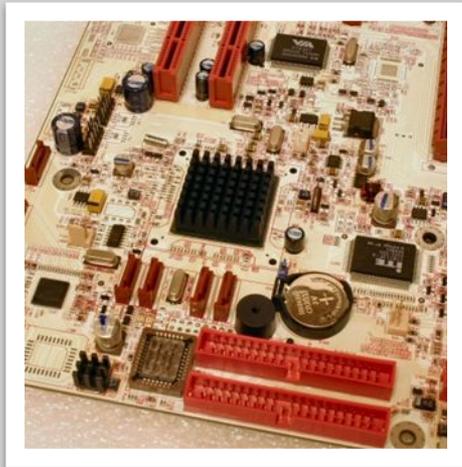


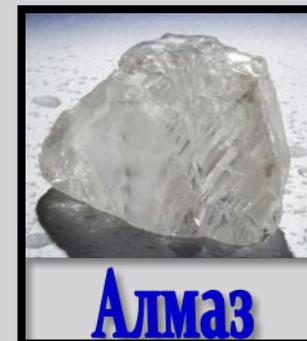
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Стремительный прогресс и миниатюризация электроники, повсеместно используемой в компьютерах, радио, телевидении и других средствах связи, стали возможными благодаря использованию интегральных схем. Эти схемы невозможно представить без полупроводниковых приборов.



ПОЛУПРОВОДНИКИ В ПРИРОДЕ

- Все вещества в природе можно условно разделить на проводники электрического заряда, диэлектрики (непроводники) и вещества занимающие промежуточное положение между ними. Эти вещества называют полупроводниками. В обычных условиях они не проводят электрический заряд, но при изменении этих условий могут превратиться в проводники.
- К числу полупроводников относятся многие химические элементы (германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и другие), огромное количество сплавов и химических соединений (арсенид галлия и др.). Почти все неорганические вещества окружающего нас мира — полупроводники. Самым распространённым в природе полупроводником является кремний, составляющий около 30 % земной коры.



ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Полупроводник — материалы, которые по своей удельной проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличаются от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и различных видов излучения. 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

