

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

# Полупроводники в природе

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



Кремний



Арсенид галлия

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

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

80 200.59 Ртуть	<b>Hg</b>
-----------------------	-----------

Арсенид индия



Алмаз



Почти все неорганические вещества окружающего нас мира — полупроводники.

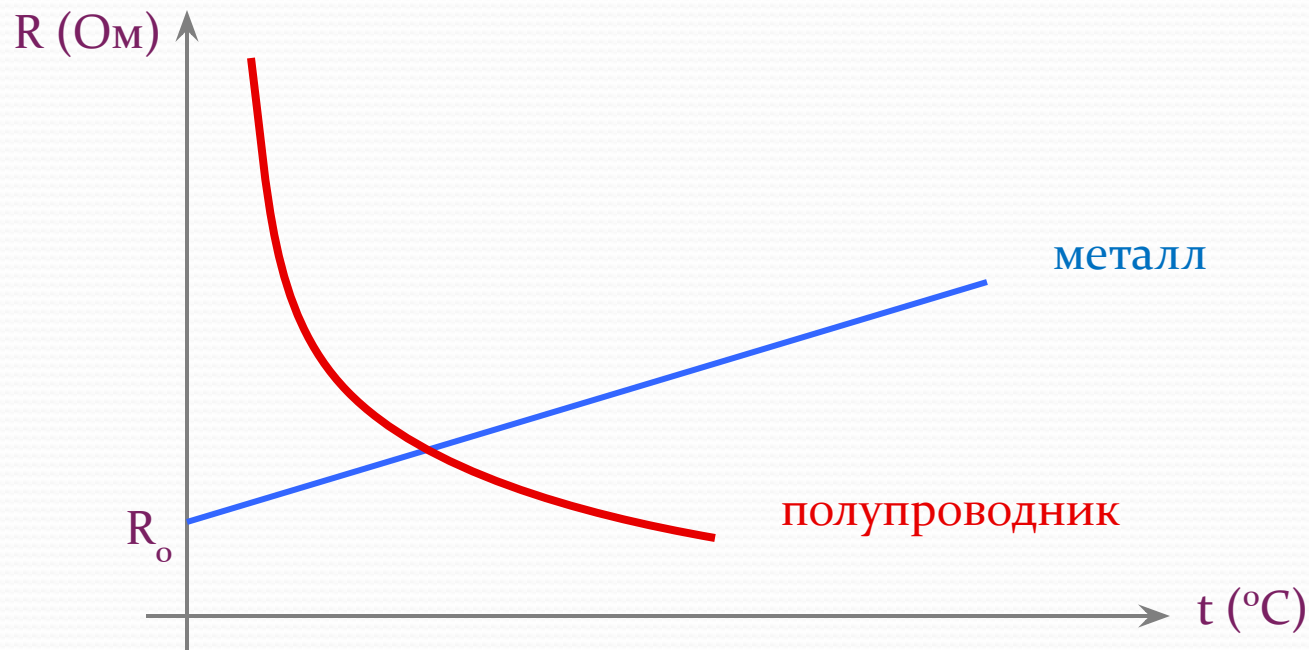
- К числу полупроводников относятся многие химические элементы (германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и другие), огромное количество сплавов и химических соединений (арсенид галлия и др.).

5 В Бор 2,34	6 С Углерод 2,62	7 N Азот 1,251
13 Al Алюминий 2,70	14 Si Кремний 2,33	15 P Фосфор 1,82
31 Ga Галлий 5,91	32 Ge Германий 5,32	33 As Мышьяк 5,72

