

Circuite și Dispozitive Electronice

Электронные Цепи и Устройства

Тема 2 – p-n Переход. Типы диодов. Характеристики. Параметры.

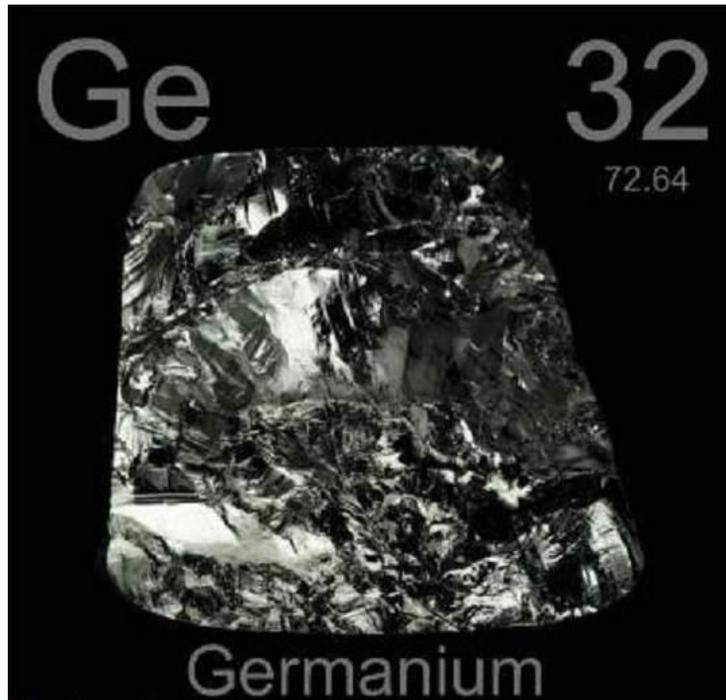
Цель: познакомиться с p-n переходом. Типы диодов. Стабилитроны. Схемы поляризации и стабилизации начальной статической рабочей точки PSF. Статический и динамический режимы работы. Электронные схемы и их расшифровка.

- Изоляция;
- Полупроводник;
- Проводник.

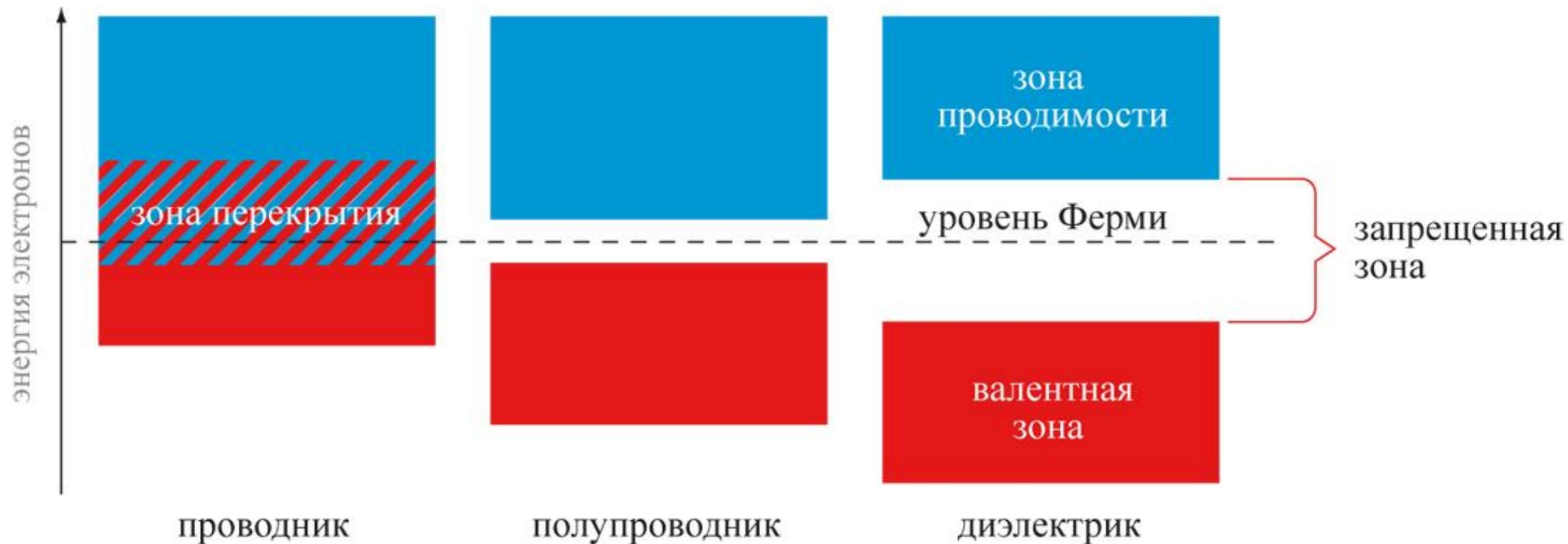
Полупроводники - это материалы, свойства которых находятся между свойствами изоляторов и проводников. Полупроводниковые приборы работают по принципу движения электронов внутри кристалла, описываемому законами квантовой механики.



В качестве полупроводников наиболее часто используют германий (Ge), кремний (Si), арсенид галлия, селен, различные оксиды, нитриды и карбиды.

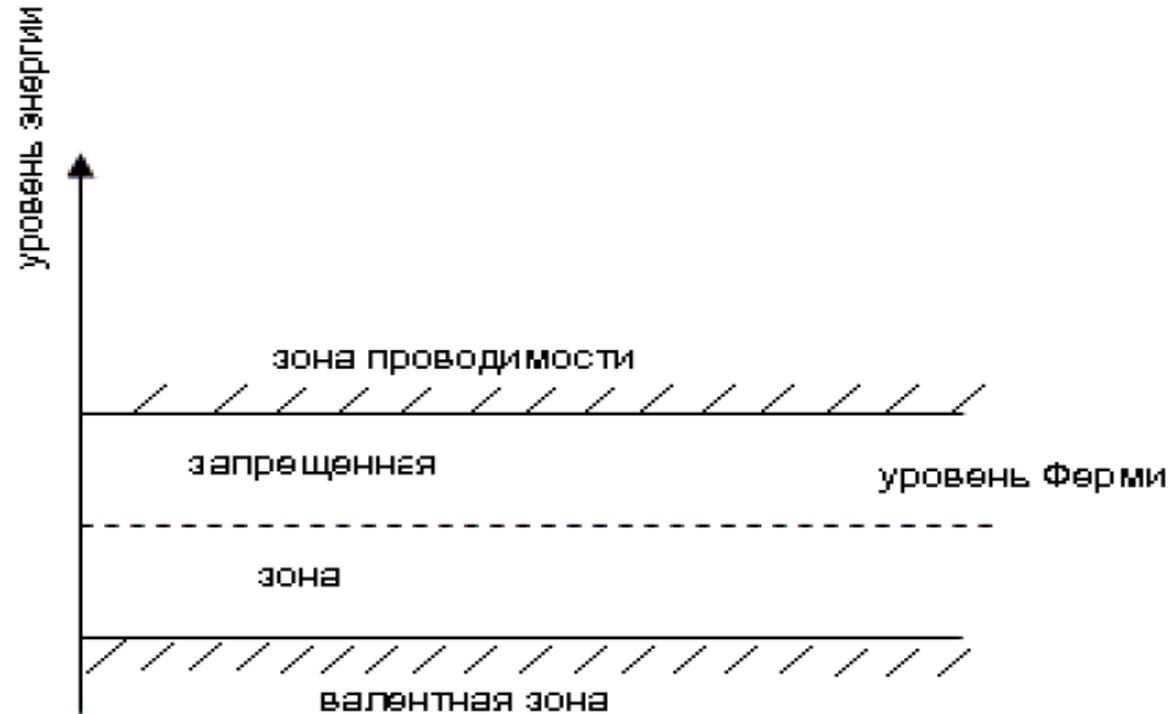


Поведение атома определяется валентными электронами. Любое свойство можно представить соответствующими энергетическими диаграммами, на которых изображаются валентная зона, зона проводимости и запрещенная зона.

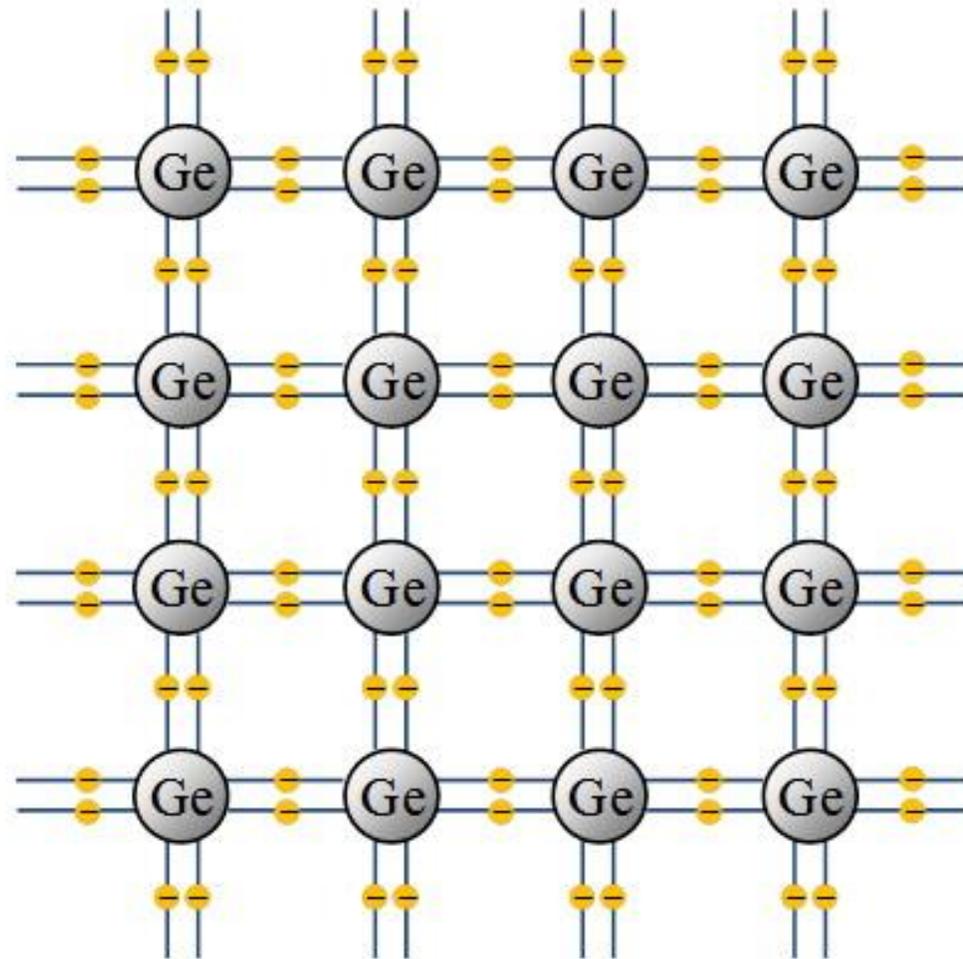


- **Валентная зона** представляет совокупность разрешённых энергий для валентных электронов.
- **Зона проводимости** — совокупность разрешенных энергий для свободных электронов.
- **Запрещенная зона** — совокупность энергий, которые запрещены для электронов данного вещества.

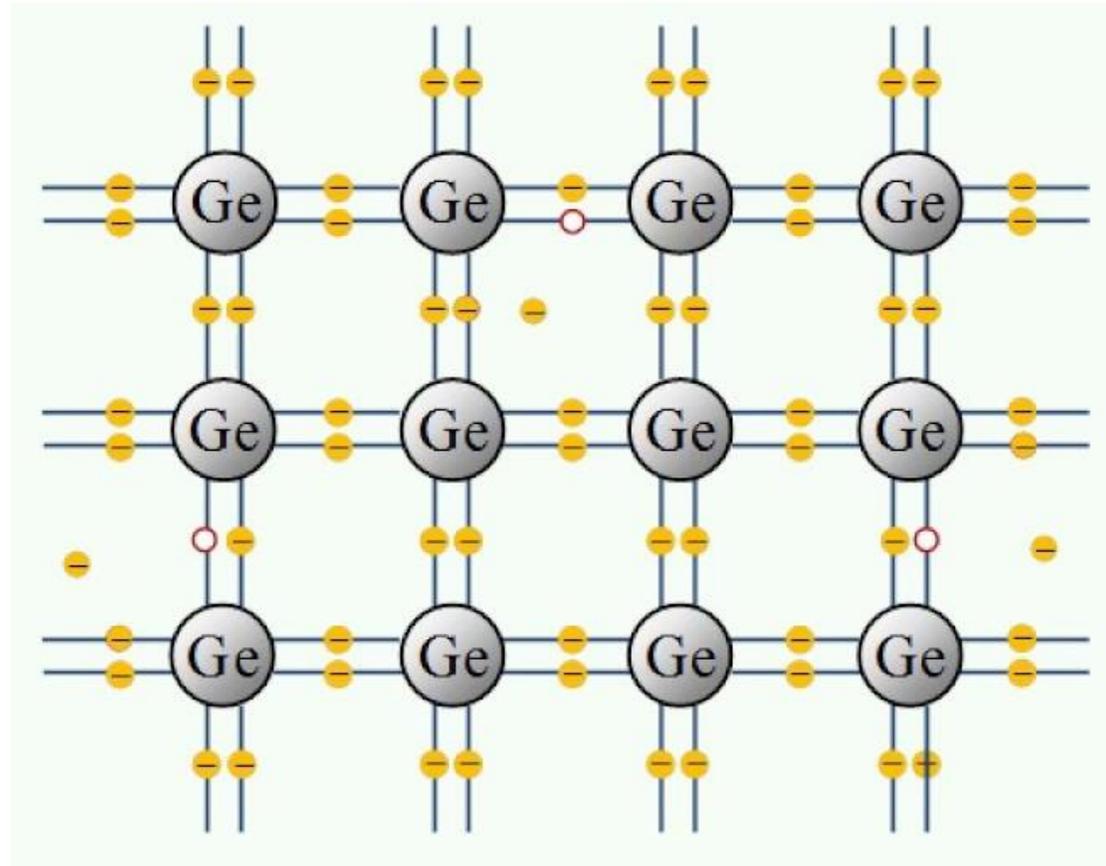
Ширина запрещённой зоны у используемых в настоящее время в качестве полупроводников материалов лежит в диапазоне от 0,1 эВ до 3 эВ.



