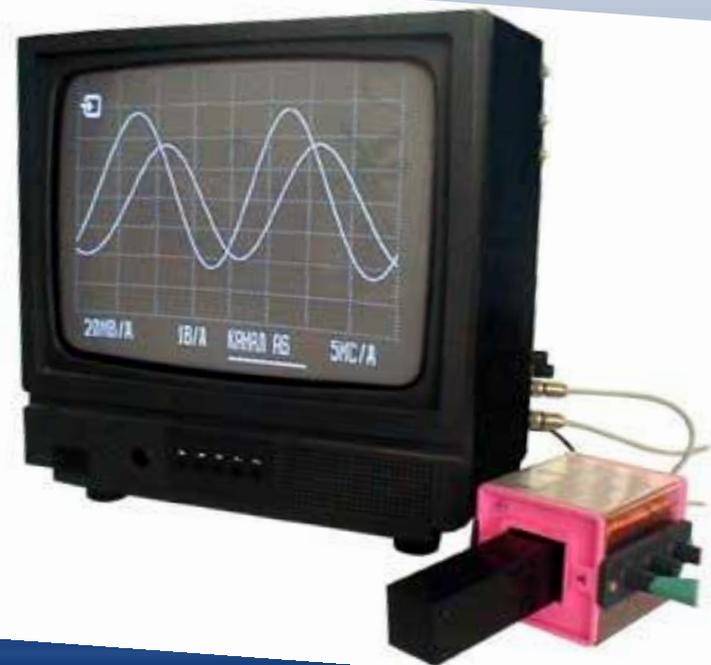


Электрический ток в полупроводниках



Физические свойства полупроводников

Полупроводники — материалы, которые по своей удельной проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Основным свойством этих материалов является увеличение электрической проводимости с ростом температуры.

Электрические свойства веществ

```
graph TD; A[Электрические свойства веществ] --> B[Проводники]; A --> C[Полупроводники]; A --> D[Диэлектрики];
```

Проводники

Хорошо проводят электрический ток

К ним относятся металлы, электролиты, плазма ...

Наиболее используемые проводники – Au, Ag, Cu, Al, Fe ...

Полупроводники

Занимают по проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками

Si, Ge, Se, In, As

Диэлектрики

Практически не проводят электрический ток

К ним относятся пластмассы, резина, стекло, фарфор, сухое дерево, бумага ...

Полупроводники в природе

B 5 10.81 Бор	C 6 12.011 Углерод	N 7 14.007 Азот	
Al 13 26.981 Алюминий	Si 14 28.086 Кремний	P 15 30.973 Фосфор	S 16 32.06 Сера



Кремний



Арсенид галлия

Zn 30 65.38 Цинк	Ga 31 69.72 Галлий	Ge 32 72.59 Германий	As 33 74.921 Мышьяк	Se 34 78.96 Селен
-------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

Cd 48 112.40 Кадмий	In 49 114.82 Индий	Sn 50 118.69 Олово	Sb 51 121.75 Сурьма	Te 52 127.60 Теллур
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Арсенид индия

