

# **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ ИЗДЕЛЕЙ ТСО.**

**Тема: 3/1**

# УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ 1-2

- **Общие сведения об электротехнических материалах, используемых ТСО.**
- **Элементная база изделий ТСО.  
Классификация. Назначение.  
Предъявляемые требования.**

# УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ 3-4

- **Общие сведения о полупроводниковых материалах.**
- **Классификация полупроводниковых приборов.**

# **Учебный вопрос №1**

- **Общие сведения об электротехнических материалах, используемых ТСО.**


По назначению материалы делят на:

- **конструктивные**, основное назначение которых удерживать, скреплять, устанавливать, передавать механические усилия и предохранять от механических, климатических и других воздействий схемные элементы;
- **электропроводящие** - элементы электрических цепей - соединительные провода, обмотки катушек или трансформаторов и т.д., контакты реле, переключателей, разъемов, электромагнитные экраны и пр.;
- **магнитопроводящие** - магнитопроводы трансформаторов и реле, постоянные магниты громкоговорителей и т.п.;
- **электроизоляционные** - электрически изолирующие элементы электрических цепей между собой и от корпуса;
- **вспомогательные материалы** - например, припой и флюсы для пайки, электроды для сварки, краски и лаки, металлы для гальванических покрытий.

**Проводник** - вещество, способное проводить под действием неизменного во времени электрического поля неизменный во времени электрический ток.

**Основные электрические параметры** проводников - удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент удельного электрического сопротивления.

Наиболее важными проводниками являются: серебро, медь, алюминий, дюралюминий, сталь, латунь, бронза, олово, цинк, вольфрам, электротехнический уголь, кадмий, манганин.



**Магнитными материалами** – считаются материалы, магнитная проницаемость которых во много раз больше единицы (до сотен тысяч миллионов).

Такие материалы называются **ферромагнитными**.

К ним относятся железо, никель, кобальт, их сплавы, а также ферриты.

Магнитные материалы делятся на две группы: **магнитотвердые** и **магнитомягкие**.

К **магнитотвердым материалам** относятся такие, которые, будучи однажды намагниченными, сохраняют состояние намагниченности длительное время.

**Магнитомягкие материалы** не сохраняют состояния намагниченности после снятия намагничивающего поля.

Из магнитотвердых материалов изготавливают постоянные магниты для измерительных приборов, громкоговорителей, телефонов, поляризованных реле, стрелки компасов и другие изделия.

Магнитомягкие материалы отличаются высокой магнитной проницаемостью и предназначены для работы в переменных магнитных полях. Они делятся на две группы: магнитомягкие низкочастотные и магнитомягкие высокочастотные материалы.

Из магнитомягких низкочастотных материалов изготавливают сердечники трансформаторов и дросселей низкой частоты, экраны постоянных магнитов, мембраны телефонов и т.д.

Магнитомягкие высокочастотные материалы изготавливают из порошка магнитного материала, тщательно перемешенного с высокочастотным диэлектриком.



## **Электроизоляционные материалы, или диэлектрики**

разделяются на газообразные, жидкие, твердеющие и твердые;

- к газообразным диэлектрикам относятся воздух, гелий, аргон, неон;
- к жидким - трансформаторное масло, конденсаторное масло, касторовое масло;
- к твердеющим - канифоль, поливинилхлорид, винипласт, парафин;
- к твердым - бумага, фибра, гетинакс, фарфор, слюда, стекло и др.

Диэлектрики предназначены для изоляции проводящих элементов электронных конструкций.

Кроме этого, диэлектрики используются как **конструкционный материал** для изготовления каркасов, катушек индуктивности, плат, панелей радиоламп, деталей крепления, переключателей и др.

Различают электрические, механические, физико-химические и тепловые характеристики диэлектриков.

# **Учебный вопрос №2**

- **Элементная база изделий ТСО.  
Классификация. Назначение.  
Предъявляемые требования.**

# Элементная база изделий ТСО

## Пассивные дискретные элементы

- \_резисторы
- \_конденсаторы
- \_катушки
- \_индуктивности
- \_трансформаторы

## Активные дискретные элементы

- \_транзисторы
- \_диоды
- \_электронные лампы
- \_тиристоры

## Интегральные микроселектронные элементы

- \_аналоговые интегральные микросхемы
- \_цифровые интегральные микросхемы

## Коммутационные устройства и соединители

- \_кнопки
- \_реле
- \_переключатели
- \_разъемы
- \_соединительные

## Специальные высокочастотные элементы

- \_волноводы
- \_антенны

- **Элементная база** – это совокупность деталей и сборочных единиц, предназначенных для создания изделий ТСО.
- **Деталь** – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.
- **Назначение элементной базы изделий ТСО** - создание изделий ТСО, замена вышедших из строя элементов.

## **В состав элементной базы электронных узлов ТС АСО входит:**

- пассивные дискретные элементы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы);
- активные дискретные элементы (полупроводниковые, электровакуумные и газоразрядные приборы - транзисторы, диоды, электронные лампы и т. д.);
- интегральные микроэлектронные элементы (ИС);
- фотоэлектрические и индикаторные приборы (оптроны, лампы накаливания, фотодиоды и т. д.);
- коммутационные устройства и соединители (кнопки, реле, переключатели, разъемные соединители и т. д.);
- специальные высокочастотные элементы (волноводы, антенны и т.д.).

Некоторые из указанных элементов, например, пассивные, активные элементы, соединители, называют также **электрорадиоэлементами (ЭРЭ)**.

- **ПАССИВНЫЕ ЭРЭ** выполняют в аппаратуре различные операции над сигналами, связанные с изменением токов, напряжения, электрического заряда и магнитного поля, однако они не изменяют под воздействием сигнала своих электрических параметров, т.е. остаются "пассивными" к воздействию сигнала.
- **АКТИВНЫЕ ЭРЭ** по физической сущности их функционирования принципиально отличаются от пассивных. При воздействии сигнала в них происходят сложные физические процессы, приводящие к изменениям их электрической проводимости или других параметров, т.е. они "активно" реагируют на воздействие сигнала.
- **ИС** являются сложными элементами и, хотя они содержат резисторы, конденсаторы, транзисторы и диоды, ИС остаются элементами, так как являются неделимыми частями электронных узлов.

