**1. Опишите микроэлектронику и ее преимущества**

Микроэлектроника-современное направление электроники, включающее изучение, сборку и производство интегральных схем (ИС) и радиоэлектронной аппаратуры на их основе. Основная задача микроэлектроники-создание микро-миниатюрной аппаратуры с высокой надежностью и воспроизводимостью, низким энергопотреблением и высокой функциональной сложностью.

Одним из важнейших технологических методов микроэлектроники является интегральная технология, которая позволяет создавать на одной пластине группу элементов, которые схематически связаны друг с другом. С помощью интегральной технологии можно создавать схемы на высокопроизводительных автоматизированных установках, производя значительное количество функциональных узлов, идентичных по параметрам.

Основными преимуществами интегральных схем по сравнению с аналогичными схемами на дискретных компонентах являются небольшие размеры, низкая масса и повышенная механическая прочность. При их производстве требуются небольшие затраты при использовании высокопроизводительного автоматизированного оборудования, благодаря значительному сокращению ручного труда и соблюдению параметров комплектующих можно получить лучшие характеристики схем. Повышение надежности за счет уменьшения количества сварных соединений, автоматизации технологических операций и снижения вероятности выхода из строя отдельных элементов, выполненных в едином технологическом цикле.

Уменьшение топологических размеров элементов приводит к улучшению электрических параметров микросхем. Основным ограничивающим фактором в этом случае, как и в обычных схемах на дискретных элементах, являются последовательные соединения внутри, в которых задержка сигнала не позволяет в полной мере использовать достигнутую высокую скорость элементов (т. е. мы достигаем более высокую скорость, если задержка сигнала между внутренними цепями устранена).

**2. Опишите методы интегрирования и плотность интегральной схемы**

Интегральная схема (Чип/ микросхема) - это микроэлектронный продукт с высокой плотностью электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов), который выполняет определенную функцию преобразования, обработки сигналов, сбора информации и рассматривается как единое целое с точки зрения требований тестирования, приема, доставки и использования.

Критерием сложности ИС, т. е. N числа элементов и элементарных компонентов в ней, является степень интегрирования, определяемая коэффициентом k=lgN, значение которого округляется до ближайшего целого числа. Например, is первой степени интеграции (k = 1) содержит 10 элементов и простых компонентов, вторая степень интеграции (k = 2) - от 10 до 100, третья степень интеграции (k = 3) - от 1000 до 10000 и т. д. Интегральная схема, содержащая 500 или более элементов, изготовленных по биполярной технологии, или 1000 или более элементов, изготовленных по технологии МДП, называется большой интегральной схемой (бис - большая интегральная схема). Если число n превышает 10 000, то ИС называют очень большим (СБИС - сверхбольшой). СБИС заменяют сверхбольшие интегральные схемы (УБИС - сверхбольшие интегральные схемы), которые содержат от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов элементов в одном кристалле.

*Различают технологические (ТСИ – Технологическая степень интеграции) и функциональные (ФСИ – Функциональная степень интеграции) степени интеграции. ТСИ-указывает количество компонентов в кристалле; ФСИ-указывает количество функциональных ячеек в кристалле.*

Важным показателем качества технологии и конструкции ИС является плотность упаковки элементов в кристалле. Плотность - это количество элементов на единицу площади. Помимо уменьшения размера элементов, для увеличения плотности элементов в кристалле используется сочетание нескольких (обычно двух) функций в некоторых областях полупроводникового кристалла, а также трехмерных структур, разделенных диэлектрическими слоями.

Основными тенденциями развития полупроводниковых микросхем являются повышение интеграции и производительности.

Уменьшение топологических размеров элементов приводит к улучшению электрических параметров микросхем. Основным ограничивающим фактором в этом случае, как и в обычных схемах на дискретных элементах, являются последовательные соединения внутри, в которых задержка сигнала не позволяет в полной мере использовать достигнутую высокую скорость элементов (т. е. мы достигаем более высокую скорость, если задержка сигнала между внутренними цепями устранена).

**3.Подробно опишите критерий сложности интегральных схем и степень интеграции**

Интегральная схема (Чип/ микросхема) - это микроэлектронный продукт с высокой плотностью электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов), который выполняет определенную функцию преобразования, обработки сигналов, сбора информации и рассматривается как единое целое с точки зрения требований тестирования, приема, доставки и использования.

Критерием сложности ИС, т. е. N числа элементов и элементарных компонентов в ней, является степень интегрирования, определяемая коэффициентом k=lgN, значение которого округляется до ближайшего целого числа. Таким образом, ИС первой степени интеграции (k = 1) содержит 10 элементов и простых компонентов, вторая степень интеграции (k = 2) - от 10 до 100, третья степень интеграции (k = 3) - от 1000 до 10000 и т. д. Интегральная схема, содержащая 500 или более элементов, изготовленных по биполярной технологии, или 1000 или более элементов, изготовленных по технологии МДП, называется большой интегральной схемой (бис - большая интегральная схема). Если число n превышает 10 000, то ИС называют очень большим (СБИС - сверхбольшой). СБИС заменяют ультрабольшие интегральные схемы (УБИС - сверхбольшие интегральные схемы), которые содержат от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов элементов в одном кристалле.

*Различают технологические (ТСИ – Технологическая степень интеграции) и функциональные (ФСИ – Функциональная степень интеграции) степени интеграции. ТСИ-указывает количество компонентов в кристалле; ФСИ-указывает количество функциональных ячеек в кристалле.*

1. **Опишите серию интегральных микросхем**

**Серия интегральных микросхем** - это совокупность типов ИМС, выполняющих различные функции, имеющих единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначенных для совместного применения. Интегральные схемы одной серии согласованы по напряжению питания, входным и выходным сопротивлениям, уровням сигналов и условиям эксплуатации. ИС обычно являются законченным электронным узлом определенного функционального назначения, соответствующие активные и пассивные элементы и компоненты которого выполнены групповым методом с использованием определенных технологических приемов.

Тип микросхемы указывает на конкретное функциональное назначение и определение конструктивно - технологического и схемотехнического решения. Каждый тип микросхемы имеет свое условное обозначение.

В зависимости от значения степени интеграции различают следующие группы ИМС:

- первой степени интеграции с числом элементов до 10;

- второй - от 10 до 100;

- третьей - от 100 до 1000;

- четвертой - от 1000 до 10000 и т.д.

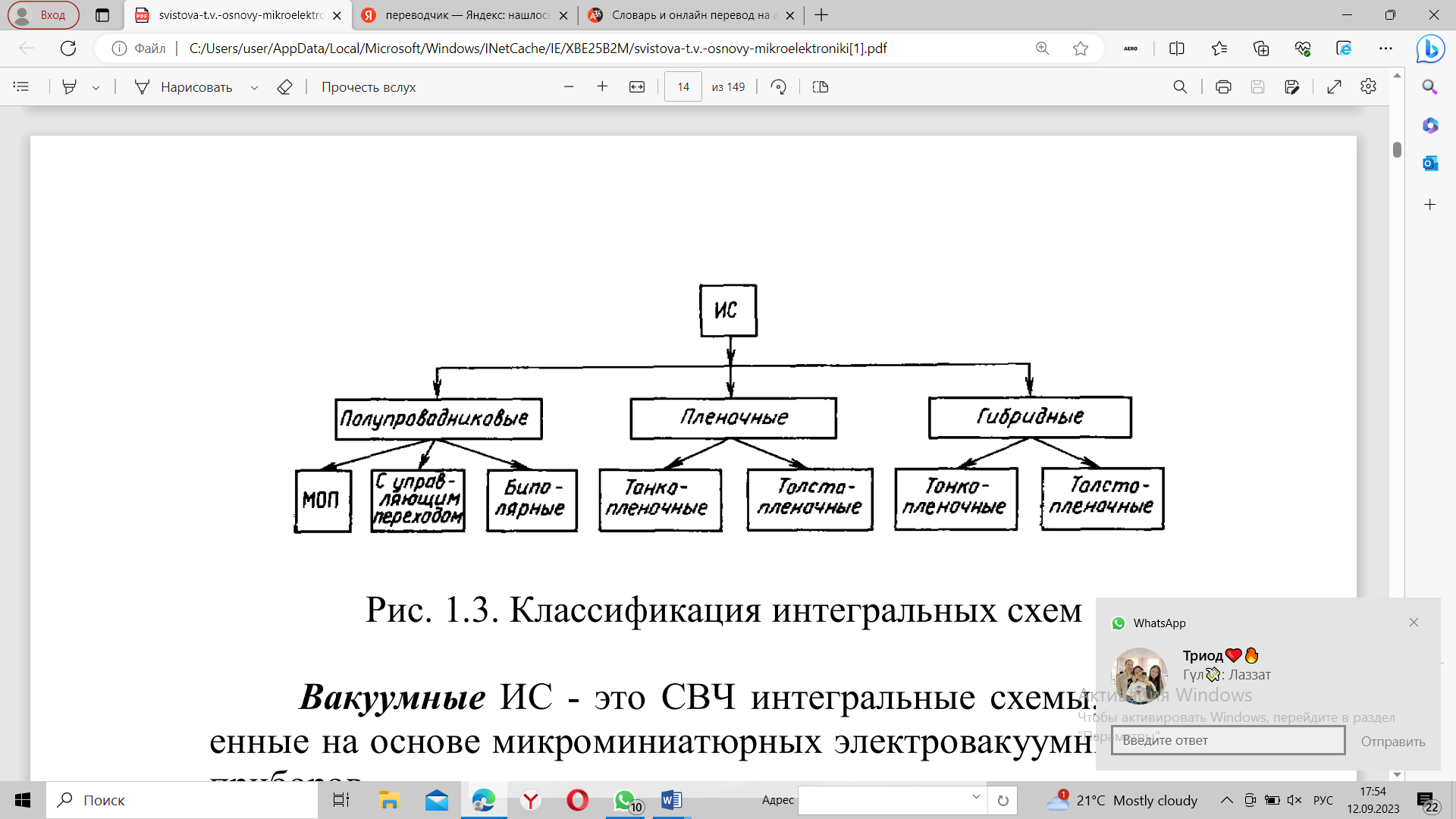
Следует отметить, что микросхемы с числом элементов до 105 принято называть большими (БИС); до 106 - сверхбольшими (СБИС); более 106 - ультрабольшими (УБИС).

В зависимости от количества элементов на одном кристалле площадью микросхемы делятся на простые интегральные схемы (МИС), средней интеграции элементов (СИС), большие интегральные схемы (БИС) и сверхбольшие ИС (СБИС): МИС - число элементов до 100, СИС - до 1000, БИС - до 10 000, и СБИС - до 1 миллиона элементов в кристалле, ультрабольшая интегральная схема (УБИС) - до 1 миллиарда элементов в кристалле, гигабольшая интегральная схема (ГБИС) - более 1 миллиарда элементов в кристалле.

В настоящее время название УБИС и ГБИС практически не используется (например, последние версии процессоров Itanium, 9300 Tukwila, содержат два миллиарда транзисторов), и все схемы с числом элементов, превышающим 10 000, относят к классу СБИС, считая УБИС его подклассом.

1. **Нарисуйте классификацию интегральных схем**

Все многообразие выпускаемых интегральных схем согласно принятой системе условных обозначений по конструктивно - технологическому исполнению делится на три группы: **полупроводниковые, гибридные и прочие**, к последней группе относят пленочные, вакуумные и керамические ИС.



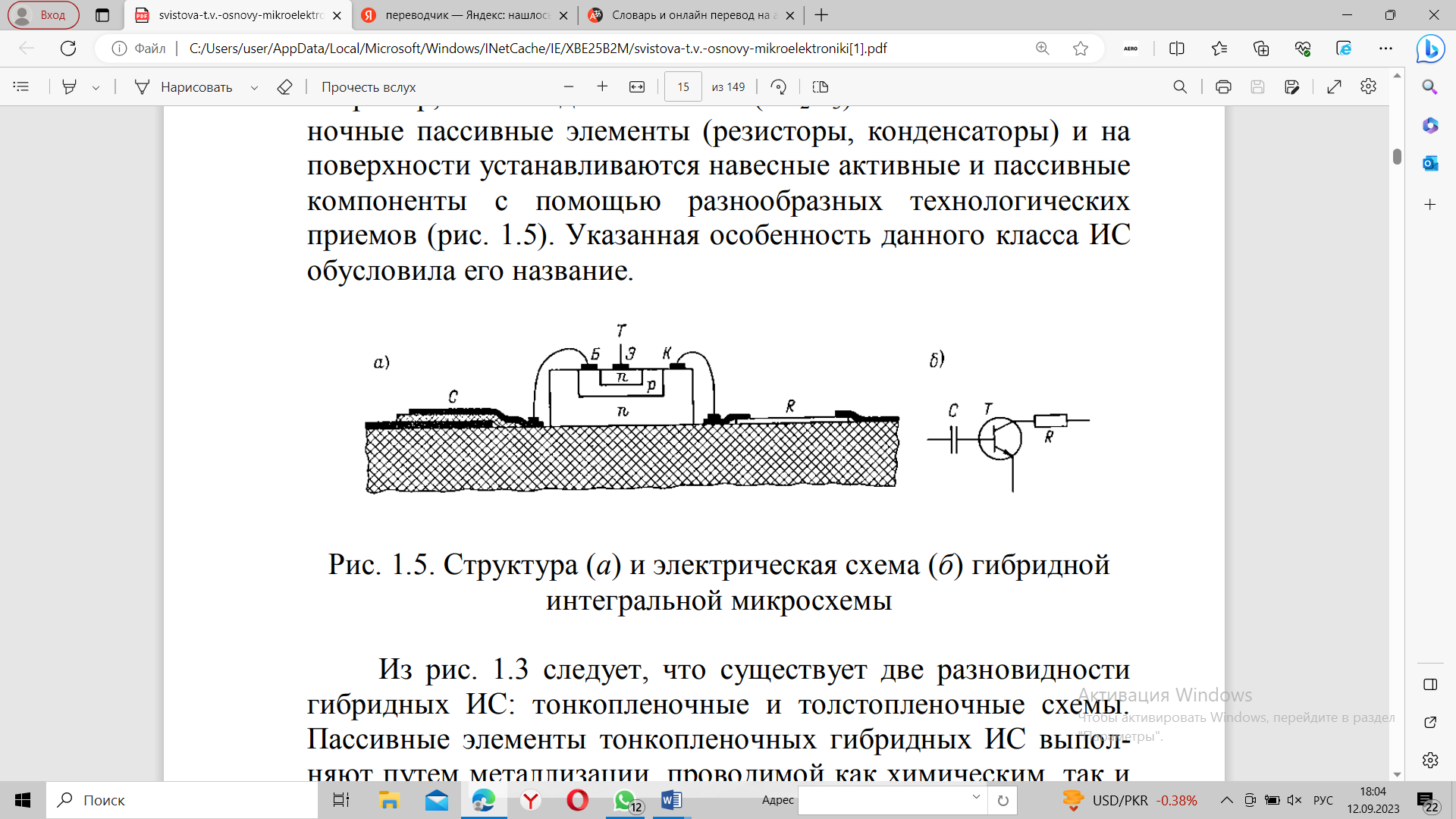
Классификация интегральных схем

***Вакуумные*** ИС - это СВЧ интегральные схемы, построенные на основе микроминиатюрных электровакуумных СВЧ-приборов.

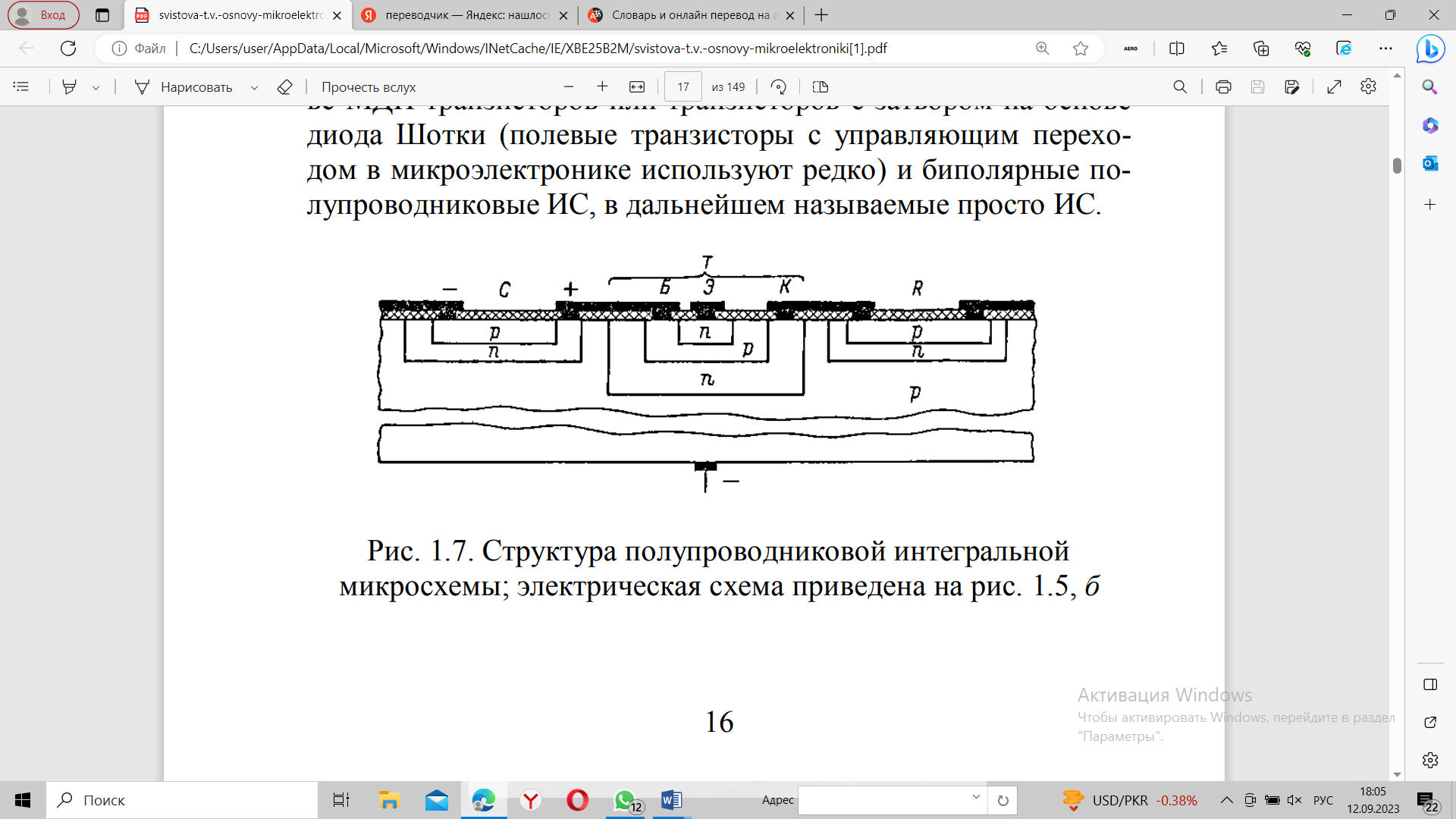
***В пленочных*** ИС все элементы представляют собой пленки, нанесенные на диэлектрическое основание (пассивную подложку). В этих изделиях отдельные элементы и межэлементные соединения выполняются на поверхности диэлектрика, в качестве которого обычно берут керамику. Используется технология нанесения пленок из соответствующих материалов.