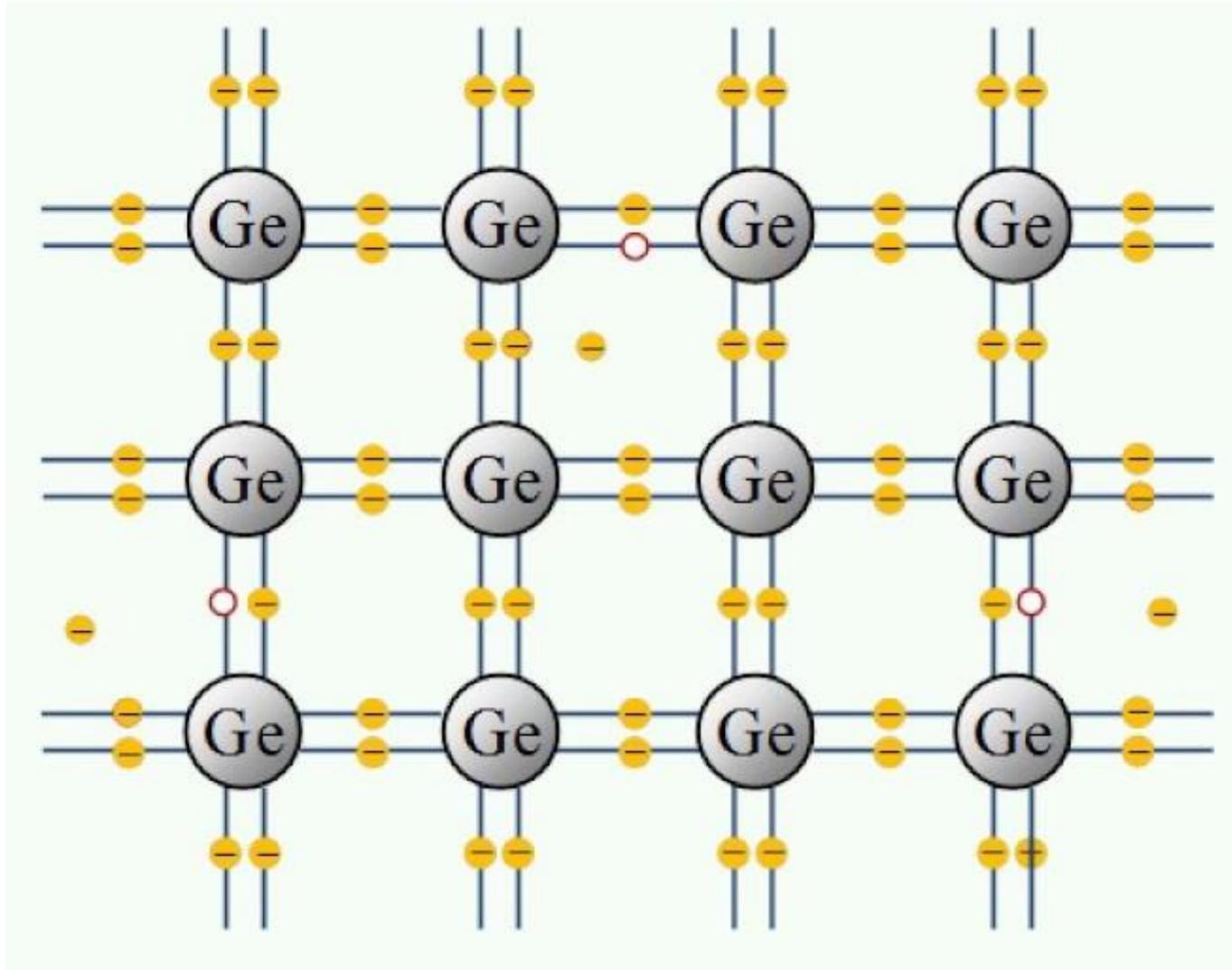
Известно, что в полупроводниках **Ge**, **Si** имеется по четыре валентных электрона, которые при сближении атомов в составе вещества образуют новые, ковалентные связи.



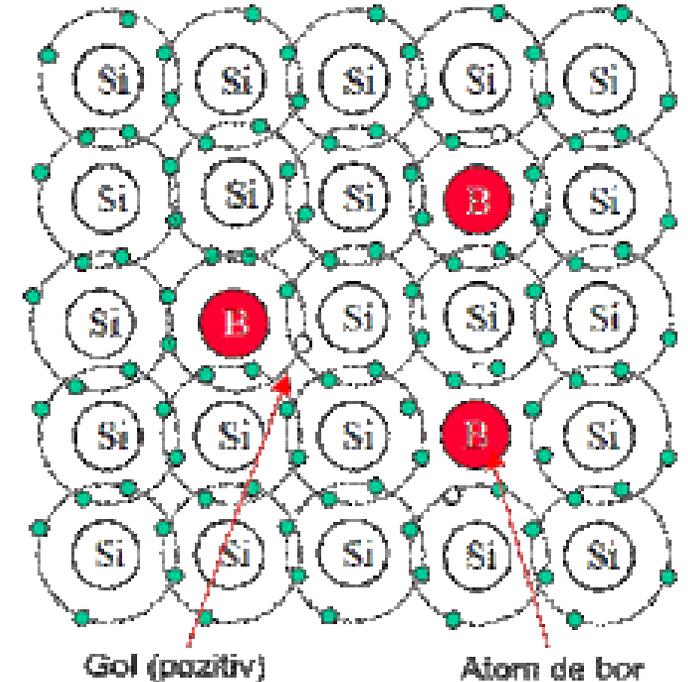
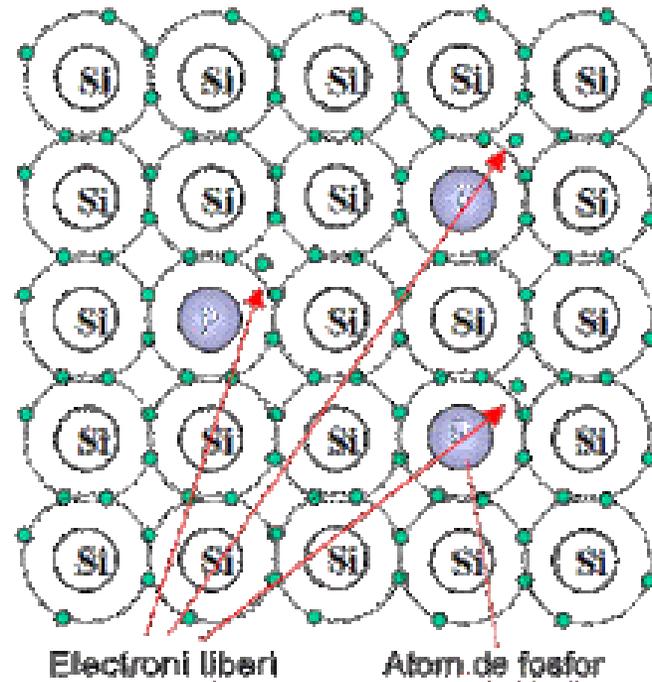
При разрушении ковалентной связи электрон оказывается в зоне проводимости и образует свободный носитель заряда. Нарушенная ковалентная связь называется «дыркой», она ведет себя подобно положительному заряду. В результате разрушения ковалентной связи генерируется пара электрон-дырка, процесс зарождения свободных носителей заряда называется генерацией.



Обратный процесс называется **рекомбинацией**, когда свободный электрон восстанавливает ковалентную связь.



- Движение частиц в двух областях можно описать двумя явлениями:
 - Генерацией:
- явление прохождения электрона через кристаллическую решетку в зоне проводимости - приводит к генерации электронов проводимости;
- выход из валентной зоны – генерация дырок.
 - Рекомбинацией:
- процесс, при котором электрон в кристаллической решетке покидает зону проводимости - электрон проводимости исчезает;
- переход в валентную зону - исчезает дырка.

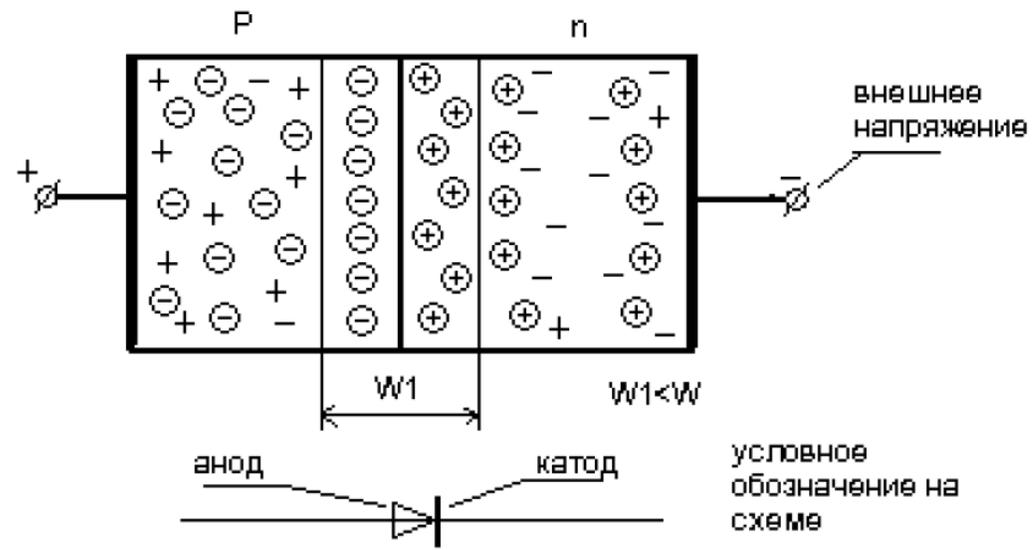


- Полупроводниковые материалы имеют более высокую электропроводность, чем изоляторы, но меньшую, чем металлы.
- Электропроводность полупроводников очень чувствительна к колебаниям температуры: она увеличивается с повышением температуры.
- В отличие от металлов, проводимость которых обеспечивается исключительно электронами, электропроводность полупроводников обеспечивается как электронами («-»), так и дырками («+»).
- Если плотности электронов и дырок, участвующих в проводимости, равны, то говорят, что полупроводник по своей природе **внутренний**.
- Если плотности электронов и дырок, участвующих в проводимости, не равны, полупроводник называется внешним. В зависимости от того, какой тип носителей нагрузки является большинством, существуют два типа **внешних** полупроводников:
 - полупроводники n-типа, при этом плотность электронов больше плотности дырок. В полупроводниках этого типа электроны являются основными носителями заряда, а дырки - неосновными носителями заряда.
 - полупроводники p-типа, при этом плотность дырок выше, чем плотность электронов. В этом случае дырки составляют большинство носителей заряда, а электроны - неосновные носители.

- Для описания макроскопических явлений проводимости были созданы модели, использующие фиктивные частицы. Таким образом, движение этих частиц характеризуется:
- Движение электрона в зоне проводимости описывается фиктивной частицей, также называемой электроном, с тем же зарядом, что и реальная частица $(-q)$;
- Движение электрона в валентной зоне, которая отделяется от ковалентной связи, чтобы занять свободное место от другой разорванной ковалентной связи, описывается другой фиктивной частицей, называемой «дыркой», с электрическим зарядом, равным заряду электрона, но с противоположным значением $(+q)$.
- В полупроводниках проводимость электрического тока обеспечивают два типа мобильных носителей заряда: электроны и дырки. Электроны проводимости и дырки возникают парами, этот процесс называется генерацией электронно-дырочных пар. Концентрация $[\text{cm}^{-3}]$ электронов обозначена n , а дырок p . В условиях теплового равновесия концентрации n_0 и p_0 в полупроводнике без примесей равны. Их обычное значение обозначается n_i и называется внутренней концентрацией носителей. Для реализации полупроводниковых электронных устройств необходимо получение примесных полупроводников.

- С избыточными электронами ($n > p$) называют полупроводники **N**-типа (в них используются пентавалентные примеси, называемые донорными примесями). Атом донорной примеси замещает атом полупроводника в решетке. Четыре валентных электрона образуют ковалентные связи с соседними атомами, а пятый связан слабо. Он получает достаточно энергии при температуре окружающей среды, чтобы оторваться от атома-донора и стать проводящим электроном. Проводящие электроны являются **основным** (отрицательным) **носителем заряда**, а дырки - **неосновным** (положительным) **носителем заряда**.
- С избыточными дырками ($p > n$) называют полупроводник **P**-типа (используются трехвалентные примеси, акцепторные примеси). Трехвалентный примесный атом удовлетворяет трем из четырех ковалентных связей с соседними атомами. Свободная связь может быть дополнена электроном из соседней ковалентной связи, оставляя дырку позади. Дырки - это **основной** (положительный) **заряд**, а проводящие электроны - (отрицательный) **неосновным зарядом**.

