



ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ТРАНСПОРТНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Разработчик: к.т.н., доцент Пузаков А.В., кафедра ТЭРА, ОГУ

Содержание раздела

1. [Полупроводниковые материалы](#)
2. [Полупроводниковые резисторы](#)
3. [Электронно-дырочный переход](#)
4. [Полупроводниковые диоды](#)
5. [Биполярные транзисторы](#)
6. [Полевые транзисторы](#)
7. [Тиристоры](#)
8. [Оптоэлектронные приборы](#)
9. [Заключение](#)
10. [Вопросы для самоконтроля](#)
11. [Литература по разделу](#)

Требования к результатам обучения по дисциплине

В результате изучения лекции обучающийся должен:

знать: (ПК-3)

- основные понятия и определения в области полупроводниковых приборов;
- принцип работы, параметры и характеристики полупроводниковых приборов;
- принципы измерения и анализа параметров полупроводниковых приборов;

уметь: (ПК-3)

- классифицировать полупроводниковые приборы по различным признакам;

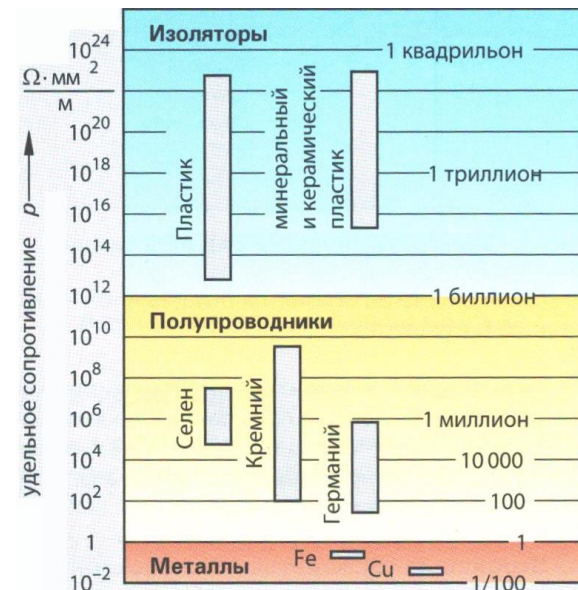
Полупроводниковые материалы

Полупроводниковые материалы по своему удельному электрическому сопротивлению ρ занимают место между проводниками и диэлектриками.

К полупроводниковым материалам относятся кремний **Si**, германий **Ge**, селен **Se**, углерод **C**, оксид титана **TiO** и другие.

Для снижения удельного сопротивления полупроводников и придания определенного типа проводимости: **электронной** (при преобладании свободных электронов) или **дырочной** в них вносят примеси (*легирование*).

В качестве примесей применяют пятивалентные элементы (*P, Sb, As*), которые создают **электронную** проводимость и называются **донорными** примесями и трехвалентные элементы (*B, In, Al*), создающие **дырочную** проводимость, называемые **акцепторными** примесями.

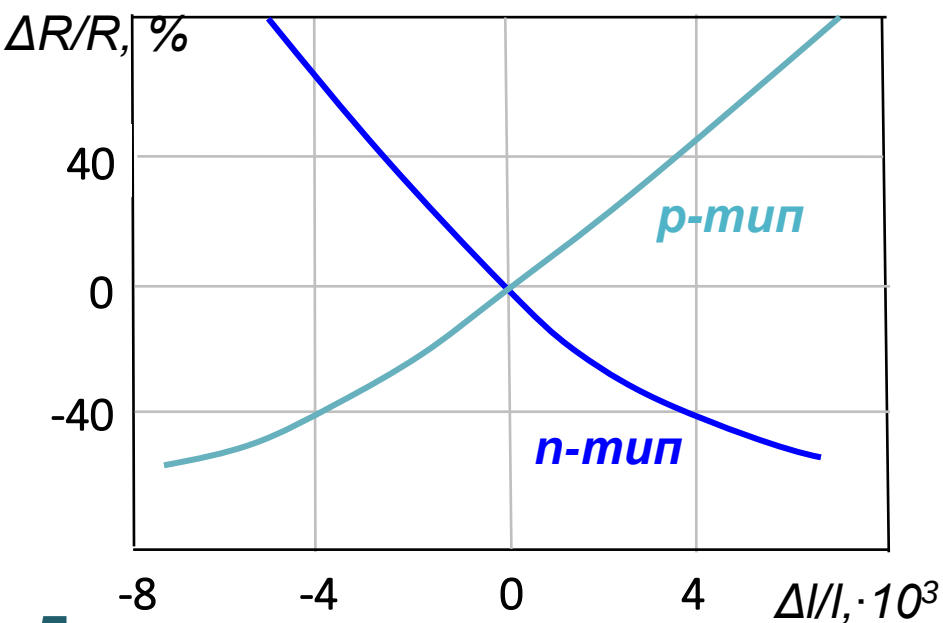
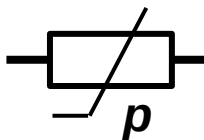


Полупроводниковые резисторы

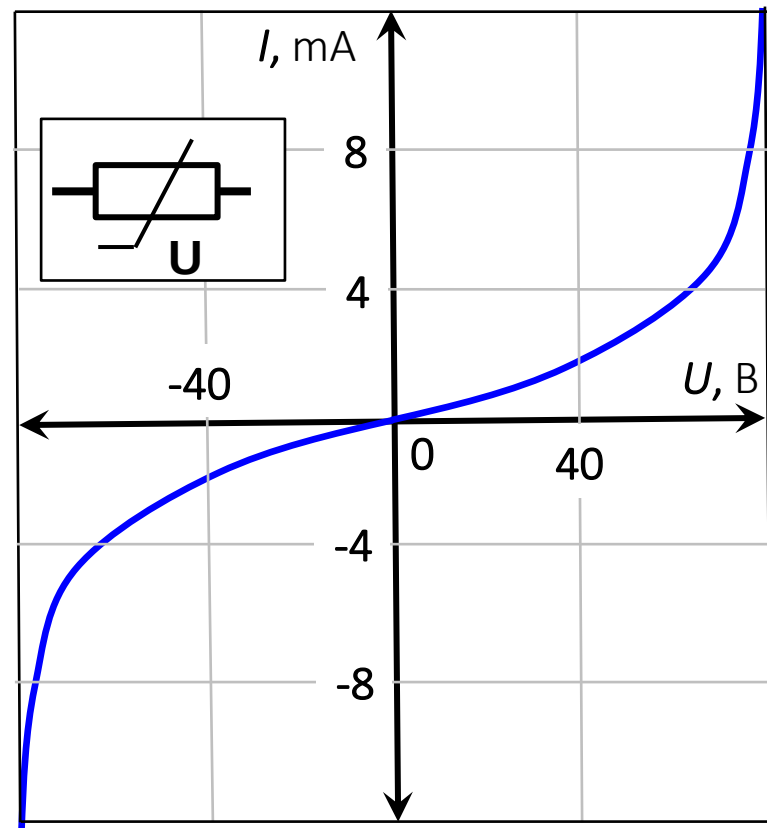
Полупроводниковым **резистором** называют полупроводниковый прибор с двумя выводами, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от напряжения, температуры, освещенности и других управляющих параметров.

Тензорезистор –

полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от механических деформаций. Изготавливают из кремния.



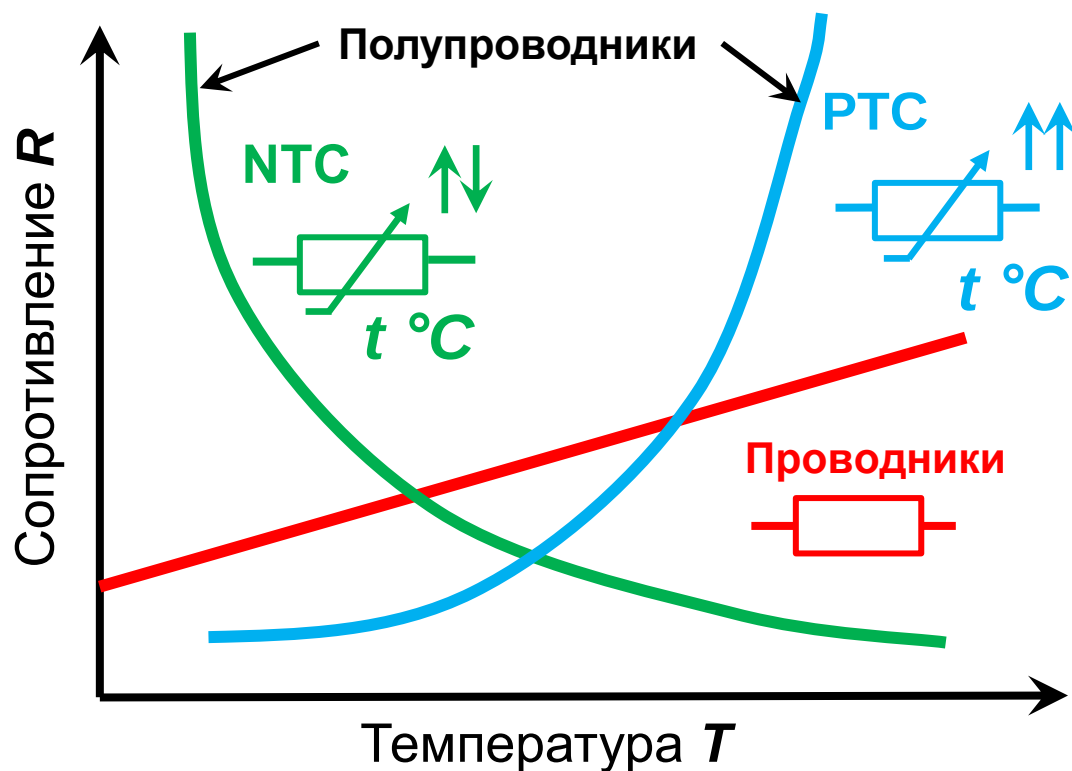
Варистор – полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от приложенного напряжения. Изготавливают из карбида кремния **SiC**.