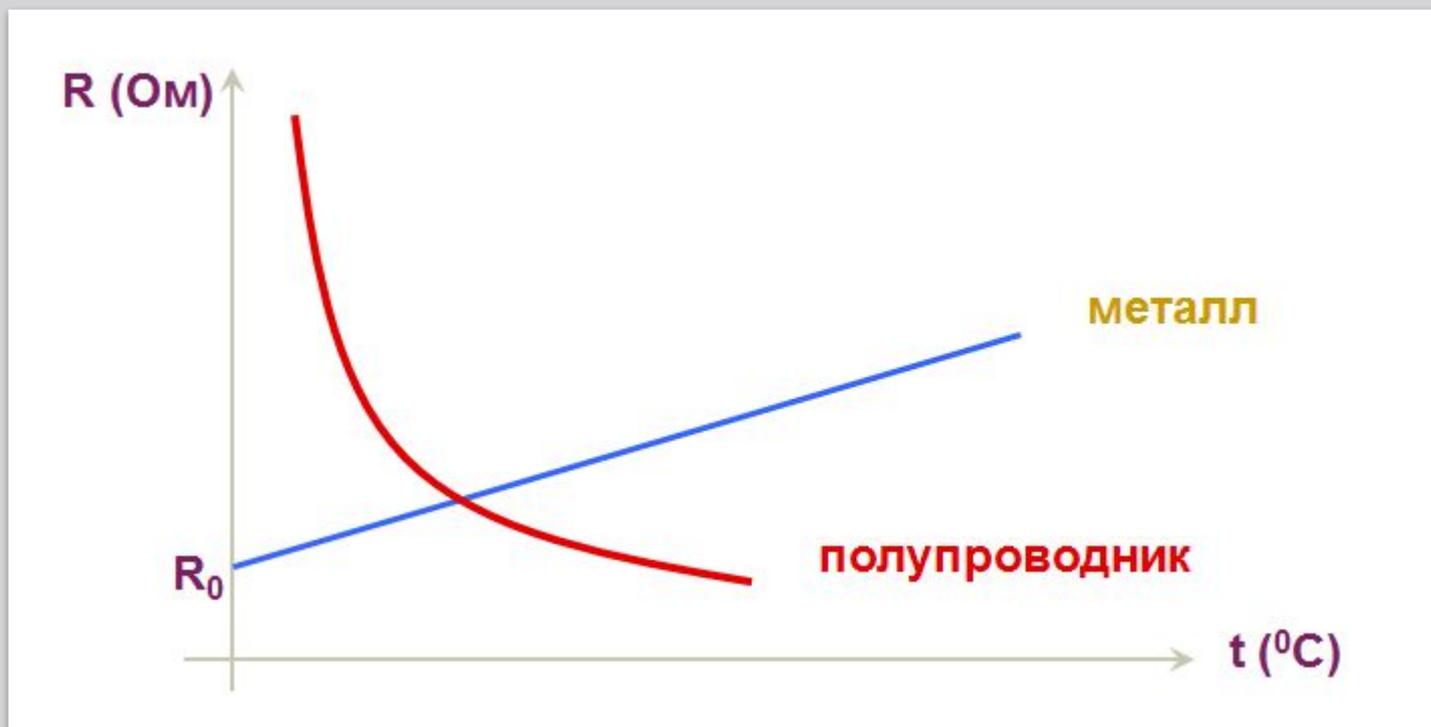
Диэлектрики

Практически не проводят электрический ток

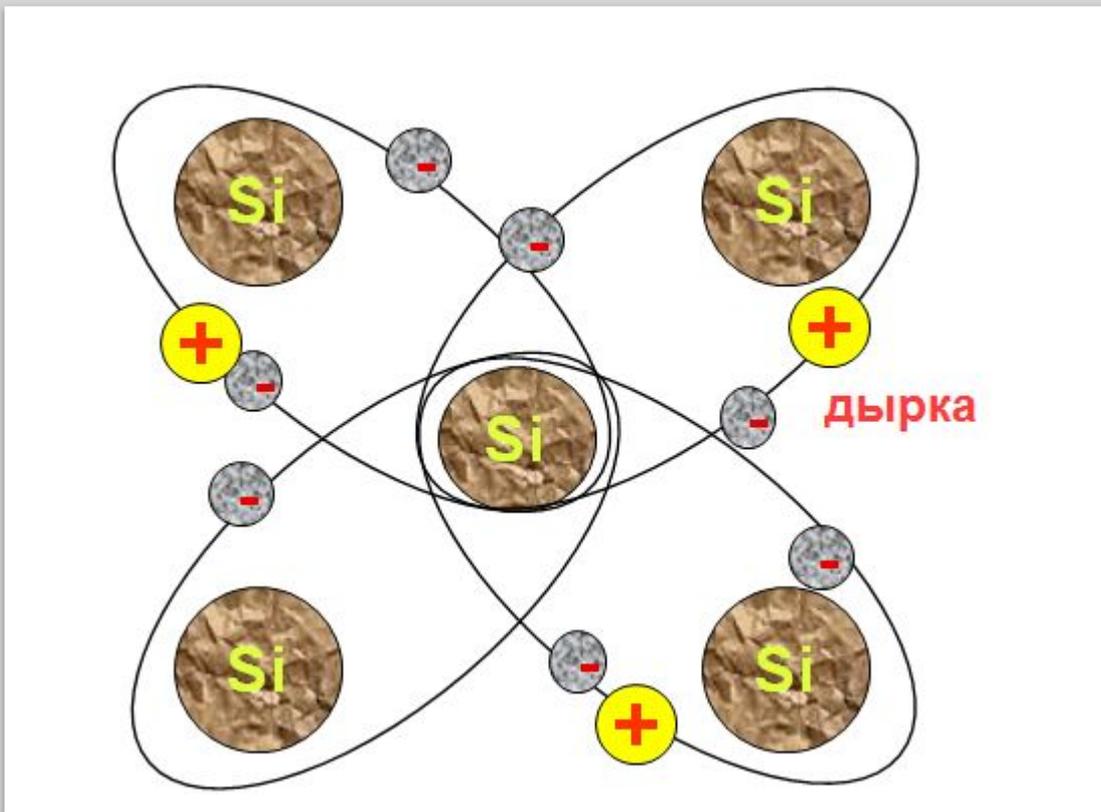
К ним относятся пластмассы, резина, стекло, фарфор, сухое дерево, бумага ...