В зависимости от вида наносимой пленки принято различать тонкопленочные и толстопленочные ИС. В первом случае толщина пленок не превышает 1 мкм. Пленки наносят путем вакуумного испарения, химического осаждения, катодного распыления и т. Д

***В гибридных*** ИС (ГИС) на диэлектрической подложке, например, из оксида алюминия (А12О3) изготовляются пленочные пассивные элементы (резисторы, конденсаторы) и на поверхности устанавливаются навесные активные и пассивные компоненты с помощью разнообразных технологических приемов. Указанная особенность данного класса ИС обусловила его название.



***В полупроводниковых*** ИС все элементы и межэлементные соединения изготовлены в объеме и на поверхности полупроводника (рис. 1.7). В полупроводниковых монолитных ИС все элементы схемы (диоды, транзисторы, резисторы и т.д.) выполнены на основе одного кристалла полупроводникового материала, так называемой активной подложки (обычно монокристалл кремния). В зависимости от вида используемых активных элементов различают полупроводниковые ИС на основе МДП-транзисторов или транзисторов с затвором на основе диода Шотки (полевые транзисторы с управляющим переходом в микроэлектронике используют редко) и биполярные полупроводниковые ИС, в дальнейшем называемые просто ИС.



1. **Опишите характеристику и функциональные назначения интегральных схем**

Характеристики ИС в области высоких частот ухудшаются из-за наличия паразитных емкостей. Пассивные элементы имеют большие значения температурных коэффициентов. Сопротивления резисторов лежат в пределах 10 - 50 кОм, емкости конденсаторов менее 200 пФ. В интегральном исполнении крайне трудно создавать катушки индуктивности. Готовая микросхема должна быть изолирована от окружающей среды. По способу герметизации для защиты от внешних воздействий различают следующие группы ИМС:

***- корпусные*** ИМС, помещенные в специальный корпус, позволяющий производить их монтаж с помощью пайки или специальных контактных разъемов;

***- бескорпусные*** ИМС - покрытые специальным эпоксидным компаундом и предназначенные для непосредственного монтажа на печатную плату, которая играет роль корпуса ИМС.

По функциональному назначению (виду обрабатываемого сигнала) ИС подразделяются на аналоговые и цифровые.

**Цифровые микросхемы** предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции, принимающей два значения - «0» или «1» (логические элементы, триггеры, запоминающие устройства, микропроцессоры, и т.д.), т.е. цифровые ИС предназначены для преобразования и обработки сигналов, представленных в дискретном виде.

**Аналоговые микросхемы** обрабатывают сигналы, описываемые непрерывными функциями (операционные усилители, дифференциальные усилительные каскады, каскады формирователей тока, выходные каскады, устройства интегрирования аналоговых сигналов и др.). Самая распространенная аналоговая ИС - так называемый операционный усилитель, а также ИС диапазона сверхвысоких частот.

**7.Опишите обозначение ИМС**

Для разработки и создания сложной электронной аппаратуры на базе ИМС, требуется определенный набор ИМС различного назначения, совместимых между собой по электронным параметрам. Электронная промышленность выпускает серии интегральных микросхем, т.е. совокупность микросхем, выполняющих различные функции, но имеющих одинаковое конструктивно-технологическое исполнение и предназначенных для совместного применения в радиоэлектронной аппаратуре. В состав серии могут входить десятки различных типов микросхем в зависимости от области применения и назначения.

По принятой системе (ГОСТ 17467-88) обозначение ИС должно состоять из четырех элементов.

Первый элемент - цифра, соответствующая конструктивно-технологической группе: 1, 5, 7 -полупроводниковые ИС (обозначение 7 присвоено бескорпусным полупроводниковым ИС); 2, 4, 6, 8 - гибридные ИС; 3 - ИС прочие (пленочные, вакуумные и керамические и т.д.).

Второй элемент - 2 - 4 цифры, обозначающие порядковый номер разработки серии микросхем.

Третий элемент - две буквы, обозначающие функциональное назначение микросхемы.

Четвертый элемент - порядковый номер разработки микросхем по функциональному признаку в данной серии. Он может состоять как из одной цифры, так и из нескольких цифр.

**8.Опишите микросхемы по функциональным назначениям**

В соответствии с ГОСТ микросхемы по функциональному назначению обозначаются следующим образом:

1. Генераторы - Г: гармонических сигналов - ГС; прямоугольных сигналов (мультивибраторы) - ГГ; линейноизменяющихся сигналов - ГЛ; сигналов специальной формы - ГФ; шума - ГМ; прочие - ГП.

2. Детекторы - Д: амплитудные - ДА; импульсные - ДИ; частотные - ДС; фазовые - ДФ; прочие - ДП.

3. Коммутаторы и ключи - К: тока - КТ; напряжения - КН; прочие - КП.

4. Логические элементы: элемент И-НЕ - ЛА; элемент ИЛИ-НЕ - ЛЕ; элемент И - ЛИ; элемент ИЛИ - ЛЛ; элемент НЕ - ЛН; элемент И-ИЛИ - ЛС; элемент И-НЕ / ИЛИ-НЕ - ЛБ; элемент И-ИЛИ-НЕ - ЛР; элемент И-ИЛИ-НЕ/И-НЕ - ЛК; элемент ИЛИ-НЕ/ИЛИ - ЛМ; расширители - ЛД; прочие ЛП.

5. Модуляторы - М: амплитудные - МА; частотные - МС; фазовые - МФ; импульсные - МИ; прочие - МП.

6. Преобразователи - П: частоты - ПС; фазы - ПФ; длительности - ПД; напряжения - ПН; мощности - ПМ; уровня (согласователи) - ПУ; код-аналог - ПА; аналог-код - ПВ; кодкод - ПР; прочие - ПП.

7. Вторичные источники питания - Е: выпрямители - ЕВ; преобразователи - ЕМ; стабилизаторы напряжения -ЕН; стабилизаторы тока - ЕТ; прочие - ЕП.

8. Схемы задержки - Б: пассивные -БМ; активные - БР; прочие - БП.

9. Схемы селекции и сравнения - С: амплитудные (уровня сигнала) - СА; временные - СВ; частотные - СС; фазовые - СВ; прочие -СП.

10. Триггеры - Т: JK-типа - ТВ; RS-типа (с раздельным запуском) -ТР; D-типа - ТМ; T-типа - ТТ; динамические - ТД; Шмитта - ТЛ; комбинированные - ТК; прочие - ТП.

11. Усилители - У: высокой частоты - УВ; промежуточной частоты - УР; низкой частоты - УН; импульсных сигналов - УИ; повторители - УЕ; считывания и воспроизведения - УЛ; индикации - УМ; постоянного тока - УТ; операционные и дифференциальные - УД; прочие - УП.

12. Фильтры - Ф: верхних частот - ФВ; нижних частот - ФН; полосовые ФЕ; режекторные - ФР; прочие - ФП.

13 Формирователи - А: импульсов прямоугольной формы - АГ; адресных токов (формирователи напряжений и токов) - АА; импульсов специальной формы - АФ; разрядных токов (формирователи напряжений и токов) - АР; прочие - АП.

14. Элементы запоминающих устройств - матрицы накопители: ОЗУ (оперативные запоминающие устройства) - РМ; ПЗУ (постоянные запоминающие устройства) - РВ; ОЗУ со схемами управления - РУ; ПЗУ (масочные) со схемами управления - РЕ; ПЗУ со схемами управления и с однократным программированием - РТ; ПЗУ со схемами управления и с многократным программированием - РР; АЗУ со схемами управления - РА; прочие - РП.

15. Элементы арифметических и дискретных устройств: регистры - ИР; сумматоры - ИМ; полусумматоры - ИЛ; счетчики - ИЕ; шифраторы - ИВ; дешифраторы - ИД; комбинированные - ИК; прочие - ИП.

16. Многофункциональные микросхемы - Х: аналоговые - ХА; цифровые - ХЛ; комбинированные - ХК; прочие ХП.

17. Микросборки, наборы элементов - Н: диодов - НД; транзисторов - НТ; резисторов - НР; конденсаторов - НЕ; комбинированные - НК; прочие - НП.

Например, 134ЛБ1 - полупроводниковые ИС серии 34, логический элемент И-НЕ / ИЛИ-НЕ.

Для обозначения ИС широкого применения перед номером ставятся буква «К». Например, К140УД1 - полупроводниковые ИС серии 40 широкого применения, усилитель дифференциальный.

Если после буквы «К» перед номером серии указывается еще буква «Р» или «М», то это означает, что данная серия вся выпускается в пластмассовом (буква «Р») или керамическом (буква «М») корпусах. Например, КМ155ЛА1 - полупроводниковые ИС серии 55 широкого применения в керамическом корпусе, логический элемент И-НЕ.

**9.Опишите отличие отечественных систем от микросхем**

Для разработки и создания сложной электронной аппаратуры на базе ИМС, требуется определенный набор ИМС различного назначения, совместимых между собой по электронным параметрам. Электронная промышленность выпускает серии интегральных микросхем, т.е. совокупность микросхем, выполняющих различные функции, но имеющих одинаковое конструктивно-технологическое исполнение и предназначенных для совместного применения в радиоэлектронной аппаратуре. В состав серии могут входить десятки различных типов микросхем в зависимости от области применения и назначения.

Отечественная система обозначений микросхем отличается от рассмотренной довольно существенно . Основные элементы обозначения следующие: Буква К обозначает микросхемы широкого применения, для микросхем военного назначения буква отсутствует. Тип корпуса микросхемы (один символ) - может отсутствовать. Например, Р - пластмассовый корпус, М - керамический, Б - бескорпусная микросхема.

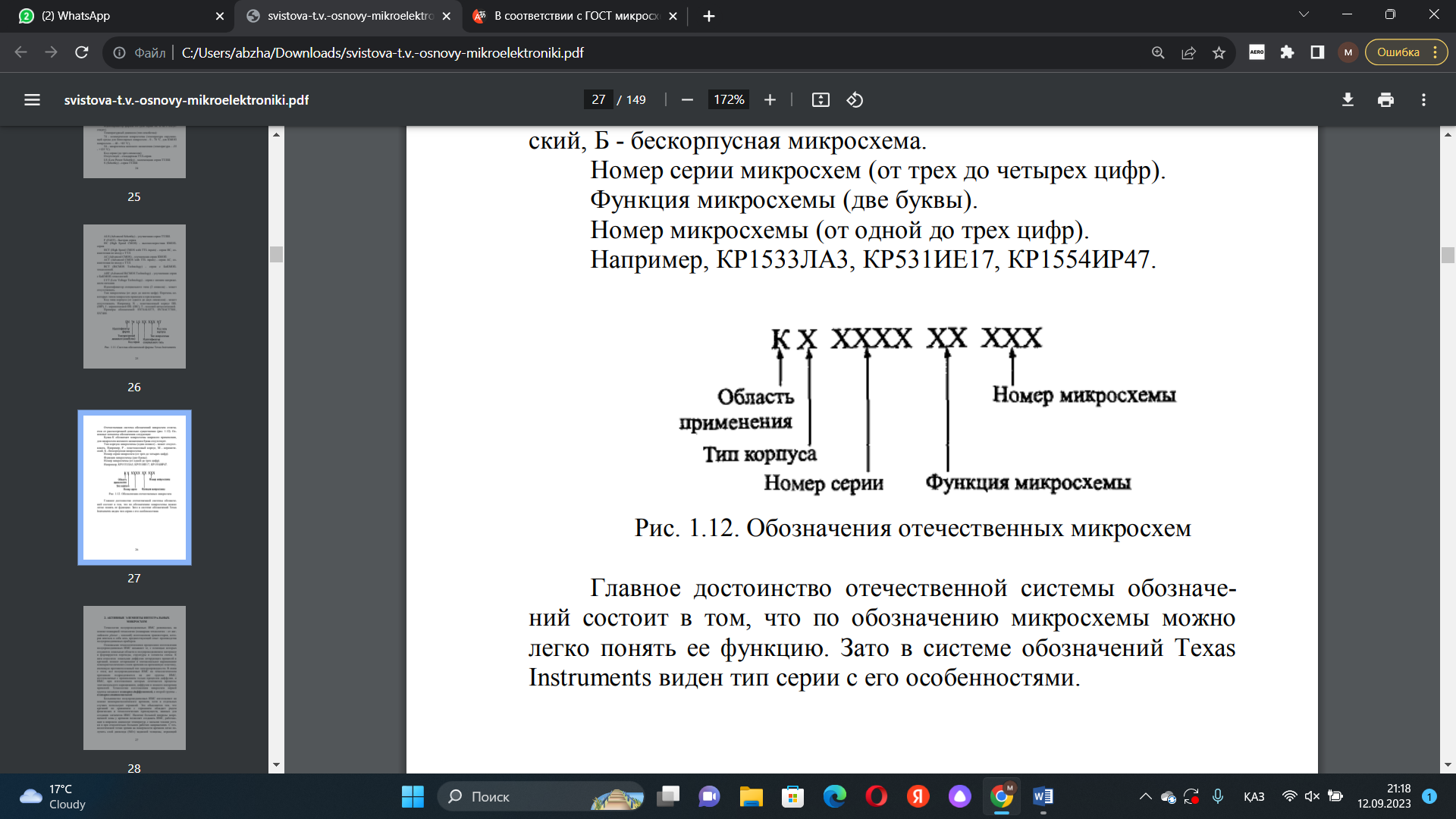
Номер серии микросхем (от трех до четырех цифр).

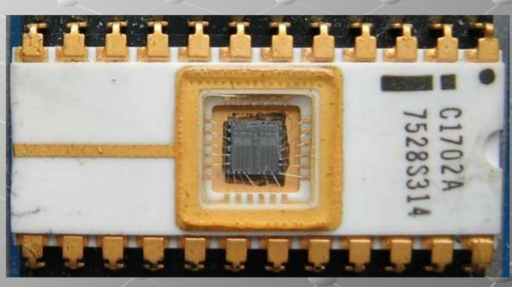
Функция микросхемы (две буквы).

Номер микросхемы (от одной до трех цифр).

Например, КР1533ЛА3, КР531ИЕ17, КР1554ИР47.

Главное достоинство отечественной системы обозначений состоит в том, что по обозначению микросхемы можно легко понять ее функцию.





**10. Опишите интегральные схемы в полупроводниковых процессорах**

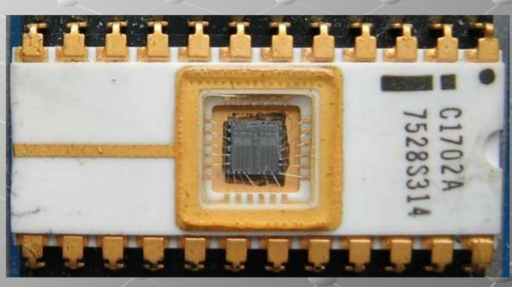
Основными технологическими процессами производства полупроводниковых интегральных схем являются создание локальных областей в полупроводниковом материале, формирование структур и элементов схемы. К ним относятся: локальная диффузия легированного кремния, ионное легирование и эпитаксиальный рост монокристаллических слоев кремния на кремниевой пластине, имеющих противоположный тип электропроводности. Подобные изделия встречаются в радиотехнике, электронике, микроэлектронике и редко в электротехнике. Как уже говорилось выше, микросхема выполняет определенную функцию или набор функций. А в упрощенном понимании можно выделить следующие цели применения: Преобразование входного сигнала.

**11. Опишите виды полупроводниковых интегральных микросхем.**

Все полупроводниковые интегральные микросхемы по технологическим признакам подразделяются на две группы: Интегральные микросхемы, изготовляемые с применением только процессов диффузии, и Интегральные микросхемы, при изготовлении которых сочетаются процессы эпитаксиального наращивания, диффузии и ионного внедрения примесей. Технологию изготовления микросхем первой группы называют планарно-диффузионной, а второй группы - планарно эпитаксиальной. При планарно-диффузионной технологии исходную пластину монокристалла, в которой формирует p-n переход, покрывают тонким защитным слоем диэлектрика. После этого способом фотолитографии изготавляют первую оксидную маску, для чего в защитном слое делают отверстия требуемой конфигурации по числу необходимых p-n переходов.

**12. Опишите из чего изготавливают полупроводниковые интегральные микросхемы.**

Большинство полупроводниковых интегральных микросхем изготовляют на основе монокристаллического кремния, хотя в отдельных случаях используют германий. Это объясняется тем, что кремний по сравнению с германием обладает рядом физических и технологических преимуществ, важных для создания элементов интегральных микросхем. Наличие большой ширины запрещенной зоны у кремния позволяет создавать интегральные микросхемы, работающие в широком диапазоне температур, с малыми токами утечки и при относительно больших рабочих напряжениях. Обычно каждому полупроводниковому элементу схемы соответствует локальная область полупроводникового материала, свойства и характеристики которой обеспечивают выполнение функций дискретных элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов и др.). Каждая локальная область, выполняющая функции конкретного элемента, требует изоляции от других элементов.



**13. Опишите двухзатворный МДП-транзистор.**

Запоминающими элементами СБИС ЭСППЗУ большой информационной емкости и высокого быстродействия являются п-канальные МДП-транзисторы с плавающим и управляющим затворами, изготовляемые на основе совмещенной технологии с применением пленок поликремния для обоих затворов.

На рис. 2.31 показан вариант структуры такого запоминающего МЛП-элемента СБИС.

Основной отличительной особенностью транзисторов данного типа является возможность процесса стирания информации (удаление накопленного заряда с плавающего за-твора) с помощью электрического импульса. Приборы посто-янной памяти с электрическим стиранием информации позволяют осуществить перезапись не всей, а только части инфор-мации, при этом не требуется ее демонтаж из электронной системы.

Управление запоминающим элементом осуществляется за счет емкостной связи управляющий затвор-плавающий затвор и плавающий затвор-подложка. Для достижения макси-мальной емкостной связи толщина межзатворного диэлектрика должна быть соизмерима с толщиной подзатворного диэлек-трика.

