

# Электрический ток в полупроводниках

Полупроводники – вещества, проводимость которых занимает промежуточное положение между проводниками и диэлектриками  
( кремний, германий )

Разные вещества имеют различные электрические свойства, однако по электрической проводимости их можно разделить на 3 основные группы:



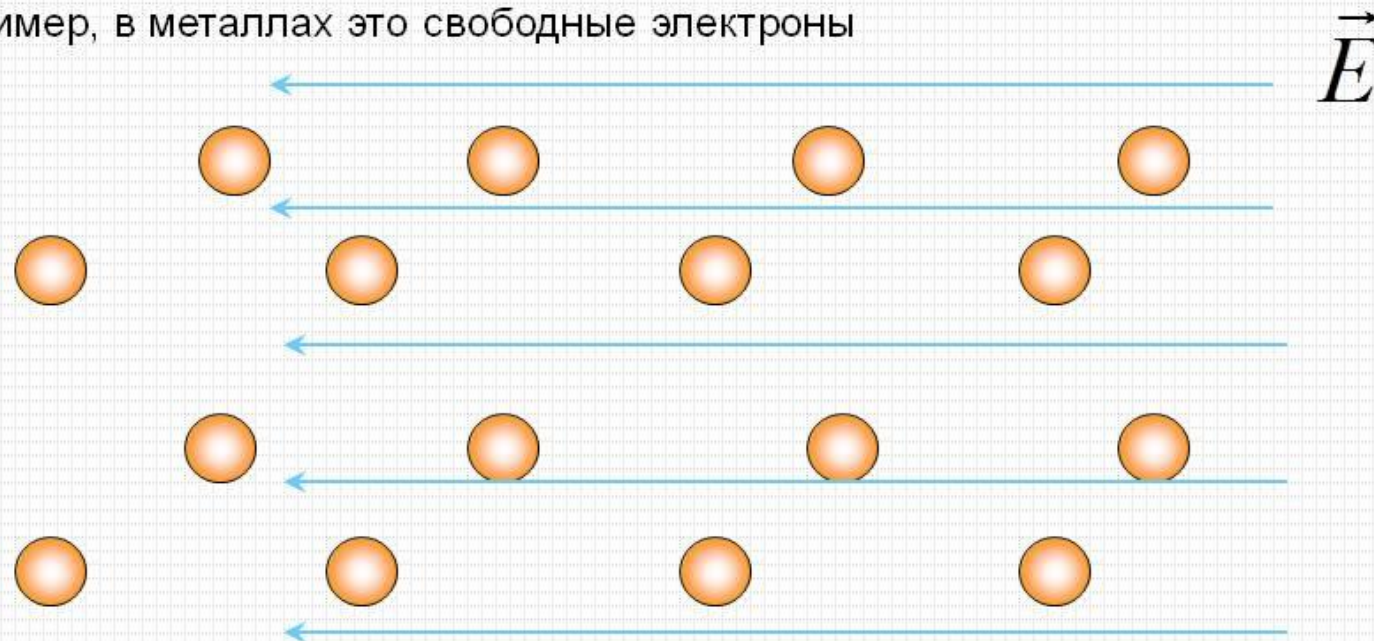
# Полупроводники

Период	Группа				
	III	IV	V	VI	VII
1					
2	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>
3	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>
4	<b>Ga</b>	<b>Ge</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	<b>Br</b>
5	<b>In</b>	<b>Sn</b>	<b>Sb</b>	<b>Te</b>	<b>I</b>
6	<b>Tl</b>	<b>Pb</b>	<b>Bi</b>	<b>Po</b>	<b>At</b>

Полупроводники - это 12 элементов таблицы Менделеева, большинство минералов, различные окислы, сульфиды, и другие химические соединения.

