

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 возрасть с увеличением температуры, что приведет к увеличению проводимости (**германий, кремний**).

Полупроводники

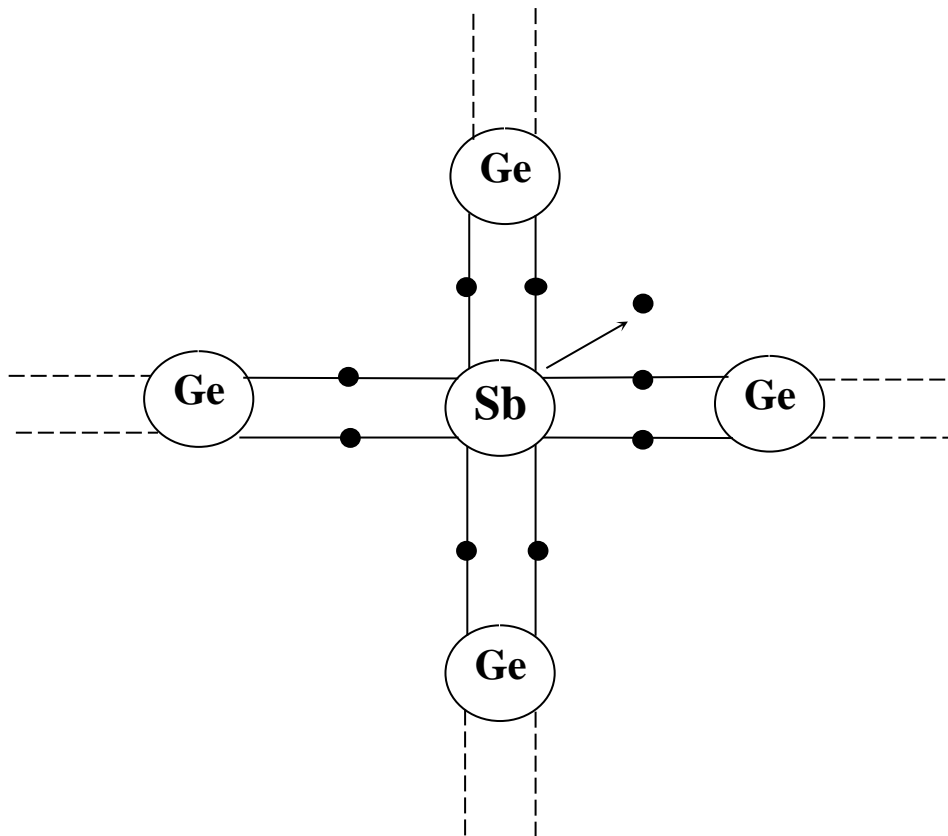
■ Чистые полупроводники в полупроводниковых приборах не используются, так как обладают малой проводимостью и не обеспечивают односторонней проводимости.

■ 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:

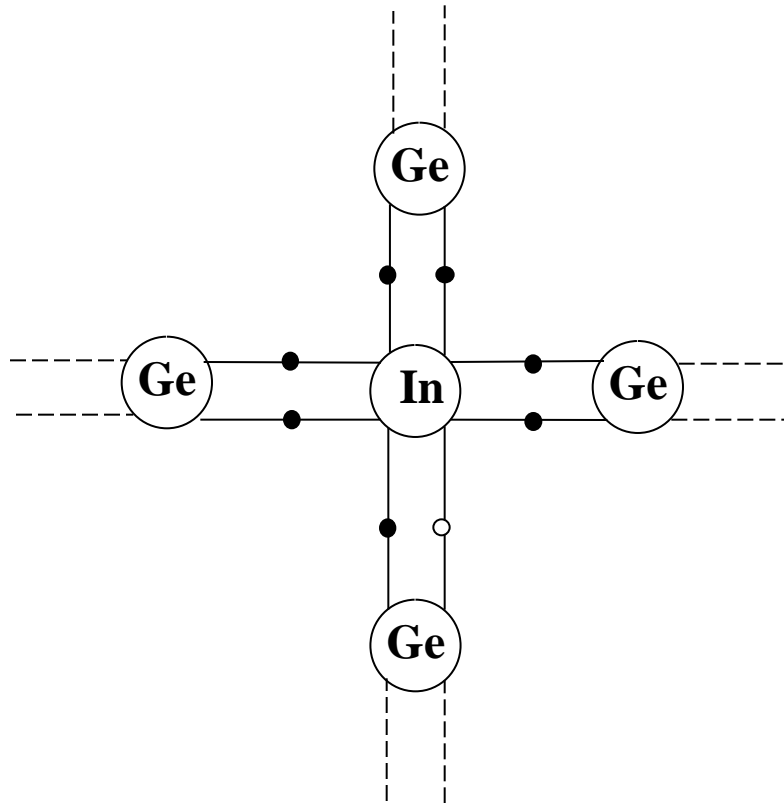
электроны

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.



