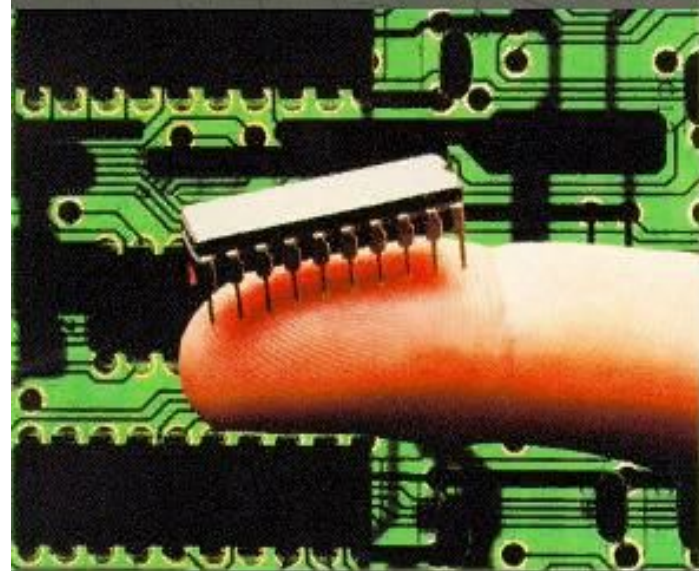


# Полупроводники

# Введение



Полупроводники как особый класс веществ, были известны еще с конца XIX века, только развитие теории твердого тела позволила понять их особенность. Полупроводниками называют вещества, обладающие электронной проводимостью, занимающей промежуточное положение между металлами и изоляторами. От металлов они отличаются тем, что носители электрического тока в них создаются тепловым движением, светом, потоком электронов и источником энергии. Без теплового движения (вблизи абсолютного нуля) полупроводники являются изоляторами. С повышением температуры электропроводность полупроводников возрастает и при расплавлении носит металлический характер.

Задолго до этого были обнаружены:

- эффект выпрямления тока на контакте металл-полупроводник
- фотопроводимость.

Были построены первые приборы на их основе.

# Были построены первые приборы на их основе.



О. В. Лосев (1923) доказал возможность использования контактов полупроводник-металл для усиления и генерации колебаний (кристаллический детектор). Однако в последующие годы кристаллические детекторы были вытеснены электронными лампами и лишь в начале 50 - х годов с открытием транзисторов (США 1949 год) началось широкое применение полупроводников (главным образом германия и кремния в радиоэлектронике. Одновременно началось интенсивное изучение свойств полупроводников, чему способствовало совершенствование методов очистки кристаллов и их легированию (введение в полупроводник определенных примесей).

В СССР изучение полупроводников начались в конце 20-х годов под руководством академика А.Ф. Иоффе в Физико-техническом институте АН СССР.

Интерес к оптическим свойствам полупроводников возрос в связи с открытием вынужденного излучения в полупроводниках, что привело к созданию полупроводниковых лазеров вначале на  $p-n$  - переходе, а затем на гетеропереходах.

В последнее время большее распространение получили приборы, основанные на действии полупроводников. Эти вещества стали изучать сравнительно недавно, однако без них уже не может обойтись ни современная электроника, ни медицина, ни многие другие науки.



Полупроводники –  
неметаллические материалы, обладающие  
большой чувствительностью к содержанию  
примесей и к внешним энергетическим  
воздействиям



Основные характеристики, свойства



Электропроводность

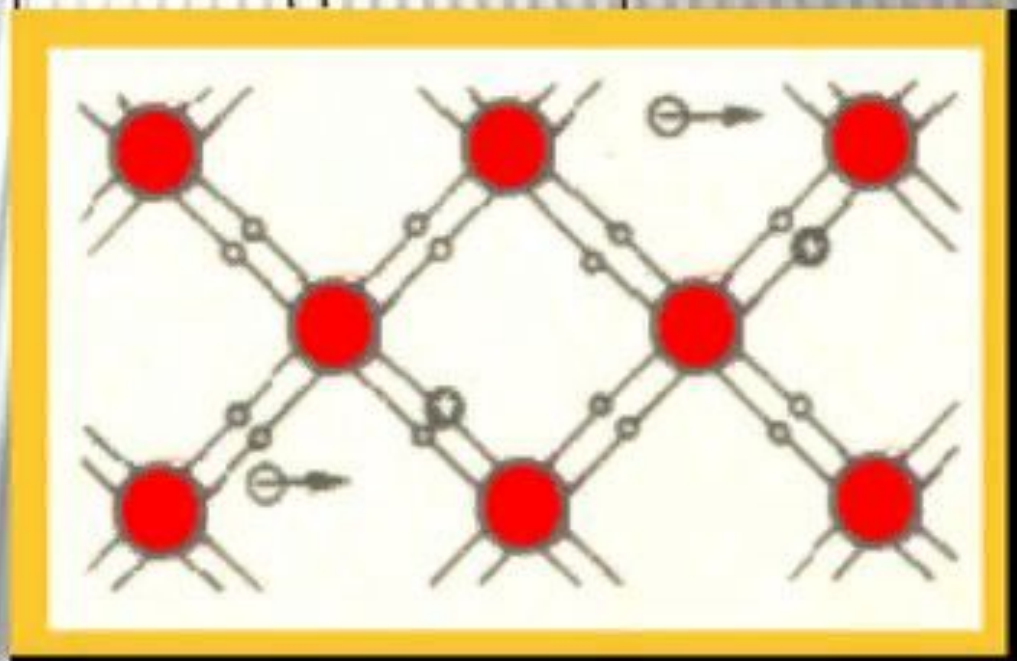
Термоэлектрические  
свойства

Фотоэлектрические  
свойства

# Особенности и строение полупроводников

— материал, который по своей удельной проводимости занимает промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличается от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.

Наиболее типичными полупроводниками являются германий и кремний.



