

# Электронно дырочный переход

**Граница между двумя  
полупроводниками с  
различными типами  
электропроводности называется  
электронно – дырочным  
переходом или *p – n – переходом***

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

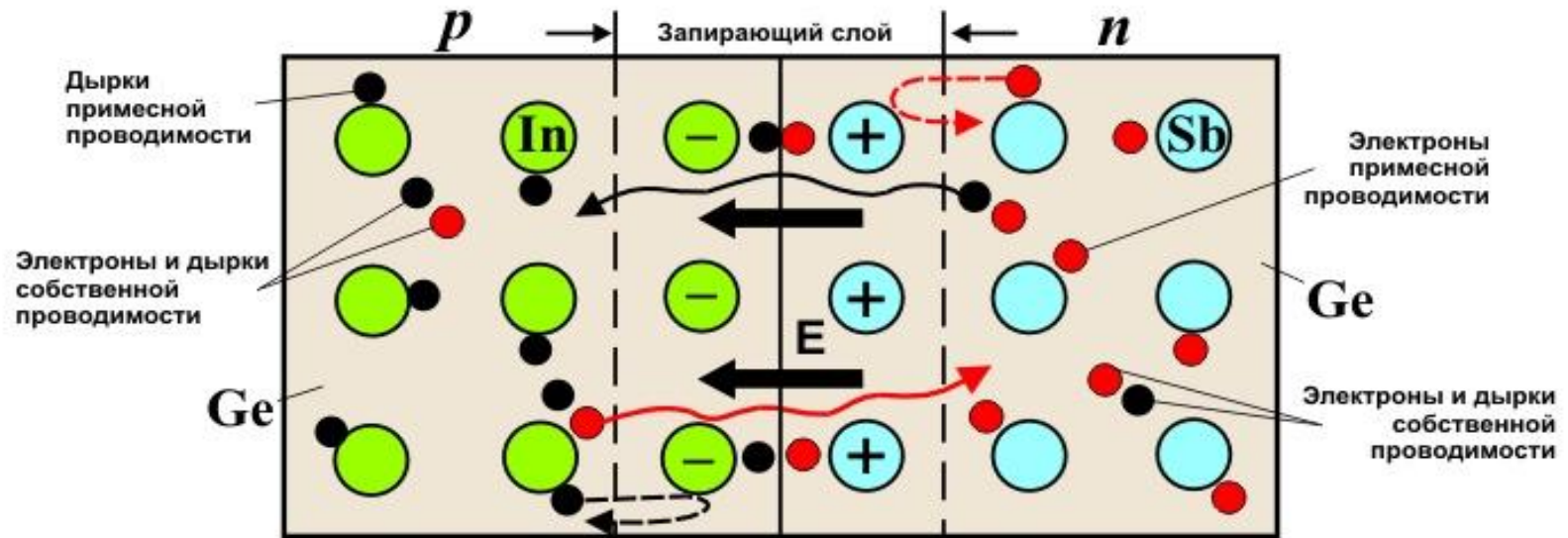
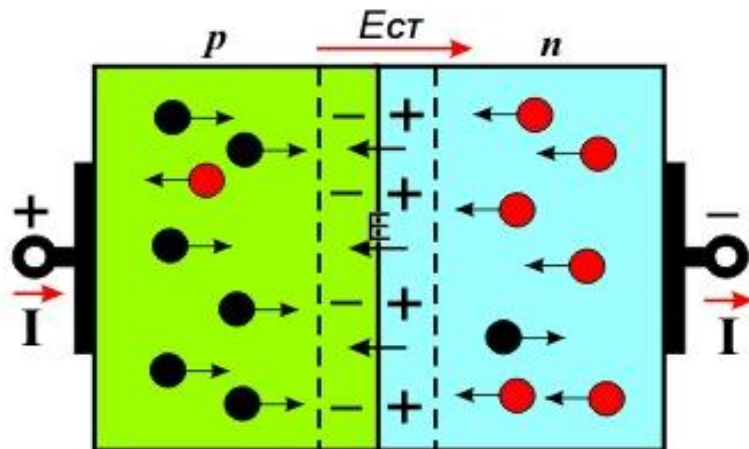
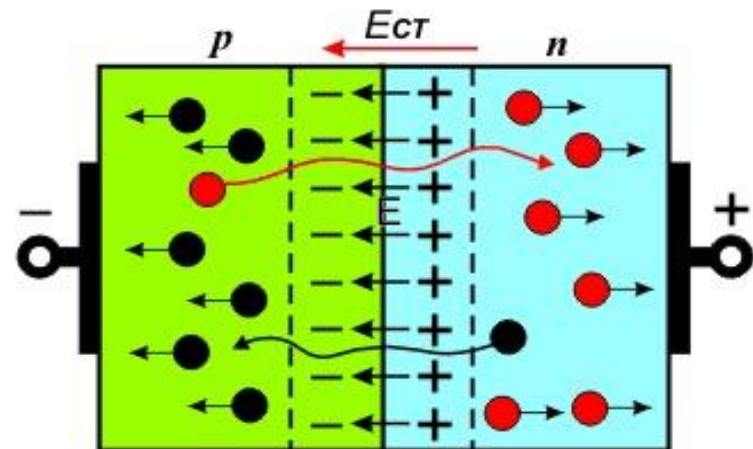


Схема образования электрического поля  $E$  на границе раздела  $p$ - и  $n$ -полупроводников



Упрощенная схема



Упрощенная схема

**Так как в области полупроводника n-типа концентрация электронов больше, то они начинают диффундировать (переходить) в область полупроводника p – типа. Поскольку в области полупроводника p – типа концентрация дырок больше, то они начнут диффундировать в область n – типа.**

**Электроны, расположенные в приконтактной области, диффундируя в  $p$  – область, оставят на границе раздела положительные ионы донорной примеси. Дырки,  $p$  области, диффундируя в  $n$  – область, оставят на границе раздела отрицательные ионы акцепторной примеси.**

**В результате около границы раздела с двух сторон образуются слои с неподвижными объёмными зарядами противоположных знаков. Эта область полупроводника представляет собой слой, обеднённый носителями заряда. В нём нет ни электронов, ни дырок, поэтому он обладает большим сопротивлением. Это приводит к образованию электрического поля напряжённостью  $E$ .**

**Поле препятствует дальнейшему перемещению носителей заряда в противоположные области.**

**Поскольку обеднённый слой обладает незначительной электропроводностью, то его называют запирающим слоем.**

**Действие электрического поля проявляется в том, что через р – n – переход могут перемещаться (дрейфовать) только неосновные носители заряда. Двойной электрический слой в области р – n – перехода обуславливает контактную разность потенциалов, называемую потенциальным барьером.**



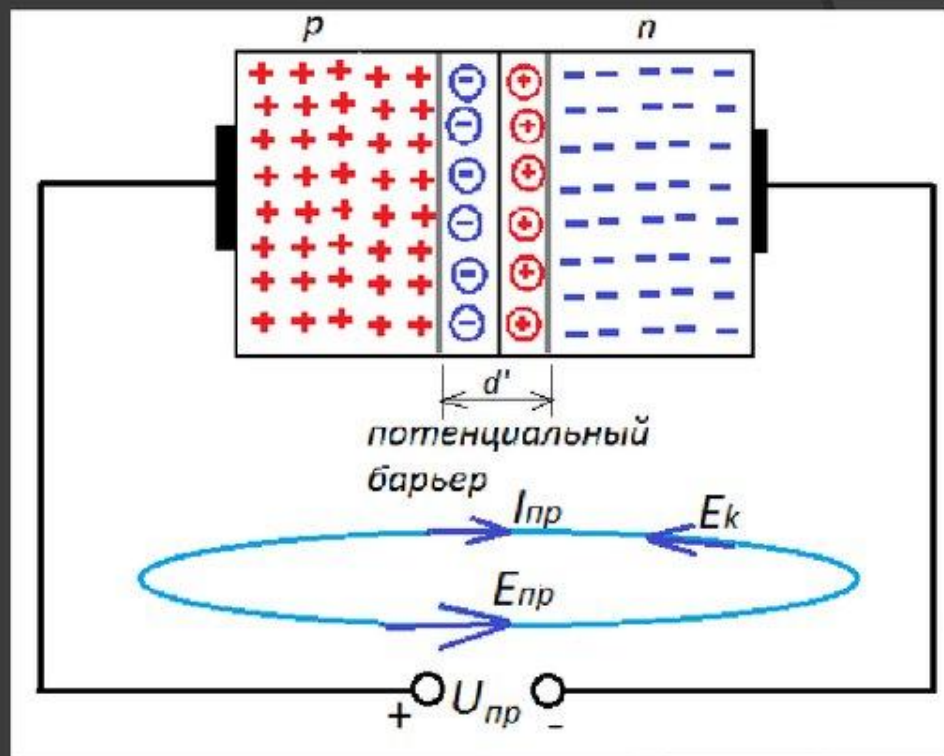
**Данная картина будет  
наблюдаться до тех пор, пока к  $r$   
–  $n$  – переходу не приложено  
внешнее напряжение.**

**При внесении внешнего  
электрического поля в  
зависимости от полярности  
внешнего источника  
напряжения различают  
включение в прямом и в  
обратном направлении.**

**Включение в прямом направлении**

## 2.1.2. p-n переход при прямом напряжении

- Прямым называется напряжение, полярность которого совпадает с полярностью основных носителей.
- В этом случае потенциальный барьер уменьшается или исчезает, т.к.  $E_k$  и  $U_{пр}$  направлены встречно.
- $I_{пр}$  может быть большим, потому что это ток прямых носителей.  $R_{пр}$  мало.



