

Медицинская электроника

Полупроводники. Зонная теория полупроводников.

Электронно-дырочный переход. Основное уравнение диода.

Пробой p - n -перехода. Полупроводниковые диоды.

к.ф.-м.н., доцент, Малахов Дмитрий Валерьевич



Российский
национальный
исследовательский
медицинский

Кафедра физики МБФ

Москва



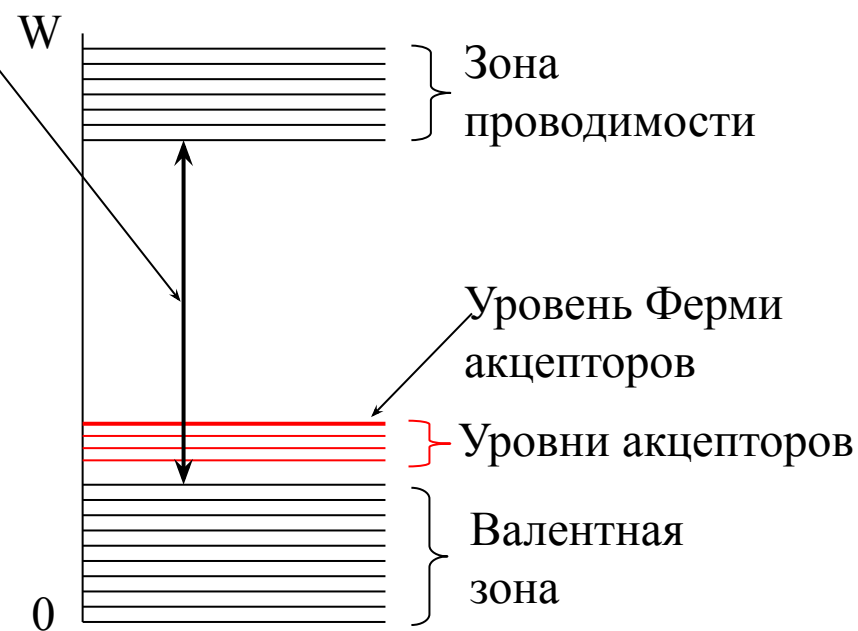
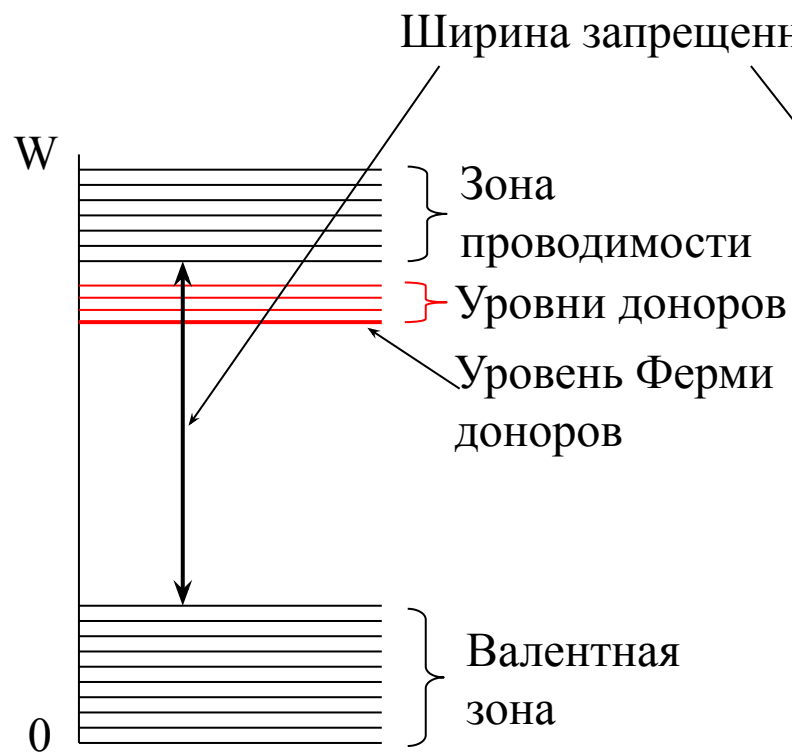
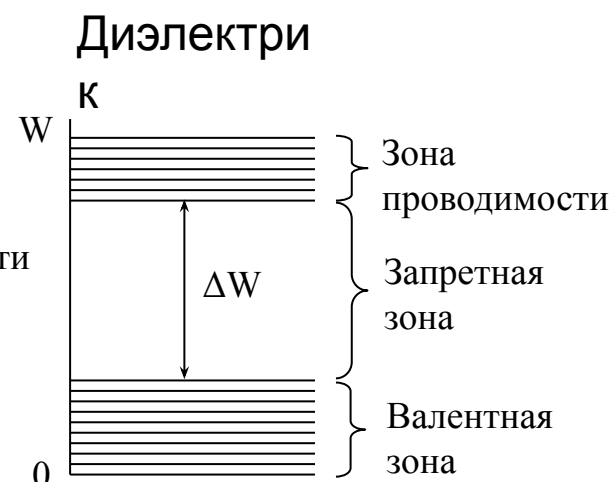
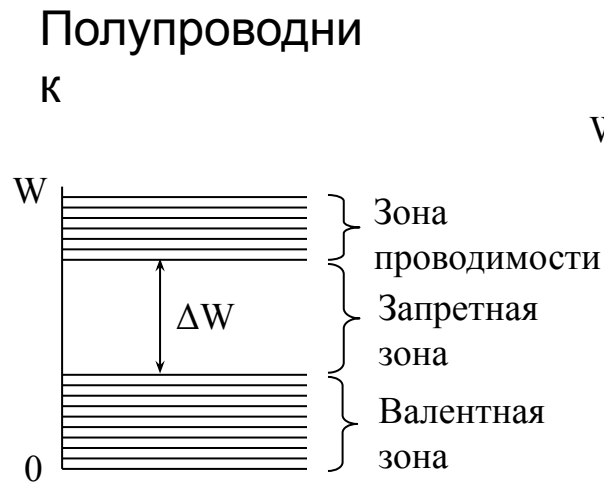
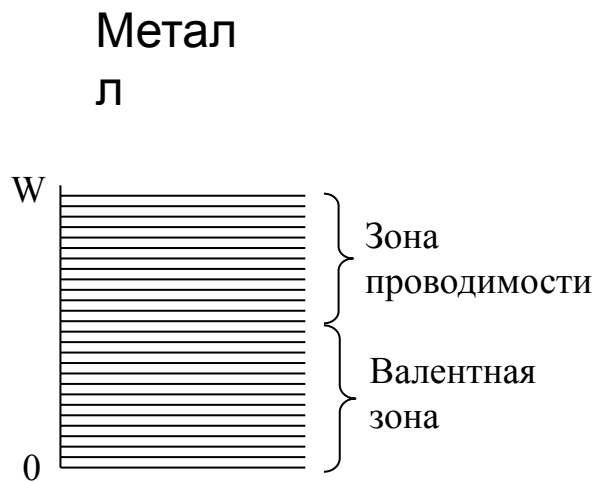
ИОФ РАН

Медицинская электроника

Полупроводники. Зонная теория полупроводников.

Электронно-дырочный переход. Основное уравнение диода.

Пробой p - n -перехода. Полупроводниковые диоды.



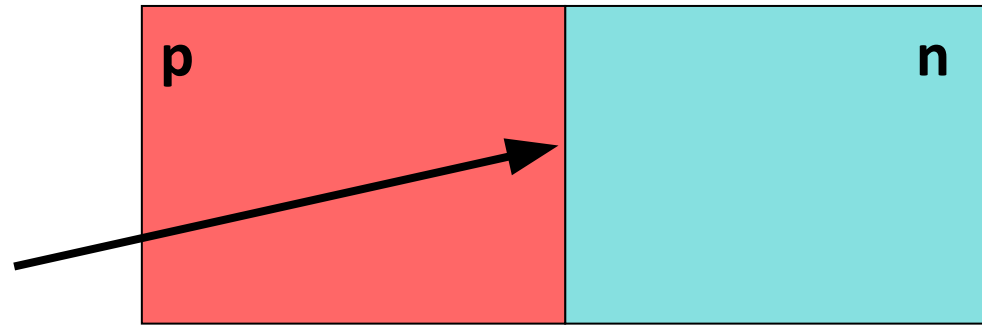
Зонная диаграмма полупроводника n-типа

Зонная диаграмма полупроводника p-типа

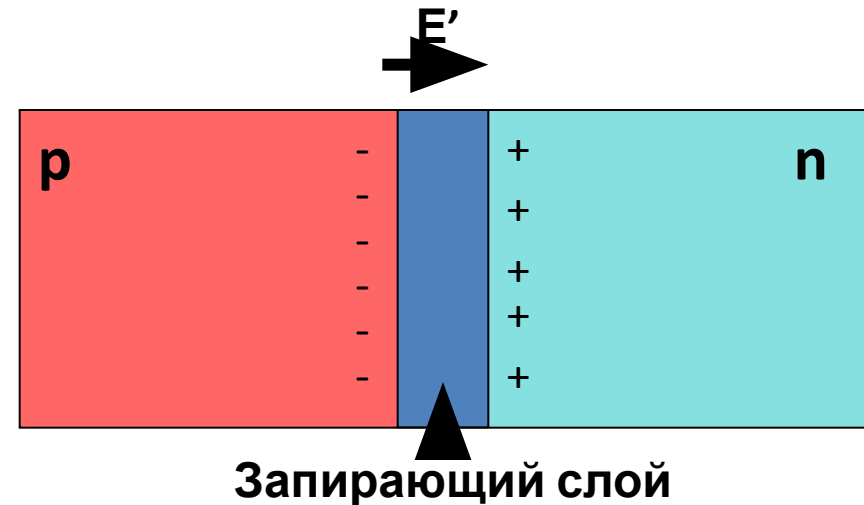
Электронно-дырочный переход

p-n-переход, или электронно-дырочный переход — область соприкосновения двух полупроводников p- и n-типа, в которой происходит переход от одного типа проводимости к другому. Электрические процессы в p-n-переходах являются основой работы полупроводниковых диодов, транзисторов и других электронных полупроводниковых приборов с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

При сплаве двух полупроводников разного типа на их границе возникает электронно-дырочный переход (p-n – переход)

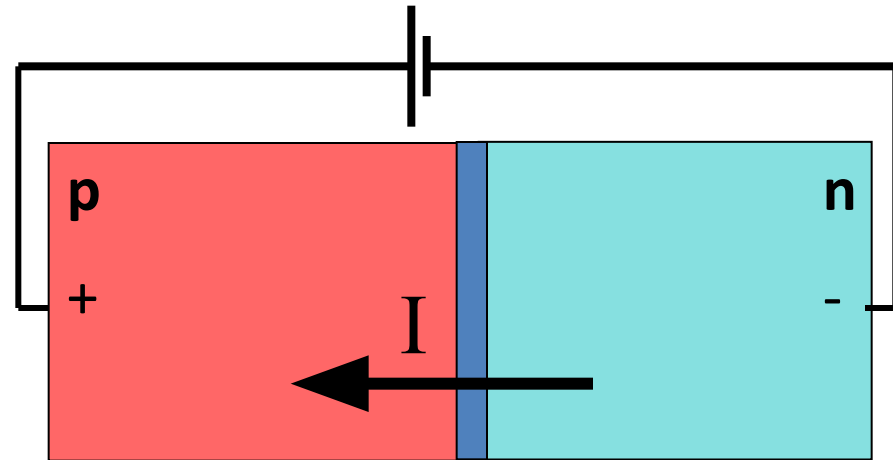


При отсутствии напряжения на краях полупроводника в месте перехода существует собственное поле E' , зона перехода обеднена носителями заряда и имеет большое сопротивление

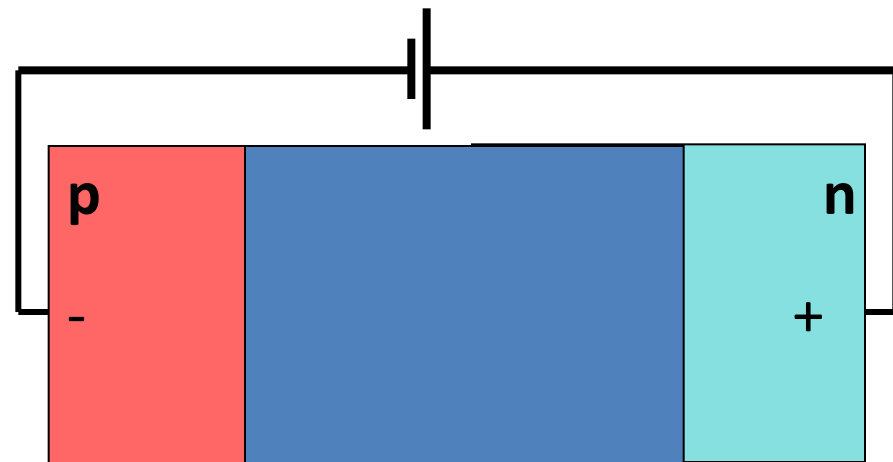


Электронно-дырочный переход

При подключении к краям полупроводника напряжения таким образом (прямое подключение), через зону перехода течет ток, она сужается и ее сопротивление резко падает. Через полупроводник идет большой ток.



При обратном включении внешнее поле усиливает поле запирающего слоя, запирающий слой увеличивается в размерах. Через полупроводник ток почти не идет.