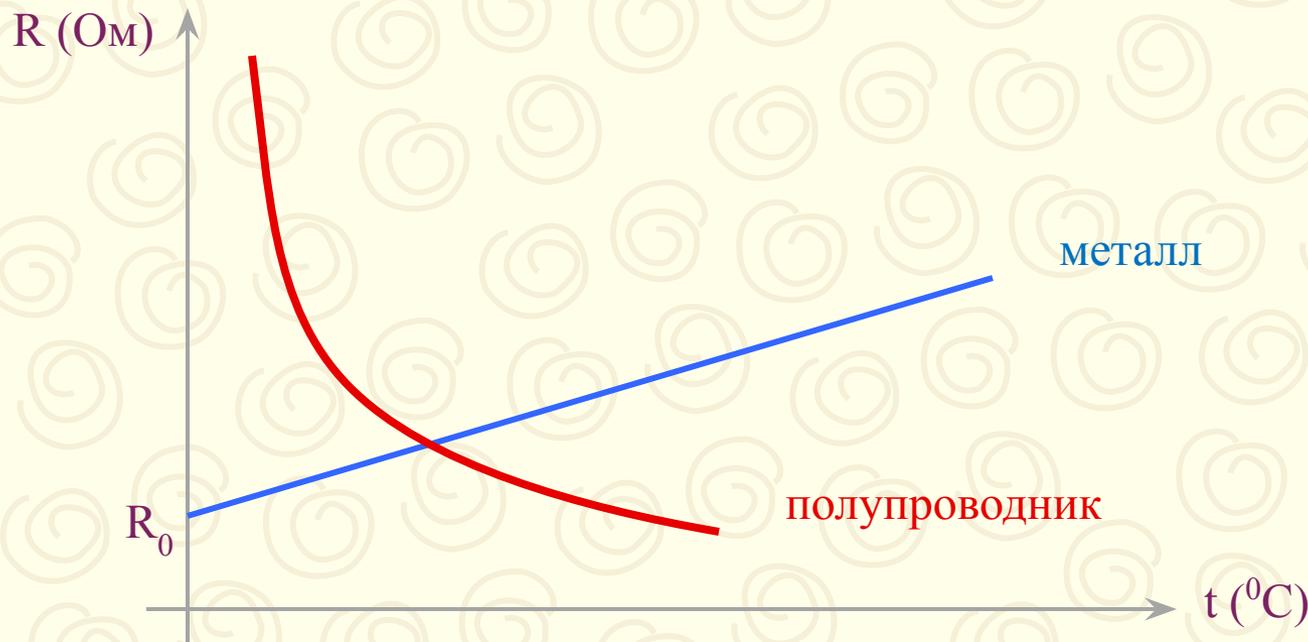
Алмаз

Hg 80 200.59 Ртуть

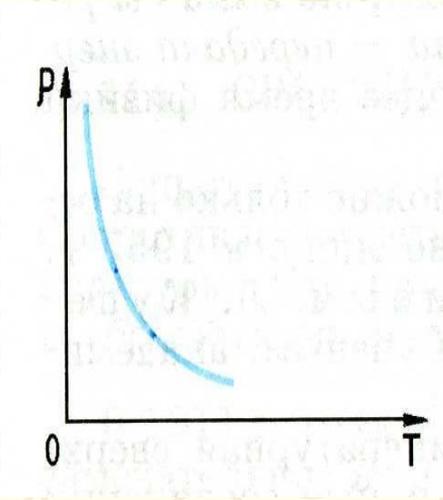


Физические свойства полупроводников

Проводимость полупроводников зависит от температуры. В отличие от проводников, сопротивление которых возрастает с ростом температуры, сопротивление полупроводников при нагревании уменьшается. Вблизи абсолютного нуля полупроводники имеют свойства диэлектриков.



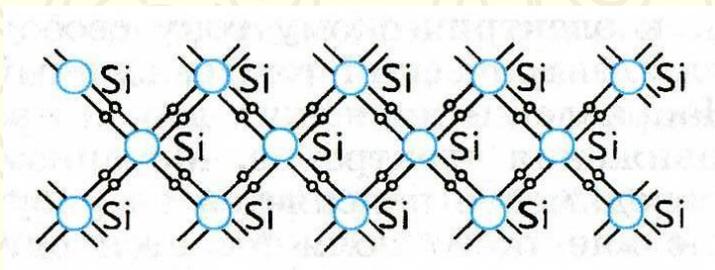
Электрический ток в полупроводниках



Полупроводниками называют вещества, удельное сопротивление которых убывает с повышением температуры

К полупроводникам относятся кремний, германий, селен и др.