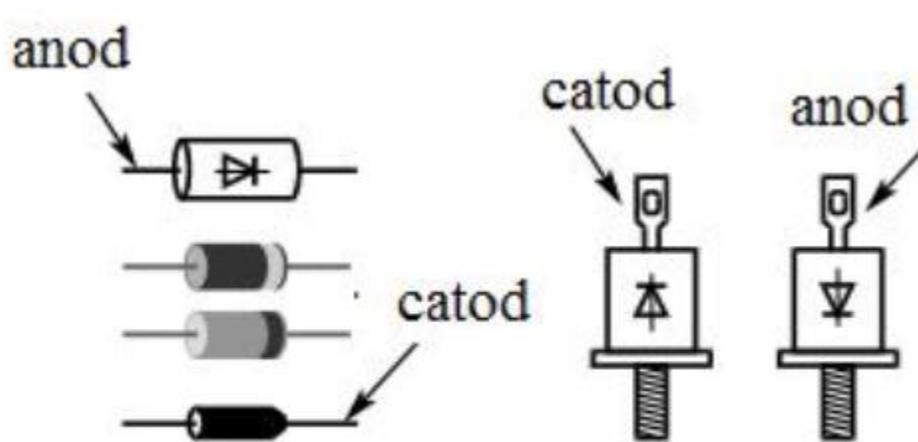
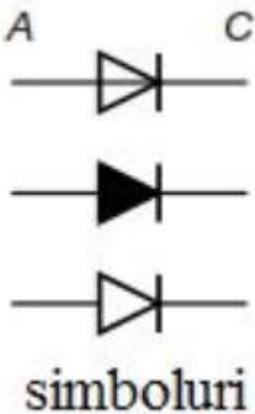
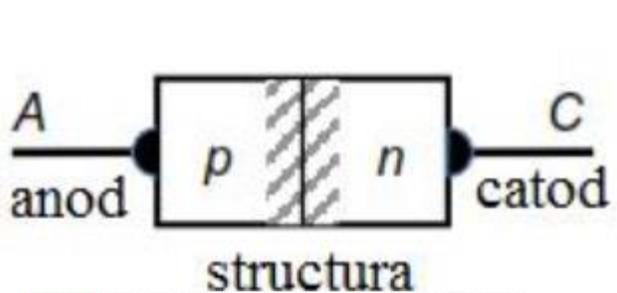
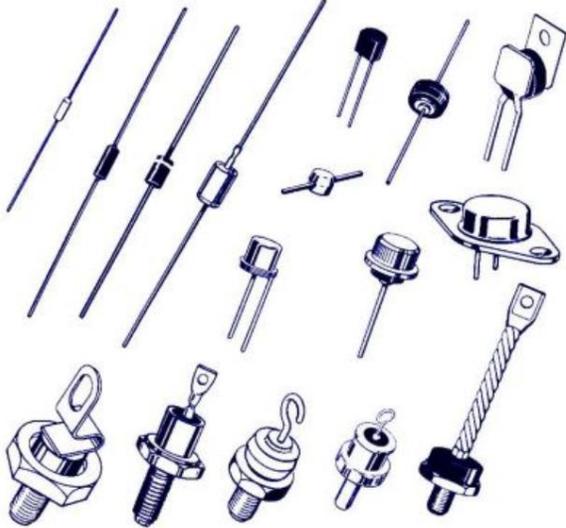
- **Полупроводниковый диод** - представляет собой электронное устройство, состоящее из ***P-N*** перехода, снабженного двумя металлическими контактами, прикрепленными к двум областям, называемым анодом (+) и катодом (-). Этот узел помещен в капсулу, выполняющую роль защиты и передачи тепла, выделяемого во время работы.



Дiodă în capsulă de plastic

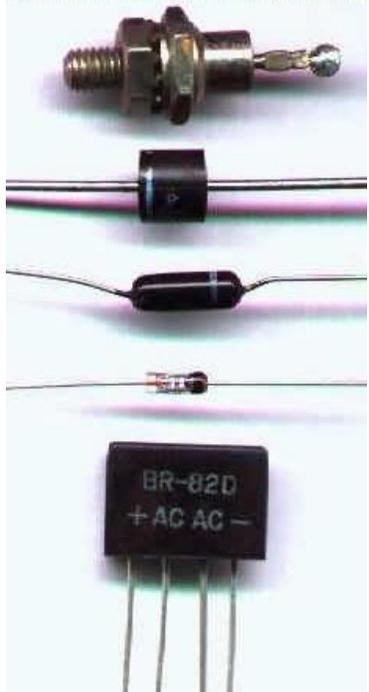
Дiodă în capsulă de sticlă

Дiodă în capsulă metalică



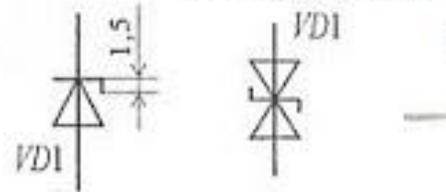
BAT85

identificarea terminalelor la diodele capsulate

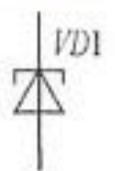


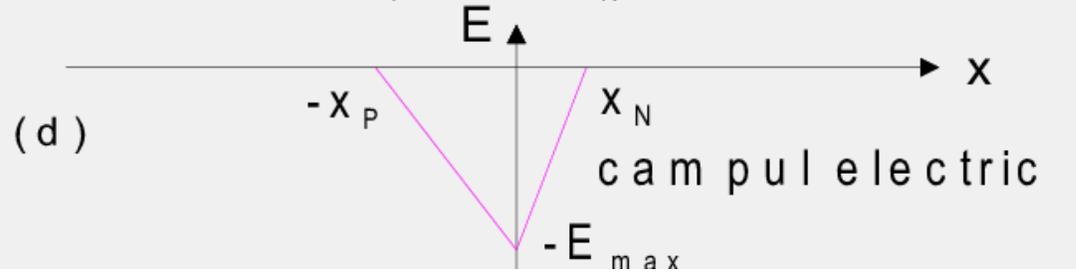
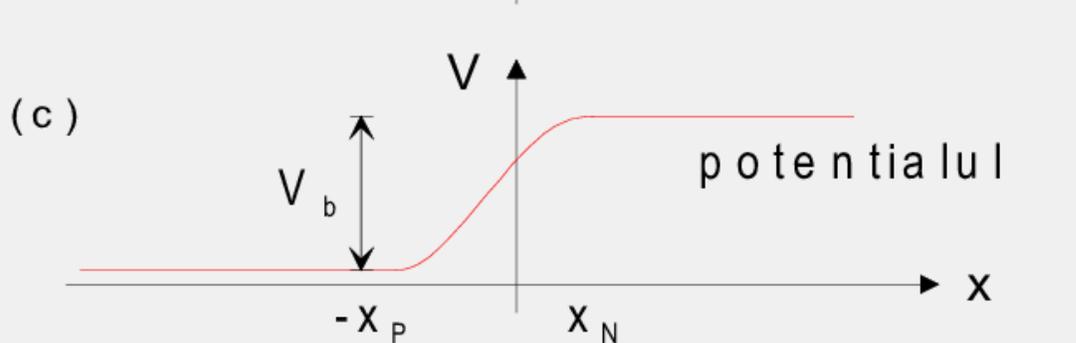
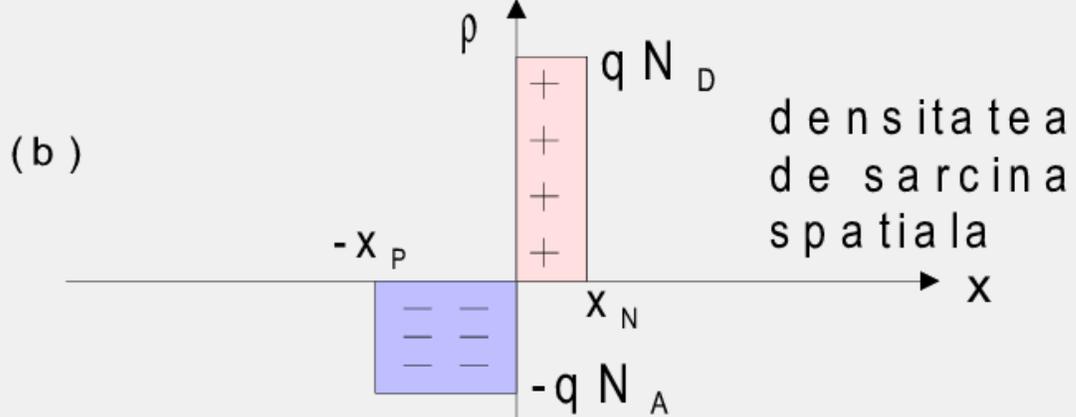
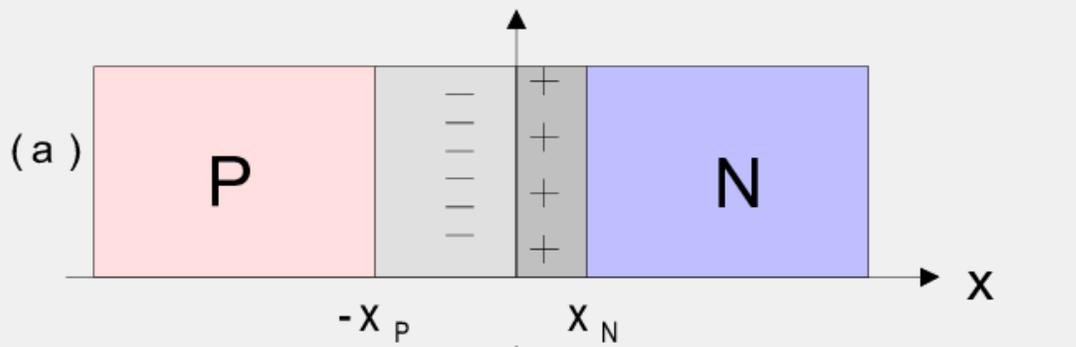
Jovita.ru

www.asenergi Стабилитрон Двуханодный стабилитрон



Туннельный диод





Если две такие области сделаны в одной полупроводниковой таблетке, образуется **полупроводниковый переход**. Из-за разницы в концентрации основных носителей одного и того же типа в двух областях, дырки в **p**-области будут диффундировать в **n**-область, а электроны в **n**-области будут диффундировать в **p**-область. В результате этого процесса диффузии отрицательный пространственный заряд появится в начальной области типа **p** и положительный пространственный заряд в начальной области типа **n**. Таким образом, в непосредственной близости от стыка образуется область, обедненная основными носителями, область, называемая *областью пересечения*. Из-за этого разделения нагрузок в переходной области появится внутреннее электрическое поле E_{int} , поле, интенсивность которого увеличивается с увеличением числа рассеянных нагрузок и которое препятствует процессу диффузии. Когда он становится достаточно интенсивным, достигается устойчивое состояние, в котором величина широкозонной нагрузки остается постоянной

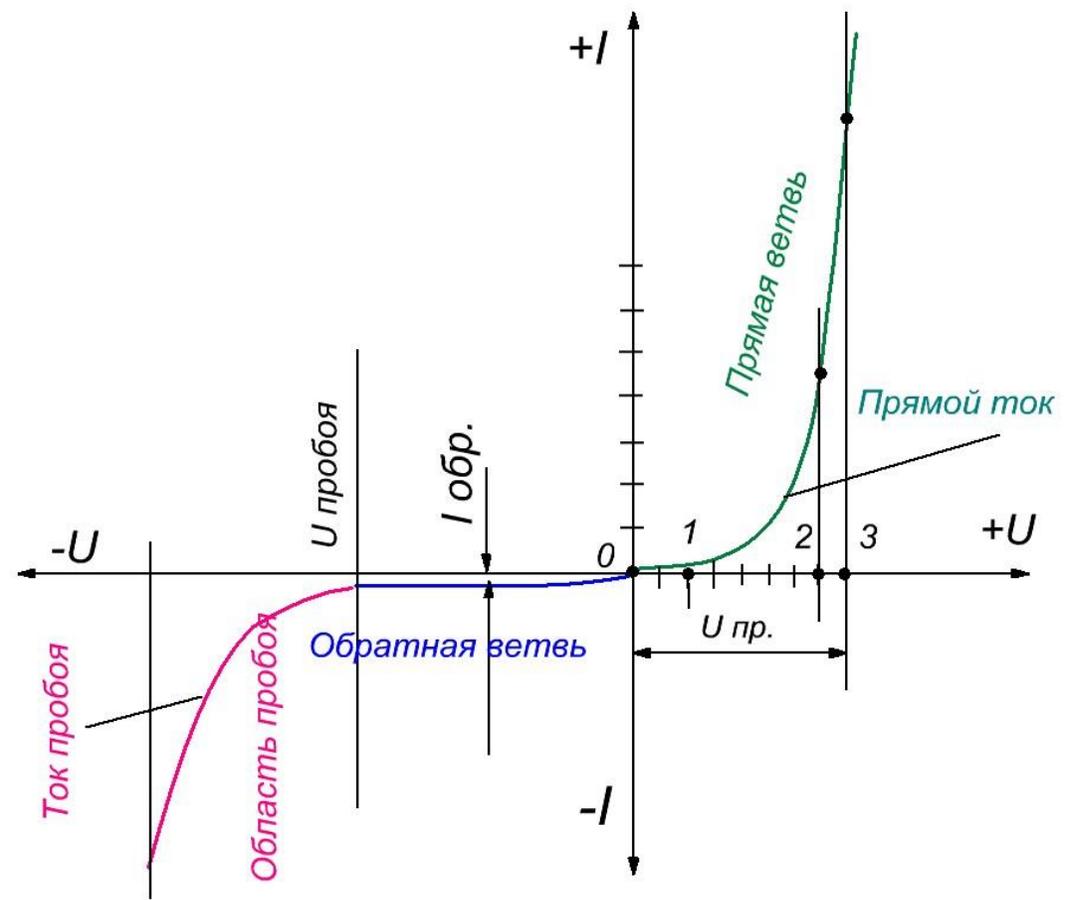
- электрический потенциал, $V(x)$. Можно наблюдать существование **потенциального барьера**, препятствующего диффузии основных носителей заряда через переход.
- напряженность электрического поля, $E(x) = -dV(x)/dx$

Если анод имеет более низкий потенциал, чем катод, то внешнее поле будет добавлено к внутреннему полю, и оба будут более решительно противодействовать «потoku» основных носителей нагрузки через переход. В этой ситуации потенциальный барьер будет увеличиваться, и переход называется **обратно поляризованным**.

Если потенциал анода больше, чем у катода, внешнее и внутреннее поля будут ориентированы в противоположном направлении. Потенциальный барьер уменьшится. Пока сумма двух полей имеет смысл в направлении р-области, большинство носителей нагрузки не смогут перемещаться через соединение. Когда общее поле меняет направление (потенциальный барьер исчезает), большинство носителей нагрузки в двух областях смогут пересечь переход, и через диод пройдет электрический ток. В этом случае говорят, что диод **прямо поляризован**.

$$i_d = I_S \left(e^{\frac{qU_d}{kT}} - 1 \right)$$

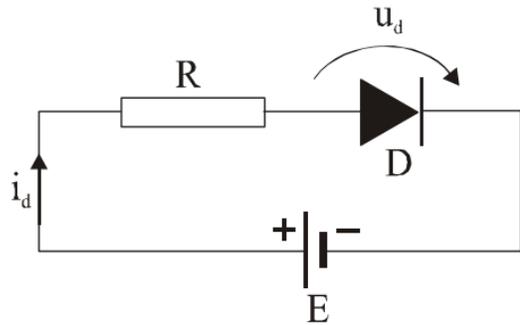
q – элементарный заряд, $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
 k – константа Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
 T – температура перехода, К



Обычно при обратной поляризации диод блокируется. Однако можно наблюдать существование обратного тока, который возникает из-за неосновных носителей (дырки в зоне **n** и электроны в зоне **p**), которые могут пересекать переход. Но, поскольку их плотность очень мала, интенсивность этого тока, называемого **током обратного насыщения** (I_S), практически ничтожна. Он порядка десятков мкА. Мы упоминаем здесь, что графическое представление не в масштабе, чтобы можно было выделить обратный ток насыщения. В *прямой поляризации*, пока существует потенциальный барьер, ток практически равен нулю. Когда он исчезает, диод пропускает ток, интенсивность которого очень быстро увеличивается при небольших изменениях напряжения, подаваемого на диод. Значение максимальной силы постоянного тока может составлять от нескольких мА до сотен А, в зависимости от типа диода.