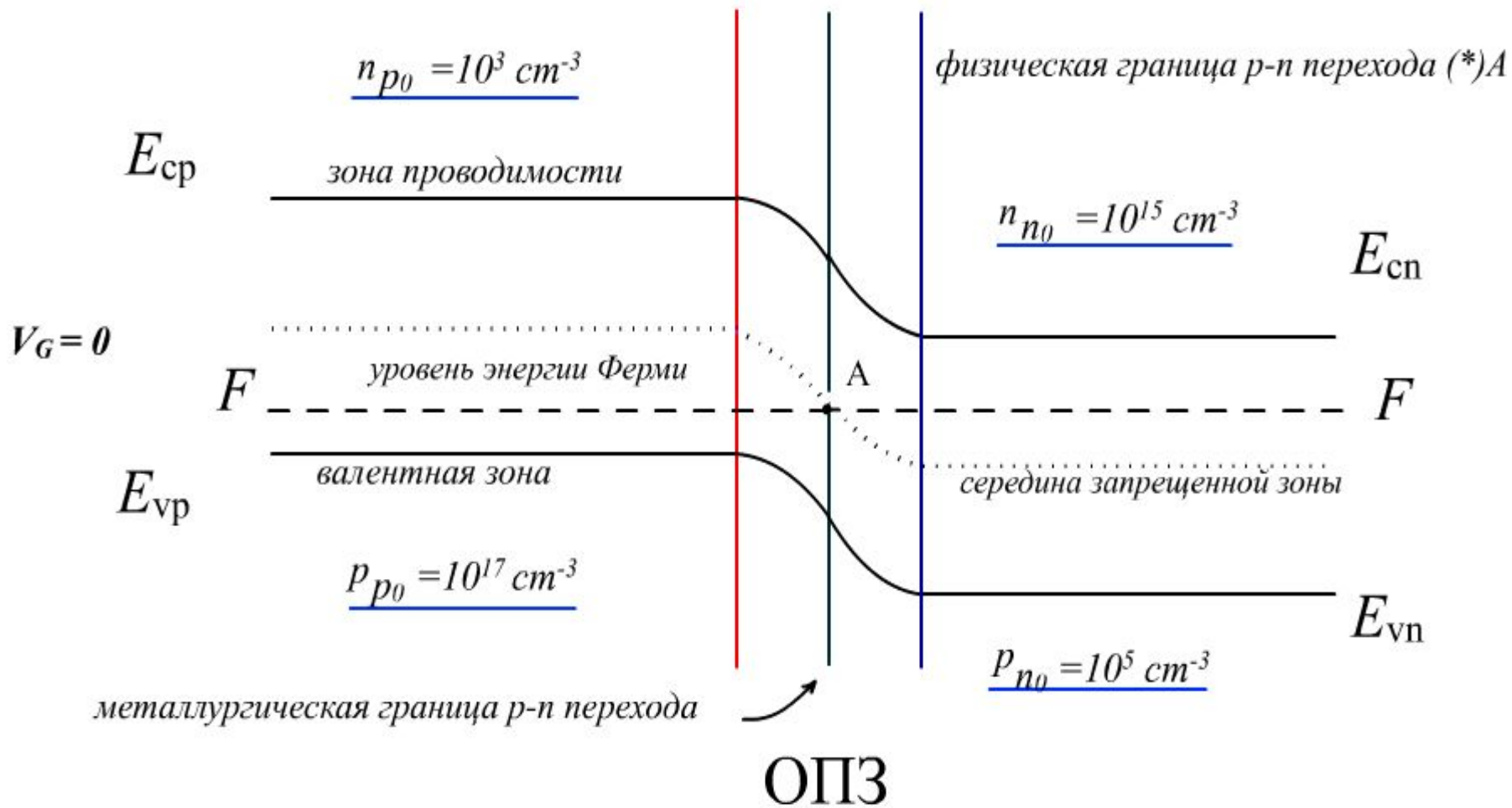


Пространственный заряд — распределённый нескомпенсированный электрический заряд одного знака. Пространственные заряды возникают в вакуумных и газоразрядных лампах в пространстве между электродами, а также в неоднородных областях полупроводниковых приборов, и сильно влияют на прохождение тока через эти области, приводя к нелинейным вольт-амперным характеристикам таких приборов.

Области пространственного заряда (ОПЗ)

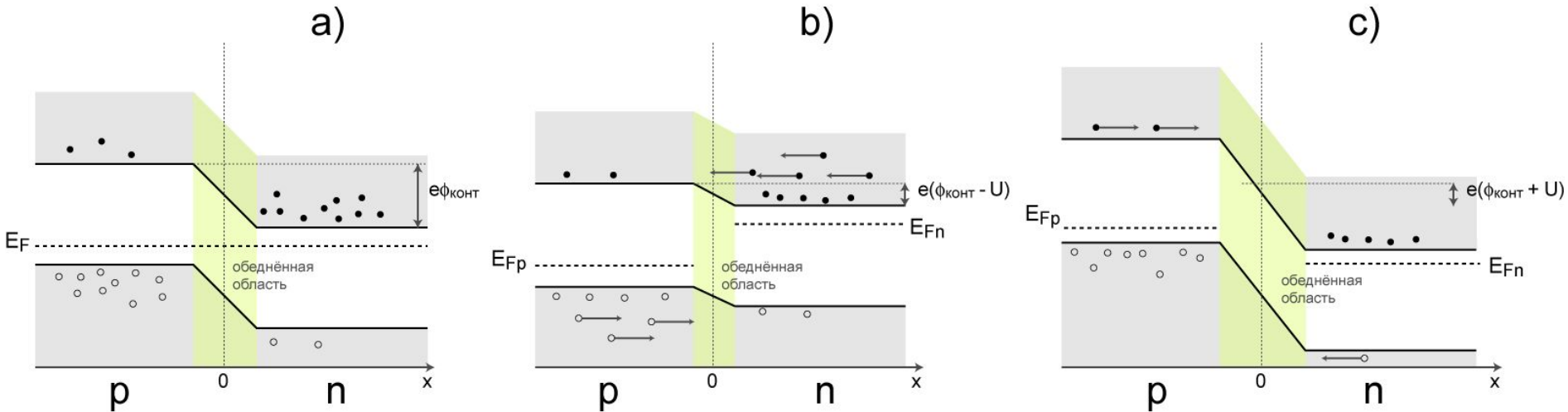
В полупроводнике p-типа концентрация дырок намного превышает концентрацию электронов. В полупроводнике n-типа концентрация электронов намного превышает концентрацию дырок. Если между двумя такими полупроводниками установить контакт, то возникнет диффузионный ток — носители заряда, хаотично двигаясь, перетекают из той области, где их больше, в ту область, где их меньше. При такой диффузии электроны и дырки переносят с собой заряд. Как следствие, области вблизи границы p-n перехода приобретают пространственный заряд. Область в полупроводнике p-типа, которая примыкает к границе раздела, получает дополнительный отрицательный заряд, приносимый электронами, а пограничная область в полупроводнике n-типа получает положительный заряд, приносимый дырками (точнее, уносимый электронами отрицательный заряд). Таким образом, на границе раздела образуются два слоя пространственного заряда противоположного знака.

Слои пространственного заряда порождают в переходе Электрическое поле, это поле вызывает дрейфовый ток в направлении, противоположном диффузионному току. В конце концов, между диффузионным и дрейфовым токами



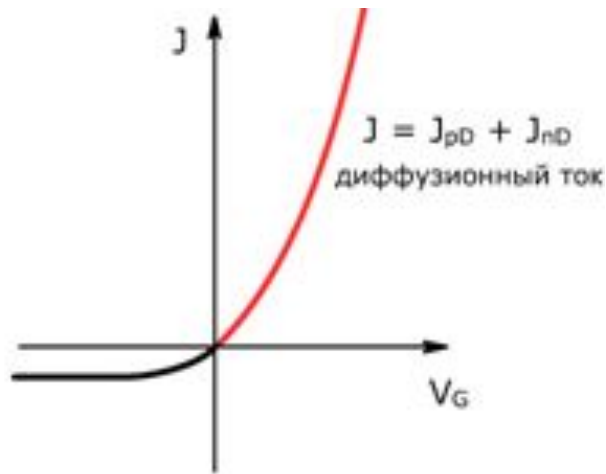
p – n переход – это металлургическая граница двух типов легирования одного кристалла. Термин «металлургическая» означает, что получена граница высокотемпературными способами, а также то, что физической границы в кристалле между двумя по-разному легированными областями нет, кристалл структурно однороден.

Энергетическая диаграмма р-n-перехода.



- a) Состояние равновесия;
- b) При приложенном прямом напряжении;
- c) При приложенном обратном напряжении.

p-n переходы прямое смещение



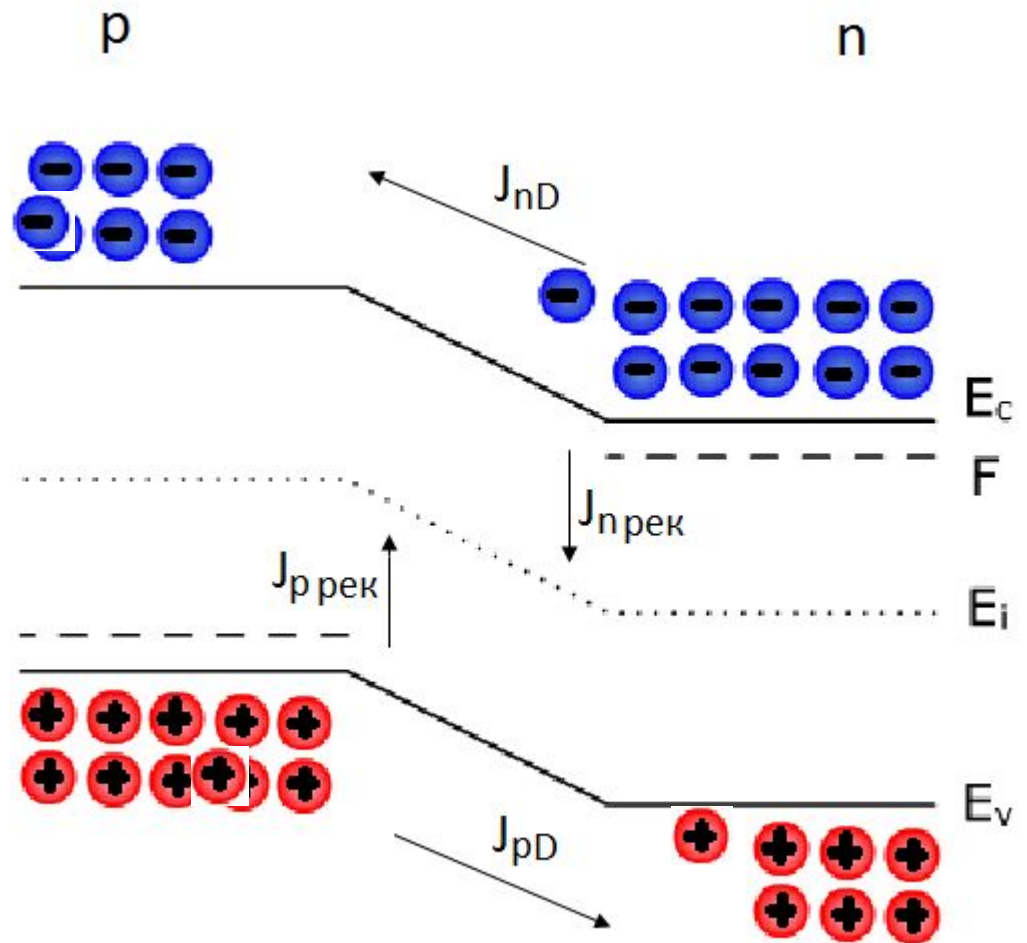
J_{nD} – диффузионная
компонента

электронного тока

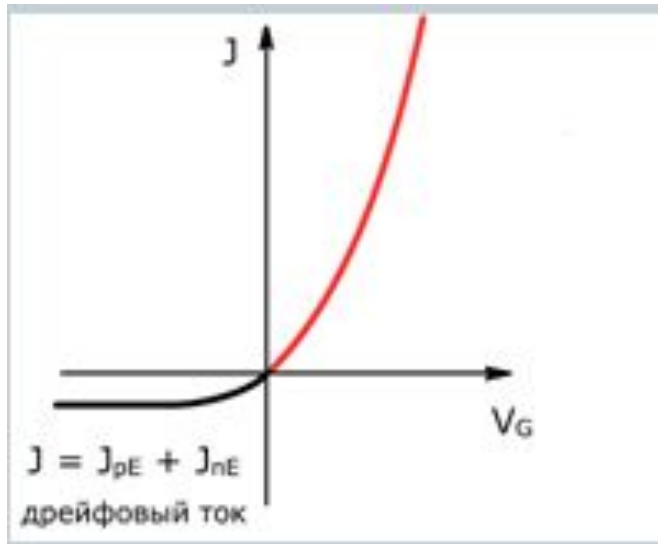
J_{pD} – диффузионная
компонента

дырочного тока

$J_{рек}$ – рекомбинационный ток



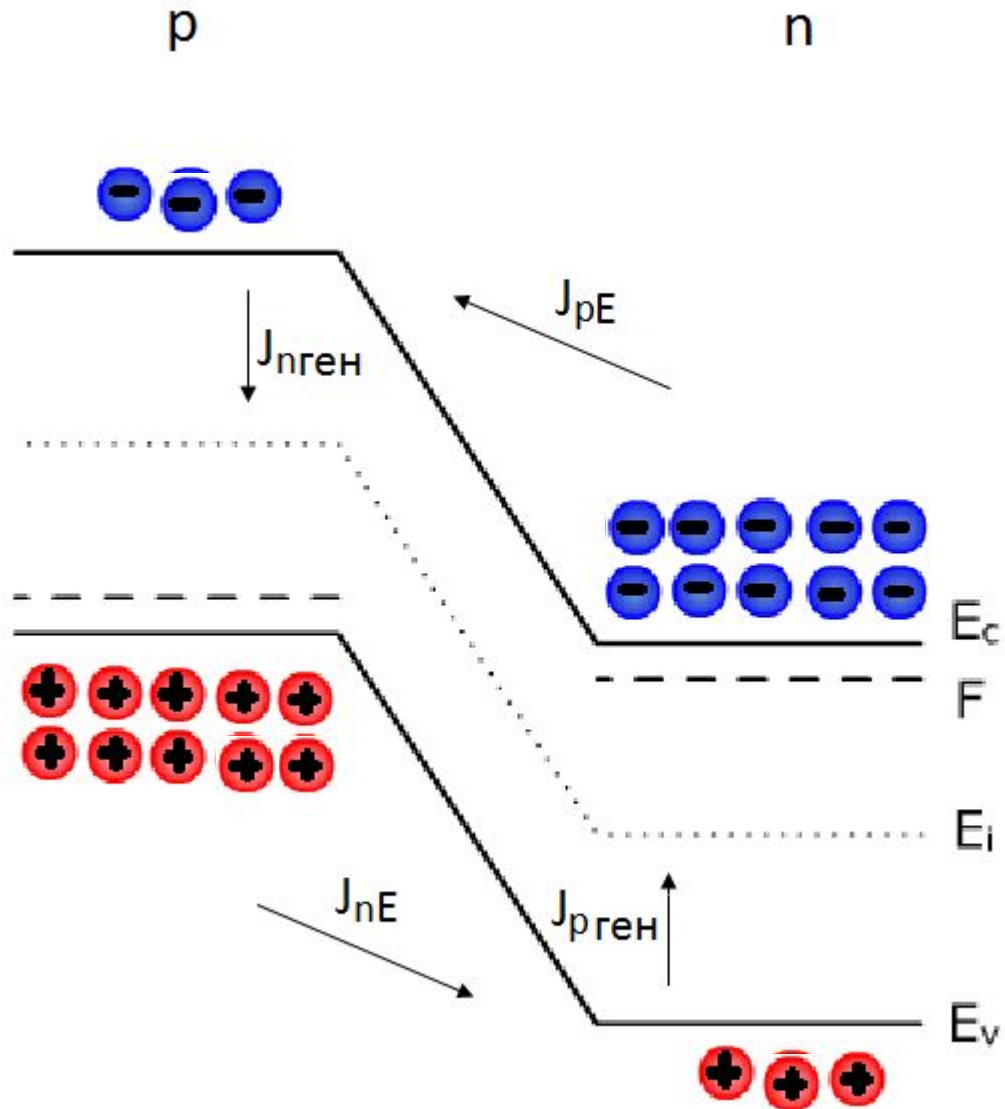
р-п переходы обратное смещение



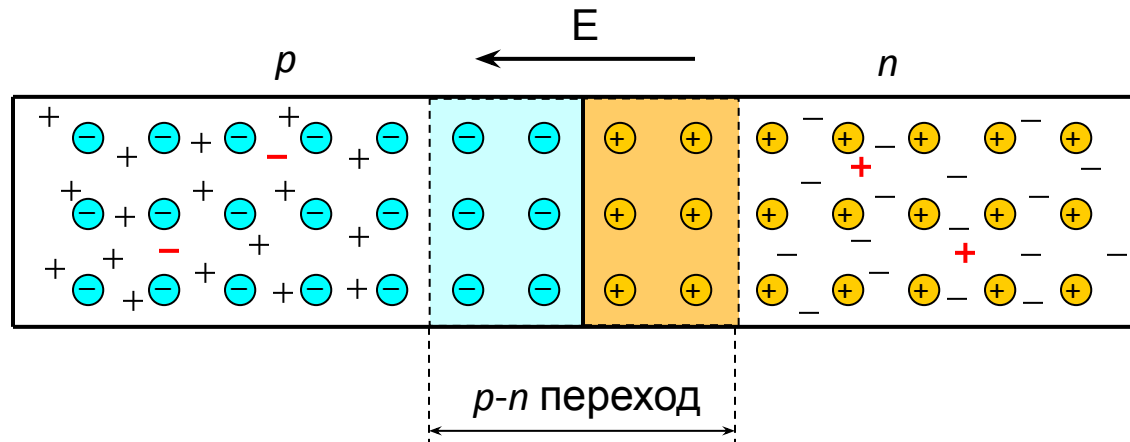
J_{nE} – дрейфовая
компонента
электронного тока

J_{pE} – дрейфовая
компонента
дырочного тока

$J_{ген}$ – генерационный ток



Структура p - n перехода



Дырки диффундируют из слоя p в слой n (их концентрация в слое p значительно выше, чем в слое n).