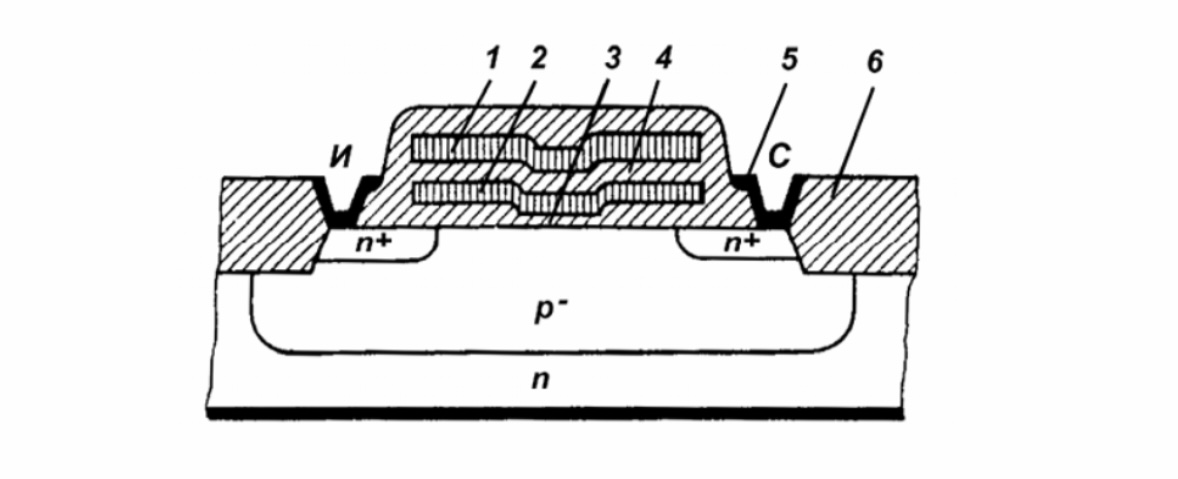


Рис. 2.31. Двухзатворный МДП-транзистор электрически стираемых ППЗУ: 1 - управляющий затвор, 2 - плавающий за-твор, 3 - тонкий туннельный диэлектрик, 4 - межзатворный ди-электрик, 5 - алюминиевая металлизация,

6 - межэлементная изоляция

Различные состояния транзистора определяются зарядом на плавающем затворе. Зарядка плавающего затвора может осуществляется двумя способами:

- инжекцией «горячих» электронов через слой подза-

творного диэлектрика;

- туннелированием носителей через более тонкий слой

подзатворного диэлектрика.

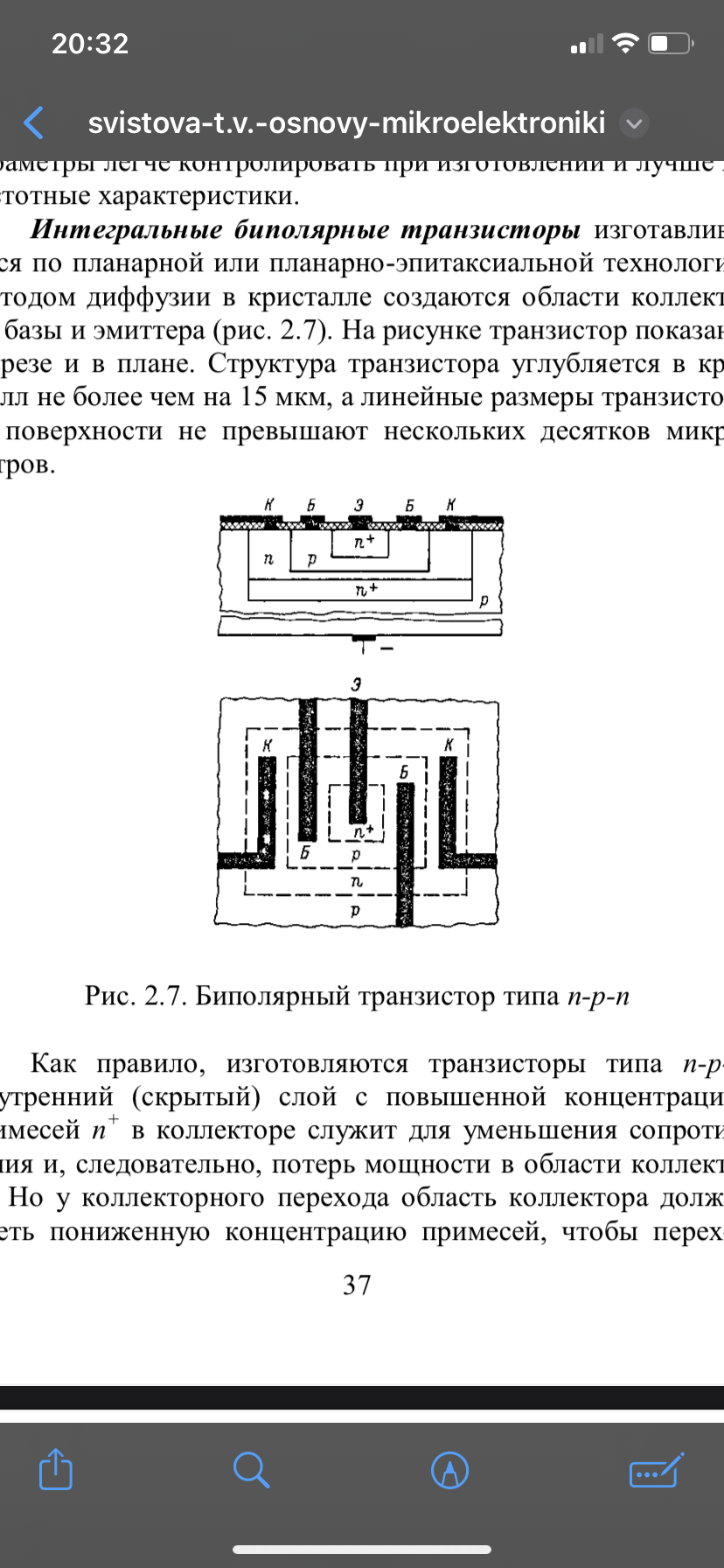
В первом случае в режиме зарядки плавающего затвора на сток и затвор одновременно подается большое положитель-ное напряжение, достаточное, чтобы вызвать ударную ионизацию в канале транзистора. Число горячих электронов будет определяться током в канале МДП-транзистора. Инжекция горячих электронов в плавающий затвор осуществляется под действием тянущего поля со стороны управляющего затвора.

Во втором случае на плавающем и управляющем затворах в ИМС с туннельным переносом носителей имеются ступеньки в областях перехода к более тонкому туннельному ди-электрику (рис. 2.31). При подаче на верхний затвор напряжения положительной полярности при нулевом напряжении на остальных электродах на плавающий затвор через емкостную связь передается положительное напряжение. Электроны при этом проходят через туннельный диэлектрик и заряжают пла-вающий затвор. И, наоборот, при подаче к областям стока, истока и подложки положительного напряжения при нулевом напряжении на управляющем затворе происходит разрядка плавающего затвора. Следует отметить, что осуществление избирательного стирания информации в данной структуре за-труднительно.

В случае если область туннельного перехода располагается над областью стока кроме избирательной (побайтовой) записи можно осуществить и избирательное стирание под действием разности потенциалов между плавающим затвором и стоком. С целью развязки между матричным накопителем и схемой управления запоминающий элемент размещают в р-кармане, сформированном в подложке и-типа.

**14.Опишите параметры и способ изготовления интегральных биполярных транзисторов.**

Интегральные биполярные транзисторы изготавлива- ются по планарной или планарно-эпитаксиальной технологии. Методом диффузии в кристалле создаются области коллекто- ра, базы и эмиттера (рис. 2.7). На рисунке транзистор показан в разрезе и в плане. Структура транзистора углубляется в кри- сталл не более чем на 15 мкм, а линейные размеры транзистора на поверхности не превышают нескольких десятков микро- метров



Как правило, изготовляются транзисторы типа п-р-п. Внутренний (скрытый) слой с повышенной концентрацией примесей п+ в коллекторе служит для уменьшения сопротив- ления и, следовательно, потерь мощности в области коллекто- ра. Но у коллекторного перехода область коллектора должна иметь пониженную концентрацию примесей, чтобы переход имел большую толщину. Тогда емкость у него будет меньше, а напряжение пробоя выше. Область эмиттера также часто де- лают п+-типа для уменьшения сопротивления и увеличения инжекции. Сверху на транзисторе создается защитный слой оксида SiО2. От областей коллектора и базы часто делают по два вывода (рис. 2.7), для того чтобы можно было соединить данный транзистор с соседними элементами без пересечений соединительных линий.

Типичные параметры биполярных транзисторов полу- проводниковых ИС таковы: коэффициент усиления тока базы 200, граничная частота до 500 МГц, емкость коллектора до 0,5 пФ, пробивное напряжение для коллекторного перехода до 50 В, для эмиттерного до 8 В. Удельное сопротивление п- и р- слоев составляет несколько сотен, а п+-слоев - не более 20 Ом/􏰀

Необходимо обратить внимание на то, что в полупровод- никовых ИС всегда образуются некоторые паразитные элемен- ты. Например, из рис. 2.7 видно, что наряду с транзистором типа п-р-п созданным в кристалле р-типа, существует паразит- ный транзистор р-п-р, который образуется кристаллом, обла- стью коллектора и областью базы транзистора. А транзистор п-р-п вместе с кристаллом образует паразитный тиристор п-р- п-р. Вследствие наличия обратного напряжения на изолирую- щем переходе паразитные транзисторы и тиристор нормально заперты, но при попадании в них каких-либо импульсов помех может произойти нежелательное отпирание и срабатывание этих элементов.

**15.Опишите про полевые транзисторы с p-n- переходом.**

Основные характеристики полевых транзисторов с p-n-переходом(MOFSET):

* Типы MOSFET: Существует два основных типа MOSFET - N-канальный (N-MOS) и P-канальный (P-MOS). Они различаются по типу носителей заряда (электронам или дыркам), которые участвуют в управлении током.
* Управление через затвор: Ток между истоком и стоком контролируется напряжением на затворе. Приложение положительного напряжения на затворе увеличивает проводимость транзистора (ON-состояние), а отрицательное напряжение делает его непроводящим (OFF-состояние).
* Преимущества: MOSFET обладает высоким входным сопротивлением, что делает его эффективным для управления большими токами с помощью маленьких управляющих сигналов. Он также обладает высокой скоростью коммутации и малым потреблением энергии.
* Применение: MOSFETы широко используются в электронике, включая усилители мощности, инверторы, ключи для управления электропитанием и другие приложения, где необходимо управление током.
* Транзисторный режим: MOSFET может находиться в трех основных режимах работы - с областью насыщения (saturation), областью разреза (cutoff) и областью настроения (triode). Режим работы зависит от напряжения на затворе и напряжения между истоком и стоком.

MOFSET-транзисторы имеют существенные преимущества перед биполярными по конструкции (размеры и занимаемая ими площадь относительно невелики, отсутствует необходи- мость их изоляции) и электрофизическим параметрам (низкий уровень шумов, устойчивость к перегрузкам по току, высокое входное сопротивление и помехоустойчивость, малая мощность рассеивания, низкая стоимость). МOFSET-транзистор может быть основным и единственным элементом MOFSET-микросхем. Он может выполнять функции активных приборов (ключевой транзистор в инверторах, усилительный транзистор), так и пассивных элементов (нагрузочный транзистор в инверторе, конденсатор в элементе памяти). Поэтому при проектировании MOFSET-микросхем можно обходиться только одним элементом - MOFSET-транзистором, конструктивные размеры которого и схема включения будут завесить от выполняемой функции. Это обстоятельство дает существенный выигрыш в степени интеграции.

**16. Опишите КМОП транзисторы.**

В некоторых ИС находят применение пары МОП- транзисторов с каналами п- и р-типа. Такие пары называют комплементарными транзисторами (КМОП или КМДП). «Комплементарный» означает «дополняющий» (от англ. complementary). Комплементарные транзисторы применяются в ключевых (цифровых) схемах и отличаются очень малым по- треблением тока и высоким быстродействием. Встречаются также ИС, в которых на одном общем кристалле изготовлены биполярные и МОП-транзисторы.

В таких структурах применяются транзисторы с индуци- рованными каналами. Отличительной особенностью компле- ментарных структур является противоположная полярность питающих и управляющих напряжений

По надежности и популярности предпочтение отдается КМОП-транзисторам, которые реализованы на диэлектриче- ской подложке, например, на сапфире. Это позволяет получать транзисторы без токов утечки, с отсутствием паразитных ем- костных связей между областями транзистора и подложки. Та- кая технология позволяет повысить быстродействие транзи- сторов, создать на их основе радиационностойкие интеграль- ные схемы.

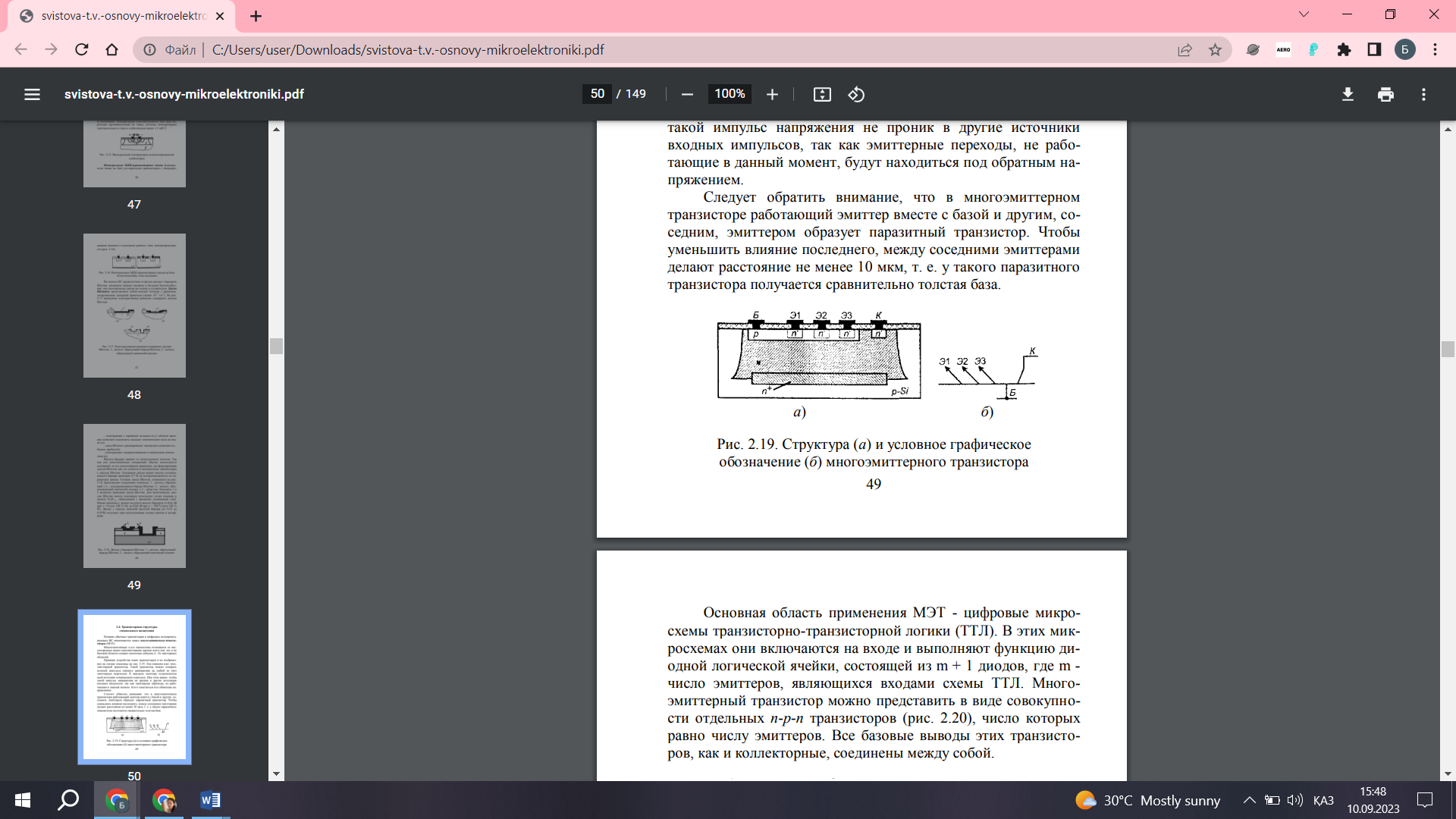
Они включают в себя два типа транзисторов: NMOS (N-канальный МОП-транзистор) и PMOS (P-канальный МОП-транзистор), которые работают комплементарно друг другу.

Транзисторы КМОП обладают рядом преимуществ, таких как низкое энергопотребление, высокая плотность интеграции, высокая скорость работы и надежность. Они широко используются в современных микропроцессорах, микроконтроллерах и других интегральных схемах для выполнения логических и управляющих функций.

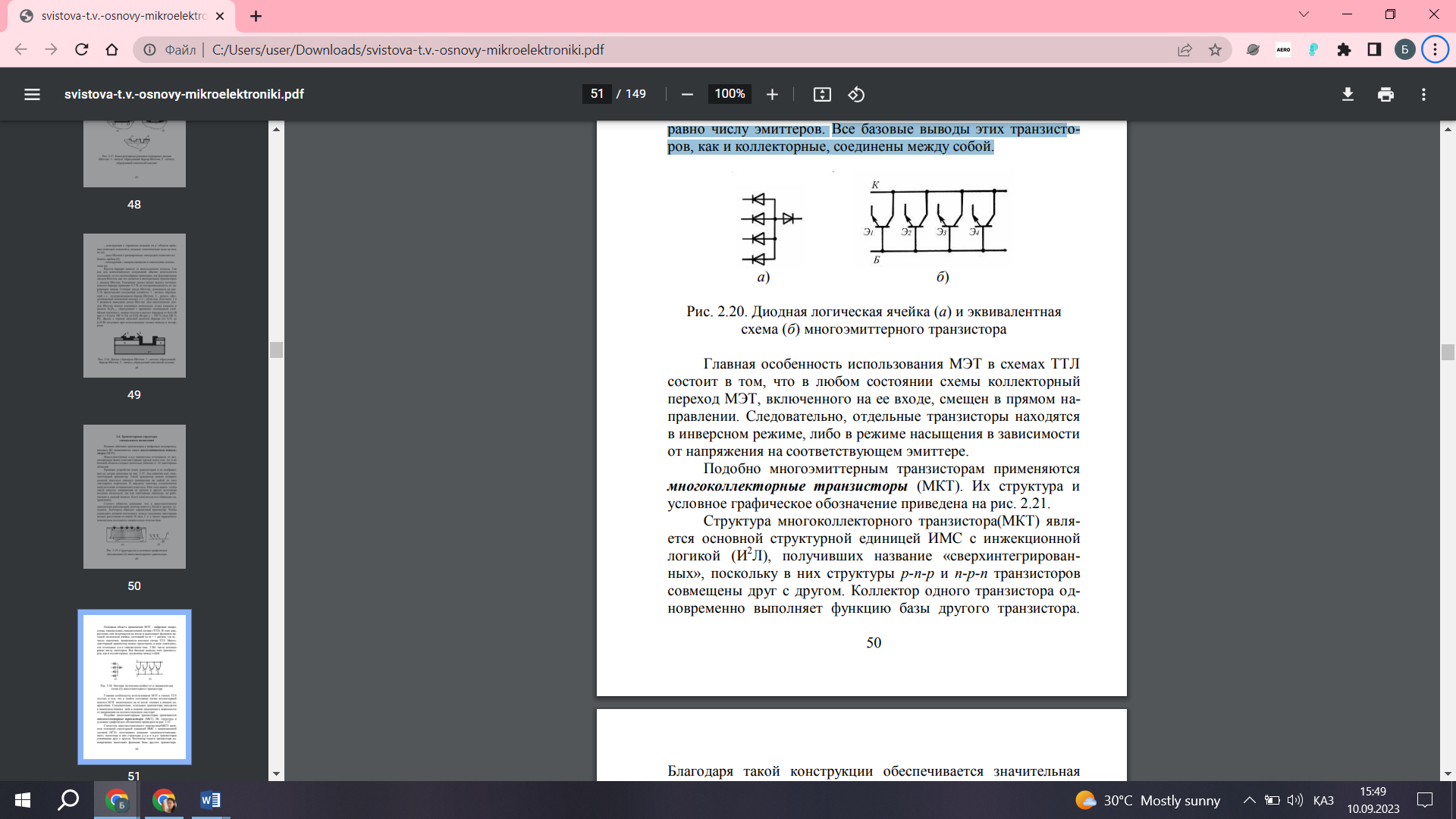
NMOS и PMOS транзисторы вместе образуют инверсное логическое устройство, что делает их идеальными для создания цифровых схем. Кроме того, они также могут быть использованы для аналоговых приложений.

