

# Основная литература

- **Электротехника** : учеб. для неэлектротехн. спец. вузов / **А.С. Касаткин, М.В. Немцов.** - 7-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2003. - 542 с.
- **Электротехника и электроника** : учеб. пособие для социал. вузов, техн. отд-ний гуманитар. вузов и вузов неэлектротехн. профиля / **М.А. Жаворонков, А.В. Кузин.** - М. : Academia, 2005. - 394 с.
- **Методические указания к проведению лабораторного практикума по разделу «Электроника»** / Сост. **Е.В. Лесных, Т.Д. Меньщикова, А.Н. Курбатов, Р.А. Чехонин.** - Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2006.- 20 с.

# Лекция 1

## 1 Полупроводниковые приборы

- **ПРОВОДНИК** – имеет большое число свободных электронов, которые и способствуют возникновению электрического тока (серебро, медь, алюминий). Обладают малым сопротивлением.
- **ИЗОЛЯТОР** – материал, имеющий малое количество свободных электронов. Изолятор препятствует протеканию электрического тока и имеет большое сопротивление (стекло, резина, сухое дерево).
- **ПОЛУПРОВОДНИК** – содержит мало свободных электронов, но их количество может возрасти с увеличением температуры, что приведет к увеличению проводимости (германий, кремний).

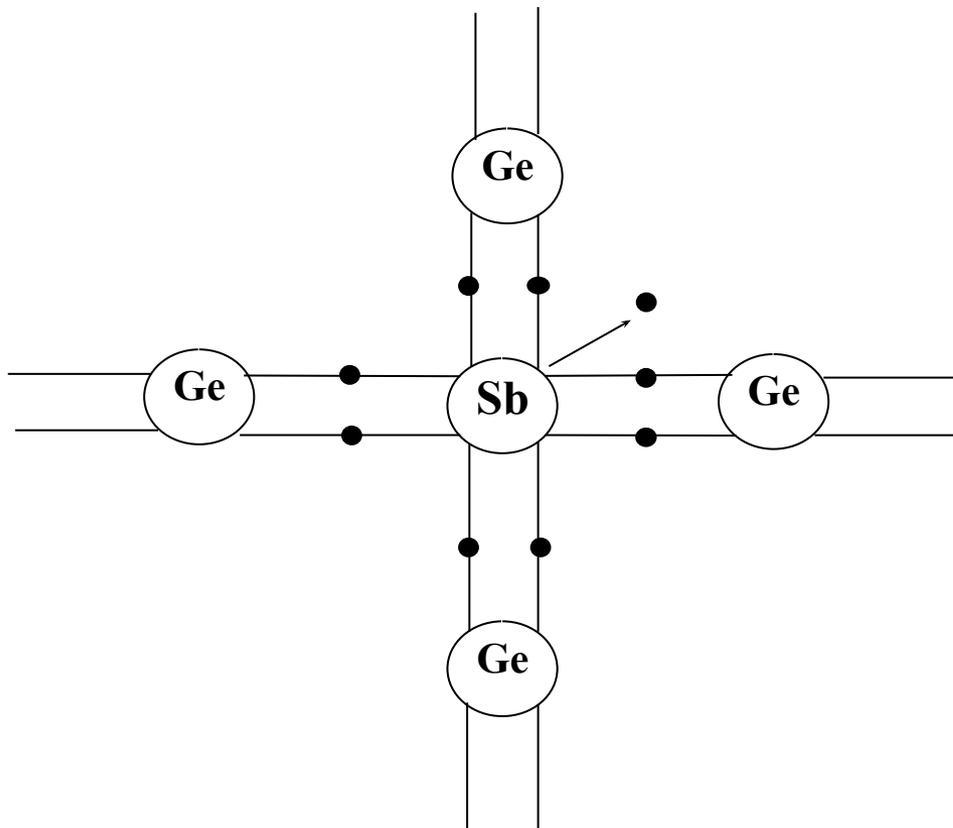
# Полупроводники

- **Чистые полупроводники** в полупроводниковых приборах **не используются**, так как обладают малой проводимостью и **не обеспечивают односторонней проводимости**.
- Полупроводник можно сделать хорошим проводником благодаря легированию (введению примеси). В зависимости от вводимой примеси в полученном материале будет или избыток свободных электронов (**полупроводник n – типа**) или недостаток свободных электронов (**полупроводник p – типа**).