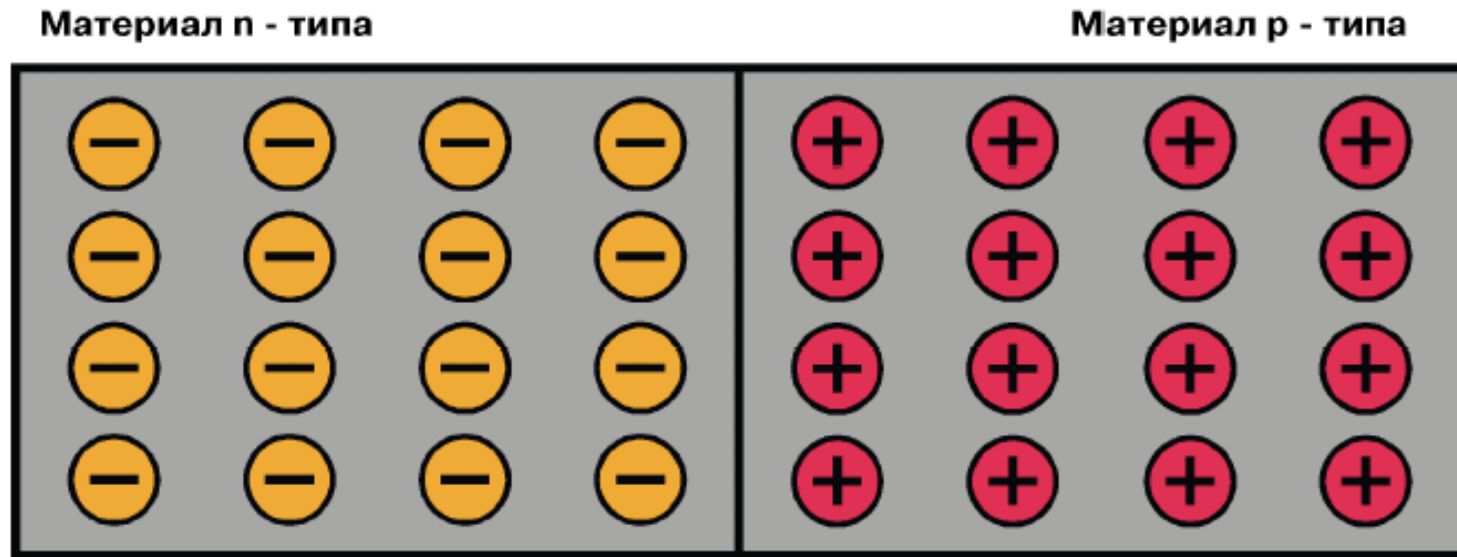
Полупроводник p-типа

Основные носители: дырки

Неосновные носители:
электроны

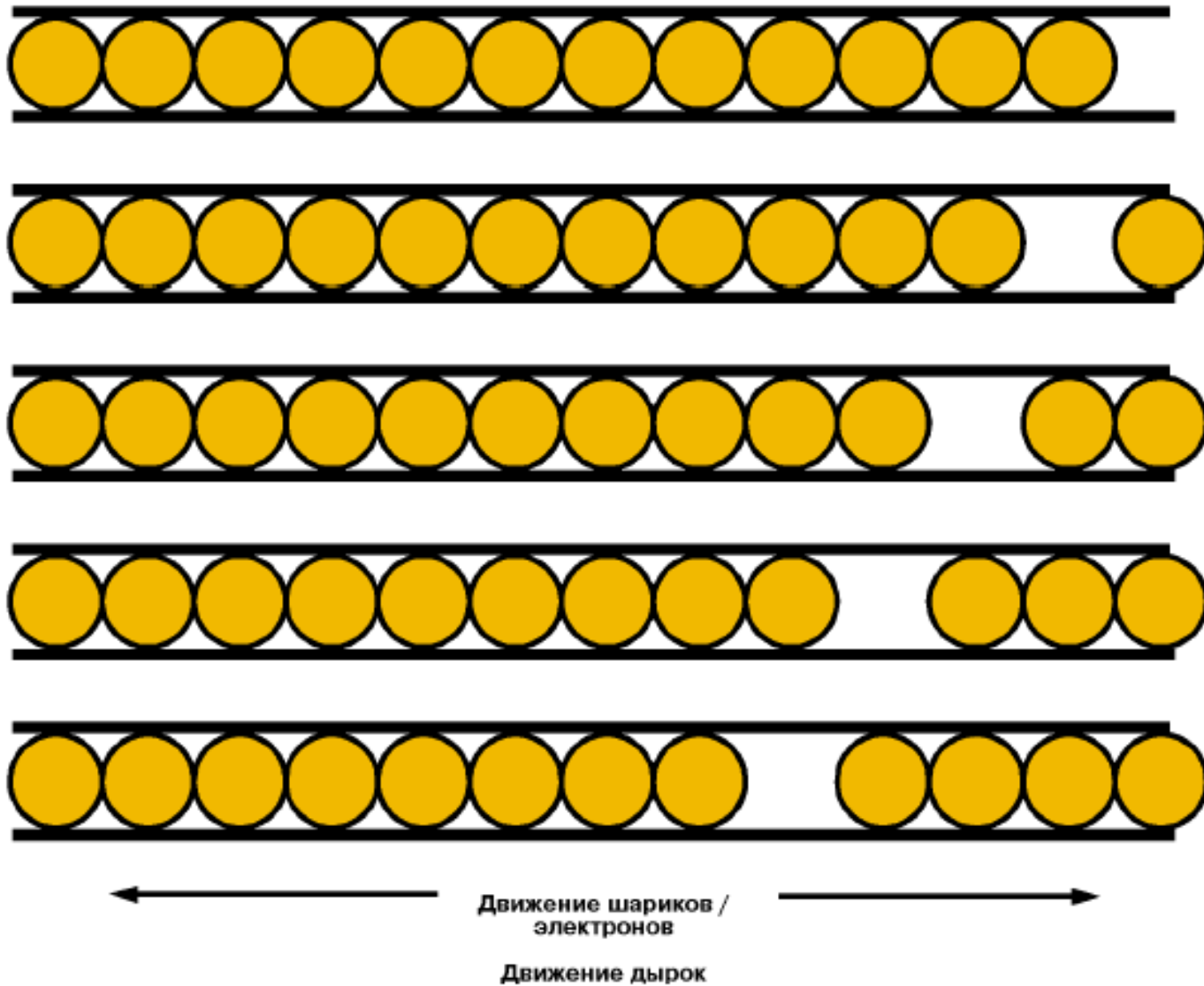
Примеси называются
акцепторы

p – n переход



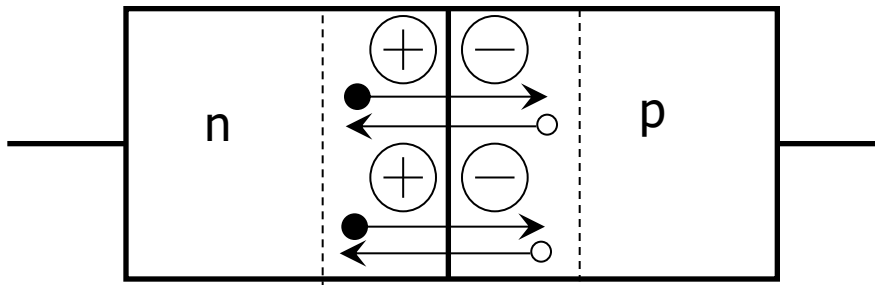
- Полупроводники делают многослойными (слой материала n - типа и слой материала p – типа). Эти слои устанавливаются в пластмассовый или металлический корпус). Место соединения полупроводника n - типа и полупроводника p – типа называется p – n переходом

Протекание тока через полупроводник



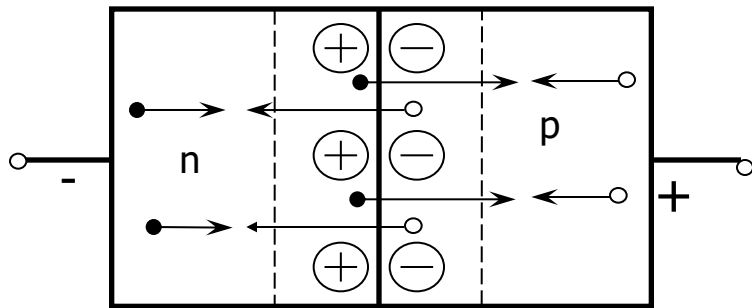
Р-п переход при отсутствии внешнего напряжения.