**Если к р –области подключить плюс, а к n- области минус источника внешнего напряжения , то действие сил поля, созданного внешним источником будет противоположно направлению сил внутреннего поля, поэтому внутреннее поле ослабляется, основные носители заряда свободно проходят через р – n – переход.**

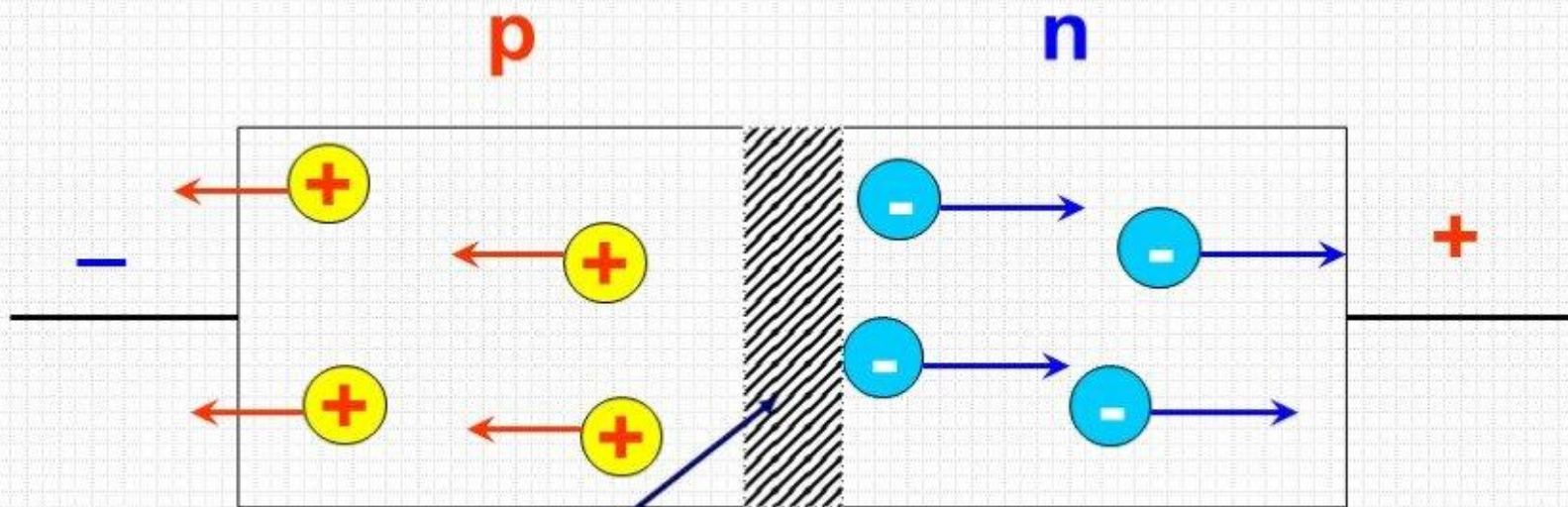
**В результате р – n – переход  
пополняется основными носителями  
заряда, ширина обеднённого слоя  
уменьшается, сопротивление его  
падает. Величина потенциального  
барьера будет равна разности  
напряжений  
перехода и внешнего источника  
( $U_{пер} - U_{вн}$ )**

**Диффузионный ток резко  
возрастает. Такое включение  
называется включением в  
прямом направлении, а ток через  
*p – n –переход* *прямым***

**Включение в обратном направлении.**



## 2. Обратное включение



Запирающий слой

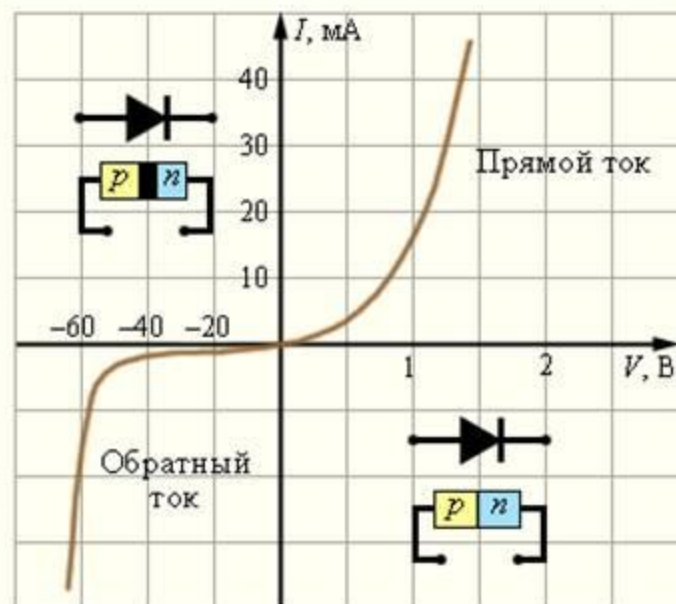
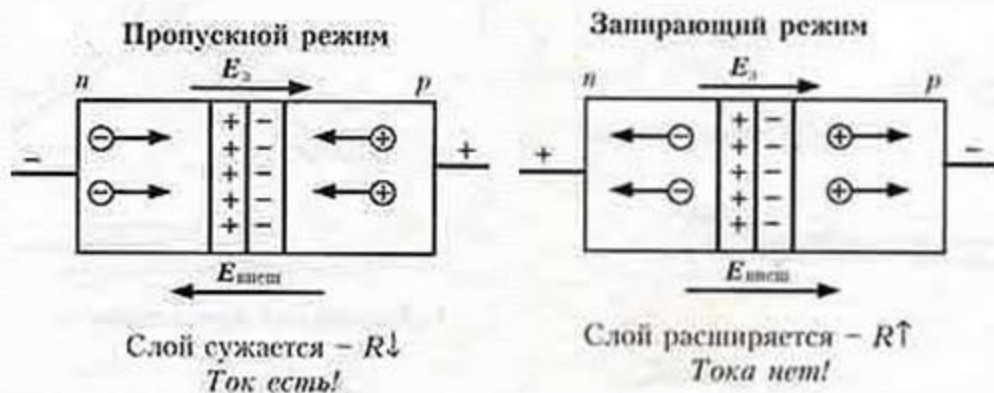
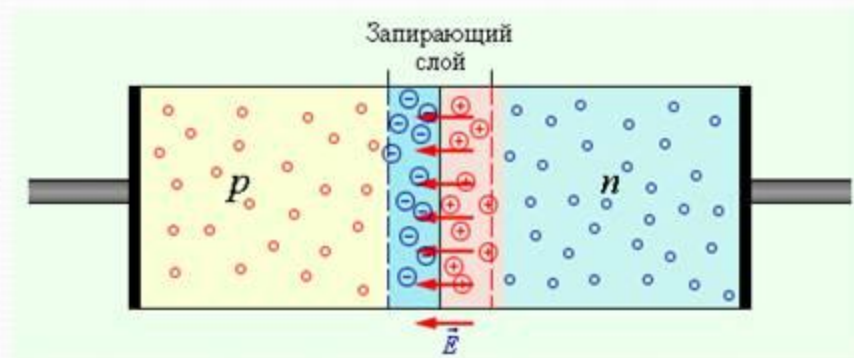
Основные носители заряда не проходят через **p - n** переход

**Сопротивление перехода велико, ток практически отсутствует**

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

# Электрический ток через р-п переход

- Образование запирающего слоя при контакте полупроводников р- и n-типов (диффузия электронов и дырок)
- Вольт-амперная характеристика кремниевого диода.