В полупроводник добавляют следующие примеси:

- атом мышьяка As
- атом фосфора P
- атом сурьмы Sb
  
- атом бора (B)
- атом индия (In)
- атом алюминия (Al)

Если к четырехвалентному германию добавить пентавалентные сурьму (*Sb*), или мышьяк (*As*), или фосфор (*P*), то получается **примесная электронная электропроводность**. Их атомы взаимодействуют с атомами германия только четырьмя своими электронами, а пятый электрон они отдают в зону проводимости.



## Полупроводник n-типа

Основные носители:

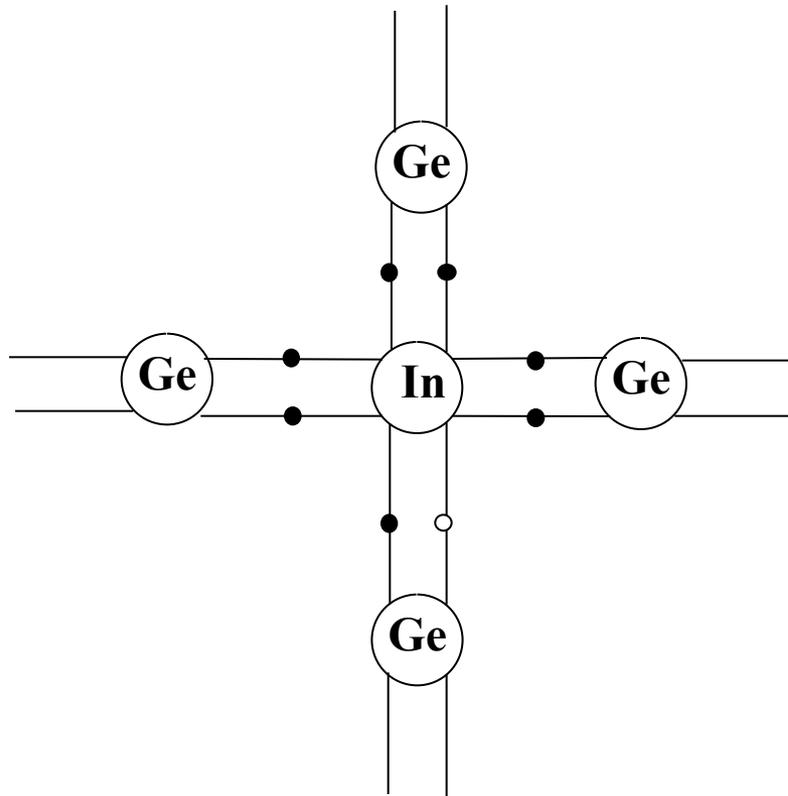
электроны

Неосновные носители: дырки

Примеси называются

донорами

Если четырехвалентный германий содержит примеси трехвалентных бора (B), или индия (In), или алюминия (Al), то их атомы захватывают электроны атомов германия и в последних образуются дырки.