**17. Опишите и дайте характеристику внешний вид многоэмиттерных транзисторов в интегральных схемах.**

1. Помимо обычных транзисторов в цифровых полупроводниковых ИС применяются также многоэмиттерные транзисторы (МЭТ). Многоэмиттерные n-p-n ранзисторы отличаются от рассмотренных выше одноэмиттерных прежде всего тем, что в их базовой области создают несколько (обычно 4 - 8) эмиттерных областей. Принцип устройства таких транзисторов и их изображение на схемах показаны рис 2,19. Для примера взят трехэмиттерный транзистор. Такой транзистор можно отпирать подачей импульса прямого напряжения на любой из трех эмиттерных переходов. К каждому эмиттеру подключается свой источник отпирающего импульса. При этом важно, чтобы такой импульс напряжения не проник в другие источники входных импульсов, так как эмиттерные переходы, не работающие в данный момент, будут находиться под обратным напряжением. Следует обратить внимание, что в многоэмиттерном транзисторе работающий эмиттер вместе с базой и другим, соседним, эмиттером образует паразитный транзистор. Чтобы уменьшить влияние последнего, между соседними эмиттерами делают расстояние не менее 10 мкм, т. е. у такого паразитного транзистора получается сравнительно толстая база.



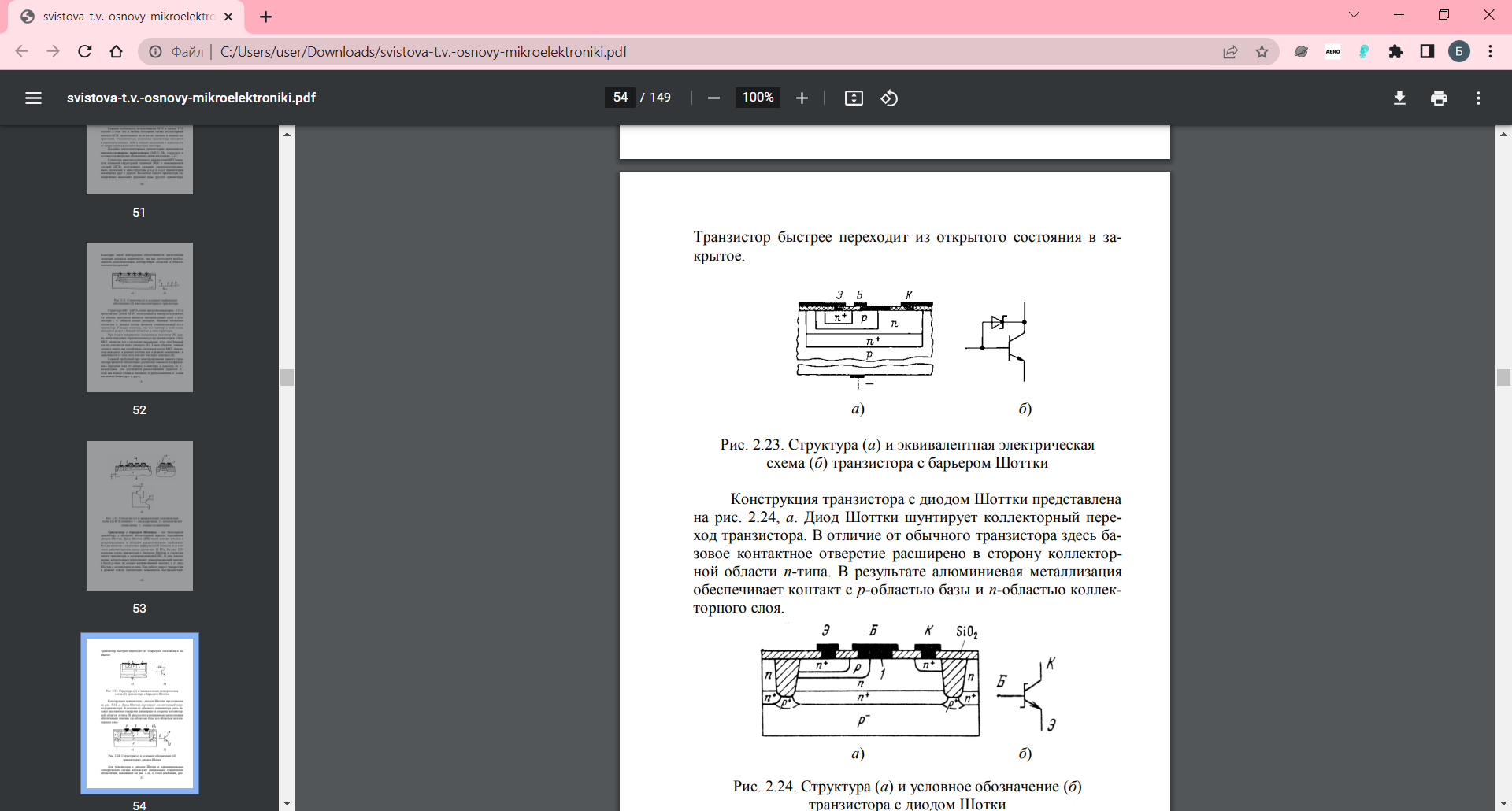
Основная область применения МЭТ - цифровые микросхемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). В этих микросхемах они включаются на входе и выполняют функцию диодной логической ячейки, состоящей из m + 1 диодов, где m - число эмиттеров, являющихся входами схемы ТТЛ. Многоэмиттерный транзистор можно представить в виде совокупности отдельных n-p-n транзисторов (рис. 2.20), число которых равно числу эмиттеров. Все базовые выводы этих транзисторов, как и коллекторные, соединены между собой.



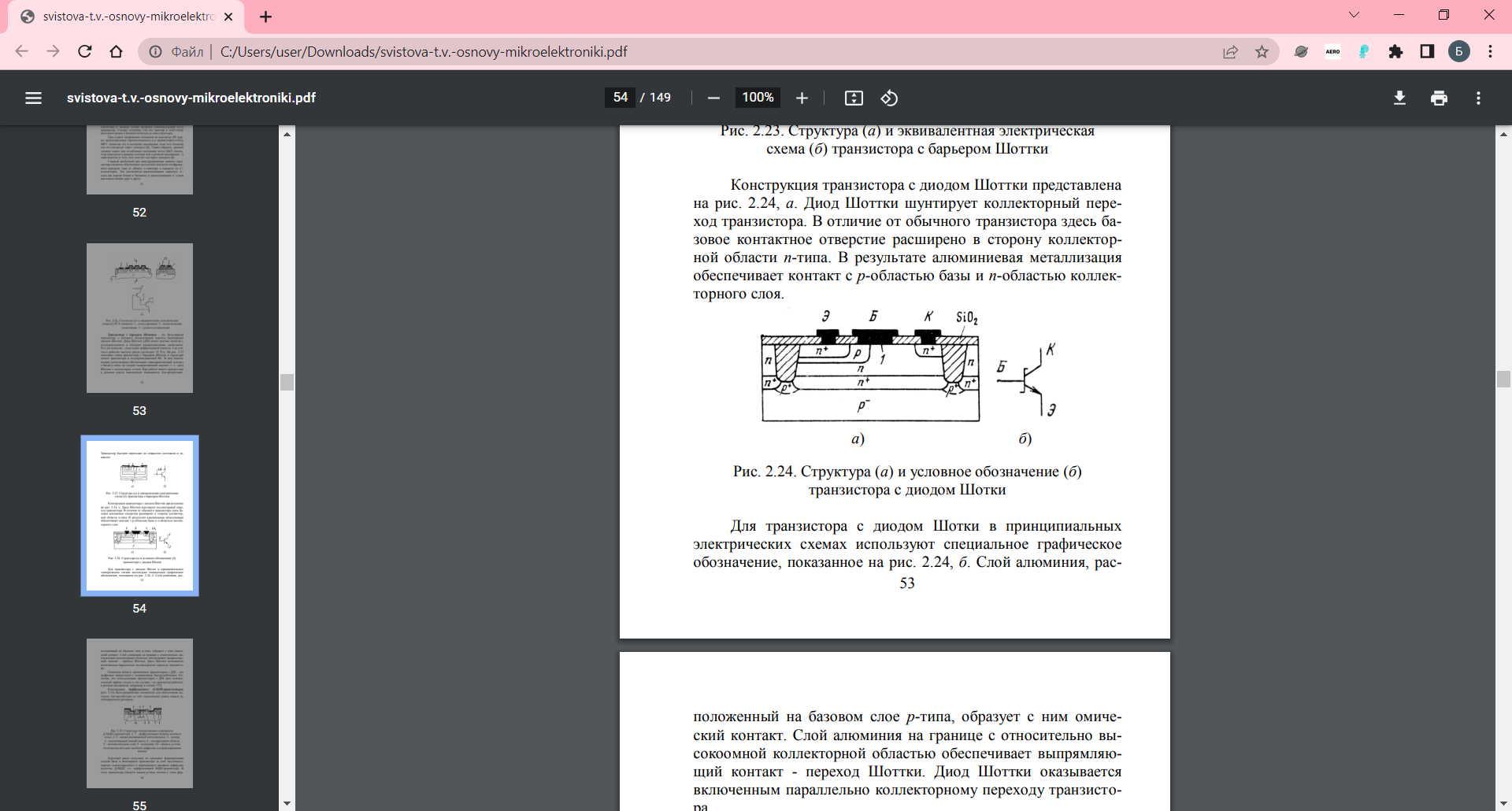
Главная особенность использования МЭТ в схемах ТТЛ состоит в том, что в любом состоянии схемы коллекторный переход МЭТ, включенного на ее входе, смещен в прямом направлении. Следовательно, отдельные транзисторы находятся в инверсном режиме, либо в режиме насыщения в зависимости от напряжения на соответствующем эмиттере. Подобно многоэмиттерным транзисторам применяются многоколлекторные транзисторы (МКТ). Их структура и условное графическое обозначение приведена на рис. 2.21. Структура многоколлекторного транзистора(МКТ) является основной структурной единицей ИМС с инжекционной логикой (И2Л), получивших название «сверхинтегрированных», поскольку в них структуры p-n-p и n-p-n транзисторов совмещены друг с другом. Коллектор одного транзистора одновременно выполняет функцию базы другого транзистора. 51 Благодаря такой конструкции обеспечивается значительная экономия площади поверхности, так как отсутствует необходимость дополнительных изолирующих областей и межэлементных соединений.

1**8. Подробно опишите конструкцию транзистора с диодом Шоттки.**

Транзистор с барьером Шоттки - это биполярный транзистор, у которого коллекторный переход шунтирован диодом Шоттки. Диод Шоттки (ДШ) имеет контакт металла с полупроводником и обладает выпрямляющими свойствами. Его достоинство - отсутствие диффузионной емкости, и за счет этого рабочие частоты диода достигают 15 ГГц. На рис. 2.23 показаны схема транзистора с барьером Шоттки и структура такого транзистора в полупроводниковой ИС. В нем алюминиевая металлизация обеспечивает невыпрямляющий контакт с базой р-типа, но создает выпрямляющий контакт, т. е. диод Шоттки с коллектором п-типа. При работе такого транзистора в режиме ключа значительно повышается быстродействие. 53 Транзистор быстрее переходит из открытого состояния в закрытое.



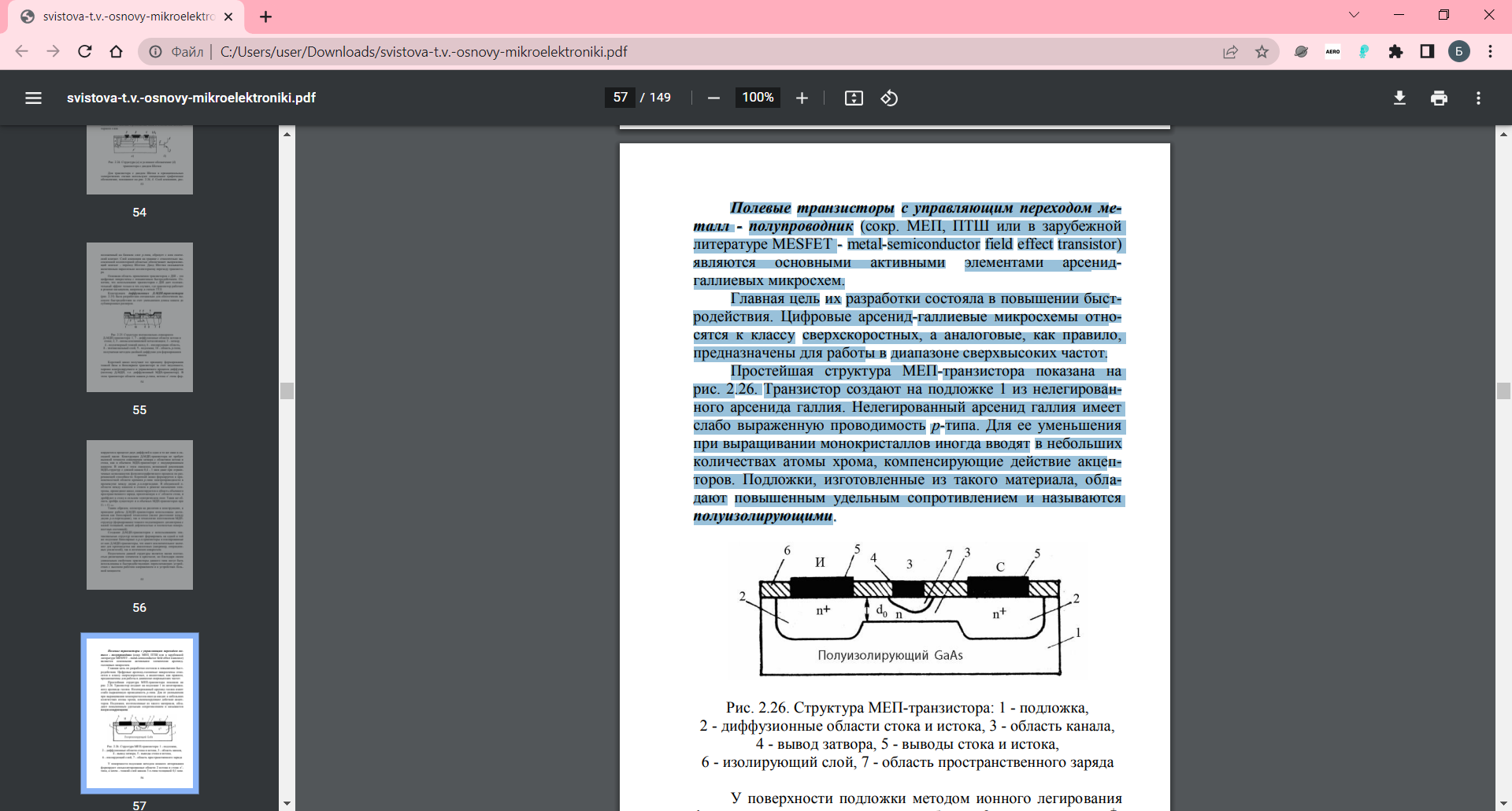
Для транзистора с диодом Шотки в принципиальных электрических схемах используют специальное графическое обозначение, показанное на рис. 2.24, б. Слой алюминия, рас- 54 положенный на базовом слое p-типа, образует с ним омический контакт. Слой алюминия на границе с относительно высокоомной коллекторной областью обеспечивает выпрямляющий контакт - переход Шоттки. Диод Шоттки оказывается включенным параллельно коллекторному переходу транзистора. Основная область применения транзисторов с ДШ - это цифровые микросхемы с повышенным быстродействием. Отметим, что использование транзисторов с ДШ дает положительный эффект только в тех случаях, где транзистор работает в режиме насыщения, например, в схемах ТТЛ.

 рисунок 2.4 б

Конструкция Д-МДП-транзистора не требует высокой точности совмещения затвора с областями истока и стока, как в обычном МДП-транзисторе с индуцированным каналом. В связи с этим оказалось возможной реализация МДП-структур с длиной канала 0,4 - 1 мкм даже при ограниченных возможностях фотолитографического процесса по разрешающей способности. Короткий канал формируется в приповехностной области кремния р-типа электропроводности в промежутке между двумя р-n-переходами. В обедненной nобласти между каналом и стоком в режиме насыщения электроны, прошедшие канал, инжектируются в область объемного пространственного заряда, прилегающую к n + -области стока, и дрейфуют к стоку в сильном электрическом поле. Такая же область дрейфа существует и в обычных МДП-транзисторах при Uc > Uc нас. Таким образом, несмотря на различия в конструкциях, в принципе работы Д-МДП-транзисторов использованы достижения как биполярной технологии (малое расстояние между двумя p-n-переходами), так и технологии изготовления МДПструктур (формирование тонкого подзатворного диэлектрика с малой толщиной, низкой дефектностью и плотностью поверхностных состояний). Создание Д-МДП-транзисторов с использованием эпитаксиальных структур позволяет формировать на одной и той же подложке биполярные n-p-n-транзисторы и изолированные от них Д-МДП-транзисторы, что имеет исключительное значение для производства как аналоговых (например, операционных усилителей), так и логических микросхем. Недостатком данной структуры является малая плотностью размещения элементов в кристалле, но благодаря своим уникальным свойствам транзисторы данного типа могут быть использованы в быстродействующих переключающих устройствах с высоким рабочим напряжением и в устройствах большой мощности.