- **Если к р –области подключить минус, а к n- области плюс источника внешнего напряжения , то действие сил поля, созданного внешним источником будет того же направления, что и действие сил внутреннего поля, поэтому внутреннее поле усиливается, основные носители заряда не смогут свободно проходить через р – n – переход**

- **Основные носители заряда будут оттягиваться от границы раздела к краям областей. В результате ширина обеднённого слоя увеличивается, сопротивление его растёт. Величина потенциального барьера будет равна сумме напряжений перехода и внешнего источника**

$$U_{пер} + U_{вн}$$

- **Диффузионный ток резко уменьшается, ток через  $p-n$  – переход определяется неосновными носителями заряда. Концентрация неосновных носителей в десятки тысяч раз меньше чем основных, то ток оказывается очень малым. Такое включение называется включением в обратном направлении, а ток через  $p-n$  – переход обратным**

**Работа всех полупроводниковых  
приборов основывается на  
использовании явлений на  
границе полупроводников с  
различными типами  
проводимости**

- **Если на р-п переход подавать переменное напряжение, то ёмкостное сопротивление р-п перехода будет уменьшаться с увеличением частоты. Чем меньше величина ёмкости р-п перехода, тем на более высоких частотах он может работать.**

**На частотные свойства основное влияние оказывает барьерная ёмкость, т. к. диффузионная ёмкость имеет место при прямом включении, когда внутреннее сопротивление р-п перехода мало.**

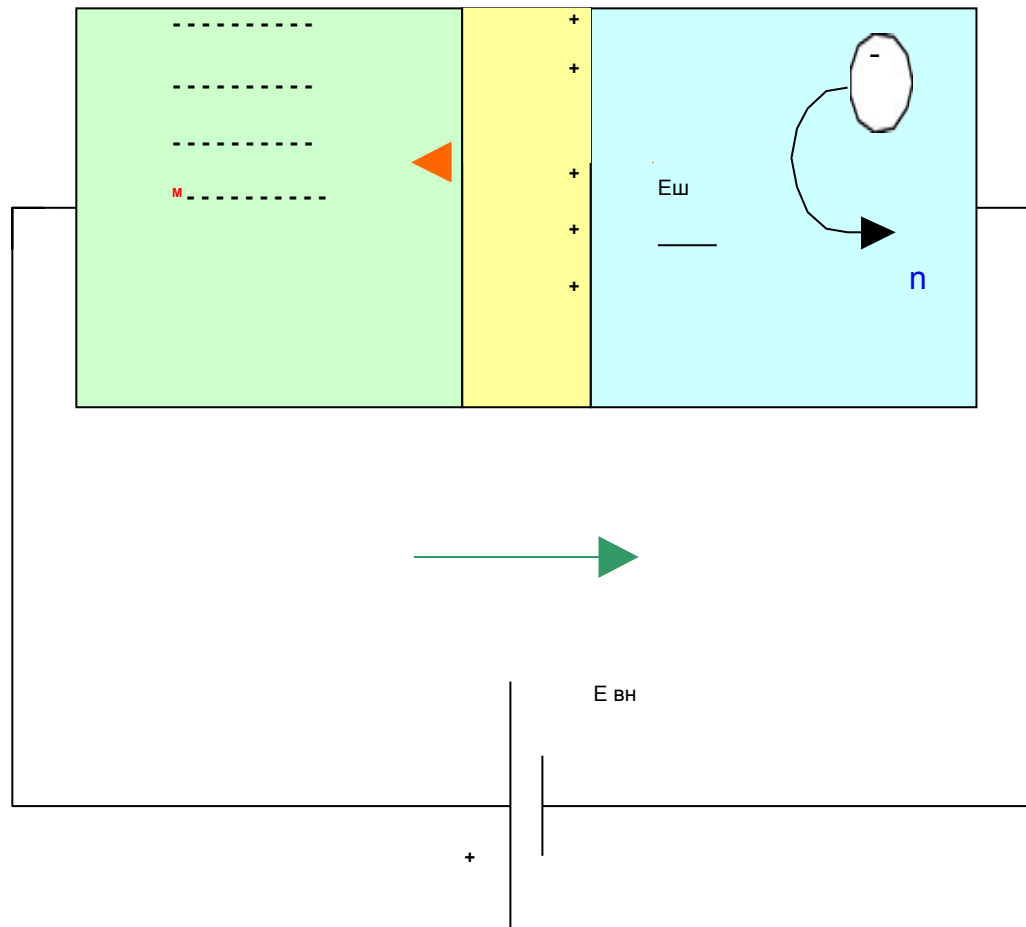


- **Явление сильного увеличения обратного тока при определённом обратном напряжении называется электрическим пробоем р-п перехода. Электрический пробой – это обратимый пробой, т. е. при уменьшении обратного напряжения р-п переход восстанавливает свойство односторонней проводимости.**

**Если обратное напряжение не уменьшить, то полупроводник сильно нагреется за счёт теплового действия тока и р-п переход сгорает. Такое явление называется тепловым пробоем р-п перехода. Тепловой пробой необратим.**

# Переход Шоттки

## Образование перехода Шоттки



- При контакте двух материалов с разной работой выхода электронов электрон проходит из материала с меньшей работой выхода в материал с большей работой выхода, и ни при каких условиях - наоборот

**Электроны из приграничного слоя полупроводника переходят в металл, а на их месте остаются некомпенсированные положительные заряды ионов донорной примеси. В металле большое количество свободных электронов, и, следовательно, на границе металл-полупроводник возникает электрическое поле и потенциальный барьер**

**Возникшее поле будет тормозящим для электронов полупроводника и будет отбрасывать их от границы раздела. Граница раздела металла и полупроводника со слоем положительных зарядов ионов донорной примеси называется переходом Шоттки (открыт в 1934 году).**

# **Прямое и обратное включение диодов Шоттки.**

- Если приложить внешнее напряжение плюсом на металл, а минусом на полупроводник, возникает внешнее электрическое поле, направленное навстречу полю перехода Шоттки**

**Это внешнее поле компенсирует поле перехода Шоттки и будет являться ускоряющим для электронов полупроводника. Электроны будут переходить из полупроводника в металл, образуя сравнительно большой прямой ток. Такое включение называется прямым**



**При подаче минуса на металл, а плюса на полупроводник возникает внешнее электрическое поле, сонаправленное с полем перехода Шоттки. Оба этих поля будут тормозящими для электронов полупроводника, и будут отбрасывать их от границы раздела**

**Оба этих поля будут  
ускоряющими для электронов  
металла, но они через границу  
раздела не пройдут, так как у  
металла больше работа выхода  
электрона. Такое включение  
перехода Шоттки называется  
обратным.**

**Обратный ток через переход Шоттки будет полностью отсутствовать, так как в металле не существует неосновных носителей зарядов.**

**Достоинства перехода Шоттки:**

**1.Отсутствие обратного тока;**

**2.Шоттки может работать на СВЧ;**

**3.Быстродействие при  
переключении из прямого состояния  
в обратное и наоборот.**

**Недостаток – стоимость. В качестве  
металла обычно применяют золото.**

# **Некоторые эффекты полупроводника**

# Тоннельный эффект

- **Тоннельный эффект (открыт в 1958 году в Японии) проявляется на p-n переходе в вырожденных полупроводниках.**
- **Вырожденный полупроводник – это полупроводник с очень высокой концентрацией донорной или акцепторной примеси**

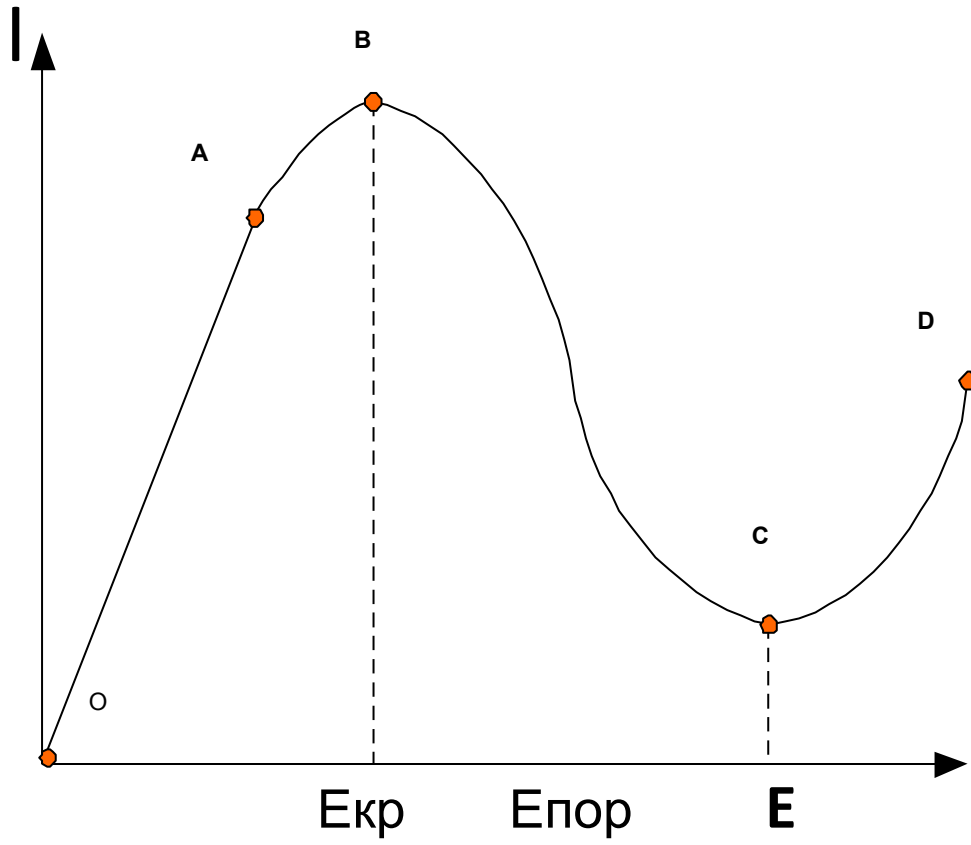
- **В вырожденных полупроводниках очень тонкий р-п переход: его ширина составляет сотые доли микрона, а напряжённость внутреннего поля р-п перехода составляет  $E_{р-п} \approx 10^8$  В/м, что обеспечивает очень высокий потенциальный барьер.**