Полупроводниковые резисторы

Тензорезистор – полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от температуры. Различают два типа терморезисторов: **термистор**, сопротивление которого с ростом температуры падает, и **позистор**, у которого сопротивление с повышением температуры возрастает (изготавливают из титанат-бариевой керамики).

Основным параметром терморезистора является **температурный коэффициент сопротивления**, который выражает изменение сопротивления при изменении температуры. Может быть положительным (positive temperature coefficient, **PTC**) и отрицательным (negative temperature coefficient, **NTC**).



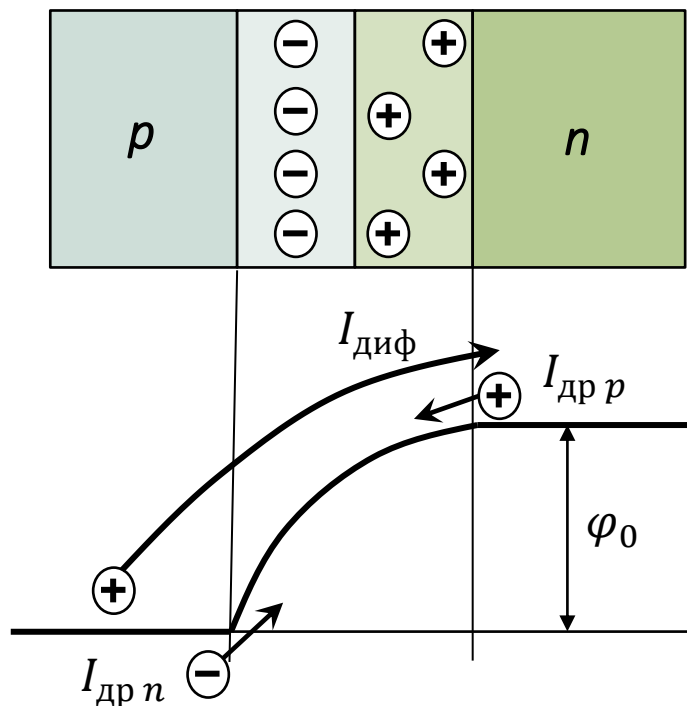
Электронно-дырочный переход

Область полупроводника, расположенная вблизи границы между **p** и **n** слоями называется электронно-дырочным переходом или **p-n** переходом.

Из-за разности концентраций основных носителей заряда в **p** и **n** слоях происходит процесс диффузии (диффузионный ток).

Пройдя границу **p-n** перехода носители **рекомбинируют** с основными носителями другого слоя. Вблизи границы **p-n** перехода возникает область, обедненная подвижными основными носителями зарядов и обладающая высоким сопротивлением (**запирающий слой**).

Этот слой создает потенциальный барьер φ_0 , который вызывает появление дрейфового тока. При отсутствии внешнего электрического поля



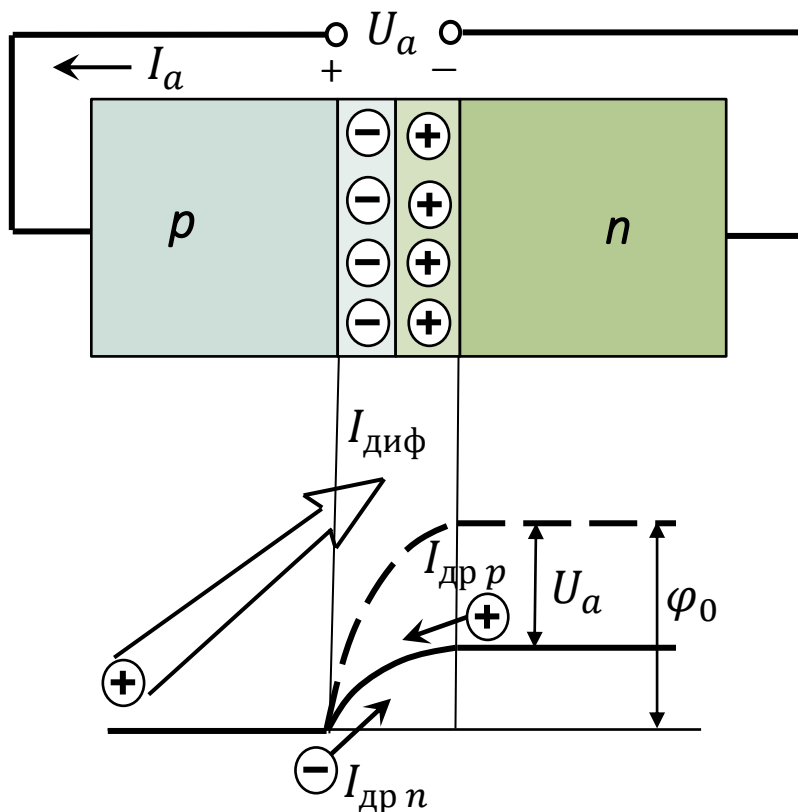
$$I_a = I_{диф} - I_{др} = 0$$

Электронно-дырочный переход

Если к ***p-n*** переходу приложить прямое напряжение U_a (плюс к ***p*** слою, минус – к ***n*** слою), то оно окажется приложенным к запирающему слою. Из-за встречного направления внутреннего и внешнего полей потенциальный барьер снижается $\varphi = \varphi_0 - U_a$

В результате увеличивается диффузионный ток через переход. Дрейфовый ток от приложенного напряжения *не зависит*.

Через переход начинает протекать **прямой ток** $I_a = I_{\text{диф}} - I_{\text{др}} > 0$



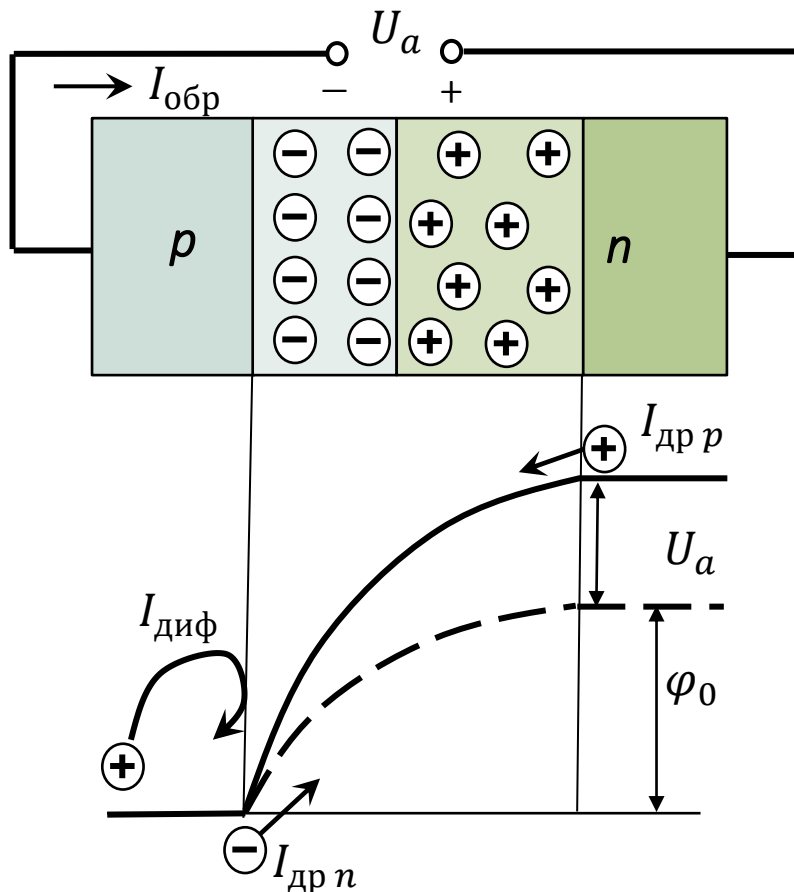
Потенциальный барьер составляет доли вольта и поэтому для протекания большого прямого тока достаточно приложить небольшое прямое напряжение.

Электронно-дырочный переход

Обратное включение ***p-n*** перехода приводит к увеличению запирающего слоя и росту потенциального барьера $\varphi = \varphi_0 + U_a$

Диффузия носителей становится практически невозможной, поэтому ток через переход называют **обратным током** $I_{\text{обр}} = I_{\text{диф}} - I_{\text{др}} = -I_{\text{др}}$

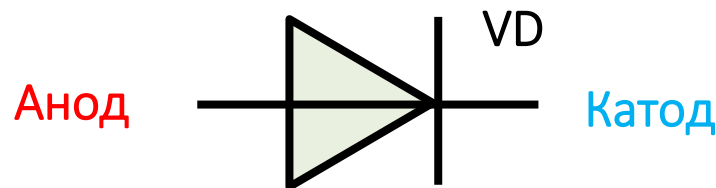
Обратный ток во много раз меньше прямого, так как вызывается неосновными носителями.



Соотношение прямого и обратного токов ***p-n*** перехода позволяет говорить об однонаправленной проводимости ***p-n*** переход, то есть о его выпрямляющем действии.

Диод (от греч. — два и -од — от окончания -од термина электрод; букв. «двухэлектродный») — электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока.

Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют **анодом**, подключаемый к отрицательному полюсу — **катодом**.