Электропроводность



Собственная  $\gamma_i$



Примесная,  
n-типа,  $\gamma_n$   
(содержит  
доноры)

Примесная,  
p-типа,  $\gamma_p$   
(содержит  
акцепторы)



Электронно-дырочный  
переход (p-n переход)

## Особенности и строение полупроводников

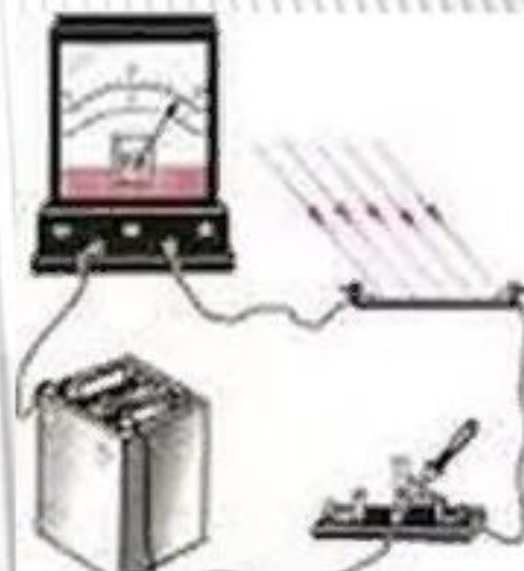
Основным свойством полупроводника является увеличение электрической проводимости с ростом температуры. Вблизи температуры абсолютного нуля полупроводники имеют свойства диэлектриков.



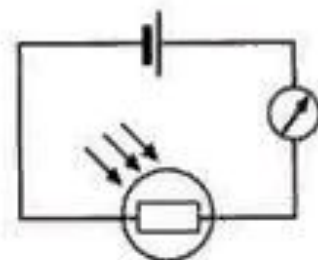


## Особенности и строение полупроводников

Кроме нагревания, разрыв ковалентных связей и возникновение собственной проводимости полупроводников могут быть вызваны освещением (фотопроводимость) и действием сильных электрических полей



Зависимость  $R$  от освещенности



**Фоторезистор**

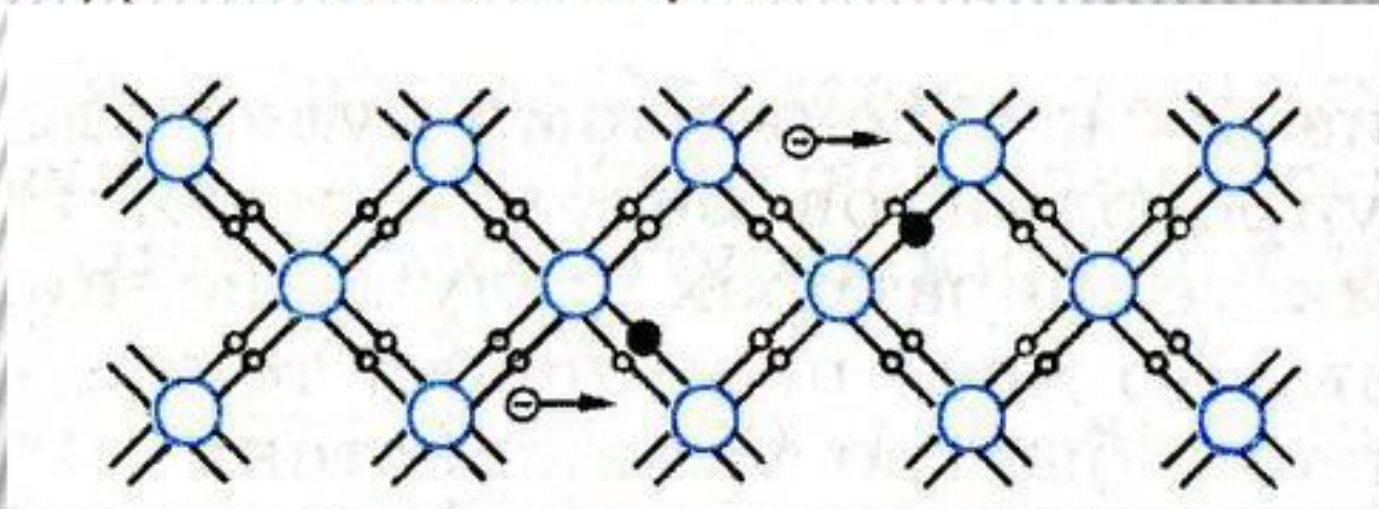
- Фотореле;
- аварийные выключатели.

# ПОЛУПРОВОДНИКИ



## Механизм проводимости у полупроводников

- Если полупроводник чистый ( без примесей), то он обладает **собственной** проводимостью, которая невелика.



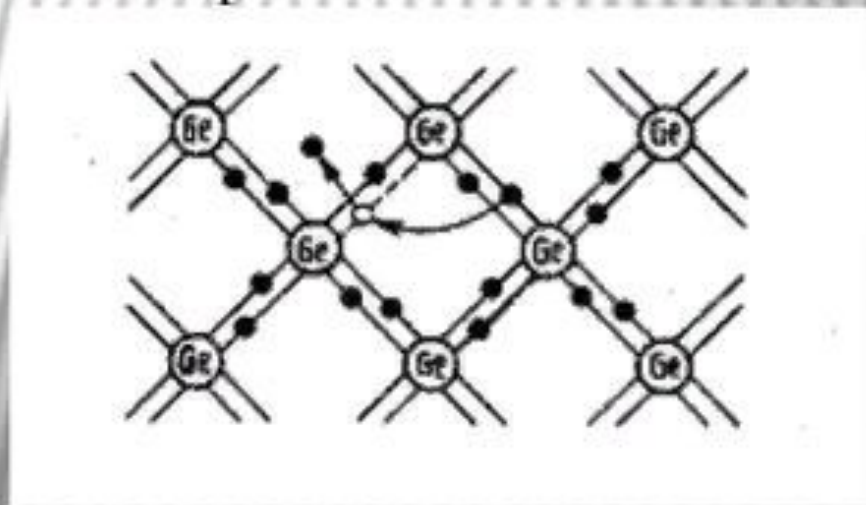
Собственная проводимость бывает двух видов:  
**электронная и дырочная**

## Электронная ( проводимость "п" - типа)

При низких температурах в полупроводниках все электроны связаны с ядрами и сопротивление большое; при увеличении температуры кинетическая энергия частиц увеличивается, рвутся связи и возникают свободные электроны - сопротивление уменьшается.