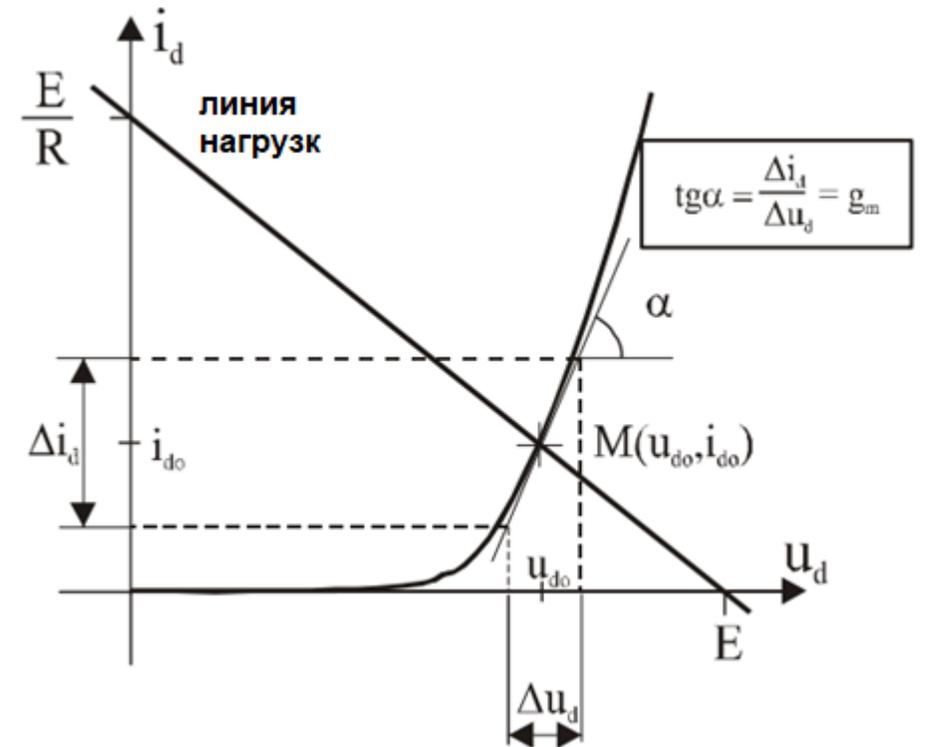
- в обратной поляризации : $u_d < 0 \rightarrow \frac{qu_d}{kT} \ll 1 \rightarrow i_d \cong -I_S$

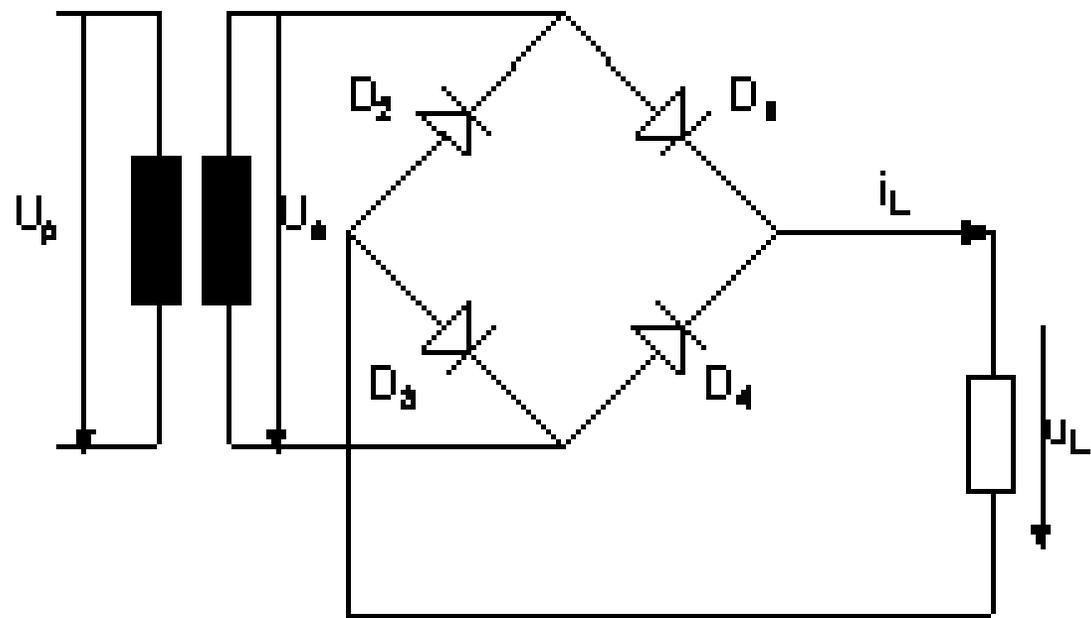
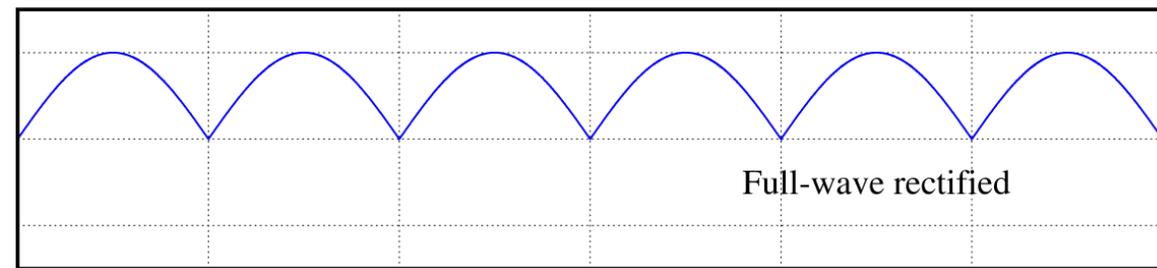
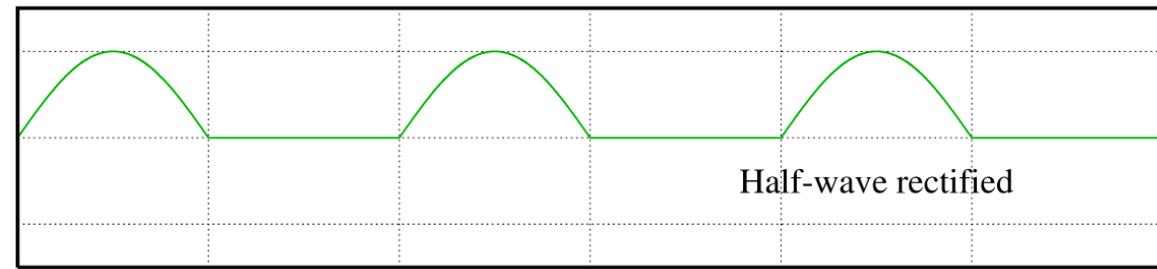
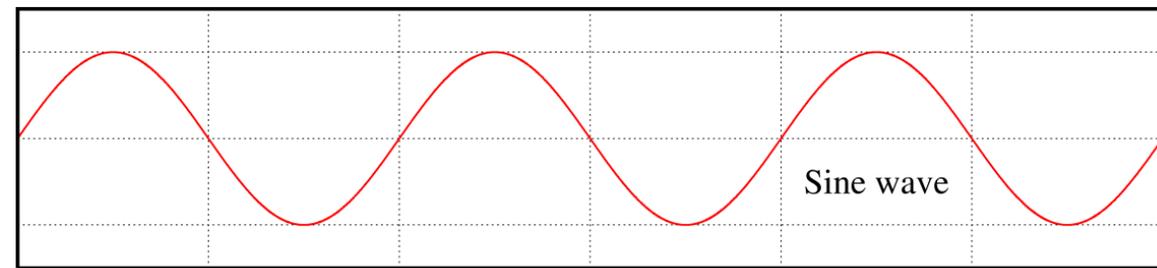
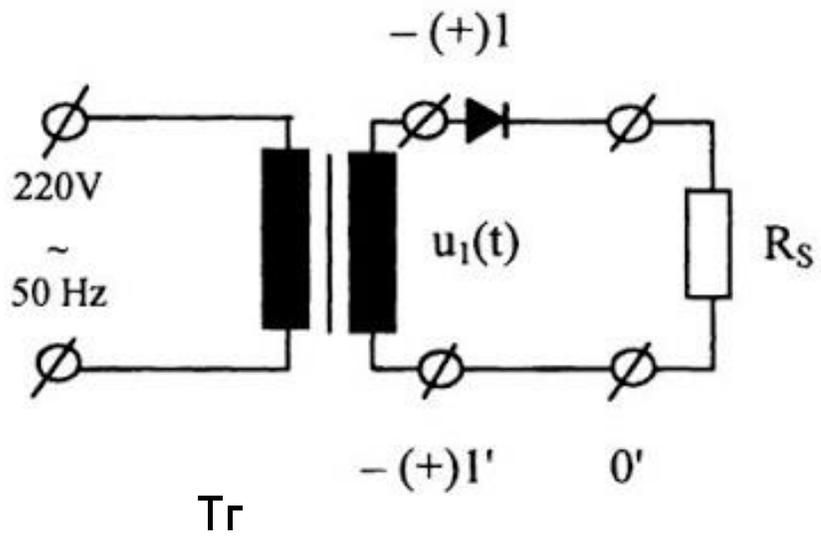
- в прямой поляризации : $u_d > 0 \rightarrow \frac{qu_d}{kT} \gg 1 \rightarrow i_d \cong I_S e^{\frac{qu_d}{kT}}$



выражение тока через диод: $i_d = -\frac{u_d}{R} + \frac{E}{R}$

Функция $i_d = i_d(u_d)$ в предыдущем соотношении представляет собой линию, называемую **линией нагрузки**. Точка пересечения линии заряда с вольт-амперной характеристикой диода является **статической рабочей точкой** диода (M). Это называется «статическим», потому что до тех пор, пока напряжение питания цепи **E** и значение сопротивления **R** остаются постоянными, координаты статической рабочей точки, u_{do} и i_{do} , не изменяются.



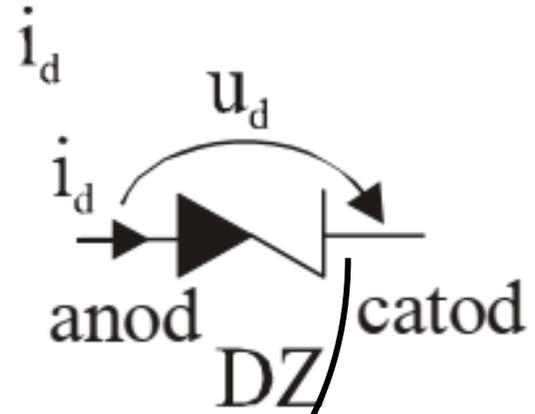


Характерные параметры выпрямительного диода:

- Прямое напряжение постоянного тока [V_F] – представляет собой напряжение на выводах диода при прямой проводимости для определенного тока, указанного I_F ;
- Прямой постоянный ток [I_F] – представляет собой постоянный ток, допустимый в постоянном режиме, который проходит через диод при отсутствии альтернативного компонента;
- Постоянное напряжение на пике [V_{FM}] – представляет собой максимальное значение синусоидального напряжения на выводах диода при прямой проводимости для указанного максимального тока I_{FM} ;
- Постоянный ток на пике [I_{FM}] – представляет собой максимальное значение полусинусоидального тока в прямом направлении, в постоянном режиме;
- **Максимальное пиковое обратное напряжение** [V_{RRM}] – представляет максимальное обратное напряжение, которое диод может выдержать, когда это напряжение многократно достигается;
- **Максимальный прямой пиковый ток** [I_{FRM}] – представляет собой максимальное мгновенное значение постоянного тока в постоянном режиме, включая все переходные токи при отсутствии непрерывной поляризации;
- Случайная перегрузка постоянным прямым током [I_{FSM}] – представляет собой пиковое значение импульса постоянного тока, который случайно проходит через диод за очень короткое время (10 ms);
- Напряжение прорыва [V_{BR}] – представляет собой минимальное значение напряжения, при котором происходит разрушение диода;
- Рассеиваемая мощность [P_{dmax}] – представляет собой максимальное значение рассеиваемой мощности без разрушения диода – $P_{dmax} = V_{FM} \cdot I_{FM}$;
- Максимальная температура перехода [T_{jmax}] – представляет собой максимальную температуру PN-перехода. Для кремниевых диодов: $T_{jmax} = (- 55^{\circ}\text{C} \dots +175^{\circ}\text{C})$

Стабилизирующий диод (стабилитрон)

Если диод смещен в обратном направлении, до определенного значения напряжения перехода ток через него очень мал (I_s). При дальнейшем увеличении обратного напряжения до значения, зависящего от типа диода, ток может увеличиваться очень быстро, и переход может быть разрушен. Тем не менее, есть диоды, при которых этот обратный ток можно регулировать в определенных пределах, и наоборот поляризованный диод используется в качестве стабилизатора напряжения или в качестве опорного напряжения. Это возможно, потому что, хотя обратный ток может изменяться в широких пределах, напряжение на обратном поляризованном переходе остается почти постоянным. Это напряжение называется **напряжением стабилизации** или **напряжением Зенера**. (U_z).
Есть два механизма увеличения тока при заданном значении обратного напряжения. Один из них - это лавинное размножение носителей заряда, механизм, с помощью которого первичные носители, ускоренные между двумя столкновениями сильным электрическим полем, определяют появление вторичных, третичных носителей заряда и так далее. Вторым - это **эффект Зенера**, при котором носители заряда генерируются электрическим полем, создаваемым на стыке. Эффект Зенера может возникнуть, если имеется очень сильное легирование полупроводника, коррелирующее с очень сильным электрическим полем. Если интенсивность обратного тока бесконтрольно увеличивается, то полупроводниковая структура нагревается и переход разрушается из-за тепловой упаковки. Чтобы избежать этого процесса, к цепи смещения диода всегда должен быть подключен токоограничивающий резистор.