Электроны диффундируют из слоя n в слой p (их концентрация в слое n значительно выше, чем в слое p).

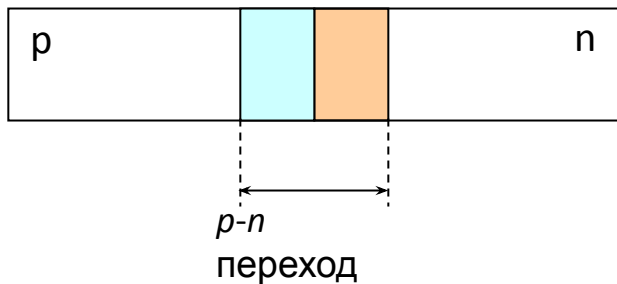
В приграничных областях слоёв p и n возникает слой, обеднённый подвижными носителями заряда. Возникает электрическое поле с напряжённостью E . Это поле препятствует переходу дырок из слоя p в слой n и переходу электронов из слоя n в слой p . Зато помогает переходу дырок из слоя n в слой p и переходу электронов из слоя p в слой n (возникает дрейфовый ток). В установившемся режиме дрейфовый ток равен диффузионному току.

Возникает потенциальный барьер.

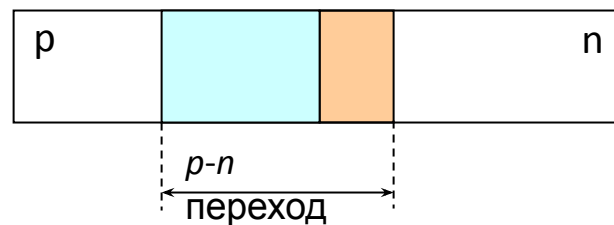
Для кремния $\phi \approx 0,75$ В.

Для германия $\phi \approx 0,2$ В.

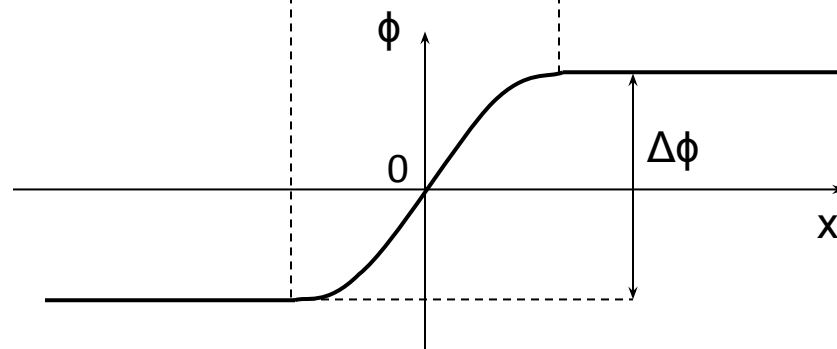
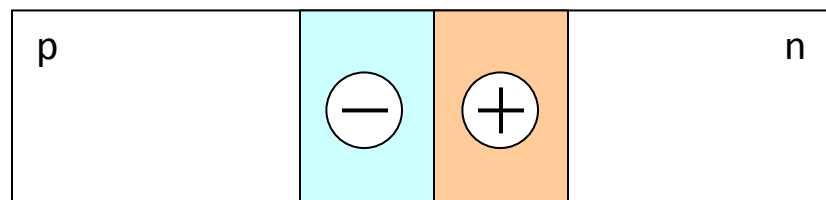
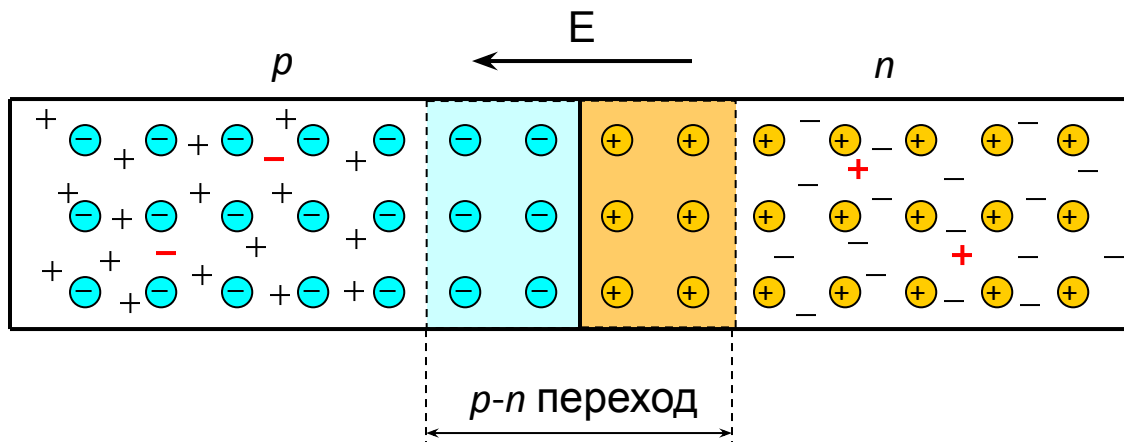
Симметричный p - n переход



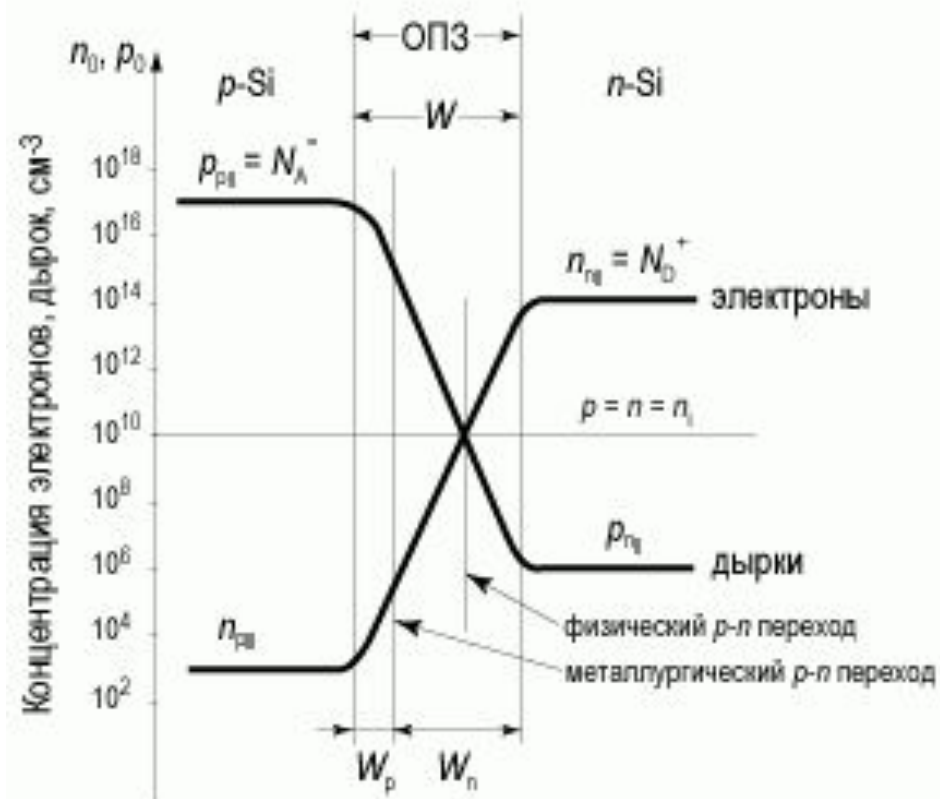
Несимметричный p - n переход



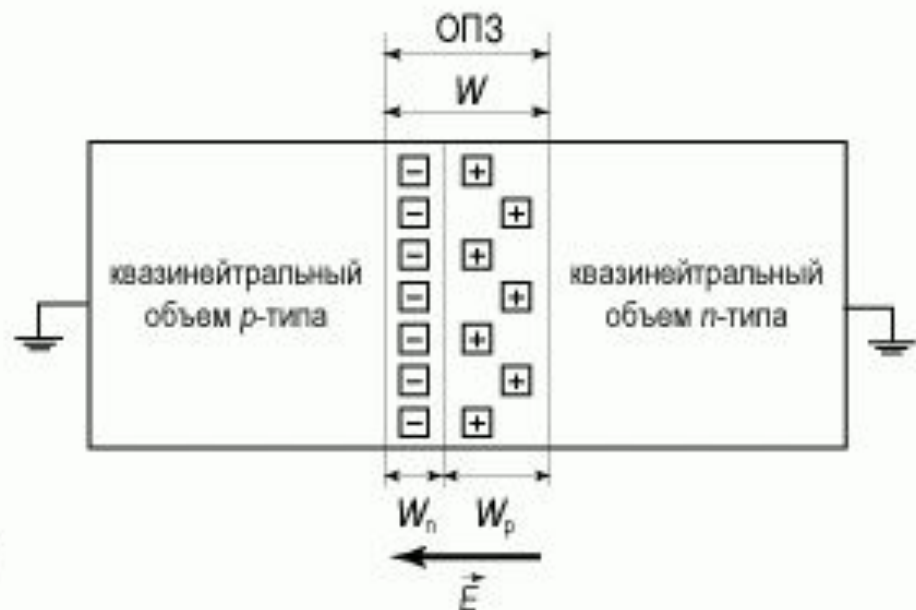
Различают симметричные и несимметричные p - n -переходы. В симметричных переходах концентрация электронов в полупроводнике n -типа n_n и концентрация дырок в полупроводнике p -типа p_p равны, т.е. $n_n = p_p$. Другими словами, концентрация основных носителей зарядов по обе стороны симметричного p - n -перехода равны. На практике используются, как правило, несимметричные переходы, в которых концентрация, например, электронов в полупроводнике n -типа больше концентрации дырок в полупроводнике p -типа, т.е. $n_n > p_p$, при этом различие в концентрациях может составлять 100-1000 раз. Низкоомная область, сильно легированная примесями (например n -область в случае $n_n > p_p$), называется эмиттером; высокоомная, слаболегированная (p -область в случае перехода $n_n > p_p$), - базой. Для случая когда концентрации электронов в полупроводнике p -типа больше концентрации электронов в полупроводнике n -типа, т.е. $p_p > n_n$, эмиттером будет p -область, а базой n -область.



Возникает потенциальный барьер.
 Для кремния $\phi \approx 0,75$ В.
 Для германия $\phi \approx 0,2$ В.