**19. Опишите полевые транзисторы с управляющим переходом.**

Полевые транзисторы с управляющим переходом металл - полупроводник (сокр. МЕП, ПТШ или в зарубежной литературе MESFET - metal-semiconductor field effect transistor) являются основными активными элементами арсенидгаллиевых микросхем. Главная цель их разработки состояла в повышении быстродействия. Цифровые арсенид-галлиевые микросхемы относятся к классу сверхскоростных, а аналоговые, как правило, предназначены для работы в диапазоне сверхвысоких частот. Простейшая структура МЕП-транзистора показана на рис. 2.26. Транзистор создают на подложке 1 из нелегированного арсенида галлия. Нелегированный арсенид галлия имеет слабо выраженную проводимость р-типа. Для ее уменьшения при выращивании монокристаллов иногда вводят в небольших количествах атомы хрома, компенсирующие действие акцепторов. Подложки, изготовленные из такого материала, обладают повышенным удельным сопротивлением и называются полуизолирующими.



Концентрация доноров в канале составляет 1017 см-3 . В качестве легирующих примесей (доноров) обычно используют кремний, селен, серу и др. На поверхность подложки над слоем 3 наносят металлический элемент затвора 4, например, в виде сплава титан - вольфрам, металлические электроды 5, для которых применяют композицию золото-германий, которые обеспечивают омические контакты к областям истокам и стока. На поверхность подложки, не используемую для контактов, наносят слой диэлектрика 6, например, диоксида кремния. Металлический электрод затвора образует со слоем 3 выпрямляющий контакт Шоттки, имеющий контактную разность потенциалов 0,8 В. Проводящий канал между истоком и стоком располагается в слое 3 и ограничен сверху обедненной областью барьера Шоттки, а снизу - подложкой. В отличие от кремниевых МДП-транзисторов с индуцированным каналом в МЕП-транзисторе очень малы паразитные емкости затвор - исток и затвор - сток, так как затвор не перекрывает область 2. Кроме того, малы и барьерные емкости сток-подложка, исток-подложка. Поскольку подложка является полуизолирующей, концентрация примесей в ней очень низкая, а толщина обедненной области переходов велика.

**20.Опишите применение ПЗС (приборы с зарядовой связью).**

Приборы с зарядовой связью используются в различных системах для хранения и обработки цифровой и аналоговой информации. ПЗС позволяют осуществлять обработку цифровой и аналоговой информации, а именно: аналоговое и цифровое суммирование, деление и усиление сигналов; возможность неразрушающего считывания с необходимыми весовыми коэффициентами; возможность многократного ввода и вывода зарядовых пакетов. Различают цифровые, аналоговые и фоточувствительные ПЗС. К аналоговым ПЗС следует отнести линии задержки (ЛЗ), фильтры, аналоговые процессоры. Фоточувствительные ПЗС (ФПЗС) являются весьма перспективными процессорами. ФПЗС является изделием функциональной электроники, предназначенным для преобразования оптического изображения в электрический сигнал, действие которого основано на формировании и переносе зарядовых пакетов под действием света по поверхности или внутри полупроводника. Различают линейные и матричные ФПЗС. В линейных ФПЗС фоточувствительные элементы расположены в один ряд. За один период интегрирования линейный ФПЗС воспринимает изображение и преобразует в электрический (цифровой) сигнал одну строку оптического изображения. Матричные ФПЗС представляют собой фоточувствотельные приборы с переносом заряда, в которых фоточувствительные элементы организованы в матрицу по строкам и столбцам. Цифровые ПЗС предназначены для обработки сигналов в виде дискретных функций, и их можно разделить на структуры для арифметико-логической обработки информации и структуры для хранения информации – запоминающие устройства. В цифровые ПЗС можно включить регистры сдвига, логические и арифметические устройства, запоминающие устройства. В них информация представляется двумя уровнями зарядов, локализованных в потенциальной яме под затвором. Состояние логической единицы определяется максимальным зарядовым пакетом в яме, состояние логического нуля – отсутствием заряда или величиной фонового заряда. Цифровые устройства ПЗС являются устройствами динамического типа, т. к. необходима регенерация информации.

**21.Опишите изоляцию, проходящую путем создания р-п-переходов, смещенных в обратном направлении.**

**Изоляция путем создания р-п-переходов, смещенных в обратном направлении**. Здесь коллектор погружен в подложку, которая имеет противоположный тип электропроводности. При этом между подложкой и каждым коллектором (ис- пользуют п-р-п-транзисторы на подложке р-типа) возникает р- п-переход, изолирующий транзистор.

Метод изоляции обратносмещеиным р-п-переходом базируется на свойстве такого перехода иметь очень высокое удельное сопротивление при обратном смещении. Изоляция р- п-переходом является однофазным способом потому, что материал по обе стороны и в пределах изолирующего слоя один и тот же. Изоляция р-п-переходом по существу сводится к формированию двух встречно включенных диодов между изолируемыми элементами.

Для того чтобы изолирующие диоды находились под обратным смещением, на подложку подают максимальный, отрицательный потенциал от источника питания.

Изоляция р-п-переходом органически вписывается в основной технологический цикл производства кремниевых интегральных схем. Используют изолирующую диффузию, методы тройной диффузии, встречной диффузии. К недостаткам этого способа изоляции следует отнести наличие обратных токов в р-n-переходах и наличие барьерных емкостей.

Изолирующий p-n-переход создается путем диффузии акцепторной примеси на глубину, обеспечивающую соединение образующихся при этой диффузии p-областей с p- подложкой. В этом случае эпитаксиальный n-слой разделяется на отдельные n-области (изолирующие «карманы»), в которых создаются потом транзисторы. Эти области будут электрически изолированы только в том случае, если образовавшиеся p- n-переходы имеют обратное включение. Это достигается, если потенциал подложки n-p-n-транзистора будет наименьшим из потенциалов точек структуры. В этом случае обратный ток через p-n-переход незначителен и практически исключается связь между n-областями (карманами) соседних транзисторов.

Изоляция коллекторной диффузией. При этом способе  исходным является создание на подложке p-Si равномерного эпитаксиального p-слоя, а в определенных местах под ним-скрытого n+ — слоя. Затем производят диффузию доноров через маску и создают боковые n+ — области, касающиеся скрытого n+ — слоя.

В отличие от структуры интегрального n-p-n-транзистора, изолированного p-n-переходом образуется карман p-типа для создания p-базы и n-эмиттера. Совокупность скрытого n+ — слоя и боковых n+ — областей будет выполнять в транзисторе функцию коллекторной области с выводом К на поверхности. Переход между n+ — областями и подложкой и обеспечивает изоляцию от другого элемента ИС, если подложка имеет наименьший потенциал.

**22.Опишите виды изоляции и диэлектрической изоляции**

Чтобы избежать коротких замыканий и образования непредусмотренных межсоединений, отдельные элементы ИС изолируют. Известны следующие виды изоляции:

* Изоляция путем создания р-п-переходов, смещенных в обратном направлении.
* Диэлектрическая изоляция.
* Полная изоляция или комбинированная изоляция

**Диэлектрическая изоляция**. Для ее создания применяют изопланарный процесс, который до некоторой степени аналогичен предыдущему, но позволяет добиться большой плотности размещения элементов, хотя и является более дорогим. Используют также процесс, основанный на коррозионной анизотропии кристалла при химическом травлении; с помощью этого метода удается достичь высокой степени интеграции.

При создании полупроводниковых ИС малой и средней степени интеграции широко используются способы изоляции обратновключенным p-n-переходом и диэлектрическими пленками диоксида кремния. Для БИС разработана технология комбинированной изоляции с одновременным использованием p-n-перехода и диэлектрических пленок.

Метод изоляции диэлектриком сводится к созданию кармана из диэлектрика, в котором располагается транзистор- ная структура. Это более совершенный, чем предыдущий метод, прежде всего из-за чрезвычайно малых токов утечки, которые на 3 - 5 порядков меньше обратных токов в р-п- переходах.

Увеличивая толщину диэлектрика и выбирая материал с малой диэлектрической проницаемостью, можно снизить и значения паразитных емкостей.  Есть изоляция КВД - кремний в диэлектрике. Одним из технологических процессов полной диэлектрической изоляции является эпик-процесс, обеспечивающий изоляцию элементов оксидным слоем SiO2.

Изоляция диэлектрическими пленками. На исходной пластине n- кремния выращивается эпитаксиальный n+-слой. На поверхности пластины анизотропным травлением на глубину 20 - 30 мкм создаются канавки треугольной (V - образ- ной) формы. Рельефная поверхность термически окисляется, так что получается изолирующая пленка SiO2 толщиной около 1 мкм.

Затем на поверхность SiO2 наносится слой высокоомного поликристаллического кремния толщиной 200 - 250 мкм. Исходный монокристалл n-кремния сошлифовывается снизу до тех пор, пока не вскроются вершины вытравленных канавок, в результате чего образуются изолированные друг от друга слоем SiO2 монокристаллические области (карманы). Потом в этих карманах будут создаваться элементы интегральной схемы.

Наибольшее распространение получили процессы, связанные с созданием транзисторных структур на диэлектрической подложке - КНД - кремний на диэлектрике. В качестве диэлектрической подложки часто используют сапфир, и такой способ изоляции получил название КНС - кремний на сапфире.

На сапфире выращивается эпитаксиальный слой n-кремния толщиной 1 - 3 мкм. «Островки» создаются локальным травлением кремния до сапфирной подложки. В островках создаются транзисторные структуры. После этого воздушные зазоры между островками заполняются изолирующим поликристаллическим кремнием, на поверхности которого создаются соединения элементов схемы.

Изоляцию диэлектриком относят к двухфазному способу потому, что используются одновременно две фазы - диэлектрик и полупроводник.

Диэлектрическая изоляция позволяет на несколько порядков снизить токи утечки и на порядок удельную емкость по сравнению с p-n-переходом. Существенным недостатком диэлектрической изоляции является необходимость точной шлифовки. Диэлектрические канавки могут быть и прямоугольной формы.

К недостаткам этого способа изоляции следует отнести необходимость совмещения нескольких разнородных технологических процессов.

**23.Опишите преимущества и недостатки полной изоляции**

**Полная изоляция или комбинированная изоляция** сочетает в себе диэлектрическую изоляцию и изоляцию обратносмещенным переходом. Используется в тех случаях, когда нужно обеспечить малые паразитные емкости или высокую радиационную стойкость. Здесь каждый элемент ИС изолируется в ходе технологического цикла на общей подложке.

При создании полупроводниковых ИС малой и средней степени интеграции широко используются способы изоляции обратновключенным p-n-переходом и диэлектрическими плен- ками диоксида кремния. Для БИС разработана технология комбинированной изоляции с одновременным использованием p-n-перехода и диэлектрических пленок.

Комбинированный метод, при котором сочетаются изоляция диэлектриком и изоляция р-n-переходом, является самым распространенным методом изоляции транзисторных структур. При этом варианте изоляция p-n-переходом осуществляется внизу структуры и слоем SiO2 на поверхностях прямоугольных или V - образных канавок.

Основным технологическим процессом является изопланарная технология, в основе которой лежит локальное окисление тонкого эпитаксиального слоя кремния. Результатом этого является образование карманов, которые сбоку изолированы диэлектриком, а от подложек изолируется р-n-переходом. В таких карманах и располагаются транзисторные структуры, а также элементы интегральных схем.

В изопланарном процессе для локального прокисления используются маски из нитрида кремния. Этот технологический процесс позволяет обеспечить большую плотность упаковки элементов на кристалле и получить высокие частотные и переходные характеристики транзисторных структур.

Большое распространение получил метод боковой диэлектрической изоляции V-канавками. В этом технологическом процессе вместо сквозного прокисления эпитаксиального слоя используется локальное анизотропное травление поверхности кристалла, ориентированной по плоскости (100).

В этом случае травление идет в плоскости (111) так, что грани (111) сходятся ниже границы эпитаксиального слоя. Образовавшиеся V-образные канавки заполняются диоксидом кремния, либо поликристаллическим кремнием.

Используя метод реактивного ионного травления, можно уменьшить ширину канавки и превратить ее из V- в U- образную.

Недостатком такого способа изоляции является использование плоскости (100), что сопряжено с повышенной плотностью поверхностных дефектов.

К изоляции МДП-транзисторных структур и элементам интегральных схем требования менее жестки в силу физических особенностей их работы. Эти же методы изоляции используются и в униполярных интегральных схемах

**24**.**Опишите значение термина металл-нитрид-окид-полупроводниковый(МНОП) транзистор и принцип работы.**

Наибольшее распространение получили ПЗУ на МДП-транзисторах в связи с возможностью достижения высоких степеней интеграции и соответственно большой информационной емкости, а также благодаря малому потреблению энергии. Для микропроцессорных систем необходимо иметь устройства перепрограммируемой памяти: перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства (ППЗУ), в которых информация могла бы храниться годами и в которых бы имелась возможность стирать эту информацию полностью или частично и заносить новую. Для реализации ППЗУ необходим МДП-транзистор, в котором обратимым образом было бы возможно изменять пороговое напряжение за счет изменения встроенного в диэлектрик заряда.

Элементной базой БИС ППЗУ служат:

- МДП-транзисторы со структурой металл-нитрид-оксид-полупроводник (МНОП - транзистор);

- лавинно-инжекционные МДП-транзисторы с плавающим затвором (транзисторы ЛИПЗМДП);

-·МДП-транзисторы с плавающим и управляющим затворами (двухзатворный МДП-транзистор).

В МНОП-транзисторе в качестве подзатворного диэлектрика используется двухслойное покрытие, а в качестве первого диэлектрика - туннельно прозрачный слой диоксида кремния. В качестве второго диэлектрика используется толстый (d ≈ 1000 Ǻ) слой нитрида кремния. Нитрид кремния Si3N4 имеет глубокие ловушки в запрещенной зоне и значение диэлектрической постоянной в два раза более высокое, чем диэлектрическая постоянная диоксида кремния.

Ширина запрещенной зоны нитрида Si3N4 меньше, чем ширина запрещенной зоны диоксида SiO2. При подаче импульса положительного напряжения +VGS на затвор вследствие разницы в величинах диэлектрических постоянных оксида и нитрида в оксиде возникает сильное

электрическое поле, вызывающее туннельную инжекцию электронов из полупроводника через оксид в нитрид. Инжектированные электроны захватываются ловушками в запрещенной зоне нитрида кремния.

После снятия напряжения с затвора инжектированный заряд длительное время хранится на ловушечных центрах, что соответствует существованию встроенного инверсионного канала.

При подаче импульса отрицательного напряжения – VGS на затвор происходит туннелирование электронов с ловушек в Нитриде кремния в зону проводимости полупроводника. При снятии напряжения с затвора инверсионный канал исчезает

**25.Опишите предназначение диода в интегральных микросхемах.**

Диоды в интегральных микросхемах предназначены для выполнения ряда логических функций переключения электрических сигналов, выпрямления электрического тока, детектирования сигналов. Ранее диоды ИС выполнялись в виде структуры из двух областей с различным типом электропроводности, т. е. в виде обычного р-п-перехода. В последние годы в качестве диодов стали применяться биполярные транзисторы в диодном включении. Любой из р-n-переходов транзисторной структуры, а также их комбинация могут быть использованы в качестве интегрального диода. Это оказалось удобным для производства. Возможны пять вариантов диодного включения транзистора.

**26.Опишите для чего создан интегральный стабилитрон.**

Он может быть создан на основе структуры интегрального транзистора в различных вариантах в зависимости от требуемого напряжения стабилизации и его температурного коэффициента. Обратное включение диода Б - Э используют для получения напряжения 5 - 10 В с температурным коэффициентом (2 - 5) мВ/°С. Диод работает в режиме лавинного пробоя.

Обратное включение диода БЭ - К применяют для получения напряжения 3 - 5 В ,при температурном коэффициенте - (2 - 3) мВ/°С. Один или несколько последовательно включенных диодов БК - Э в прямом направлении позволяют получить напряжение 0,7 В или кратное ему значение с температурной чувствительностью - 2 мВ/°С. температурно-компенсированных стабилитронах , сформированных на основе базового и эмиттерного слоев, при подаче напряжения между n+-слоями один переход работает в режиме лавинного пробоя, а второй в режиме прямого включения. Температурная чувствительность этих двух переходов противоположна по знаку, поэтому температурная чувствительность такого стабилитрона менее 2 мВ/°С.

Эквивалентные схемы включения транзисторных структур в качестве диодов содержат собственную емкость диода и паразитные емкости, которые оказывают существенное влияние на характеристики диодов.

Пробивные напряжения диодов зависят от типа используемого перехода. Если применяется небольшой эмиттерный переход с сильно легированной областью эмиттера, то пробивные напряжения небольшие. Напротив, при использовании протяженного, слаболегированного коллекторного перехода пробивные напряжения достаточно велики.

В целом оптимальным вариантом для интегральных схем являются структуры типа БК - Э на основе перехода «база- эмиттер» с закороченным на базу коллектором и тип Б - Э на основе перехода «база - эмиттер» с разомкнутой цепью коллектора.

**27.Опишите интегральные МДП-транзисторные диоды .**

Интегральные МДП-транзисторные диоды формируются также на базе р-п-переходов транзисторов с индуцированным каналом в подложках разного типа электропроводности . Во многих ИС предпочтение отдается диодам с барьером Шоттки, имеющим меньше размеры и большее быстродействие, чем интегральные диоды на основе p-n-переходов. Диоды Шоттки представляют собой контакт металла с кремнием, легированным донорной примесью.

Конструктивные решения планарных диодов Шоттки: 1 - металл, образующий барьер Шоттки; 2 - металл, образующий омический контакт.

- конструкция с охранным кольцом из р+-области кремния позволяет исключить сильные электрические поля на краях (а);

- диод Шоттки с расширенным электродом позволяет избежать пробоя (б);

- конструкция с выпрямляющими и омическими контактами (в).

Высота барьера зависит от используемого металла. Так как для межэлементных соединений обычно используется алюминий, то его целесообразно применять для формирования диодов Шоттки, как это делается в интегральных транзисторах с диодом Шоттки. Указанные диоды имеют высоту потенциального барьера примерно 0,7 В, но воспроизводимость их параметров низкая.

представляет следующие элементы:

1 - металл, образующий с n - полупроводником барьер Шоттки;

2 - металл, обеспечивающий омический контакт с n+- областью. Контакты 1 и 2 являются выводами диода Шоттки. Для качественных диодов Шоттки вместо алюминия используют сплав платины и никеля, образующий с кремнием силицидный слой. Диоды с гораздо меньшей высотой барьера (от 0,53 до 0,59 В) получают при использовании сплава тантала и вольфрама.

2.5.2

28.Опишите эффекты, на которых основан механизм зарядки плавающего затвора.

