



- *Микроэлектроника* - современное направление электроники, включающее исследование, конструирование и производство интегральных схем (ИС) и радиоэлектронной аппаратуры на их основе.
- Основной задачей микроэлектроники является создание микроминиатюрной аппаратуры с высокой надежностью и воспроизводимостью, низким энергопотреблением и высокой функциональной сложностью.

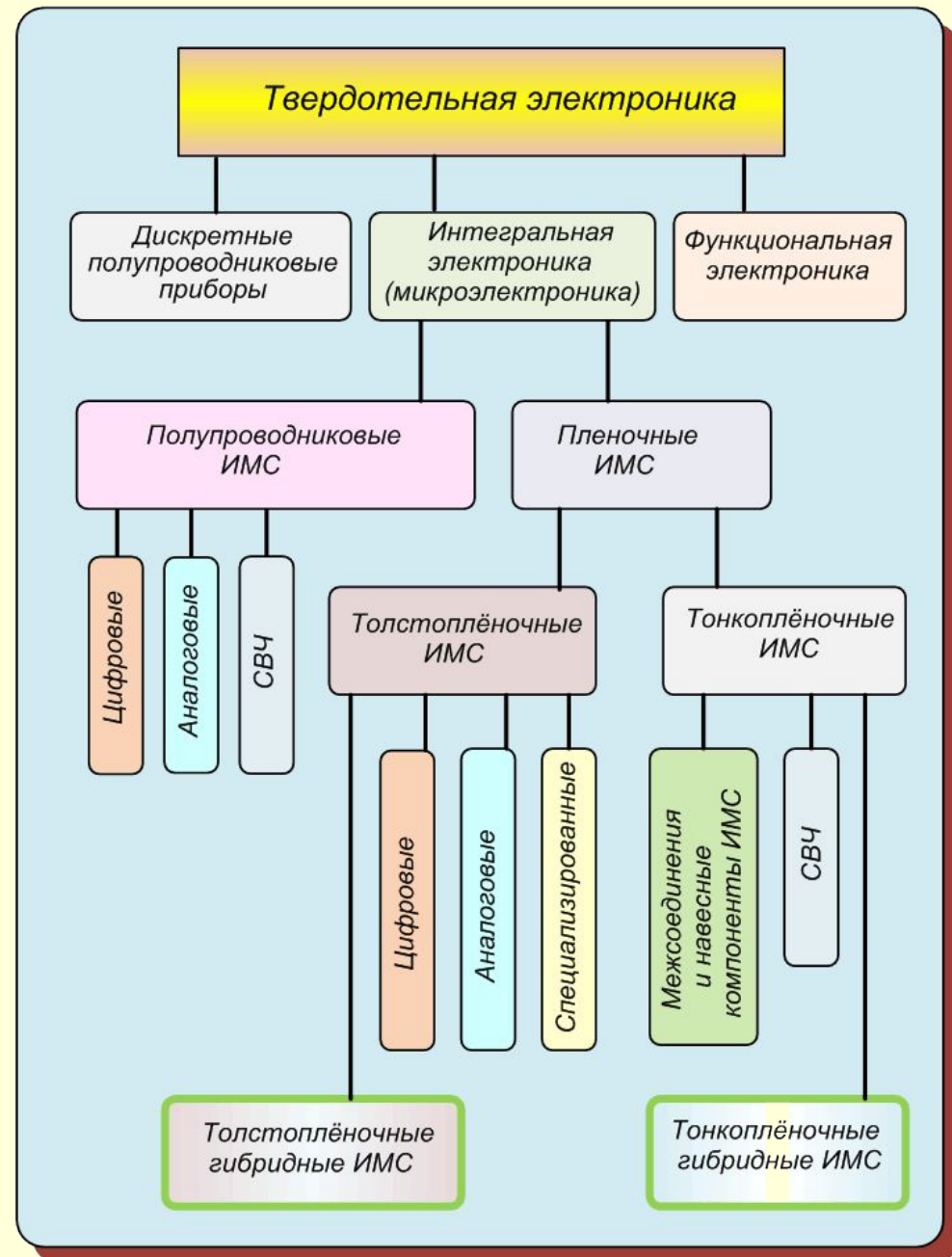
*Интегральная микросхема (ИС)* – микроэлектронное конструктивно законченное изделие, выполняющее определенную функцию обработки сигналов и имеющее высокую плотность размещения электрически соединенных элементов и компонентов.

*Элемент ИС* – часть ИС, выполняющая функцию транзистора, резистора или другого электрорадиоэлемента, изготовленного в едином технологическом цикле (при создании ИС) и не представляющая собой самостоятельного изделия.

*Компонент ИС* – представляет собой самостоятельное комплектующее изделие, которое устанавливается в ИС в процессе ее изготовления. Все элементы ИС и их соединения выполнены в едином технологическом цикле на общей подложке.

# Основные направления развития твердотельной (полупроводниковой) электроники

Центральной задачей микроэлектроники является проблема создания максимально надежных элементов, схем и устройств и разработка надежных и дешевых способов их соединения путем использования качественно новых принципов изготовления электронной аппаратуры. К числу этих принципов относится отказ от использования дискретных компонентов и формирование непосредственно в микрообъемах исходных материалов сложных интегральных микросхем.



# Микроэлектроника

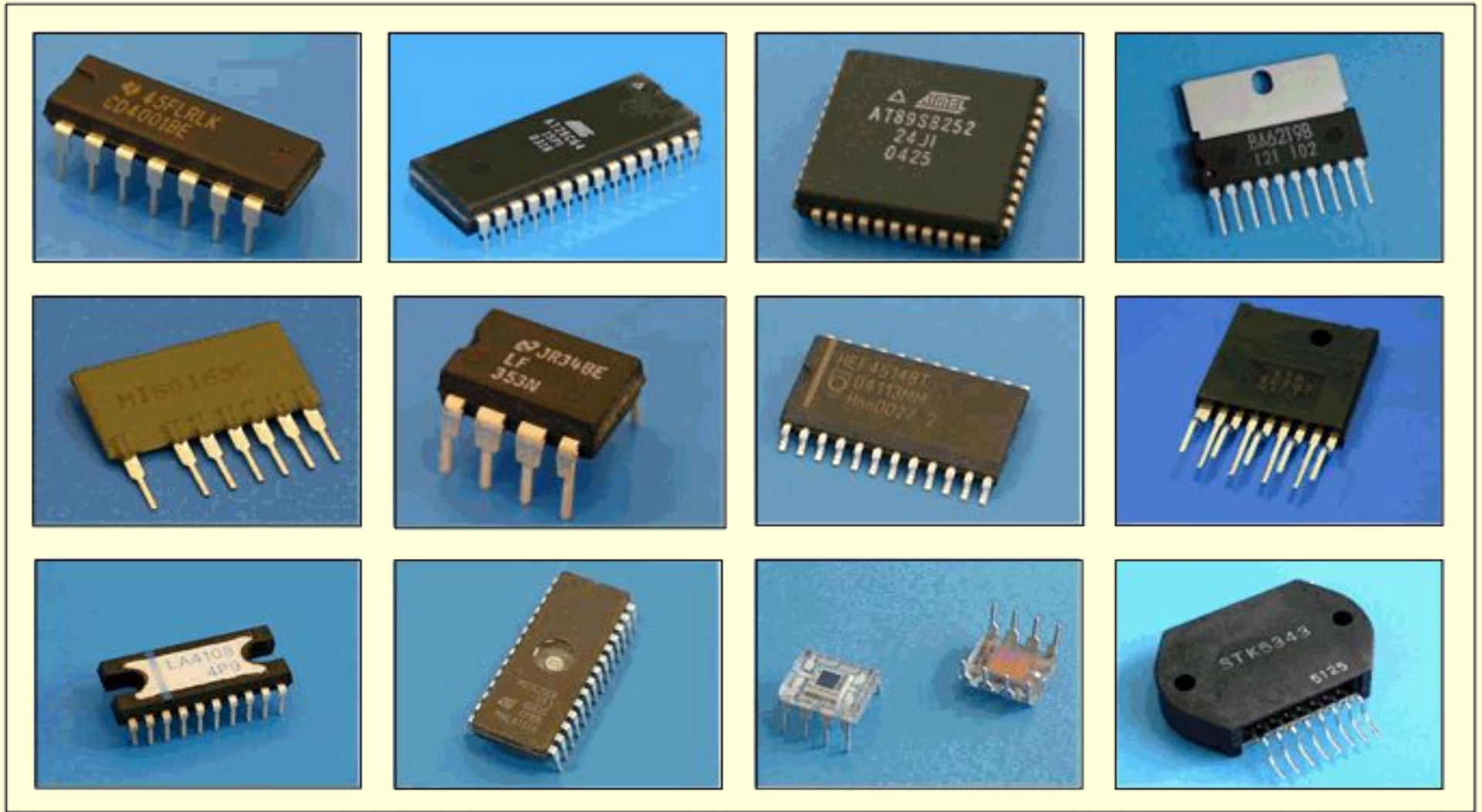
*Микроэлектроника — это область электроники, которая занимается разработкой, изготовлением и применением интегральных микросхем (ИМС) и аппаратуры на основе ИМС*