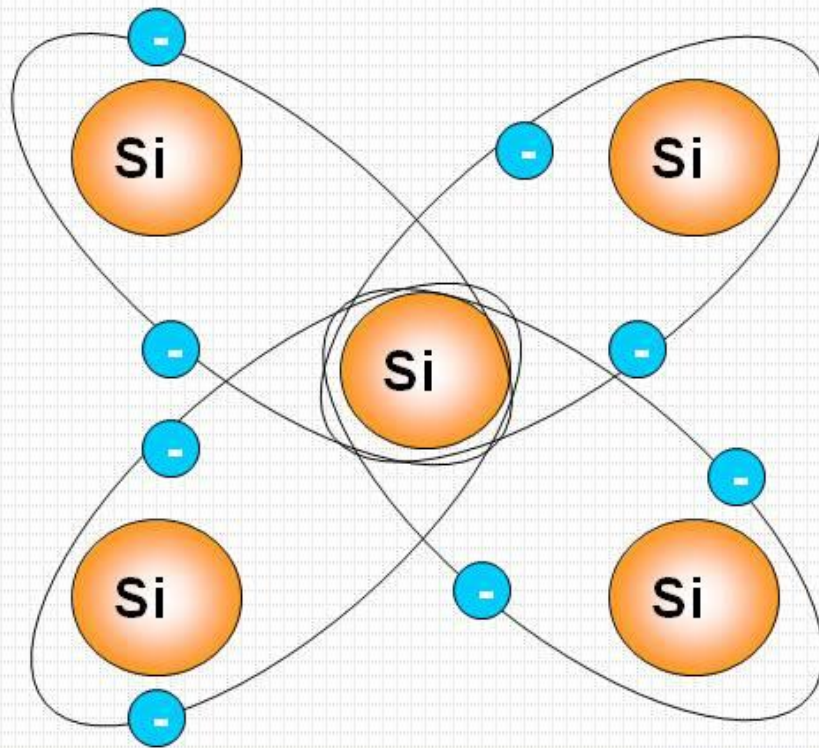
Вспомним, что проводимость веществ обусловлена наличием в них свободных заряженных частиц

Например, в металлах это свободные электроны



**Вспомните и объясните характер проводимости металлов и его зависимость от температуры**

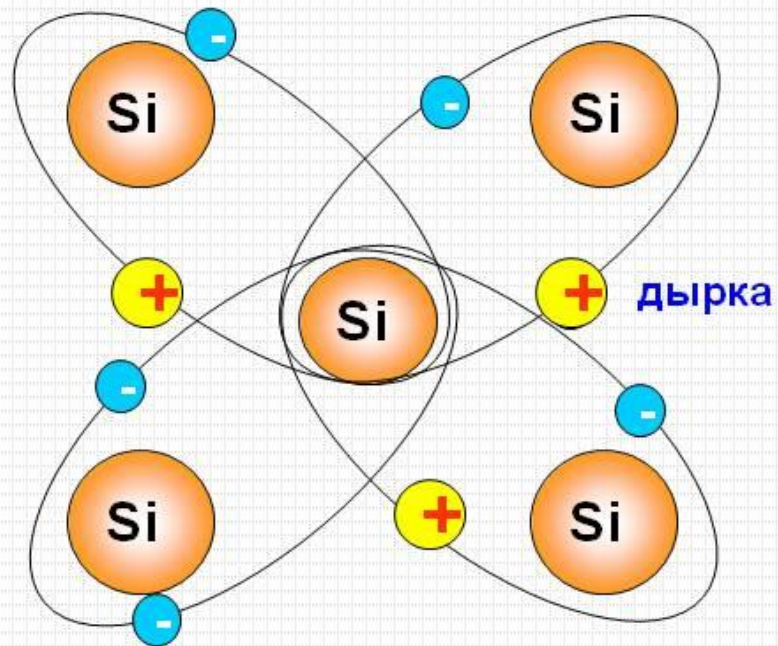
Рассмотрим проводимость полупроводников на основе кремния Si