- **Тоннельный эффект применяется в тоннельных диодах, которые используются в схемах генераторов гармонических колебаний и как маломощные бесконтактные переключающие устройства.**



# Эффект Гана

- **Эффект Гана проявляется в полупроводниках n-типа проводимости в сильных электрических полях**
- **Сущность эффекта Гана состоит в том, что если в полупроводнике создать напряжённость электрического поля, большую  $E_{кр}$ , но меньшую  $E_{пор}$ , т. е. на участке ВС характеристики, то в полупроводнике возникнут электрические колебания сверхвысокой частоты**



- **Участок OA – линейный участок, на котором соблюдается закон Ома. Участок AB – при сравнительно больших напряжённости электрического поля уменьшается подвижность электронов за счёт увеличения амплитуд колебания атомов в узлах кристаллической решётки**

- **Участок ВС – сильное уменьшение подвижности электронов, что приводит к уменьшению тока.**  
**Участок CD – при очень больших напряжённостях значительно увеличивается генерация носителей зарядов и, хотя подвижность электронов уменьшается, ток возрастает за счёт увеличения количества зарядов**

- **Сущность эффекта Гана состоит в том, что если в полупроводнике создать напряжённость электрического поля, большую  $E_{кр}$ , но меньшую  $E_{пор}$ , т. е. на участке ВС характеристики, то в полупроводнике возникнут электрические колебания сверхвысокой частоты (СВЧ).**
- **Эффект Гана применяется в диодах Гана, которые используются как маломощные генераторы СВЧ**

# **Эффект Холла**

**Эффект Холла проявляется в полупроводниках n-типа проводимости с протекающими через них токами и помещёнными в магнитное поле.**

**Эффект Холла применяется в магнитометрических датчиках.**

**К полупроводниковым приборам относятся диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы, тиристоры. Все они составляют элементарную базу электронных схем.**

# **Элементы электронных схем**



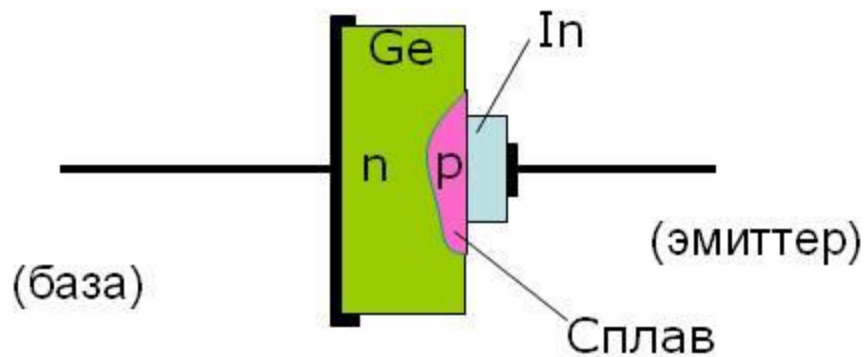
# **Полупроводниковые диоды.**

**Диод – это полупроводниковый прибор с одним р – n – переходом и двумя выводами.**

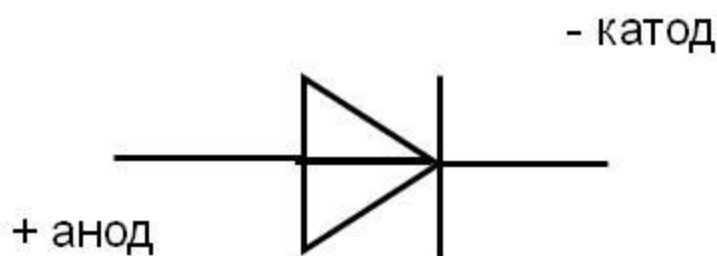
**Конструктивно диод представляет собой кристалл полупроводника, в котором одним из технологических приёмов (сплавление, диффузия) выполнен р – n переход**

# полупроводниковый диод

Германиевый  
диод



Условное  
графическое  
обозначение  
диода



# Полупроводниковый диод



Общее обозначение диода.



Стабилитрон.



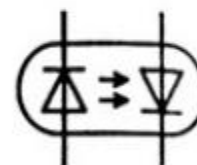
Диод Шотки.



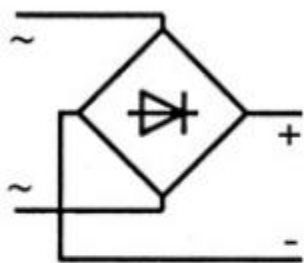
Фотодиод.



Светодиод.



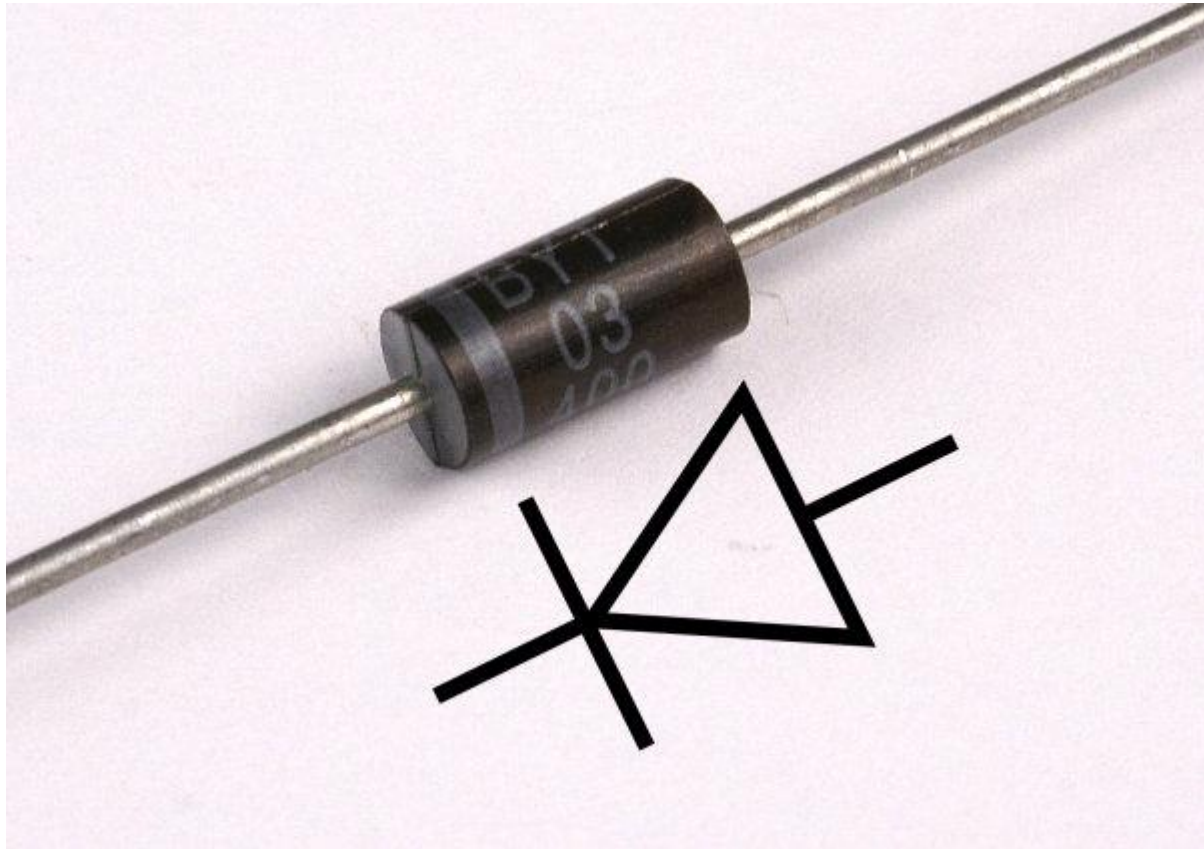
Оптопара.