©2002 Newby/Wikka

# Физические свойства полупроводников

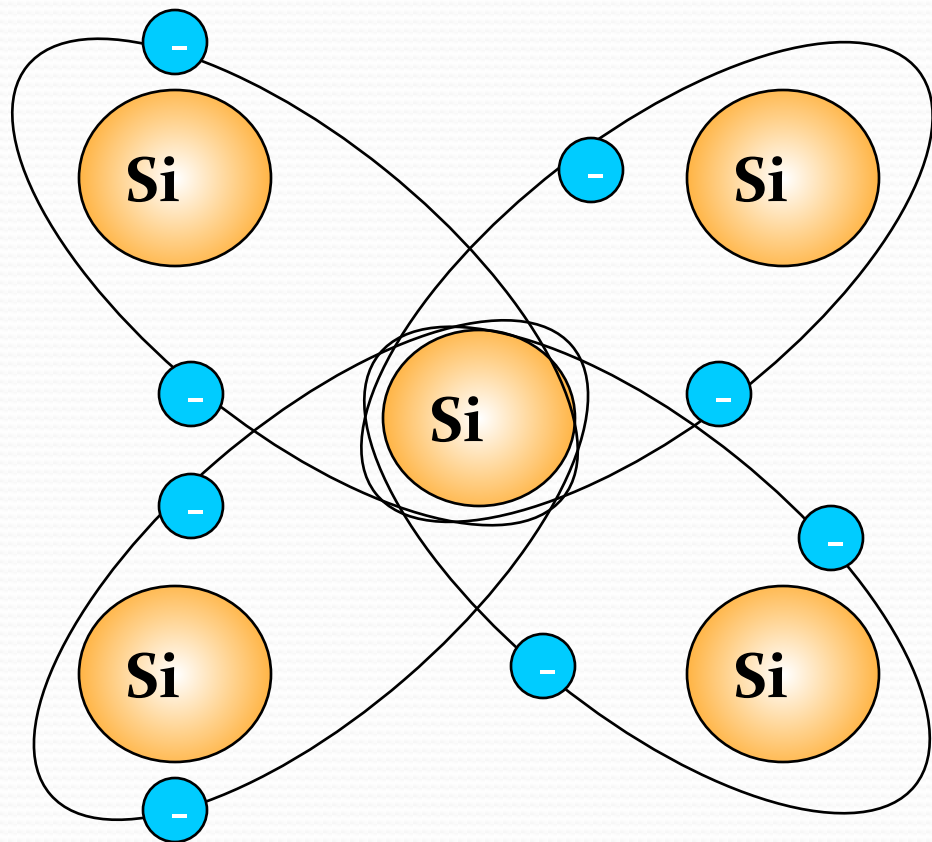
Проводимость полупроводников зависит от температуры. В отличие от проводников, сопротивление которых возрастает с ростом температуры, сопротивление полупроводников при нагревании уменьшается. Вблизи абсолютного нуля полупроводники имеют свойства диэлектриков.



Кремний – очень распространенный элемент. Например, он является основным элементом в составе песка и кварца. Если Вы посмотрите на положение кремния в периодической таблице Д. И. Менделеева, то увидите, что он находится за алюминием - Al, ниже углерода - C и выше германия - Ge.



## Рассмотрим проводимость полупроводников на основе кремния Si

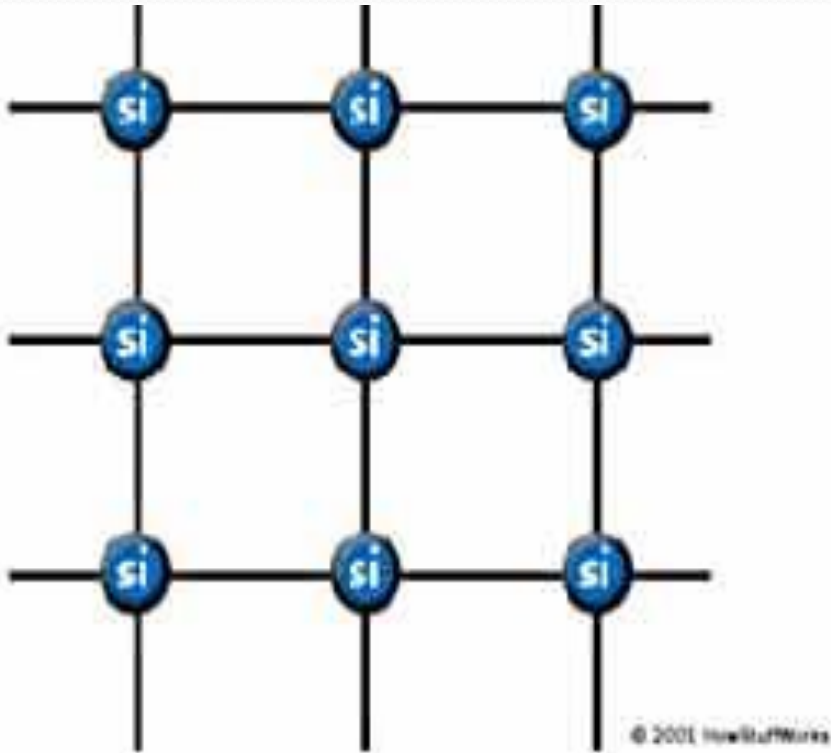


Кремний – 4 валентный химический элемент. Каждый атом имеет во внешнем электронном слое по 4 электрона, которые используются для образования парноэлектронных (ковалентных) связей с 4 соседними атомами

При обычных условиях (невысоких температурах) в полупроводниках отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому полупроводник не проводит электрический ток