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

Рассмотрим изменения в полупроводнике при увеличении температуры



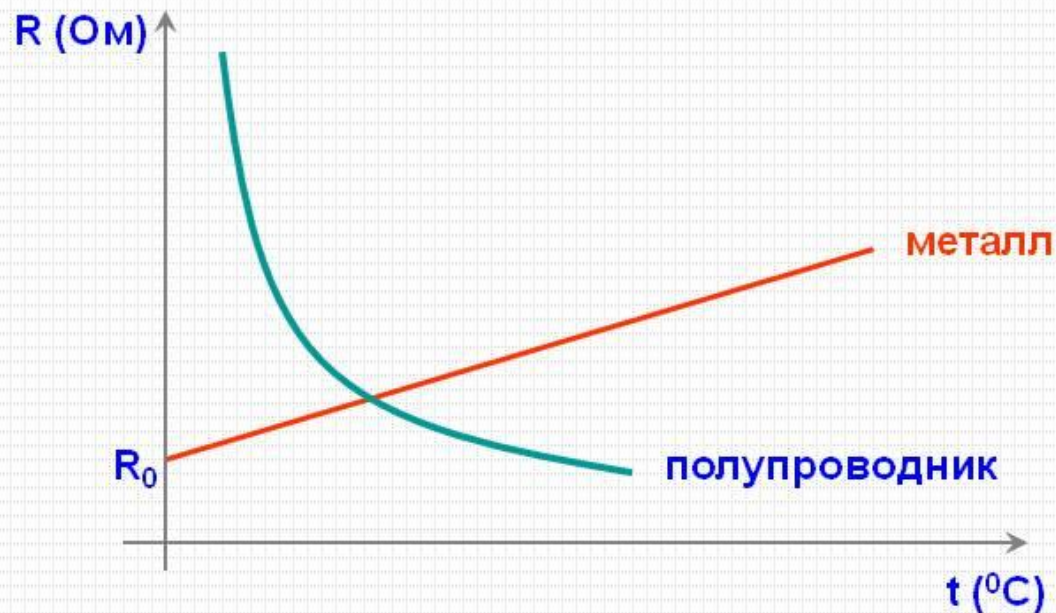
**свободный электрон**

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**

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

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



?

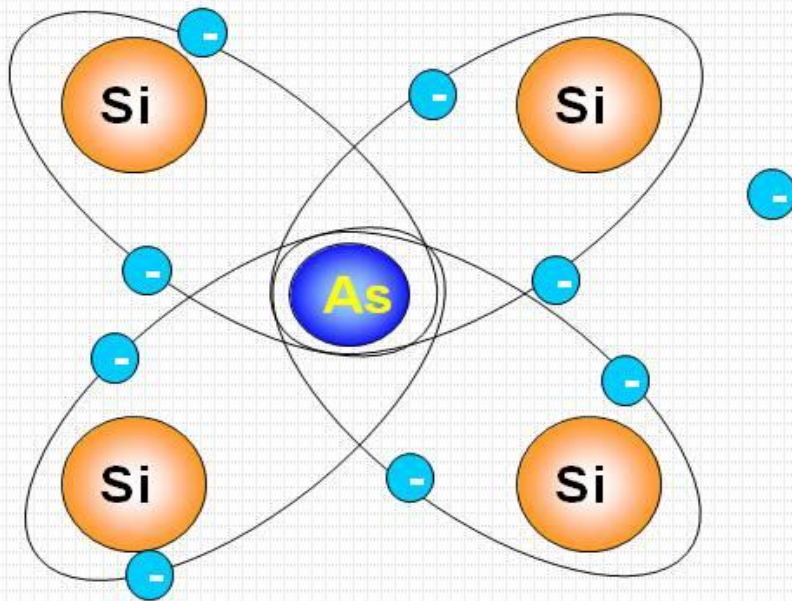
Объясните графики зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры

# ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

## Примесная проводимость полупроводников

Собственная проводимость полупроводников явно недостаточна для технического применения полупроводников

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



### Донорные примеси

При легировании 4 – валентного кремния Si 5 – валентным мышьяком As, один из 5 электронов мышьяка становится **свободным**

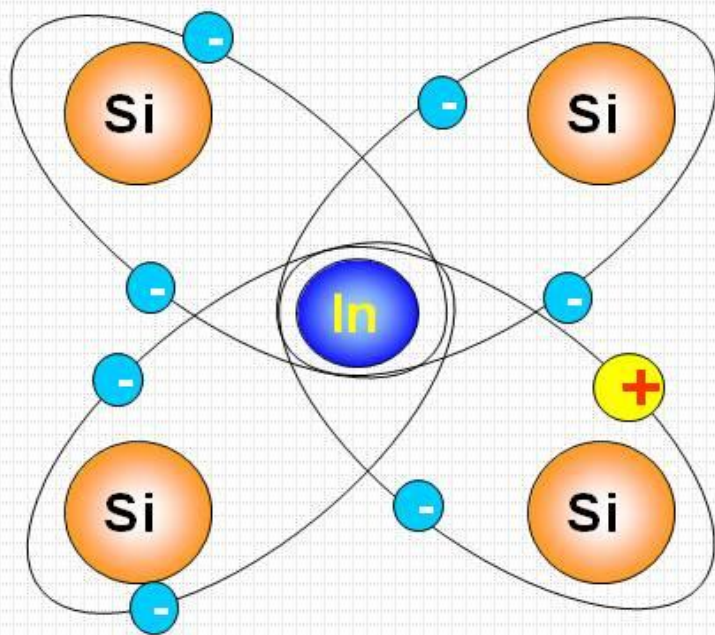
Таким образом изменяя концентрацию мышьяка, можно в широких пределах изменять проводимость кремния