**Интегральная микросхема (ИМС)** – микроэлектронное, конструктивно законченное изделие, выполняющее определенную функцию обработки сигналов и имеющее высокую плотность размещения электрически соединенных элементов и компонентов.

- Термин "**схема**" в имеет смысл устройства, объекта, а не условного обозначения устройства вместе с условными обозначениями входящих в него элементов, какой придавали ему на более ранних этапах развития электротехники и электроники.
- Термин "**интегральная**" отмечает факт объединения – интеграции – группы радиоэлементов в одном неразделимом на составные части изделии.
- Термин «**микро**» означает , что размеры элементов имеют порядок микрометра
- Познакомимся с основными терминами микроэлектроники, принятыми в нашей стране.

# ВНЕШНИЙ ВИД ИС.

## Конструкции интегральных микросхем



Конструктивно интегральные микросхемы оформляются в металлических пластмассовых или керамических корпусах (рис. 7.1).,

# Основные термины микроэлектроники

---

**Интегральная микросхема (ИМС)** – микроэлектронное, конструктивно законченное изделие, выполняющее определенную функцию обработки сигналов и имеющее высокую плотность размещения электрически соединенных **элементов и компонентов**.

**Элементом** называется часть интегральной микросхемы, в которой реализуется функция какого-либо радиоэлемента (транзистора, диода, резистора и т. д.) и которую нельзя отделить от схемы и рассматривать как самостоятельное изделие. Все элементы ИС и их соединения выполнены в едином технологическом цикле на общей подложке.

**Компонент ИС** – представляет собой самостоятельное комплектующее изделие, которое устанавливается в ИС в процессе ее изготовления. **Компоненты** являются самостоятельными изделиями и могут быть отделены от микросхемы и заменены другими.

**При изготовлении ИМС используется групповой метод** производства, при котором на одной подложке одновременно изготавливается множество однотипных элементов или целых микросхем, что позволяет получить изделия с одинаковыми параметрами.

В некоторых случаях в состав микросхемы входят **компоненты** (конденсаторы, резисторы, бескорпусные транзисторы и др.), которые устанавливаются при сборочно-монтажных операциях

# Основные термины микроэлектроники

---

- **Микросборка** – микросхема, состоящая из различных элементов и (или) интегральных микросхем, которые имеют отдельное конструктивное оформление и могут быть испытаны до сборки и монтажа.
- *Примечание.* Элементы микросборки имеют внешние выводы, могут иметь корпуса и рассматриваться как отдельные изделия.
- **Подложка интегральной микросхемы** – основание, на поверхности или в объеме которого формируются элементы интегральных микросхем.
- **Базовый кристалл** – подложка из полупроводникового материала с определенным набором сформированных в ней и не соединенных между собой элементов, используемая для создания интегральных микросхем путем изготовления избирательных внутрисхемных соединений.
- **Корпус интегральной микросхемы** – часть интегральной микросхемы, предназначенная для ее защиты от внешних воздействий и для монтажа в аппаратуре с помощью соответствующих выводов.

# Классификация ИС по сложности

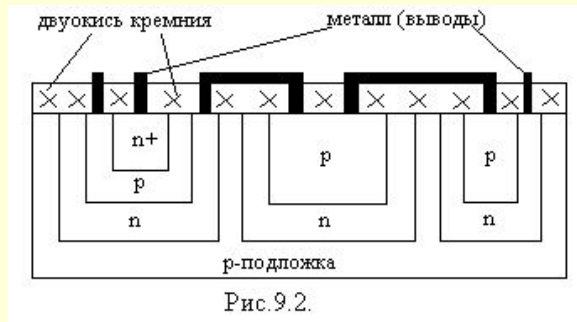
- Сложность интегральных микросхем оценивается **степенью интеграции**, определяемой коэффициентом  $K = \lg N$ , значение которого округляется до ближайшего большего целого числа, где  $N$  – число элементов и компонентов, входящих в микросхему.
- где  $K$  – степень интеграции,  $N$  – число простых элементов в ИМС (обычно транзисторов).
- По степени интеграции ИМС делятся на интегральные схемы:
  - 1-ой степени:  $K=1$   $N \leq 10$  т.е. с числом элементов меньше 10, их называют малыми ИС.
  - 2-ой степени:  $K=2$   $N \leq 10^2$ ; с числом от 10 до 100 их называют средними ИС.
  - 3-ой степени:  $K=3$   $N \leq 10^3$  – их называют большие ИС т.е. БИС;
  - 4-ой степени:  $K=4$   $N \leq 10^4$  - их называют большие ИС т.е. БИС;
  - 5-ой степени:  $K \geq 5$   $N \leq 10^5$  - их называют сверхбольшие ИС т.е. СБИС.
- На смену СБИС, относящимся к интегральным схемам четвертого поколения, приходит пятое поколение – так называемые УБИС (ультрабольшие интегральные схемы), содержащие на одной подложке до нескольких миллионов активных элементов ( $>10^6$  элементов).
- Сложность ИС характеризуется, также **плотностью упаковки**, т.е. числом элементов в единице объема или на единице площади **окристалла**.