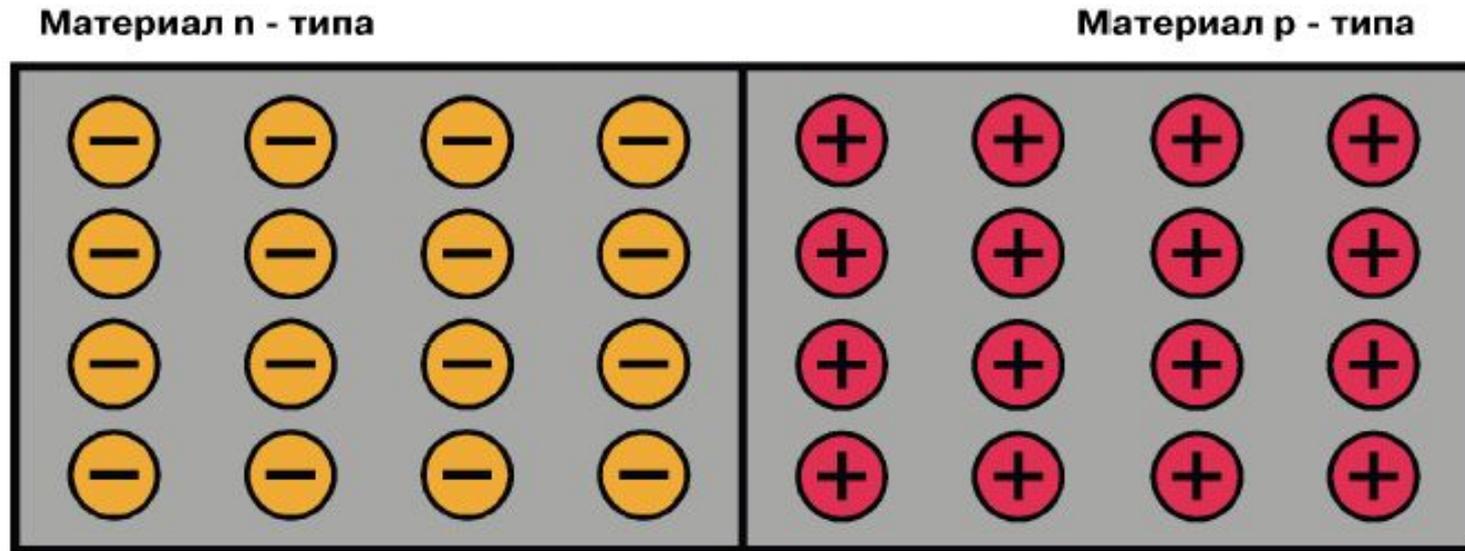
## Полупроводник p-типа

Основные носители: дырки

Неосновные носители:  
электроны

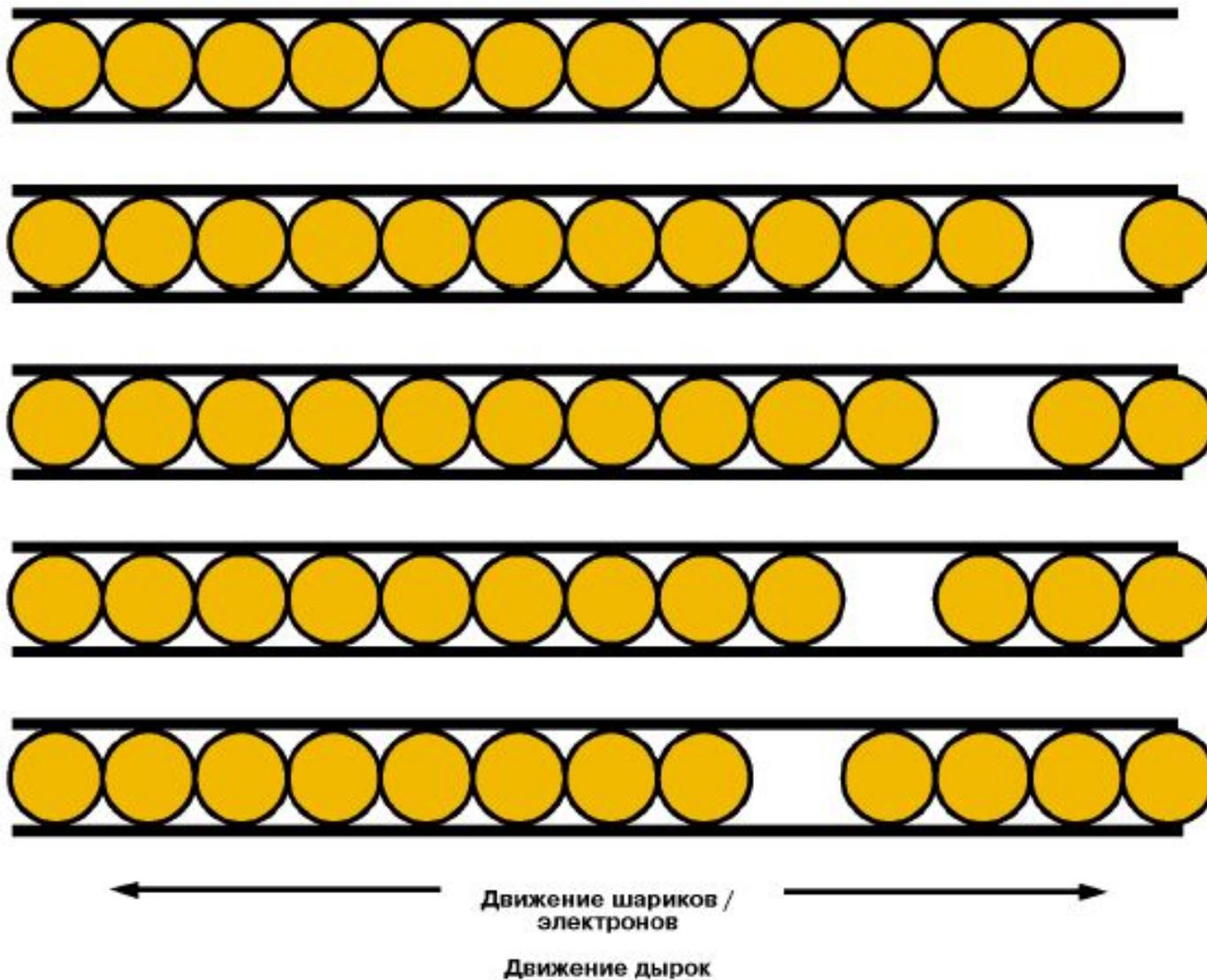
Примеси называются  
акцепторы

# p – n переход

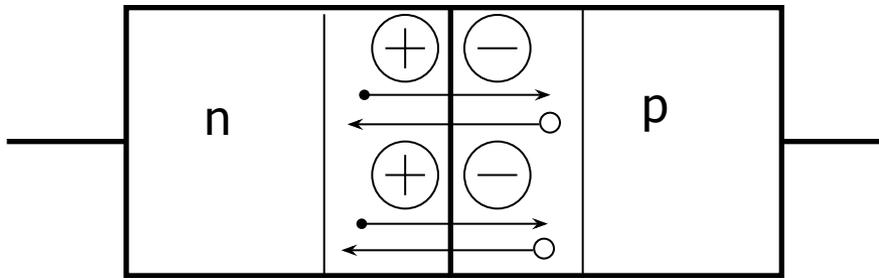


- Полупроводники делают многослойными (слой материала n - типа и слой материала p – типа). Эти слои устанавливаются в пластмассовый или металлический корпус). Место соединения полупроводника n - типа и полупроводника p – типа называется p – n переходом

# Протекание тока через полупроводник

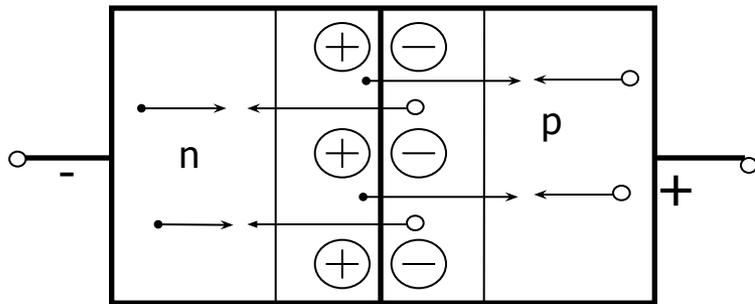