Упрощенное обозначение диодного моста.

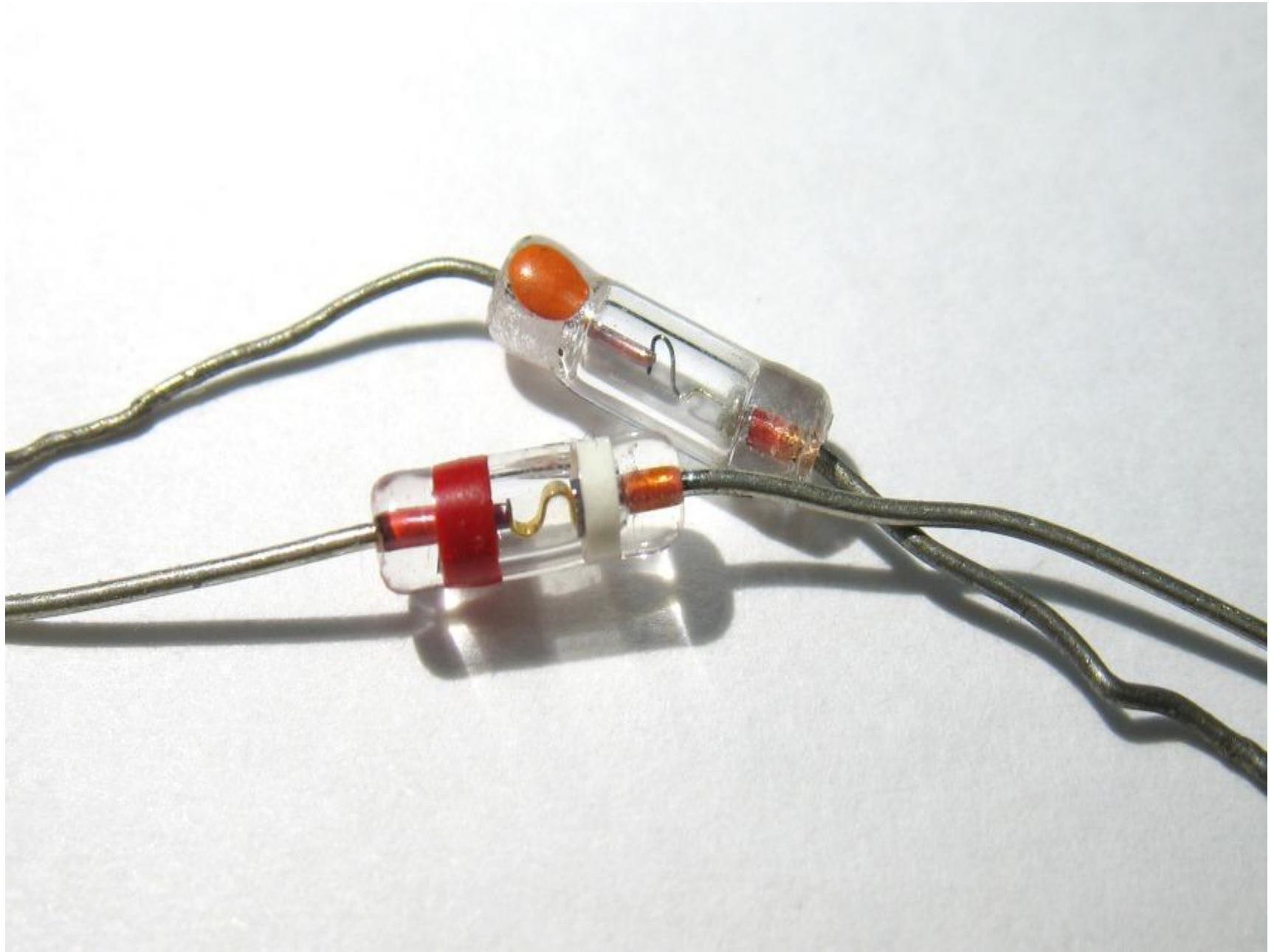
**Полупроводниковым диодом** называется прибор, содержащий элемент с одним  $p-n$  переходом. Принцип действия диодов основан на использовании односторонней электропроводности.