## Требования к элементной базе изделий ТСО:

- **технические требования:** чувствительность; мощность; частотный диапазон; быстродействие; метрологические свойства; допустимые искажения;
- **экономические требования:** минимальная стоимость;
- **эксплуатационные требования:** высокая надежность (безотказность); устойчивость к климатическим воздействиям; устойчивость к метеорологическим воздействиям; устойчивость к механическим воздействиям; минимальные массо-габаритные характеристики.

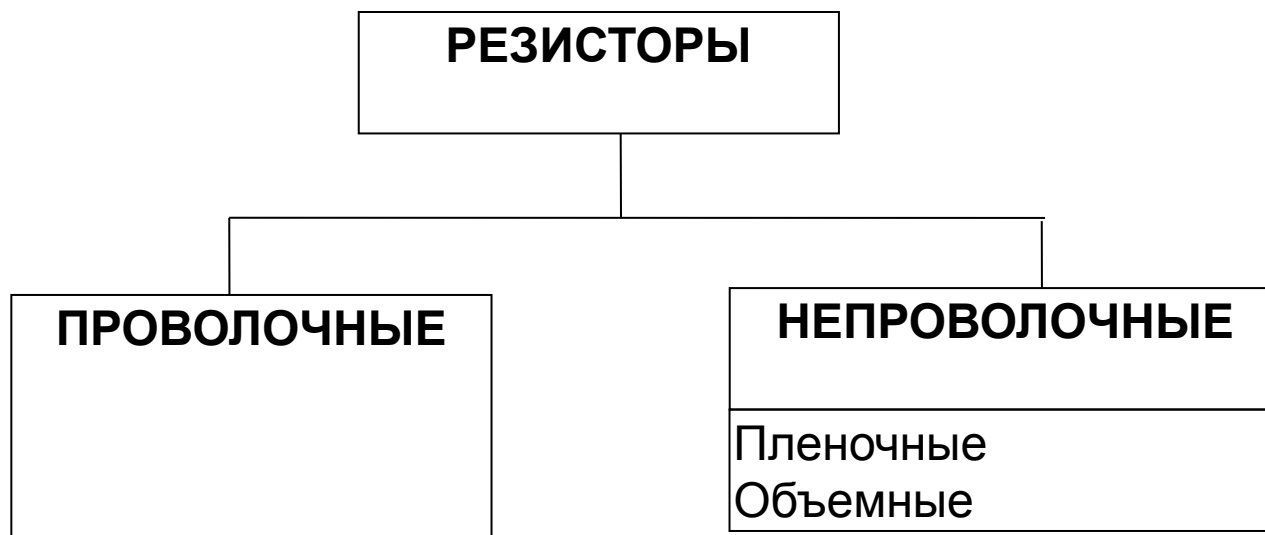
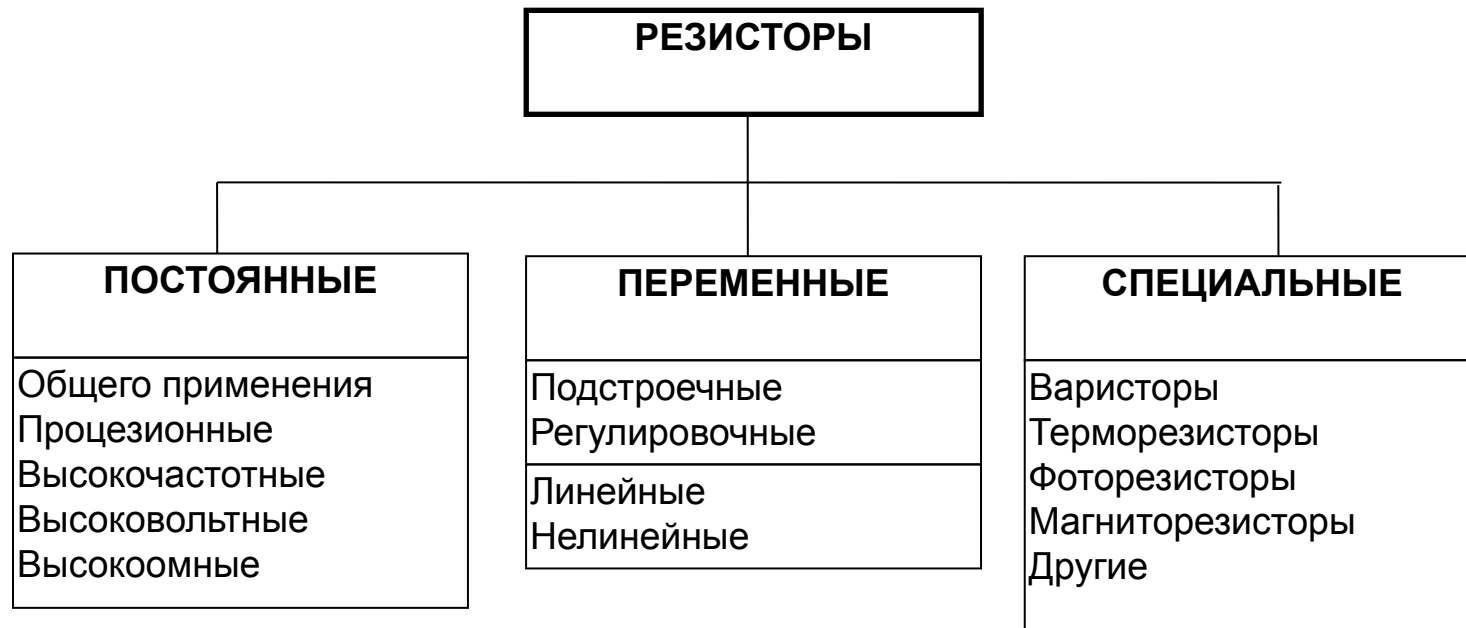


## Основные составляющие элементной базы ТСО:

- **Резистор** - это элемент, выполняющий роль проводника электрического тока с заданным электрическим сопротивлением.