# Классификация ИС по конструктивно-технологическим признакам

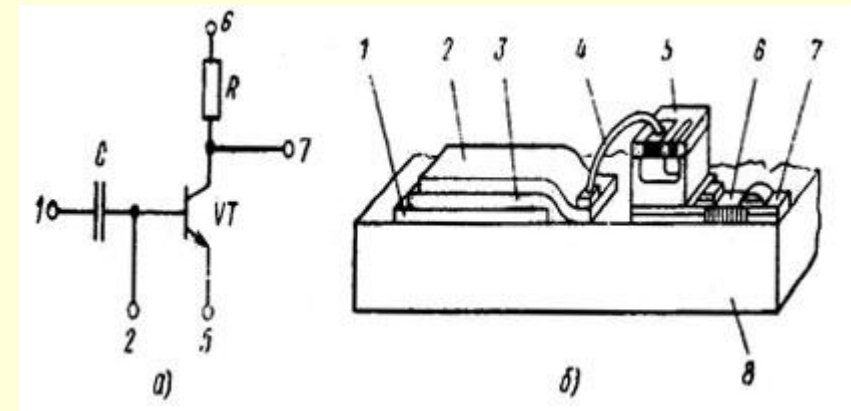
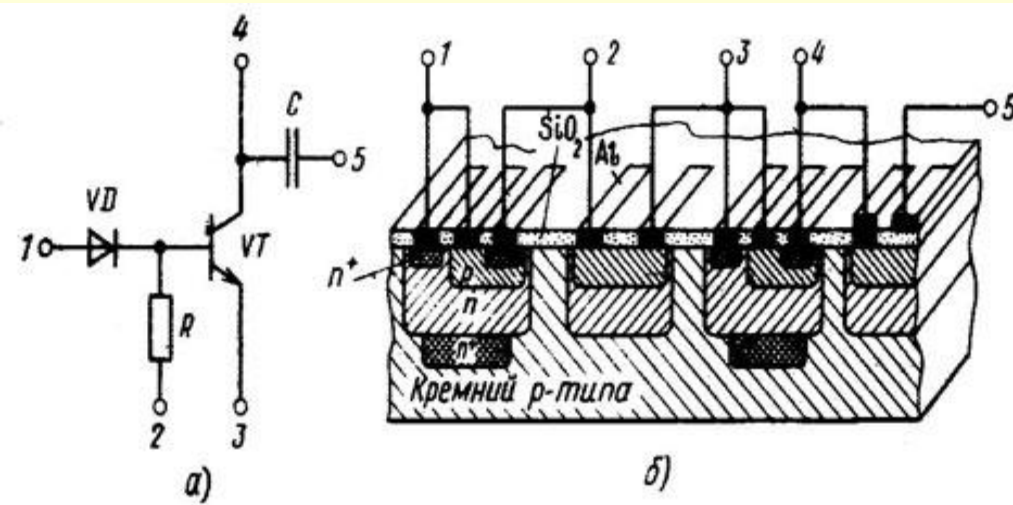
- Интегральные микросхемы по конструктивно-технологическим признакам разделяют на *полупроводниковые (монолитные), пленочные, гибридные и совмещенные*.
- **Полупроводниковая интегральная микросхема** – интегральная микросхема, элементы которой выполнимы в объеме или на поверхности полупроводникового материала, на так называемой активной подложки (обычно это монокристалл кремния).
- **Пленочная интегральная микросхема** – интегральная микросхема, элементы которой выполнены в виде пленок, нанесенных на поверхность диэлектрического материала (пассивную подложку). Их разделяют на тонкопленочные и толстопленочные.
- **Тонкопленочная интегральная микросхема** – пленочная интегральная микросхема с толщиной пленок до  $1 \cdot 10^{-6}$  м.
- **Толстопленочная интегральная микросхема** – пленочная интегральная микросхема с толщиной пленок свыше  $1 \cdot 10^{-6}$  м.
- **В гибридных интегральных** схемах пассивные элементы выполнены в виде пленок, нанесенных на диэлектрическую подложку, а активные элементы являются навесными.
- **Совмещенные интегральные схемы** выполняют на основе полупроводниковых и пленочных микросхем, т. е. активные элементы выполняют, как и в полупроводниковых, а пассивные элементы и межсоединения наносят в виде пленок на ту же подложку. Подложку для обеспечения электрической изоляции подвергают окислению.



## Электрическая схема (а) и профиль структуры (б) полупроводниковой ИС



## Электрическая схема (а) и профиль структуры (б) гибридной ИС



- 1 — выводы диода;
- 2 — выводы резистора;
- 3, 4 — выводы транзистора;
- 5 — выводы конденсатора

- 1 — нижняя обкладка конденсатора;
- 2 — верхняя обкладка конденсатора;
- 3 — слой диэлектрика; 4 — соединительная шина;
- 5 — транзистор с контактами; 6 — резистор с контактами;
- 7 — контактная площадка; 8 — диэлектрическая подложка.

# Классификация ИС по функциональному назначению

По функциональному назначению все интегральные микросхемы принято делить на **аналоговые и цифровые**.

**Аналоговая интегральная микросхема** (аналоговая микросхема) – это интегральная микросхема, предназначенная для преобразования и обработки аналоговых сигналов, сигналов изменяющихся по закону непрерывной функции.

В основе аналоговых интегральных микросхем в частности лежат простейшие усилительные каскады. Используя много каскадов, создают различные усилители, стабилизаторы напряжения и тока, преобразователи частоты, фазы, длительности, генераторы синусоидальных, прямоугольных и других сигналов, а также другие схемы.

**Цифровая интегральная микросхема (цифровая микросхема)** – это интегральная микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

В основе цифровых интегральных микросхем лежат транзисторные ключи, или переключатели тока способные находиться в двух устойчивых состояниях: открытом и закрытом.

Использование транзисторных ключей дает возможность создавать различные логические, арифметические и другие интегральные микросхемы.

Цифровые интегральные микросхемы применяют в устройствах обработки дискретной информации электронно-вычислительных машин (ЭВМ), системах автоматики и т. п.

# Классификация ИС по виду активных элементов

---

- По виду активных элементов различают ИС:
    - на биполярных транзисторах;
    - на полевых МДП-транзисторах (металл диэлектрик проводник);
    - на КМДП-транзисторы (комплиментарных полевых транзисторах со структурой металл-диэлектрик-проводник). комплиментарные - это транзисторы с одинаковыми параметрами, но имеющие разный тип проводимости канала.
-

# Маркировка ИМС

Промышленность выпускает ИМС сериями. Серия объединяет ряд отдельных схем единых по технологическому признаку, согласованных по напряжению питания, уровням входных и выходных сигналов и конструктивному оформлению. Серии ИМС стремятся разрабатывать так, чтобы из входящих в них схем можно было построить законченное устройство.

Маркировка ИМС по ГОСТ состоит из 4 элементов.

**ПРИМЕР: 140 УД 8 А, К140 УД 26 А**                      или                      **К 155 ЛА 3**

**Первый элемент** три или четыре цифры - номер серии (140 или 155). Серия характеризует конструктивно-технологическое деление и состоит из двух частей:

первая цифра дает деление по технологии изготовления: 1, 5, 7 – это полупроводниковые ИМС ( 7 – это бескорпусные ИС); 2, 4, 6, 8 – это ГИМС; 3 – прочие (пленочные) ИМС.

две или три следующие цифры номера серии означают порядковый номер разработки ИМС.

**Второй элемент** - две буквы – это функциональное назначение ИМС.

Например, УД – операционный усилитель; ПС – аналоговый перемножитель; ЛА – логический элемент «И-НЕ»; ЛЕ – логический элемент «ИЛИ-НЕ»; ЕН – линейный стабилизатор напряжения; ЕП – Импульсный стабилизатор напряжения.

**Третий элемент** - две цифры. Это порядковый номер разработки в данной серии.

**Четвертый элемент** - буква. Она характеризует деление по параметрическим группам.

Иногда перед условным обозначением стоит буква «К», это значит микросхема широкого применения, если буквы нет, то это ИС специального назначения.