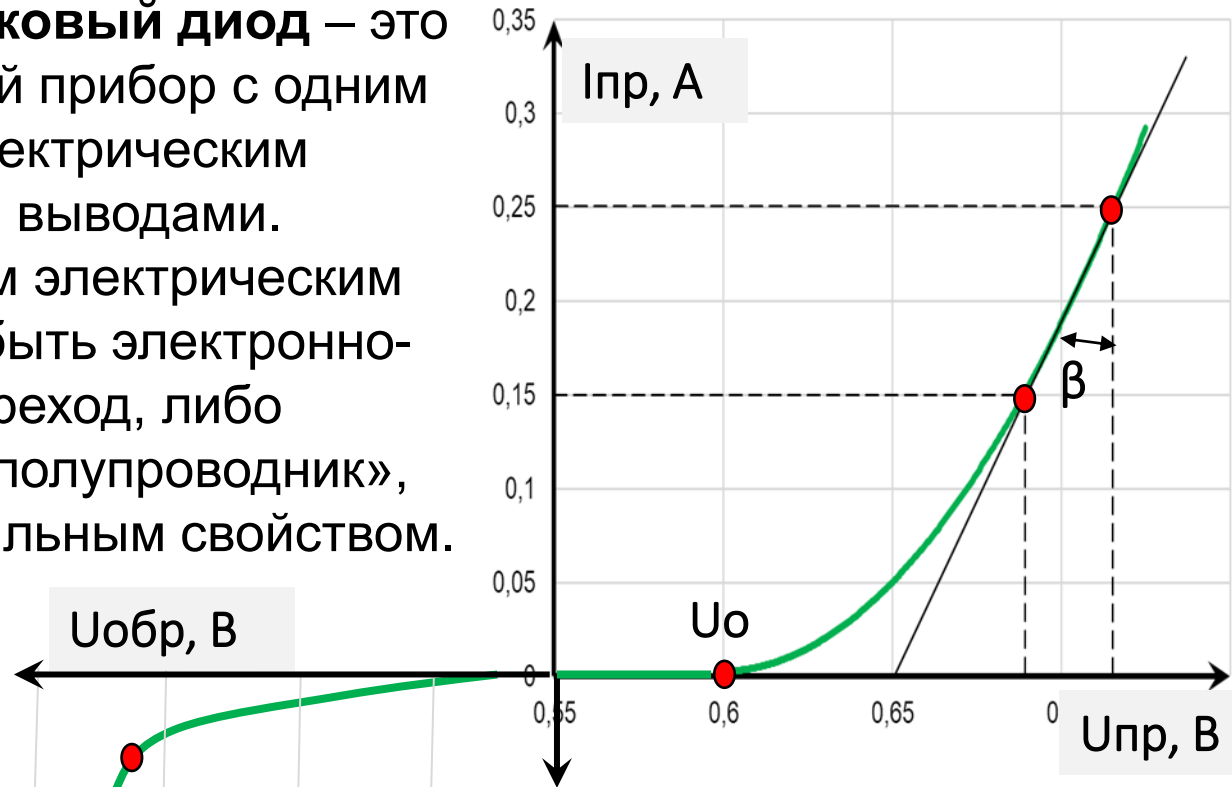
Классификация диодов

- по типу полупроводникового материала — кремниевые, германиевые, из арсенида галлия;
- по назначению — выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы и др.;
- по технологии изготовления электронно-дырочного перехода — сплавные, диффузионные и др.;
- по типу электронно-дырочного перехода — точечные и плоскостные.

Вольтамперная характеристика диода

Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя выводами.

Выпрямляющим электрическим переходом может быть электронно-дырочный (p–n) переход, либо контакт «металл – полупроводник», обладающий вентильным свойством.



При превышении прямым напряжением величины потенциального барьера U_0 , через диод начинает протекать прямой ток, величина которого ограничена сопротивлением диода.

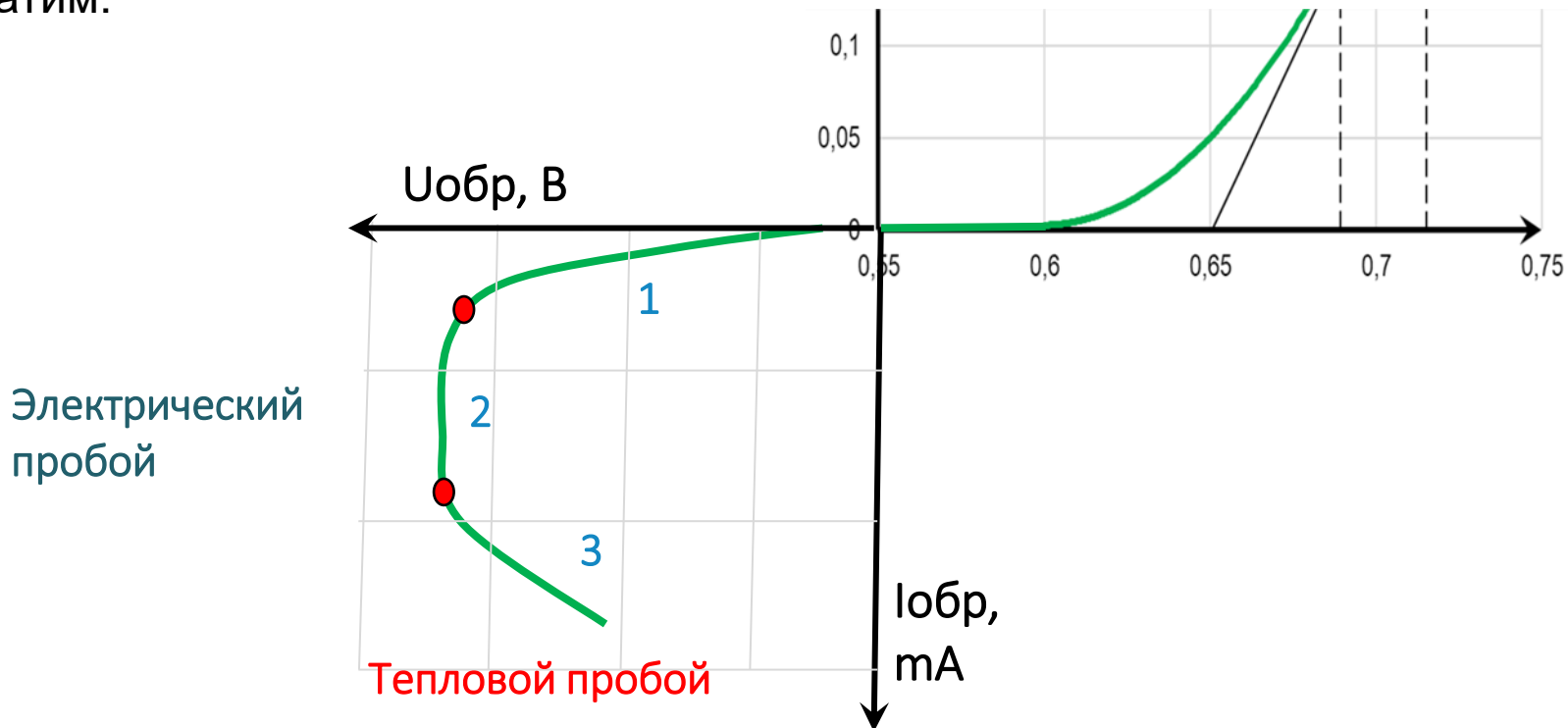
Вольтамперная характеристика диода

При включении диода в обратном направлении через него протекает незначительный обратный ток (участок **1**).

На участке **2** происходит **электрический пробой** диода (лавинный или туннельный) – резкое увеличение тока при неизменном напряжении.

Участок **3** – зона **теплового пробоя** – увеличение тока вследствие нагрева кристалла полупроводника.

Электрический пробой является обратимым, тепловой пробой – необратим.



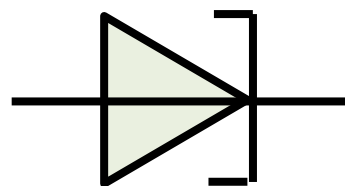
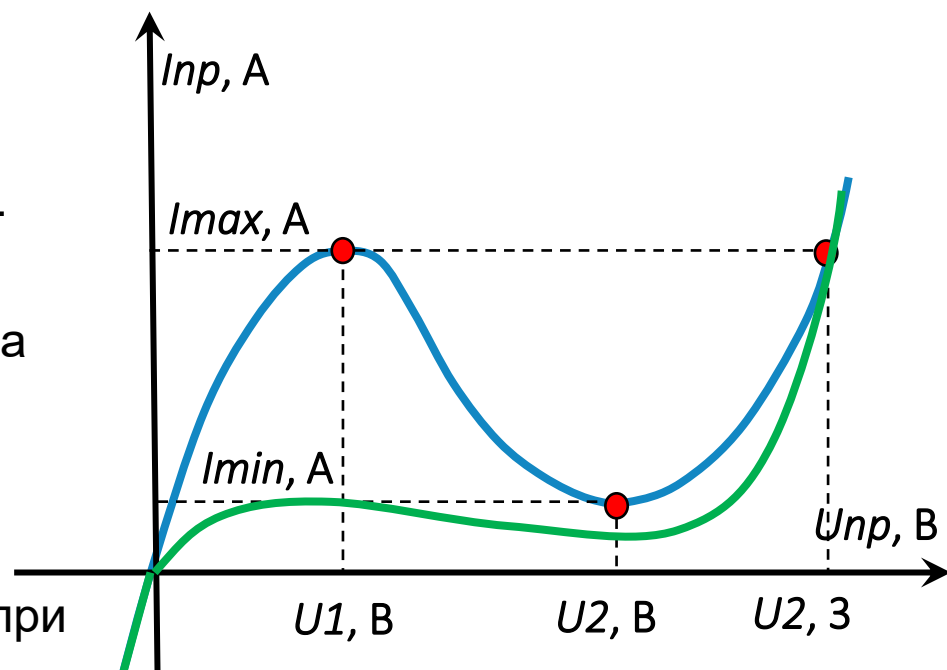
Туннельные диоды

Туннельный диод – это полупроводниковый диод, содержащий *p-n* переход с очень малой толщиной запирающего слоя (потенциального барьера), в котором **туннельный эффект** приводит к появлению на вольт-амперной характеристике при прямом напряжении участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

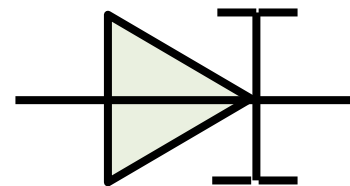
Обращённый диод – диод, вольт-амперная характеристика которого обусловлена туннельным эффектом в области *p-n* перехода.

Прямая ветвь вольт-амперной характеристики обращённого диода аналогична прямой ветви ВАХ выпрямительного диода с *p-n* переходом.

Обратные токи у них велики уже при малых обратных напряжениях (десятки милливольт) и значительно превосходят прямые токи.