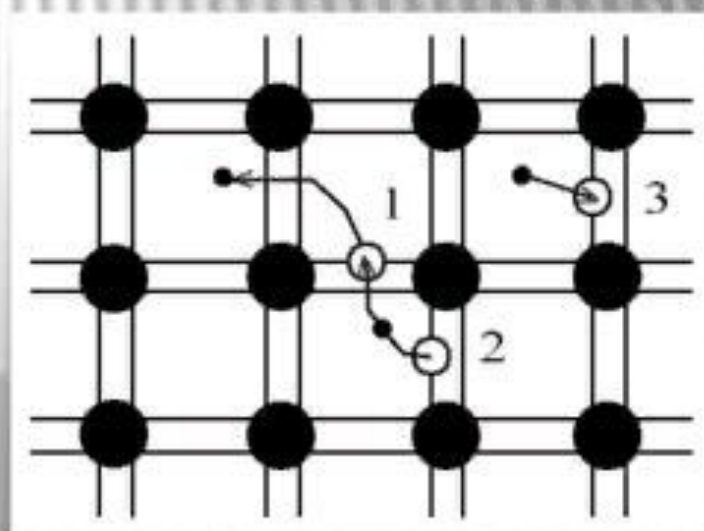
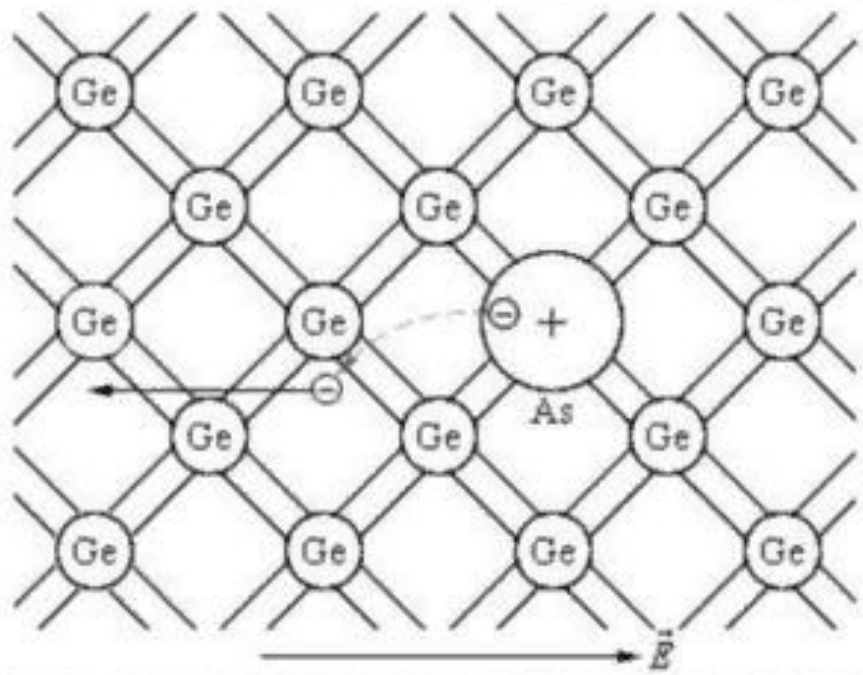
Свободные электроны перемещаются противоположно вектору напряженности эл.поля.

Электронная проводимость полупроводников обусловлена наличием свободных электронов.



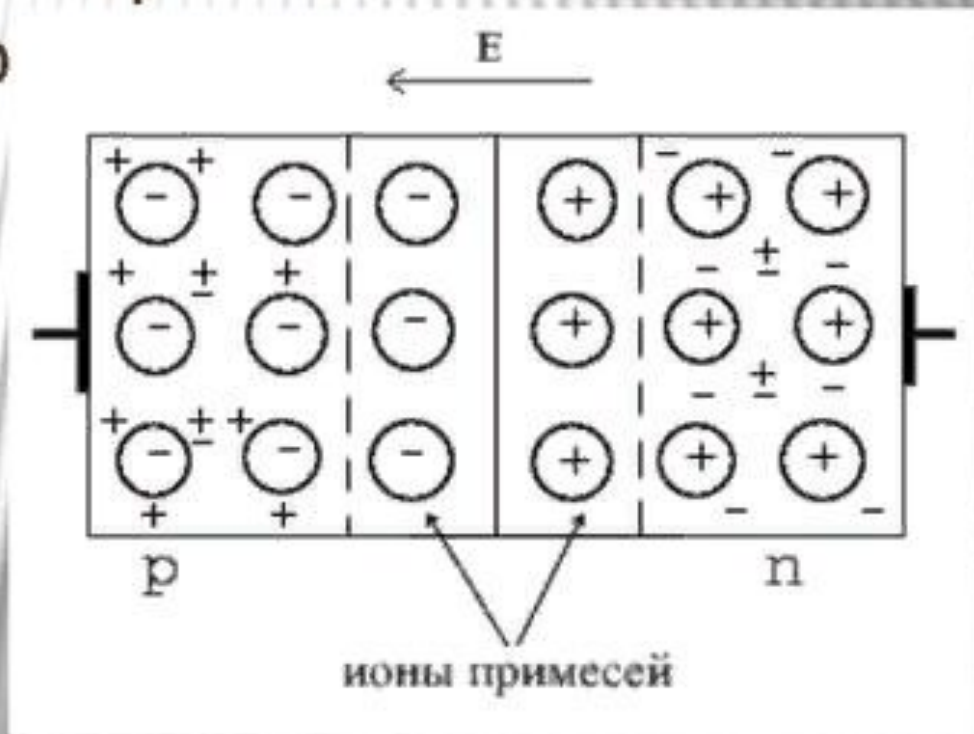
# Дырочная ( проводимость " p " - типа )

При увеличении температуры разрушаются ковалентные связи, осуществляемые валентными электронами, между атомами и образуются места с недостающим электроном - "дырка". Она может перемещаться по всему кристаллу, т.к. ее место может замещаться валентными электронами. Перемещение "дырки" равноценно перемещению положительного заряда. Перемещение дырки происходит в направлении вектора напряженности электрического поля.



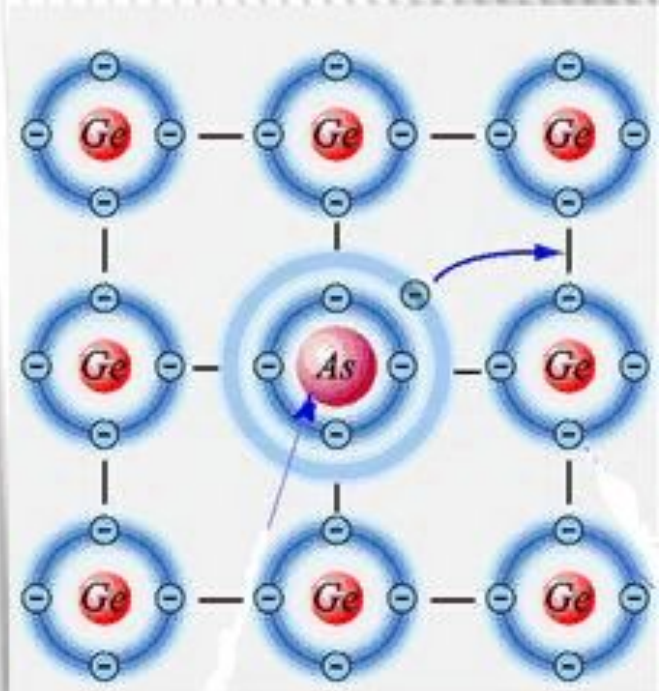
# Механизм проводимости у полупроводников