# Р-n переход при отсутствии внешнего напряжения. Обедненная зона



Протекание электронов под действием диффузии продолжается до тех пор, пока по обе стороны р-n перехода не образуется *нейтральная зона* или так называемый *обедненный слой* или *зона*

## p-n переход при прямом напряжении. Барьерное напряжение

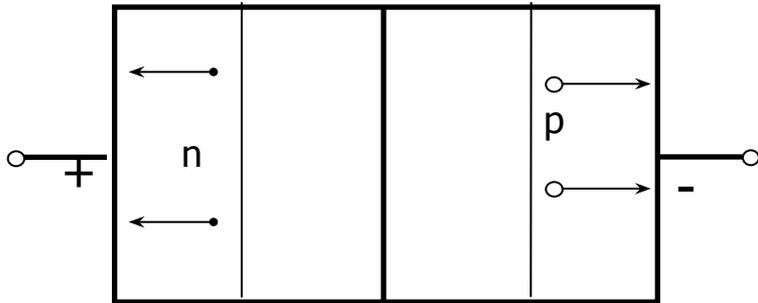


Напряжение, у которого полярность **совпадает** с полярностью основных носителей, называется **прямым**.

При приложенном прямом напряжении **обедненный слой исчезает** и электроны протекают через границу раздела, т.е. ток создаваемый основными носителями свободно протекает через переход. Падение напряжения на p – n переходе называется ***барьерным напряжением***.