- **Конденсатор** - это элемент, обладающий заданной электрической емкостью. По своей конструкции конденсатор представляет собой систему, состоящую из двух проводников, разделенных диэлектриком.
- **Катушка индуктивности** - это элемент, обладающий заданной индуктивностью. По своей конструкции катушка индуктивности представляет собой обмотку, состоящую из большого числа витков намотанных проводников.



## Переменные резисторы



## Подстроечные резисторы



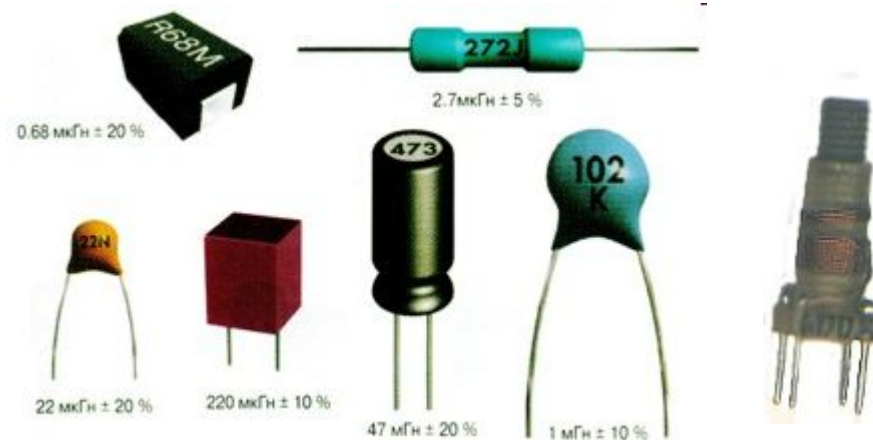
## Керамические и проволочные резисторы

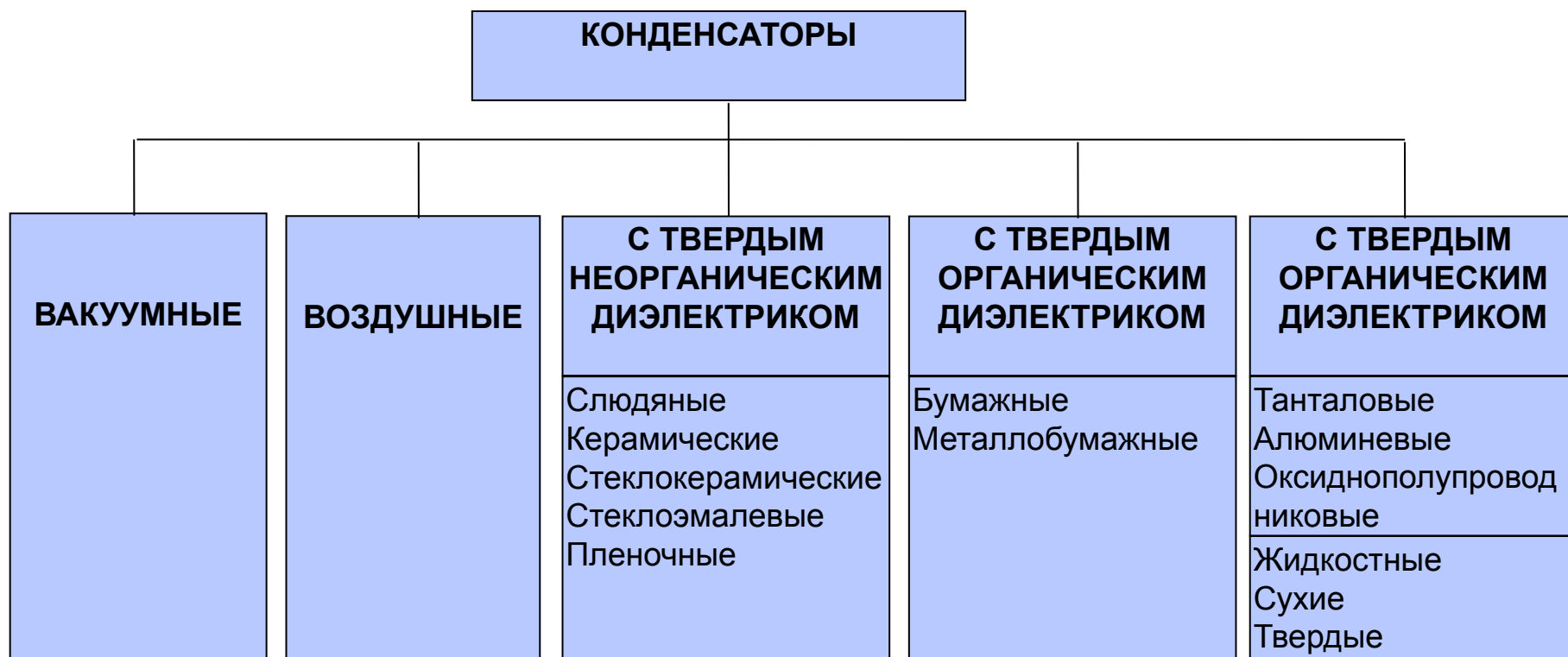
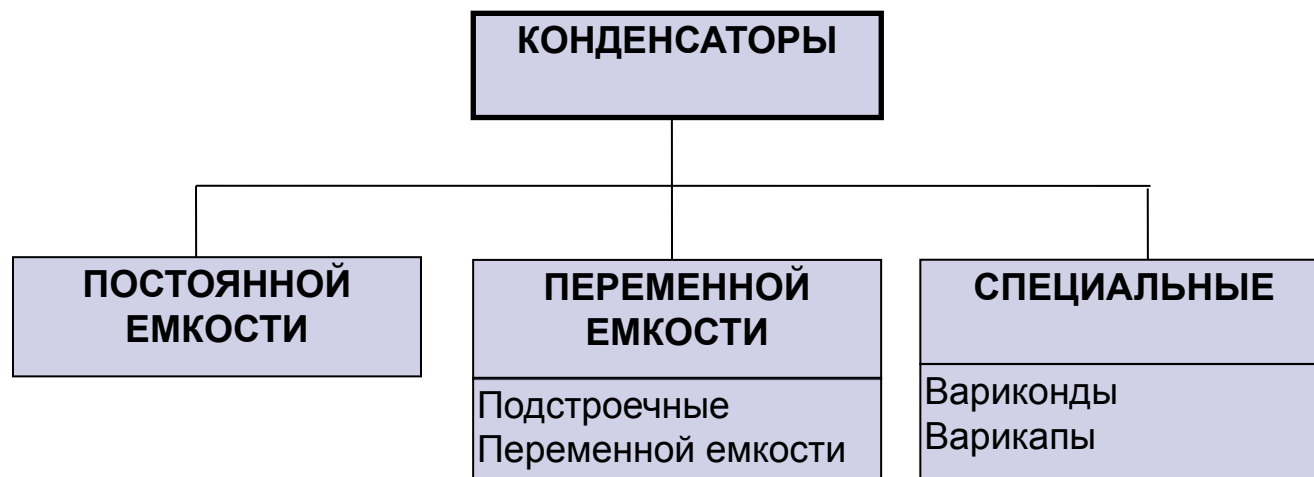