Иногда перед условным обозначением стоят две буквы – они указывают тип корпуса. Например: КМ – тип корпуса, КР – пластмассовый корпус, КМ – керамо-металлический, КЕ – металло-полимерный: **КМ 155 ЛА 3**

# ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ

- **Характерной особенностью полупроводниковой интегральной схемы** является отсутствие среди ее элементов конденсаторов с большой емкостью, катушек индуктивности и тем более трансформаторов. Это объясняется тем, что до сих пор не удалось использовать в твердом теле какие-либо физические явления, эквивалентные электромагнитной индукции. Поэтому при разработке ИС стараются реализовать необходимую функцию без использования индуктивностей или применяют навесные индуктивные элементы. В качестве резисторов и конденсаторов в полупроводниковых ИС используют соответственно сопротивление и зарядную емкость  $p$ - $n$ -перехода, что позволяет обеспечить единый технологический цикл изготовления структур транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов при производстве полупроводниковых ИС.
- **В настоящее время различают два класса полупроводниковых ИС:**
  - биполярные ИС;
  - МДП-ИС.
  - *Основной элемент биполярных ИС —  $n$ - $p$ - $n$ -транзистор, а МДП-ИС — МДП-транзистор с индуцированным каналом. Все остальные элементы схемы (диоды, резисторы и конденсаторы) изготавливают на базе основного элемента и одновременно с ним.*

# 10.1. Интегральные транзисторы

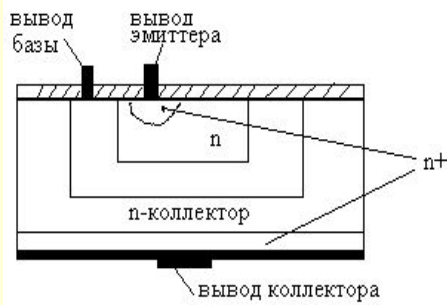


Рис. 10.1.



Рис. 10.2.

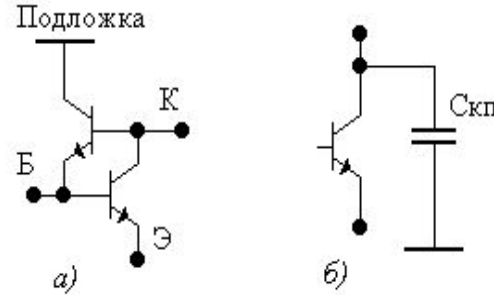
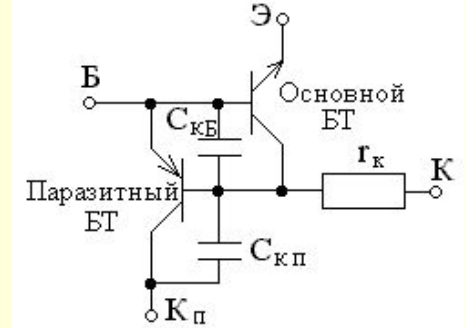


Рис. 10.3.



Транзисторы полупроводниковых ИС имеют ряд особенностей по сравнению с дискретными транзисторами. На рис. 10.1 показано схематически устройство дискретного, а на рис. 10.2 интегрального транзисторов.

**Сравнивая эти рисунки, можно заметить следующие различия.**

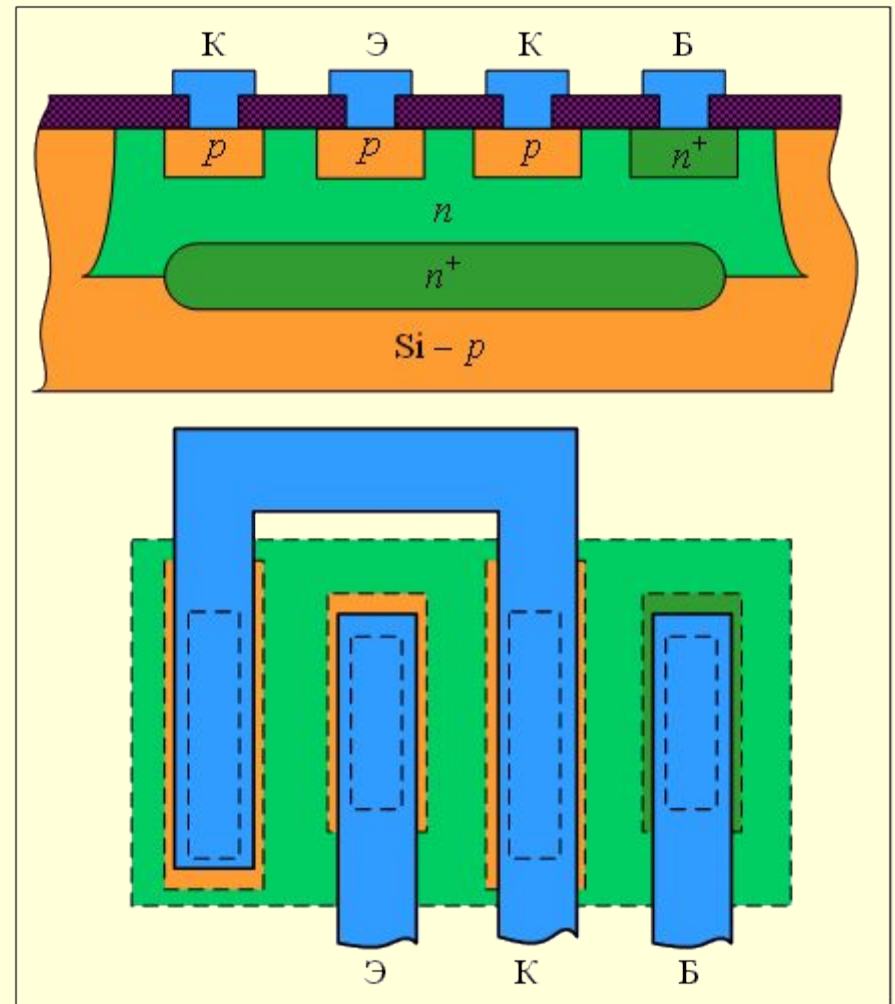
1. В дискретном транзисторе вывод коллектора сделан снизу, что соответствует направлению движения электронов от эмиттера к коллектору. При изготовлении микросхем используется планарная технология, все выводы оказываются сверху, поэтому путь электронов от активной области коллектора к выводу удлиняется. В результате сопротивление коллектора у интегрального транзистора больше, чем у дискретного, что ухудшает частотные параметры.

2. Другая особенность обусловлена тем, что интегральный транзистор создается на общей подложке с другими элементами микросхемы. Это приводит к тому, помимо основного n-p-n - транзистора появляется паразитный p-n-p - транзистор. Из рис.10.2 видно, что эмиттером паразитного является база основного (p -область); базой паразитного — коллектор основного транзистора коллектором паразитного — подложка. Эквивалентную схему интегрального транзистора с учетом паразитной структуры можно представить в виде рис.10.3а. вывод коллектора

Обычно  $\alpha$  паразитного транзистора достаточно мал ( $\alpha < 0,1$ ), тогда влиянием паразитного транзистора можно пренебречь и учитывать только влияние емкости  $C_{кп}$  между коллектором и подложкой.. Указанные особенности ухудшают параметры интегрального транзистора.

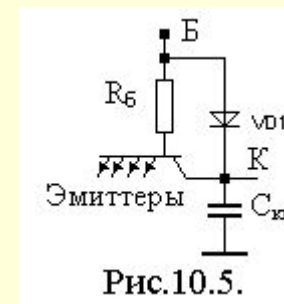
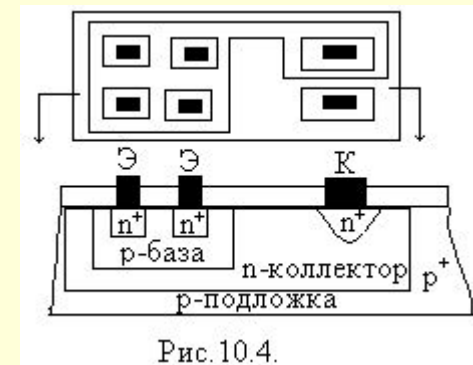
# интегральный транзистор $p-n-p$ -типа

Основным приемлемым вариантом интегрального транзистора  $p-n-p$ -типа является так называемый **горизонтальный** или **боковой транзистор** (рис. 7.4). Для его формирования не надо вводить дополнительных технологических операций, так как  $p$ -области его эмиттера и коллектора получаются одновременно при создании  $p$ -области базы транзистора  $n-p-n$ -типа. Однако горизонтальный  $p-n-p$ -транзистор оказывается бездрейфовым из-за однородного легирования его базовой области – эпитаксиального слоя. Толщина активной части базы горизонтального транзистора получается относительно большой. Все это приводит к посредственным частотным свойствам горизонтального транзистора: его граничная частота не превышает обычно нескольких десятков мегагерц.