- Общая проводимость чистого полупроводника складывается из проводимостей "р" и "n" - типов и называется электронно-дырочной проводимостью



# Полупроводники при наличии примесей

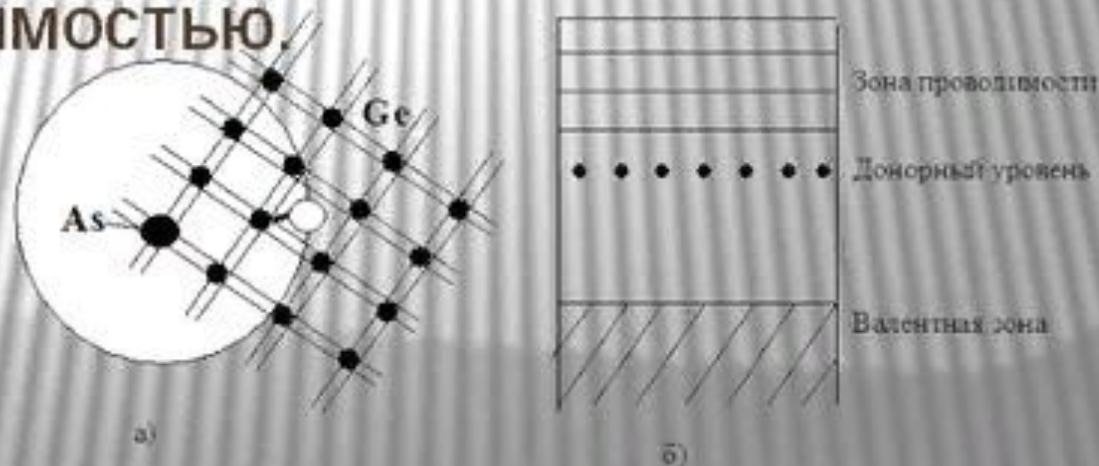
Наличие примесей сильно увеличивает проводимость. При изменении концентрации примесей изменяется число носителей эл. тока - электронов и дырок. Возможность управления током лежит в основе широкого применения полупроводников.



Донорные примеси ( отдающие )  
являются дополнительными поставщиками  
электронов в кристаллы полупроводника, легко  
отдают электроны и увеличивают число свободных  
электронов в полупроводнике.

Это проводники " n " - типа, т.е. полупроводники с  
донорными примесями, где основной носитель  
заряда - электроны, а неосновной - дырки.

Такой полупроводник обладает электронной  
примесной проводимостью.





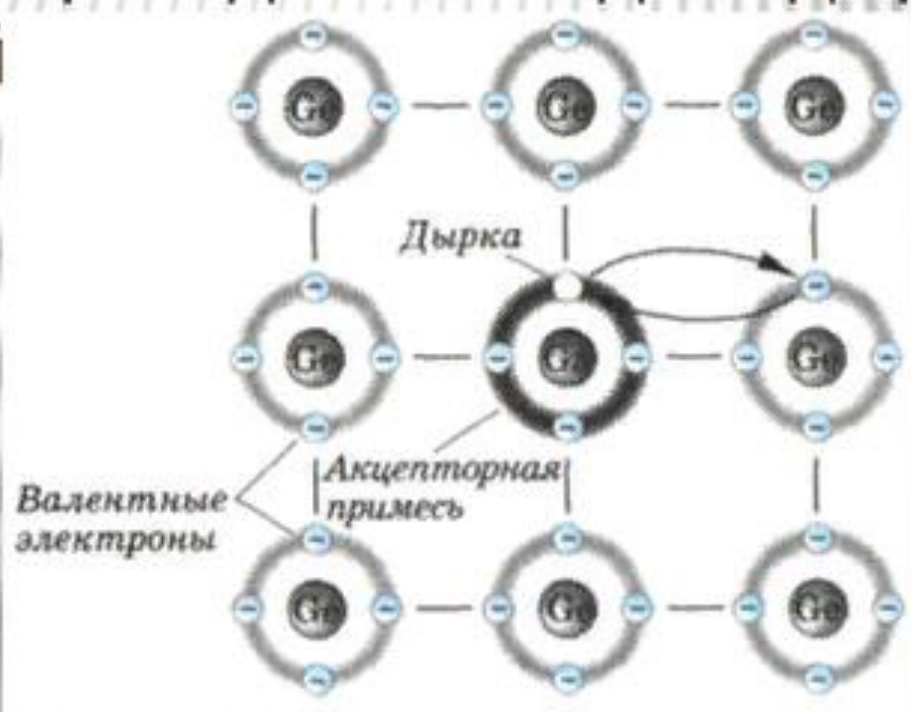
## Акцепторные примеси (принимающие)

- создают "дырки", забирая в себя электроны.

Это полупроводники "р"-типа, т.е.

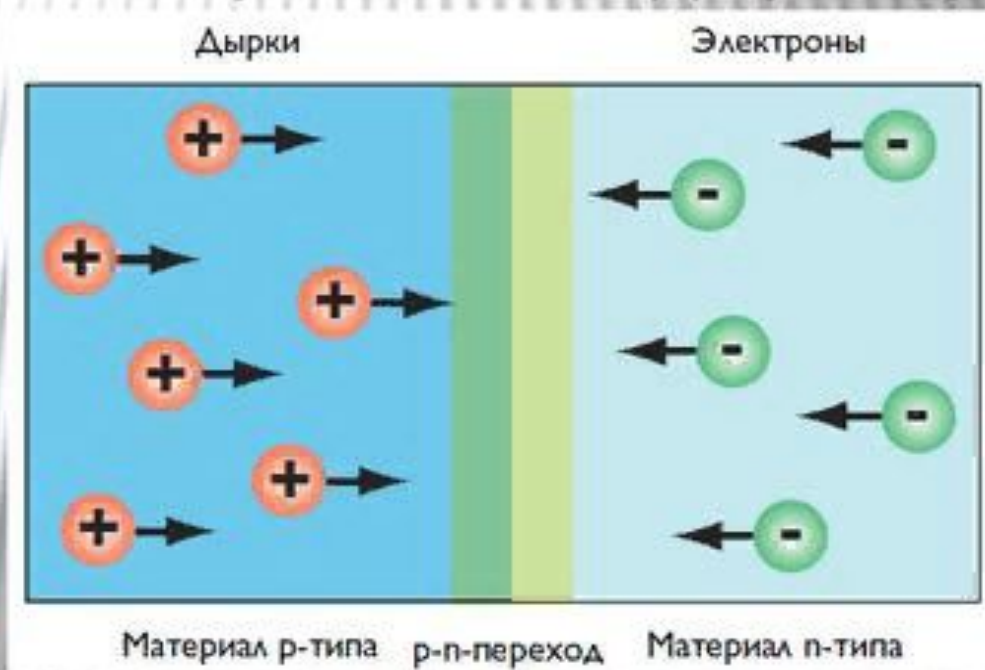
полупроводники с акцепторными примесями, где основной носитель заряда - дырки, а неосновной - электроны.