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

Это происходит потому, что при увеличении температуры растет число свободных носителей заряда, проводимость полупроводников растет, сопротивление уменьшается

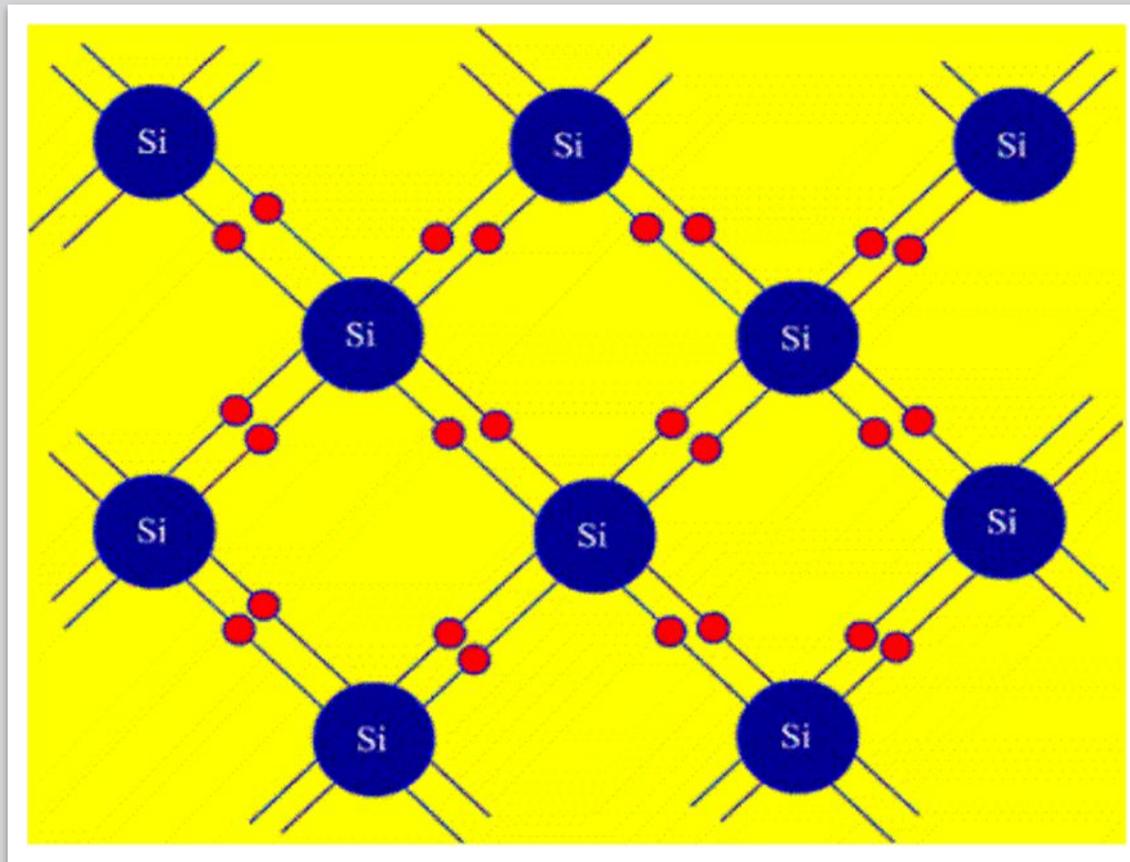


При нагревании кинетическая энергия электронов увеличивается и самые быстрые из них покидают свою орбиту. Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. В этом месте образуется условный положительный заряд, называемый «дыркой».



