых конденсаторов приведены в табл. 2.

Преимуществом МОП-конденсаторов является то, что они работают при любой полярности напряжения. Недостатком является то, что они, как и диффузионные, являются нелинейными.

Таблица 2 – Основные параметры конденсаторов.

Тип структуры	$C_{\text{макс}}$, пФ	Точность, %	$U_{\text{пр}}$, В	ТКЕ, % град
Переход Б – К	300	±20	50	- 0,1
Переход Б – Э	1200	±20	7	- 0,1
МОП	500	±25	20	0,02

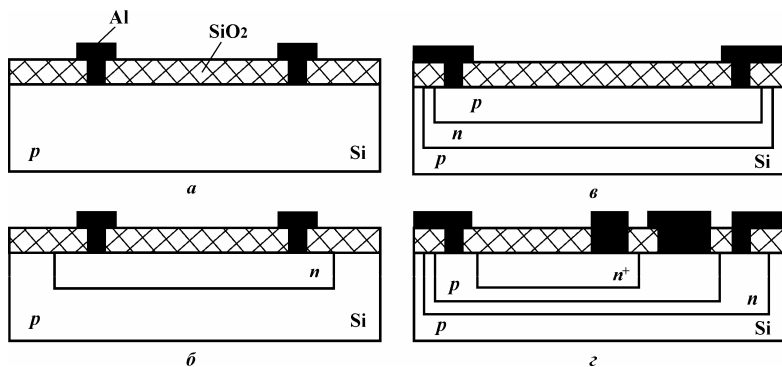


Рис. 9 – Конструкции полупроводниковых резисторов

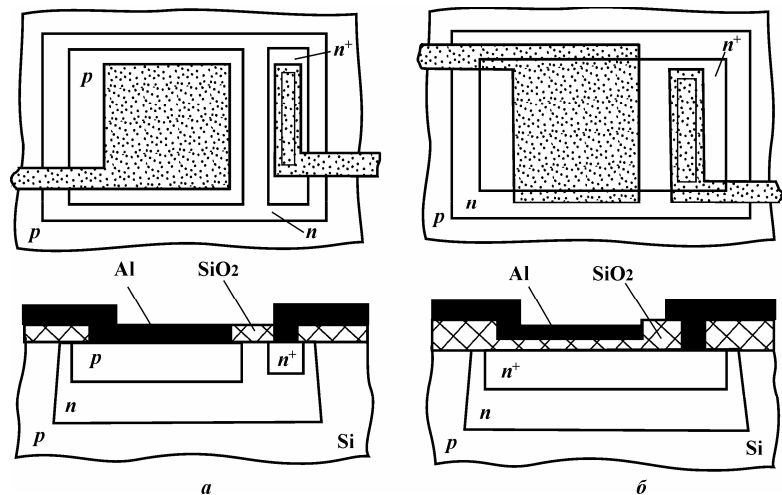


Рис. 10 – Полупроводниковые конденсаторы:
а) диффузионный; б) МОП

5. Описание лабораторной установки

Лабораторное оснащение: микроскопы МБС-9, МИИ-4, персональный компьютер, пакет прикладных программ и набор исследуемых биполярных микросхем.

6. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с заданием.
2. Получить у преподавателя полупроводниковую микросхему.
3. Изучить конструкцию микросхемы и элементов.
4. Определить границы разделительного слоя вокруг каждого элемента.
5. Определить метод изоляции элементов.
6. Зарисовать эскиз общего вида топологии.
7. Воспроизвести структуру биполярной микросхемы.
8. Замерить геометрические размеры кристалла и корпуса.
9. Определить плотность упаковки элементов и степень интеграции изучаемой микросхемы.
10. Воспроизвести схему технологического процесса изготовления данной микросхемы.
11. Ознакомиться с условиями эксплуатации и электрическими параметрами микросхемы.
12. Зарисовать эскиз корпуса полупроводниковой микросхемы.
13. Произвести расшифровку условного обозначения микросхемы и корпуса.
14. Изучить электрическую принципиальную схему.
15. Сделать вывод о целесообразности изготовления данной микросхемы по биполярной технологии.