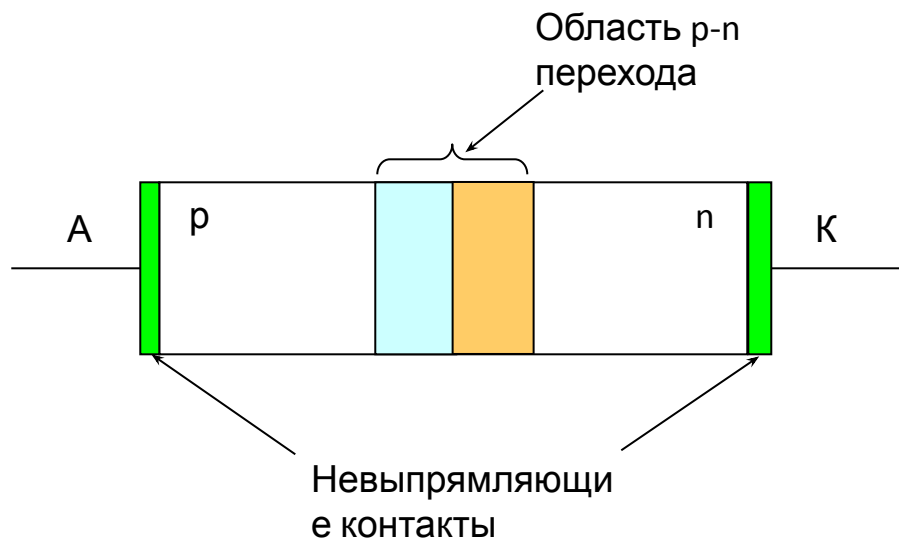


а



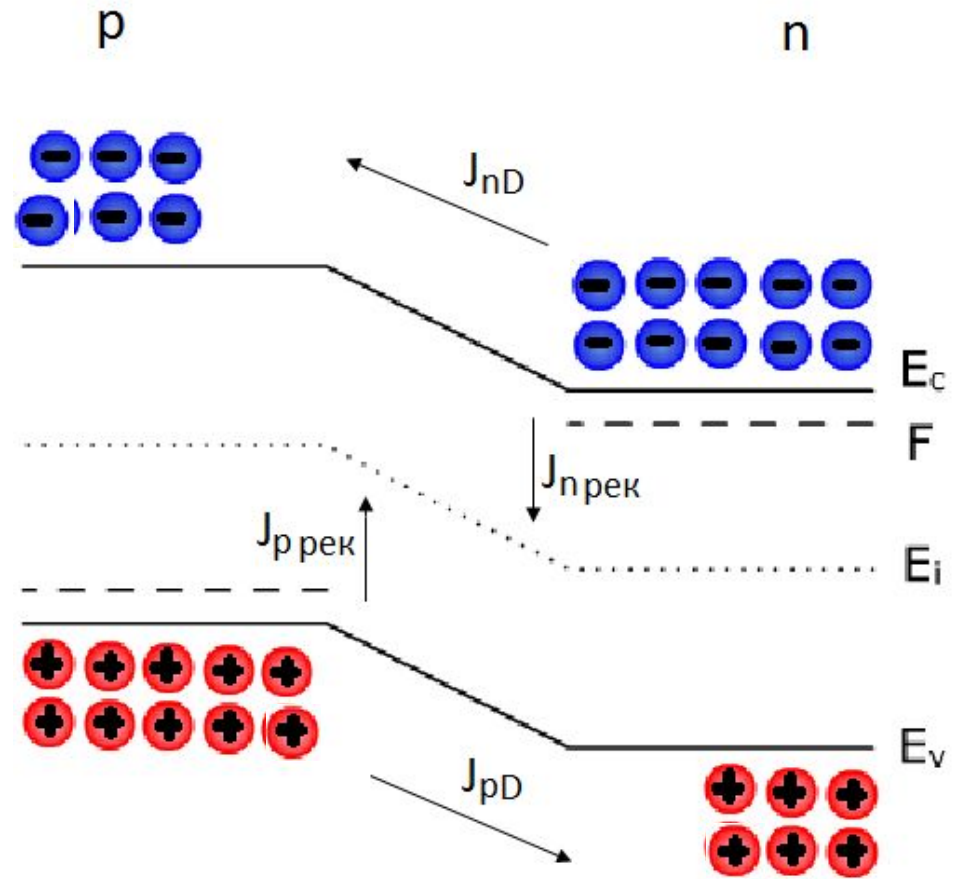
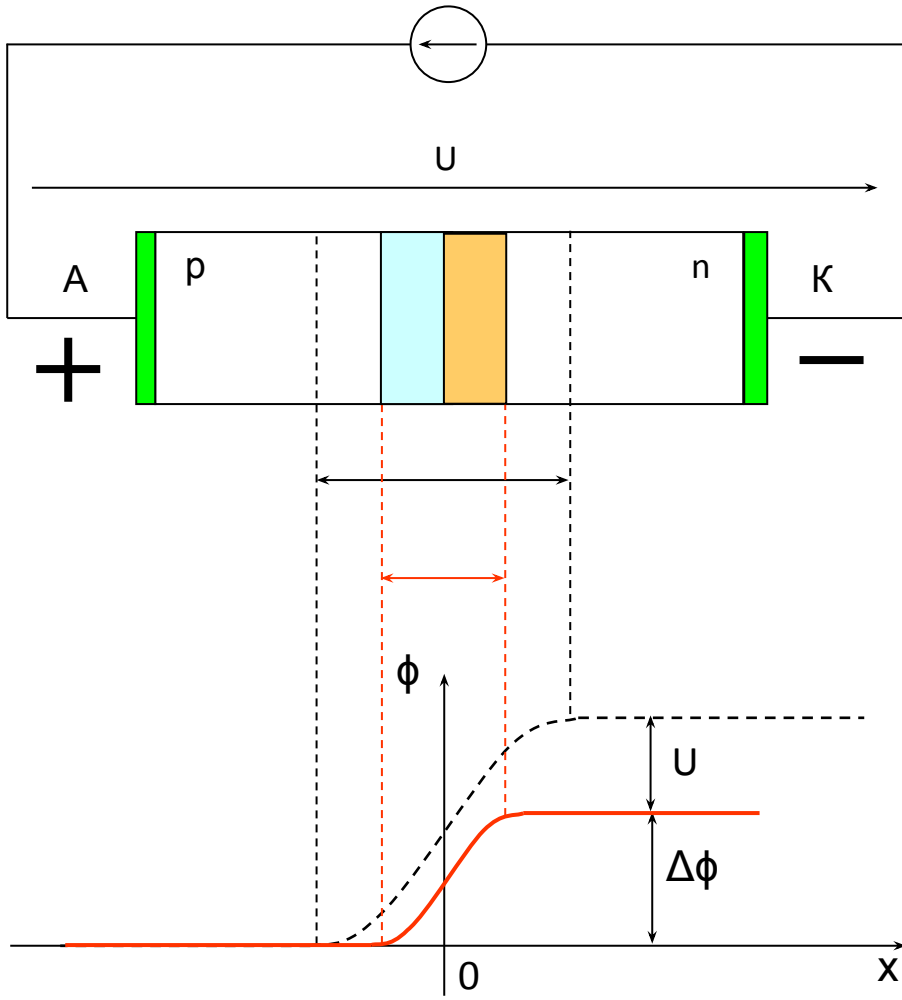
б

***p-n* переход под внешним напряжением**

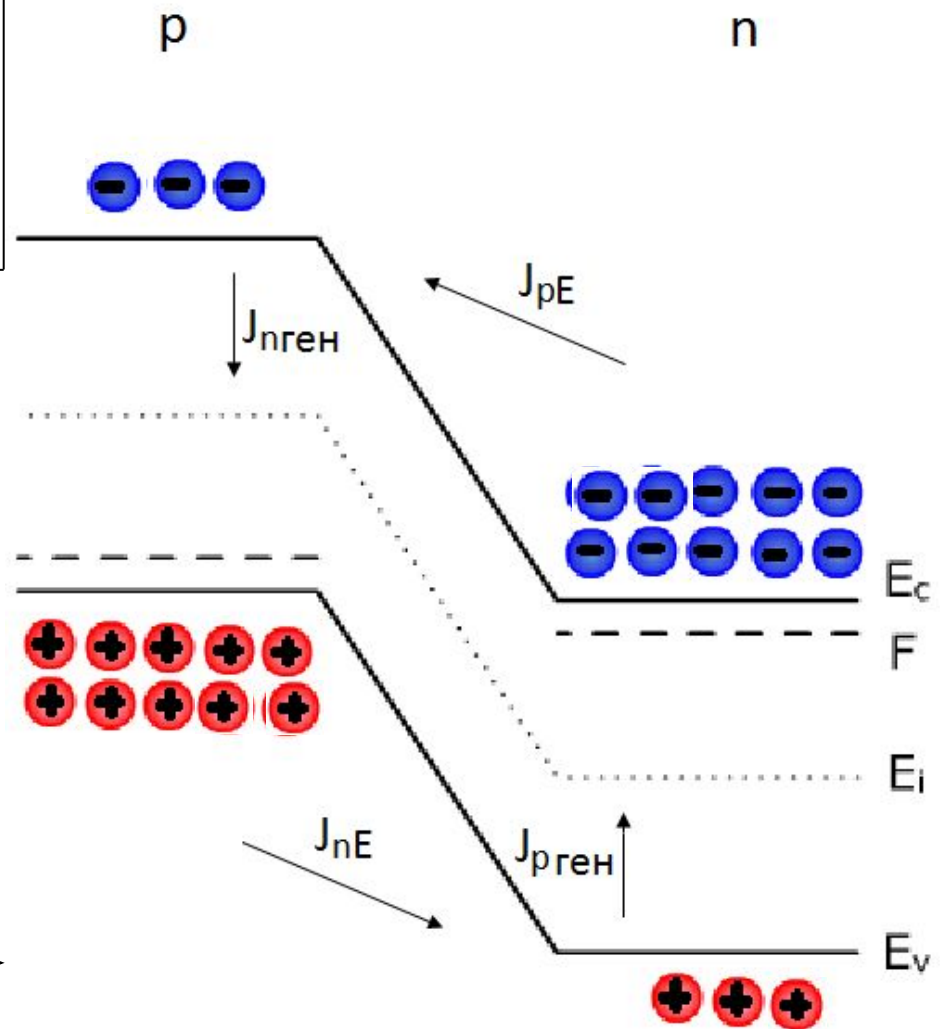
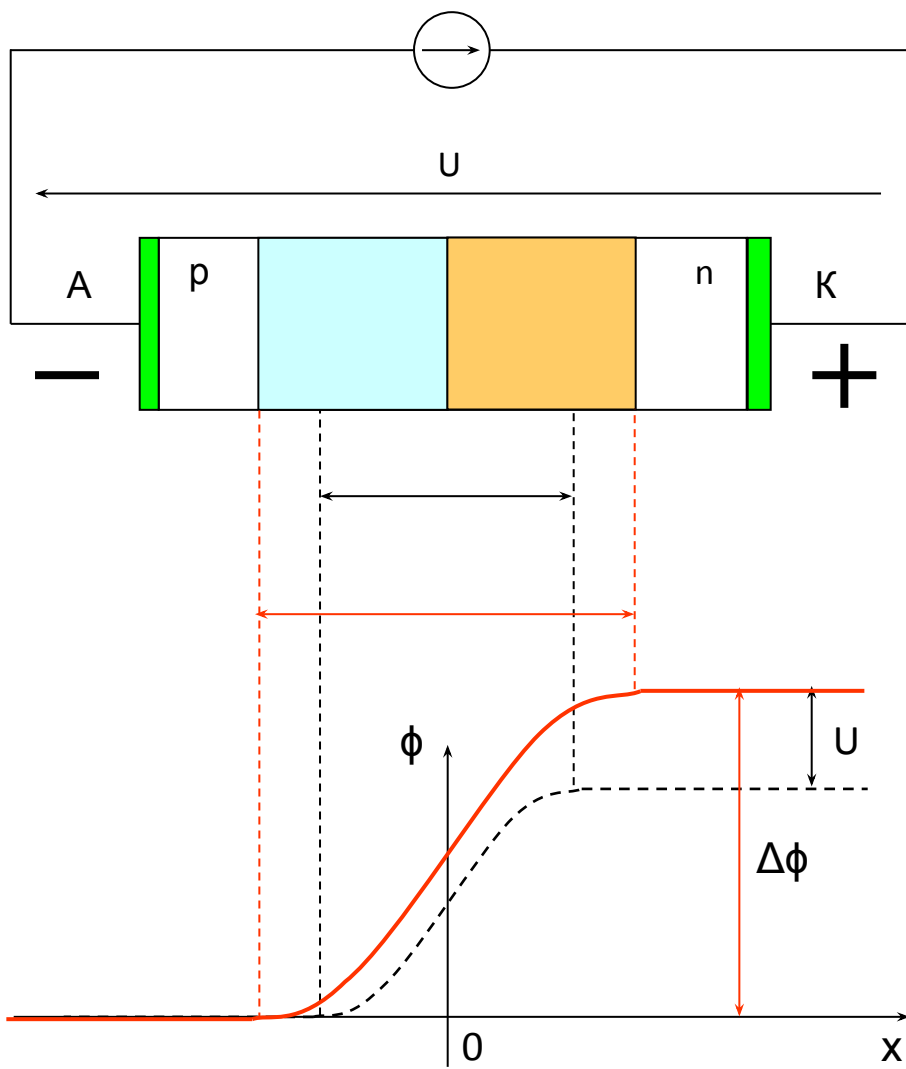


Невыпрямляющий (омический) контакт используется практически во всех полупроводниковых приборах для формирования внешних выводов от полупроводниковых областей; для него характерны близкая к линейной ВАХ и малое сопротивление. Для получения омического контакта между металлом и полупроводником n- типа проводимости разность работ выхода $j_{mp} < 0$ (т. е. работа выхода электронов из металла, j_m , должна быть меньше работы выхода из полупроводника, j_p), а между металлом и полупроводником p-типа проводимости разность работ выхода $j_{mp} > 0$ (т. е. $j_m > j_p$).

Прямое включение



Обратное включение



Медицинская электроника

Полупроводники. Зонная теория полупроводников.

Электронно-дырочный переход. **Основное уравнение диода.**

Пробой p - n -перехода. Полупроводниковые диоды.

Для идеального p - n перехода

$$i = i_s \cdot \left(e^{\frac{u}{\phi_T}} - 1 \right)$$

$$\phi_T = \frac{kT}{q} \quad \text{- температурный потенциал,}$$

при температуре 20°C (эта температура называется комнатной в отечественной литературе) $\phi_T = 0,025$ В, при температуре 27°C (эта температура называется комнатной в зарубежной литературе) $\phi_T = 0,026$ В,

i_s - ток насыщения (тепловой ток), индекс s от английского *saturation current*, для кремниевых p - n переходов обычно

$$i_s = 10^{-15} \dots 10^{-13} \text{ А};$$

k - постоянная Больцмана,

T - абсолютная температура, К

q - элементарный заряд, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

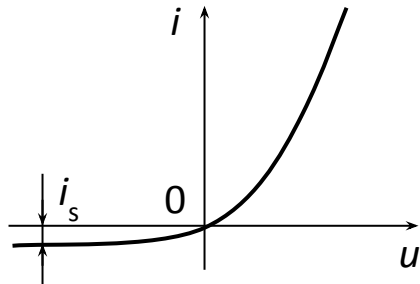
ВАХ p - n перехода имеет вид:

$$J = J_s (e^{\beta V_G} - 1)$$

Плотность тока насыщения J_s равна:

$$J_s = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} = \frac{qL_n n_{p0}}{\tau_n} + \frac{qL_p p_{n0}}{\tau_p}$$

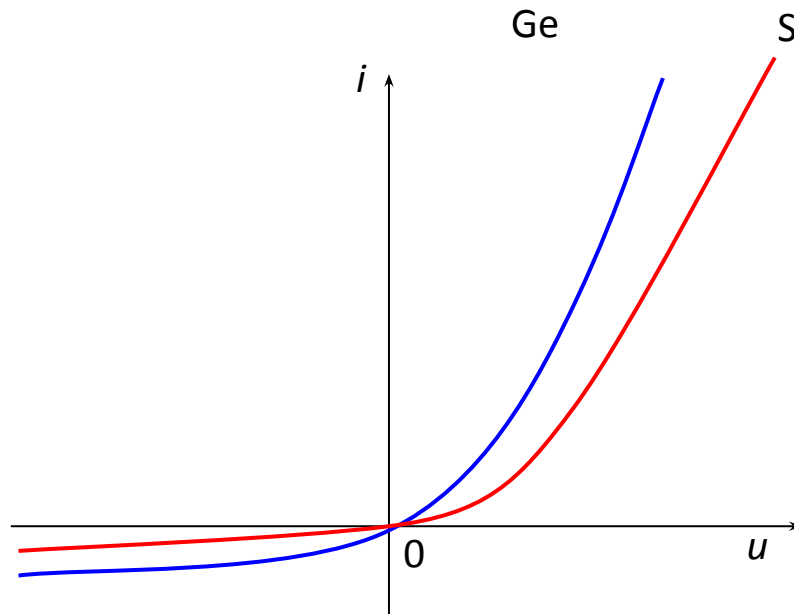
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{\text{К}}$$



$$i = i_s \cdot (e^{\frac{u}{\varphi_T}} - 1)$$

Полезно отметить, что, как следует из приведённого выражения, чем меньше ток i_s , тем больше напряжение u при заданном прямом токе.

У кремния ток i_s меньше, чем у германия.



$$i = i_s \cdot \left(e^{\frac{u}{\phi_T}} - 1 \right)$$

Медицинская электроника

Полупроводники. Зонная теория полупроводников.

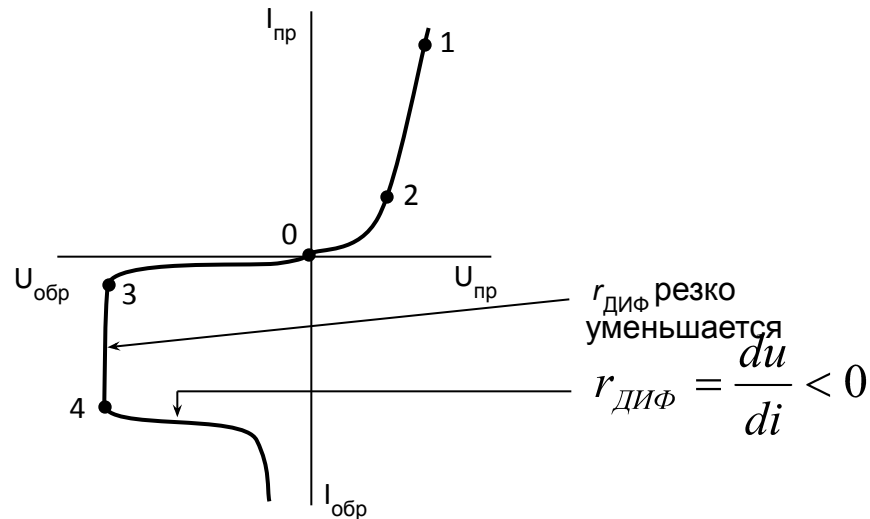
Электронно-дырочный переход. Основное уравнение диода.