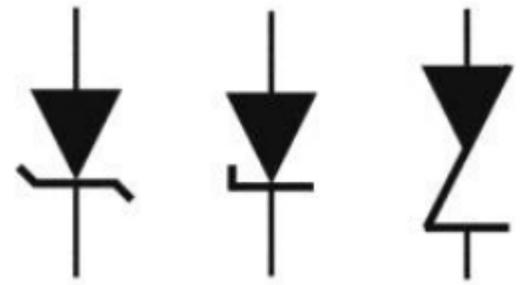
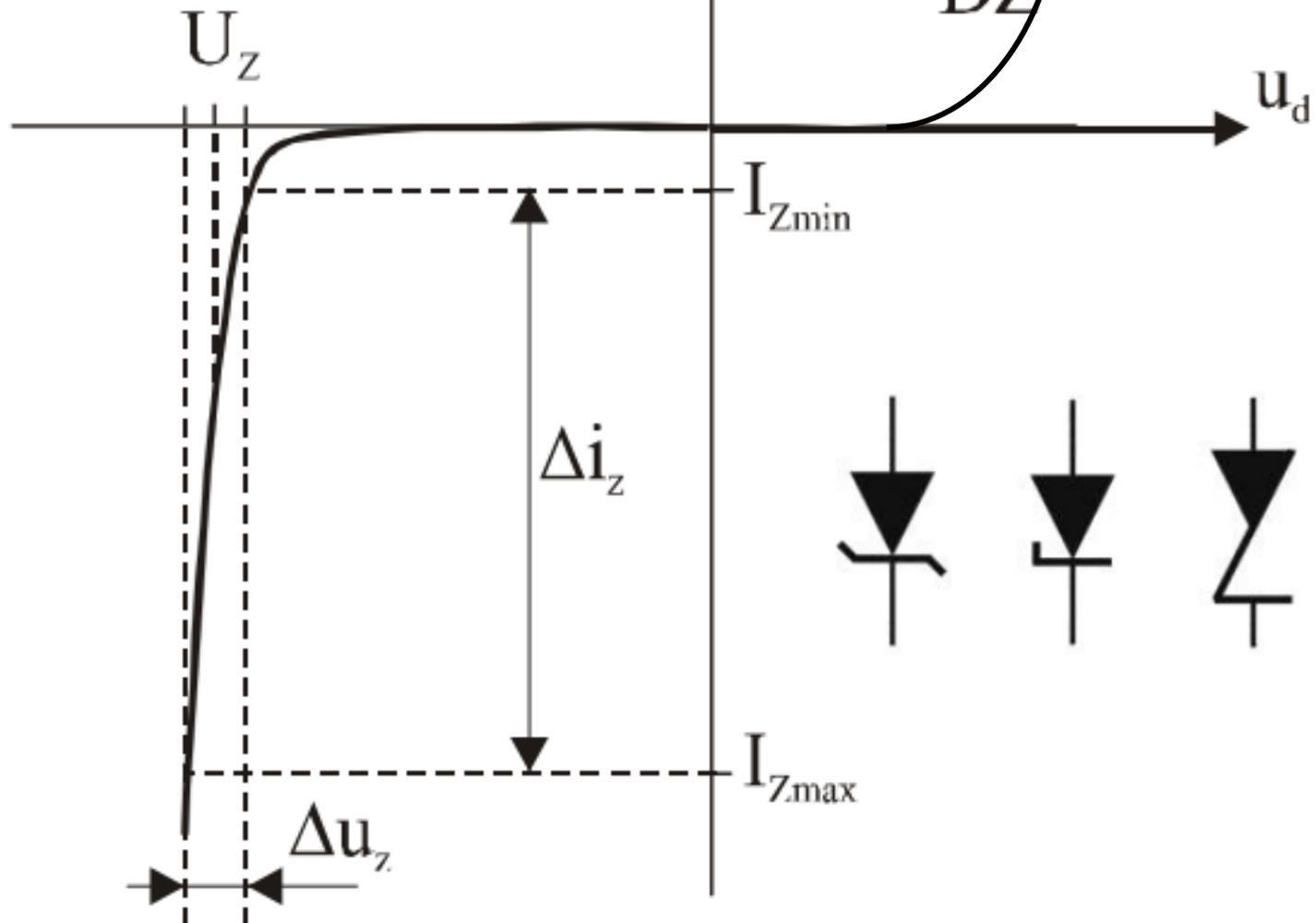


Основные характеристические параметры стабилизирующего диода: :

- *напряжение стабилизации U_z* , в пределах диапазона 2 – 180V.
- *максимальный обратный ток I_{zmax}* , определяется максимальной мощностью, которую может рассеять переход. Это зависит от типа диода и составляет около 10W.
- *внутреннее сопротивление r_z* , со значениями от единиц Ом до нескольких десятков Ом. Он определяется на линейном участке вокруг напряжения стабилизации как :

$$r_z = \frac{\Delta u_z}{\Delta i_z}$$

Стабилизирующий диод (стабилитрон) – поддерживает постоянное напряжение (стабилизированное) на выходе цепи постоянного тока в условиях, в которых в определенных пределах изменяется значение входного напряжения или тока нагрузки (ток, поглощаемый потребителем)

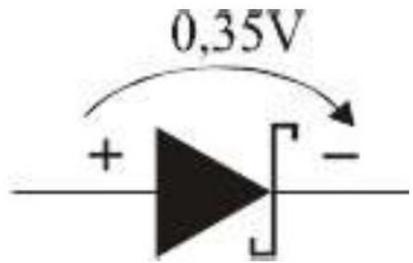


- **Номинальное напряжение стабилизации $[V_{ZT}]$** – представляет собой напряжение, приложенное в противоположном направлении к клеммам диода, которое остается приблизительно постоянным, когда ток принимает значения в определенном диапазоне;
- **Стабилизированный ток управления напряжением $[I_{ZT}]$** – представляет собой стабилизированный ток управления напряжением;
- **Максимальный ток стабилизации $[I_{ZM}]$** – представляет собой верхний предел тока стабилизации, выше которого работа диода больше не гарантируется. Максимальный ток стабилизации присутствует не во всех каталогах, но его можно приблизительно рассчитать по формуле:

$$I_{ZM} = \frac{P_{dmax}}{V_Z};$$

- **Минимальный ток стабилизации $[I_{ZK}]$** – представляет собой нижний предел тока стабилизации, ниже которого работа диода больше не гарантируется;
- **Импеданс стабилитрона $[Z_{ZT}]$** – представляет собой значение динамического импеданса в Ом, соответствующее управляющему току напряжения стабилизации (измеряется в переменном режиме: $Z_{ZT} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$).

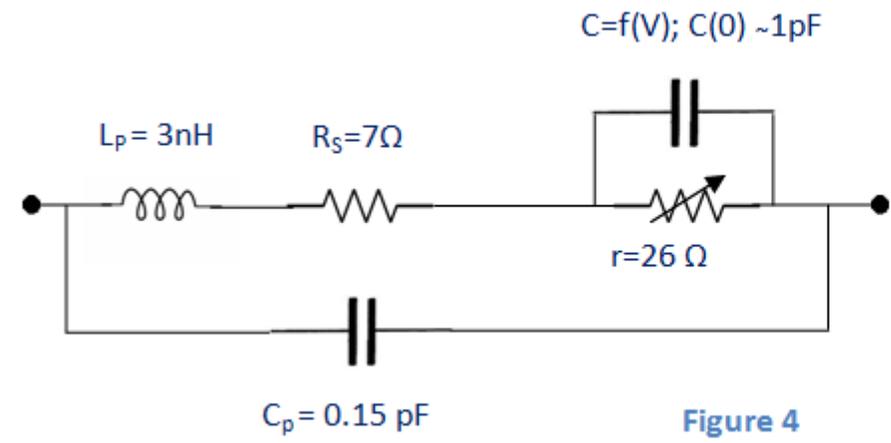
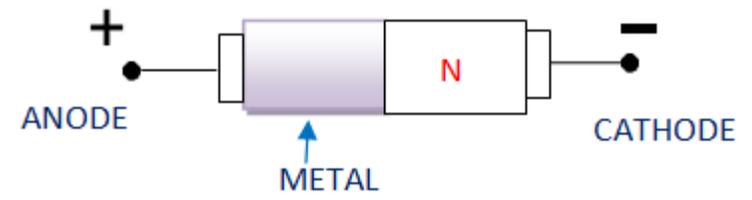
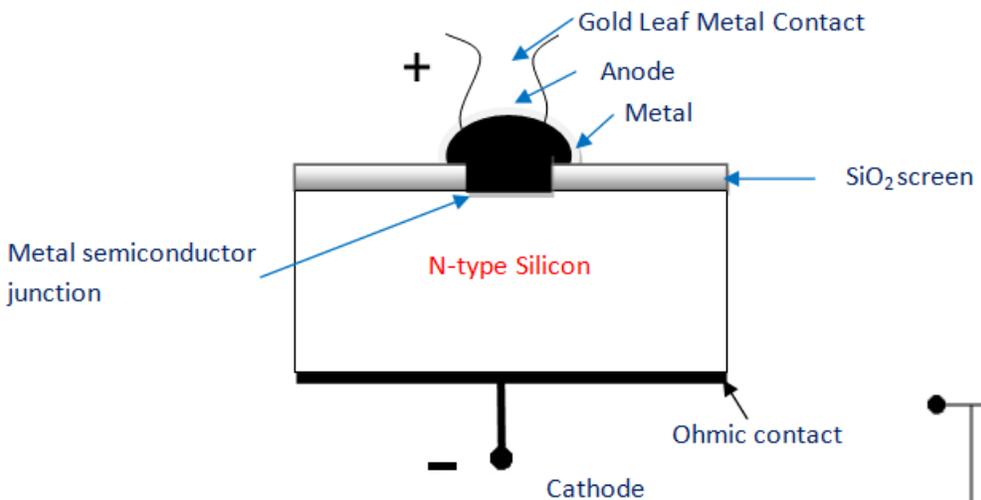
Диод Шоттки – быстросменный диод с временем переключения 50 ps. Диод имеет прямую поляризацию, напряжение открытия диода составляет 0,3 В.



Диод Шоттки - это полупроводниковый диод, выпрямительные свойства которого основаны на использовании электрического выпрямительного перехода между металлом и полупроводником. Эффект Шоттки возникает, когда металл контактирует с полупроводниковым материалом. В самых старых диодах (точка) использовался металлический наконечник. Когда он соприкасается с полупроводником, в металле образуется область пространственного заряда, которая позволяет току течь в одном направлении, но не позволяет ему проходить в другом. Диоды Шоттки являются развитием этой технологии.

Ток в полупроводниковом материале - это поток электронов. Электроны являются основными носителями заряда, и сила тока выше, чем у p-материала планарного диода. Поэтому диоды Шоттки - самые быстрые из всех диодов. Поскольку в переходной области нет неосновных носителей, диод закрывается, как только приложенное напряжение падает до нуля. Однако процесс зарядки емкости перехода вызывает протекание обратного тока. Эта емкость очень мала, и поэтому обратный ток чрезвычайно мал. Диоды Шоттки характеризуются практически нулевым прямым и обратным временем восстановления, поскольку их проводимость не зависит от неосновных операторов зарядки.

Прямое падение напряжения на кремниевом диоде Шоттки очень мало, обычно порядка 0,2 ... 0,45 В. Падение напряжения пропорционально максимальному обратному напряжению. Например, падение напряжения в диоде с обратным напряжением 10 В может быть меньше 0,3 В. Чем выше максимальное обратное напряжение и номинальный ток, тем больше падение постоянного напряжения из-за увеличения толщина слоя n. Диод с максимально допустимой температурой имеет большее прямое падение напряжения, которое уменьшается с понижением температуры перехода. Этот отрицательный температурный коэффициент по току снижает рассеиваемую мощность, но затрудняет параллельное включение диодов.



L_p , Inductance and C_p , Capacitance are the package values.
 R_s → Ohmic series resistance.
 r → Diode resistance.
 C → Junction capacitance.

Приведенную выше схему можно приблизительно представить, как показано ниже. Эта приблизительная схема используется во многих приложениях.

Ideal diode

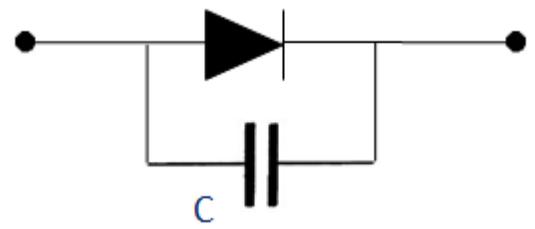


Figure 4
 Эквивалентная схема устройства (диода Шоттки) с типичными значениями компонентов

Преимущества диода Шоттки

- Он имеет быстрое время восстановления из-за очень небольшого объема памяти. Таким образом, этот диод используется для высокоскоростного переключения..
- Имеет низкое напряжение.
- Он имеет низкую емкость перехода.
- Падение напряжения низкое.

Недостатки диода Шоттки

- Обратный ток утечки.
- Значение низкого напряжения.

Применение диода Шоттки

- Используется в импульсных источниках питания.
- Используется для защиты от реверса тока.
- Используется в защите от разряда.
- Используется в приложениях для натяжения.
- Используется в радиочастотном смесителе и диодном детекторе.

В диоде Шоттки есть некоторые уникальные особенности по сравнению с обычным диодом с P-N переходом.

• Это униполярное устройство. Это связано с отсутствием значительного протекания тока от металла к полупроводнику N-типа (неосновные носители в обратном направлении отсутствуют). Но диод с P-N переходом - это биполярное устройство..

• Складной груз отсутствует за счет отсутствия металлических зазоров. В результате диод Шоттки может изменяться быстрее, чем другие диоды, а шум также относительно невелик..