Легированный германий имеет барьерное напряжение 0,3 В, а легированный кремний – 0,6 В.

## *p-n переход при обратном напряжении*



Напряжение, у которого полярность **не совпадает** с полярностью основных носителей, называется **обратным**

Электроны n-области притягиваются «+» источника напряжения, а дырки p-области притягиваются «-». Под действием  $u_{\text{ОБР}}$  через переход протекает очень небольшой *обратный ток*  $i_{\text{ОБР}}$ , который образуется движением неосновных носителей. При повышении  $u_{\text{ОБР}}$  все большее количество основных носителей «выталкивается» вглубь областей.

$$R_{\text{ОБР}} \gg R_{\text{ПР}}$$

# Полупроводниковые диоды

- *Диодом* называют полупроводниковый прибор с одним электронно-дырочным переходом и двумя выводами.
- Полупроводниковый диод по существу представляет собой  $p-n$  переход.

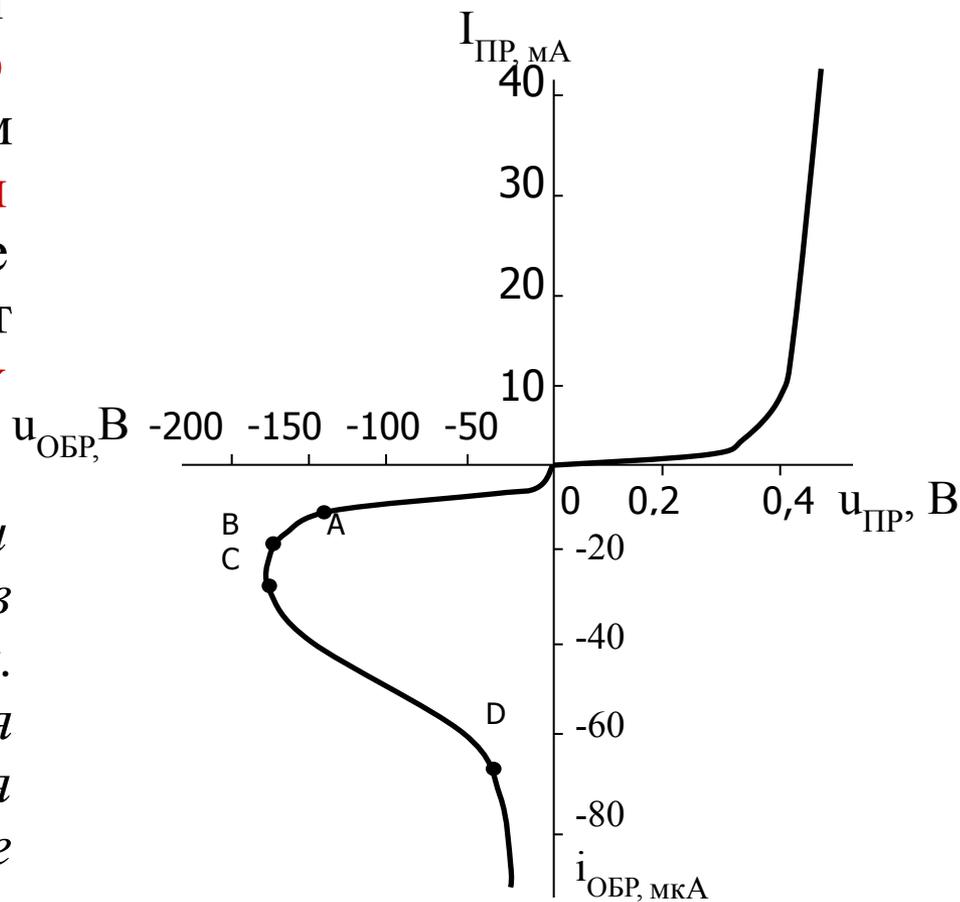


**Катод** – это сторона диода с полоской

- ВАХ показывает, что прямой ток в **десятки миллиампер** получается при прямом напряжении в **десятые доли вольта**. Поэтому прямое сопротивление бывает обычно не выше **нескольких десятков Ом**.

- Так как  $u_{OBR} \gg u_{ПР}$ , то эти напряжения отложены в разных масштабах. Вследствие различия масштабов получается излом кривой в начале координат.