Пробой p - n -перехода. Полупроводниковые диоды.

Пробой p - n перехода

Пробой это резкое изменение режима работы перехода находящегося под обратным напряжением. Резко уменьшается дифференциальное сопротивление.

$$r_{\text{ДИФ}} = \frac{du}{di}$$



В основе пробоя лежат три физических явления

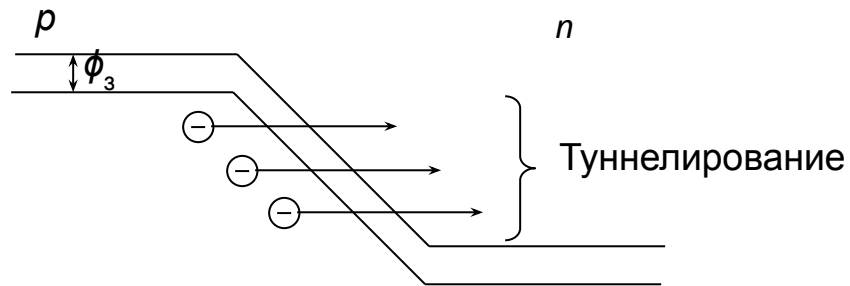
1. туннельный эффект;
2. лавинный пробой;
3. тепловой пробой.

Туннельный пробой – электрический пробой

Лавинный пробой – тоже электрический пробой.

Тепловой пробой – пробой, **разрушающий переход.**

Туннельный пробой



Лавинный пробой

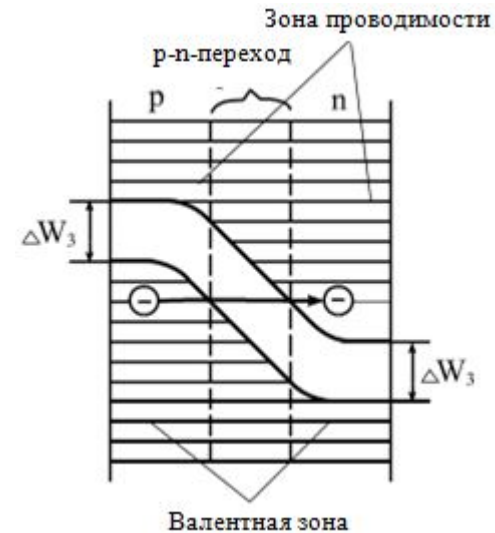
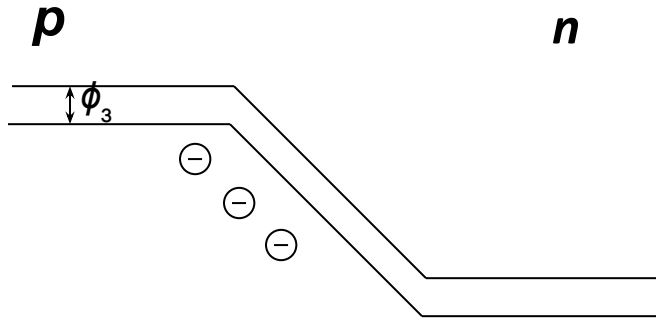
После электрического пробоя р-n переход не изменяет своих свойств.

Тепловой пробой

Тепловой пробой носит деструктивный характер!

Туннельный пробой (эффект Зенера)

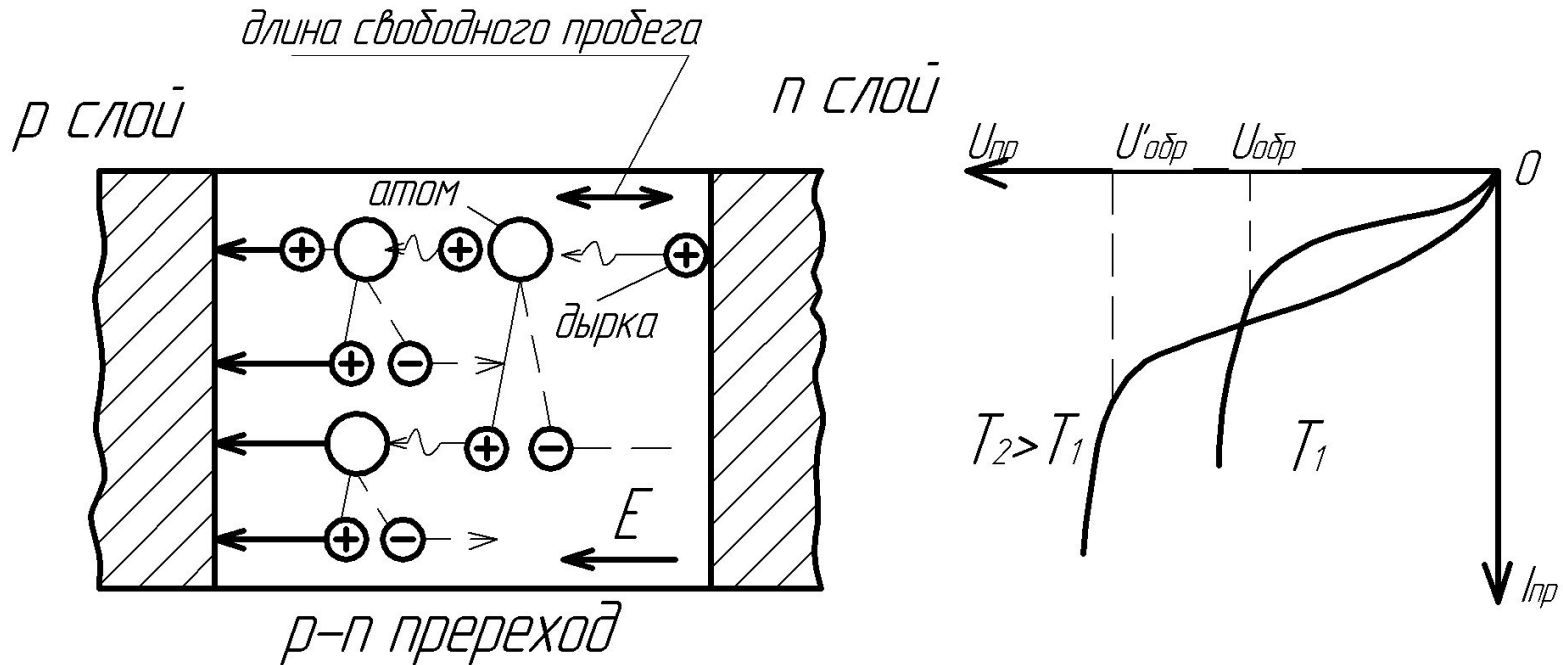
Туннельный пробой – это электрический пробой p-n-перехода, вызванный туннельным эффектом. Он происходит в результате непосредственного отрыва валентных электронов от атомов кристаллической решетки полупроводника сильным электрическим полем.



Туннельный пробой возникает обычно в приборах с узким p-n-переходом, где при сравнительно невысоком обратном напряжении (до 7 В) создается большая напряженность электрического поля. При этом возможен туннельный эффект, заключающийся в переходе электронов валентной зоны p-области непосредственно в зону проводимости n-области. Объясняется такое явление тем, что при большой напряженности электрического поля на границе двух областей с разными типами электропроводности энергетические зоны искривляются так, что энергия валентных электронов p-области становится такой же, как энергия свободных электронов n-области.

Лавинный пробой — электрический пробой в диэлектриках и полупроводниках, обусловленный тем, что, разгоняясь в сильном электрическом поле на расстоянии свободного пробега, носители заряда могут приобретать кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации атомов или молекул материала при соударениях с ними.

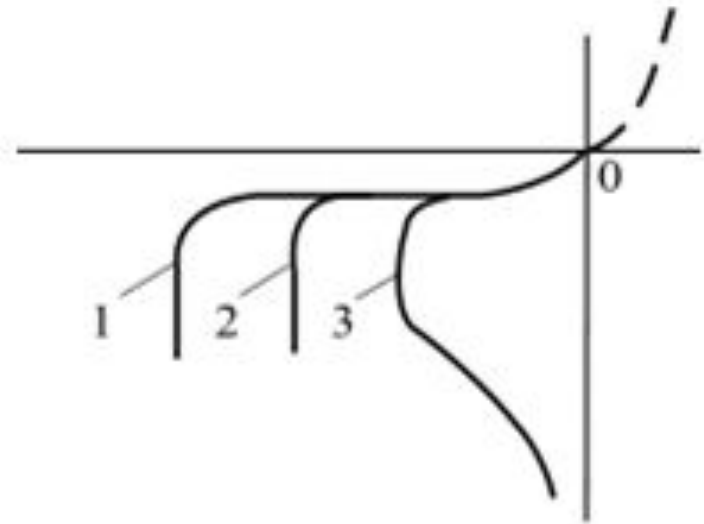
В результате каждого такого столкновения с достаточной для ионизации энергией возникает пара противоположно заряженных частиц, одна или обе из которых также начинают разгоняться электрическим полем и могут далее участвовать в ударной ионизации. При этом нарастание числа участвующих в ударной ионизации носителей заряда происходит лавинообразно, отсюда произошло название пробоя.



Тепловой пробой вызывается недопустимым перегревом р-n-перехода, когда отводимое от перехода в единицу времени тепло меньше выделяемого в нем тепла при протекании большого обратного тока, в результате чего происходит интенсивная генерация пар носителей заряда. Этот процесс развивается лавинообразно, поскольку увеличение обратного тока за счет перегрева приводит к еще большему разогреву и дальнейшему росту обратного тока.

Виды пробоя р-n-перехода:

- 1 – лавинный;
- 2 – туннельный;
- 3 – тепловой



Тепловой пробой носит обычно локальный характер: из-за неоднородности р-n-перехода может перегреться отдельный его участок, который при лавинообразном процессе будет еще сильнее разогреваться проходящим через него большим обратным током. В результате данный участок р-n-перехода расплавляется; прибор приходит в негодность. Участок теплового пробоя на вольт-амперной характеристике соответствует росту обратного тока при одновременном уменьшении падения напряжения на р-n-переходе.

Медицинская электроника

Полупроводники. Зонная теория полупроводников.

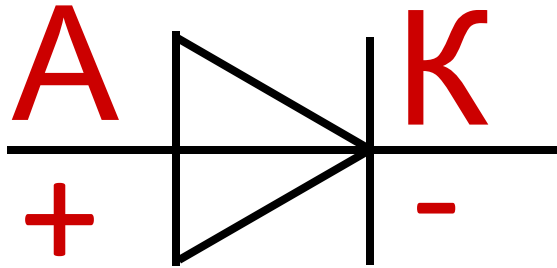
Электронно-дырочный переход. Основное уравнение диода.

Пробой p - n -перехода. **Полупроводниковые диоды.**

- Способность n – p -перехода пропускать ток практически только в одном направлении используется в приборах, которые называются *полупроводниковыми диодами*.
- Полупроводниковые диоды изготавливаются из кристаллов кремния или германия.
- При их изготовлении в кристалл с каким-либо типом проводимости вплавляют примесь, обеспечивающую другой тип проводимости.

Обозначения полупроводниковых приборов на принципиальных электрических схемах

Диод

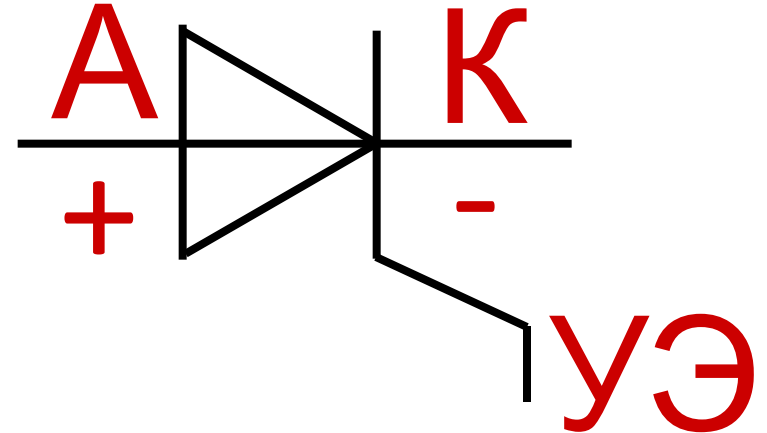


«А» - Анод

«К» - Катод

«УЭ» - Управляющий Электрод

Тиристор

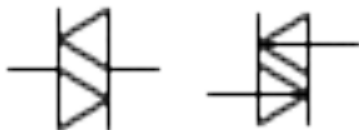


Условные обозначения

Анод Катод



а



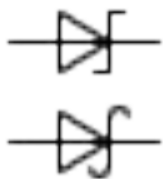
б



в



г



д



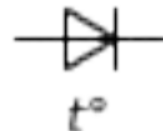
е



ж



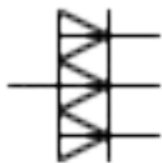
з



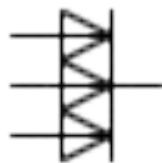
и



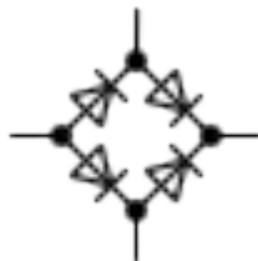
к



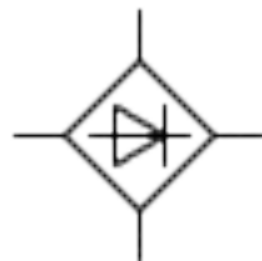
л



м



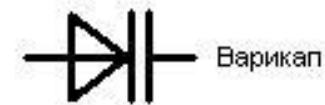
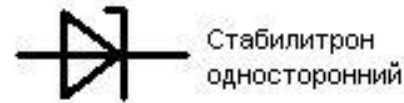
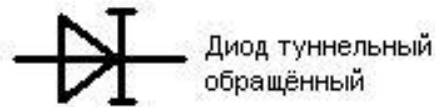
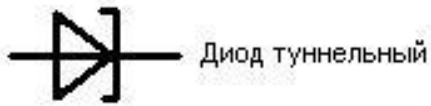
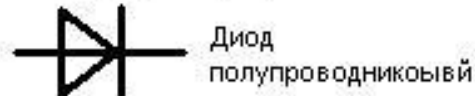
н



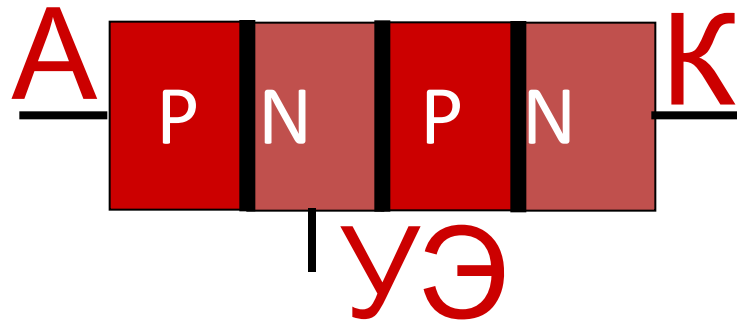
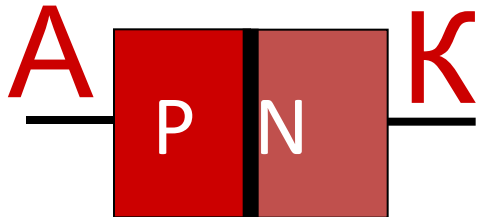
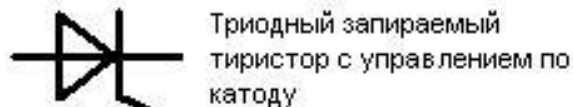
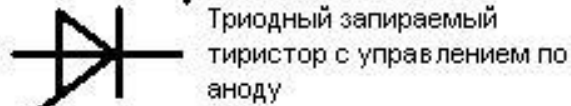
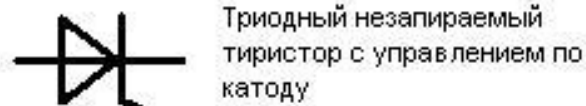
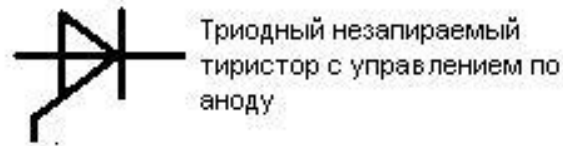
о

В зависимости от внутренней структуры, типа, количества и уровня легирования внутренних элементов диода и ВАХ различают: а) общее обозначение, б) симметричный, в) туннельный, г) обращённый, д) диод Шоттки; е, ж) стабилитроны; з) варикап; и) термодиод; к) выпрямительный столбик; л, м) диодные сборки; н, о) выпрямительный мост.