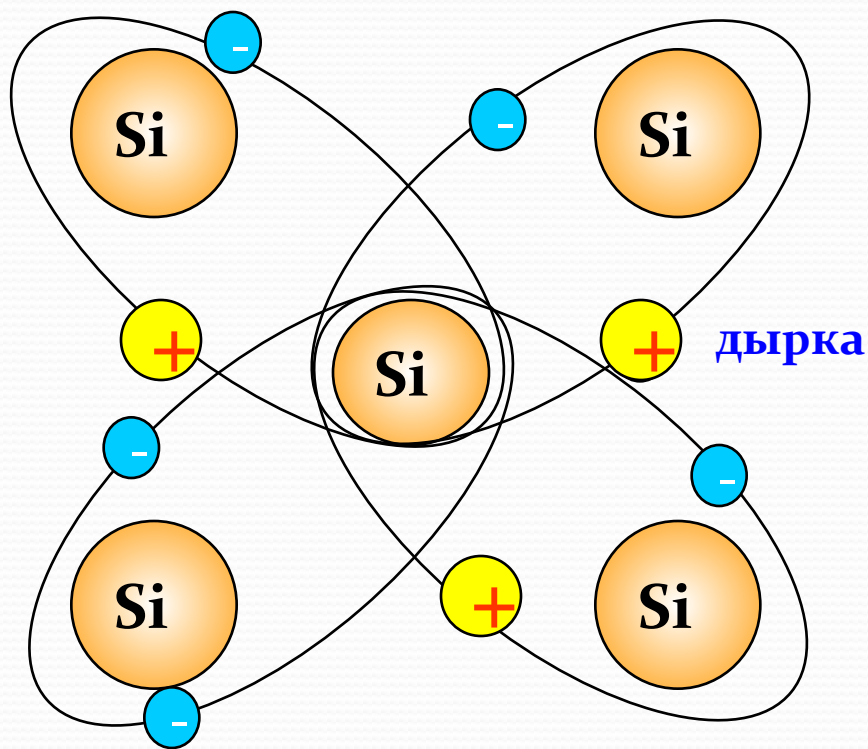


# Итак:



- В кристаллической решетке кремния все атомы кремния образуют химические связи с четырьмя соседними атомами. При этом в кристалле кремния нет свободных электронов и электрический ток через кристалл протекать не может, особенно при низких температурах. Поэтому кристалл кремния больше похож на изолятор, а не на проводник.

## Рассмотрим изменения в полупроводнике при увеличении температуры



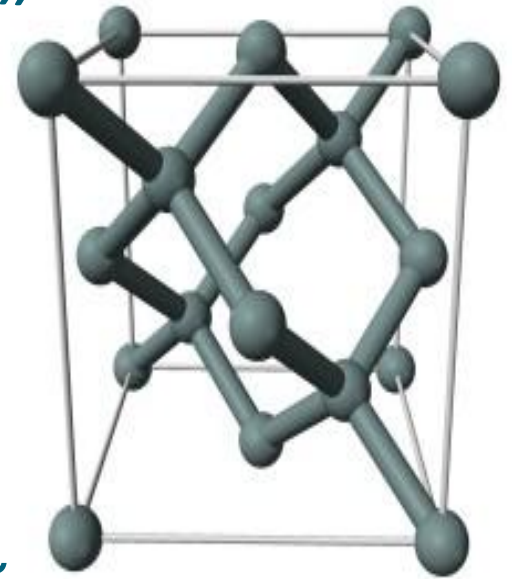
### свободный электрон

Под воздействием электрического поля электроны и дырки начинают упорядоченное (встречное) движение, образуя электрический ток

При увеличении температуры энергия электронов увеличивается и некоторые из них покидают связи, становясь **свободными электронами**. На их месте остаются некомпенсированные электрические заряды (виртуальные заряженные частицы), называемые **дырками**



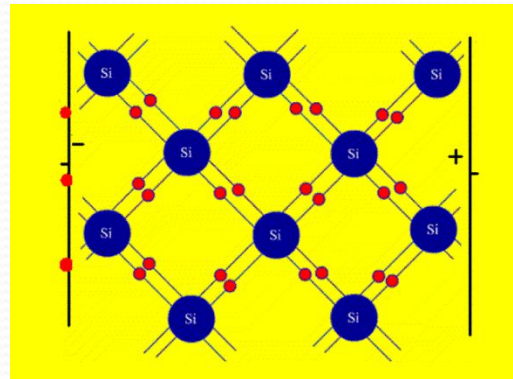
Полупроводники, в которых свободные электроны и «дырки» появляются в процессе ионизации атомов, из которых построен весь кристалл, называют полупроводниками с собственной проводимостью. В полупроводниках с собственной проводимостью концентрация свободных электронов равняется концентрации «дырок».