Связь между атомами – парноэлектронная, или ковалентная



При низких температурах связи не разрываются

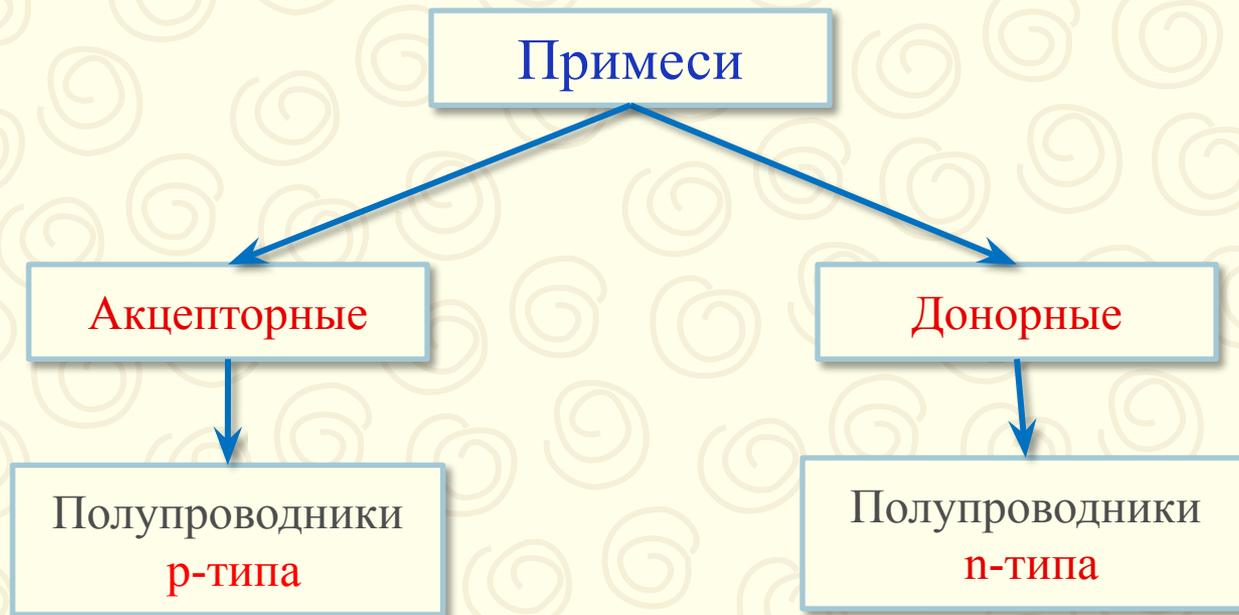
ПОЛУПРОВОДНИКИ



Примесная проводимость полупроводников

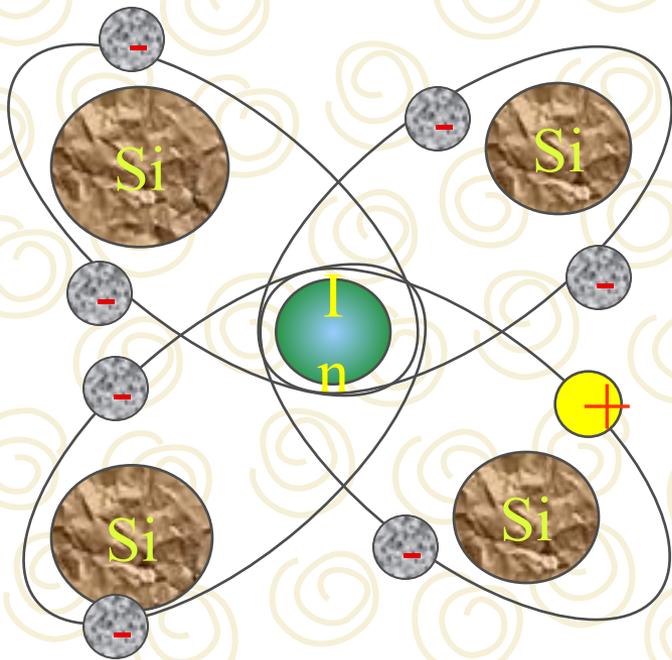
Дозированное введение в чистый проводник примесей позволяет целенаправленно изменять его проводимость.

Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси, которые бывают **донорные** и **акцепторные**



Дырочные полупроводники (**p-типа**)

Si



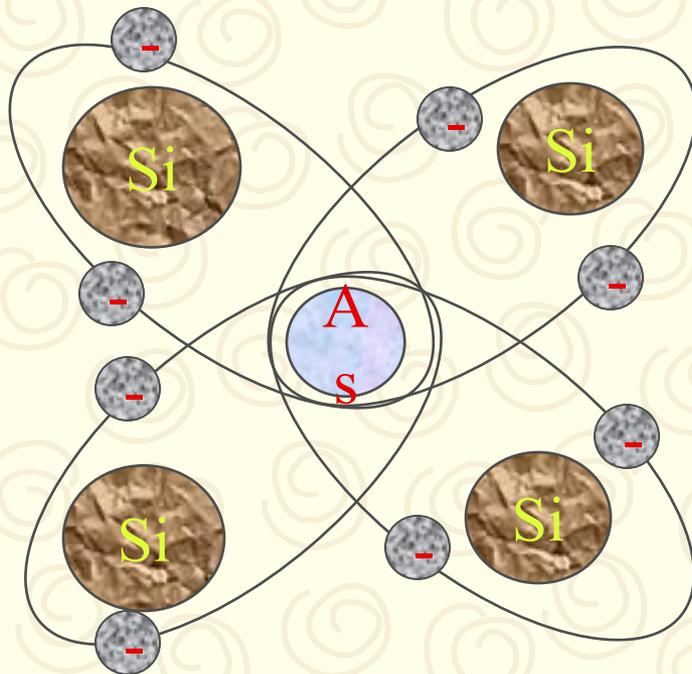
Термин «**p-тип**» происходит от слова «positive», обозначающего положительный заряд основных носителей. Этот вид полупроводников, кроме примесной основы, характеризуется дырочной природой проводимости.

В четырёхвалентный полупроводник (например, в кремний) добавляют небольшое количество атомов трехвалентного элемента (например, индия).

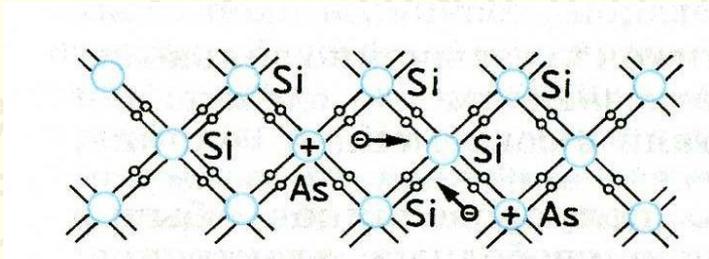
Каждый атом примеси устанавливает ковалентную связь с тремя соседними атомами кремния. Для установки связи с четвёртым атомом кремния у атома индия нет валентного электрона, поэтому он захватывает валентный электрон из ковалентной связи между соседними атомами кремния и становится отрицательно заряженным ионом, вследствие чего образуется дырка. Примеси, которые добавляют в этом случае, называются **акцепторными**.

Электронные полупроводники (**n-типа**)

Термин «**n-тип**» происходит от слова «negative», обозначающего отрицательный заряд основных носителей. Этот вид полупроводников имеет примесную природу. В четырёхвалентный полупроводник (например, кремний) добавляют примесь пятивалентного полупроводника (например, мышьяка). В процессе взаимодействия каждый атом примеси вступает в ковалентную связь с атомами кремния. Однако для пятого электрона атома мышьяка нет места в насыщенных валентных связях, и он переходит на дальнюю электронную оболочку. Там для отрыва электрона от атома нужно меньшее количество энергии. Электрон отрывается и превращается в свободный. В данном случае перенос заряда осуществляется электроном, а не дыркой, то есть данный вид полупроводников проводит электрический ток подобно металлам. Примеси, которые добавляют в полупроводники, вследствие чего они превращаются в полупроводники **n-типа**, называются **донорными**.