7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема.
3. Эскиз общего вида топологии микросхемы.
4. Эскиз корпуса.
5. Структура биполярной микросхемы.
6. Расшифровка условного обозначения микросхемы и корпуса.
7. Расчет плотности упаковки и степени интеграции.
8. Электрические параметры и условия эксплуатации изученной микросхемы.
9. Схема технологического процесса изготовления микросхемы.
10. Выводы.

8. Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводниковая микросхема?
2. В чем заключается сущность планарной технологии?
3. Нарисуйте схему технологического процесса изготовления биполярной полупроводниковой микросхемы.
4. Какие методы изоляции элементов полупроводниковых микросхем вы знаете? Их преимущества и недостатки.
5. Нарисуйте схему получения изолированных островков методом обратномещенного *p-n*-перехода.
6. В чем заключается сущность изоляции диэлектрической пленкой? Опишите технологию изоляции.
7. Что такое биполярная микросхема? Её преимущества и недостатки.
8. Какие корпуса используются для герметизации полупроводниковых микросхем?
9. Нарисуйте структуру и вид в плане биполярного транзистора.
10. Какие типы резисторов используются в полупроводниковых микросхемах? Их преимущества и недостатки.
11. Нарисуйте основные типы полупроводниковых конденсаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степаненко, И.П.* Основы микроэлектроники [Текст]: учебн. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб и доп. / *И.П. Степаненко.* – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.
2. *Коледов, Л.А.* Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок [Текст]: учебник для вузов / *Л.А. Коледов.* - М.: Радио и связь, 1989. – 455 с.

Занятие 2

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УНИПОЛЯРНЫХ МИКРОСХЕМ

Цель работы – анализ и изучение конструкции полупроводниковой униполярной микросхемы, её элементов, топологии и структуры.

Задания:

1. Провести анализ конструкции униполярной интегральной микросхемы, её элементов.
2. Воспроизвести структуру кристалла, топологию и принципиальную схему.
3. Составить схему технологического процесса изготовления униполярной микросхемы, используя персональный компьютер и пакет прикладных программ VIS.EXE.
4. Определить степень интеграции микросхемы, плотность упаковки элементов; ознакомиться с электрическими параметрами и условиями эксплуатации изученной микросхемы.

1. Теоретические основы

1.1. Принцип работы униполярного транзистора

Основным элементом униполярной микросхемы является транзистор. Работа униполярного (полевого) транзистора основана на использовании носителей заряда одного знака: электронов или дырок. В отличие от биполярных транзисторов они управляются с помощью электрического поля (а не тока), перпендикулярного к поверхности полупроводника. Под действием электрического поля происходит изменение концентрации носителей заряда в приповерхностном слое полупроводника, а соответственно и проводимости. Область с повышенной концентрацией основных носителей называют обогащенной, а с пониженной – обедненной.

Полевой транзистор содержит области истока и стока, а также канал и затвор. Область, от которой движутся основные носители, называют истоком. Та область, к которой движутся носители, называют стоком. Каналом называют область пластины, расположенную между *p-n*-переходами, образованными областями истока и стока с объёмом пластины.

При изменении потенциала затвора меняется ширина *p-n*-переходов и, соответственно, рабочее сечение пластины, а значит её сопротивление и ток в рабочей цепи. При дальнейшем увеличении напряжения *p-n*-переходы настолько расширяются, что перекрывают всё сечение пластины. Это вызывает отсечку тока в рабочей цепи. Структура униполярной (полевой) микросхемы

показана на рис. 1. Так как кристалл n -типа подключается к наиболее отрицательной точке структуры, то p -области самоизолируются. Униполярные структуры конструктивно более просты, чем биполярные, в связи с чем они имеют более высокую степень интеграции.

В данной структуре использован полевой транзистор с изолированным затвором, который представляет собой структуру металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). В этом случае полярность напряжения на затворе может быть как положительной, так и отрицательной.