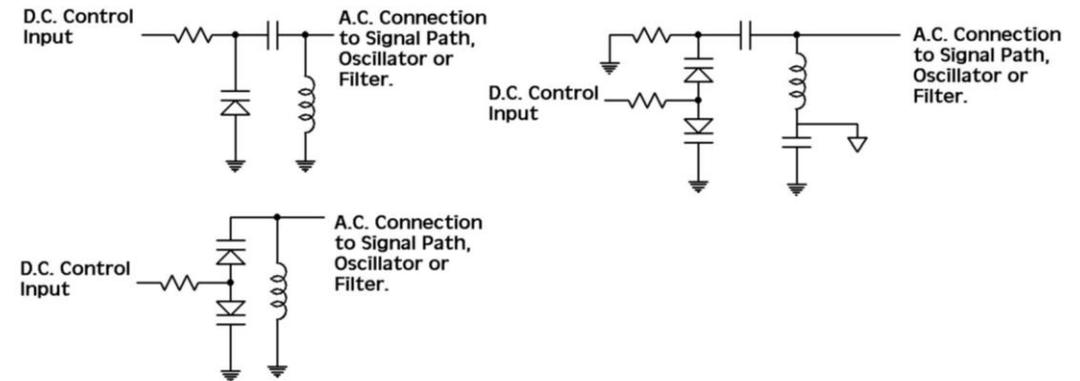
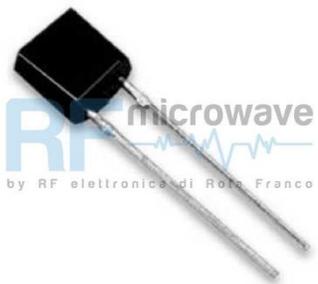
• Более низкий барьерный потенциал (0,2 - 0,25 В) по сравнению с P-N диодом (0,7 В)

Диоды переменной емкости или **варикапные диоды** - это специальные маломощные диоды, предназначенные для автоматической настройки колебательного контура из цепей электронного генератора, фазовых и частотных модуляторов, а также некоторых типов усилителей и фильтров. Эффект, на котором основана конструкция этого типа диода, заключается в переменной емкости, управляемой напряжением обратного смещения PN перехода. Графические символы, используемые для обозначения варикап-диода, подчеркивают это свойство компонента.

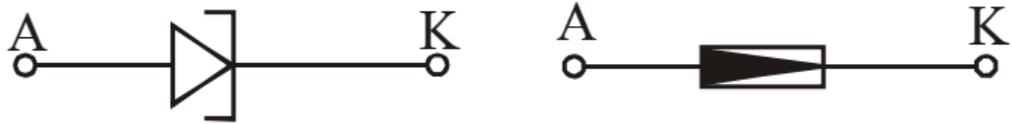


барьерная емкость имеет выражение
$$C_b = \frac{C_{b0}}{\left(1 + \frac{U_{KA}}{U_0}\right)^2}$$

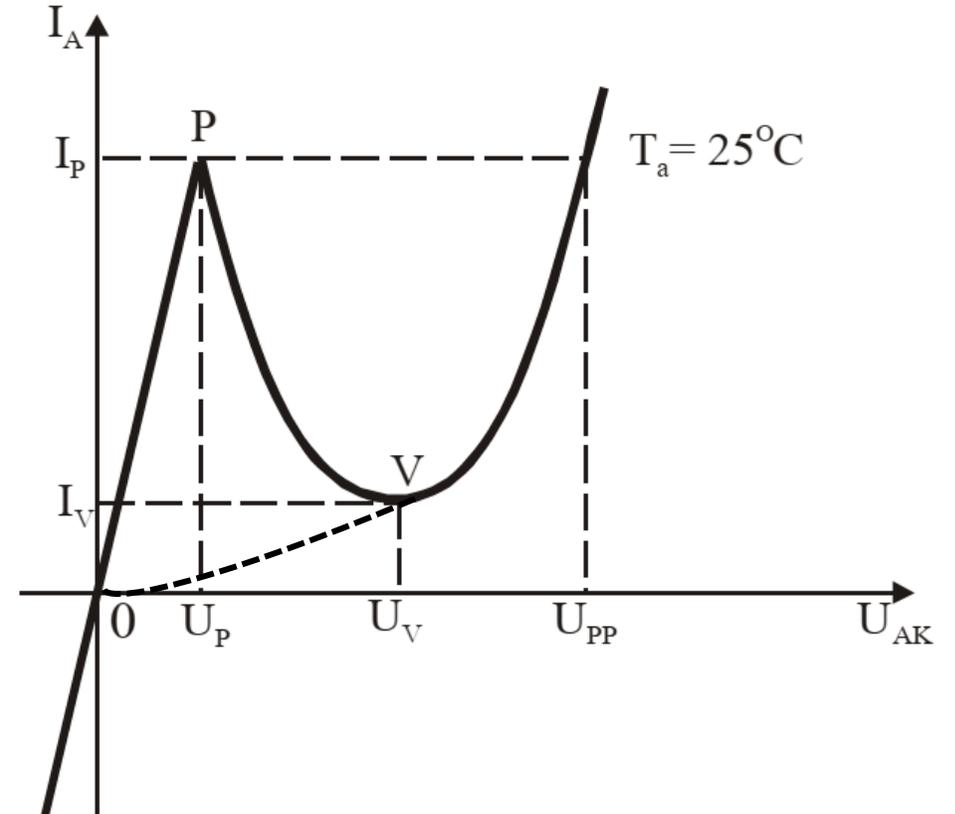
Емкость перехода, $C_j \cong C_b$, может принимать значения от нескольких пФ до примерно 100 пФ, в диапазоне изменения приложенного обратного напряжения (10В → 100В).



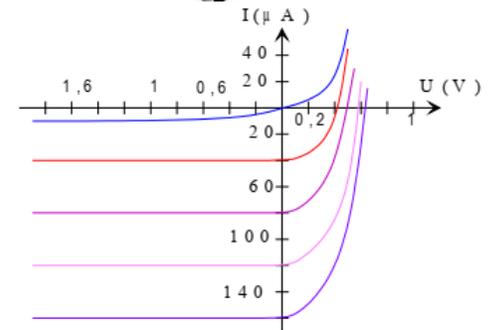
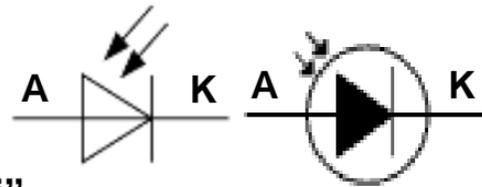
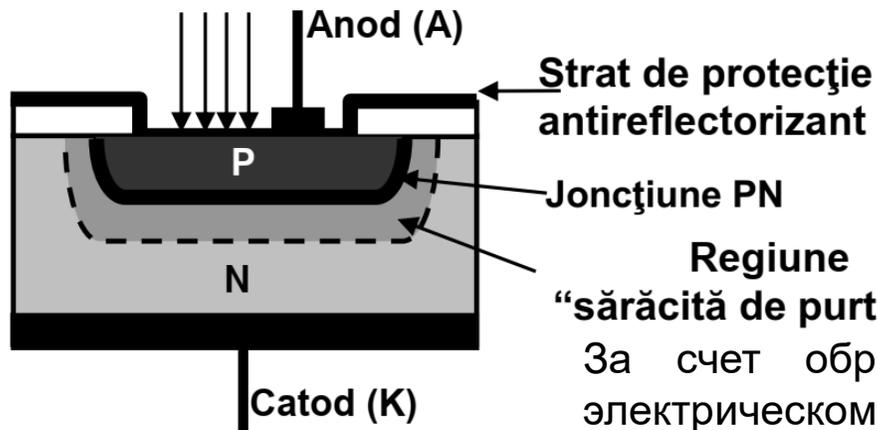
Туннельные диоды - это специальные маломощные диоды для генераторов очень высокой частоты. Эффект туннелирования, на котором основана конструкция этого типа диодов, возникает при очень низких напряжениях прямого и обратного смещения. Туннельный диод - отличный проводник как для прямого, так и для обратного смещения. Диод с таким поведением нельзя использовать для выпрямления переменного напряжения.



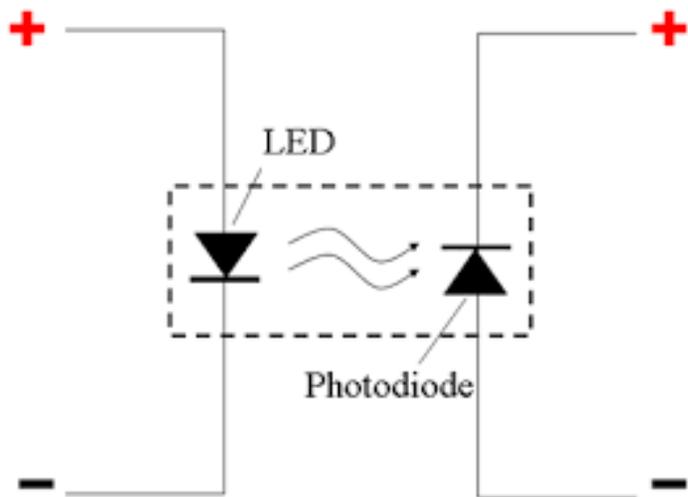
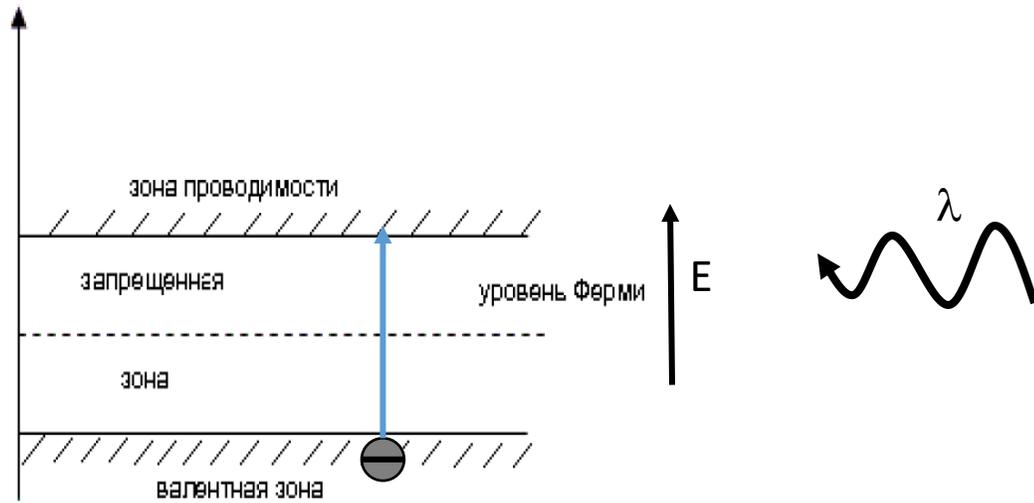
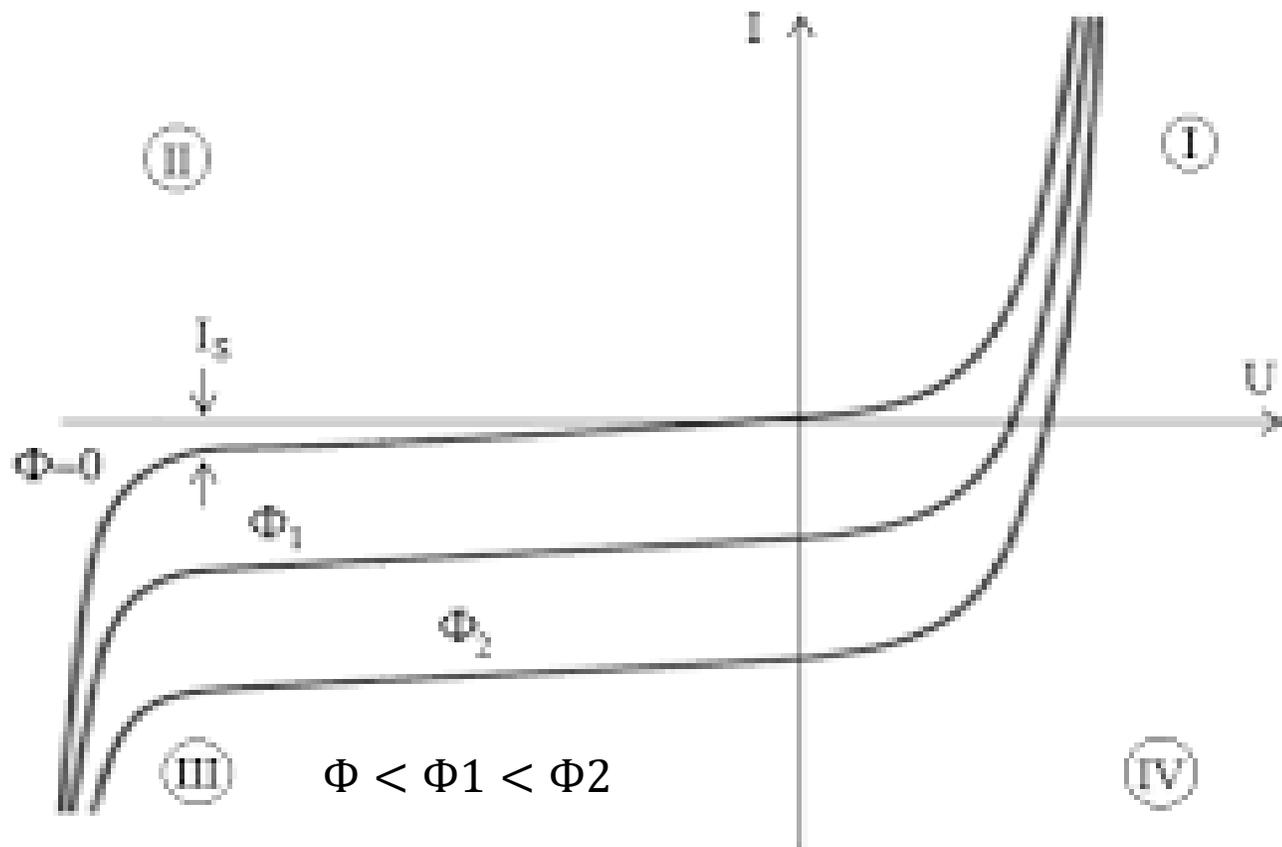
Для постоянного напряжения смещения ток имеет два крайних значения: максимум **P** (I_P, U_P) и минимум **V** (I_V, U_V). При низких напряжениях, близких к **UV**, постоянный ток обеспечивается туннельным эффектом, а при высоких постоянных напряжениях постоянный ток экспоненциально увеличивается с приложенным напряжением за счет диффузии носителей. На характеристике наблюдается область отрицательного дифференциального сопротивления, важного свойства туннельного диода.