Диоды



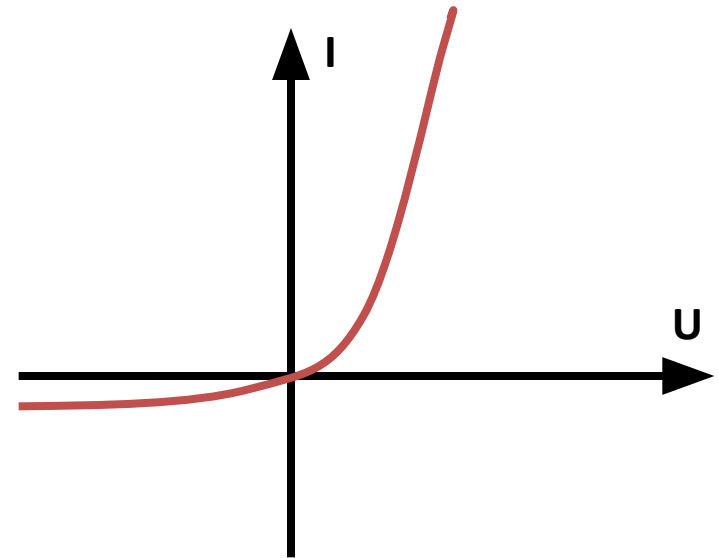
Тиристоры



Односторонняя проводимость p-n - перехода

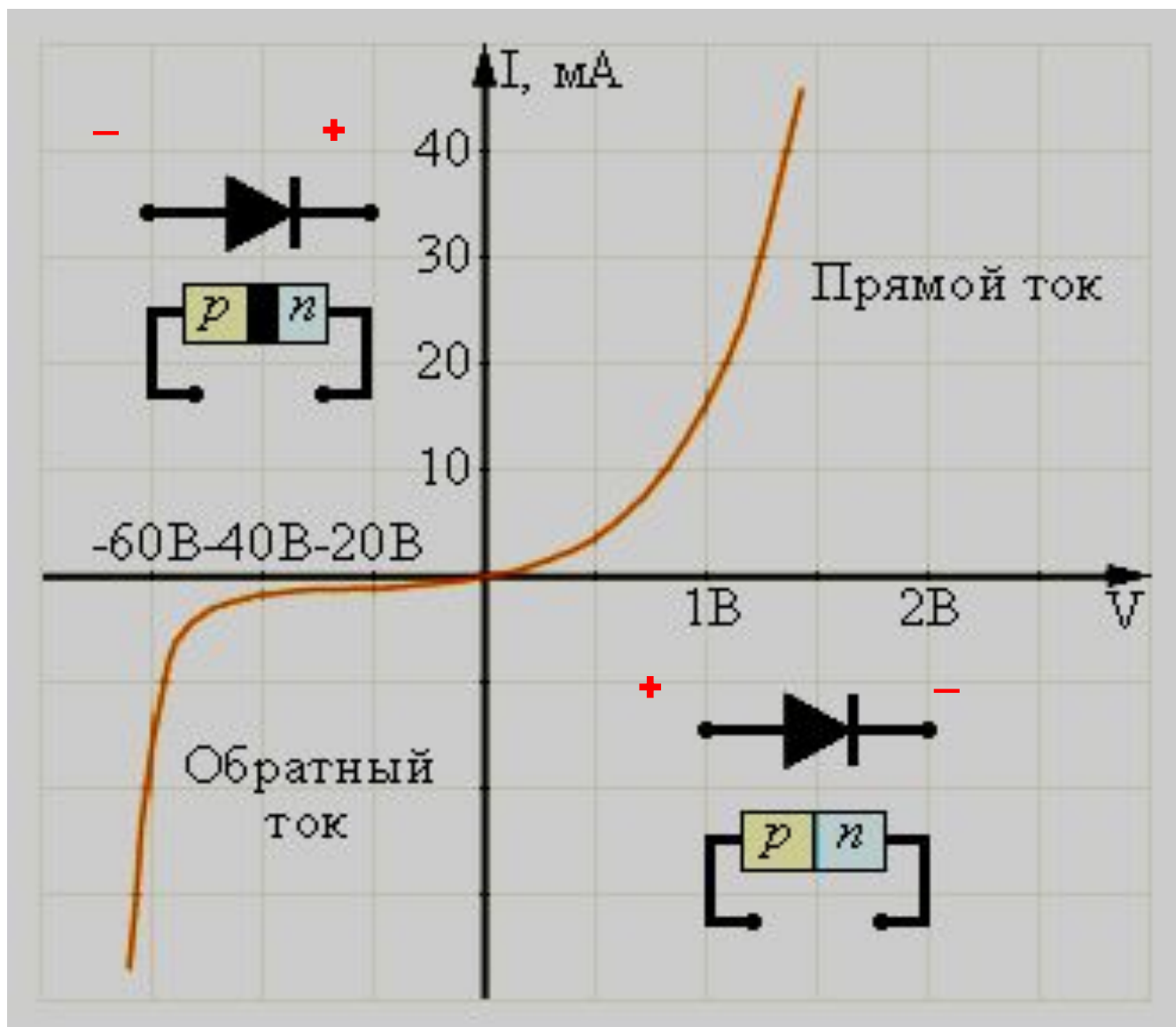
Как видно, p-n – переход проводит ток только в одном – прямом направлении.

Это свойство перехода лежит в основе полупроводниковых диодов – устройств, проводящих ток только в одном направлении.



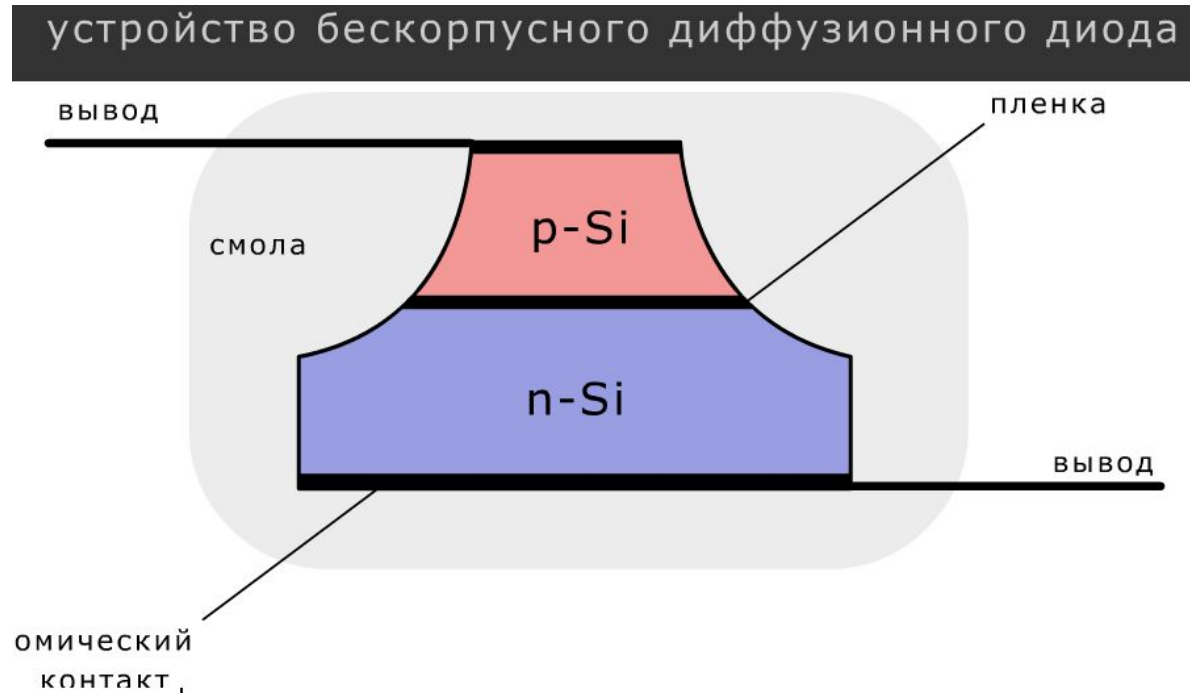
Вольт-амперная характеристика
полупроводникового диода

Типичная вольт-амперная характеристика кремниевого диода



Полупроводниковый диод

Полупроводниковым диодом называют нелинейный электронный прибор с двумя выводами.



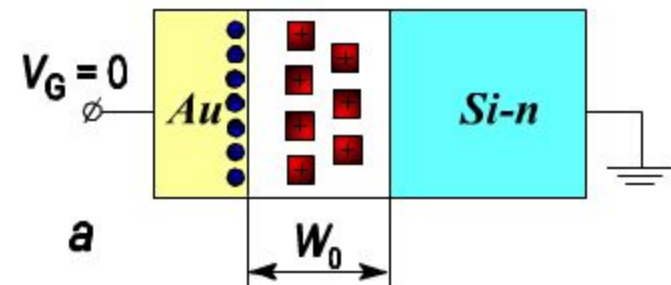
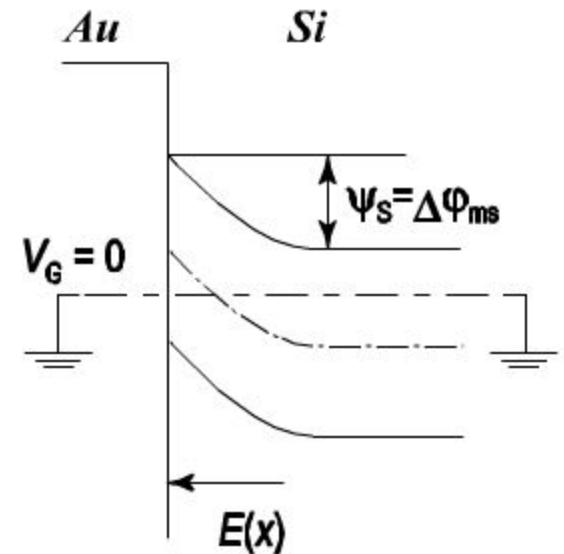
Барьер Шоттки

Рассмотрим контакт металл–полупроводник (на примере контакта Au-Si n-типа) при условии

$$\Phi_{\text{Me}} > \Phi_{\text{п/п}}; \quad j_{\text{Me}} < j_{\text{п/п}}$$

Зонная диаграмма при различных значениях напряжения V_G на затворе:

- а) $V_G = 0$;
- б) $V_G > 0$, прямое смещение;
- в) $V_G < 0$, обратное смещение



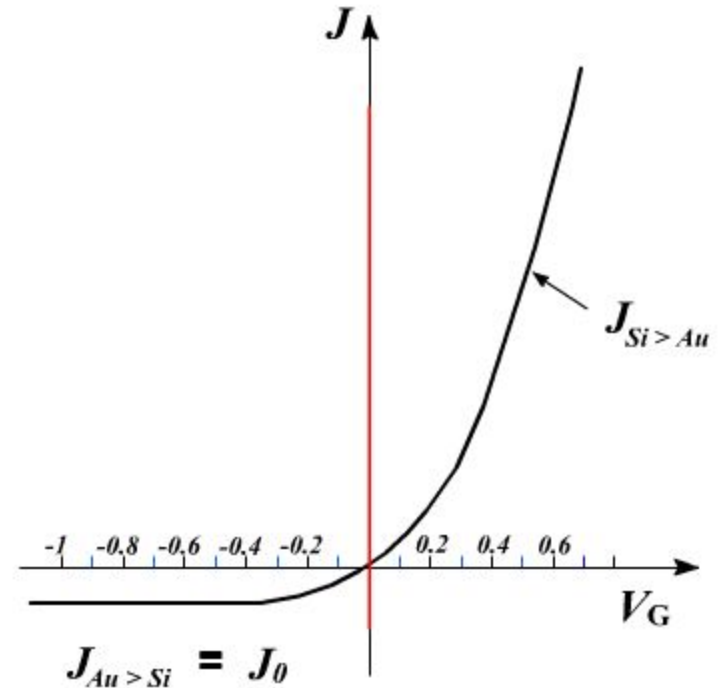
Барьер Шоттки

Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки

В условиях равновесия $V_G = 0$ ток из полупроводника в металл уравнивается током из металла в полупроводник. При приложении напряжения этот баланс нарушается и общий ток будет равен сумме этих

токов.

$$J = J_{n/n \rightarrow M} - J_{M \rightarrow n/n} = \frac{1}{4} q n_s v_0 (e^{\beta V_G} - 1)$$



Диод Шоттки

Диод Шоттки — полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении.

Диоды на основе барьера Шоттки являются быстродействующими приборами, так как в них отсутствуют рекомбинационные и диффузионные процессы. Это свойство используется в интегральных микросхемах, где диодами Шоттки шунтируются переходы транзисторов логических элементов. В силовой электронике малое время восстановления позволяет строить выпрямители на частоты в сотни кГц и выше.