Обедненная зона



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

р-п переход при прямом напряжении. Барьерное напряжение

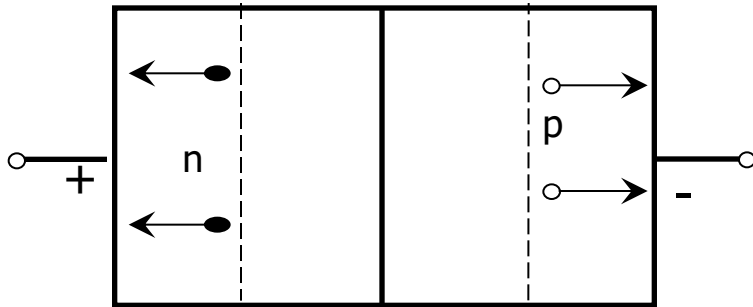


Напряжение, у которого полярность совпадает с полярностью основных носителей, называется прямым.

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 р – п переходе называется ***барьерным напряжением***.

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

р-п переход при обратном напряжении



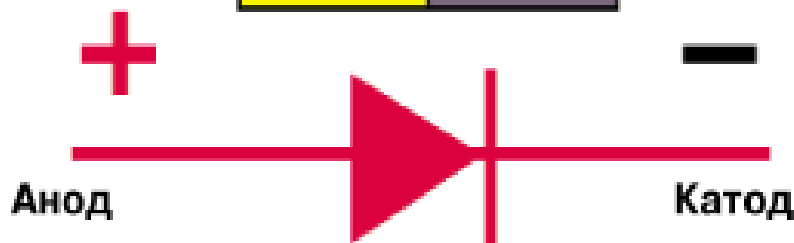
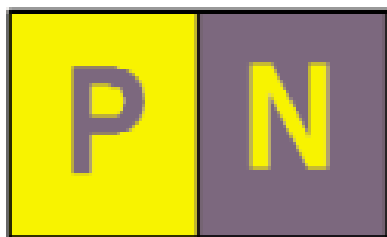
Напряжение, у которого полярность **не совпадает** с полярностью основных носителей, называется **обратным**

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.