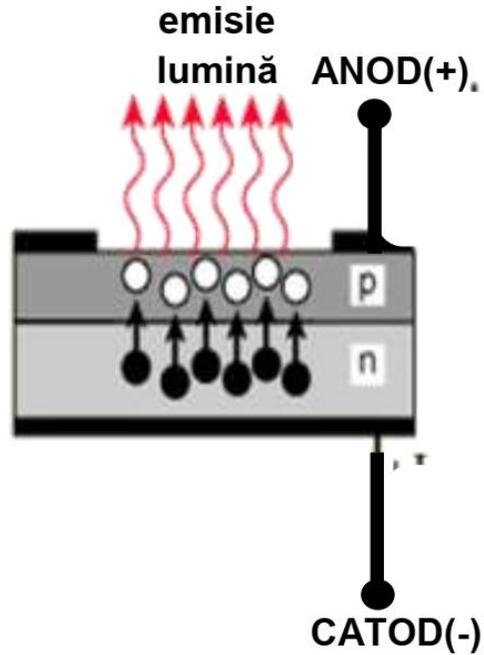
Фотодиод - это оптоэлектронное устройство, состоящее из светочувствительного р-п перехода, работающего в обратной полярности. Капсула фотодиода имеет прозрачную щель в виде плоского окна или линзы, через которую свет попадает в р-п переход.



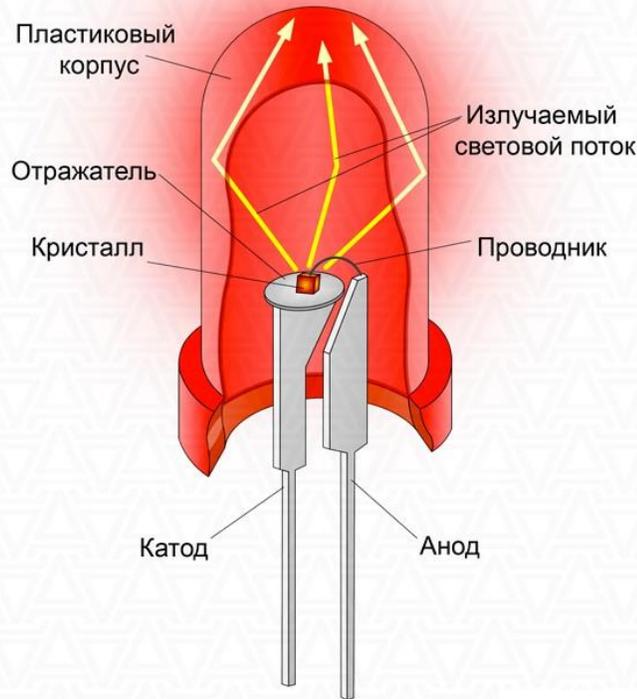
За счет обратной поляризации фотодиода эта область углубляется и позволяет электрическому току, создаваемому световым излучением, проходить через PN переход фотодиода. Когда свет поглощается в активной области фотодиода, пара электрон-дырочных носителей генерируется в обедненной области. Эта пара отделена от электрического поля, создаваемого в обедненной области, обратной поляризацией фотодиода, электронами, проходящими в области **N**, и дырками в области **P**. Ток через диод увеличивается пропорционально интенсивности света. Когда переход не горит, ток почти несущественен и называется темновым током (I_D).



LED (Light Emitting Diode) – это диод, который имеет свойство излучать свет при прямом смещении.

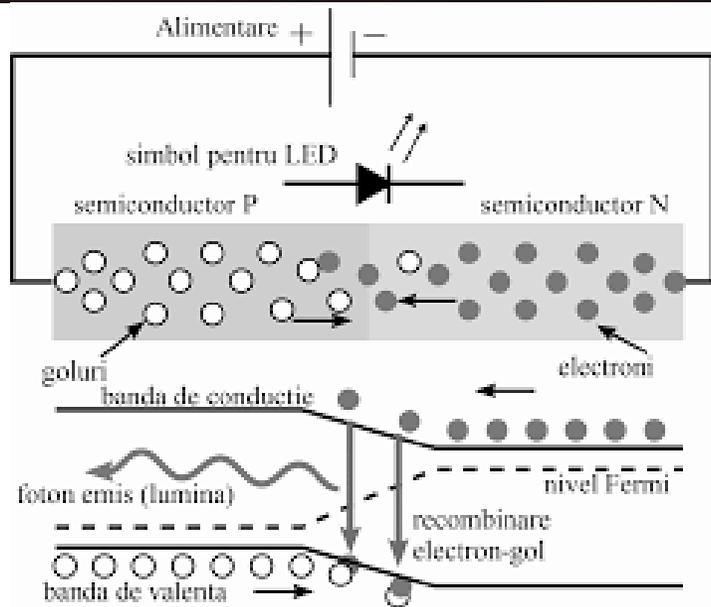
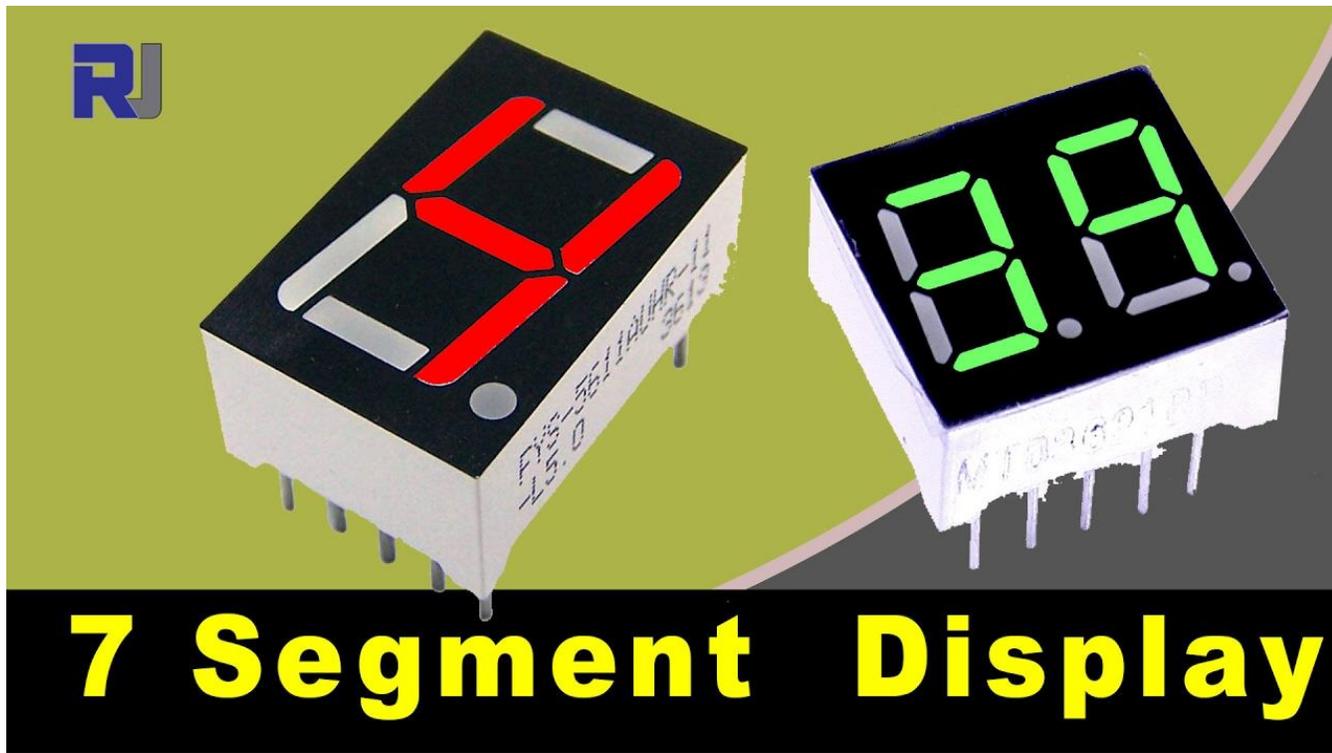


Структура DIP светодиодов



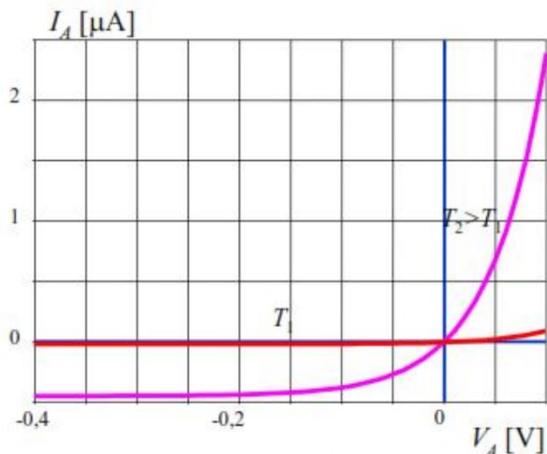
- **красный, инфракрасный** - AlGaAs (алюминий - галлий - мышьяк);
- **зеленый** - AlGaP (Алюминий - Галлий - Фосфор);
- **красно-оранжевый, оранжевый, желтый, зеленый** - AlGaInP (Алюминий - Галлий - Индий-Фосфор);
- **красный, красно-оранжевый, оранжевый, желтый** - GaAsP (Галлий - Мышьяк - Фосфор);
- **красный, желтый, зеленый** - GaP (Галлий - Фосфор);
- **зеленый, изумрудно-зеленый, синий** - GaN (нитрид галлия);
- **ультрафиолетовый, сине-зеленый, синий** - InGaN (нитрид индия-галлия);
- **синий** - ZnSe (цинк-селен);
- **Ультрафиолет** - алмаз (C) (углерод);
- **от ближнего ультрафиолета до дальнего ультрафиолета** - AlN, AlGaN (нитриды Al, Ga)

Благодаря прямой поляризации PN-перехода барьер, создаваемый обедненной областью носителей, разрушается, электроны из N-части притягиваются к положительному выводу источника питания, а промежутки от P-части притягиваются к отрицательному выводу источника питания. И электроны, и пустоты достигают области, обедненной носителями, где они рекомбинируют и выделяют энергию в виде тепла и света. В светодиодах, по своей конструкции, большинство комбинаций электронов и пустот выделяют фотоны в виде света в видимом спектре. Этот процесс называется электролюминесценцией.



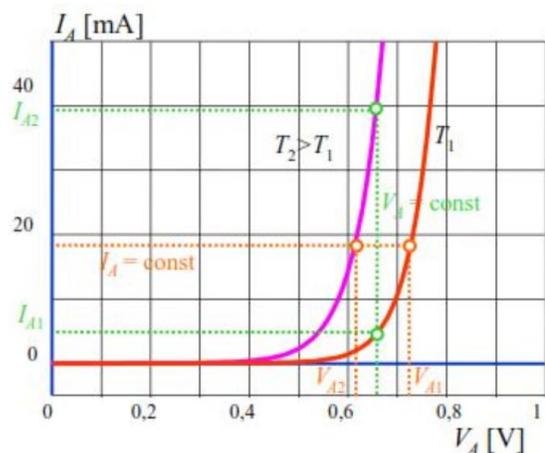
Температурная зависимость

В случае обратной полярности ток насыщения имеет очень низкое значение и создается неосновными носителями нагрузки. Этот ток в первую очередь зависит от температуры перехода, а не от напряжения обратного смещения. С увеличением температуры увеличивается и сила тока. Из-за экспоненциальной зависимости температурного тока обратный ток удваивается при увеличении температуры на 6°C в случае Si и на 9°C в случае Ge.