# Многоэмиттерный транзистор

- Многоэмиттерный транзистор — это интегральный элемент, не существовавший в дискретной электронике.
- Устройство многоэмиттерного транзистора показано на рис. 10.4.
- В общей базовой области расположены несколько эмиттеров. Базовая р-область имеет отросток, в конце которого сделан вывод базы, находящийся близко к выводу коллектора. Сопротивление базового отростка  $R_b = 150 \dots 300 \text{ Ом}$ , поэтому р-п-переход между коллектором и основной областью базы соединяется с выводом базы через сопротивление, а р-п-переход между коллектором и отростком базы подключен непосредственно к выводу базы. Такая особенность топологии многоэмиттерного транзистора уменьшает инверсный коэффициент передачи, что оказывается полезным при использовании таких транзисторов в логических схемах. В остальном, многоэмиттерный транзистор подобен сборке из нескольких обычных транзисторов, у которых все коллекторы соединяются в одной точке схемы, все базы — в другой, а эмиттеры имеют отдельные выводы. На рис. 10.4 знаком «+» отмечены области с повышенной концентрацией примеси. Эквивалентная схема многоэмиттерного транзистора показана рис. 10.5.





# Транзистор с диодом Шоттки.

- Диодом Шоттки (ДШ) называют диод, образованный контактом металл-полупроводник. При определенном соотношении работ выхода металла и полупроводника такой контакт является выпрямляющим. Вольтамперная характеристика ДШ сдвинута по оси напряжений влево, т.е. он открывается при напряжении приблизительно 0,2 В, что на 0,36 В меньше напряжения на открытом кремниевом p-n-переходе.
- Структура транзистора с диодом Шоттки показана на рис.10.6.
- Из рис. 10.6 видно, что вывод базы расширен в сторону коллектора, но это не прямое соединение двух областей. Вывод базы имеет металлический подслой, создающий на границе с n-областью коллектора диод Шоттки.
- Условное обозначение и эквивалентная схема транзистора Шоттки показаны на рис.10.7.
- Коллекторный переход при отпирании (т.е. в режиме насыщения) шунтируется ДШ, открываемым при 0,2 В. Это приводит к уменьшению времени рассасывания и увеличивает быстродействие транзистора в импульсном режиме. Транзисторы с диодом Шоттки применяются в цифровых интегральных схемах.

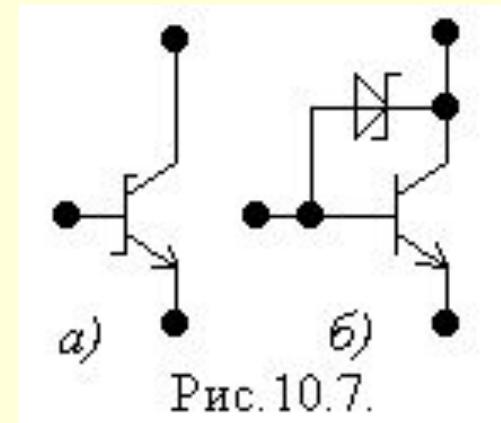
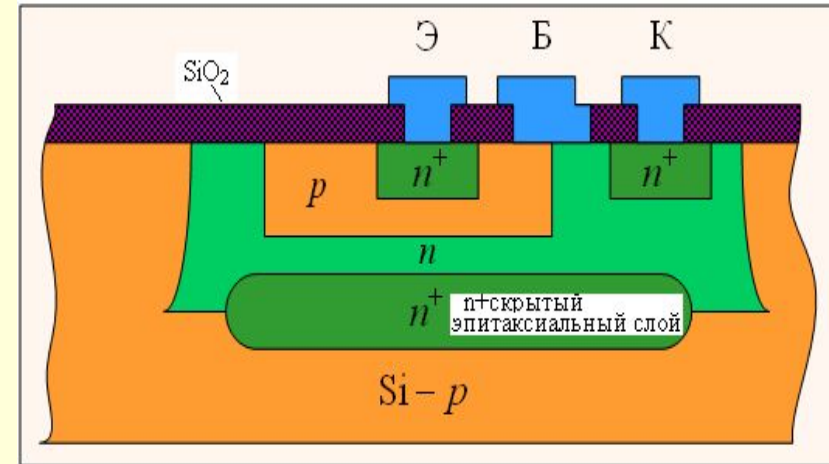
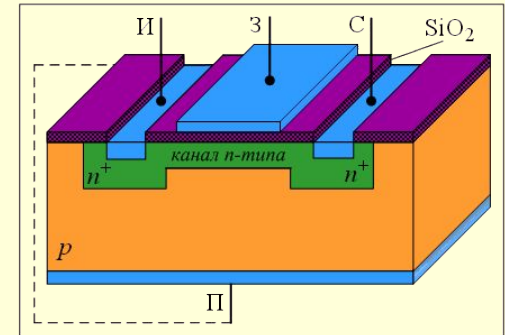


Рис.10.7.