Туннельный диод

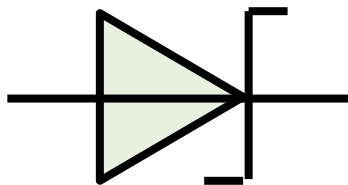


Обращенный диод

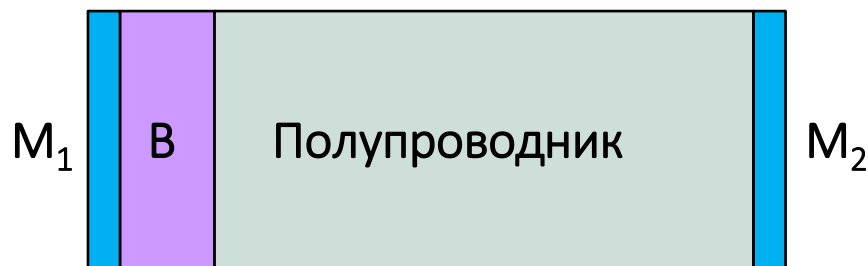
Диоды Шоттки

Основу структуры диода Шоттки составляет контакт «металл – полупроводник», который возникает в месте соприкосновения полупроводникового кристалла n- или p-типа проводимости с металлами.

Переходный слой, в котором существует контактное электрическое поле при контакте «металл – полупроводник», называется переходом Шоттки, по имени немецкого ученого **В. Шоттки**. Диоды Шоттки изготавливаются обычно на основе кремния Si или арсенида галлия **GaAs**.



Условное графическое обозначение диода Шоттки

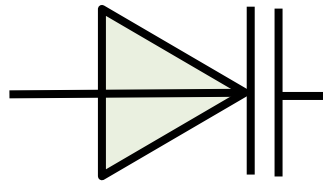


Н – невыпрямляющий электрический (омический) переход
В – выпрямляющий электрический переход;
M1, M2 – металл.

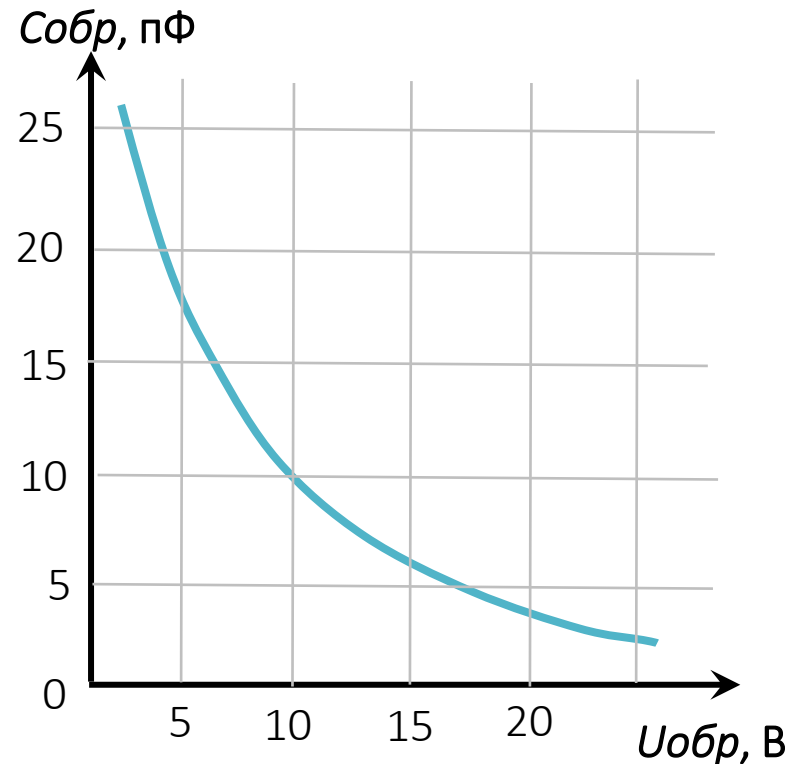
Варикапы

Варикап – это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости ***p-n*** перехода от обратного напряжения. Варикапы нельзя включать под напряжение прямого смещения, т.к. при этом сопротивление ***p-n*** перехода очень мало и ёмкость через него шунтируется.

Варикапы используются в качестве электрически управляемых конденсаторов переменной ёмкости для настройки резонансных контуров генераторов, для автоматической настройки частоты, для умножения частоты и др.



Условное графическое обозначение варикапа



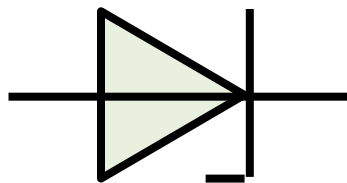
Вольтфарадная характеристика варикапа

Стабилитрон (диод Зенера) – это полупроводниковый диод, изготовленный из слабо легированного кремния, который применяется для стабилизации постоянного напряжения.

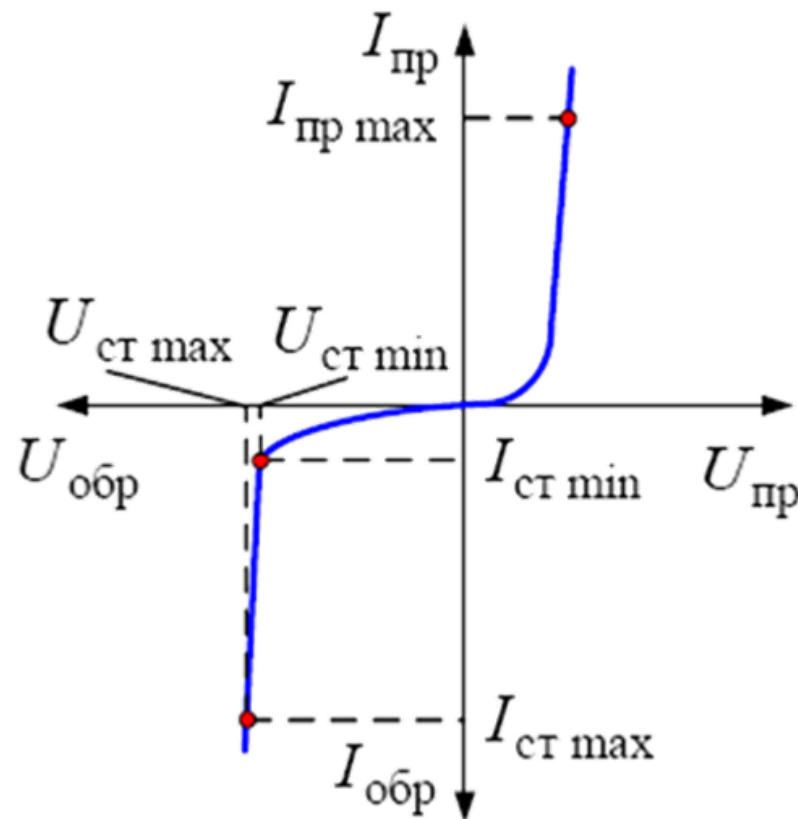
ВАХ стабилитрона при обратном смещении имеет участок малой зависимости напряжения от тока протекающего через него.

Этот участок возникает за счёт электрического пробоя.

Стабилитрон всегда включается в цепь в обратном направлении, при прямом включении он работает как обычный диод.



Условное графическое обозначение стабилитрона



Вольтамперная характеристика стабилитрона

Транзистором называется полупроводниковый преобразовательный прибор, имеющий не менее трёх выводов и способный усиливать мощность.

Классификация транзисторов производится по следующим признакам:

По материалу полупроводника – обычно германиевые или кремниевые;

По типу проводимости областей (только биполярные транзисторы): с прямой проводимостью (p-n-p - структура) или с обратной проводимостью (n-p-n -структура);

По принципу действия транзисторы подразделяются на биполярные и полевые (униполярные);

По частотным свойствам;

НЧ (<3 МГц);

СрЧ ($3 \div 30$ МГц);

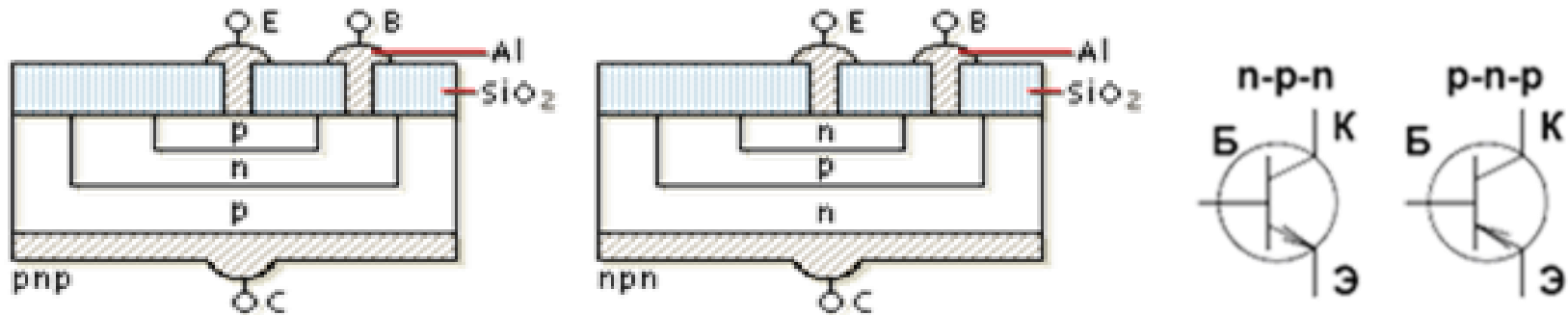
ВЧ и СВЧ (>30 МГц);

По мощности. Маломощные транзисторы ММ ($<0,3$ Вт), средней мощности СрМ ($0,3 \div 3$ Вт), большой мощности (>3 Вт).

Устройство биполярных транзисторов

Основой биполярного транзистора является кристалл полупроводника р-типа или n-типа проводимости, который также как и вывод от него называется базой.

Диффузией примеси или сплавлением с двух сторон от базы образуются области с противоположным типом проводимости, нежели база.



Область, имеющая *большую* площадь р-п перехода, и вывод от неё называют **коллектором**.

Область, имеющая *меньшую* площадь р-п перехода, и вывод от неё называют **эмиттером**.

Р-п переход между коллектором и базой называют коллекторным переходом, а между эмиттером и базой — эмиттерным переходом.