- При неизменном масштабе характеристика представляет плавную кривую без излома.



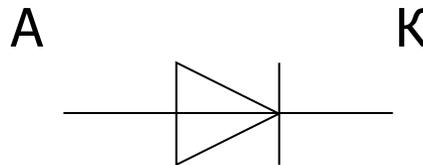
ВАХ полупроводникового диода

- При некотором значении обратного напряжения возникает *пробой* *p-n перехода*, при котором обратный ток резко возрастает и сопротивление запирающего слоя резко уменьшается.
- Различают *электрический* и *тепловой пробой p-n перехода*. Электрический пробой (участок ABC характеристики на рисунке) является обратимым, при котором не происходит разрушения структуры вещества. Поэтому работа диода в режиме электрического пробоя допустима.

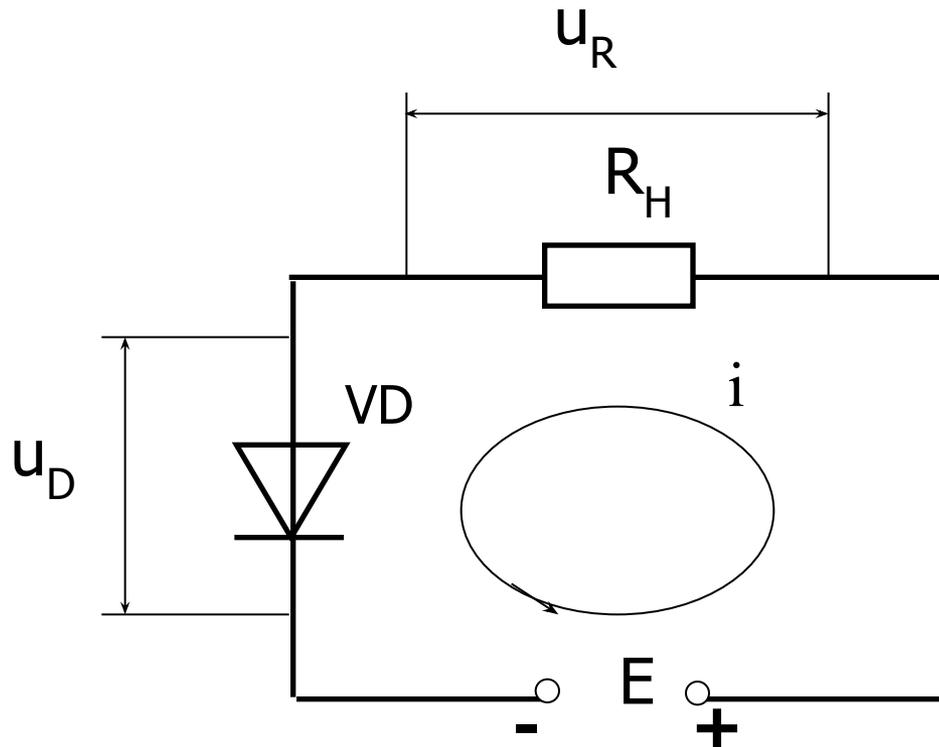
- Области теплового пробоя соответствует участок CD ВАХ диода. Этот пробой *необратим*, т.к. он сопровождается разрушением вещества в месте  $p-n$  перехода.
- Количество теплоты, выделяющейся в переходе от нагрева его обратным током, превышает количество теплоты, отводимой от него. В результате температура перехода возрастает, сопротивление его уменьшается и ток увеличивается. Наступает перегрев перехода и его тепловое разрушение.

# Рабочий режим диода

- На рисунке приведено условно-графическое обозначение (УГО) выпрямительного диода с обозначением его электродов: *A – анод, K – катод*. Прямой ток проходит тогда, когда анод имеет положительный потенциал относительно катода. Следовательно, треугольник следует рассматривать как *острие стрелки, показывающий условное направление* прямого тока.