# Полевые транзисторы ППИС

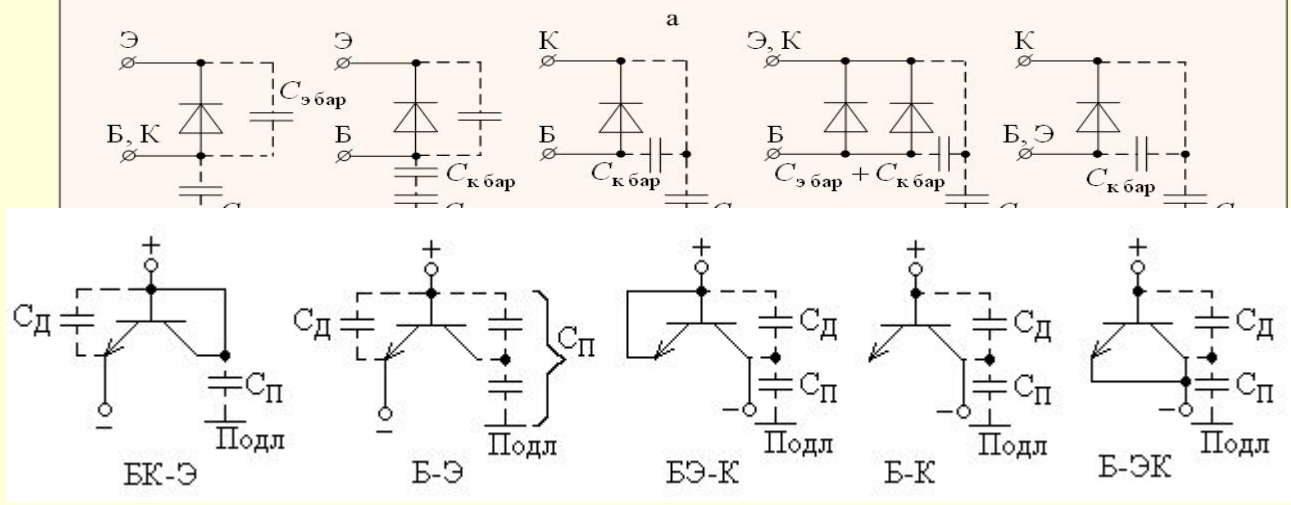
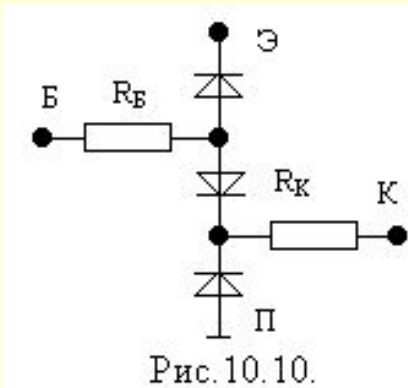
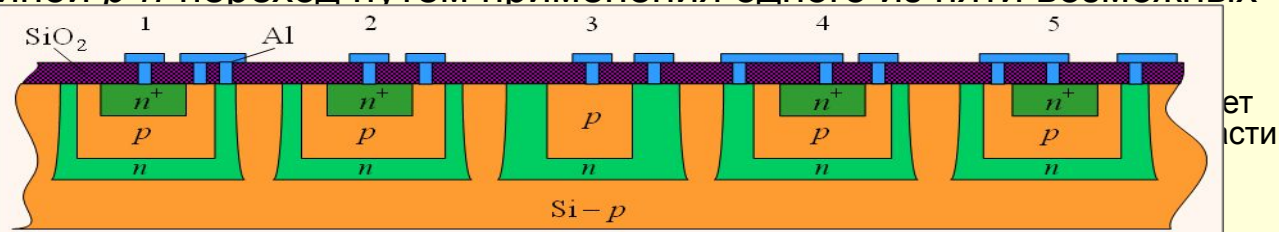
- 7.1.3. Полевой транзистор с изолированным затвором.
- МДП-транзисторы их можно формировать без специальных островков в монокристалле интегральной микросхемы, что упрощает технологию – уменьшает число технологических операций, удешевляет интегральные микросхемы и дает возможность увеличить плотность упаковки.
- Другая особенность и преимущество МДП-транзисторов в качестве активных элементов интегральных микросхем состоит в том, что при нулевом напряжении на затворе МДП-транзистора с индуцированным каналом ток стока практически отсутствует, т. е. мощность транзистором потребляется только во время подачи напряжения на затвор. Это уменьшение потребляемой мощности интегральных микросхем на МДП-транзисторах с индуцированным каналом особенно существенно для создания логических интегральных микросхем. Важным также является то обстоятельство, что цифровые интегральные микросхемы могут быть построены целиком на гальванически соединенных между собой МДП-транзисторах без использования других элементов.



# 10.2. Диоды полупроводниковых микросхем

- Для создания диода достаточно сформировать только один  $p-n$ -переход. Однако диодам в интегральных микросхемах придают транзисторную структуру и в зависимости от конкретного назначения используют тот или иной  $p-n$ -переход путем применения одного из пяти возможных вариантов включения (рис. 7.6).

- В первом варианте (1) используется эмиттерный переход, а коллекторная цепь разомкнута, как в этом случае происходит только в базовой области, а исключена шунтированием коллекторного

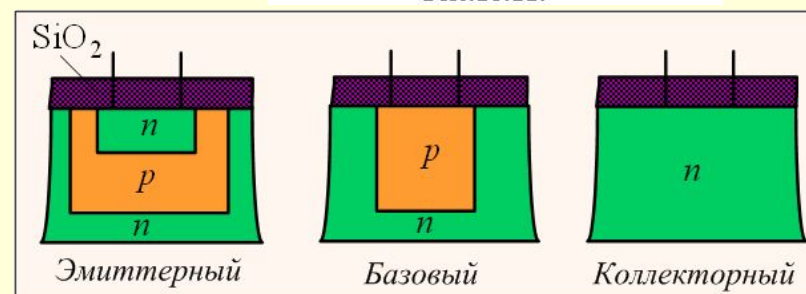
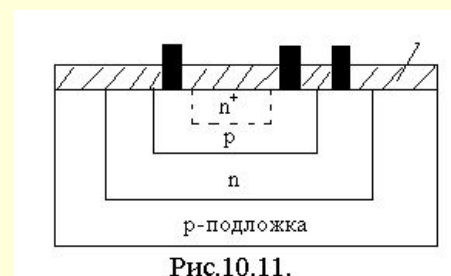


- **Рис. 7.6. Варианты диодного включения транзистора**
- Во втором варианте (2) используется эмиттерный переход, а коллекторная цепь разомкнута.
- В третьем варианте (3) используется коллекторный переход, а эмиттерной области при этом может и не быть, т. е. этап диффузии примесей для формирования эмиттерной области может быть исключен из технологического процесса. Если же эмиттерная область сформирована, то цепь эмиттера остается разомкнутой. Коллекторная область обычно является относительно высокоомной, поэтому такой диод имеет достаточно высокое пробивное напряжение ( $V_{BR}$ ). Площадь коллекторного перехода значительно больше площади эмиттерного перехода, поэтому использование коллекторного перехода в качестве диодной структуры дает возможность пропускать большие прямые токи.
- В четвертом варианте (4) эмиттерную и коллекторную области соединяют между собой, т. е. эмиттерный и коллекторный переходы включают параллельно. Допустимый прямой ток при этом оказывается еще больше, но увеличивается также и суммарная барьерная емкость.
- В пятом варианте (5) используется коллекторный переход, а эмиттерный короткозамкнут.

# 10.3. Пассивные элементы полупроводниковых микросхем.

## • Диффузионный резистор.

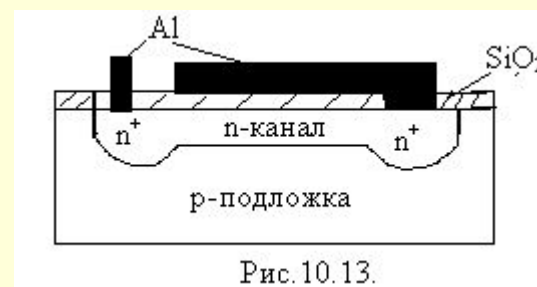
В полупроводниковых интегральных микросхемах биполярный транзистор является элементом с самой сложной структурой. Для его формирования необходимо провести последовательно несколько этапов диффузии примесей. Чтобы не усложнять технологию изготовления интегральной микросхемы, целесообразно для создания резисторов использовать одну из областей транзисторной структуры: эмиттер, базу или коллектор (рис. 7.8).



Транзисторные структуры, используемые в качестве резисторов

## • МДП-резистор.

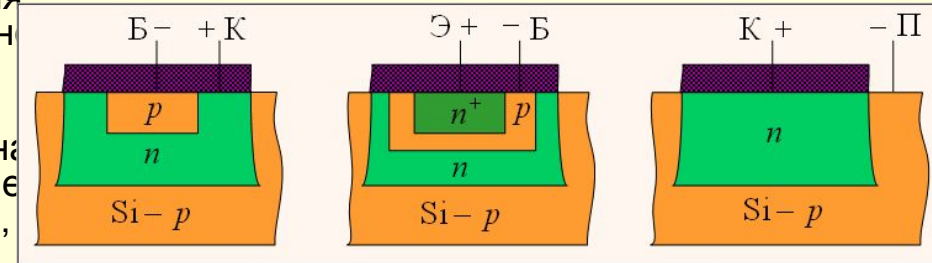
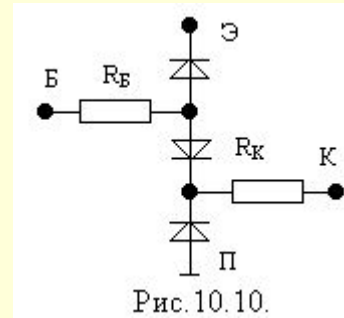
- В схемах на полевых транзисторах в качестве резистора используется сопротивление канала МДП структуры. Металлическая пленка, выполняющая роль затвора, может отсутствовать. В цифровых интегральных схемах обычно затвор МДП-резистора соединяется со стоком (рис. 10.13). Максимальное сопротивление МДП-резисторов –  $10^5 \dots 10^6$  Ом.