Устройство биполярных транзисторов

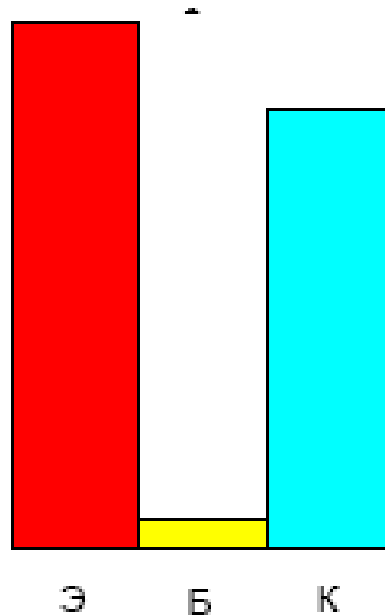
Направление стрелки в транзисторе показывает направление протекающего тока.

Основной особенностью устройства биполярных транзисторов является неравномерность концентрации основных носителей зарядов в эмиттере, базе и коллекторе.

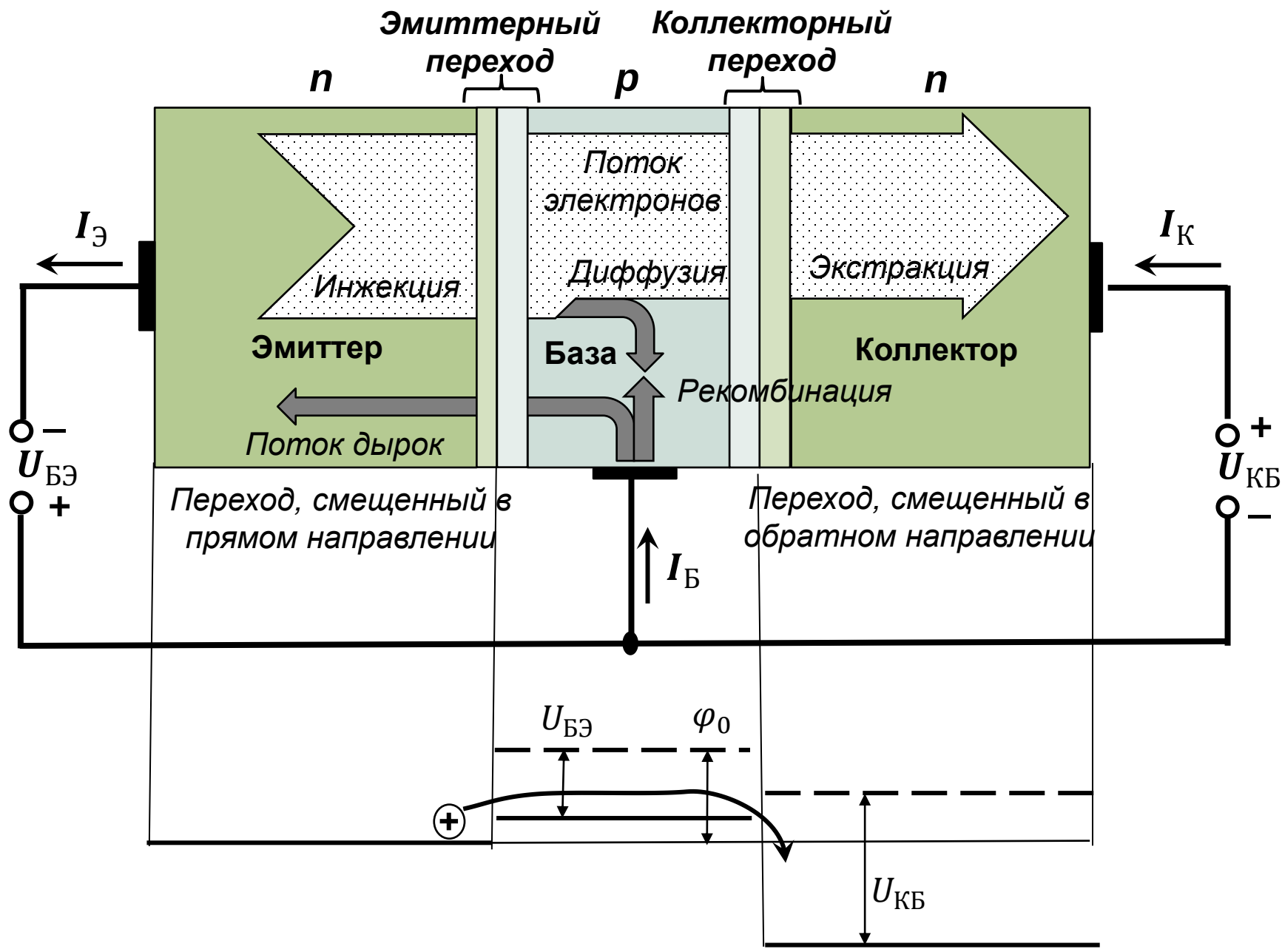
В **эмиттере** концентрация носителей заряда максимальная.

В **коллекторе** – несколько меньше, чем в эмиттере.

В **базе** – во много раз меньше, чем в эмиттере и коллекторе



Принцип действия биполярного транзистора



Принцип действия биполярного транзистора

При отсутствии напряжений ($E_b=0$, $E_k=0$) эмиттерный и коллекторный переход находятся в состоянии равновесия, токи через них равны нулю.

Оба перехода имеют двойной запирающий слой, состоящий из ионов примесей и потенциальный барьер, различный на каждом из переходов (штриховая линия).

Полярность внешних источников выбирается такой, чтобы на эмиттерном переходе было прямое напряжение, а на коллекторном переходе – обратное.

При таком включении источников распределение потенциалов показано сплошной линией.

Потенциальный барьер эмиттерного перехода снижается, коллекторного – увеличивается.

В результате приложения прямого напряжения к эмиттерному переходу начинается **инжекция** дырок из эмиттера в базу. Под действием сил **диффузии** дырки продвигаются вдоль базы к коллектору. Основная часть дырок не участвуют в рекомбинации.

Эти дырки захватываются полем коллекторного перехода, смещенного в обратном направлении (**экстракция**). Ток дырок, попавших из эмиттера в коллектор (90-99%) замыкается через внешнюю цепь.

Небольшая часть дырок рекомбинирует и для восстановления нейтральности базы из внешней цепи в нее поступают электроны.

Усилительные свойства транзистора

Транзистор характеризуется тремя **коэффициентами усиления**:

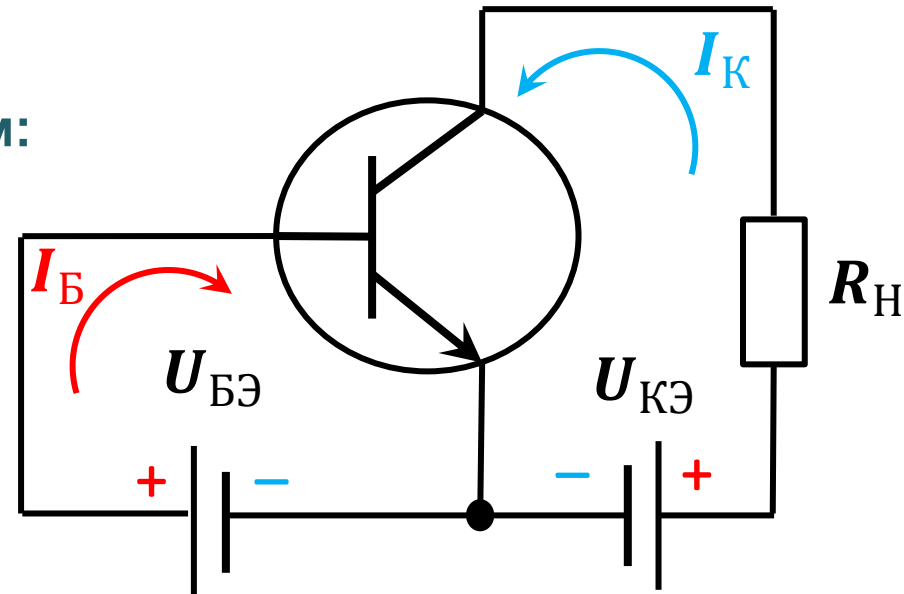
- коэффициент усиления *по току* равен отношению значений выходного и входного тока;
- коэффициент усиления *по напряжению* равен отношению выходного и входного напряжения;
- коэффициент усиления *по мощности* равен произведению коэффициентов усиления по току и напряжению.

Для схемы с общим эмиттером:

$$KI = I_K / I_B = \beta \quad (\text{от } 10 \text{ до } 100)$$

$$KU = \beta \cdot (R_H / R_{вх})$$

$$KP = KI \cdot KU \quad (\text{от } 1000 \text{ до } 10000)$$



Режимы работы транзистора

Нормальный активный режим

Переход эмиттер-база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор-база — в обратном (закрыт) $U_{ЭБ} > 0; U_{КБ} < 0$;

Инверсный активный режим

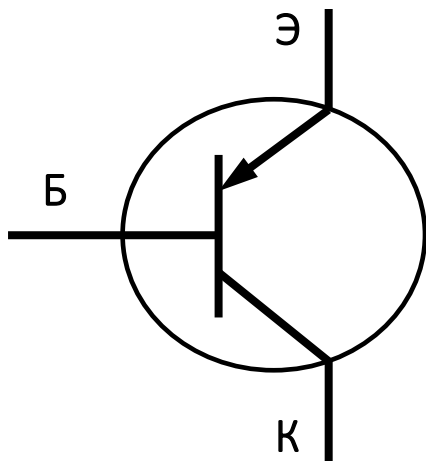
Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое.

Режим насыщения

Оба р-п перехода смещены в прямом направлении (оба открыты).