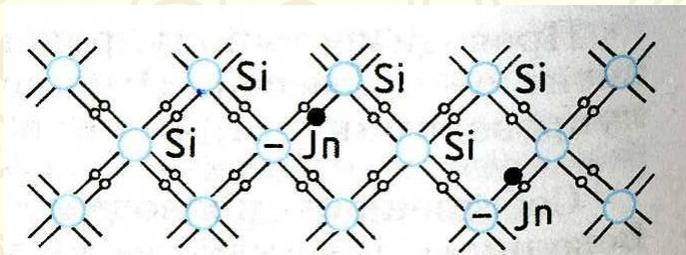


Проводимость полупроводников



Донорные примеси - это примеси, отдающие лишний валентный электрон

Полупроводники с донорными примесями обладают электронной проводимостью и называются полупроводниками n-типа.

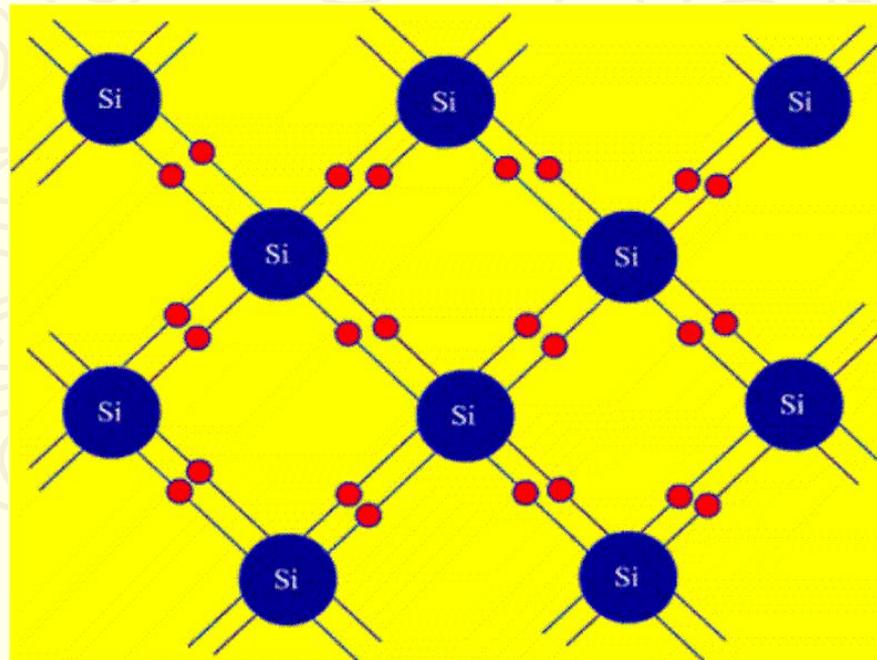


Акцепторные примеси – это примеси, у которых не хватает электронов для образования полной ковалентной связи с соседними атомами.

Полупроводники с акцепторными примесями обладают дырочной проводимостью и называются полупроводниками p-типа.

Собственная проводимость полупроводников

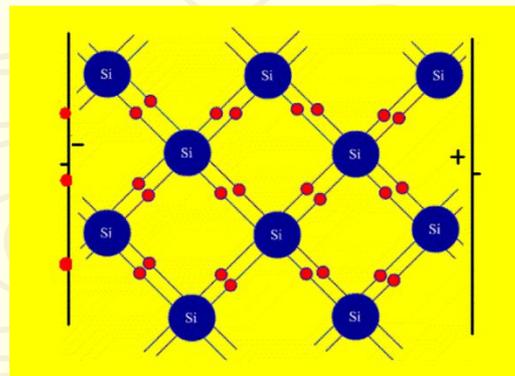
Валентный электрон соседнего атома, притягиваясь к дырке, может перескочить в нее (рекомбинировать). При этом на его прежнем месте образуется новая «дырка», которая затем может аналогично перемещаться по кристаллу.