# Собственная проводимость полупроводников

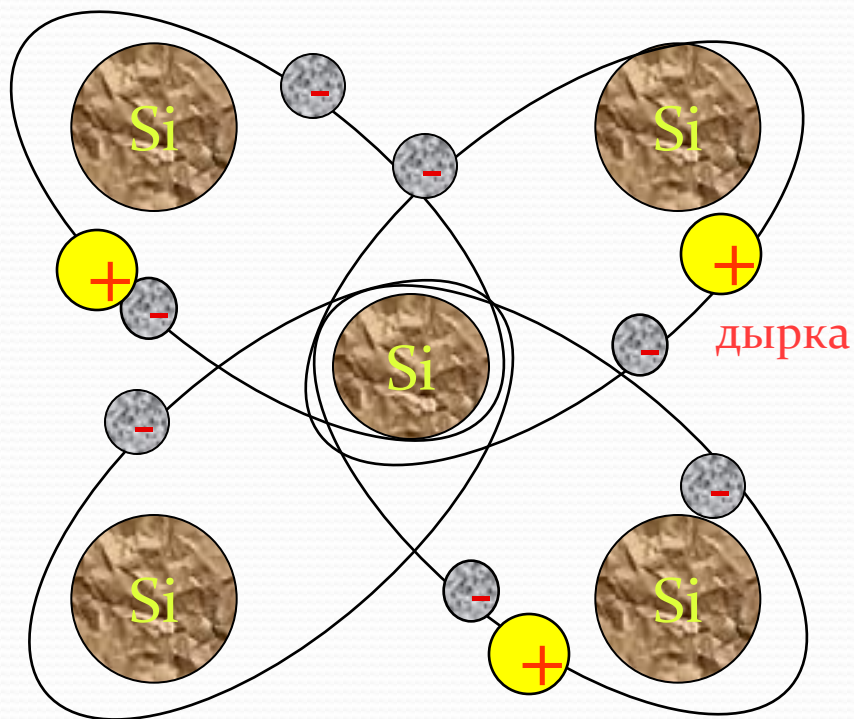
Если напряженность электрического поля в образце равна нулю, то движение освободившихся электронов и «дырок» происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока.

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**.



## «Дырка»

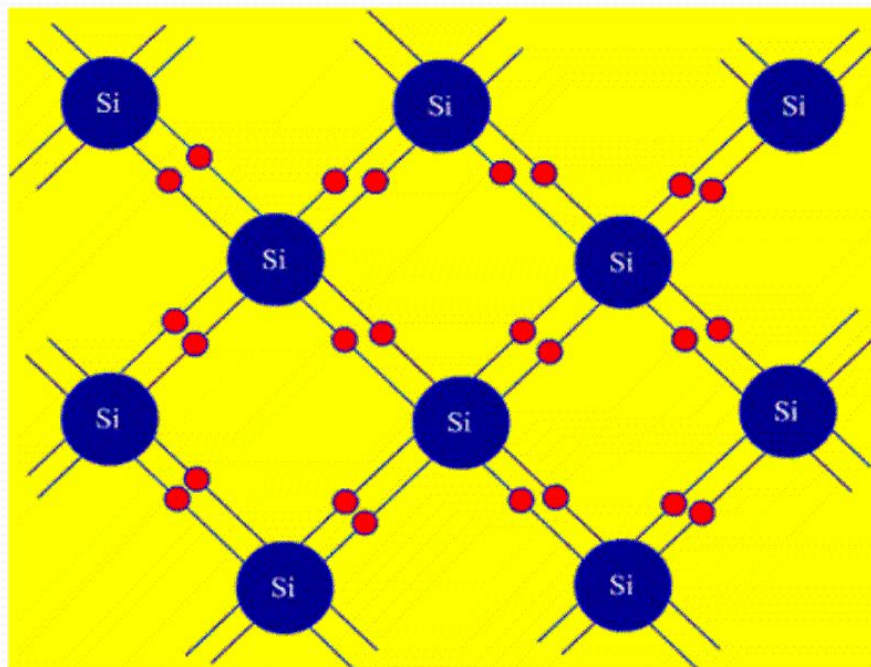
При нагревании кинетическая энергия электронов увеличивается и самые быстрые из них покидают свою орбиту. Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. В этом месте образуется условный положительный заряд, называемый «дыркой».



свободный  
электрон

# 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 электрическая проводимость полупроводников

- Электроны

- один электрон в кристалле кремния, как и алмаза, связан двумя атомами), электронам необходим уровень внутренней энергии для высвобождения из атома ( $1,76 \cdot 10^{-19}$  Дж против  $11,2 \cdot 10^{-19}$  Дж, чем и характеризуется отличие между полупроводниками и диэлектриками). Эта энергия появляется в них при повышении температуры (например, при комнатной температуре уровень энергии теплового движения атомов равняется  $0,4 \cdot 10^{-19}$  Дж), и отдельные атомы получают энергию для отрыва электрона от атома.