Режим отсечки

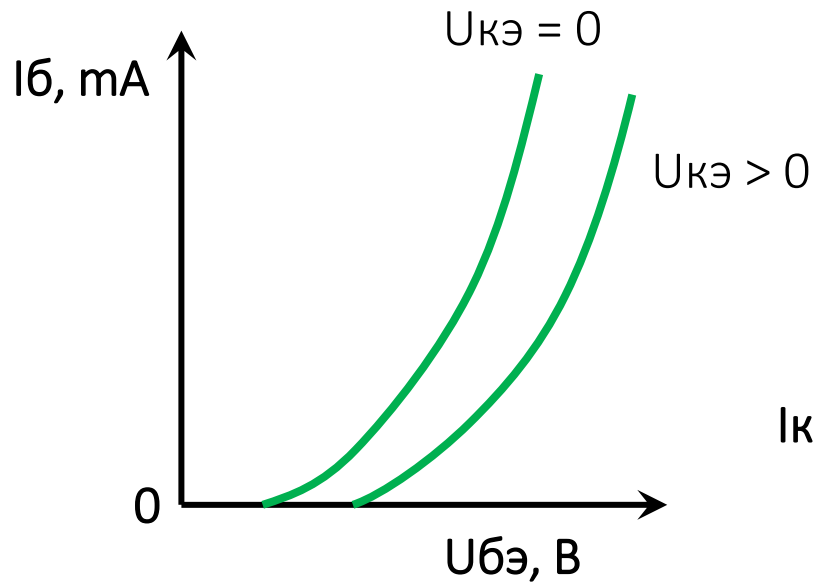
В данном режиме оба р-п перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).



Ключевой режим работы заключается в следующем:

- если напряжение между выводами база и эмиттер равно нулю, то транзистор обладает большим сопротивлением и ток в направлении эмиттер-коллектор не протекает (**транзистор закрыт**)
- если же напряжение база-эмиттер больше нуля, то сопротивление транзистора резко падает, что приводит к появлению тока эмиттер-коллектор (**транзистор открыт**)

Вольтамперные характеристики биполярного транзистора

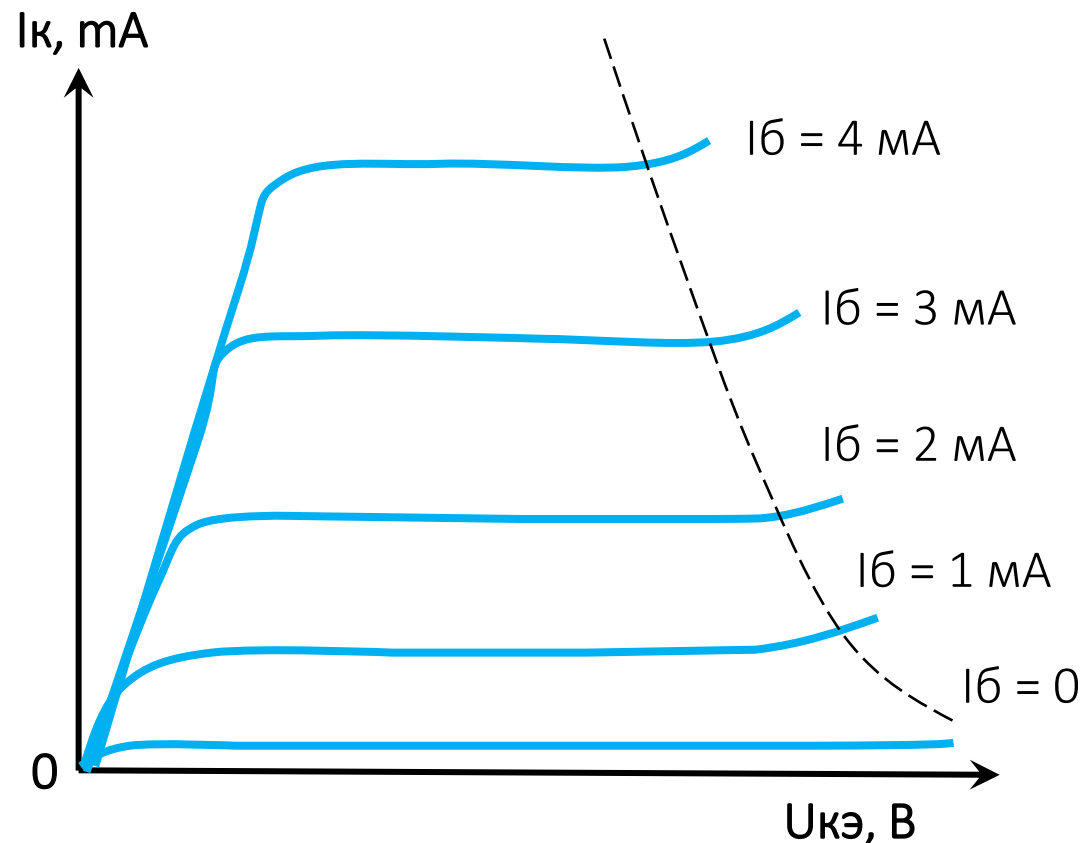


Выходной характеристикой называется зависимость выходного тока транзистора от выходного напряжения при неизменном входном токе

$$I_K = f(U_{КЭ}) \text{ при } I_B = \text{const}$$

Входной характеристикой называется зависимость входного тока транзистора от входного напряжения при неизменном выходном напряжении.

$$I_B = f(U_{БЭ}) \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}$$



Полевые транзисторы

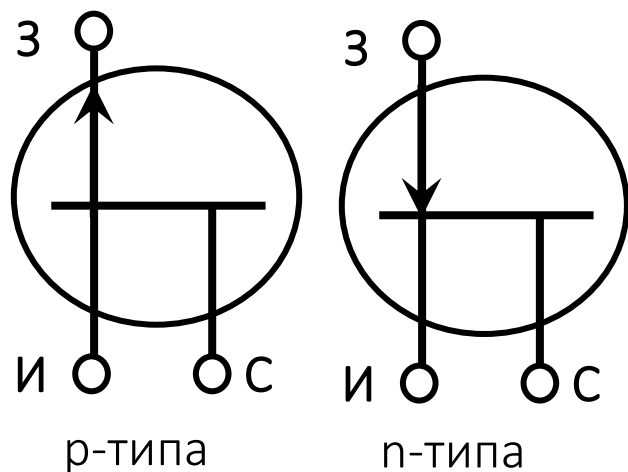
Полевыми транзисторами называют полупроводниковые приборы, в которых управление током, протекающим между двумя электродами осуществляется напряжением, приложенным к третьему электроду.

Их работа основана на протекании только основных носителей зарядов (дырок или электронов).

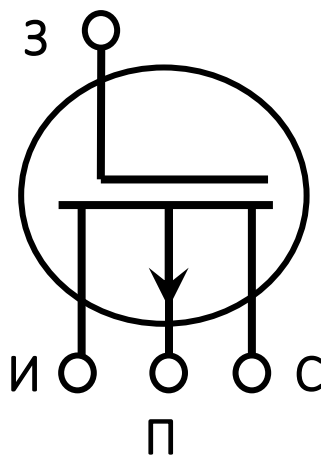
Различают два вида полевых транзисторов:

- **с управляющим p-n переходом;**
- **с изолированным затвором.**

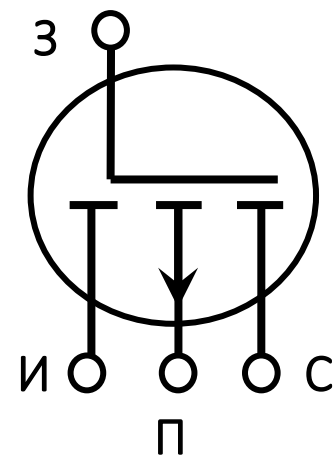
Электрод, через который втекают заряды называется **истоком**, а электрод через который вытекают заряды называется **стоком**. Электрод, к которому приложено напряжение называется **затвором**.