Свободный электрон

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.



ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

- Дозированное введение в чистый проводник примесей позволяет целенаправленно изменять его проводимость.
- Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси (легируют), которые бывают донорные и акцепторные



ЭЛЕКТРОННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ (N-ТИПА)

Термин «n-тип» происходит от слова «negative», обозначающего отрицательный заряд основных носителей. Этот вид полупроводников имеет примесную природу. В четырехвалентный полупроводник (например, кремний) добавляют примесь пятивалентного полупроводника (например, мышьяка). При легировании 4 – валентного кремния Si 5 – валентным мышьяком As, один из 5 электронов мышьяка становится свободным. В данном случае перенос заряда осуществляется в основном электронами, т.к. их концентрация больше чем дырок. Такая проводимость называется электронной. Примеси, которые добавляют в полупроводники, вследствие чего они превращаются в полупроводники n-типа, называются донорными. Проводимость N-полупроводников приблизительно равна:

$$\sigma \approx qN_n\mu_n$$

ДЫРОЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ (P-ТИПА)

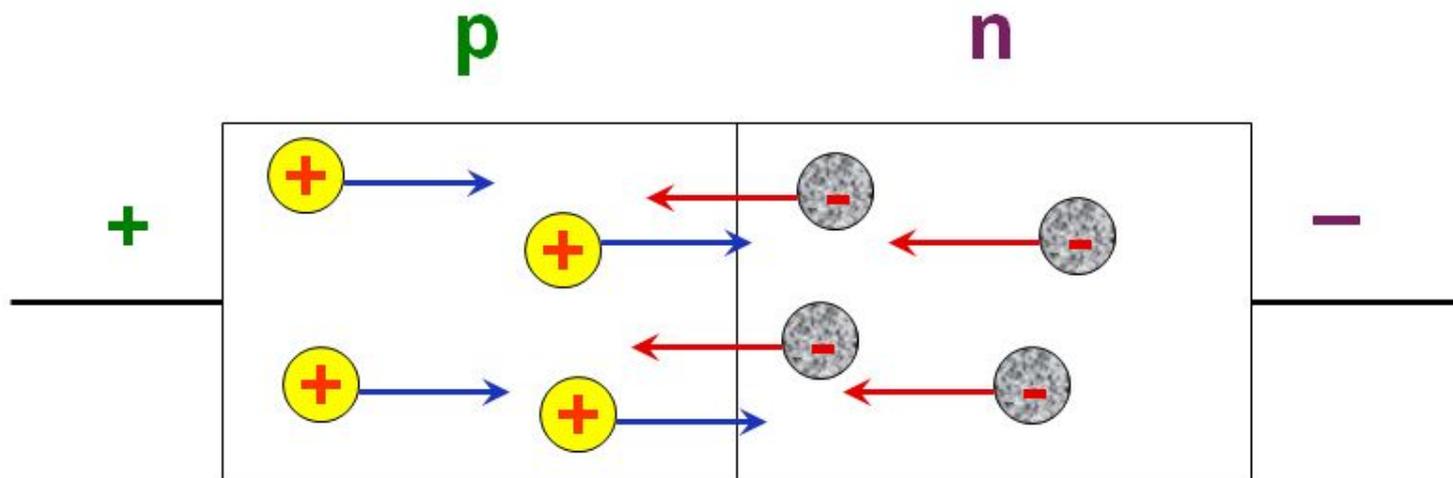
Термин «р-тип» происходит от слова «positive», обозначающего положительный заряд основных носителей. В четырехвалентный полупроводник (например, в кремний) добавляют небольшое количество атомов трехвалентного элемента (например, индия). Примеси, которые добавляют в этом случае, называются акцепторными. Если кремний легировать трехвалентным индием, то для образования связей с кремнием у индия не хватает одного электрона, т.е. образуется дополнительная дырка. В таком полупроводнике основными носителями заряда являются дырки, а проводимость называется дырочной.