- Дырка

Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. Это обуславливает переход электрона с другого атома на атом со свободным местом. На атом, откуда перешёл электрон, входит другой электрон из другого атома и т. д. Это обуславливается ковалентными связями атомов. Таким образом, происходит перемещение положительного заряда без перемещения самого атома. Этот условный положительный заряд называют дыркой.

# Вывод: электрический ток в полупроводниках:

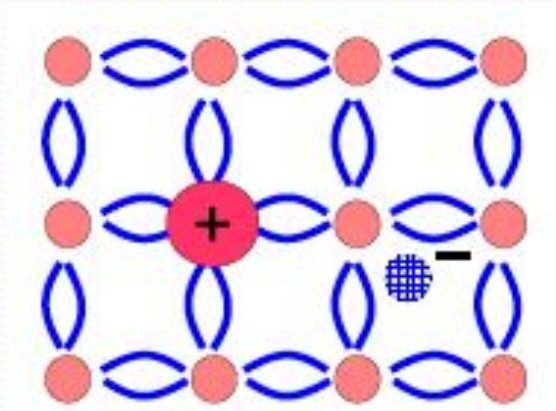
1. Электрический ток – упорядоченное движение свободных электронов и дырок.
2. Носители свободных зарядов – электроны и дырки.  
Число носителей заряда зависит от температуры, освещенности, наличия примесей.
3. При повышении температуры  $\rho$  (удельное сопротивление) полупроводников уменьшается.



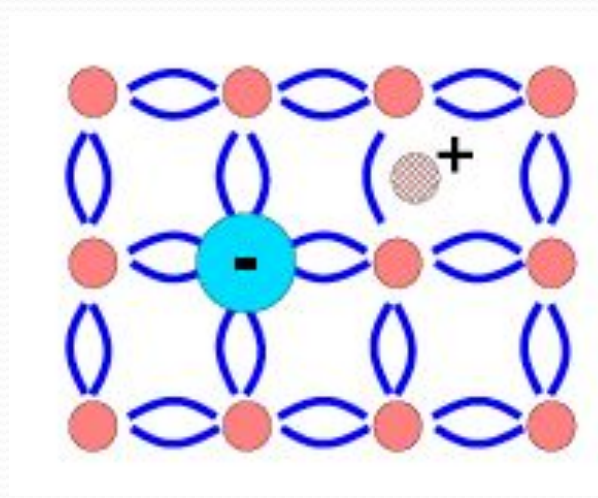
# Примесная проводимость

Для создания полупроводниковых приборов часто используют кристаллы с примесной проводимостью. Такие кристаллы изготавливаются с помощью внесения примесей с атомами трехвалентного или пятивалентного химического элемента

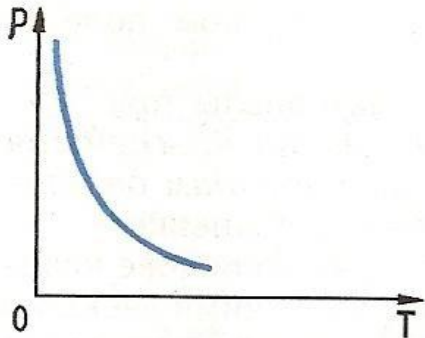
Полупроводник n-типа  
р-типа



Полупроводник



## А) собственная проводимость



Число свободных электронов = числу дырок.

$\rho$  уменьшается при нагревании, облучении.

## Б) примесная проводимость

**Донорная примесь**  
(полупроводник n - типа)

*мышьяк*

Основные носители – электроны,

Неосновные - дырки

**Акцепторная примесь**  
(полупроводник p - типа)

*индий*

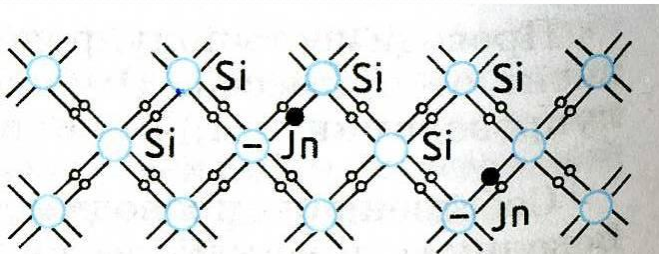
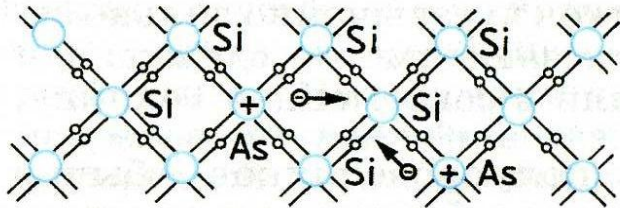
Основные носители – дырки,