## Дроссели



## Индуктивности





## Конденсаторы подстроечные



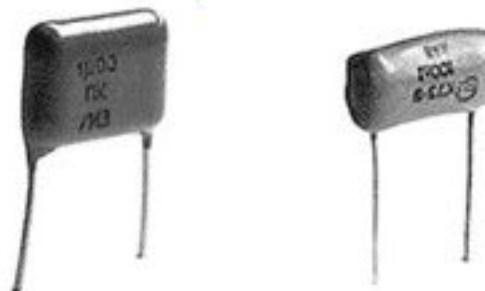
## Конденсаторы электролитические



## Конденсаторы керамические



## Конденсаторы плёночные



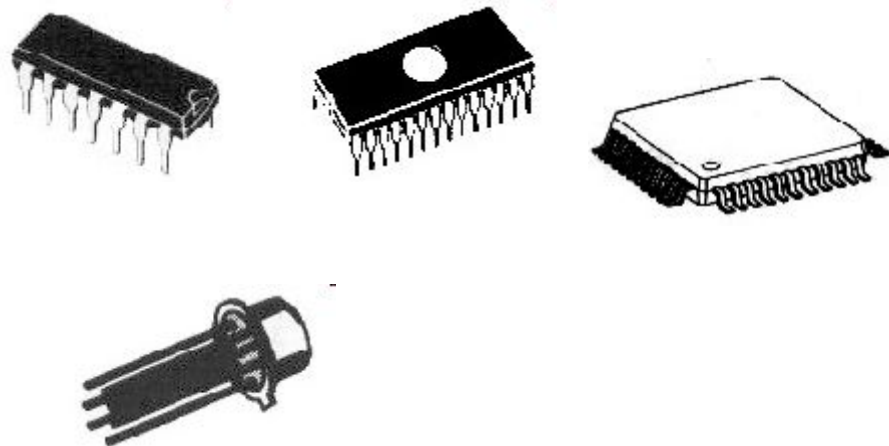
## Трансформаторы силовые



## Переключатели



## Микросхемы



# **Учебный вопрос №3**

- **Общие сведения о полупроводниковых материалах.**

**Полупроводники** представляют собой вещества, которые по удельной электрической проводимости занимают среднее положение между проводниками и диэлектриками.

**Электропроводность** - свойство вещества проводить электрический ток, удельная электрическая проводимость есть величина, характеризующая электропроводность вещества. Большинство веществ относится именно к полупроводникам. Металлы являются проводниками.

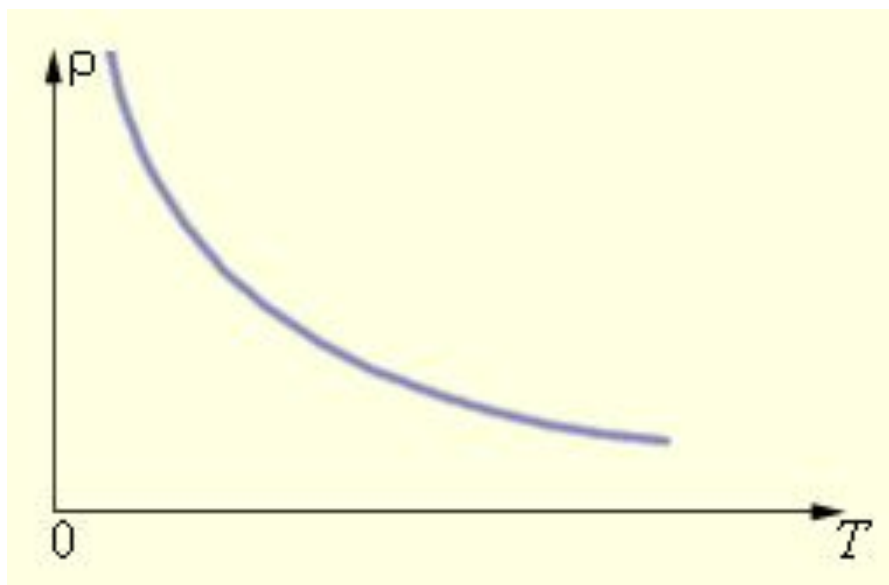
$\rho = 10^{-5} - 10^{+8}$  - удельное сопротивление материала полупроводника. УС показывает, чему равно сопротивление проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения.