## 10.3. Пассивные элементы полупроводниковых микросхем.

### • Диффузионный конденсатор.

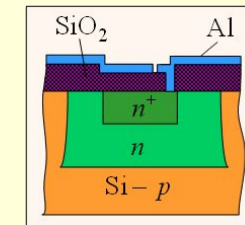
- Транзисторная n-p-n-структура содержит рис. 10.10(с учетом подложки) три p-n-перехода. Любой из них обладает барьерной емкостью и может использоваться в качестве конденсатора. При этом на p-n-переходе должно быть обратное напряжение.
- Значение емкости зависит от величины обратного напряжения поэтому для получения постоянной емкости на выводы должны быть подано постоянное обратное смещение, превышающее амплитуду сигнала.
- Параметрами диффузионного конденсатора являются удельная емкость  $C_0$ , максимальная емкость  $C_{max}$ , допустимое отклонение от номинала, %, температурный коэффициент емкости (ТКЕ), напряжение пробоя  $U_{пр}$ , добротность  $Q$ .
- Достоинство диффузионного конденсатора — технологическая совместимость с биполярными транзисторами; недостаток — необходимость однополярного включения.



Структуры диффузионных конденсаторов

### • МДП-конденсатор.

- МДП-конденсатор по структуре принципиально не отличается от МДП-транзистора. Конструктивные отличия сводятся к тому, что канал имеет только один вывод, а толщина диэлектрика ( $SiO_2$ ) над каналом уменьшается до 0,08...0,12 мкм. Роль обкладок выполняют n+-область, аналогичная каналу МДП-транзистора и алюминиевая пленка, подобная затвору (рис.10.15).
- Преимуществом МДП-конденсаторов перед диффузионными является возможность работы при любой полярности напряжения.
- Структура и эквивалентная схема МДП-конденсаторов показаны на рис. 10.15, а параметры даны в таблице 10.2.



Структура МДП- конденсатора

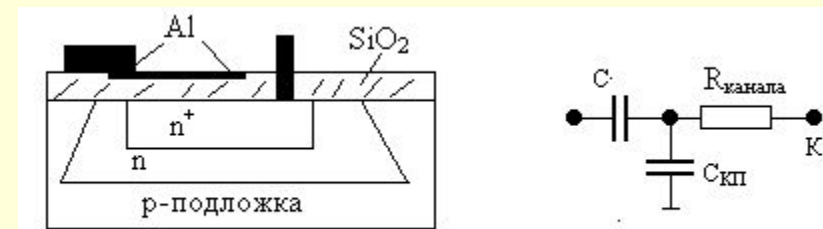


Рис.10.15.

# ЭЛЕМЕНТЫ ГИБРИДНЫХ МИКРОСХЕМ

## 11.1. Пленочные резисторы

- Пленочный резистор выполнен в виде пленки из резистивного материала с металлическими контактными площадками на концах (рис. 11.1а). На рис.11.1б показаны линейные размеры резистивного слоя.
- Сопротивление резистора определяется формулой:

$$R = \rho L / S \quad (11.1)$$

- где  $\rho$  — объемное удельное сопротивление,  $L$  — длина,  $b$  — ширина резистора,  $S$  — площадь поперечного сечения.
- При заданной технологии глубина  $h$  является величиной постоянной, поэтому (11.1) можно записать в виде:

$$R = \rho_c K_f \quad (11.2)$$

- Здесь  $\rho_c = \rho / h$  - удельное поверхностное сопротивление слоя, измеряемое в омах на квадрат (Ом/);  $K_f$  - коэффициент формы, численно равный числу квадратов на поверхности резистивного слоя. Заметим, что это не число квадратных мм или см, а минимальное число квадратов, которое можно разместить на поверхности слоя.
- Удельное поверхностное сопротивление слоя тонких пленок для некоторых материалов дано в табл. 11.1.
- При расчете топологии резисторов выбирают материал, затем определяют коэффициент формы  $K_f = R / \rho_c$ . Если  $1 < K_f < 10$ , то форма резистора прямоугольная. Выбирая ширину резистора  $b$ , находят длину  $L = K_f b$ . При этом ширина должна быть не менее минимально допустимой по технологии.
- Если  $K_f > 10$ , то резистор выполняется в форме меандра или в виде нескольких прямоугольных отрезков, соединенных последовательно перемычками из проводящих пленок, как показано на рис.11.2а.
- Если  $K_f < 1$ , форма резистора соответствует рис.11.2., т.е.  $L < b$ . Значения  $K_f < 0,1$  и  $K_f > 50$  не рекомендуется.

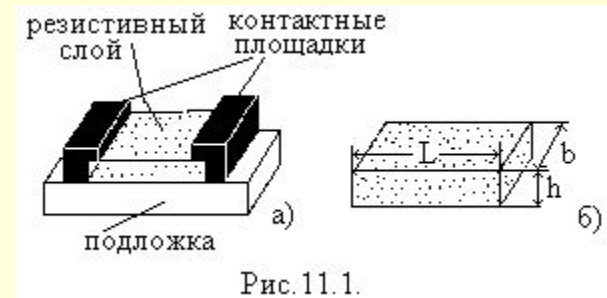
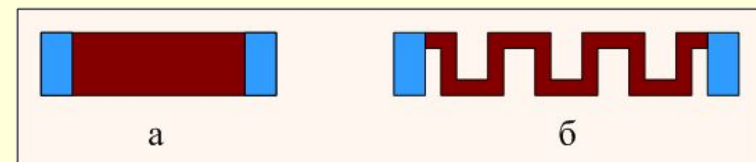


Рис. 11.1.



•Таблица 11.1.

Материал	Удельное поверхностное сопротивление $\rho_c$ , Ом/	Диапазон значений, Ом
Нихром	300	50...30 000
Сплав МЛТ-3М	500	50...50 000
Кермет	3000...10 000	1000... 10 000 000
Тантал	20...100	100...10 000
Сплав РС-3001	1000...2000	100...100 000



Рис. 11.2.

## 11.2. Пленочные конденсаторы

- Структура (разрез) пленочного конденсатора и его топология показаны на рис. 11.3а и 11.3б.
- В качестве диэлектрика используют материалы, обеспечивающие достаточную удельную емкость  $C_0$ . Некоторые из них приведены в табл.11.2.
- Емкость плоского конденсатора равна:

$$C = 0,0884 \varepsilon S / d \quad (11.3)$$

- где  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость,  $S$  - площадь фигуры перекрытия верхней и нижней обкладок,  $d$  - толщина диэлектрика.
- При заданной толщине и заданном материале диэлектрика эту формулу можно записать так:

$$C = C_0 S \quad (11.4)$$

- При заданной емкости расчет топологии сводится к выбору диэлектрика и нахождению площади верхней пластины. Диэлектрик должен выступать за край верхней обкладки на 100...200 мкм.
- При малой потребной емкости конденсатор выполняется в виде двух пересекающихся проводников, разделенных диэлектриком.
- Кроме пленочных конденсаторов, в гибридных микросхемах часто используют миниатюрные навесные конденсаторы.