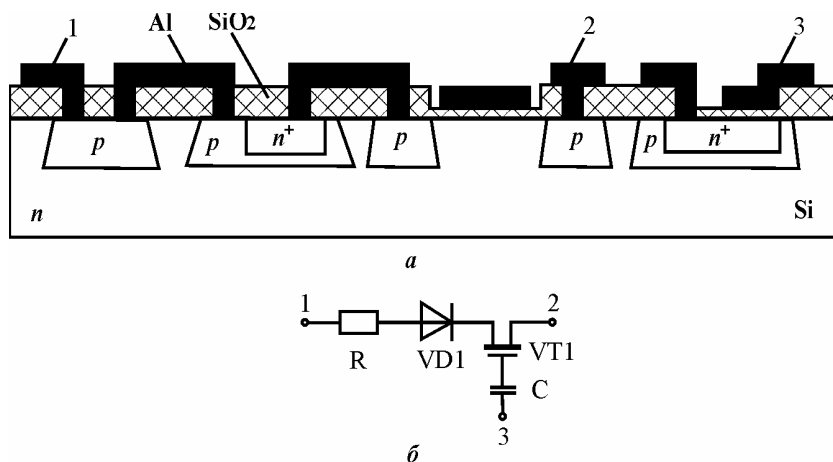


Рис. 1 – Униполярная интегральная микросхема:
а – поперечный разрез структуры; б – принципиальная схема

1.2. Технология получения

При изготовлении МДП-микросхем используются те же процессы, что и при изготовлении биполярных микросхем: окисление, фотолитография, диффузия, металлизация, травление и т.д. Схема технологического процесса изготовления МДП-микросхемы показана на рис. 2. Для создания МДП-микросхемы требуется меньшее число операций, чем для создания биполярной. В данном случае требуется всего одна операция диффузии. В биполярной технологии их четыре.



Рис. 2 – Схема технологического процесса получения униполярной микросхемы

Основной трудностью при изготовлении МДП-структур является необходимость получения достаточно качественной диэлектрической пленки, изолирующей затвор транзистора. Необходимо больше внимания уделять поверхностным эффектам.

На рис. 3 показаны полевые транзисторы с n -каналом и p -каналом. В структуре транзистора с n -каналом p -область затвора окружает сток со всех сторон. Она образуется на этапе базовой диффузии. На этапе эмиттерной диффузии создаются n -области, которые обеспечивают хороший омический контакт с областями истока и стока. С целью уменьшения напряжения отсечки (уменьшения начальной толщины канала) образуют скрытую p^+ -область. Для того чтобы скрытая p^+ -область проникла достаточно глубоко в эпитаксиальный слой, в качестве диффузанта используют бор или галлий, имеющие большое значение коэффициента диффузии.

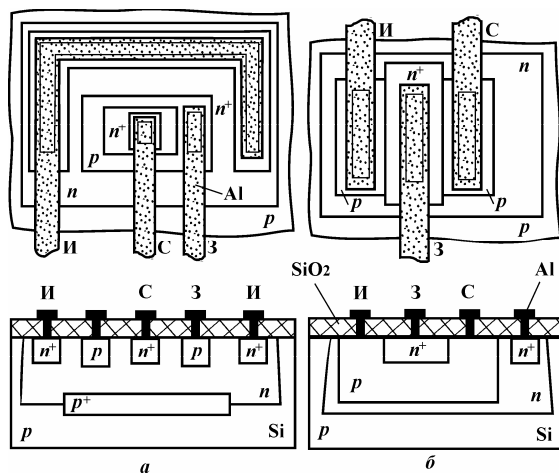


Рис. 3 – Полевые транзисторы: а – с n -каналом; б – с p -каналом

В p -канальной структуре роль канала играет область базового p -слоя, расположенная между n^+ - и n -областями. Область n^+ делают более широкой, чем p -область. В этом случае области истока и стока будут соединены только через канал; n^+ -область контактирует с эпитаксиальным слоем, а вместе они образуют «нижний» и «верхний» затворы.