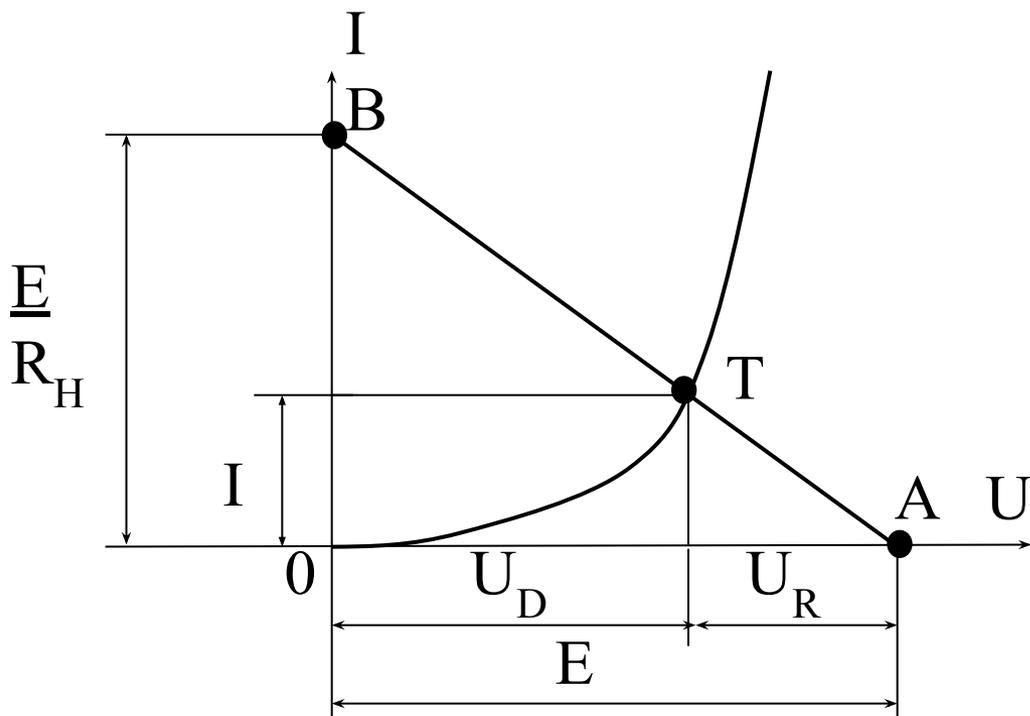


- Режим диода с нагрузкой называют *рабочим* .
- Так как диод обладает нелинейным сопротивлением, значение которого изменяется при изменении тока, поэтому расчет тока производят графическим способом.



- Известны  $E$ ,  $R_H$  и ВАХ диода
- Определить ток в цепи и напряжение на диоде.
- Согласно закона Ома:

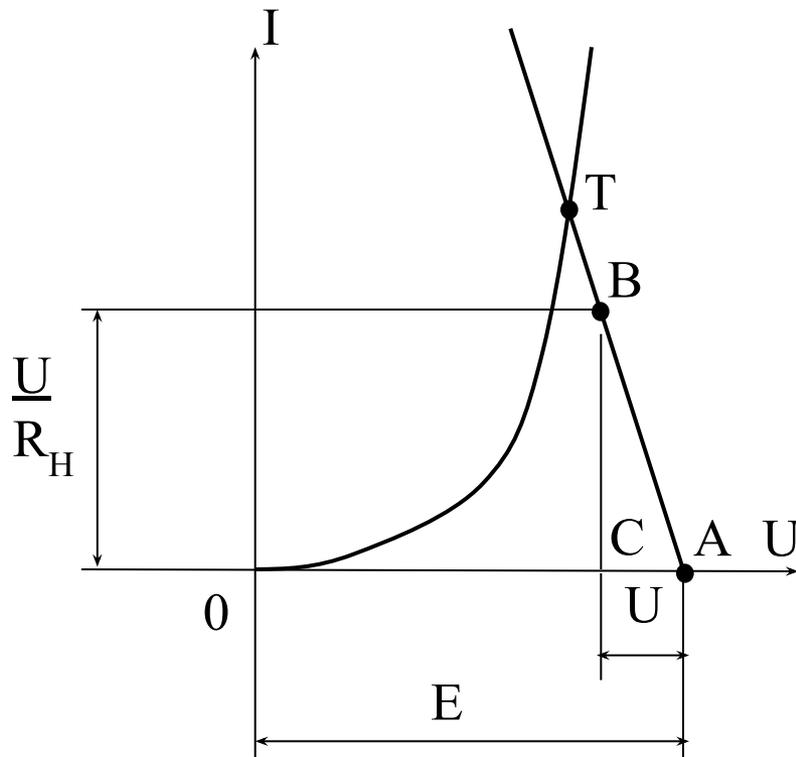
$$I = U_R / R_H = (E - U_D) / R_H.$$



*Линию нагрузки обычно строят по двум точкам:*

1. При  $i = 0$  из уравнения получаем:  $E - U_D = 0$  или  $U_D = E$ , (точка  $A$ );
2. При  $U_D = 0$ , то  $I = E / R_H$  (точка  $B$ ).