Такой полупроводник называется полупроводником **n – типа**, основными носителями заряда являются **электроны**, а примесь мышьяка, дающая свободные электроны, называется **донорной**



## Акцепторные примеси

Если **кремний** легировать трехвалентным **индием**, то для образования связей с кремнием у индия не хватает одного электрона, т.е. образуется **дырка**



Изменяя концентрацию индия, можно в широких пределах изменять проводимость кремния, создавая полупроводник с заданными электрическими свойствами

Такой полупроводник называется полупроводником **p – типа**, **основными носителями** заряда являются **дырки**, а примесь индия, дающая дырки, называется **акцепторной**

Итак, существует 2 типа полупроводников, имеющих большое практическое применение:



**p - типа**

Основные носители заряда -  
**дырки**



**n - типа**

Основные носители заряда -  
**электроны**

Помимо основных носителей в полупроводнике существует очень малое число неосновных носителей заряда ( в полупроводнике p – типа это электроны, а в полупроводнике n – типа это дырки), количество которых растет при увеличении температуры



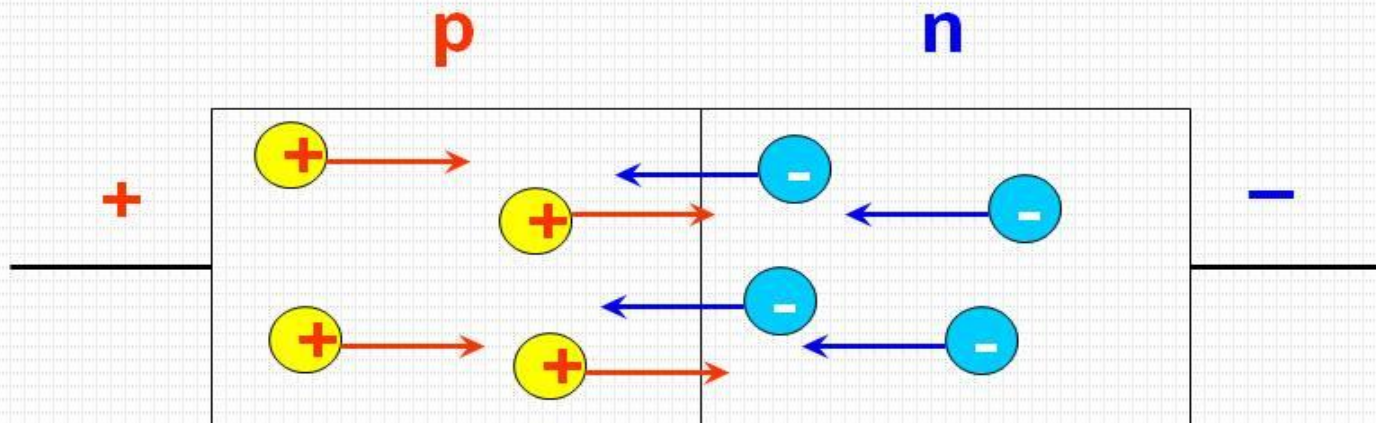
**Объясните, как изменяется количество неосновных носителей заряда в примесном полупроводнике при увеличении температуры**