По значению удельного электрического сопротивления **полупроводники** занимают промежуточное место между хорошими проводниками и диэлектриками. К числу полупроводников относятся многие химические элементы (германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и др.), огромное количество сплавов и химических соединений.

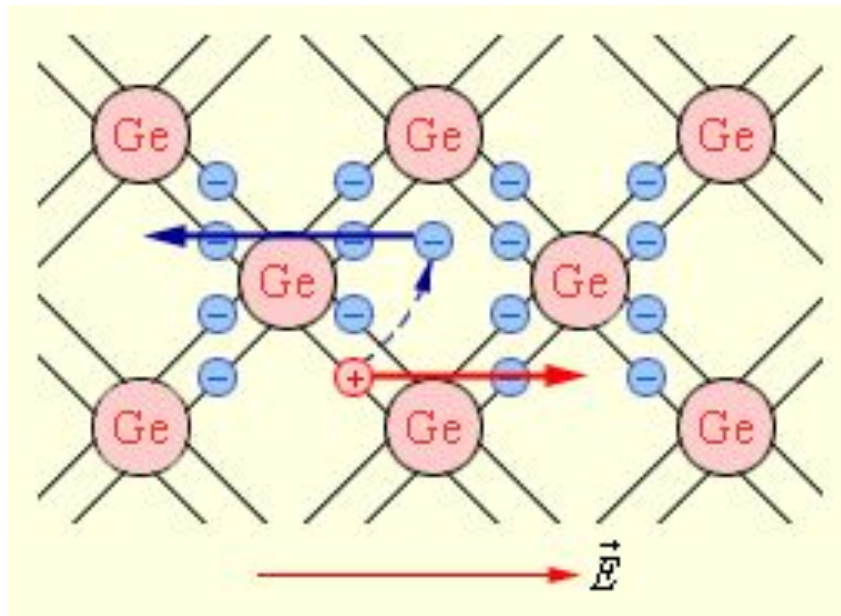
Самым распространенным в природе полупроводником является кремний, составляющий около 30 % земной коры.

Качественное отличие полупроводников от металлов проявляется прежде всего в зависимости удельного сопротивления от температуры. С понижением температуры сопротивление металлов падает. У полупроводников, напротив, с понижением температуры сопротивление возрастает и вблизи абсолютного нуля они практически становятся изоляторами.



Рассмотрим механизм электрического тока на примере германия (Ge). В кристалле кремния (Si) механизм аналогичен.

Атомы германия имеют четыре слабо связанных электрона на внешней оболочке. Их называют **валентными электронами**. В кристаллической решетке каждый атом окружен четырьмя ближайшими соседями. Связь между атомами в кристалле германия является **ковалентной**, т. е. осуществляется парами валентных электронов. Каждый валентный электрон принадлежит двум атомам. Валентные электроны в кристалле германия гораздо сильнее связаны с атомами, чем в металлах; поэтому концентрация электронов проводимости при комнатной температуре в полупроводниках на много порядков меньше, чем у металлов. Вблизи абсолютного нуля температуры в кристалле германия все электроны заняты в образовании связей. Такой кристалл электрического тока не проводит.



При повышении температуры некоторая часть валентных электронов может получить энергию, достаточную для разрыва ковалентных связей. Тогда в кристалле возникнут свободные электроны (электроны проводимости). Одновременно в местах разрыва связей образуются вакансии, которые не заняты электронами. Эти вакансии получили название **«дырок»**. Вакантное место может быть занято валентным электроном из соседней пары, тогда дырка переместится на новое место в кристалле. При заданной температуре полупроводника в единицу времени образуется определенное количество электронно-дырочных пар. В то же время идет обратный процесс – при встрече свободного электрона с дыркой, восстанавливается электронная связь между атомами германия. Этот процесс называется **рекомбинацией**. Электронно-дырочные пары могут рождаться также при освещении полупроводника за счет энергии электромагнитного излучения. В отсутствие электрического поля электроны проводимости и дырки участвуют в хаотическом тепловом движении.

Если полупроводник помещается в электрическое поле, то в упорядоченное движение вовлекаются не только свободные электроны, но и дырки, которые ведут себя как положительно заряженные частицы

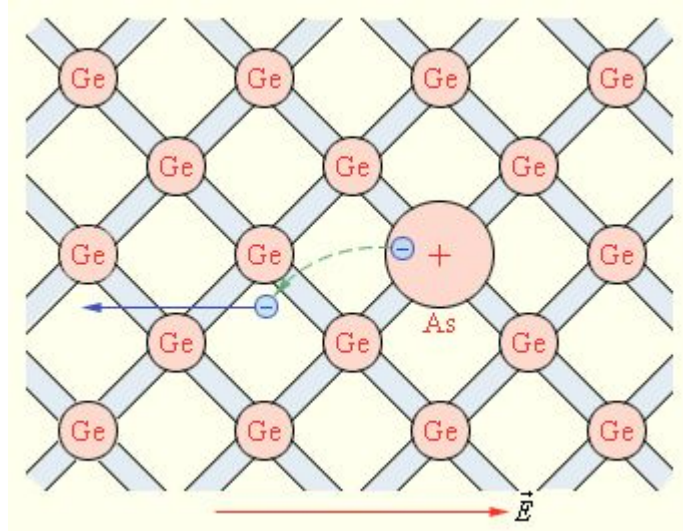
Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна концентрации дырок:  $n_n = n_p$ . Электронно-дырочный механизм проводимости проявляется только у чистых (т. е. без примесей) полупроводников. Он называется **собственной электрической проводимостью** полупроводников.

При наличии примесей электропроводимость полупроводников сильно **изменяется**. Например, добавка примесей фосфора в кристалл кремния в количестве 0,001 атомного процента уменьшает удельное сопротивление более чем на пять порядков. Такое сильное влияние примесей может быть объяснено на основе изложенных выше представлений о строении полупроводников.