Механизм зарядки плавающего затвора основан на следующих эффектах. На стоковую область p канального МДП транзистора подается отрицательный потенциал. По мере увеличения отрицательного смещения обедненный слой и электрическое поле в нем будут расти. Под действием электрического поля обедненного слоя неосновные носители - электроны - из стоковой p+-области будут выноситься в n-область

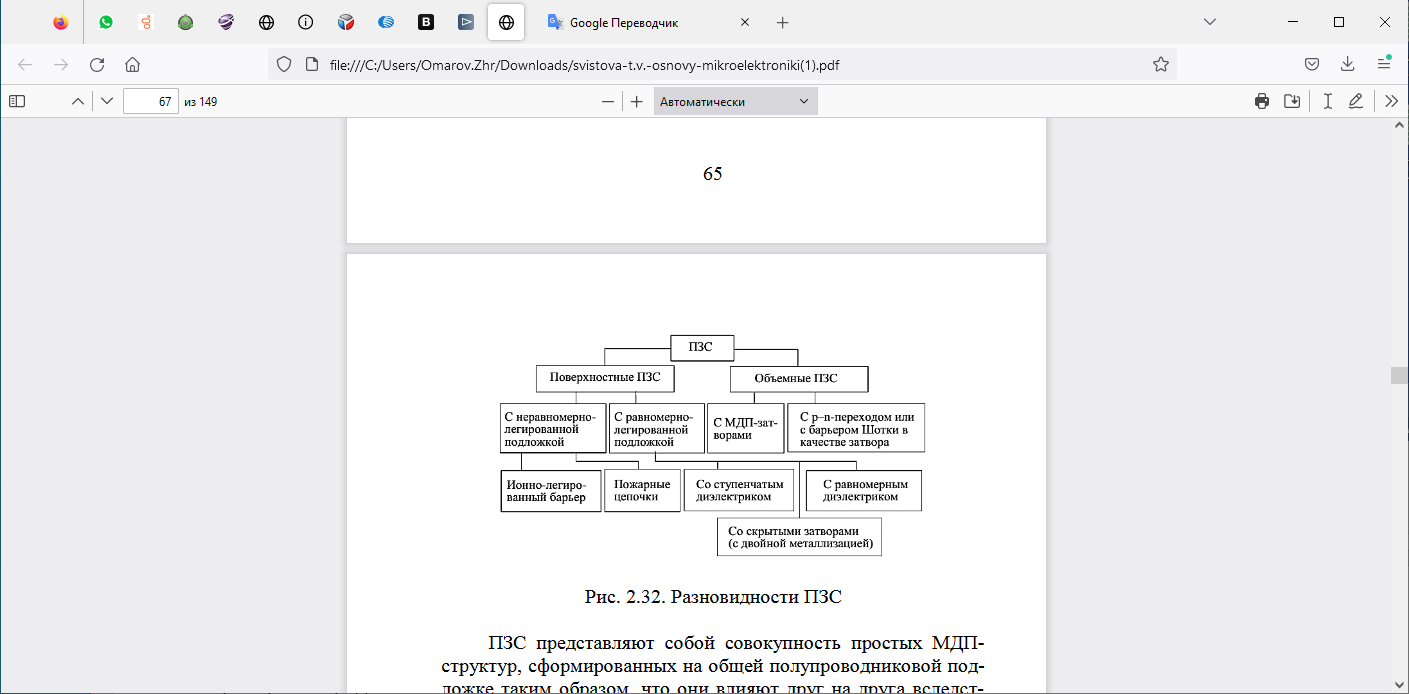
подложки. При определенном критическом значении напряженности поля становится возможным лавинное умножение электронов в n-области. Таким образом, электрическое поле в обедненной области обратносмещенного стокового n-p-перехода формирует значительное количество высокоэнергетических («горячих») электронов, обладающих достаточным запасом энергии, чтобы перейти через подзатворный оксид на плавающий затвор, так как на него предварительно подается притягивающее их положительное напряжение смещения.

После зарядки плавающего затвора электронами в области канала МДП-транзистора p-типа возникает инверсный слой, транзистор переходит в открытое состояние, т.е. хранит «0». Поскольку плавающий затвор со всех сторон окружен диоксидом кремния, заряд на плавающем затворе сохраняется длительное время.

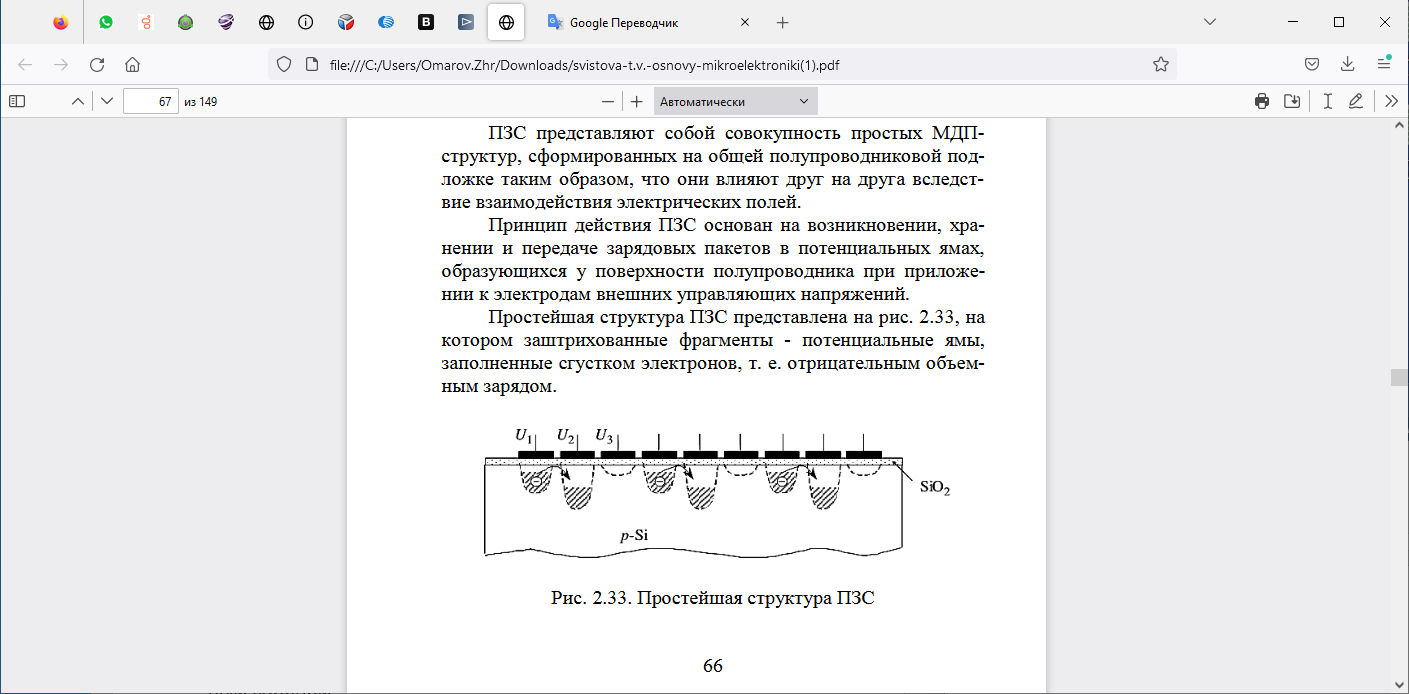
Исследования стабильности заряда показали, что даже при 125 °С за 10 лет заряд может уменьшиться лишь на 30 % своей первоначальной величины. Стирание хранимой в ППЗУ информации осуществляется при облучении информационного поля ультрафиолетовыми лучами. При этом длина волны излучения должна быть достаточной для того, чтобы фотоны могли передать электронам энергию, необходимую для перехода в обратном направлении при возвращении в подложку. Для стирания необходимо извлечение микросхемы памяти из электронного устройства.

**29. Опишите приборы с зарядовой связью**

Приборы с зарядовой связью (ПЗС или CCD от английского Charge Coupled Device) представляют собой пример устройства функциональной электроники (УФЭ). ПЗС изобретен в Bell Laboratories в 1970 г. Первоначально он использовался как устройство памяти и обработки информации. В настоящее время ПЗС - это, в основном, преобразователи света в электрический сигнал. Такие преобразователи используются в видео-камерах и цифровых фотоаппаратах (digital camera -  
«photosmart»).  
В ПЗС передача информации происходит за счет перено-  
са заряда. Активной средой является полупроводниковая  
пленка. Носителем информации служит сгусток заряда (заря-  
довый пакет), в отличие от традиционной интегральной элек-  
троники, где носитель информации - ток или разность потен-  
циалов. Сгустки заряда возбуждаются в приповерхностной об-  
ласти полупроводниковой пластины, управляемо перемещают-  
ся и требуемым образом преобразуются. Например, в линиях  
задержки запись информации производится в следующем ви-  
де: «1» - сгусток заряда есть, «0» - сгустка заряда нет.  
ПЗС характеризуются следующими особенностями:  
- возможностью оперирования с цифровой и с аналого-  
вой информацией, а следовательно, возможностью создания  
цифровых и аналоговых устройств на их основе;  
- сочетанием функций хранения и обработки информа-  
ции;  
- возможностью преобразования светового потока в элек-  
трический заряд с последующим считыванием, а следователь-  
но, возможностью создания телевизионных преобразователей  
изображения;  
- топологической простотой, одинаковостью и регуляр-  
ностью элементов, соответственно, и высоким быстродействи-  
ем.  
На рис. 2.32 представлены разновидности ПЗС, причем  
поверхностные ПЗС - это ПЗС с поверхностным каналом пере-  
носа зарядовых пакетов, объемные ПЗС - с объемным каналом  
перенос



ПЗС представляют собой совокупность простых МДП-  
структур, сформированных на общей полупроводниковой под-  
ложке таким образом, что они влияют друг на друга вследст-  
вие взаимодействия электрических полей.  
Принцип действия ПЗС основан на возникновении, хра-  
нении и передаче зарядовых пакетов в потенциальных ямах,  
образующихся у поверхности полупроводника при приложе-  
нии к электродам внешних управляющих напряжений.  
Простейшая структура ПЗС представлена на рис. 2.33, на  
котором заштрихованные фрагменты - потенциальные ямы,  
заполненные сгустком электронов, т. е. отрицательным объем-  
ным зарядом



30. Опишите значение MHOП-транзистор

В МНОП-транзисторе в качестве подзатворно- го диэлектрика используется двухслойное покрытие, а в каче- стве первого диэлектрика - туннельно прозрачный слой (dox  50 Ǻ) диоксида кремния. В качестве второго диэлектрика ис- пользуется толстый (d ≈ 1000 Ǻ) слой нитрида кремния. Нит- рид кремния Si3N4 имеет глубокие ловушки в запрещенной зо- не и значение диэлектрической постоянной в два раза более высокое, чем диэлектрическая постоянная диоксида кремния. Ширина запрещенной зоны нитрида Si3N4 меньше, чем шири- на запрещенной зоны диоксида SiO2.

Рассмотрим основные физические процессы, протекаю- щие в МНОП-транзисторе при работе в режиме запоминающе- го устройства.

При подаче импульса положительного напряжения +VGS на затвор вследствие разницы в величинах диэлектрических постоянных оксида и нитрида в оксиде возникает сильное электрическое поле, вызывающее туннельную инжекцию элек- тронов из полупроводника через оксид в нитрид. Инжектиро- ванные электроны захватываются ловушками в запрещенной зоне нитрида кремния.

После снятия напряжения с затвора инжектированный заряд длительное время хранится на ловушечных центрах, что соответствует существованию встроенного инверсионного ка- нала.

При подаче импульса отрицательного напряжения - VGS на затвор происходит туннелирование электронов с ловушек в нитриде кремния в зону проводимости полупроводника (рис. 2.29, в). При снятии напряжения с затвора инверсионный канал исчезает.

**31.Опишите значение интегрального резистора.**

Интегральный резистор представляет собой элемент интегральных схем с заданным электросопротивлением и топологией, который используется в электрических цепях для обеспечения требуемого распределения тока и напряжений между отдельными участками цепи.

В полупроводниковых ИМС роль резисторов играют участки легированного полупроводника одной из областей транзисторной структуры. Резисторы выполняются в одном технологическом процессе вместе с интегральными транзисторами и диодами.

Номинальное значение резистора может быть получено выбором топологических параметров, коэффициентом формы или отношением длины тела резистора к его ширине, а также технологическими параметрами - выбором материала резистора и его толщины.

**32. Опишите составляющие Диффузионного резистора.**

Диффузионные резисторы изготовляются в эпитаксиальном слое транзисторной структуры. В зависимости от требуемого номинала и точности изготовления диффузионные резисторы могут изготавливаться в эмиттерной, базовой или коллекторной областях.

Чаще всего диффузионный резистор формируют в базовой области транзисторной биполярной структуры. Выбор этого слоя является компромиссом между большими геометрическими размерами, которые потребовались бы при изготовлении в эмиттерной области, и высоким температурным коэффициентом сопротивления резистора, если бы резистор выполнялся в слаболегированной коллекторной области

В полупроводниковых микросхемах на биполярных транзисторах для упрощения технологии в качестве резисторов широко используют базовые слои p-типа с сопротивлением Rсл = 100 - 300 Ом/□.

**33.Опишите Интегральный конденсатор.**

Интегральные конденсаторы представляют собой элементы интегральных схем, состоящие из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенные для использования в электрических цепях для обеспечения требуемого распределения тока и напряжения между отдельными элементами цепи.

Емкость конденсатора определяется емкостью перехода, имеющего диффузионную и барьерную составляющие. Основную роль играет барьерная емкость.

В качестве конденсаторов малой емкости используются другие элементы. В полупроводниковых интегральных схемах роль конденсаторов играют обратно смещенные р-п-переходы, выполненные на основе транзисторной структуры в едином технологическом процессе.

**34.Опишите занчение термина многослойная металлизация.**

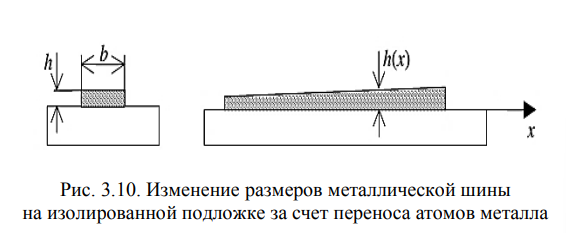
При многослойной металлизации первый металлический слой в микросхеме закрывается слоем диэлектрика, на который затем наносится второй слой металла. Контактирование между металлическими слоями осуществляется через отверстия в разделительном диэлектрике. Наибольшее распространение в качестве межслойного диэлектрика получили SiO, SiO2 и Al2O3. Оксид алюминия изготавливается анодным окислением. Минимальная толщина диэлектрических пленок для обеспечения требуемой изоляции и исключения пор составляет 0,5 мкм. В настоящее время широко используется только два слоя металлизации, хотя возможно использовать три и даже четыре. Многослойная металлизация позволяет уменьшить длину и упростить конфигурации металлизированных дорожек

**35.Опишите значение термина Диффузионные перемычки.**

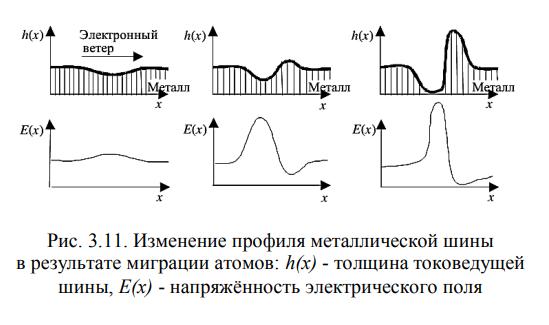
Диффузионные перемычки позволяют обойтись без двухслойной металлизации при необходимости исключить пересечение полупроводников. На рис. 3.9, б представлена диффузионная перемычка, используемая при однослойной металлизации в схемах на МДП-транзисторах с каналом п-типа. Для изготовления перемычек в схемах на р-канальных МДП-транзисторах используется диффузионная область р-типа, которая имеет большее удельное сопротивление слоя, чем удельное сопротивление слоя п + -перемычки. В микросхемах на биполярных транзисторах для перемычки используется п + -слой, расположенный в отдельной области. Площадь, занимаемая перемычкой, приблизительно равна площади транзистора с минимальными геометрическими размерами. Величина вносимого сопротивления 5 - 15 Ом в зависимости от геометрических размеров перемычки. Влияние проводников на параметры работы ИМС связано, в первую очередь, с конечным значением скорости передачи сигнала, в результате чего напряжение, приложенное к одному концу проводника, не может быть передано мгновенно во все точки по его длине.

**36.Опишите скорость распространения сигнала по проводнику.**

Скорость распространения сигнала по проводнику определяется не только его параметрами, но и относительной диэлектрической проницаемостью среды, окружающей проводник. В случае, если средой является воздух, скорость распространения сигнала в нем равна скорости света. Наличие диэлектрической среды с проницаемостью больше единицы приводит к уменьшению скорости распространения сигнала примерно обратно пропорционально корню квадратному из диэлектрической проницаемости. В результате скорость распространения сигнала в полупроводниковых и пленочных ИМС примерно в два - три раза ниже, чем в вакууме. В быстродействующих ИМС время переключения отдельных логических элементов достигает нескольких наносекунд, и задержки в межэлементных соединениях могут существенно снизить быстродействие приборов. Таким образом, при проектировании стремятся к достижению максимальной плотности размещения элементов ИМС. Металлизированные дорожки вносят паразитные элементы: сопротивления емкости и индуктивности. Между соседними проводниками может существовать связь, определяемая их взаимной индуктивностью и емкостью. За счет этой связи при наличии сигнала в одном проводнике он появляется и в соседнем в виде помехи. Такие связи необходимо предотвращать при проектировании ИМС, т.к. иначе помехи могут достигать уровня основного сигнала, и устройство может оказаться неработоспособным. При больших плотностях тока (более 100 А/мм2 ) возможна миграция атомов металла в сторону одного из электродов (рис. 3.10).



В процессе теплового движения ионы металла могут занимать нерегулярные положения в кристаллической решетке. В процессе теплового движения происходит движение ионов по междоузлиям, генерация и заполнение вакансий. Это процесс самодиффузии ионов. При наличии дрейфа электронов они подталкивают ионы. Происходит направленное движение ионов. Захват ионов дрейфом электронов называют «электронным ветром», а направленное движение ионов металла под действием потока электронов называют электромиграцией. Миграция происходит в сторону положительного электрода. Процессы миграции существенно усиливаются в случае неравномерной толщины шины. Под действием «электронного 87 ветра» тонкая часть шины утоньшается вплоть до разрушения (рис. 3.11).



**37. Опишите особенности направления «Больше Мура»**

Для начала что такое «Больше Мура». «Больше Мура» (More Moore) это продолжение развития современных КМОП-технологий до физических и технологи- ческих пределов проектирования в соответствии с законом Мура.