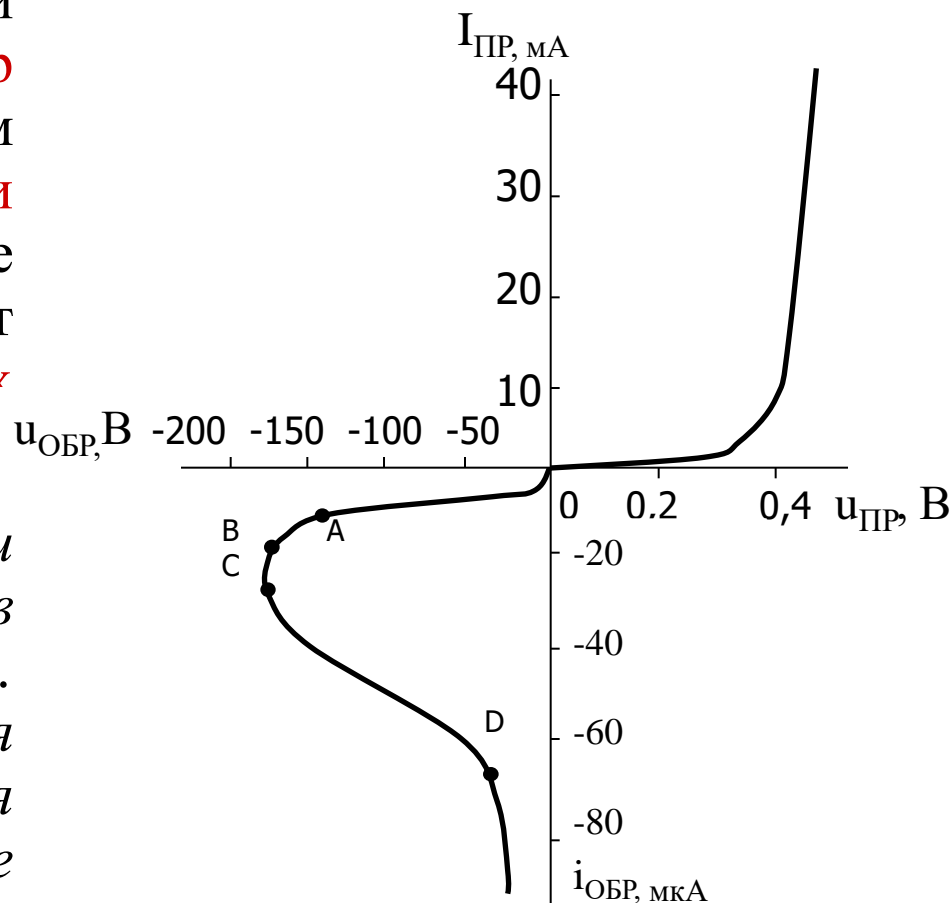


Катод – это
сторона диода
с полоской

✓ 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.



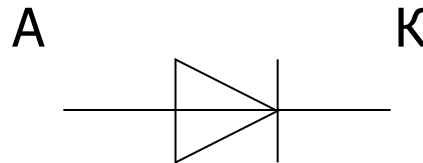
ВАХ полупроводникового диода

- 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.

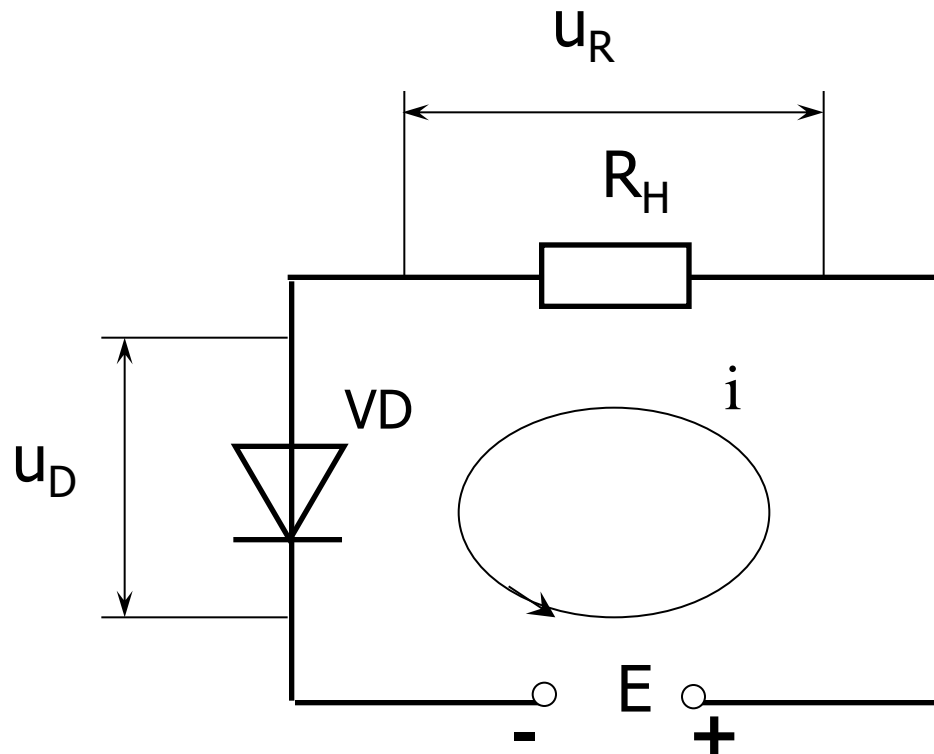
- Области теплового пробоя соответствует участок CD ВАХ диода. Этот пробой *необратим*, т.к. он сопровождается разрушением вещества в месте $p-n$ перехода.
- Количество теплоты, выделяющейся в переходе от нагрева его обратным током, превышает количество теплоты, отводимой от него. В результате температура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