Проводимость P-полупроводников приблизительно равна:

$$\sigma \approx qN_p\mu_p$$

Рассмотрим электрический контакт двух полупроводников р и n типа, называемый р – n переходом

1. Прямое включение

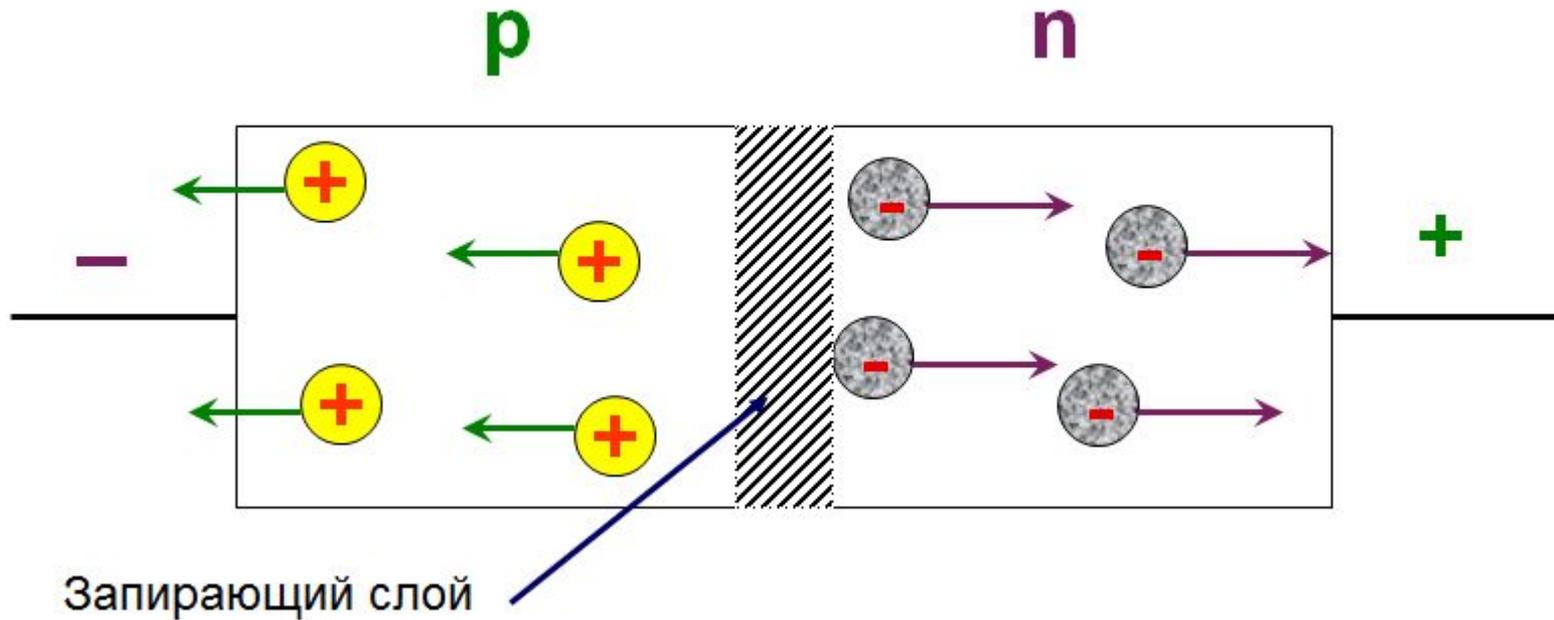


Ток через р – n переход осуществляется основными носителями заряда (дырки двигаются вправо, электроны – влево)

Сопротивление перехода мало, ток велик.