Неосновные - электроны

# Проводимость полупроводников

Донорные примеси - это примеси, отдающие лишний валентный электрон

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

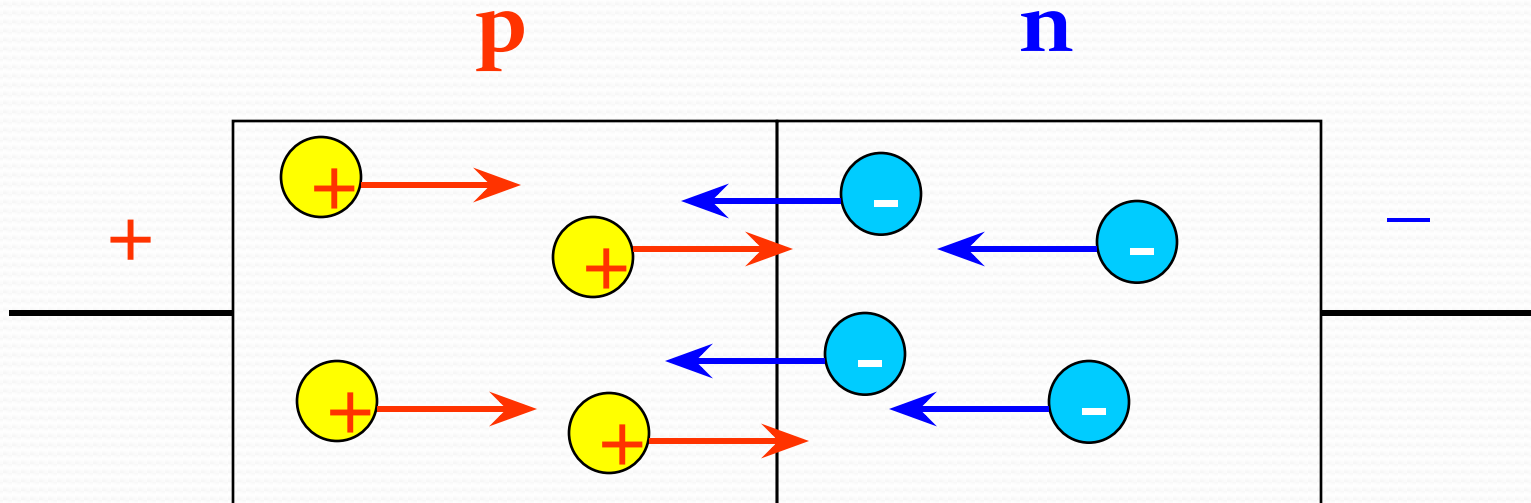


Акцепторные примеси – это примеси, у которых не хватает электронов для образования полной ковалентной связи с соседними атомами.