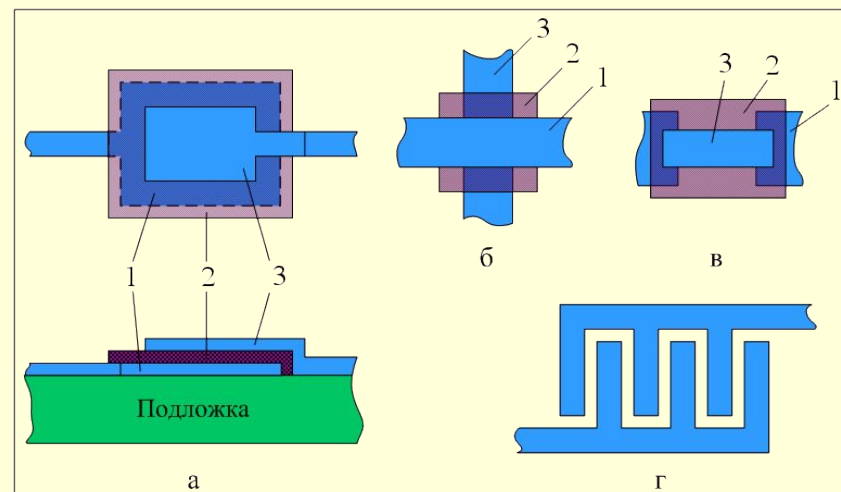


Рис. 7.12. Конструкции пленочных конденсаторов



Рис. 11.3.

Таблица 11.2

Материал	$C_0$ , пФ/мм <sup>2</sup>	$C_{max}$ , пФ	Добротность Q
SiO <sub>2</sub>	60	1500	200
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1500	40000	30
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4000	100000	30



- **Технологические процессы:**

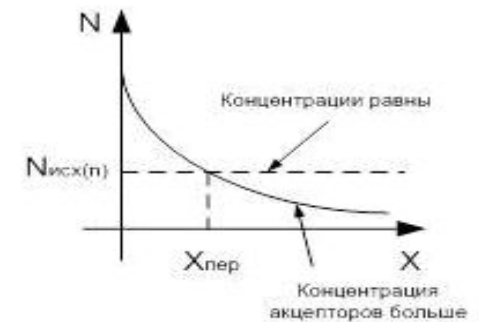
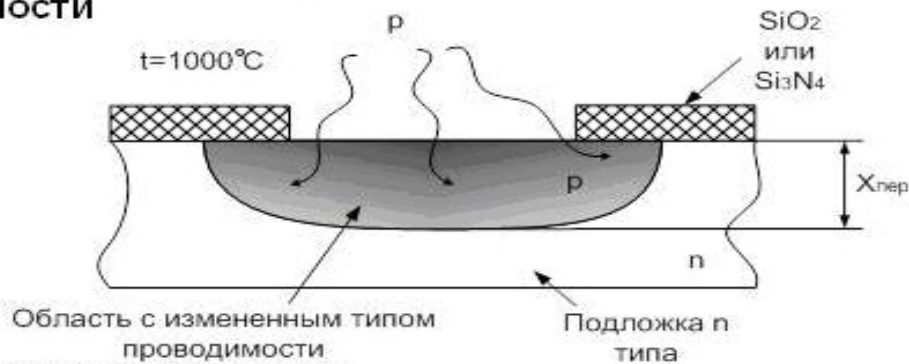
- а) наращивание полупроводникового материала на кремниевой подложке;
- б) термическое окисление кремния для получения слоя окисла  $\text{SiO}_2$ , защищающего поверхность кристалла от внешней среды;
- в) фотолитография, обеспечивающая требуемые конфигурации пленок ( $\text{SiO}_2$ , металл и т.п.) на поверхности подложки;
- г) локальная диффузия – перенос примесных атомов в ограниченные области полупроводника (в настоящее время – ионная имплантация легирующего вещества);
- д) напыление тонких (до 1 мкм) пленок;
- е) нанесение толстых (более 1 мкм) пленок путем использования специальных паст с их последующим вжиганием.



# Основные технологические процессы при создании ППИС

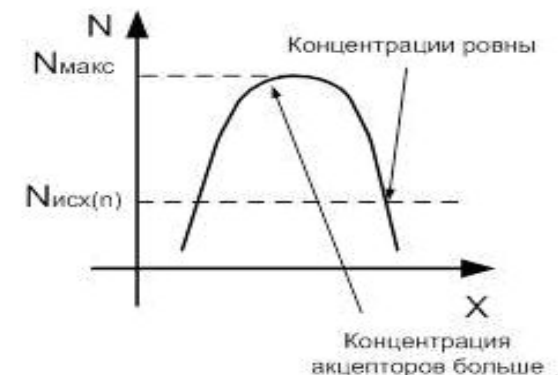
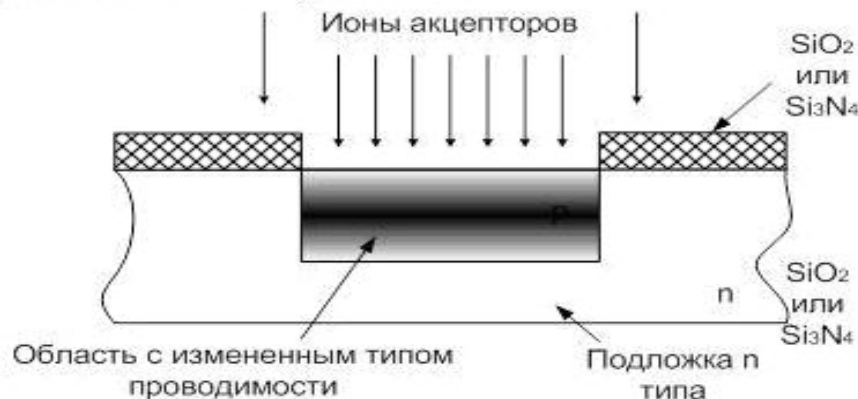
Термическая диффузия примесей:

внедрение атомов легирующего элемента в кристаллическую решетку полупроводника для образования области с противоположным по отношению к исходному материалу типом проводимости



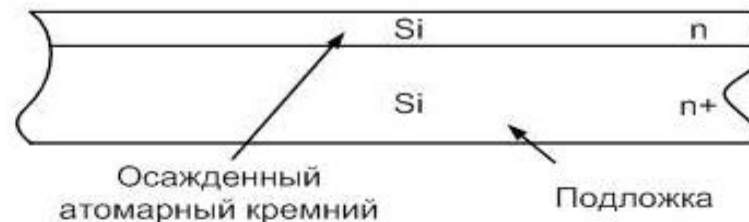
Ионное легирование:

внедрение примесей в поверхностный слой пластины или эпитаксиальной пленки путем бомбардировки ионами примесей



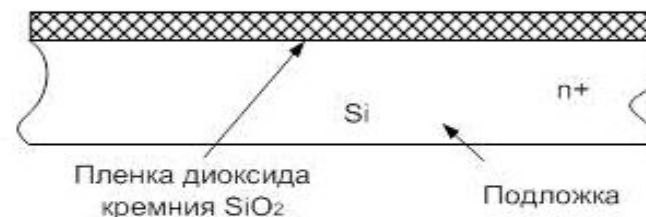
## Эпитаксия:

процесс осаждения атомарного кремния на монокристаллическую кремниевую пластину, при котором получают пленку, продолжающую структуру пластины



## Термическое окисление:

процесс, позволяющий получить на поверхности кремниевых пластин пленку диоксида кремния.



Травление: процесс удаления поверхностного слоя не механическим, а химическим путем