Такое включение называется прямым, в прямом направлении р – n переход хорошо проводит электрический ток.

2. Обратное включение



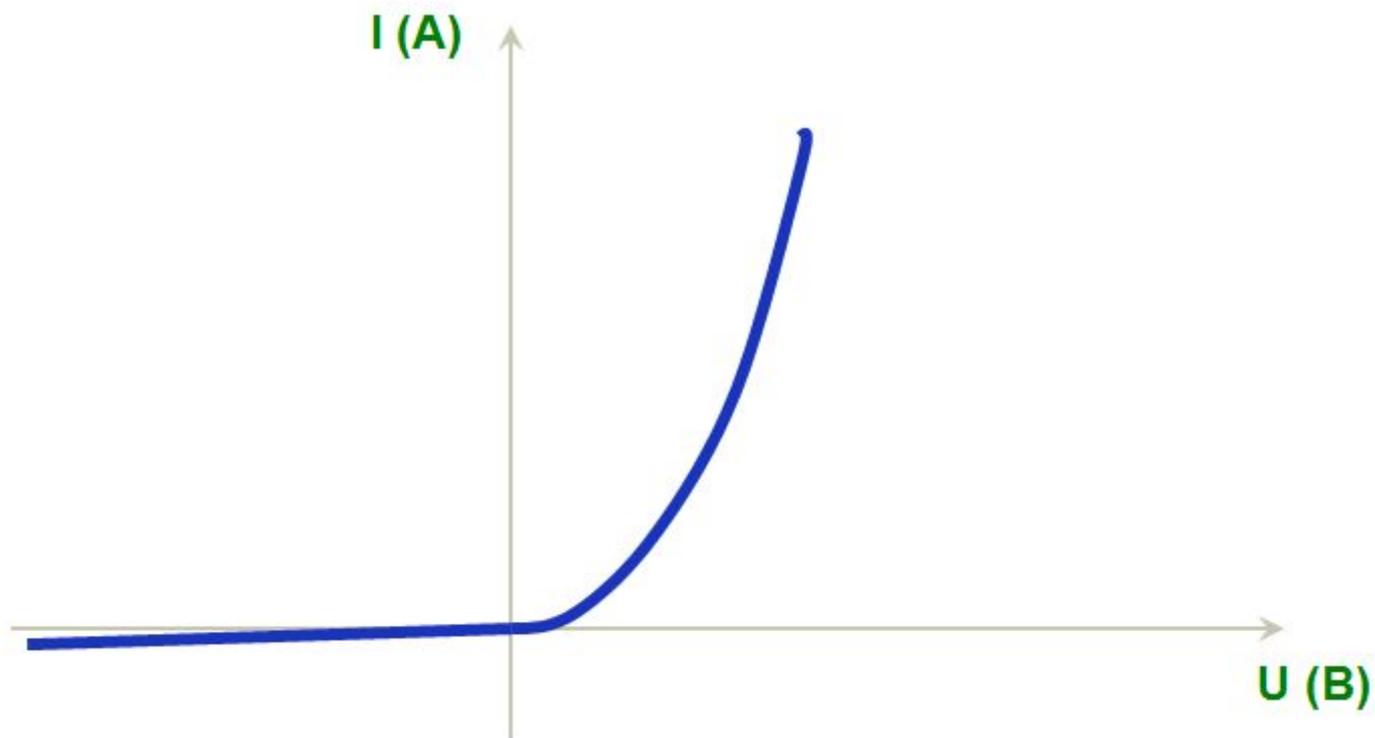
Основные носители заряда не проходят через $p - n$ переход.

Сопротивление перехода велико, ток практически отсутствует.

Такое включение называется обратным, в обратном направлении $p - n$ переход практически не проводит электрический ток.