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

# *p-n переход* – КОНТАКТ ДВУХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

## 1. Прямое включение

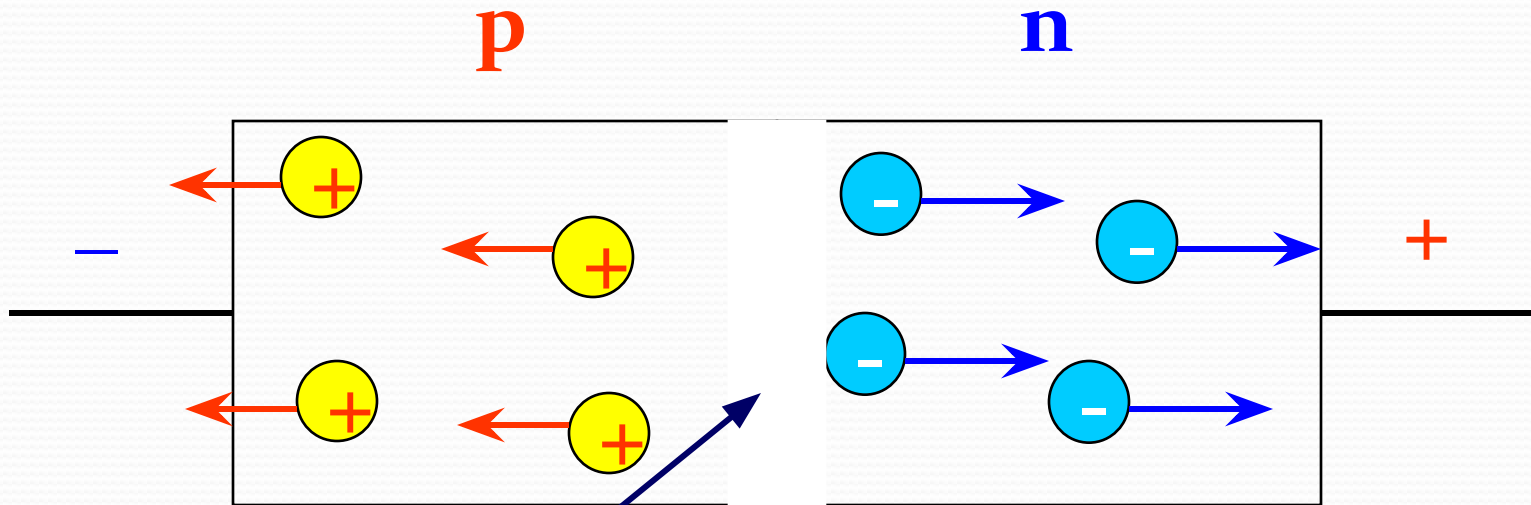


Ток через **p** – **n** переход осуществляется основными носителями заряда (дырки двигаются вправо, электроны – влево)

Сопротивление перехода мало, ток велик.

Такое включение называется **прямым**, в прямом направлении **p** – **n** переход хорошо проводит электрический ток

## 2. Обратное включение



Запирающий слой

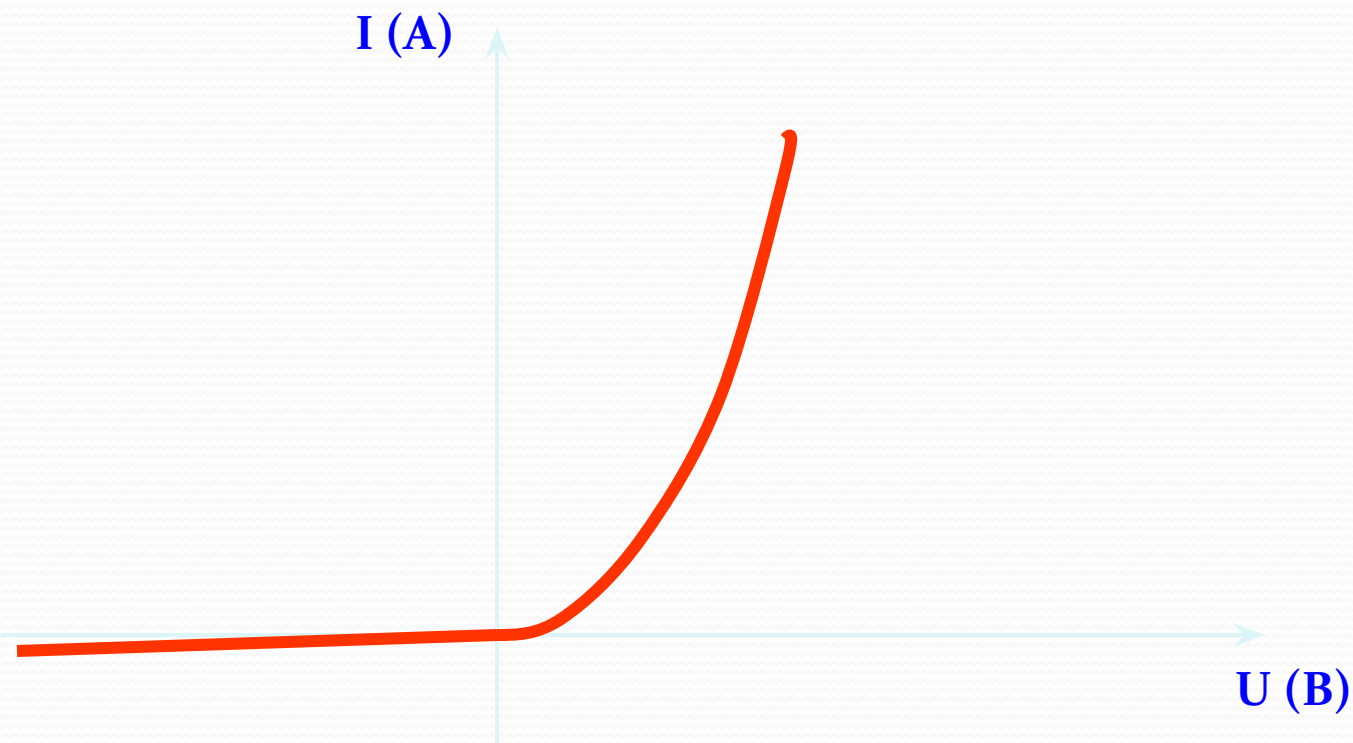
Основные носители заряда не проходят через **p** - **n** переход

**Сопротивление перехода велико, ток практически отсутствует**

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

Основное свойство **p** – **n** перехода заключается в его **односторонней проводимости**

#### 4. Вольт – амперная характеристика **p** – **n** перехода (ВАХ)





## 5. Применение полупроводников

### 1) Собственная проводимость

#### **Термо и фоторезисторы**

( для измерения  $t^{\circ}$  ,  
противопожарная  
сигнализация,  
для определения  
качества обработки  
поверхности, контроля  
размера изделий и др.)