К особенностям направления «Больше Мура» относятся: - увеличение сложности техпроцессов;

- применение новых материалов, в том числе диэлектри-

ков с низкой и высокой диэлектрической постоянной;

- разработка новых архитектур компонентов;

- освоение новых методов схемотехники (борьба с раз- бросами характеристик и статическими утечками);

- внедрение новых архитектур на системном уровне (по- вышение надежности, избыточности).

Одним из важнейших путей решения проблем планарной микроэлектроники является переход к реализации компонен- тов схем в виде вертикальных структур.

**38. Опишите вертикальный полевой транзистор –FinFET.**

Вертикальный полевой транзистор - FinFET- транзистор (Fin Field Effect Transistor) свое название получил из-за конструктивных особенностей. В этом приборе тонкое кремниевое тело имеет форму плавника (fin) и обернуто затвором. Затвор формирует два самосовмещающихся канала, расположенных с двух сторон кремниевого тела. Передняя выступающая часть тела представляет собой исток, задняя - сток. Каналы индуцируются напряжением на затворах вдоль обеих сторон пластины. Ток в транзисторе проходит в плоскости, параллельной плоскости тела. Активная ширина прибора равна высоте тела - плавника. Это тело можно увеличивать путем параллельного включения многих столбиков, формирующих исток и сток. Таким образом, формируется активная область транзистора. Трехмерная конструкция FinFET- транзистора позволяет значительно снизить потери на тепло- выделение.

Технологический процесс изготовления FinFET- транзистора предусматривает формирование методами фотолитографии плавника-вставки толщиной 20 нм и высотой 180 нм. Области стока - истока изготовляются с помощью ионной имплантации под углом 45 ° с четырех сторон пластины. Удается создать транзисторы с длиной канала порядка 30 нм.

«Трехзатворный» транзистор на деле означает транзистор с каналом, окруженным затвором (через прослойку в виде тонкого изолятора, обозначенного желтым) с трех сторон - по сравнению с планарным, где поверхность сопряжения представляет собой одну плоскость.

**39. Опишите работу элементарной ячейки интегральной схемы и формирование слоя для канала**

Работа элементарной ячейки интегральной схемы - транзистора основана на дрейфе носителей заряда в полупроводнике, а при уменьшении размеров, канал транзистора содержит ограниченное количество атомов и контролируемой рекомбинации электронно-дырочных пар уже не происходит. Транспорт носителей носит квазибаллистический или уже чисто баллистический характер. Применение других полупроводников или растягивание - сдавливание решетки (Si - Ge) лишь незначительно улучшают ситуацию.

В 2001 г. IBM изобретает напряженный кремний (strained silicon) - формирование слоя кремния для канала, в котором расстояние между атомами - (как минимум в направлении исток - сток) не равно естественному шагу кристаллической решетки (543 нм). Для большего шага сначала внедряется «посевной» слой кремния – германия

Кристалл германия имеет шаг атомов 566 нм. Смешанный полупроводник сохраняет это значение, даже если доля германия всего 17 % (это для 90 нм; а для 32 нм - уже 40 %). Осаждаемые поверх атомы кремния межатомными силами крепятся к атомам широкой решетки и остаются с ее шагом, формируя канал. Разряжение атомов увеличивает подвижность электронов, что ускоряет n-канальный транзистор на 20 - 30 %. Кстати, именно из-за большей подвижности электронов германий первым стали применять в электронике. В 2004 г. эту технологию применили Intel и AMD для техпроцесса 90 нм.

Основная кремниевая шайба изготавливается из кремния с примесью германия. При этом, поскольку диаметр иона германия больше, чем иона кремния, постоянная решетки такой шайбы увеличивается. Точнее, германий внедряется только в достаточно толстый верхний слой шайбы.

**40.Опишите места применения техникы СВЧ.**

Техника СВЧ широко используется в быту, научных исследованиях, системах связи и обработки информации, особенно специального применения. Широкое использование СВЧ-устройств связано, прежде всего, с возможностью концентрации высокочастотного излучения в узкий луч. В перспективе это позволит создавать экономичные системы связи, радиолокационные станции обнаружения и сопровождения цели. Большая информативная емкость СВЧ-диапазона позволяет уплотнить число каналов связи, организовать многоканальную передачу телевизионных каналов. Многие из этих перечисленных проблем могут быть эффективно решены методами и технологией микроэлектроники. В последнее время существенно повысился интерес к твердотельной электронике СВЧ вообще и к монолитным ИМС СВЧ-диапазона в частности. Этот интерес вызван потребностью в развитии электронного оборудования спутникового вещания и связи, бортовой электроники самолетов и ракет (как гражданского, так и специального применения), радиолинейных линий, связного оборудования, подвижных объектов и т.д. Одним из серьезных стимулов для развития монолитной микроволновой микроэлектроники является повышенный интерес к развитию техники фазированных антенных решеток (ФАР), для создания которых необходимо большое количество (тысячи и десятки тысяч) однотипных дешевых приемопередающих модулей.

**41.Опишите основные материалы монолитных микроволновых интегральных схем.**

Основным материалом монолитных микроволновых интегральных микросхем (М3ИС) в настоящее время является арсенид галлия. Однако поскольку технология арсенида галлия и транзисторов на его основе не была в достаточной степени отработанной, первые разработки в области твердотельной интегральной электроники СВЧ представляли собой гибридные интегральные схемы, толстопленочные или тонкопленочные, с кремниевыми биполярными транзисторами, чаще всего в бескорпусном исполнении.

Толстопленочная технология в технике СВЧ используется только в цифровой технике для обеспечения соединений на плате между установленными интегральными схемами (БИС или СБИС). Одновременно с этим нельзя не отметить негативного влияния паразитных параметров таких соединений на быстродействие. В СВЧ-технике толстопленочная технология может быть использована для относительно низкочастотных и узкополосных (до 20 %) устройств.

Большинство СВЧ ИС являются широкополосными (с отношением граничных частот в диапазоне 1 : 2 или 67 % и более), поэтому в гибридном варианте более предпочтительными оказываются тонкопленочные СВЧ-устройства. Толщина тонких пленок определяется тремя - пятью толщинами скин-слоев на нижней частоте диапазона (толщина скин-слоя определяется по спаданию плотности тока от поверхности вглубь объема в 2,7 раза). В результате такие пленки имеют толщину до 7,5 мкм. Если сравнивать тонкопленочную гибридную и монолитную технологии, то последняя более предпочтительна. Однако монолитная технология является более трудоемкой. Одним из ожидаемых преимуществ должна являться относительно низкая стоимость монолитных ИС по сравнению с гибридными. Этот фактор определяется значительными удельными объектами производства, с одной стороны, и значительным удельным весом трудоемких и дорогостоящих «индивидуальных» сборочных операции в гибридном технологии, с другой стороны.

**42.Дайте описание элементной базы в СВЧ-микросхеме.**

Известно, что в любой электронной аппаратуре различают пассивные и активные элементы, линии межсоединений. В традиционной микроэлектронике линии межсоединения выполняются в виде алюминиевых полосок, и проблем их создания в интегральных схемах не возникает вплоть до высокой степени интеграции. Иное дело - межсоединения в СВЧ-диапазоне. В микроэлектронной аппаратуре различают иерархические уровни соединений. Нулевой конструктивно-технологический уровень составляют межэлементные соединения. Они связывают в схеме с определенными функциями пассивные и активные элементы. Первый уровень составляют соединения в гибридных микросхемах СВЧ-диапазона, связывающие на плате бескорпусные микросхемы, навесные активные и пассивные электрорадиоэлементы. Ко второму уровню межсоединений относятся проводники, соединяющие гибридное (микросхемы, корпусированные микросхемы, дискретные электрорадиоэлементы в ячейки или 118 микросборки. В свою очередь, как правило, межсоединения этих уровней представляют собой микрополосковые перемычки или полосково-коаксиальные переходы. Ячейки, или микросборки, а также электрорадиоэлементы коммутируются в блоки СВЧ помощью межсоединений третьего уровня, выполненных в виде микрополосковых перемычек или полужестких кабелей. На следующих уровнях межсоединений используют СВЧ-кабели, не представляющие интереса для микроэлектроники.

**Микрополосные линии** (МПЛ) весьма интересны с точки зрения физической электроники. МПЛ представляет собой проводник ленточного типа шириной W, прямоугольного сечения, расположенный на подложке толщиной h с высокой диэлектрической проницаемостью ε. Обратная сторона подложки металлизирована и заземлена (рис. 5.1, а). Микрополосковая линия такой конструкции обладает волновым сопротивлением, зависящим от соотношения W / h и величины ε., а также от коэффициента потерь, дисперсии и предельной передаваемой мощности. При конструировании устройств СВЧ-диапазона появляется необходимость изменения геометрических размеров МПЛ, что получило название неоднородности МПЛ. К пассивным элементам СВЧ-диапазона относят резисторы, конденсаторы и индуктивности. Эффект электрического сопротивления прохождения тока в СВЧ-диапазоне возникает в неоднородности микрополосковых линий в емкостях, образующихся в воздушных промежутках, диэлектрических материалах, окисных пленках между кристаллами (рис. 5.1, б). Конденсаторы микросхем СВЧ-диапазона также изготовляются на основе МПЛ. Малые номиналы (несколько пФ) можно получить на разрывах МПЛ (рис. 5.1, в), а большие реализуются в виде конструкции типа гребенчатого конденсатора. Для получения конденсаторов емкостью более 10 пФ используют многослойные структуры.

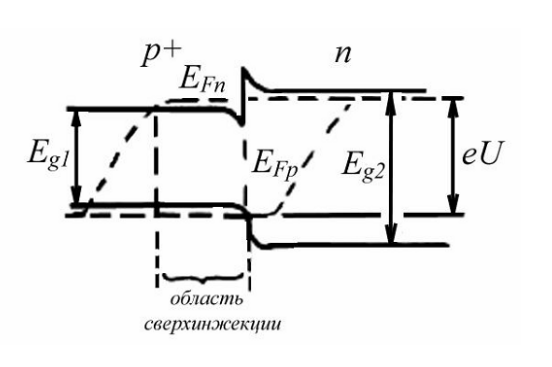


**43. Опишите процесс происхождение инжекции в  неосновных носителях .**

Инжекция неосновных носителей происходит при подаче прямого смещення на р — п-переход, гетеропереход или контакт металл — полупроводник вследствие уменьшения разности потенциалов на контакте. Инжектированные неосновные носители проникают в полупроводник на глубину, определяемую рекомбинацией она по порядку величины совпадает с диффузионной длиной в слабых внеш. нолях и с дрейфовой длиной (см. Дрейф носителей заряда) в сильных полях. Инжекция неосновных носителей лежит в основе действия полупроводникового диода, транзистора и др, полупроводниковых приборов. Изучение стационарных и переходных процессов И. н. з. позволяет исследовать подвижности носителей, а также определить концентрации, энергетич. положения и сечения захвата примесных центров в высокоомных полупроводниках и диэлектриках. Прохождение инжекционных токов является одним из механизмов переноса заряда в тонких диэлектрич. плёнках

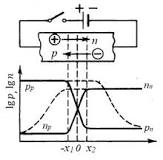
Зонная энергетическая диаграмма гетероструктуры в прямом включении

В гомопереходе концентрация неосновных носителей заряда, инжектированных из эмиттера, не может превышать их концентрации в эмиттере. Рассмотрим зонную диаграмму гетероперехода при прямом внешнем смещении, когда переход открыт и через него течёт ток



В этом случае система неравновесна. Стационарный уровень Ферми в таких условиях не существует, и концентрацию носителей заряда принято описывать с помощью квазиуровней Ферми.

**44.Опишите инжекцию носителей заряда.**



Инжекция — физическое явление, наблюдаемое в полупроводниковых гомо- и гетеропереходах, при котором при пропускании электрического тока в прямом направлении через p-n-переход в прилежащих к переходу областях создаются высокие концентрации неравновесных («инжектированных») носителей заряда.

Инжекция неосновных носителей происходит при подаче прямого смещения на р-n-nереход, гетеропереход или контакт металл - полупроводник вследствие уменьшения разности потенциалов на контакте.

Неравновесные носители заряда образуются в результате контакта полупроводника с другим полупроводником или металлом, а также под действием света (фотоинжекция) или электрического поля (лавинная и туннельная инжекция) и др

В жидкостях и газах носителями зарядов выступают ионы, которые бывают отрицательными (так называемые катионы) и положительными (анионы). Если количество катионов больше, они движутся обратно направлению тока. Если же преобладают анионы, их движение совпадает с направлением тока.

**45. Опишите значение термина «Больше Мура»**

Для начала что такое «Больше Мура». «Больше Мура» (More Moore) это продолжение развития современных КМОП-технологий до физических и технологи- ческих пределов проектирования в соответствии с законом Мура.

К особенностям направления «Больше Мура» относятся: - увеличение сложности техпроцессов;

- применение новых материалов, в том числе диэлектри-

ков с низкой и высокой диэлектрической постоянной;

- разработка новых архитектур компонентов;

- освоение новых методов схемотехники (борьба с раз- бросами характеристик и статическими утечками);

- внедрение новых архитектур на системном уровне (по- вышение надежности, избыточности).

Одним из важнейших путей решения проблем планарной микроэлектроники является переход к реализации компонен- тов схем в виде вертикальных структур.

**46. Опишите технологический процесс изготовления FinFET транзистора.**

Вертикальный полевой транзистор - FinFET- транзистор (Fin Field Effect Transistor) свое название получил из-за конструктивных особенностей. В этом приборе тонкое кремниевое тело имеет форму плавника (fin) и обернуто затвором. Затвор формирует два самосовмещающихся канала, расположенных с двух сторон кремниевого тела. Передняя выступающая часть тела представляет собой исток, задняя - сток. Каналы индуцируются напряжением на затворах вдоль обеих сторон пластины. Ток в транзисторе проходит в плоскости, параллельной плоскости тела. Активная ширина прибора равна высоте тела - плавника. Это тело можно увеличивать путем параллельного включения многих столбиков, формирующих исток и сток. Таким образом, формируется активная область транзистора. Трехмерная конструкция FinFET- транзистора позволяет значительно снизить потери на тепло- выделение.

Технологический процесс изготовления FinFET- транзистора предусматривает формирование методами фотолитографии плавника-вставки толщиной 20 нм и высотой 180 нм. Области стока - истока изготовляются с помощью ионной имплантации под углом 45 ° с четырех сторон пластины. Удается создать транзисторы с длиной канала порядка 30 нм.

«Трехзатворный» транзистор на деле означает транзистор с каналом, окруженным затвором (через прослойку в виде тонкого изолятора, обозначенного желтым) с трех сторон - по сравнению с планарным, где поверхность сопряжения представляет собой одну плоскость.

**47. Опишите изобретение IBM**

Работа элементарной ячейки интегральной схемы - транзистора основана на дрейфе носителей заряда в полупроводнике, а при уменьшении размеров, канал транзистора содержит ограниченное количество атомов и контролируемой рекомбинации электронно-дырочных пар уже не происходит. Транспорт носителей носит квазибаллистический или уже чисто баллистический характер. Применение других полупроводников или растягивание - сдавливание решетки (Si - Ge) лишь незначительно улучшают ситуацию.

В 2001 г. IBM изобретает напряженный кремний (strained silicon) - формирование слоя кремния для канала, в котором расстояние между атомами - (как минимум в направлении исток - сток) не равно естественному шагу кристаллической решетки (543 нм). Для большего шага сначала внедряется «посевной» слой кремния – германия

Кристалл германия имеет шаг атомов 566 нм. Смешанный полупроводник сохраняет это значение, даже если доля германия всего 17 % (это для 90 нм; а для 32 нм - уже 40 %). Осаждаемые поверх атомы кремния межатомными силами крепятся к атомам широкой решетки и остаются с ее шагом, формируя канал. Разряжение атомов увеличивает подвижность электронов, что ускоряет n-канальный транзистор на 20 - 30 %. Кстати, именно из-за большей подвижности электронов германий первым стали применять в электронике. В 2004 г. эту технологию применили Intel и AMD для техпроцесса 90 нм.

Основная кремниевая шайба изготавливается из кремния с примесью германия. При этом, поскольку диаметр иона германия больше, чем иона кремния, постоянная решетки такой шайбы увеличивается. Точнее, германий внедряется только в достаточно толстый верхний слой шайбы.

**48. Опишите основную тенденцию развития микроэлектроники.**  
Сперва определим что такое микроэлектроника и что она собой представляет.Микроэлектроника — отрасль науки, которая охватывает проблемы исследования,конструирование, изготовление и использование микроэлектронных изделий, причем под микроэлектронным изделием понимают электронное устройство с высокой степенью интеграции.  
Область применения микроэлектроники простирается от вычислительной техники космических систем до бытовой аппаратуры.  
\*Основной тенденцией развития микроэлектроники\* является повышение степени интеграции микросхем. Согласно закону Мура, условное число транзисторов в наиболее скоростных процессорах удваивается каждые два года. Разумеется, эта тенденция не может сохраняться вечно, и уже с 90-х годов XX века разные  
специалисты периодически высказывают мысль о том, что в своем развитии  
микроэлектроника вплотную подошла как к технологическому пределу увеличения размеров кристаллов СБИС и УБИС, так и к дальнейшему повышению «плотности» размещения компонентов на кристалле.  
Развитие микроэлектроники началось с изготовления микросхем, содержащих несколько десятков компонентов с минимальными размерами 25 мкм, сегодня эта цифра в соответствии с законом Мура составляет миллиарды компонентов размером порядка 22 нм. В связи со стремительным развитием микросхемотехники улучшаются  
такие показатели микросхем, как скорость переключения, плотность интеграции, возможность реализации систем на кристалле.  
Среди множества конструкторско-технологических проблем, которые приходится решать при проектировании и производстве микроэлектронных изделий,можновыделить пять основных.  
1)На первом месте стоит проблема уменьшения размеров элементов интегральных  
схем и увеличение площади обрабатываемых подложек.  
2)На втором месте в ряду актуальных задач микроэлектроники стоит проблема внутренних соединений. Огромное число элементов микросхемы, размещенных на подложке, должно быть коммутировано между собой таким образом, чтобы обеспечить надежное и правильное выполнение определенных операций над сигналами.  
3)На третьем месте расположена проблема теплоотвода.  
4)Четвертой в списке следует указать проблему дефектов подложки.  
5)Последней в списке, но, пожалуй, первой по значимости следует назвать проблему контроля параметров. В настоящее время на пути решения каждой группы перечисленных проблем  
достигнуты определенные успехи. Решающее значение повышения степени

интеграции СБИС и УБИС имеют разработка и практическая реализация  
конструкторско-технологических решений, позволяющих подняться на качественно новый уровень разработок. В качестве характерного примера таких решений можно привести применение в современных СБИС функционально-интегрированных элементов, которые в одной полупроводниковой области совмещают функции  
нескольких простейших элементов (например, у транзистора можно совместить коллекторную нагрузку и сам коллектор).