Такой полупроводник обладает дырочной примесью



## Электрические свойства "р-п" перехода

"р-п" переход (или электронно-дырочный переход) - область контакта двух полупроводников, где происходит смена проводимости с электронной на дырочную (или наоборот).



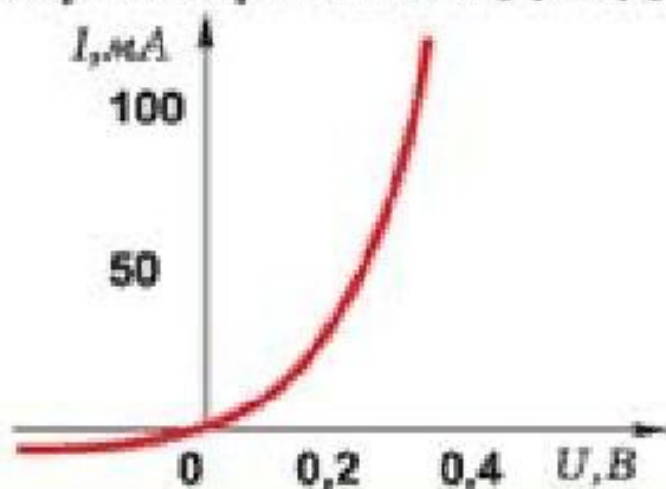
# Электронно-дырочный (или p-n) переход



## Образование p-n перехода



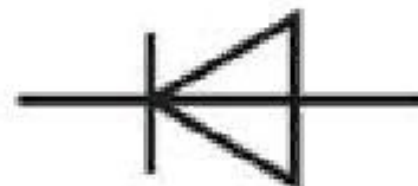
## Вольт-амперная характеристика диода



## Устройство диода



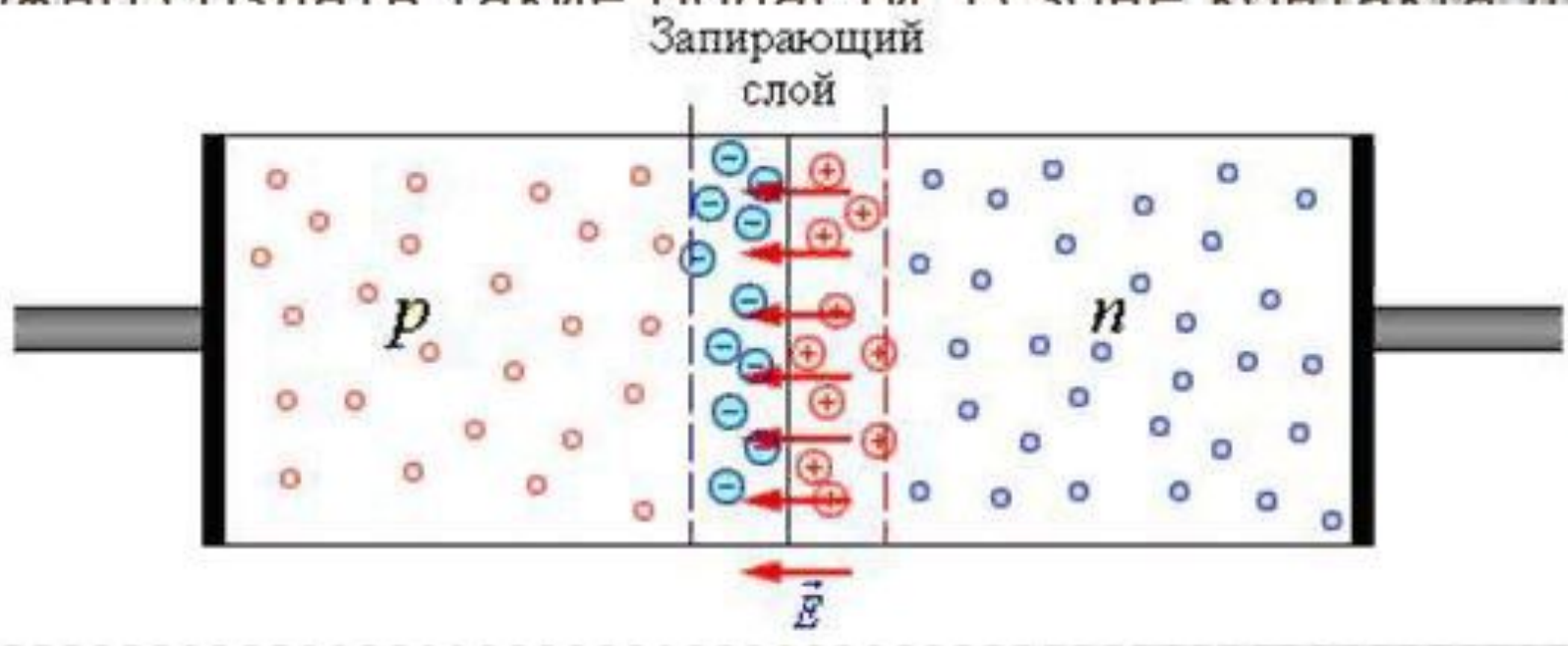
Изображение диода на схемах



## Электрические свойства "р-п" перехода

В кристалле полупроводника введением примесей можно создать такие области. В зоне контакта двух