1.3. Разновидности униполярных транзисторов

МДП-транзисторы могут быть с собственным (встроенным) и индуцированным каналами. Проводимость встроенного канала модулируется смещением на затворе. Если канал выполнен из полупроводника p -типа (p -канал), а пластина имеет проводимость n -типа, то положительный потенциал на затворе «отталкивает» дырки из канала (режим обеднения), а отрицательный «притягивает» (режим обогащения). Соответственно проводимость канала либо уменьшается, либо увеличивается по сравнению с её значением при нулевом смещении.

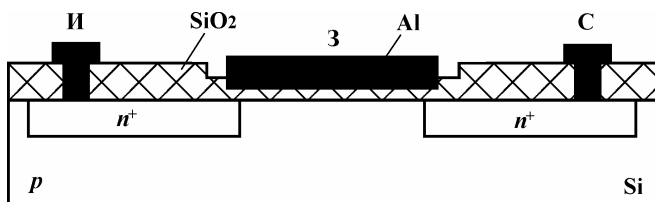


Рис. 4 – Структура МДП-транзистора

Структура с индуцированным каналом представлена на рис. 4. В настоящее время такие транзисторы имеют большое распространение из-за простоты их изготовления.

Иногда необходимо сочетать в одном кристалле МДП-транзисторы с биполярными. В этом случае n -канальные транзисторы выполняют непосредственно в исходной пластине p -типа на этапе эмиттерной диффузии. На этапе базовой диффузии в изолирующих карманах создают p -канальные транзисторы (рис. 5).

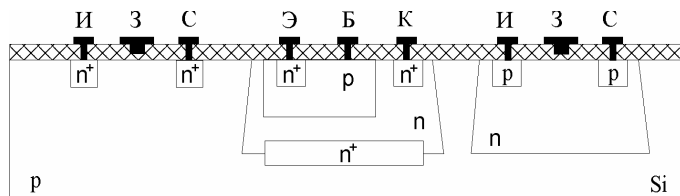


Рис. 5 – Сочетание биполярного и МДП-транзистора в одном кристалле

Для создания некоторых типов логических схем используют комплементарные структуры. В их состав входят транзисторы с индуцированными каналами *n*- и *p*-типов, сформированные в одном кристалле. Транзисторы работают в режиме обогащения. На рис. 6 приведена принципиальная схема и структура кристалла комплементарного инвертора. В стационарном состоянии один из транзисторов всегда закрыт, т.е. находится в режиме отсечки канала. Величина тока стока открытого МДП-транзистора определяется токами утечки одного из стокowych *p-n*-переходов. При нормальной температуре она составляет единицы наноампер. Это обеспечивает малую мощность рассеяния в статическом режиме (порядка 10^{-8} мВт на один инвертор). Такие структуры имеют высокое быстродействие и помехоустойчивость.