### 2) Примесная проводимость

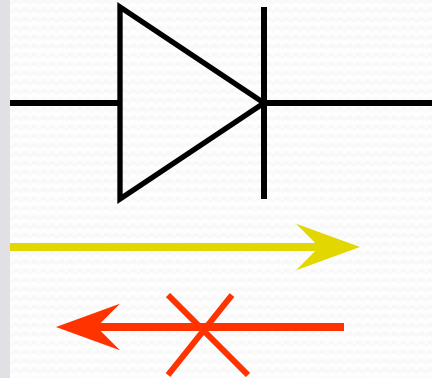
#### **ДИОД**

( ВЫПРЯМЛЯЕТ  
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК)

#### **ТРАНЗИСТОР**

- для УСИЛЕНИЯ ЭЛ.  
КОЛЕБАНИЙ,
- В КАЧЕСТВЕ РЕЛЕ,
- КАК ДЕТАЛЬ  
ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОЙ  
ЧАСТОТЫ

Полупроводниковый диод – это **p – n** переход, заключенный в корпус



Обозначение  
полупроводникового диода  
на схемах

Вольт – амперная характеристика полупроводникового диода (ВАХ)



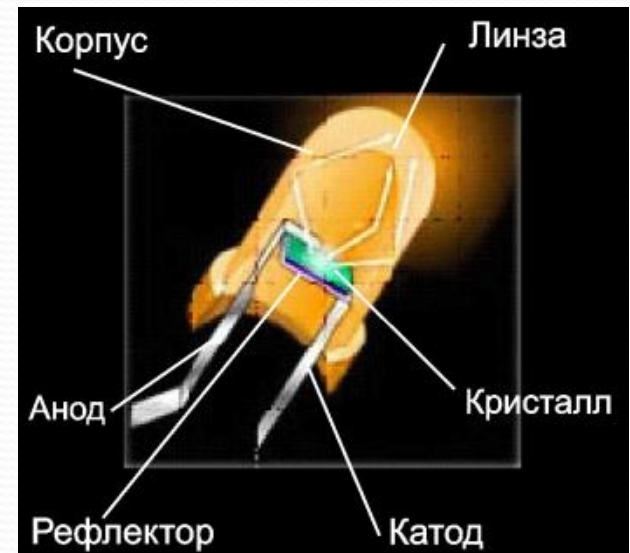
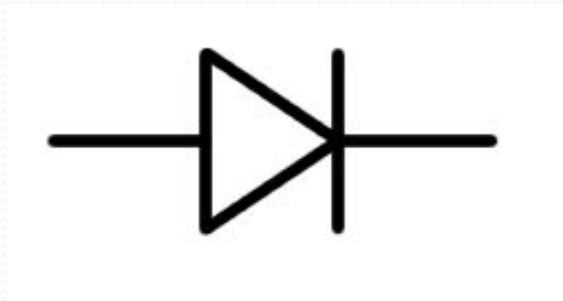
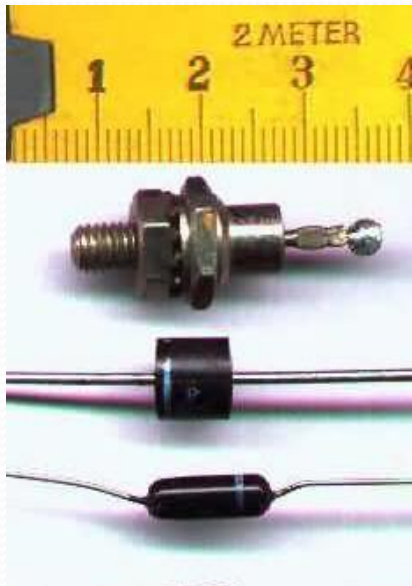
Основное свойство диода –  
его односторонняя  
электрическая  
проводимость

# 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-п-перехода.

Впервые диод изобрел Джон Флемминг в 1904 году.



# Применение полупроводниковых диодов

Выпрямление  
переменного тока

Детектирование  
электрических сигналов

Стабилизация тока и  
напряжения

Передача и прием  
сигналов

Прочие применения



## *Преимущества полупроводников*

- Малые размеры
- Большой срок службы
- Высокая чувствительность

## *Недостатки полупроводников*

- Ограниченный интервал температур
- Чувствительность к электрическим перегрузкам