Итак, основное свойство $p - n$ перехода заключается в его односторонней проводимости

Вольт – амперная характеристика $p - n$ перехода (ВАХ)



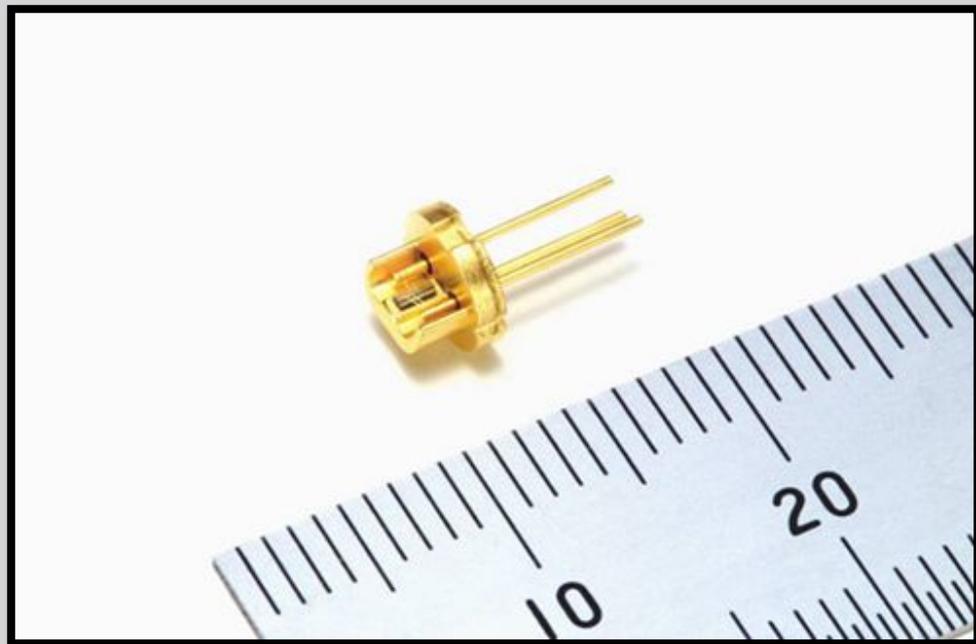
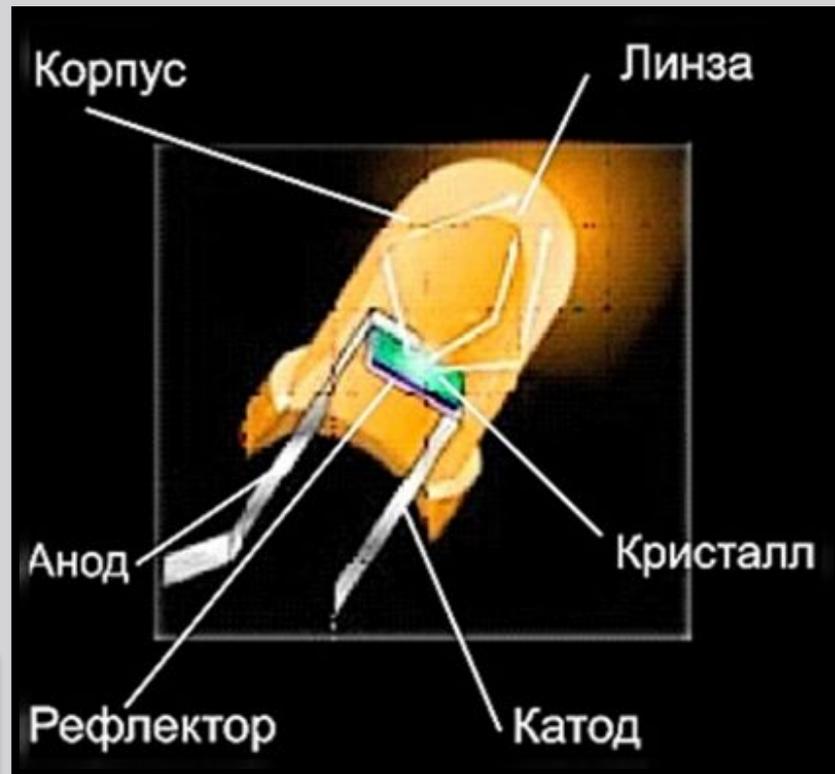
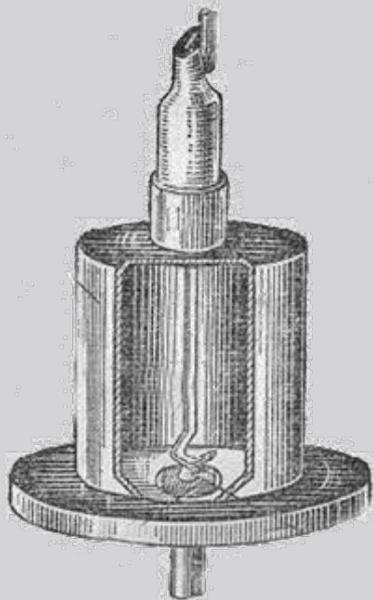
ДИОД