# P-n ПЕРЕХОД.

## *p-n переход и его свойства*

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

### 1. Прямое включение

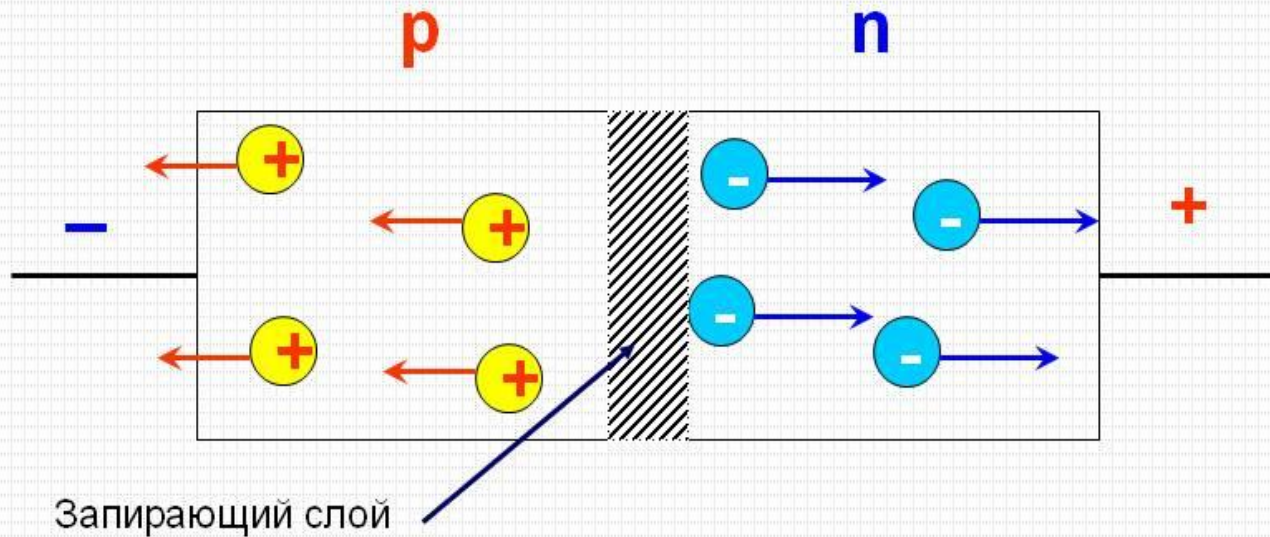


Ток через **p – n** переход осуществляется **основными носителями заряда** (дырки двигаются вправо, электроны – влево)

**Сопротивление перехода мало, ток велик.**

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

## 2. Обратное включение



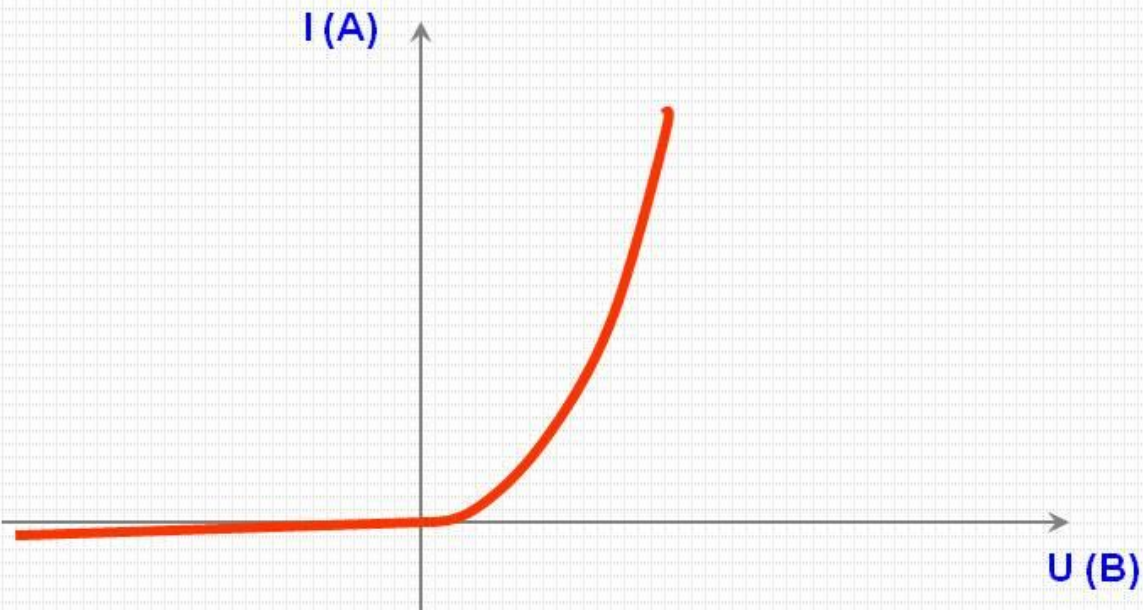
Основные носители заряда не проходят через **p - n** переход

**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)



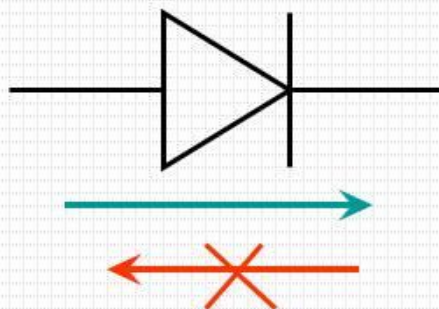
?