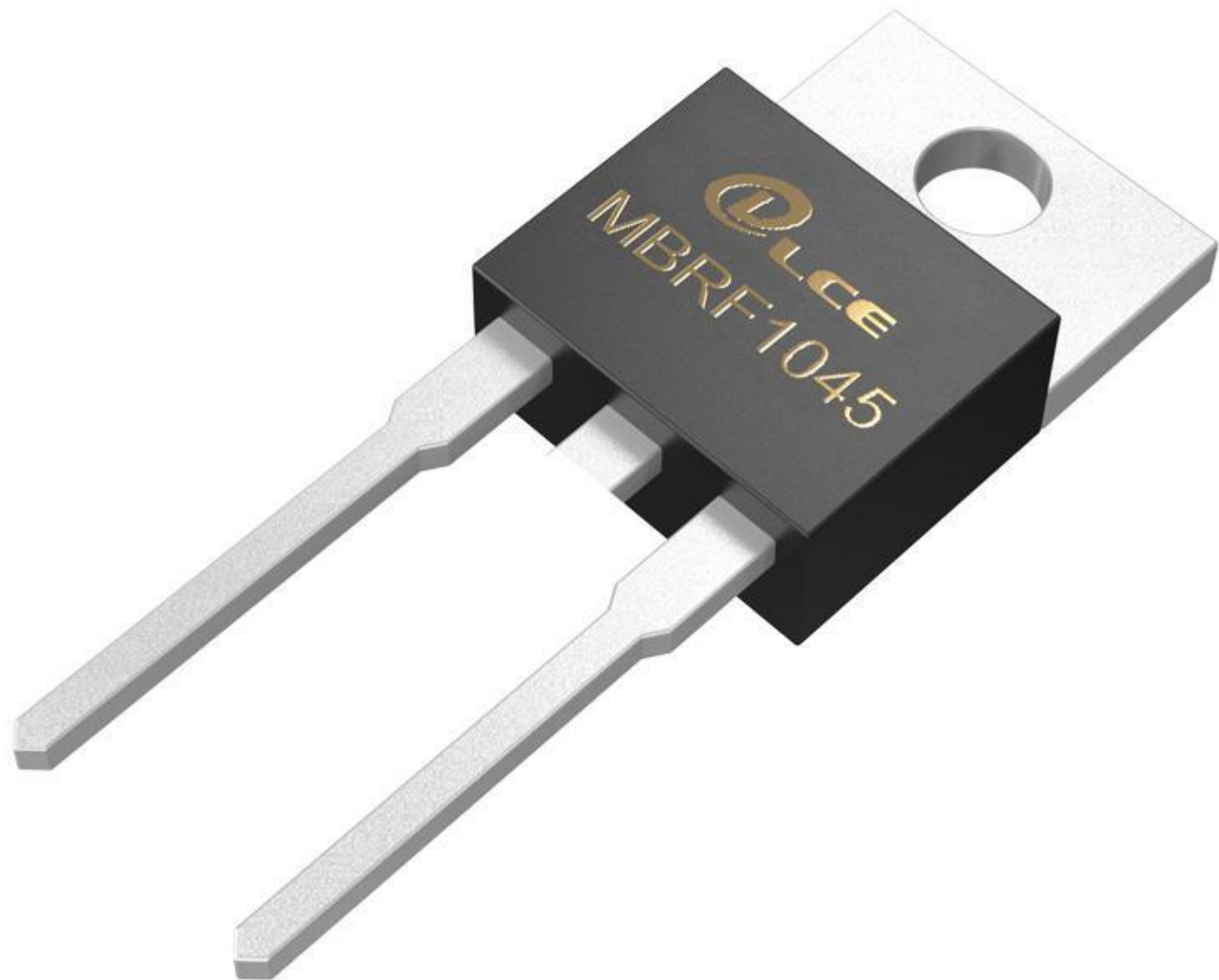


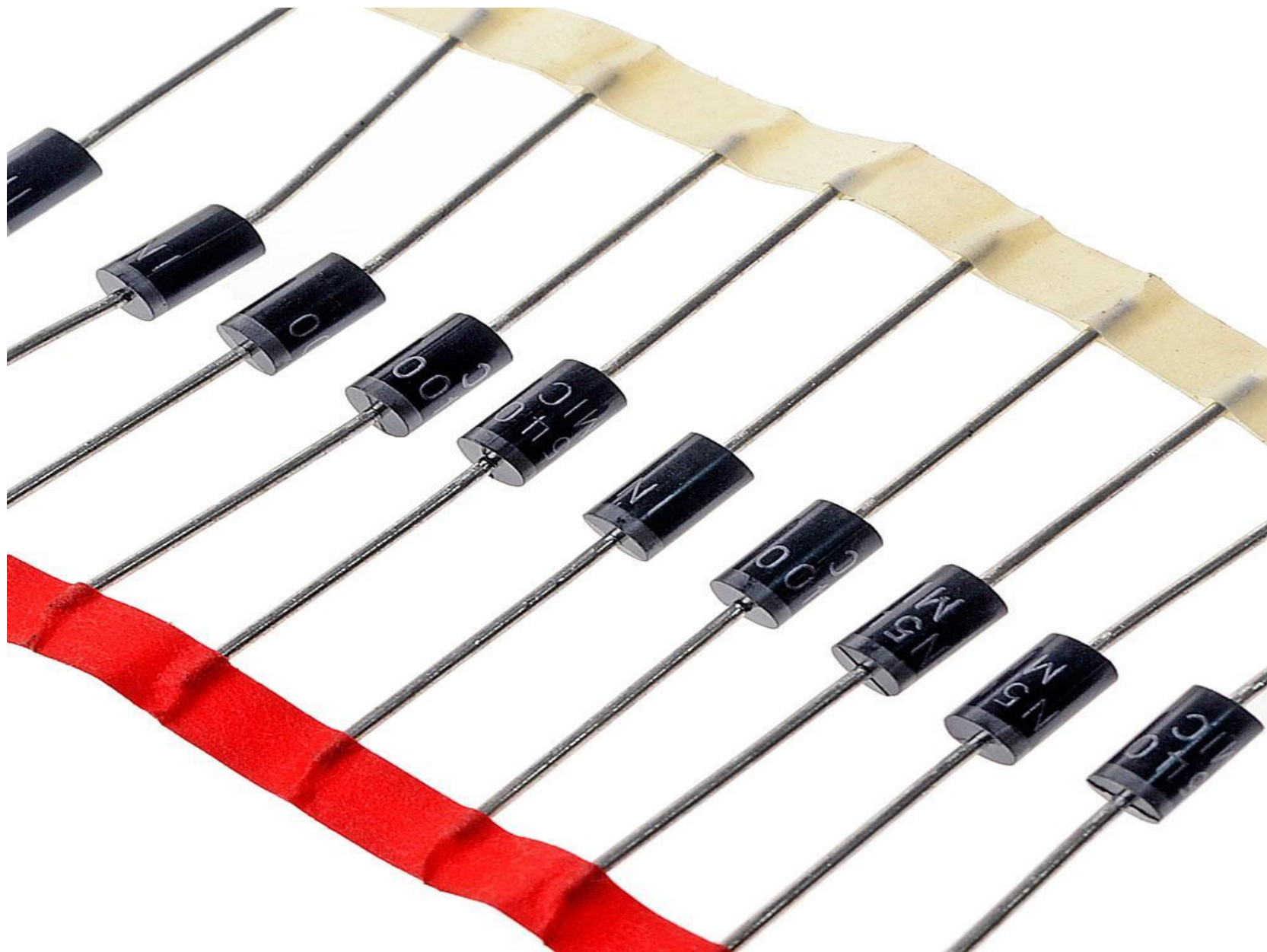


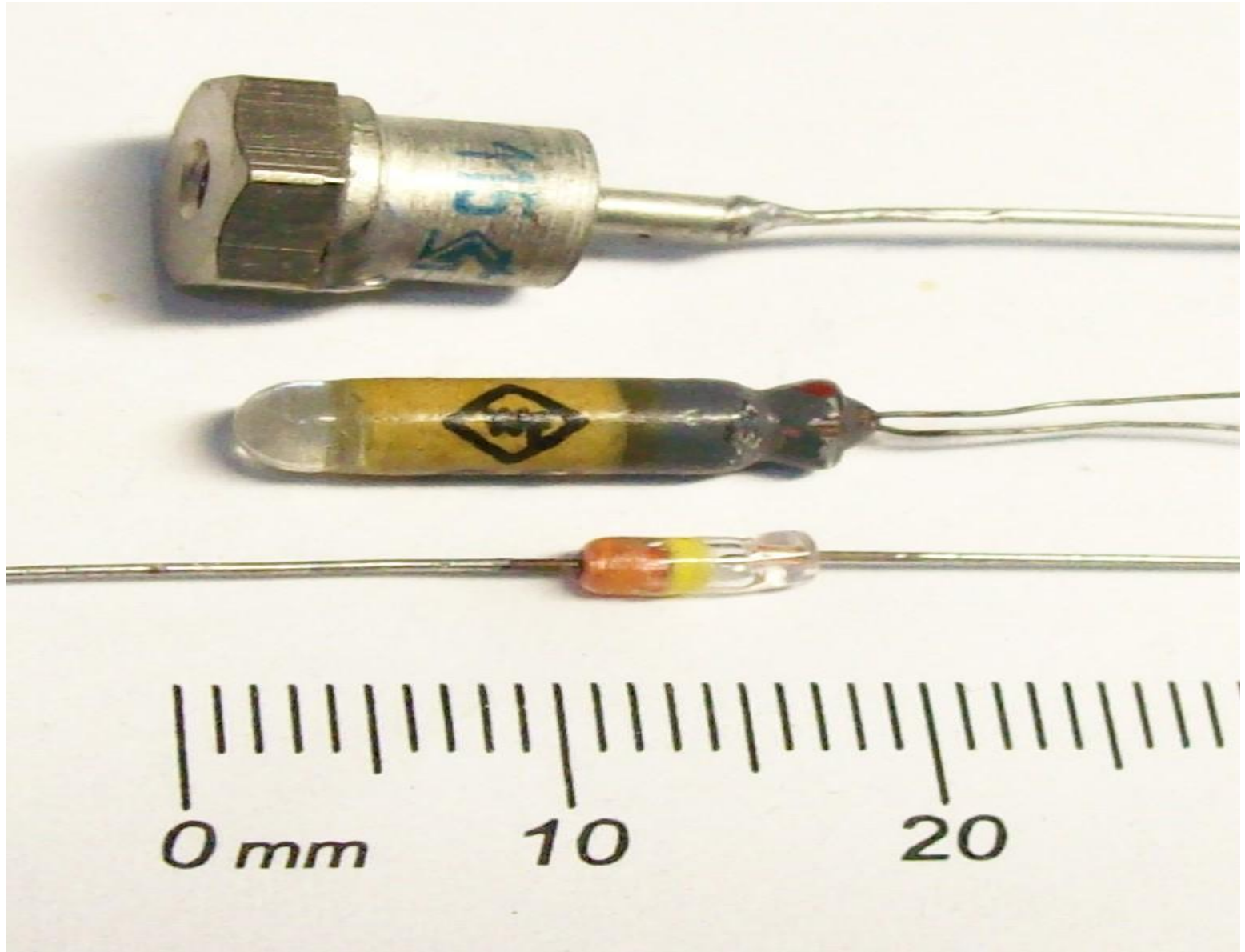














1

2

3

4

5

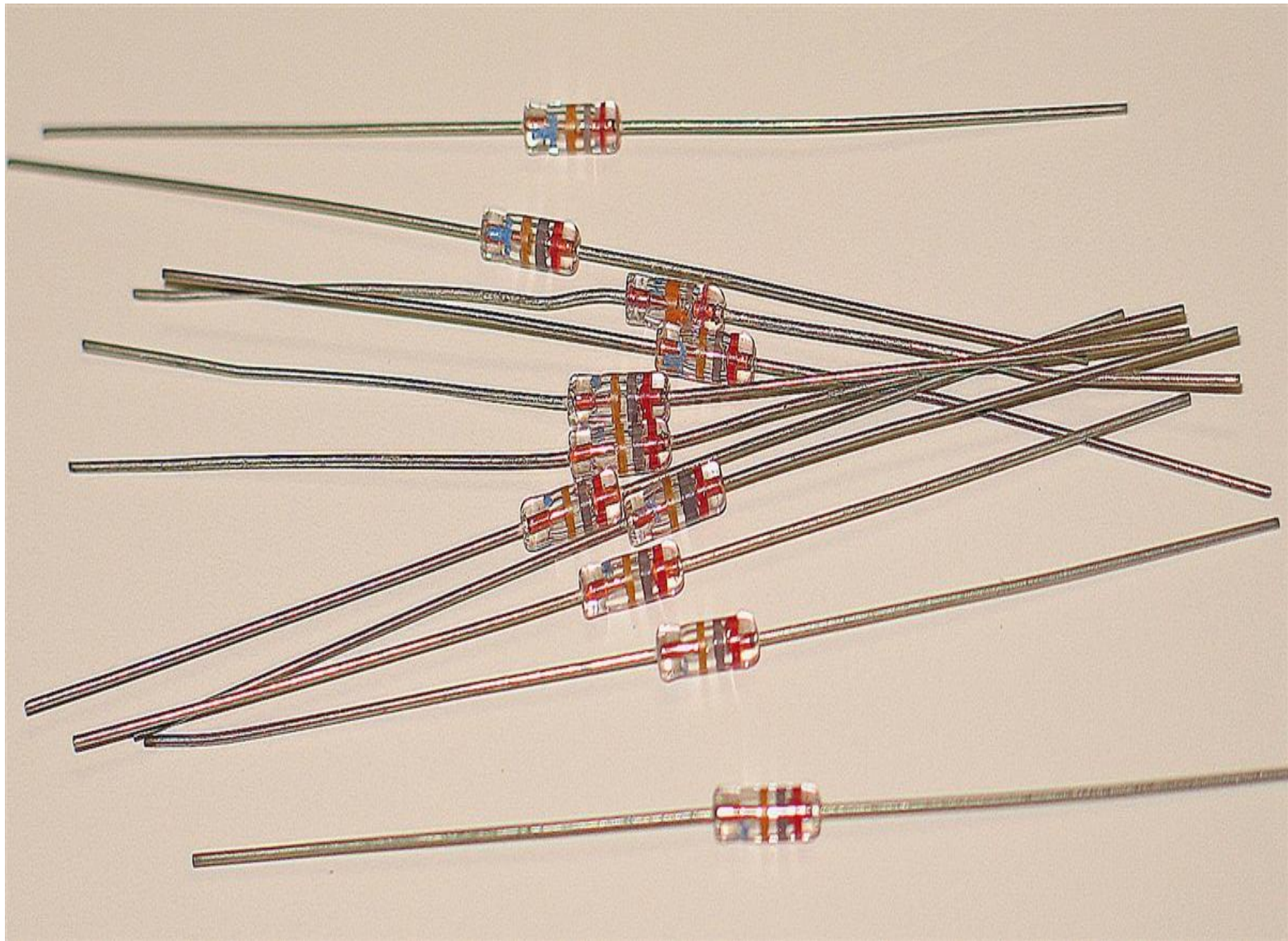
6

7

8

9

10



# **Устройство, классификация и основные параметры полупроводниковых диодов**

# Классификация и условные обозначения полупроводниковых диодов

**Классификация диодов  
производится по следующим  
признакам:**

**По конструкции:**

- **плоскостные диоды;**
- **точечные диоды;**
- **микросплавные диоды.**



- **По мощности:**  
**маломощные;**  
**средней мощности;**  
**мощные.**

- **По частоте:**  
**низкочастотные;**  
**высокочастотные;**  
**СВЧ.**

- **По функциональному назначению:**  
**выпрямительные диоды;**  
**импульсные диоды;**  
**стабилитроны;**  
**варикапы;**  
**светодиоды;**  
**тоннельные диоды**  
**и так далее**

**Условное обозначение диодов  
подразделяется на два вида:**

- **маркировка диодов;**
- **условное графическое обозначение (УГО) – обозначение на принципиальных электрических схемах.**

**По старому ГОСТу все диоды  
обозначались буквой Д и цифрой,  
которая указывала на  