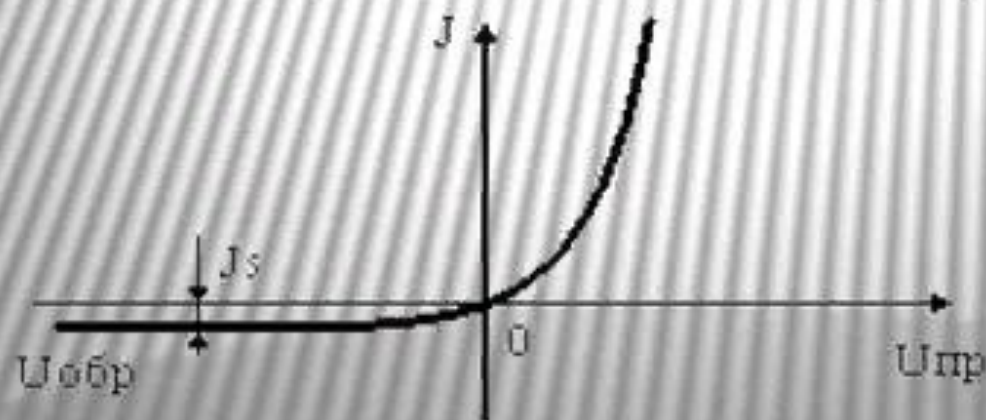
п  
б  
д  
с  
п  
д  
п



1  
в и  
з и

другими областями полупроводника.

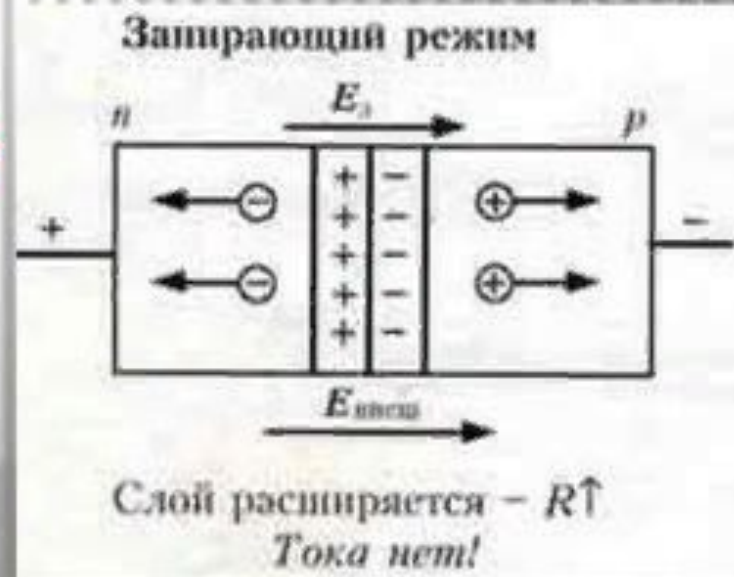
Внешнее электрическое поле влияет на сопротивление запирающего слоя. При прямом (пропускном) направлении внешнего эл. поля эл. ток проходит через границу двух полупроводников. Т.к. электроны и дырки движутся навстречу друг другу к границе раздела, то электроны, переходя границу, заполняют дырки. Толщина запирающего слоя и его сопротивление непрерывно



Слой сужается -  $R \downarrow$   
Ток есть!

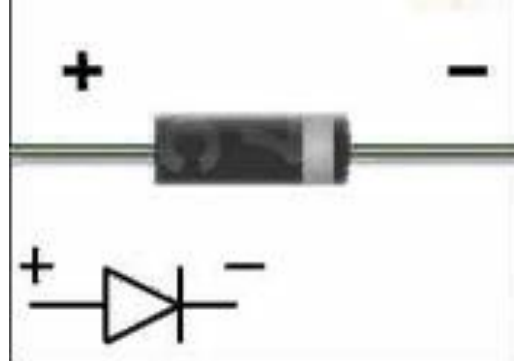
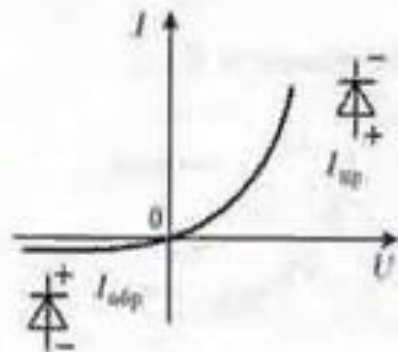
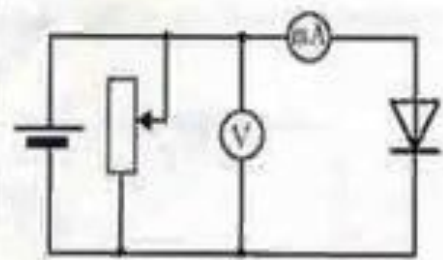
При запирающем (обратном) направлении внешнего электрического поля электрический ток через область контакта двух полупроводников проходить не будет. Т.к. электроны и дырки перемещаются от границы в противоположные стороны, то запирающий слой утолщается, его сопротивление.

Таким образом, электронно-дырочный переход обладает односторонней проводимостью.



# Полупроводниковые диоды

- Полупроводник с одним "р-п" переходом называется полупроводниковым диодом.
- Полупроводниковые диоды основные элементы выпрямителей переменного тока.



Полупроводники составляют обширную область материалов, отличающихся друг от друга большим многообразием электрических и физических свойств, а также большим многообразием химического состава, что и определяет различные назначения при их техническом использовании.

По химической природе



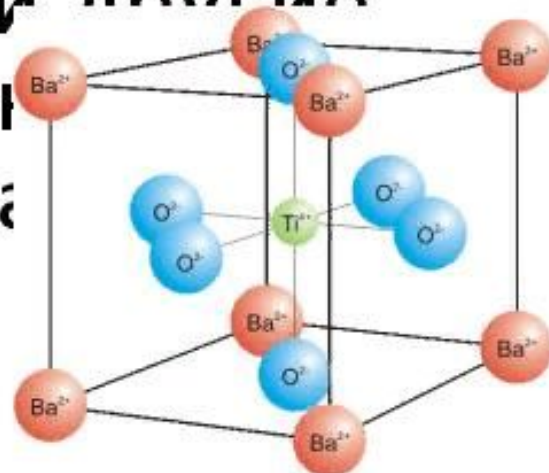
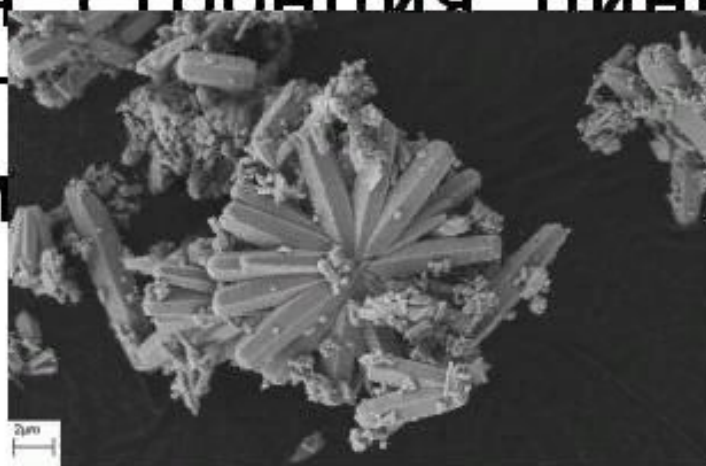


1. Кристаллические полупроводниковые материалы, построенные из атомов или молекул одного элемента. Такими материалами являются широко используемые в данное время германий, кремний, селен, бор.