Объясните на основе строения полупроводников и свойствах **p – n** перехода график зависимости силы тока от напряжения (ВАХ) перехода

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ.

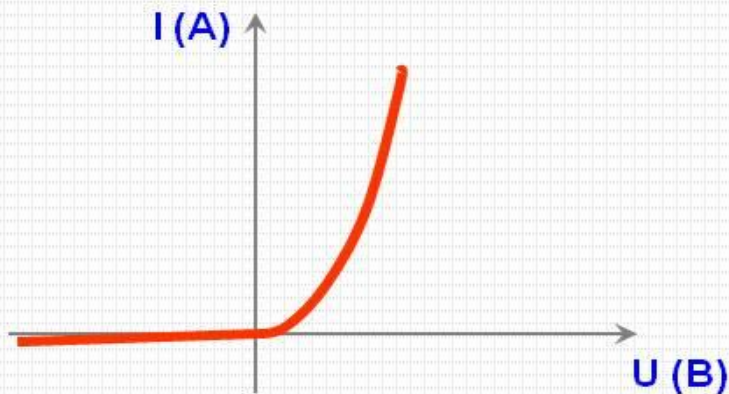
Полупроводниковый диод и его применение

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

## Применение полупроводниковых диодов

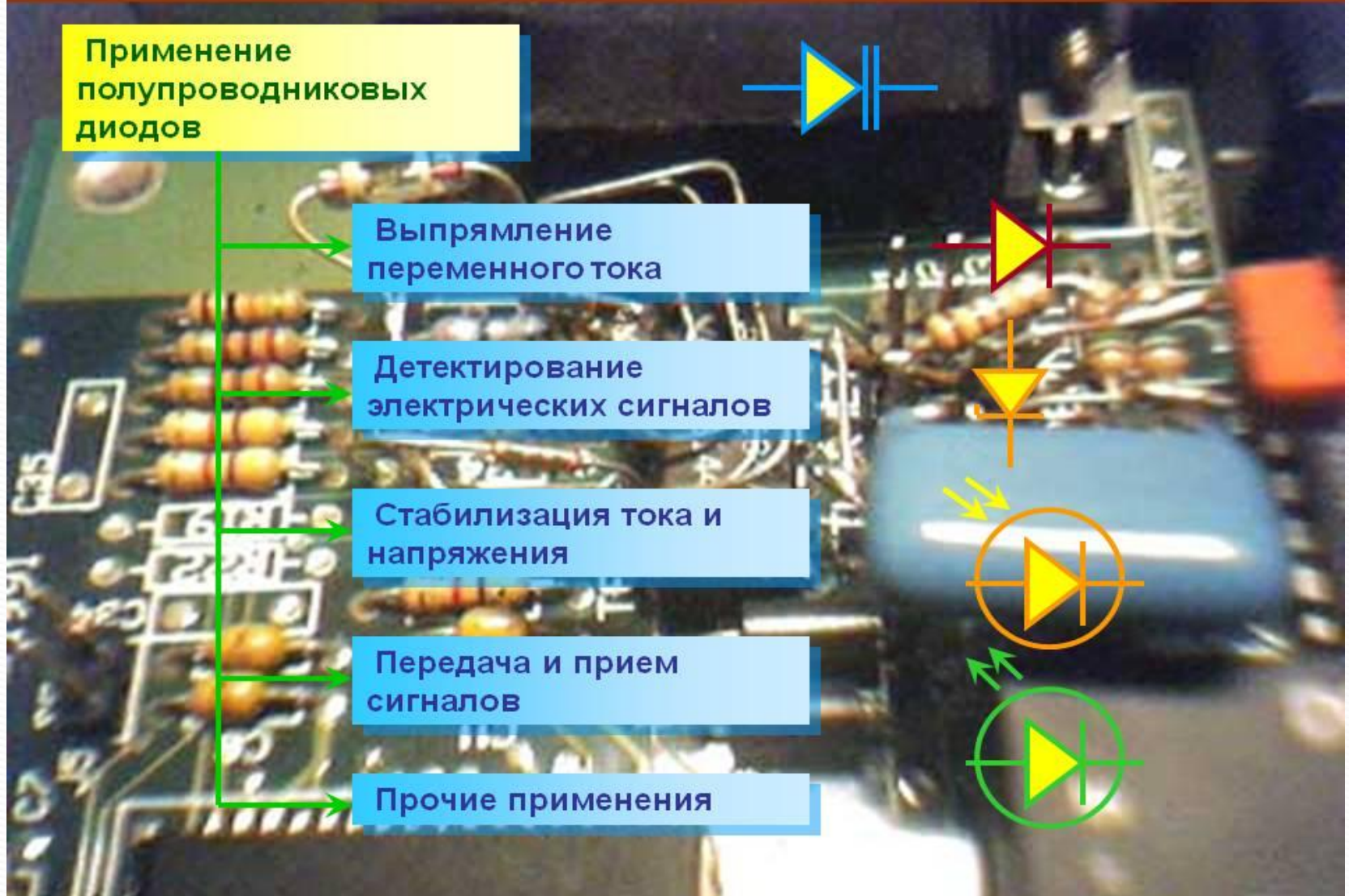
Выпрямление переменного тока


Детектирование электрических сигналов

Стабилизация тока и напряжения

Передача и прием сигналов

Прочие применения





Широкое применение полупроводников началось сравнительно недавно, а сейчас они получили очень широкое применение. Они преобразуют световую и тепловую энергию в электрическую и, наоборот, с помощью электричества создают тепло и холод.



Полупроводниковые  
приборы можно встретить в  
обычном радиоприемнике и в  
квантовом генераторе -  
лазере, в крошечной атомной  
батарее и в  
микропроцессорах.

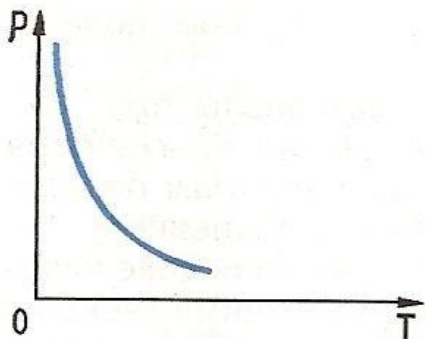
Инженеры не могут обходиться без полупроводниковых выпрямителей, переключателей и усилителей.

Замена ламповой аппаратуры полупроводниковой позволила в десятки раз уменьшить габариты и массу электронных устройств, снизить потребляемую ими мощность и резко увеличить надежность.