**Необходимым условием резкого уменьшения удельного сопротивления полупроводника при введении примесей является отличие валентности атомов примеси от валентности основных атомов кристалла.**

Проводимость полупроводников при наличии примесей называется ***примесной проводимостью***. Различают два типа примесной проводимости – **электронную** и **дырочную** проводимости.

**Электронная проводимость** возникает, когда в кристалл германия с четырехвалентными атомами введены пятивалентные атомы (например, атомы мышьяка, As).

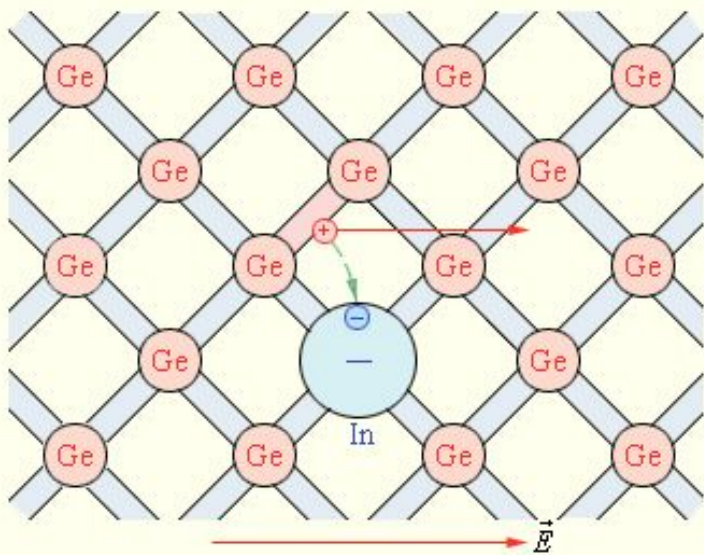


На рис. показан пятивалентный атом мышьяка, оказавшийся в узле кристаллической решетки германия. Четыре валентных электрона атома мышьяка включены в образование ковалентных связей с четырьмя соседними атомами германия. Пятый валентный электрон оказался излишним; он легко отрывается от атома мышьяка и становится свободным. Атом, потерявший электрон, превращается в положительный ион, расположенный в узле кристаллической решетки.

Примесь из атомов с валентностью, превышающей валентность основных атомов полупроводникового кристалла, называется **донорской примесью**. В результате ее введения в кристалле появляется значительное число свободных электронов. Это приводит к резкому уменьшению удельного сопротивления полупроводника – в тысячи и даже миллионы раз.

Основным типом носителей свободного заряда являются электроны, оторвавшиеся от атомов мышьяка. В таком кристалле  $n_n \gg n_p$ . Такая проводимость называется **электронной**, а полупроводник, обладающий электронной проводимостью, называется **полупроводником n-типа**.

**Дырочная проводимость** возникает, когда в кристалл германия введены трехвалентные атомы (например, атомы индия, In).



На рис. показан атом индия, который создал с помощью своих валентных электронов ковалентные связи лишь с тремя соседними атомами германия. На образование связи с четвертым атомом германия у атома индия нет электрона. Этот электрон может быть захвачен атомом индия из ковалентной связи соседних атомов германия. Атом индия превращается в отрицательный ион, расположенный в узле кристаллической решетки, а в ковалентной связи соседних атомов образуется вакансия

Примесь атомов, способных захватывать электроны, называется **акцепторной примесью**. В результате введения акцепторной примеси в кристалле разрывается множество ковалентных связей и образуются вакантные места (дырки). На эти места могут перескакивать электроны из соседних связей. Наличие акцепторной примеси резко снижает удельное сопротивление полупроводника за счет появления большого числа свободных дырок. Концентрация дырок в полупроводнике с акцепторной примесью значительно превышает концентрацию электронов  $n_p \gg n_n$ . Проводимость такого типа называется **дырочной проводимостью**. Примесный полупроводник с дырочной проводимостью называется **полупроводником p-типа**. Основными носителями свободного заряда в полупроводниках p-типа являются дырки.



- Для полупроводниковых приборов в настоящее время применяются **германий, кремний, арсенид галлия GaAs, антимонид индия InSb, фосфид индия InP** и др.

**В полупроводниках** существует электропроводность двух видов.

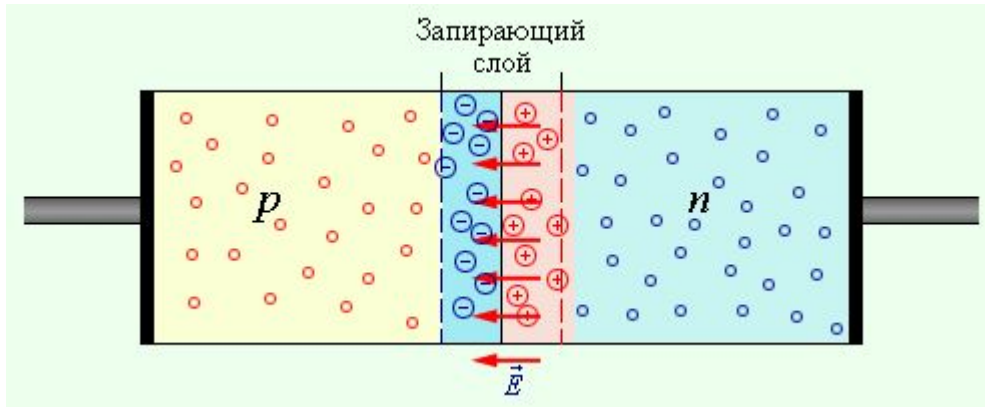
- **Во-первых**, как и у металлов, - **ЭЛЕКТРОННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ**, которая обусловлена перемещением **ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ**. При обычных рабочих температурах в полупроводниках всегда имеются электроны проводимости, которые очень слабо связаны с ядрами атомов и совершают беспорядочное тепловое движение (колебания) между атомами **КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ**.
- **Во-вторых**, в полупроводниках существует **ДЫРОЧНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ**, которая не наблюдается в металлах. Она является особенностью полупроводников.