Собственная проводимость полупроводников

Если напряженность электрического поля в образце равна нулю, то движение освобожденных электронов и «дырок» происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока.

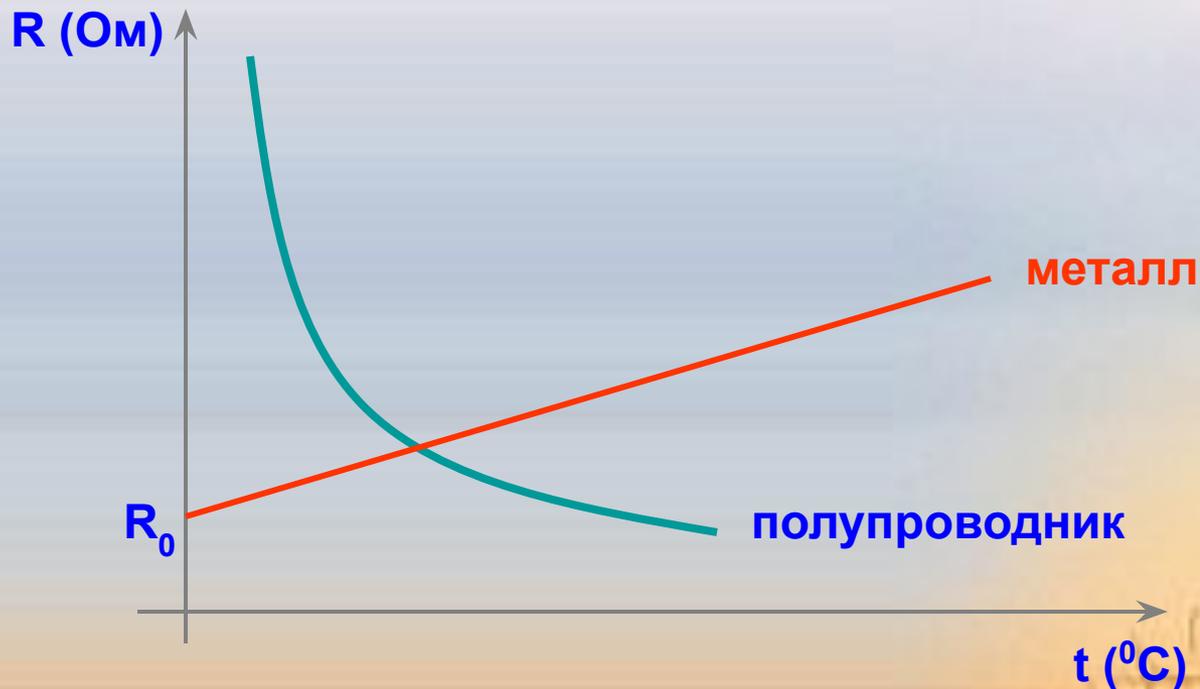
Под воздействием электрического поля электроны и дырки начинают упорядоченное (встречное) движение, образуя электрический ток. Проводимость при этих условиях называют **собственной проводимостью полупроводников**. При этом движение электронов создаёт **электронную проводимость**, а движение дырок – **дырочную проводимость**.



Электрический ток в полупроводниках

Таким образом, **электрический ток в полупроводниках** представляет собой упорядоченное движение **свободных электронов** и положительных виртуальных частиц - **дырок**

Зависимость сопротивления от температуры



При **увеличении температуры** растет число свободных носителей заряда, **проводимость полупроводников растет**, сопротивление уменьшается.