электрические параметры,  
находящиеся в справочнике.**

- Новый ГОСТ на маркировку диодов состоит из 4 обозначений:

**К С -156 А**

**Г Д -507 Б**

**1. 2. 3. 4.**

- 1. показывает материал полупроводника:  
Г (1) – германий; К (2) – кремний; А (3) –  
арсенид галлия.**
- 2. тип полупроводникового диода:  
Д – выпрямительные, ВЧ и импульсные  
диоды; А – диоды СВЧ;  
С – стабилитроны; В – варикапы;  
И – туннельные диоды; Ф – фотодиоды;  
Л – светодиоды;  
Ц – выпрямительные столбы и блоки**

**3 . три цифры – группа диодов по своим электрическим параметрам:**

**101- 399 *выпрямительные диоды***

**401-499 *ВЧ диоды***

**501- 599 *импульсные диоды***

- **4. – модификация диодов в данной (третьей) группе.**

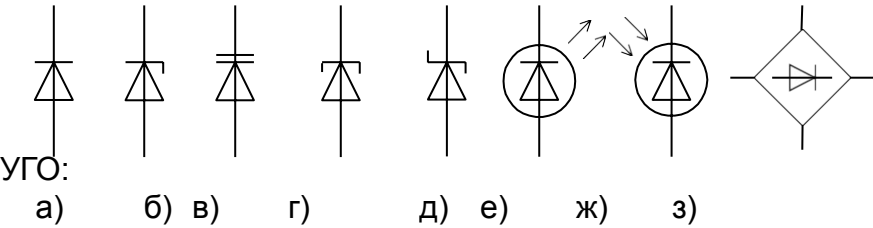
**УГО:**



I N +

- **4. модификация диодов в данной (третьей) группе.**

**УГО:**

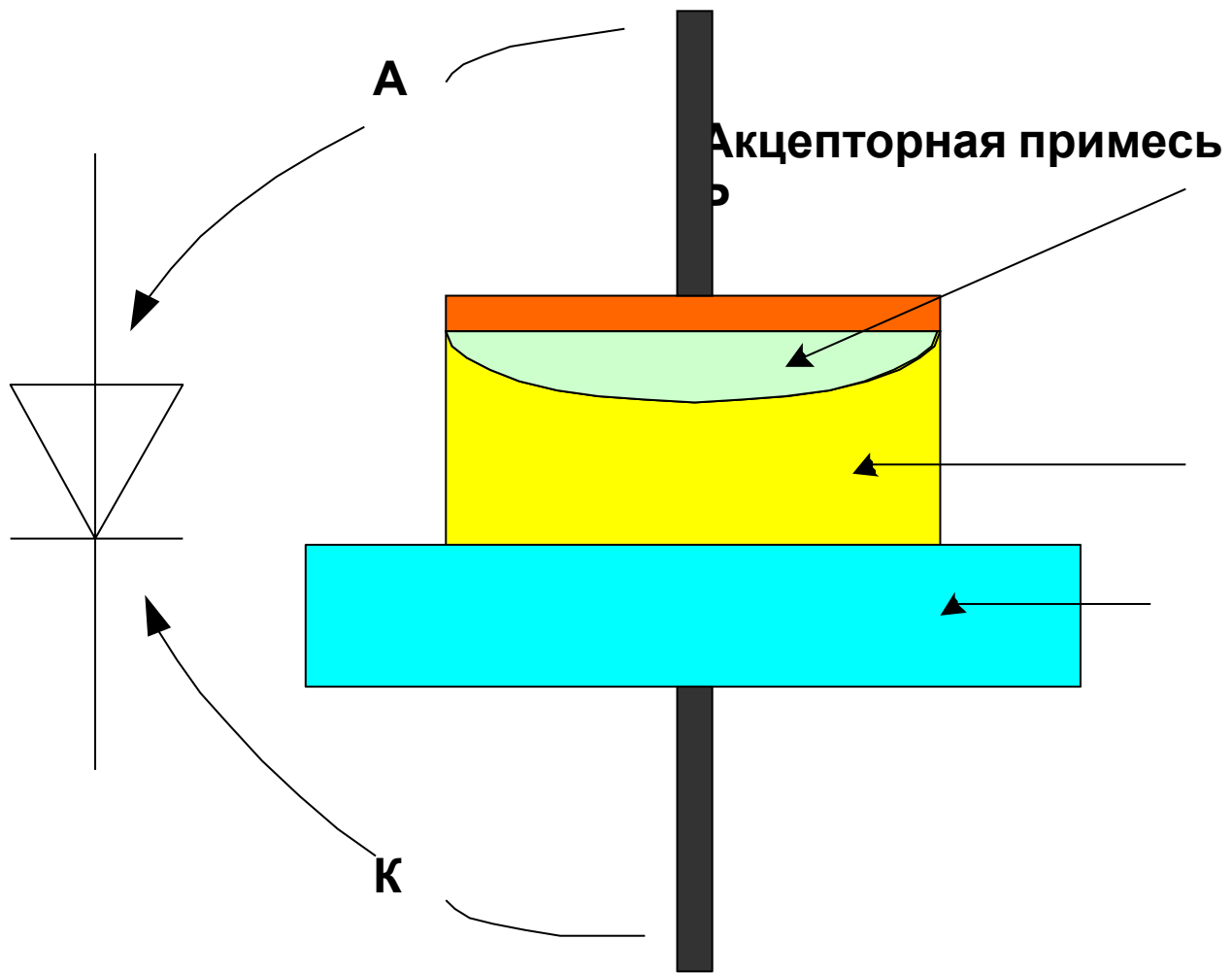


- **а) выпрямительные, высокочастотные, СВЧ, импульсные и диоды Гана;**
- **б) стабилитроны;**
- **в) варикапы;**
- **г) тоннельные диоды;**
- **д) диоды Шоттки;**
- **е) светодиоды;**
- **ж) фотодиоды;**
- **з) выпрямительные блоки**