# **Учебный вопрос №4**

- **Классификация полупроводниковых приборов.**



В любом полупроводниковом приборе имеется один или несколько электронно-дырочных переходов. **Электронно-дырочный переход** (или  $n$ - $p$ -переход) – это область контакта двух полупроводников с разными типами проводимости.



В полупроводнике  $n$ -типа основными носителями свободного заряда являются электроны. В полупроводнике  $p$ -типа основными носителями являются дырки .

При контакте двух полупроводников  $n$ - и  $p$ -типов начинается процесс диффузии: дырки из  $p$ -области переходят в  $n$ -область, а электроны, наоборот, из  $n$ -области в  $p$ -область. В результате в  $n$ -области вблизи зоны контакта уменьшается концентрация электронов и возникает положительно заряженный слой. В  $p$ -области уменьшается концентрация дырок и возникает отрицательно заряженный слой. Таким образом, на границе полупроводников образуется двойной электрический слой, электрическое поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу.

Если полупроводник с  $n$ - $p$ -переходом подключен к источнику тока так, что положительный полюс источника соединен с  $n$ -областью, а отрицательный – с  $p$ -областью, то напряженность поля в запирающем слое возрастает. Дырки в  $p$ -области и электроны в  $n$ -области будут смещаться от  $n$ - $p$ -перехода, увеличивая тем самым концентрации неосновных носителей в запирающем слое. Ток через  $n$ - $p$ -переход практически не идет. Напряжение, поданное на  $n$ - $p$ -переход в этом случае называют **обратным**. Весьма незначительный обратный ток обусловлен только собственной проводимостью полупроводниковых материалов, т. е. наличием небольшой концентрации свободных электронов в  $p$ -области и дырок в  $n$ -области.

Если  $n$ - $p$ -переход соединить с источником так, чтобы положительный полюс источника был соединен с  $p$ -областью, а отрицательный с  $n$ -областью, то напряженность электрического поля в запирающем слое будет уменьшаться, что облегчает переход основных носителей через контактный слой. Дырки из  $p$ -области и электроны из  $n$ -области, двигаясь навстречу друг другу, будут пересекать  $n$ - $p$ -переход, создавая ток в **прямом** направлении. Сила тока через  $n$ - $p$ -переход в этом случае будет возрастать при увеличении напряжения источника.

## Полупроводниковые приборы

```
graph TD; A[Полупроводниковые приборы] --- B[Полупроводниковые резисторы]; A --- C[Полупроводниковые диоды]; A --- D[Биполярные транзисторы]; A --- E[Полевые транзисторы]; A --- F[Полупроводниковые фотоэлектрические приборы]; A --- G[Тиристоры]; A --- H[Комбинированные полупроводниковые приборы]; A --- I[Полупроводниковые микросхемы];
```

Полупроводниковые резисторы

Полупроводниковые диоды

Биполярные транзисторы

Полевые транзисторы

Полупроводниковые  
фотоэлектрические приборы

Тиристоры

Комбинированные  
полупроводниковые приборы

Полупроводниковые микросхемы

- **Полупроводниковые приборы** - Электронные приборы, действие которых основано на электронных процессах в полупроводниках. Служат для **генерирования, усиления и преобразования** (по роду тока, частоте и т. д.) электрических колебаний (полупроводниковый диод, транзистор, тиристор), преобразования сигналов одного вида в другой (оптрон, фоторезистор, фотодиод, фототранзистор и др.), одних видов энергии в другие (термоэлемент, термоэлектрический генератор, солнечная батарея и др.), а также для преобразования изображений, измерения электрической и механической величины и др.

Все бесчисленное множество полупроводниковых приборов можно условно разделить на две большие группы: **биполярные и униполярные.**

- **К биполярным** приборам следует отнести все те приборы, для работы которых принципиально важно наличие двух типов носителей электронов и дырок. К приборам этого типа, как правило, относят все устройства, в которых управление электронным потоком осуществляется с помощью электронно-дырочного перехода (pn - перехода). В приборах этого типа перенос энергии сигнала осуществляется поочередно электронами, дырками или теми и другими одновременно.
- **К униполярным** приборам относятся приборы, в которых осуществляется управление потоками, состоящими преимущественно из носителей одного типа, либо электронов, либо дырок.

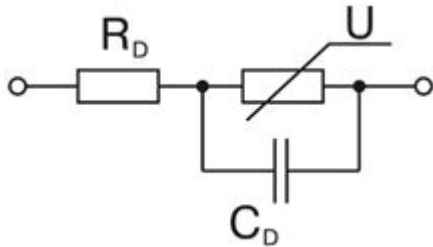
# Полупроводниковые резисторы:



Сопротивление ППР уменьшается при возрастании напряжения больше определенного (номинального) значения.

Их **назначение** - защита от бросков напряжения, возникающих, например, в телефонных линиях или при коммутации индуктивной нагрузки.

- **Диоды.** Структура активной области: "pn". Возможные применения: выпрямление переменного тока, преобразование и генерация сигналов.