2. Окисные кристаллические полупроводниковые материалы, т. е. материалы из окислов металлов. Главные из них: закись меди, окись цинка, окись кадмия, двуокись титана, окись никеля и др. В эту же группу входят материалы, изготавливаемые на основе титаната бария, стронция, цинка, и другие неорганические соединения.



3. Кристаллические полупроводниковые материалы на основе соединений атомов третьей и пятой групп **АзБ5** системы элементов Менделеева. Примерами таких материалов являются антимониды индия, галлия и алюминия, т. е. соединения сурьмы с индием, галлием и алюминием. Они получили название интерметаллических соединений III-V.





4. Кристаллические полупроводниковые материалы на основе соединений серы, селена и теллура с одной стороны и меди, кадмия и свинца с другой. Такие соединения называются соответственно сульфидами.

Классификация





# Классификация по различным признакам:

Простые - сложные

Твердые - жидкие

Неорганические - органические

Некристаллические (аморфные) -

Кристаллические  
(монокристаллические и  
поликристаллические)

# Фоторезисторы

**Фоторезисторы** – это фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения, принцип действия которых основан на **эффекте фотопроводимости**. Эффект фотопроводимости (фоторезистивный эффект) заключается в уменьшении электросопротивления полупроводникового материала при освещении.

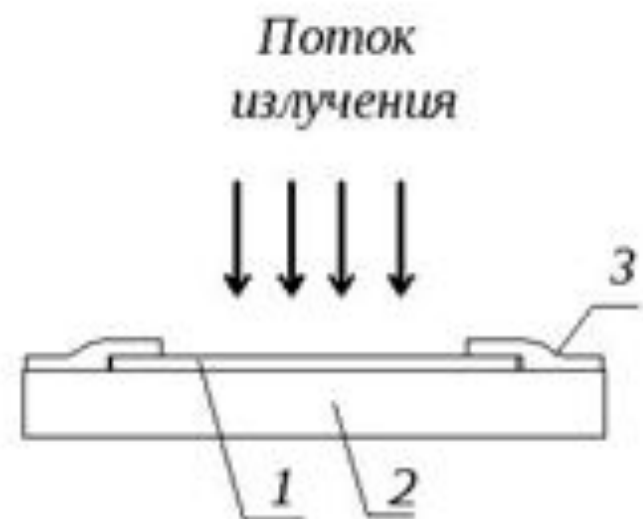
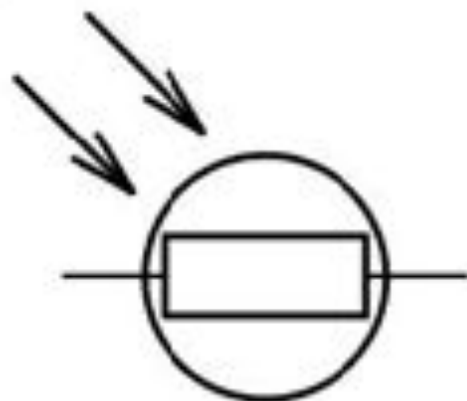
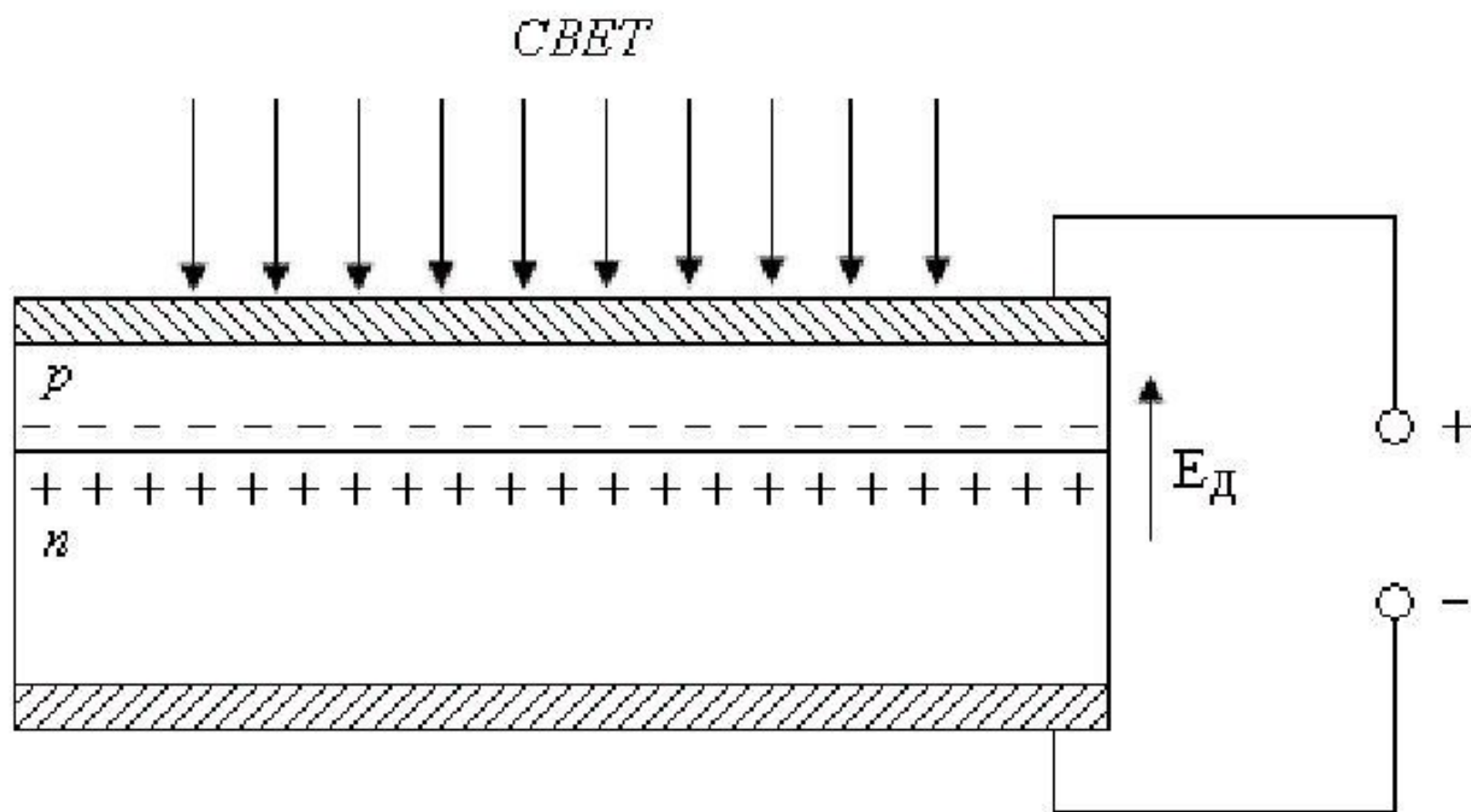