# **Конструкция полупроводниковых диодов.**

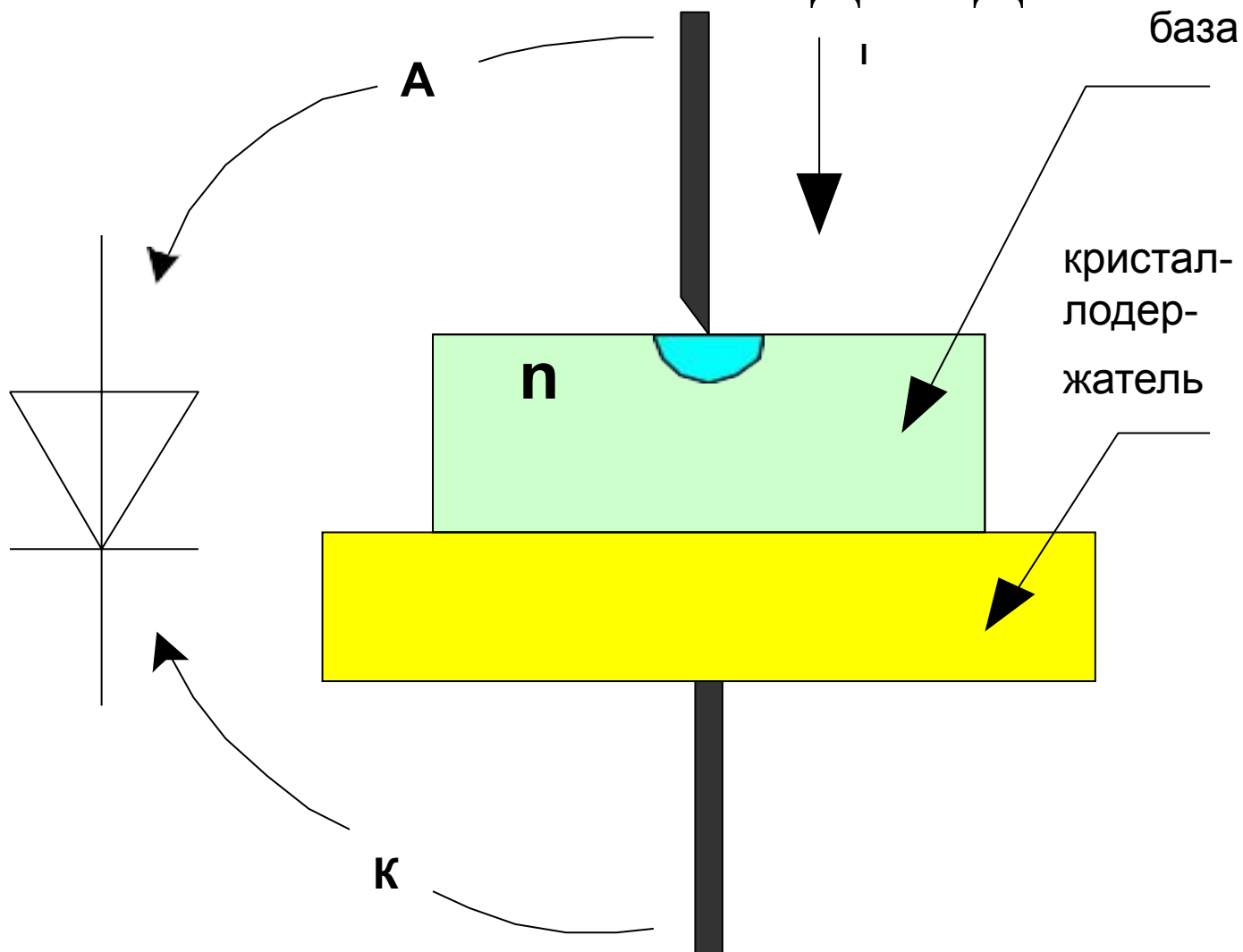
- **Основой плоскостных и точечных диодов является кристалл полупроводника n-типа проводимости, который называется базой транзистора. База припаивается к металлической пластинке, которая называется кристаллодержателем.**

- **Для плоскостного диода на базу накладывается материал акцепторной примеси и в вакуумной печи при высокой температуре (порядка 500 °С) происходит диффузия акцепторной примеси в базу диода, в результате чего образуется область р-типа проводимости и р-п переход большой плоскости**



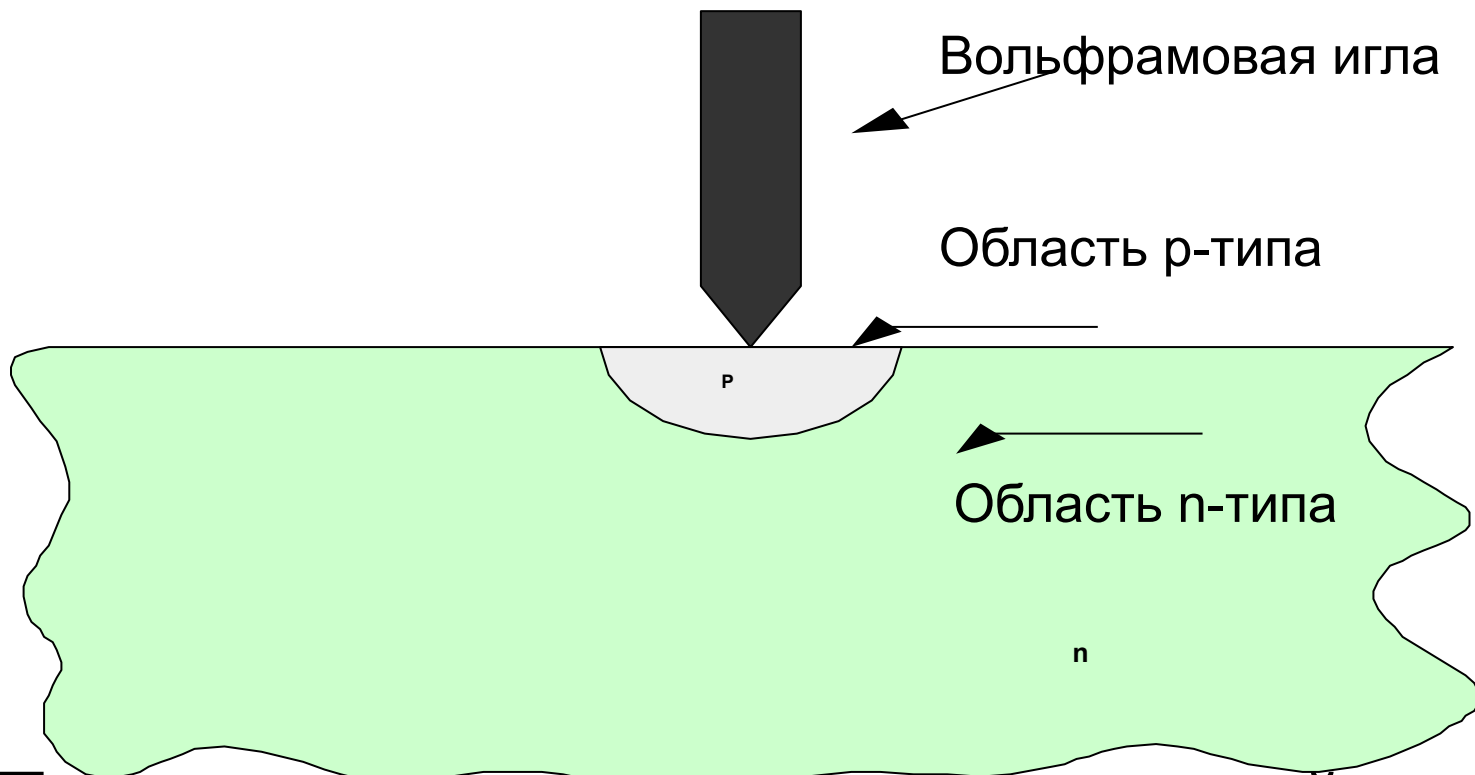
- **Большая плоскость p-n перехода плоскостных диодов позволяет им работать при больших прямых токах, но за счёт большой барьерной ёмкости они будут низкочастотными.**

# Точечные диоды



- **К базе точечного диода подводят вольфрамовую проволоку, легированную атомами акцептор-ной примеси, и через неё пропускают импульсы тока силой до 1А. В точке разогрева атомы акцепторной примеси переходят в базу, образуя р-область**





- Получается p-n переход очень малой площади. За счёт этого точечные диоды будут высокочастотными, но могут работать лишь на малых прямых токах (десятки миллиампер).

# **Микросплавные диоды.**

- **Их получают путём сплавления микрокристаллов полупроводников р- и n- типа проводимости. По своему характеру микросплавные диоды будут плоскостные, а по своим параметрам – точечные.**

**Спасибо за внимание**