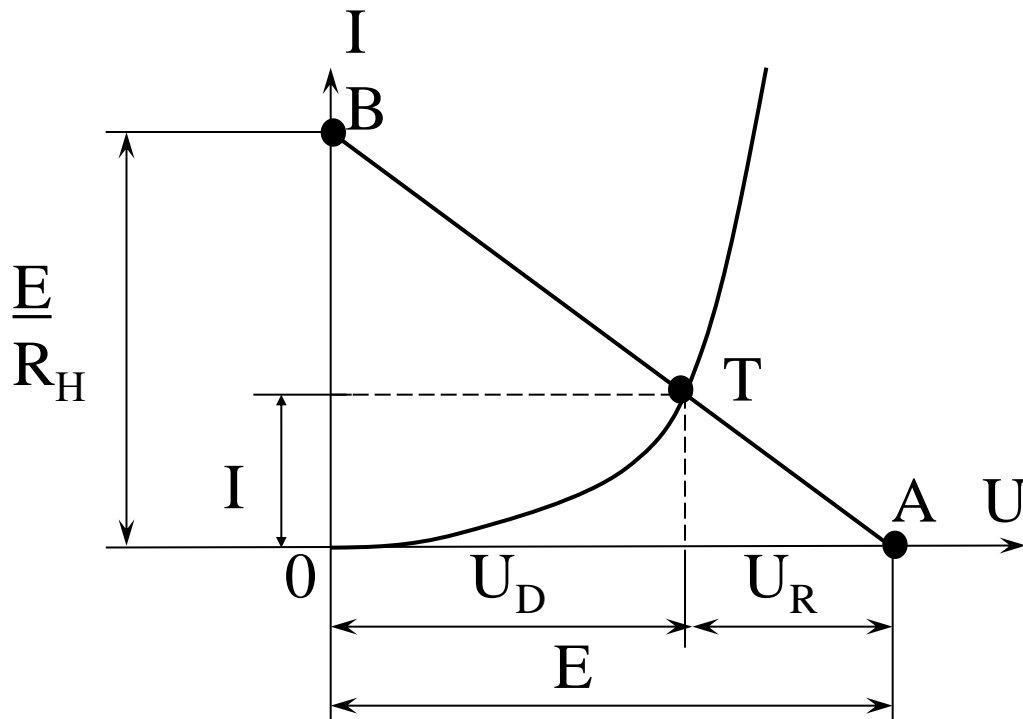


- Режим диода с нагрузкой называют *рабочим* .
- Так как диод обладает нелинейным сопротивлением, значение которого изменяется при изменении тока, поэтому расчет тока производят графическим способом.



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

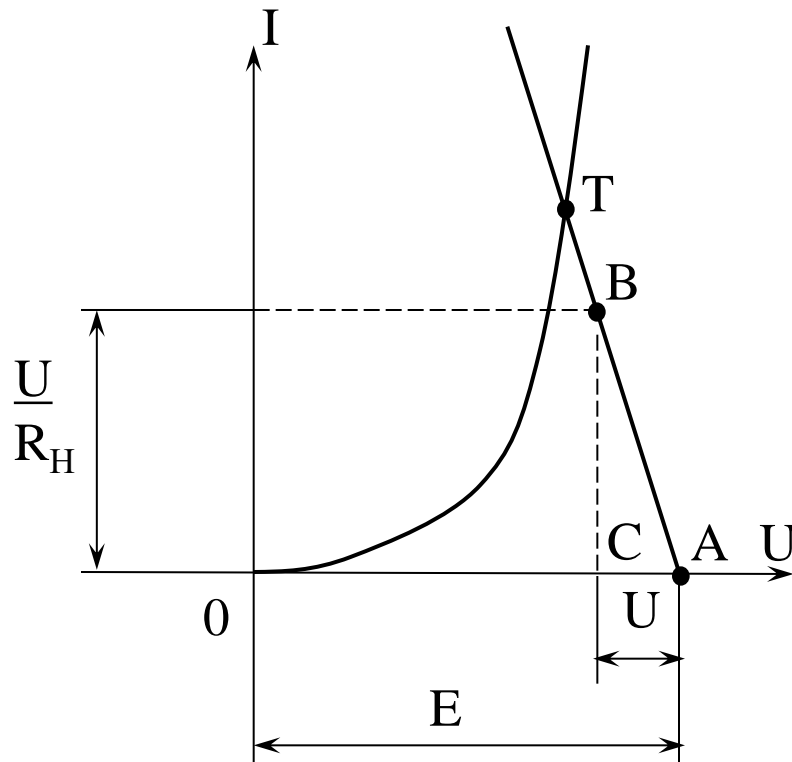
$$I = U_R / R_H = (E - U_D) / R_H.$$



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 меньшее (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° до $+150^{\circ}$ С, германиевых – лишь от -60° 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 вентильных 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;
- ✓ Δf — 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.