ПТУП



МДП транзистор со
встроенным каналом



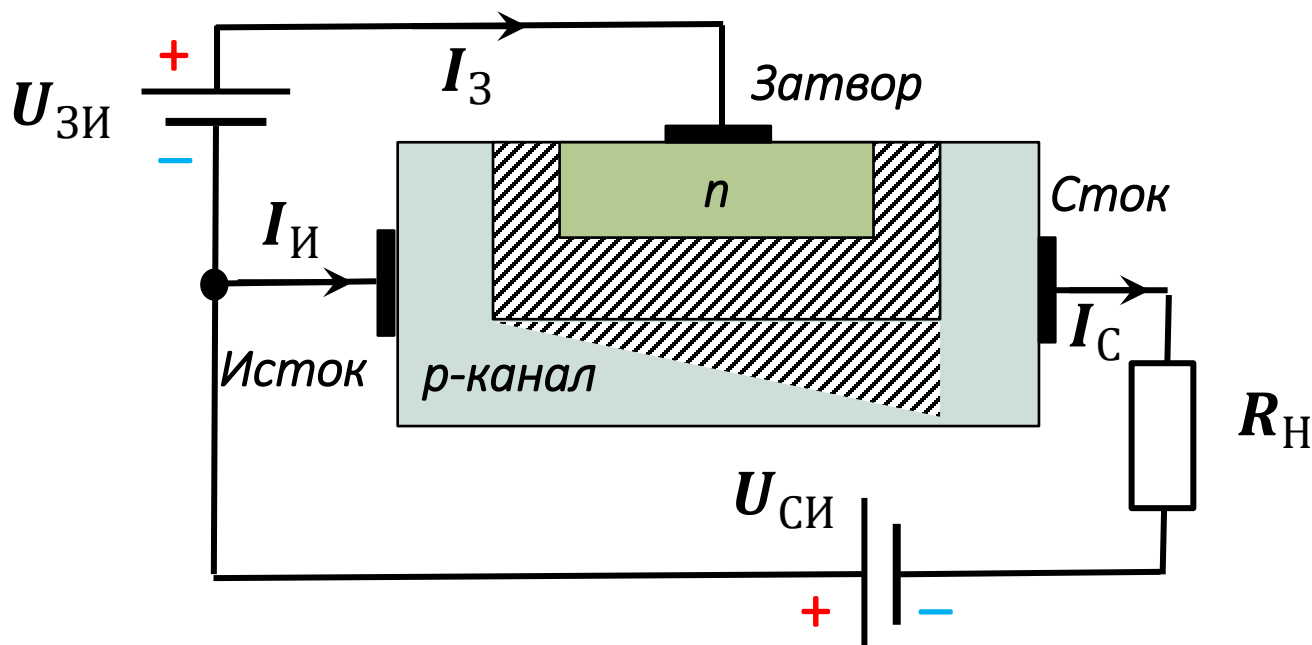
МДП транзистор с
индуцированным каналом

Полевой транзистор с управляющим p - n переходом

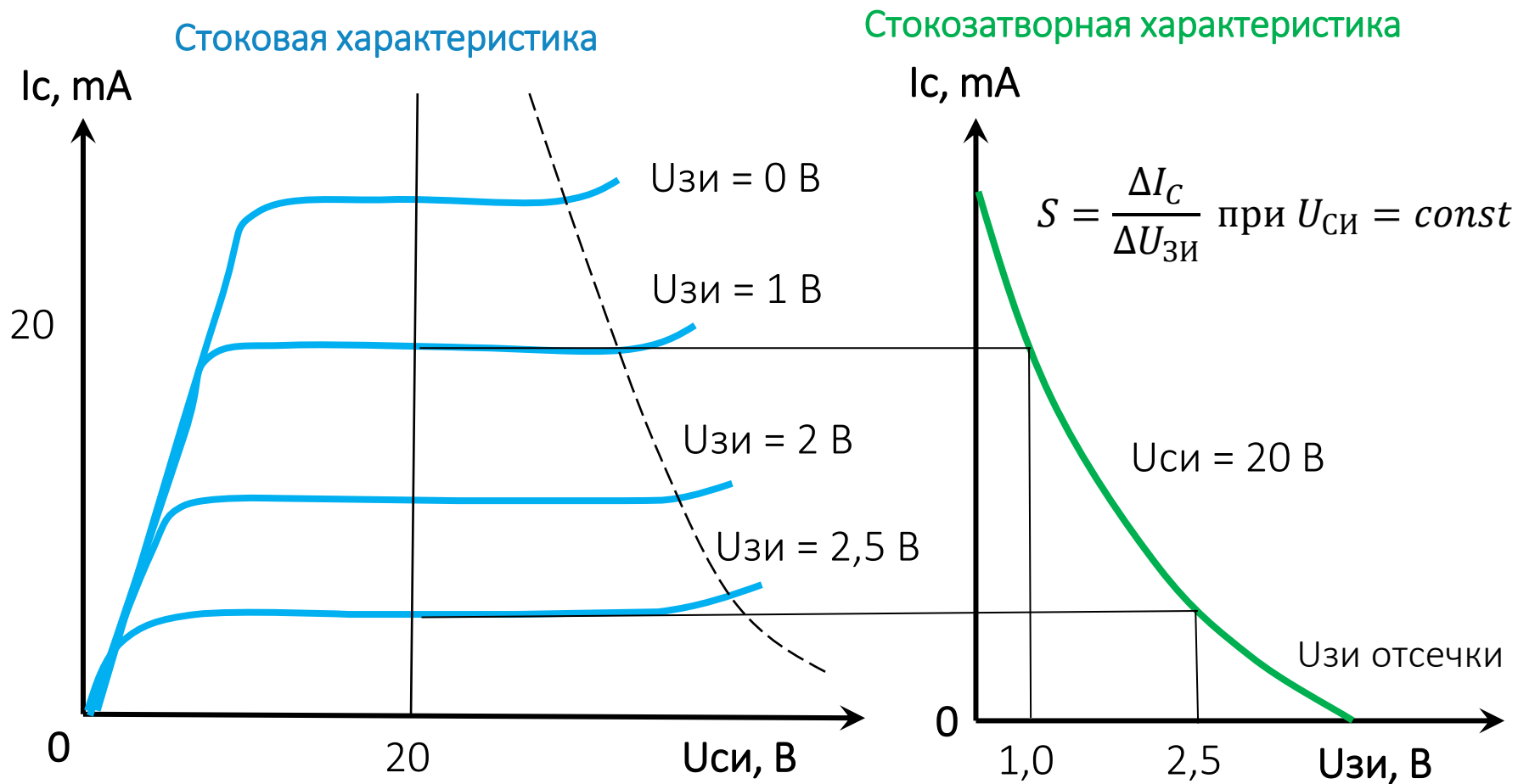
При управляющем напряжении $U_{ЗИ} = 0$ и подключении источника напряжения между стоком и истоком $U_{СИ}$ по каналу течет ток, который зависит от сопротивления канала.

Напряжение $U_{СИ}$ вызывает обратное смещение p - n перехода между каналом p -типа и n -слоем, причем наибольшее обратное напряжение на p - n переходе существует в области, прилегающей к стоку, а вблизи истока переход находится в равновесном состоянии.

При увеличении напряжения $U_{СИ}$ область запирающего слоя будет расширяться, что приводит к сужению проводящего канала. При некотором напряжении $U_{СИ}$ границы p - n перехода смыкаются и рост тока I_C прекращается.



Вольтамперные характеристики ПТУП



При приложении положительного напряжения к затвору $U_{зи} > 0$ **p-n** переход еще сильнее смещается в область обратного напряжения, ширина запирающего слоя увеличивается.

При определенном $U_{зи}$ называемом напряжением отсечки ток стока практически не протекает.

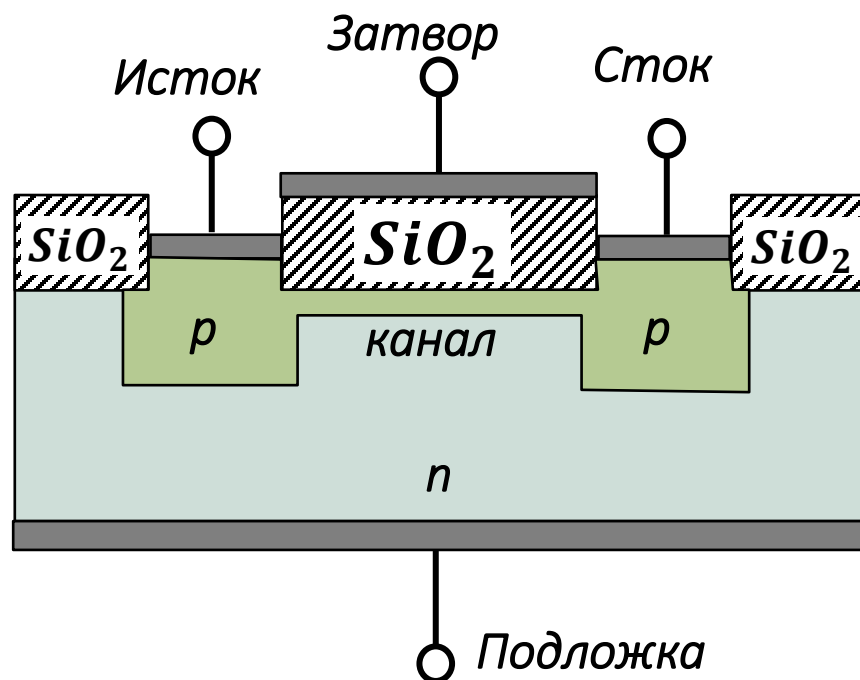
Полевые МДП-транзисторы

Полевые МДП-транзисторы отличаются от транзисторов с управляющим *p-n* переходом тем, что их электрод затвора изолирован от канала слоем диэлектрика.

В качестве диэлектрика чаще всего используют оксид кремния SiO_2 . Поэтому наряду с термином МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) пользуются термином МОП (металл-оксид-полупроводник).

Различают МДП-транзисторы **с индуцированным каналом** и **со встроенным каналом**.

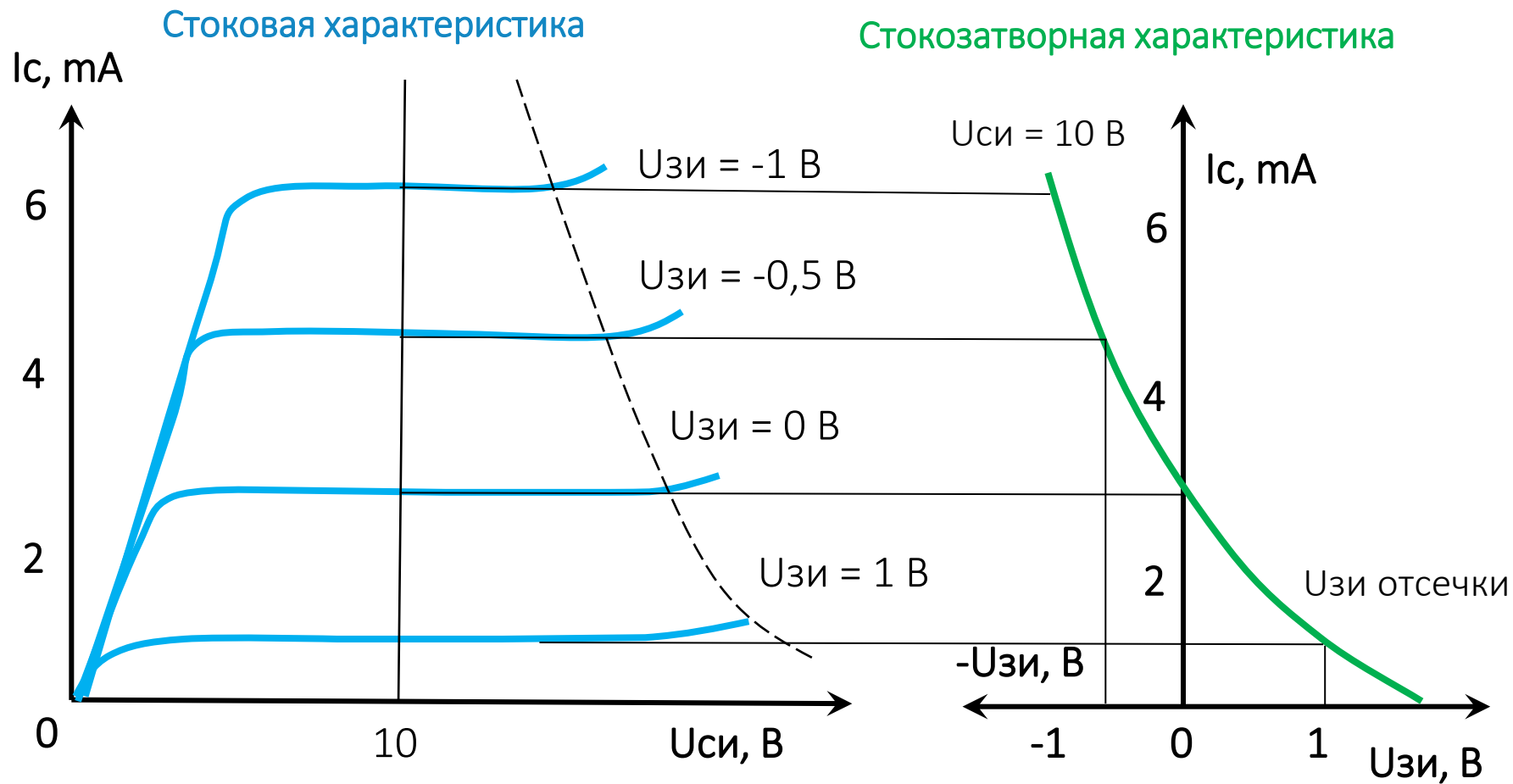
МДП-транзистор со встроенным каналом может работать в двух режимах: **обеднения** и **обогащения**.