# 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  $\rho$  полупроводников уменьшается.

## 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)

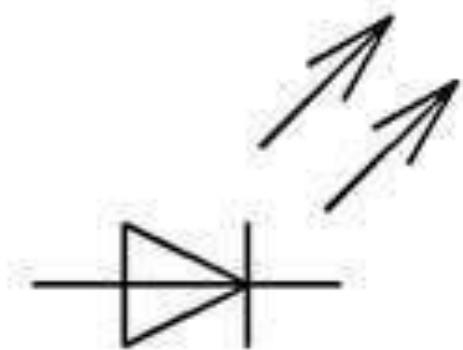
*индий*

Основные носители – дырки,

Неосновные - электроны

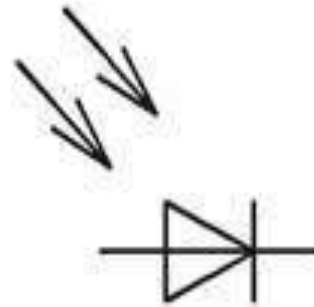
# Диоды имеют вид





# Светодиоды

# ФОТОДИОДЫ



## 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



## *Преимущества полупроводников*

- Малые размеры
- Большой срок службы
- Высокая чувствительность

## *Недостатки полупроводников*

- Ограниченный интервал температур
- Чувствительность к электрическим перегрузкам

# Ответить письменно на вопросы:

1. Чем полупроводники отличаются от проводников?
2. Модель электрического тока в полупроводниках
  - а) структурные единицы, носители заряда.
  - б) как расположены структурные единицы?

# Закрепление

в) как они движутся?

г) как взаимодействуют между собой?

д) какими микро- и макропараметрами характеризуется модель?

**3.** Закономерности протекания тока

а) зависимость  $I(U)$

б) зависимость  $R(T)$

в) зависимость  $I(T)$

## Закрепление

4. Что называют р-п – переходом?
5. Что происходит в контакте двух проводников р и п – типов?
6. Что такое запирающий слой?
7. Какой переход называют прямым?
8. Для чего служит полупроводниковый диод?