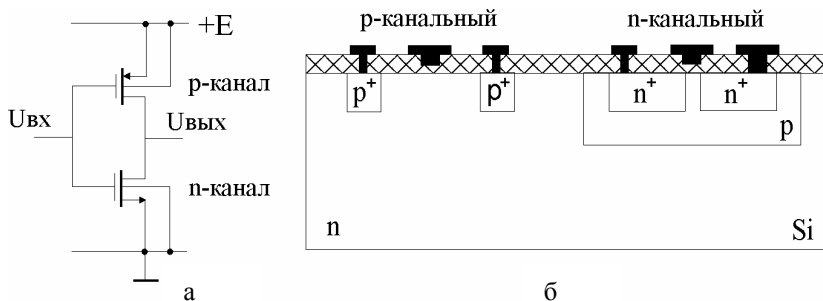


Рис. 6 – Комплементарная МДП-микросхема:
а – электрическая схема; б – структура

Технологический процесс создания комплементарных структур содержит операции окисления, фотолитографии, формирования диффузионного канала *p*-типа, формирования стокowej и истоковой областей *n*-канального транзистора, формирования стокowej и истоковой областей *p*-канального транзистора, металлизации.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторное оснащение: микроскопы МБС-2, МИИ-4, персональный компьютер, пакет прикладных программ и набор исследуемых униполярных микросхем.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с заданием.
2. Получить полупроводниковую микросхему.
3. Провести анализ конструктивного выполнения микросхемы и элементов.
4. Определить границы элементов и областей истока, стока и затвора.
5. Зарисовать эскиз топологии.
6. Определить геометрические размеры кристалла и корпуса.
7. Воспроизвести структуру кристалла и электрическую принципиальную схему.
8. Составить схему технологического процесса изготовления изучаемой микросхемы.
9. Зарисовать эскиз корпуса микросхемы, определить его тип и произвести расшифровку условного обозначения.
10. Определить степень интеграции данной микросхемы и плотность упаковки элементов.
11. По каталогу микросхем ознакомиться с электрическими параметрами и условиями эксплуатации изученной микросхемы.
12. Расшифровать условное обозначение микросхемы.
13. Провести сравнение униполярной и биполярной технологий.

4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Электрическая принципиальная схема.
4. Эскиз топологии микросхемы.
5. Структура кристалла (в разрезе).
6. Эскиз корпуса микросхемы и расшифровка условного обозначения типа корпуса.
7. Расчет плотности упаковки и определение степени интеграции.
8. Электрические параметры, условия эксплуатации, расшифровка условного обозначения микросхемы.

5. Контрольные вопросы

1. Чем отличается униполярная микросхема от биполярной?
2. Нарисуйте структуру полевого транзистора.
3. Нарисуйте структуру МДП-транзистора.

4. Чем отличается полевой транзистор от МДП - транзистора?
5. В чем заключается сущность технологии изготовления униполярных микросхем?
6. Каковы особенности изоляции элементов униполярной микросхемы?
7. Нарисуйте схему технологического процесса изготовления униполярной микросхемы.
8. В чем отличие *n* - канального транзистора от *p*-канального?
9. Нарисуйте структуру комплементарной микросхемы.
- 10.Преимущества и недостатки униполярных микросхем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степаненко, И.П.* Основы микроэлектроники [Текст]: учебн. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб и доп. / *И.П. Степаненко.* – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.
2. *Пикуль, М.И.* Конструирование и технология производства ЭВМ [Текст]: учебник / *М. И. Пикуль, И. М. Русак, Н. А. Цырельчук.* – Мн.: Выш. шк., 1996. – 263 с.
3. *Коледов, Л.А.* Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок [Текст]: учебник для вузов / *Л.А. Коледов.* – М.: Радио и связь, 1989. – 455 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Занятие 1

1. Теоретические основы. Общие сведения о полупроводниковых микросхемах.....	3
2. Технология изготовления биполярных полупроводниковых микросхем.....	4
3. Методы изоляции элементов.....	6
4. Элементы биполярных микросхем.....	9
4.1. Типы биполярных транзисторов.....	9
4.2. Многоэмиттерный и многоколлекторный транзисторы.....	10
4.3. Диоды.....	10
4.4. Полупроводниковые резисторы и конденсаторы.....	12
5. Описание лабораторной установки.....	13
6. Порядок выполнения работы.....	14
7. Содержание отчета.....	14
8. Контрольные вопросы.....	15
Список литературы.....	15

Занятие 2

1. Теоретические основы.....	16
1.1. Принцип работы униполярного транзистора.....	16
1.2. Технология получения.....	17
1.3. Разновидности униполярных транзисторов.....	19
2. Описание лабораторной установки.....	20
3. Порядок выполнения работы.....	21
4. Содержание отчета.....	21
5. Контрольные вопросы.....	21
Список литературы.....	22

Учебное издание

Составители:
Михаил Николаевич Пиганов,
Алексей Васильевич Волков,
Анатолий Игнатьевич Меркулов

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

Методические указания

Редактор И.И. Спиридонова
Компьютерная довёрстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 21.06.2010 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С. – М17/2010

Самарский государственный аэрокосмический университет
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.