Рис. 7.15. Принципиальное устройство фоторезистора  
1 – светочувствительный полупроводниковый слой,  
2 – изоляционное основание,  
3 – металлические электроды

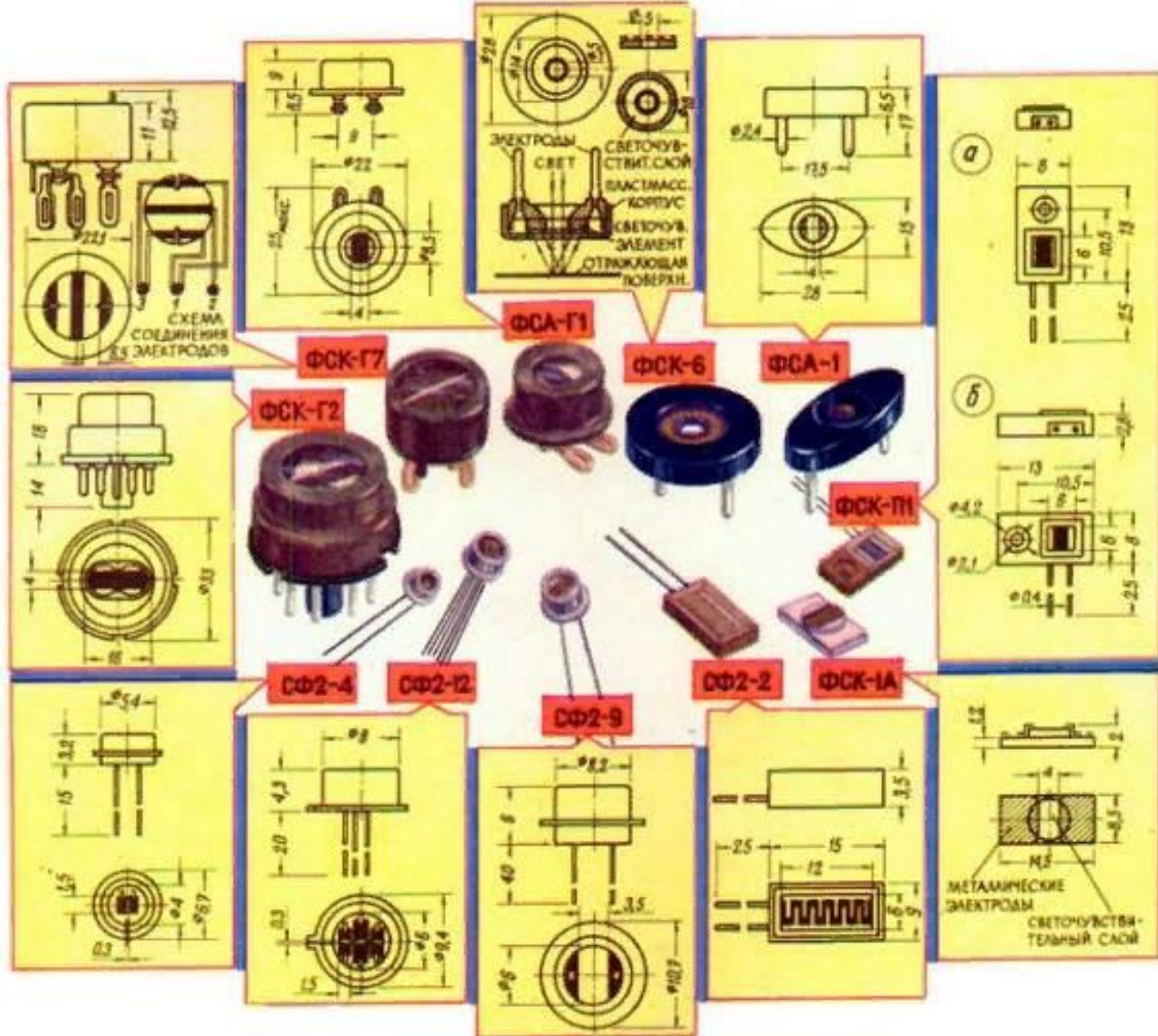
# Фотоэлектрический эффект



## Фоторезисторы

Наиболее распространенными являются фоторезисторы на основе сернистого свинца ( $PbS$ ), селенистого свинца ( $PbSe$ ), сернистого кадмия ( $CdS$ ) и селенистого кадмия ( $CdSe$ ). Высокая фоточувствительность сульфида и селенида кадмия обеспечивается введением в их состав *сенсibiliзирующих примесей*, способствующих увеличению времени жизни основных носителей заряда. Донорной примесью обычно служит хлор, в качестве акцепторных примесей используются медь или серебро. Существенную роль в механизме проводимости играют также структурные дефекты фоточувствительных полупроводниковых материалов.





**Внешний вид и размеры наиболее распространенных типов отечественных фоторезисторов**

# Система обозначений фоторезисторов

До введения ОСТ 11.074.009-78 (согласно которому фоторезистор обозначается буквами ФР) в основу обозначения фоторезисторов входил состав материала, из которого изготовлялся их термочувствительный элемент:

СФ1 - на основе сульфида свинца (ранее обозначались ФСА);

СФ2 - сернисто-кадмиевые (ранее обозначались ФСК);

СФ3 - селенисто-кадмиевые (ранее обозначались ФСД);

СФ4 - на основе селенида свинца.

Далее через дефис указывается номер разработки и вариант конструктивного исполнения.

где  $U_{ш}$  - действующее напряжение шума, мкВ.