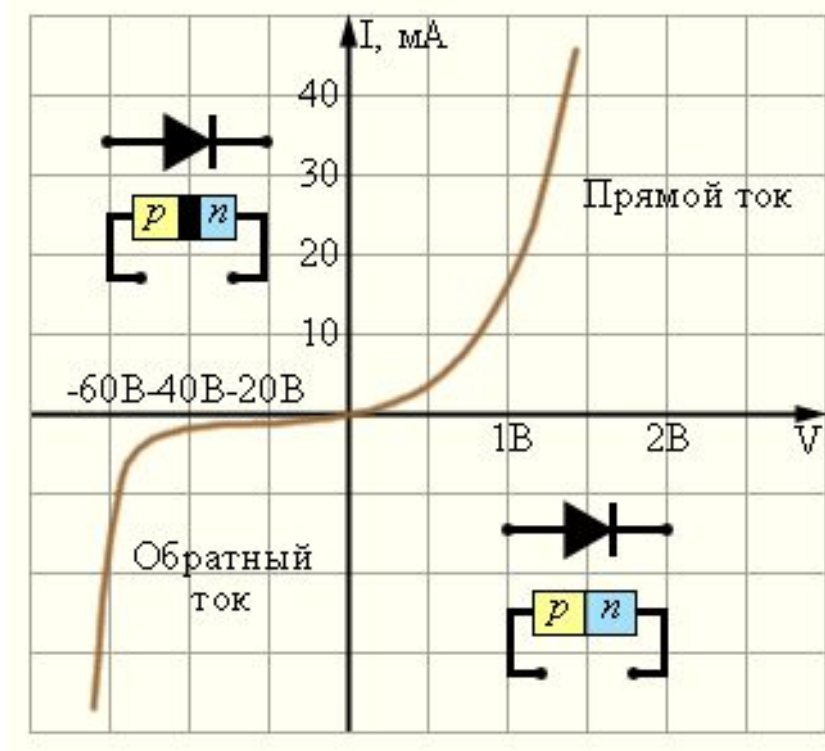


Топологическая модель диода



Светящийся диод оптической мыши

Полупроводниковые диоды изготавливаются из кристаллов кремния или германия. При их изготовлении в кристалл с каким-либо типом проводимости вплавляют примесь, обеспечивающую другой тип проводимости. Полупроводниковые диоды используются в выпрямителях для преобразования переменного тока в постоянный. Типичная вольт-амперная характеристика кремниевого диода приведена на рисунке.



На графике использованы различные шкалы для положительных и отрицательных напряжений.





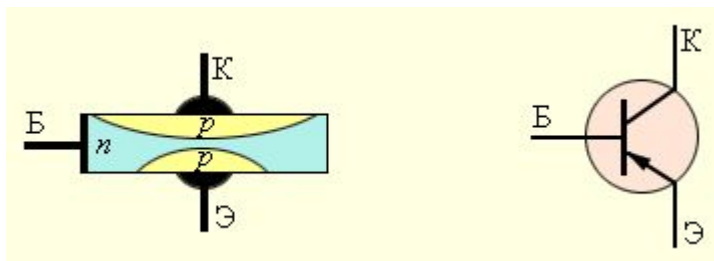
Полупроводниковые приборы с двумя  $n$ - $p$ -переходами называются **транзисторами**.

Название происходит от сочетания английских слов: transfer – переносить и resistor – сопротивление. Для создания транзисторов используют германий и кремний.

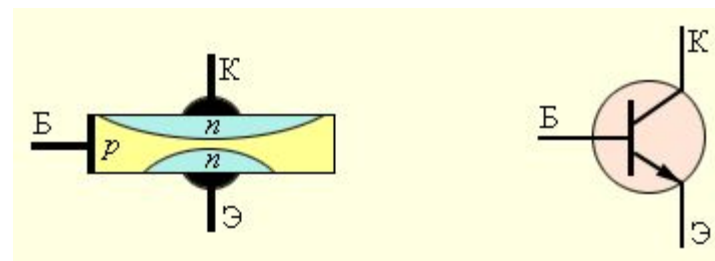
Транзисторы бывают двух типов:  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторы и  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторы.

Например, германиевый транзистор  $p$ - $n$ - $p$ -типа представляет собой небольшую пластинку из германия с донорной примесью, т. е. из полупроводника  $n$ -типа. В этой пластинке создаются две области с акцепторной примесью, т. е. области с дырочной проводимостью.

В транзисторе  $n$ - $p$ - $n$ -типа основная германиевая пластинка обладает проводимостью  $p$ -типа, а созданные на ней две области – проводимостью  $n$ -типа. Пластинку транзистора называют **базой (Б)**, одну из областей с противоположным типом проводимости – **коллектором (К)**, а вторую – **эмиттером (Э)**. Обычно объем коллектора превышает объем эмиттера. В условных обозначениях разных структур стрелка эмиттера показывает направление тока через транзистор.

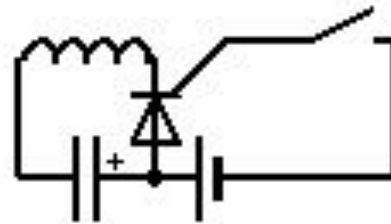
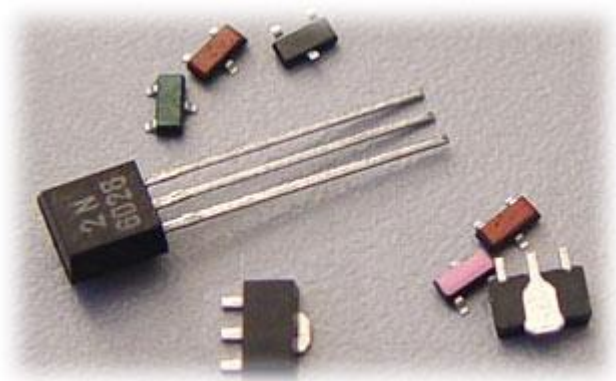


Транзистор структуры  $p$ - $n$ - $p$ .



Транзистор структуры  $n$ - $p$ - $n$ .

- **Тиристоры.** Структура активной области: "р-р-п". Это - активный прибор, предназначенный для работы в качестве быстродействующего электронного ключа. В выключенном состоянии (off) тиристор обладает большим сопротивлением и ток через него чрезвычайно мал, во включенном состоянии сопротивление тиристора мало и проходящий через него ток может быть большим.



- **Униполярные приборы. Диоды с контактом металл-полупроводник.** Структура активной области : металл-полупроводник. Возможные применения те же, что и у диодов с рп переходом.