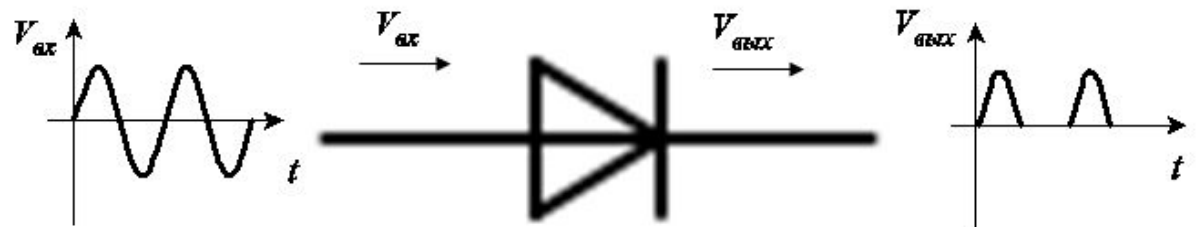
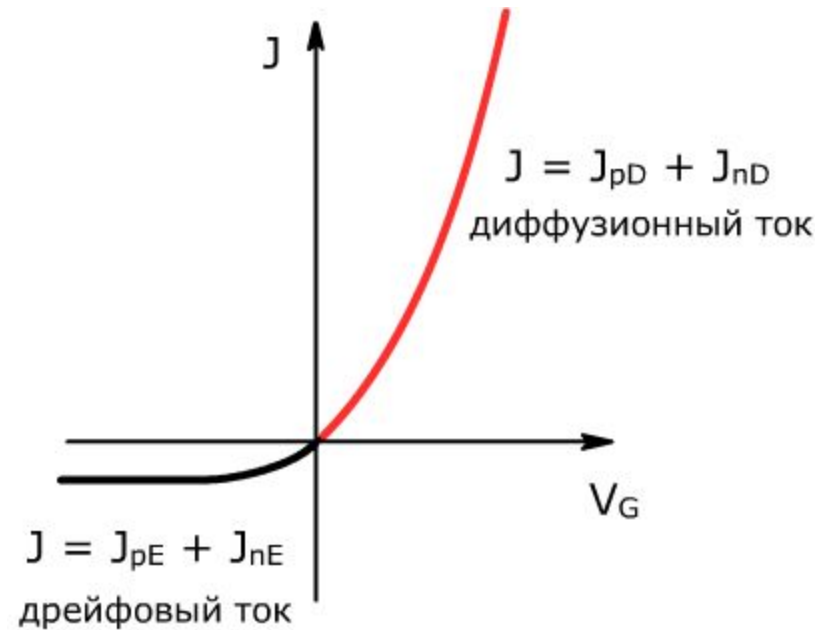
Выпрямляющий эффект границы Ме-полупроводник был обнаружен ещё в 19 веке, практически использован в начале 20 (купроксные и селеновые диодные приборы массово выпускались до 60-х годов), точечные контактные диоды – детекторы – и сейчас используются. Сейчас важны два типа контакта Ме-полупроводник:

- выпрямляющие (диоды с барьером Шоттки);
- омические (т.е. подчиненные закону Ома) – не выпрямляющие – необходимые для контакта полупроводниковые приборы с проводами (коммутацией), подвода и отвода управляемых токов и напряжений;

Если вероятность заполнения некоторого энергетического уровня в полупроводнике меньше, чем в металле, то при соприкосновении (контакте) часть электронов Ме перейдет в полупроводник. Это характерно для полупроводника «р». В результате в полупроводнике у границы число дырок уменьшится, обнажатся заряженные ионы «А-» и возникшее на контакте поле притормозит следующие электроны. Это похоже на поле в n-p переходе, но возникший потенциал поменьше, заряженный слой тоньше.

Выпрямительные диоды

Основа – электронно-дырочный переход
ВАХ имеет ярко выраженную нелинейность



Выпрямительные диоды

Выпрямление в диоде происходит при больших амплитудных значениях

$$U_{\text{вх}} > 0,1 \text{ В} \quad |V_g| \gg kT/q$$

$V_G, \text{ В}$	$\pm 0,01$	0,025	$\pm 0,1$	0,25	± 1
$K, \text{ отн. ед.}$	1,0	1,1	55	$2,3 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^{20}$

$$K = \frac{J^+}{J^-} = \frac{e^{\beta V_G} - 1}{e^{-\beta V_G} - 1}$$

Учтем, что величина β^{-1} при комнатной температуре составляет $\beta^{-1} = 0,025 \text{ В}$.

Характеристическое сопротивление

- Дифференциальное сопротивление:

$$r_D = \frac{dU}{dI} = \left[\frac{dI}{dU} \right]^{-1} = \frac{kT/q}{I + I_s}$$

- Сопротивление по постоянному току:

$$R_D = \frac{U}{I} = \left[\frac{I}{U} \right]^{-1} = \frac{U}{I_0 (e^{\beta U} - 1)}$$

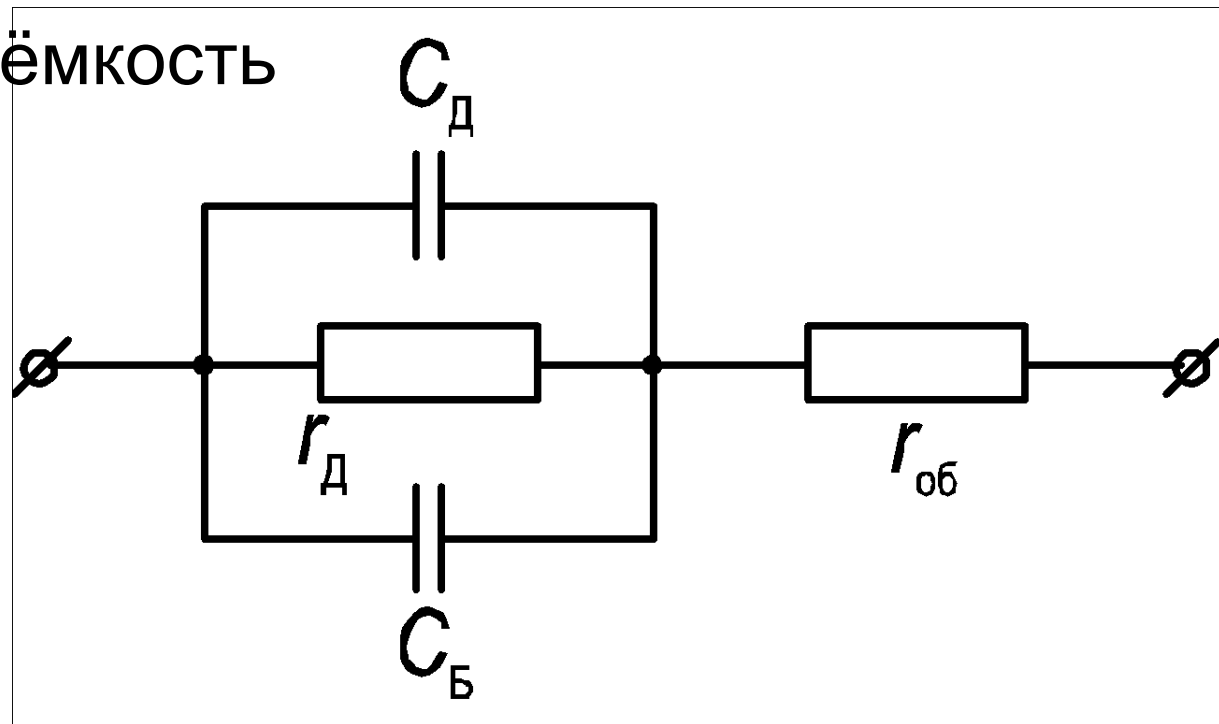
- На прямом участке ВАХ сопротивление по постоянному току больше, чем дифференциальное сопротивление $R_D > r_D$, а на обратном участке – меньше $R_D < r_D$.

- Вблизи нулевого значения $V_G \ll kT/q$

$$R_D = \frac{kT}{q} \frac{1}{I_0} = r_D$$

Эквивалентная малосигнальная схема диода для низких частот

- $r_{об}$ – омическое сопротивление базы диода
- $r_{д}$ – дифференциальное сопротивление
- $C_{д}$ – диффузионная ёмкость
- $C_{б}$ – барьерная ёмкость



Варикап

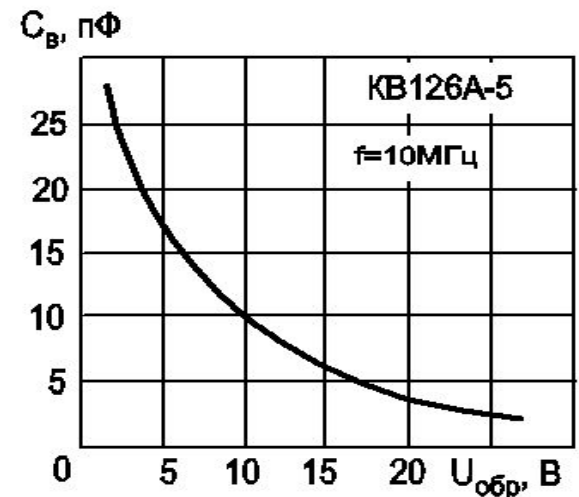
Варикап – это полупроводниковый диод реализующий зависимость барьерной емкости от напряжения обратного смещения.

Максимальное значение емкости варикапа имеет при $V_G=0$

Емкость варикапа определяется шириной обедненной зоны.

В случае однородного легирования

$$C_B \sim \frac{1}{\sqrt{V_G}}$$



Стабилитрон

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, вольт-амперная характеристика которого имеет область резкой зависимости тока от напряжения на обратном участке вольт-амперной характеристики.

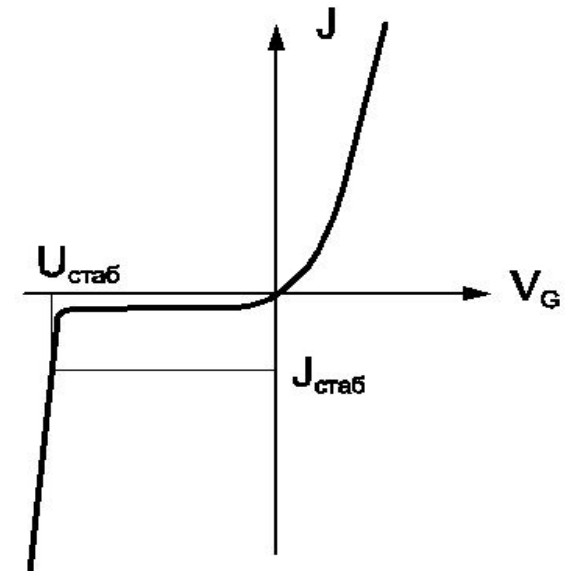
Основное назначение – стабилизация напряжения на нагрузке при изменяющемся напряжении во внешней цепи

При $U < U_{\text{стаб}}$ $R_{\text{диф}} \rightarrow 0$

Стабилитрон также называют опорным диодом

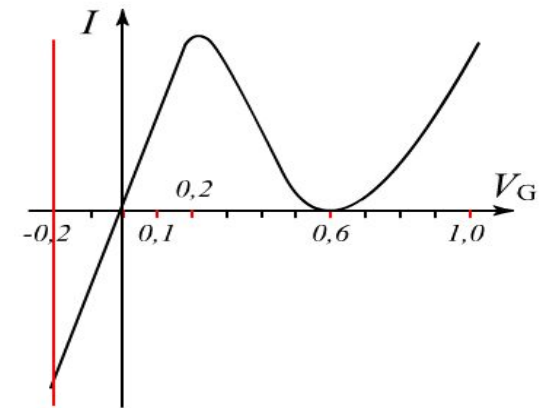
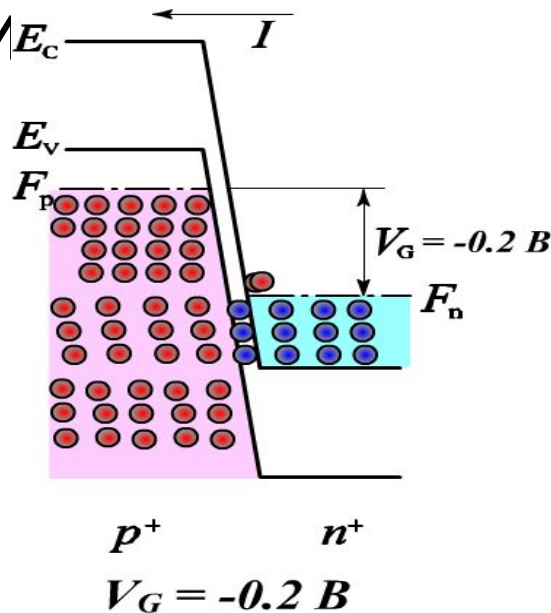
Два механизма:

- лавинный пробой;
- туннельный пробой



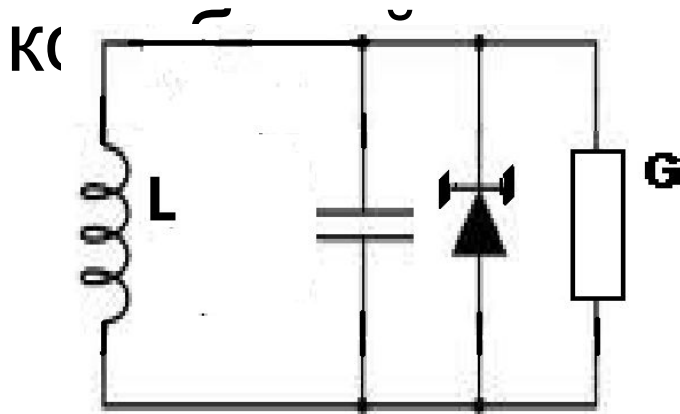
Туннельный диод

Туннельным диодом называют полупроводниковый диод на основе $p^+ - n^+$ перехода с сильнолегированными областями, на прямом участке вольт-амперной характеристики которого наблюдается N -образная зависимость тока от напряжения



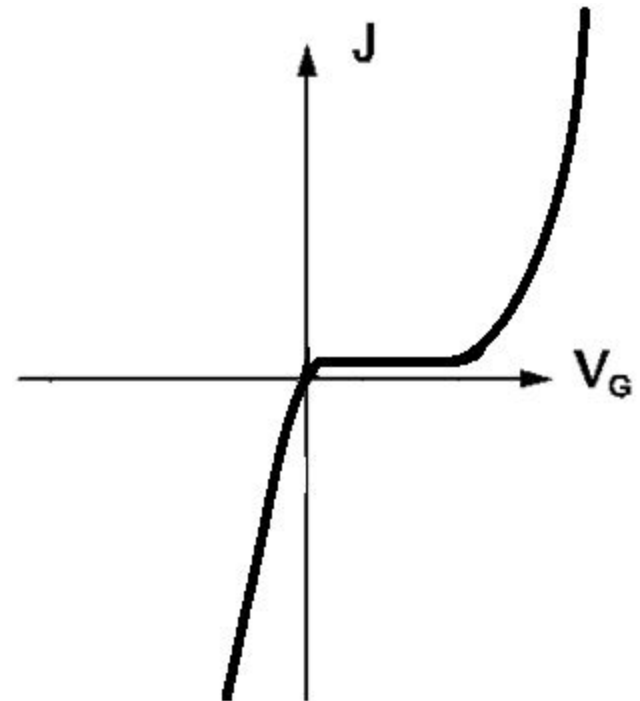
Туннельный диод

Один из методов применения туннельного диода: в качестве активного нелинейного элемента в схемах генераторов



Обращённый диод

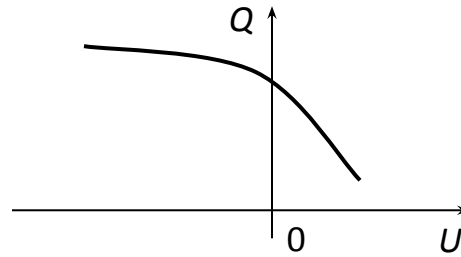
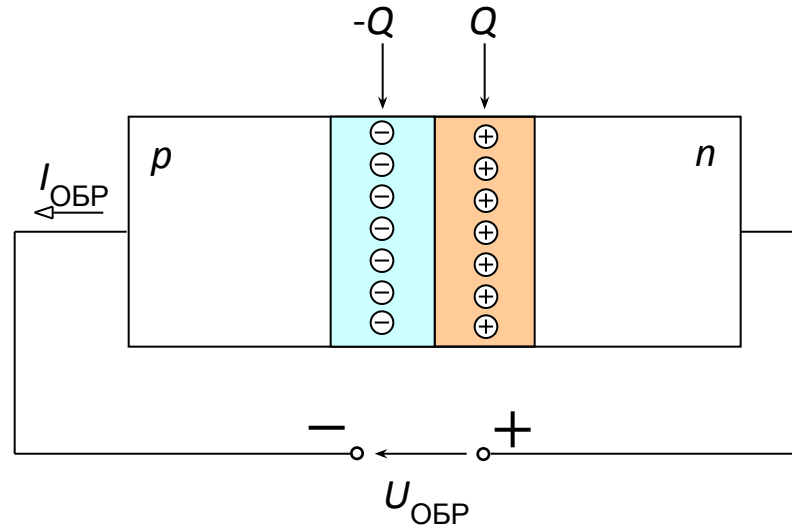
- *Обращенный диод* – это туннельный диод без участка с ОДС. Высокая нелинейность ВАХ при малых напряжениях вблизи нуля позволяет использовать этот диод для детектирования слабых сигналов в СВЧ-диапазоне.
- ВАХ такого диода при обратном смещении такая же, как и у туннельного.