Полупроводниковый диод состоит из двух типов полупроводников — дырочного и электронного. В процессе контакта между этими областями из области с полупроводником n-типа в область с полупроводником p-типа проходят электроны, которые затем рекомбинируют с дырками. Вследствие этого возникает электрическое поле между двумя областями, что устанавливает предел деления полупроводников — так называемый p-n переход.

Связь между разницей потенциалов и концентрацией примесей выражается следующей формулой:

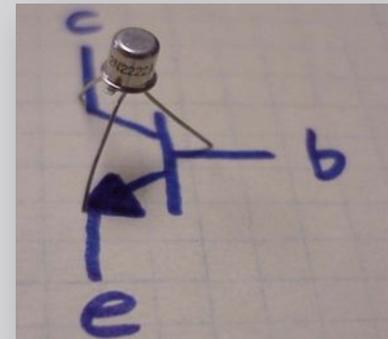
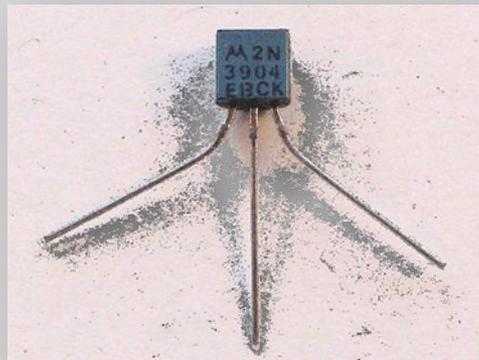
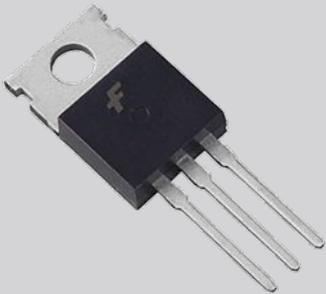
$$\phi = V_T \ln\left(\frac{N_n N_p}{n_i^2}\right)$$

где V_T — термодинамическое напряжение, n — концентрация электронов, N_p — концентрация дырок, n_i — собственная концентрация.

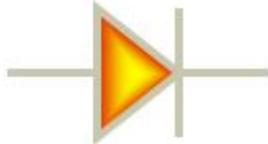


ТРАНЗИСТОР

- Транзистор — полупроводниковое устройство, которое состоит из двух областей с полупроводниками р- или n-типа, между которыми находится область с полупроводником n- или р-типа. Таким образом, в транзисторе есть две области р-n перехода. Область кристалла между двумя переходами называют базой, а внешние области называют эмиттером и коллектором. Самой употребляемой схемой включения транзистора является схема включения с общим эмиттером, при которой через базу и эмиттер ток распространяется на коллектор. Биполярный транзистор используют для усиления электрического тока.



Применение полупроводниковых диодов



Выпрямление
переменного тока

Детектирование
электрических сигналов

Стабилизация тока и
напряжения

Передача и прием
сигналов

Прочие применения