**49.Опишите методы вычислительной литографии.**

Вычислительная литография представляет собой набор математических и  
алгоритмических подходов, разработанных для улучшения разрешения, достигаемого с помощью фотолитографии.  
То есть это использование масок, рисунок которых вычислен с учетом волновых свойств света с целью добиться большего разрешения или меньших искажений при данной длине волны.  
Первые подобные программы были написаны в начале 80-х и использовались лишь для оптимизации рисунка маски, т. к. недостаток вычислительной мощности позволял моделировать площадь всего в несколько квадратных микрон. К 1998 г., когда  
замаячил переход на 180 нм, тогда мощность компьютеров уже сильно возросла, что позволило использовать более точные алгоритмы и модели. Для современных технологических норм требуются уже тысячи процессоров и недели расчетов, чтобы  
вычислить рисунки для десятков масок, необходимых самых сложным ИС.  
\*К основным методам вычислительной литографии\* относятся фазосдвигающие маски (PSM) и оптическая коррекция близости (OPC).  
Суть первой заключается в коррекции толщины отдельных пикселей маски для изменения их прозрачности, что изменяет фазу проходящего сквозь них света. В результате достигается больший контраст между экспонированными и неэкспонированными зонами, что увеличивает разрешающую способность.  
Процесс оптической коррекции близости кардинально отличается от технологии фазосдвигающихся масок. По сути, эти два метода вообще не связаны между собой.  
Одним из самых больших недостатков литографии является то, что рисунок с  
фотомаски переносится на фоторезист с искажениями. Например, ширина полученных линий во многом зависит от плотности шаблона около этих самых линий. В итоге результирующие полосы, как правило, получаются более узкими и располагаются не  
совсем так, как на маске. Технология OPC как раз отвечает за коррекцию искажений. С  
ее помощью создается такая фотомаска, чтобы в итоге все элементы располагались на нужных позициях. пример оптической коррекции близости (орс)

**50.Опишите вторую проблему микроэлектроники**

.  
На втором месте в ряду актуальных задач микроэлектроники стоит проблема внутренних соединений. Огромное число элементов микросхемы, размещенных на  
подложке, должно быть коммутировано между собой таким образом, чтобы обеспечить  
надежное и правильное выполнение определенных операций над сигналами. Этот  
вопрос решается с помощью многоуровневой разводки, когда на первом уровне  
формируют логические вентили, на втором - отдельные цифровые узлы типа  
триггеров, на третьем - отдельные блоки (например, регистры) и далее по  
нарастающей степени функциональной сложности.  
Разработчики ИС давно хотели использовать медные межсоединения вместо  
алюминиевых, т.к. удельное сопротивление меди меньше. Это значит, что «медные»  
чипы меньше выделяют тепла и быстрее работают, т.к. меньшая часть коммутируемого  
транзисторами тока уйдет в нагрев, а не в переключение других транзисторов. Однако  
если в линиях электропередач и прочих проводах медь применяется давно, то  
микроэлектроника не могла внедрить столь полезный металл десятки лет. Причина в  
том, что после осаждения меди при дальнейших процессах нагрева она диффундирует  
в подлежащие элементы, особенно в кремний, что даже по- лучило термин «медное  
отравление».

Среди примеров следует отметить 3D-корпусирование - метод корпусирования  
кристаллов микросхем и других изделий микротехнологий, при котором кристаллы  
монтируются друг на друга с электрической разводкой вне плоскости кристаллов.  
Метод позволяет увеличить степень интеграции, т. е. при одинаковой площади изделия  
существенно увеличить его производительность за счет использования нескольких  
кристаллов, смонтированных друг на друга

**51. Опишите транзисторную структуру с высокой подвижностью электронов**

(НЕМТ - High Electron Mobility Transistor)-при конструировании высокочастотных полевых транзи- сторов возникла проблема падения подвижности при повыше- нии концентрации носителей в канале, необходимой при ма- лой длине канала. Роль подзатворного диэлектрика в НЕМТ выполняет широкозонный полупроводник (AlGaAs), который вследствие искривления энергетической диаграммы при разрыве зон остается полностью обедненным электронами даже при высокой степени легирования. Толщина канала в НЕМТ чрезвычайно мала. При малой эффективной массе электронов (0,067 т0) это приводит к сильному квантованию движения электронов в направлении, нормальном к границе гетерослоя и формированию энергетических подзон, расстояние между ко- торыми достаточно велико. Пороговое напряжение НЕМТ определяется толщиной dH и степенью легирования гетерослоя AlGaAs. Разновидностью НЕМТ являются приборы с обращен- ной структурой. В обращенном НЕМТ узкозонный слой GaAs, в котором формируется канал, расположен между барь- ерным контактом и широкозонным гетерослоем AlGaAs.

**52.Опишите Псевдоморфные и метаморфные структуры (р-НЕТ и m-НЕТ)**

Одним из серьезных препятствий на пути реализации возможностей транзисторов с высокой подвижностью элек- тронов на основе GaAs является наличие глубоких ловушек для электронов при высоком уровне содержания алюминия в AlGa1-xAsx. Перспиктивные соединения InGaAs,

InGaP, InAlAs и InP,

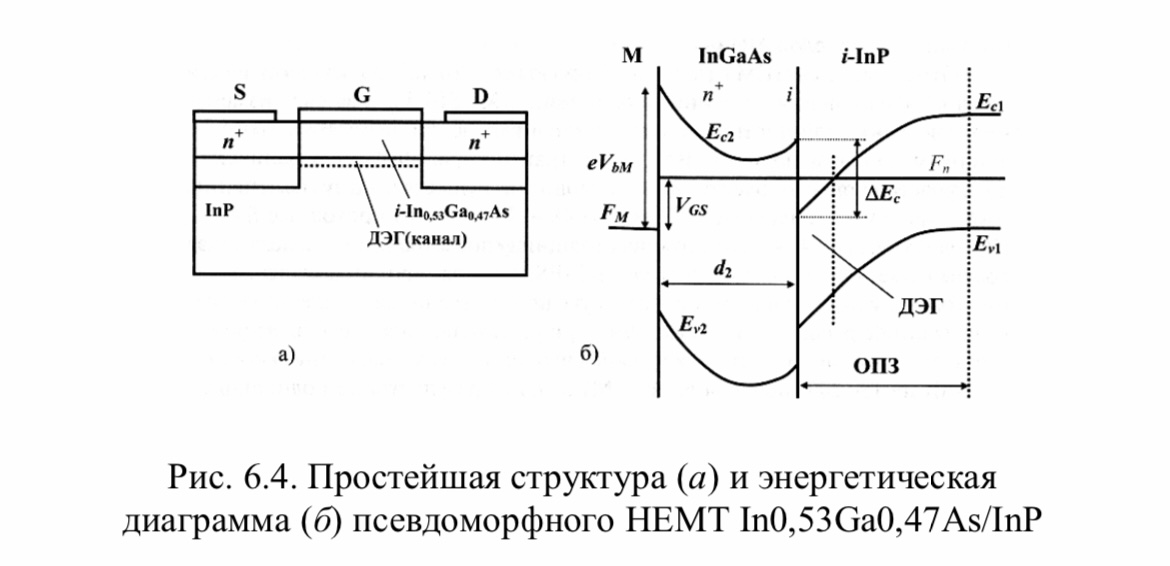
позволившие существенно улучшить характеристики НЕМТ. Наилучшие характеристики получены в псевдоморфных НЕМТ на InP-подложке (структура InGaAs/InP). Простейшая структура и энергетическая диаграмма р-НЕМТ In0,53Ga0,47As/ InP. Высокая стоимость InP подложек стимулировало разра- ботку метаморфных НЕМТ (m-НЕМТ), имеющих структуру AlInAs/InGaAs на GaAs-подложке. В настоящее время характеристики m-НЕМТ почти не уступают р-НЕМТ на InР-подложке. Более того, на СВЧ под- ложка GaAs обладает значительно лучшими диэлектрическими свойствами, чем InP.

Если же слой одного из материалов достаточно тонок, то он способен до определенного предела накапливать энергию упругих напряжений в виде упругих деформаций. В качестве такого слоя целесообразно использовать узкозонный материал, создающий квантовую яму.

Транзисторы, созданные на основе такой структуры получили название псевдоморфных НЕМТ (p-HEMT). Формирование слоя двухмерного электронного газа на границе раздела

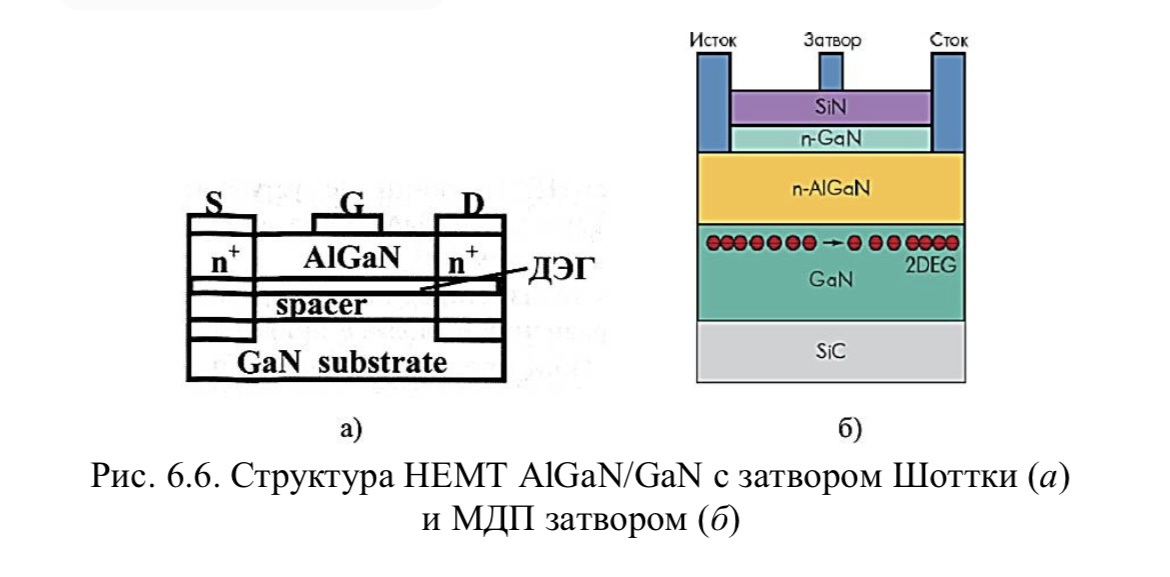
AlGaAs/InGaAs дает возможность использовать в паре с ним

AlGaAs с низким содержанием алюминия (\* = 0,15).



Высокая стоимость InP подложек стимулировало разра-ботку метаморфных НЕМТ (m-HEMT), имеющих структуру AllnAs/InGaAs на GaAs-подложке.

**53.Опишите НЕМТ на подложках из GaN**

Для использования в мощных СВЧ-устройствах, а также в устройствах, предназначенных для работы в жестких экс- плуатационных условиях, значительные преимущества имеют транзисторы на основе широкозонных полупроводниковых соединений - GaN и SiC. Структура НЕМТ AlGaN/GaN схема- тично представлена на рис. 6.6. Канал с ДЭГ формируется в узкозонном слое AlGaN. По частотным и усилительным свойствам НЕМТ AlGaN/GaN уступают транзисторам на соединениях А3В5, од- нако существенно превосходят последние по плотности тока, плотности мощности и рабочим напряжениям сток-исток. Для обеспечения возможности работы транзисторов вблизи точки насыщения (что необходимо для получения высоких кпд и снижения тем самым потребляемой мощности, но ведет к вы- соким токам утечки затвора и ухудшению надежности и уси- ления транзистора) разработаны GaN HEMT с затвором со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)

54.Опишите основное преимущество гетеропереходных биполярных транзисторов (ГБПТ или HBT (англ.)) перед обычным биполярным транзистором

Основное преимущество гетеропереходных биполярных транзисторов (ГБПТ или HBT (англ.)) перед обычным бипо- лярным транзистором - подавление инжекции неосновных но- сителей в эмиттер, что позволяет путем увеличения легирова- ния уменьшить сопротивление базы.

Обычный биполярный транзистор успешно функциони- рует при условии значительно более высокого уровня легиро- вания эмиттерной области по сравнению с уровнем легирова- ния базовой области. Только тогда при прямом смещении на переходе эмиттер - база ток электронов из эмиттера в базу сильно превышает ток дырок из базы в эмиттер. Отношение этих токов характеризует эффективность эмиттерного перехо- да.

Если максимальная концентрация примеси в эмиттере, ограниченная растворимостью и другими факторами, достига- ет значений порядка 1019 см-3, то уровень легирования базы гомопереходного транзистора не должен превышать 1017 см-3. Однако относительно низкий уровень легирования области ба- зы увеличивает сопротивление базы, через которое произво- дится перезарядка коллекторной емкости при переключения транзистора. В конечном счете, низколегированная база суще- ственно ограничивает быстродействие биполярного транзи- стора.

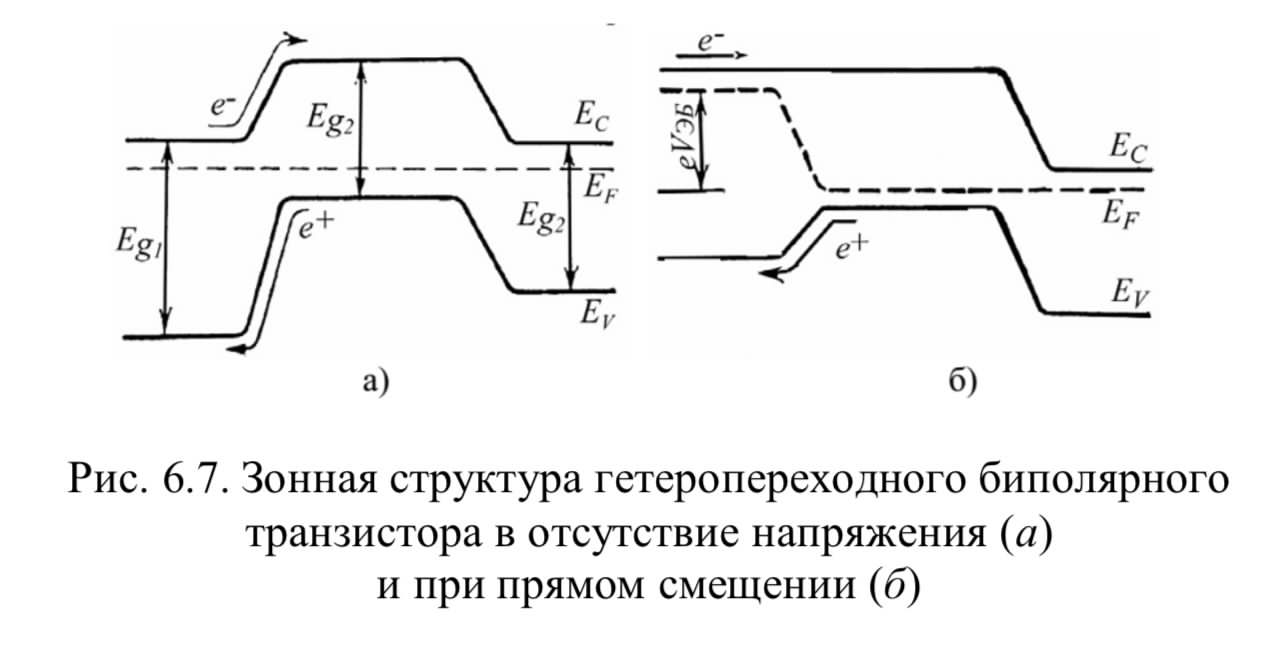
**55. Опишите зонную структуру гетеропереходного транзистора п-р-n-типа.**

￼

Поскольку образующий эмиттер полупроводник имеет более широкую запрещенную зону, чем тот, что образует базу, энергетический барьер для инжекции дырок в эмиттер выше, чем барьер для инжекции электронов из эмиттера в базу (рис. 6.7, а).

При приложении прямого смещения к переходу эмиттер - база барьер для электронного тока исчезает, а барьер для ды- рочного тока составляет значительную величину (рис. 6.7, б). Это обеспечивает высокую эффективность эмиттера независи- мо от уровня легирования базовой области. Наличие энергети- ческого барьера для тока дырок из базы в эмиттер делает воз- можным легирование базы до высокого уровня без уменьше- ния степени инжекции. Уменьшение концентрации примеси в эмиттерной и увеличение в коллекторной областях способст- вуют повышению быстродействия транзистора.

При сравнении факторов, обеспечивающих быстродейст- вие НЕМТ и ГПБТ, отметим отсутствие в последнем фактора сверхвысокой подвижности электронов двумерного электрон- ного газа при движении в плоскости локализации газа. В слу- чае ГПБТ эксплуатируются только возможности уменьшения емкостей переходов и времени пролета через базу, предостав- ляемые разработчику технологией и физикой гетеропереходов.



**56. Опишите интегральные микросхемы на гетеропереходных полевых транзисторах**

Наиболее широкая область применения НЕМТ на полу- проводниках А3В5 - широкополосные системы связи и переда- чи данных, критическими узлами которых являются блоки внешнего интерфейса (front-end circuits) - малошумящие и мощные усилители СВЧ-диапазона, усилители промежуточной частоты с регулируемым усилением, смесители, умножители частоты, фазовращатели и генераторы с управляемой напря- жением частотой.

Оптимальными приборами для построения малошумя- щих полосовых СВЧ-усилителей (МШУ) и широкополосных СВЧ-усилителей являются псевдоморфные и метаморфные НЕМТ, обладающие наилучшими частотными и шумовыми свойствами.

В цифровой технике применение НЕМТ обеспечивает снижение задержки распространения сигнала до 10 - 30 пс при меньшем энергопотреблении, чем на кремниевых ЭСЛ- вентилях. В устройствах конвейерного типа, где логические вентили переключаются с тактовой частотой, применение MESFET и НЕМТ на частотах более 1 - 3 ГГц обеспечивает снижение потребляемой мощности даже по сравнению с крем- ниевыми МДП-вентилями.

В настоящее время рынок микроэлектронных изделий на полупроводниках А3В5 развивается более высокими темпами, чем на кремнии, хотя и ограничен главным образом микровол- новыми ИС средней степени интеграции. Такая ситуация обу- словлена существенно более высокой стоимостью как исход- ного материала, так и производства изделий.

В целом общим правилом может служить тезис: «то, что можно сделать на кремнии, надо делать на кремнии». Стои- мость цифровых БИС и СБИС в значительной степени опреде- ляется процентом выхода годных, который, в свою очередь, определяется дефектностью исходного материала и техноло- гическим разбросом пороговых напряжений транзисторов, ко- торый увеличивается с уменьшением длины каналов. По- видимому, в ближайшее время этот фактор, ограничивающий применение БИС и СБИС на соединениях А3В5, будет нейтра- лизован.