Ёмкость p - n

перехода

Барьерная ёмкость

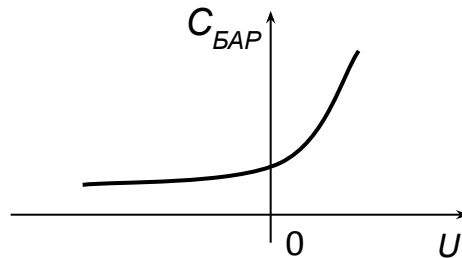


На постоянном токе

$$C_{\text{БАР}} = \frac{Q}{U}$$

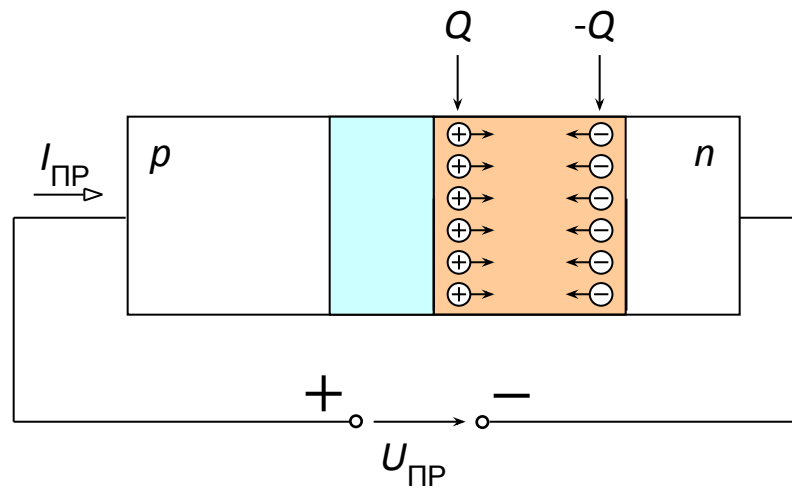
На переменном токе

$$C_{\text{БАР}} = \frac{dQ}{dU}$$



Барьерная ёмкость вредно влияет на выпрямление переменного тока (особенно на высоких частотах), так как шунтирует диод.

Диффузионная ёмкость



$$C_{\text{диф}} = \frac{dQ}{dU}$$

Ёмкость называют диффузионной, так как рассматриваемый заряд Q лежит в основе диффузии носителей в базе. $C_{\text{диф}}$ удобно и принято описывать не как функцию напряжения U , а как функцию тока перехода.

Сам заряд Q прямо пропорционален току I . Тогда $I = I_s \cdot (e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1)$

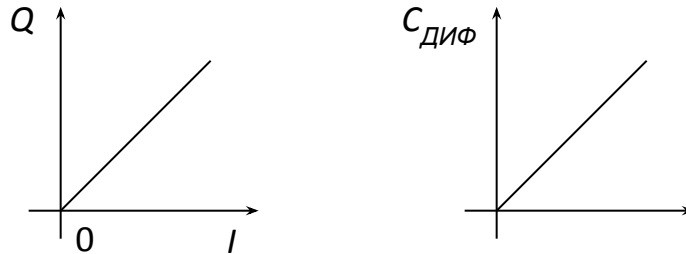
экспоненциально зависит от напряжения U : . Поэтому производная также прямо пропорциональна току. Отсюда следует, что ёмкость $C_{\text{диф}}$ прямо пропорциональна току I

$$\frac{dI}{dU}$$

$$C_{\text{диф}} = \frac{I \cdot \tau}{\varphi_T}$$

$$C_{\text{диф}} = \frac{I \cdot \tau}{\varphi_T}$$

τ - среднее время пролёта (для тонкой базы), или время жизни (для толстой базы).



Среднее время пролёта – это время, за которое инжектируемые носители заряда проходят базу. Время жизни – это время от инжекции носителя заряда в базу до рекомбинации.

Диффузионная ёмкость значительно больше барьерной, но использовать её не удаётся, так как она зашунтирована малым прямым сопротивлением самого диода.

Общая ёмкость *p-n* перехода

$$C_{ПЕР} = C_{БАР} + C_{ДИФ}$$

При обратном смещении перехода ($U < 0$) диффузионная ёмкость практически равна нулю. При прямом смещении обычно

$$C_{ДИФ} > C_{БАР}$$

Температурные свойства

У германиевых *p-n*-переходов обратный ток увеличивается в 2 раза на каждые 10° С. Это можно выразить формулой

$$I_{OBR} = I_{OBR(20^\circ C)} \cdot 2^{\frac{t-20}{10}}$$

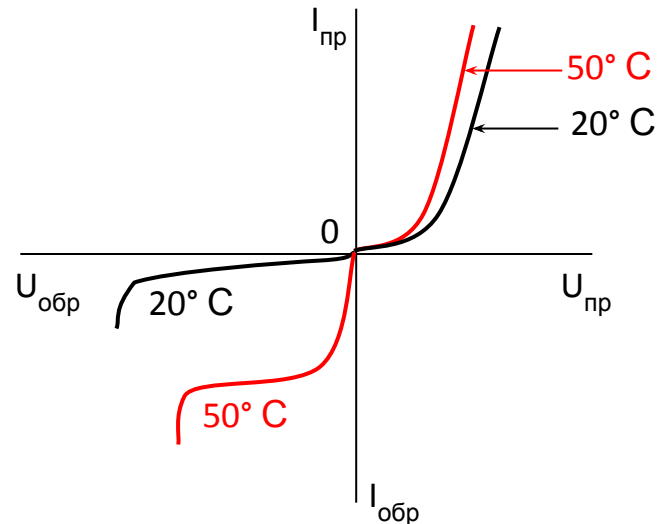
Например, если температура перехода возросла с 20° С до 70° С, то обратный ток возрастёт в 2⁵, т.е. в 32 раза.

Кроме того у германиевых переходов снижается напряжение электрического пробоя.

У кремниевых $p-n$ -переходов обратный ток увеличивается в 2,5 раза на каждые 10°C .

$$I_{\text{ОБР}} = I_{\text{ОБР}(20^\circ \text{C})} \cdot 2,5^{\frac{t-20}{10}}$$

У кремниевых $p-n$ -переходов напряжение электрического пробоя при повышении температуры сначала несколько возрастает, а затем уменьшается.



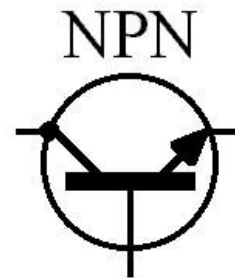
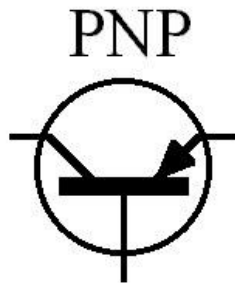
С повышением температуры как у германиевых, так и у кремниевых *p-n*-переходов несколько возрастает барьерная ёмкость.

$$TKE = 10^{-4} \dots 10^{-3} K^{-1}$$

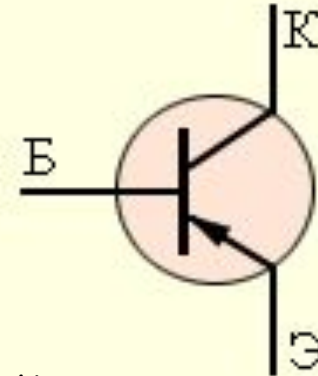
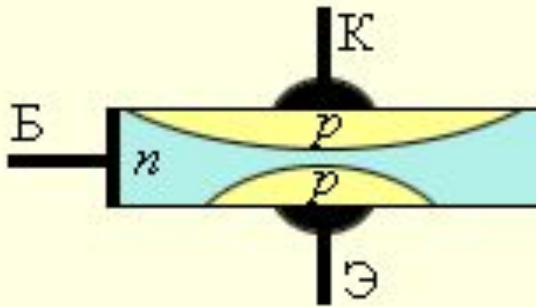
Электронно-дырочный переход. Транзистор

- Полупроводниковые приборы не с одним, а с двумя n - p -переходами называются *транзисторами*.
- Транзисторы бывают двух типов: p - n - p -транзисторы и n - p - n -транзисторы.

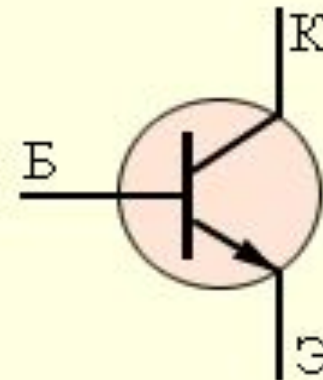
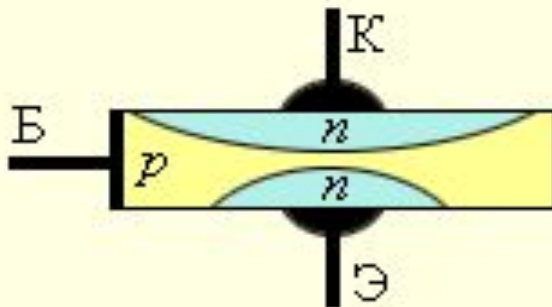
БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ.



Электронно-дырочный переход. Транзистор



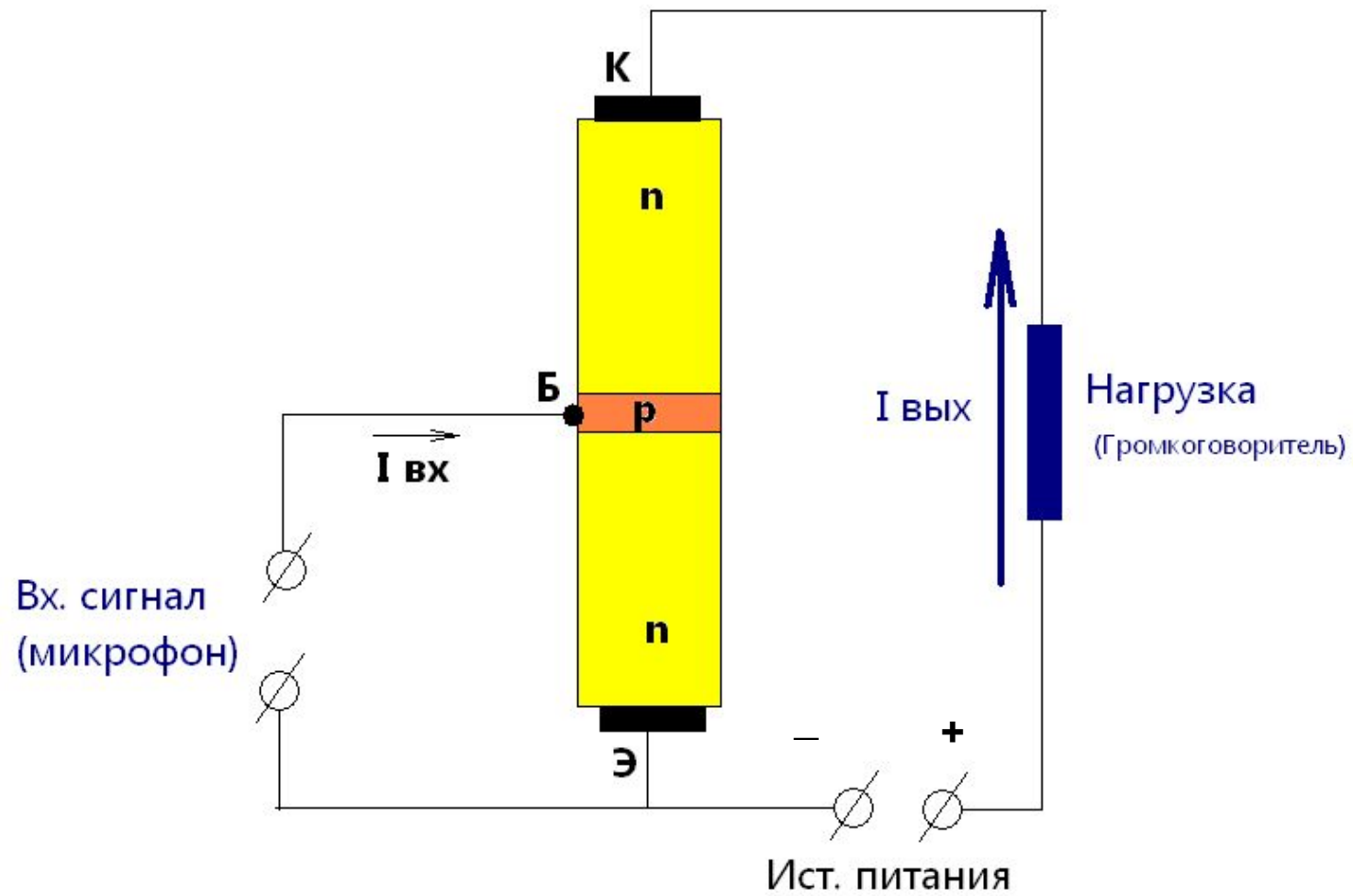
Небольшая пластинка из германия с донорной примесью, т. е. из полупроводника n -типа. В этой пластинке создаются две области с акцепторной примесью, т. е. области с дырочной проводимостью.



Основная пластинка обладает проводимостью p -типа, а созданные на ней две области - проводимостью n -типа.

Электронно-дырочный переход. Транзистор

- Пластинку транзистора называют *базой (Б)*, одну из областей с противоположным типом проводимости - *коллектором (К)*, а вторую - *эмиттером (Э)*.



Принцип работы: один из двух электронно-дырочных переходов включен в прямом направлении (эмиттерный), а второй - в обратном (коллекторный). Переходы разделены областью базы. Толщина базы измеряется десятками долями микрометра.

Эмиттер впрыскивает (инжектирует) в базу неосновные носители тока, а коллектор «отделяет» их от основных. Так эмиттерный переход управляет током через коллекторный переход.