- При построении линии нагрузки для малых значений  $R_H$  точка  $B$  может оказаться за пределами чертежа. В этом случае **следует** отложить от точки  $A$  влево произвольное значение напряжения (точка  $C$ ) и вверх отложить ток, равный  $U / R_H$  (отрезок  $CB$ ). Прямая, проведенная через точки  $A$  и  $B$  является **линией нагрузки**. Координаты точки пересечения  $T$  дают искомые значения параметров цепи.



Графический расчет не требуется, если  $R_H \gg R_0$ . В этом случае допустимо пренебречь сопротивлением диода и определять приближенно ток по формуле  $I = E / R_H$

# Определение некоторых параметров

## полупроводникового диода

- *сопротивление постоянному току в прямом смещении:*

$$R_0 = U_{\text{ПР}} / I_{\text{ПР}};$$

- *сопротивление при обратном смещении:*

$$R_0 = U_{\text{ОБР}} / I_{\text{ОБР}};$$

- *сопротивление диода переменному току (дифференциальное)*

$$R_i = \Delta U_{\text{ПР}} / \Delta I_{\text{ПР}};$$

- *крутизна ВАХ для прямого тока*

$$S = \Delta I_{\text{ПР}} / \Delta U_{\text{ПР}} .$$

# Основные типы полупроводниковых диодов

В настоящее время наибольшее распространение получили **кремниевые** выпрямительные диоды, которые имеют следующие *преимущества*:

- во много раз меньше (по сравнению с германиевыми) обратные токи при одинаковом напряжении;
- высокое значение допустимого обратного напряжения, которое достигает 1000 ... 1500 В, в то время как у германиевых диодов оно находится в пределах 100 ... 400 В;
- работоспособность кремниевых диодов сохраняется при температурах от  $-60^{\circ}$  до  $+150^{\circ}$  С, германиевых – лишь от  $-60^{\circ}$  до  $+85^{\circ}$  С (при температуре выше  $+85^{\circ}$  С в германии резко возрастает термогенерация, что увеличивает обратный ток и может привести к потере диодом вентиляльных свойств).
- Однако в выпрямительных устройствах низких напряжений выгоднее применять германиевые диоды, т.к. их сопротивление в прямом направлении в 1,5 ... 2 раза меньше, чем у кремниевых, при одинаковом токе нагрузки, что уменьшает мощность, рассеиваемую внутри диода.

# *Основные электрические параметры выпрямительных диодов*

- $I_{\text{ПР МАХ}}$  – максимальный прямой ток;
- $U_{\text{ПР}}$  – падение напряжения при прямом смещении и заданном прямом токе;
- $I_{\text{ОБР}}$  – ток через диод при обратном смещении и заданном  $U_{\text{ОБР}}$ ;
- $U_{\text{ОБР МАХ}}$  – максимальное обратное напряжение;
- $\Delta f$  – диапазон частот, в пределах которого выпрямленный ток не уменьшается ниже заданного значения.

- По значению выпрямленного тока выпрямительные диоды делят на *диоды малой* ( $I_{\text{ПР}} < 0,3 \text{ А}$ ), *средней* ( $0,3 \text{ А} < I_{\text{ПР}} < 10 \text{ А}$ ) и *большой* ( $I_{\text{ПР}} > 10 \text{ А}$ ) *мощности*.
- В зависимости от структуры различают *точечные* и *плоскостные* диоды. У точечных диодов линейные размеры, определяющие площадь *p-n* перехода, такие же, как и толщина самого перехода, или меньше ее. У плоскостных диодов эти размеры значительно больше его толщины.

# Самостоятельная работа

- **Конспект на тему:** Полупроводниковые резисторы.

**Рассмотреть:** варисторы, тензорезисторы, фоторезисторы, термисторы, позисторы