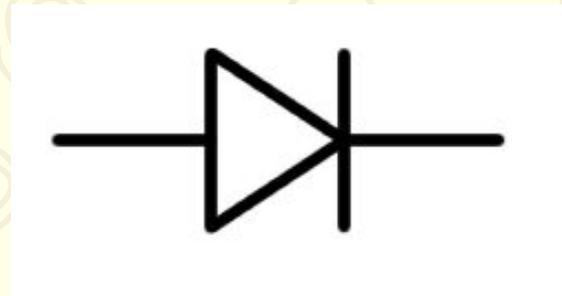
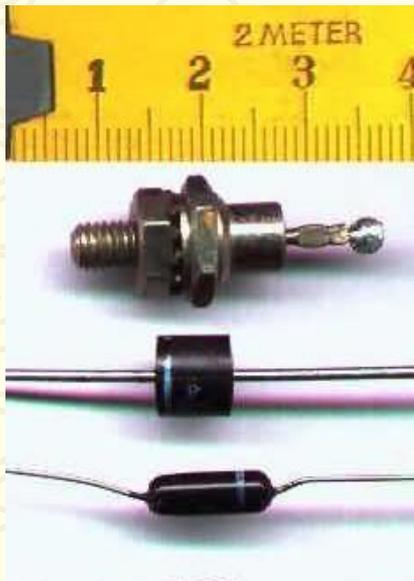


Диод

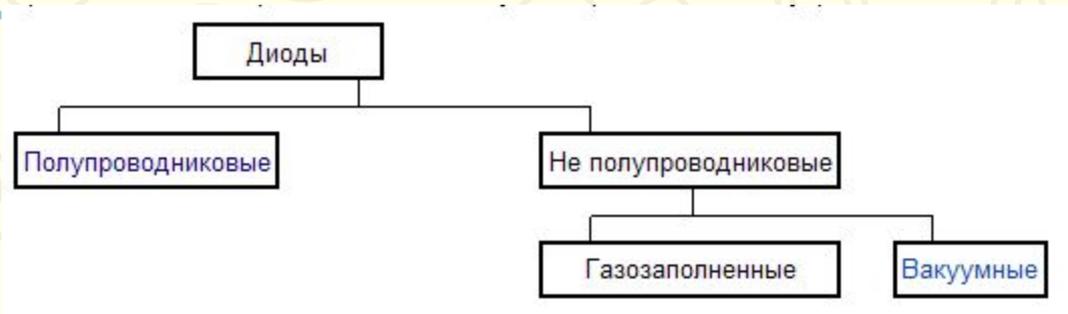
Полупроводниковый диод — полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами (электродами).

В отличие от других типов диодов, принцип действия полупроводникового диода основывается на явлении р-n-перехода.

Впервые диод изобрел Джон Флемминг в 1904 году.



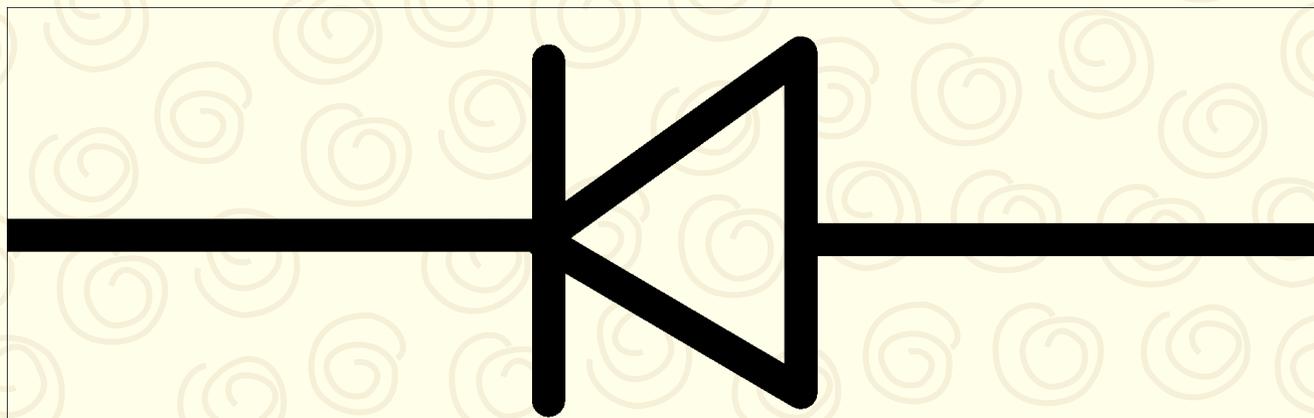
Типы и применение диодов



Диоды применяются в:

- преобразовании переменного тока в постоянный
- детектировании электрических сигналов
- защите разных устройств от неправильной полярности включения
- коммутации высокочастотных сигналов
- стабилизации тока и напряжения
- передачи и приеме сигналов

Диод выпрямительный, столб
выпрямительный

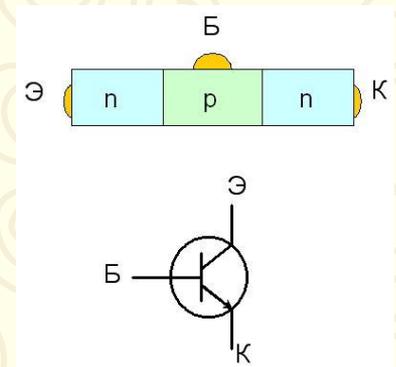
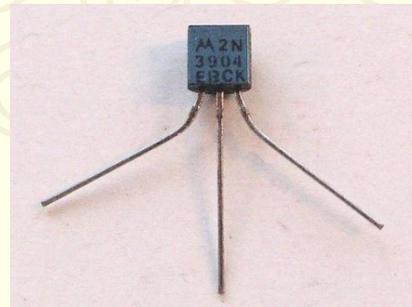


Транзистор

Электронный прибор из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, позволяющий входным сигналам управлять током в электрической цепи.

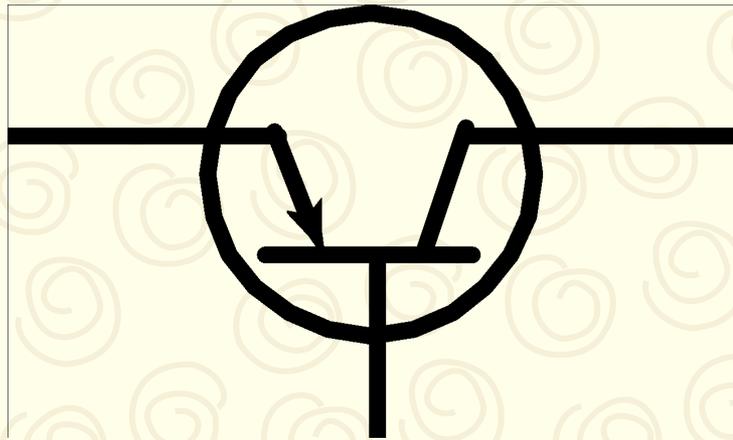
Обычно используется для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов.

В 1947 году Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн в лабораториях Bell Labs впервые создали действующий биполярный транзистор.

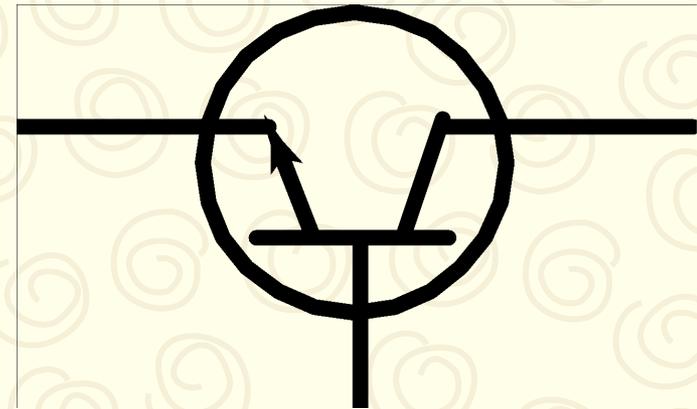


Схематическое обозначение

Транзистор типа $p-n-p$



Транзистор типа $n-p-n$



Спасибо за внимание 😊