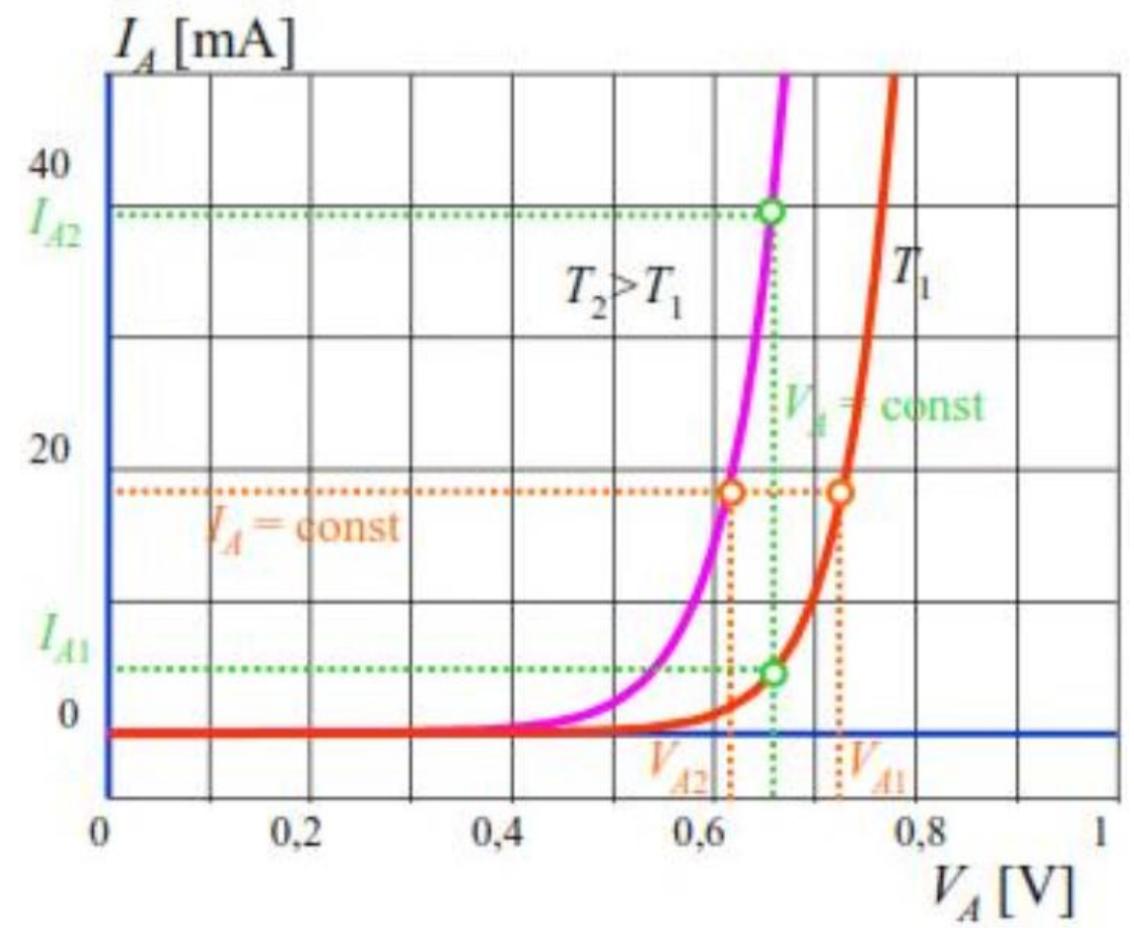
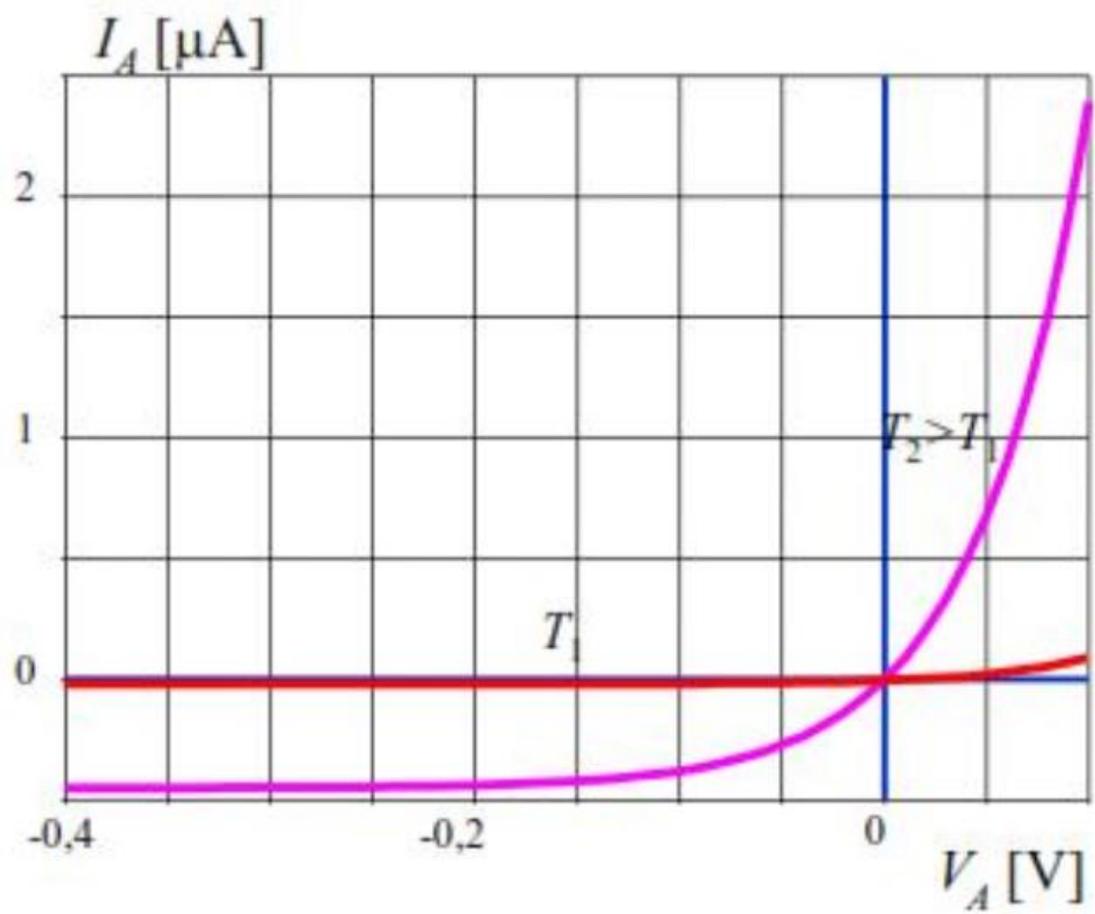
$$Si: \frac{I_S(T_2)}{I_S(T_1)} \approx 2^{\frac{T_2 - T_1}{6}} \quad Ge: \frac{I_S(T_2)}{I_S(T_1)} \approx 2^{\frac{T_2 - T_1}{9}}$$

В случае прямой полярности мы обнаруживаем то же явление: повышение температуры приводит к увеличению пар электронов-дырок, тем самым увеличивая их проводимость. В результате ток через диод увеличивается с ростом температуры.

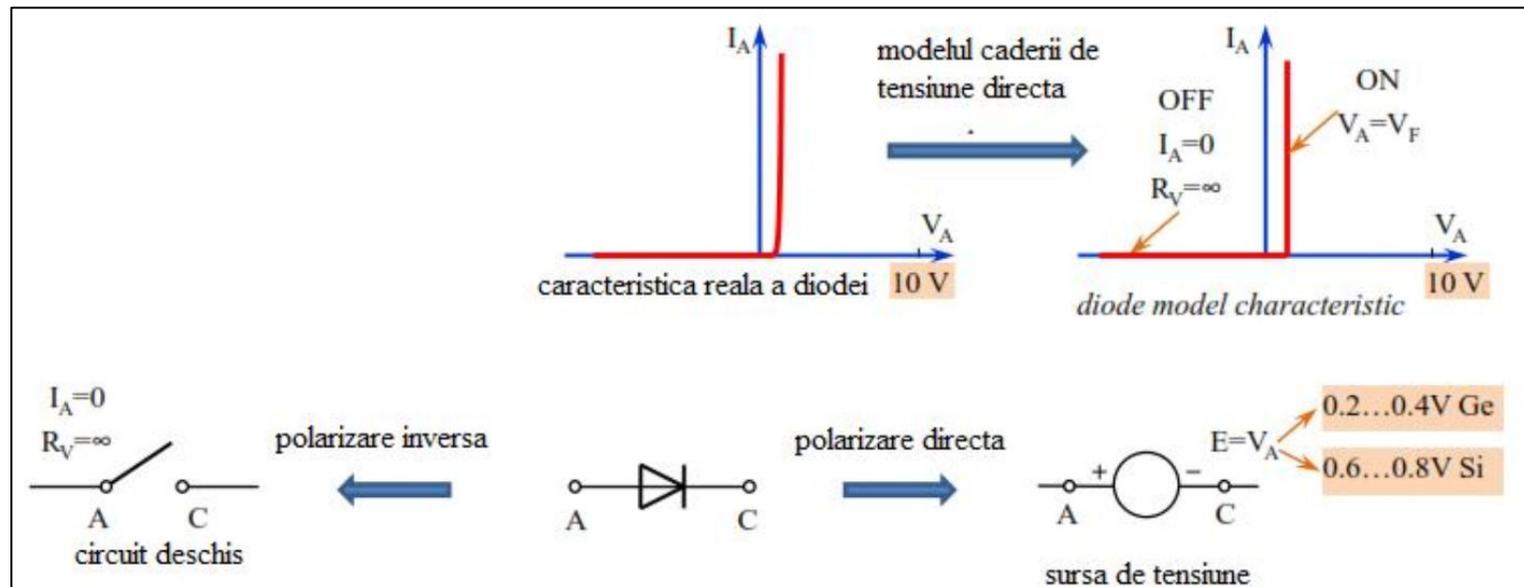
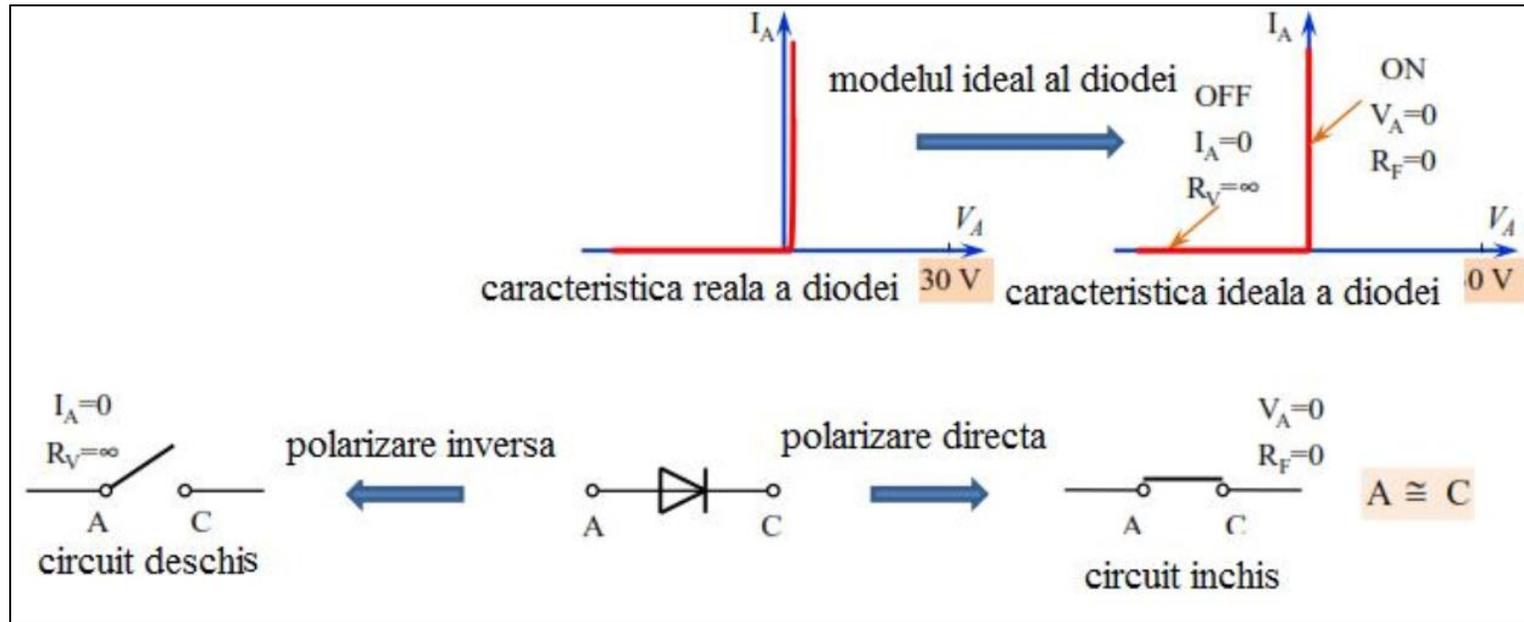


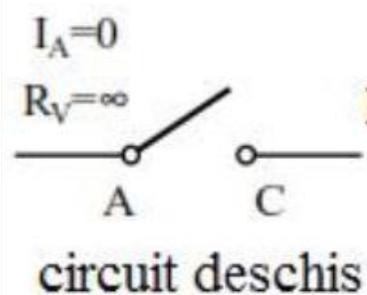
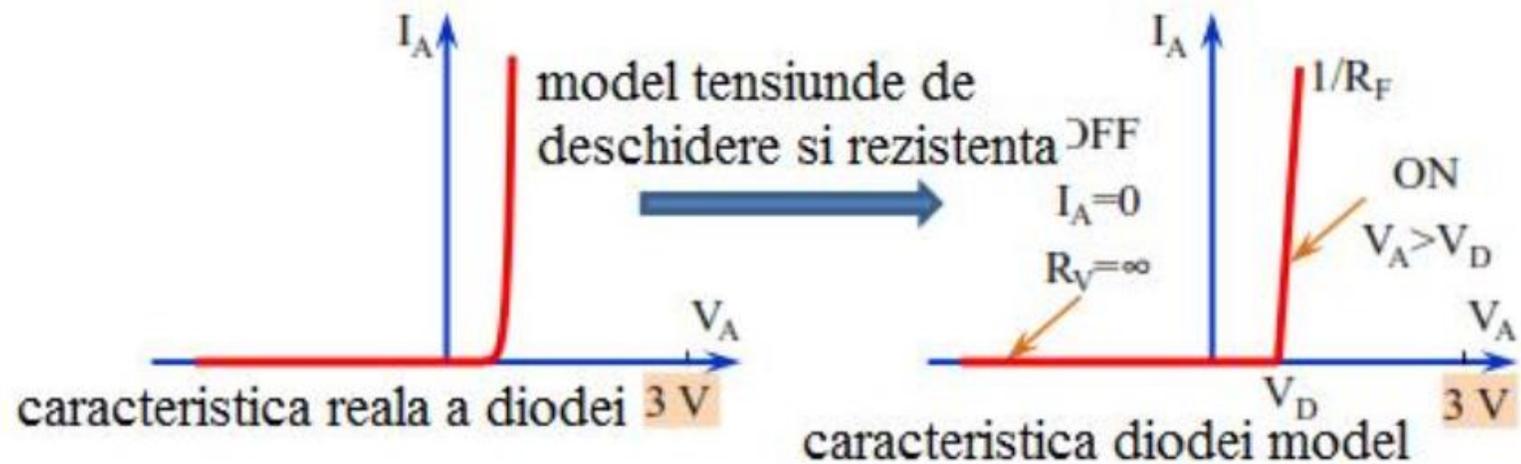
Если температура при заданном значении напряжения будет высокой, ток увеличится. Чтобы вернуть ток к исходному значению, необходимо уменьшить напряжение. При комнатной температуре в случае диодов Si и Ge температурный коэффициент равен:

$$dV_A / dt = -2mV / ^\circ C \big|_{I_A = \text{const}} t$$

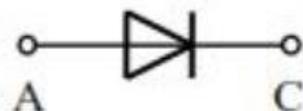


Идеальную модель диода можно использовать в схемах, в которых мы находим порядковое напряжение в десятки вольт. Эта идеальная модель не учитывает влияние потенциального барьера, внутреннего сопротивления или других параметров. Но во многих случаях это довольно точно.





polarizare inversa



polarizare directa