Режиму обеднения соответствует положительное напряжение $U_{зи}$. При увеличении этого напряжения концентрация дырок в канале уменьшается, что приводит к уменьшению тока стока.

Если напряжение $U_{зи} > U_{зиотс}$, то канал не существует ток между истоком и стоком равен нулю.

Вольтамперные характеристики МДП со встроенным каналом



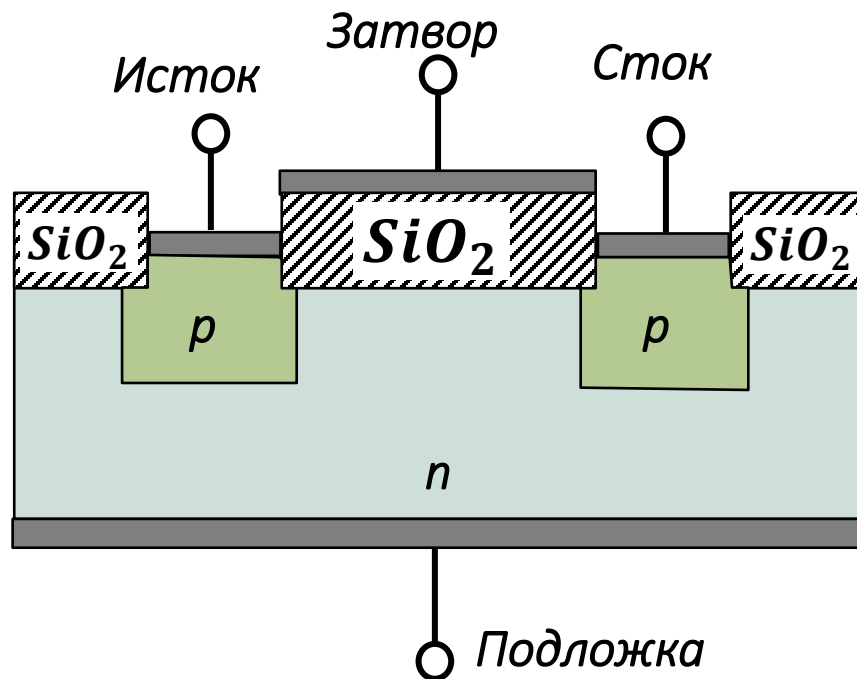
Режиму обогащения соответствует отрицательное напряжение $U_{зи} < 0$. При этом чем больше по модулю это напряжение, тем больше ток стока.

Полевой МДП-транзистор с индуцированным каналом

При нулевом напряжении $U_{\text{ЗИ}}$ канал отсутствует и ток стока равен нулю. Транзистор может работать только в режиме обогащения, которому соответствует отрицательное напряжение $U_{\text{ЗИ}}$.

При достижении $U_{\text{ЗИ}}$ меньше порогового значения $U_{\text{ЗИПОР}}$ между истоком и стоком возникает канал p -типа, по которому может протекать ток. Канал возникает из-за того, что концентрация дырок под затвором увеличивается, а электронов уменьшается. В результате концентрация дырок становится больше концентрации электронов.

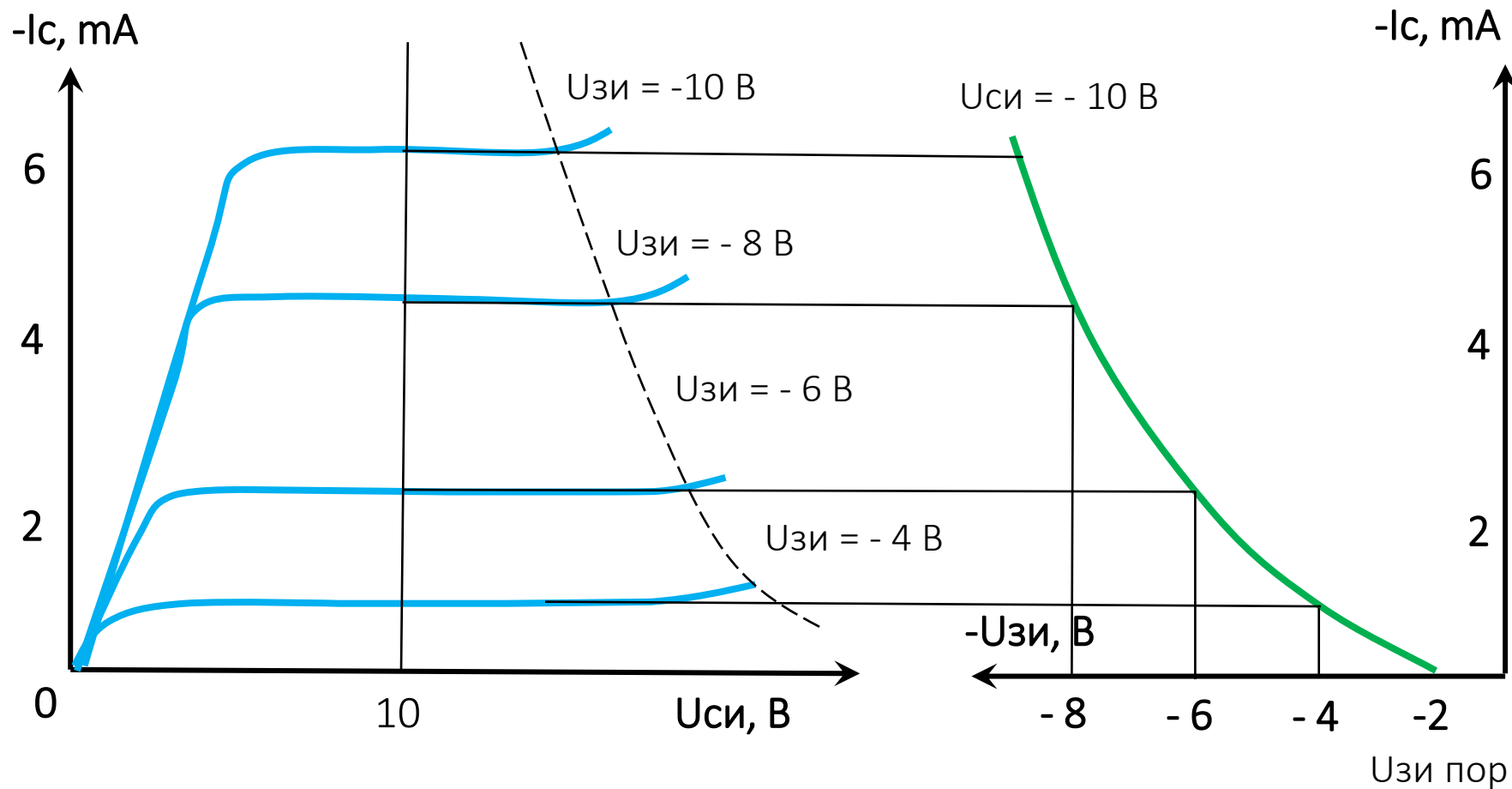
Описанное явление называется **инверсией**, а канал – **инверсным**.



Вольтамперные характеристики МДП с индуцированным каналом

Стоковая характеристика

Стокозатворная характеристика



Тиристоры

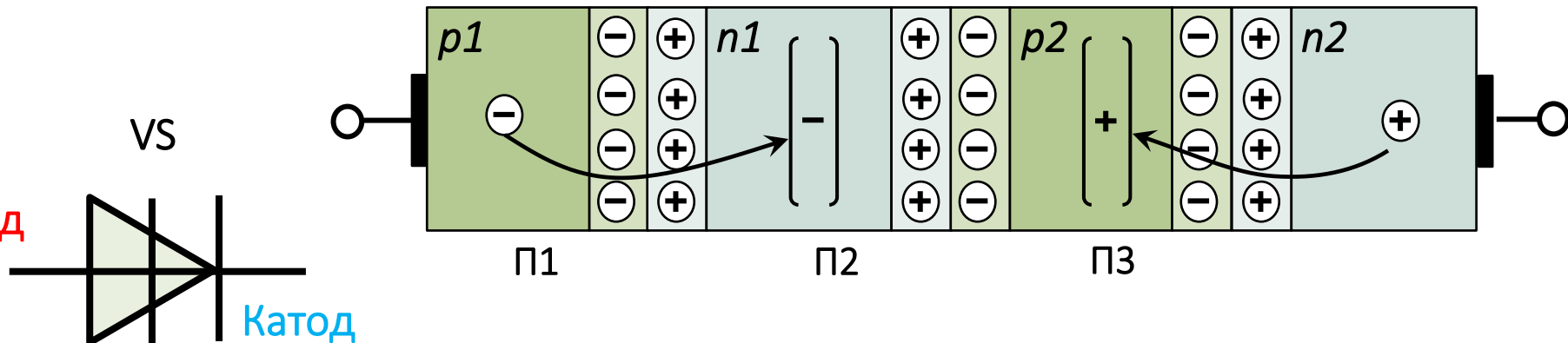
Тиристорами называют полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми режимами работы (включен / выключен) имеющие три и более **p-n** переходов.

Рассмотрим работу двухэлектродного тиристора – **динистора**.

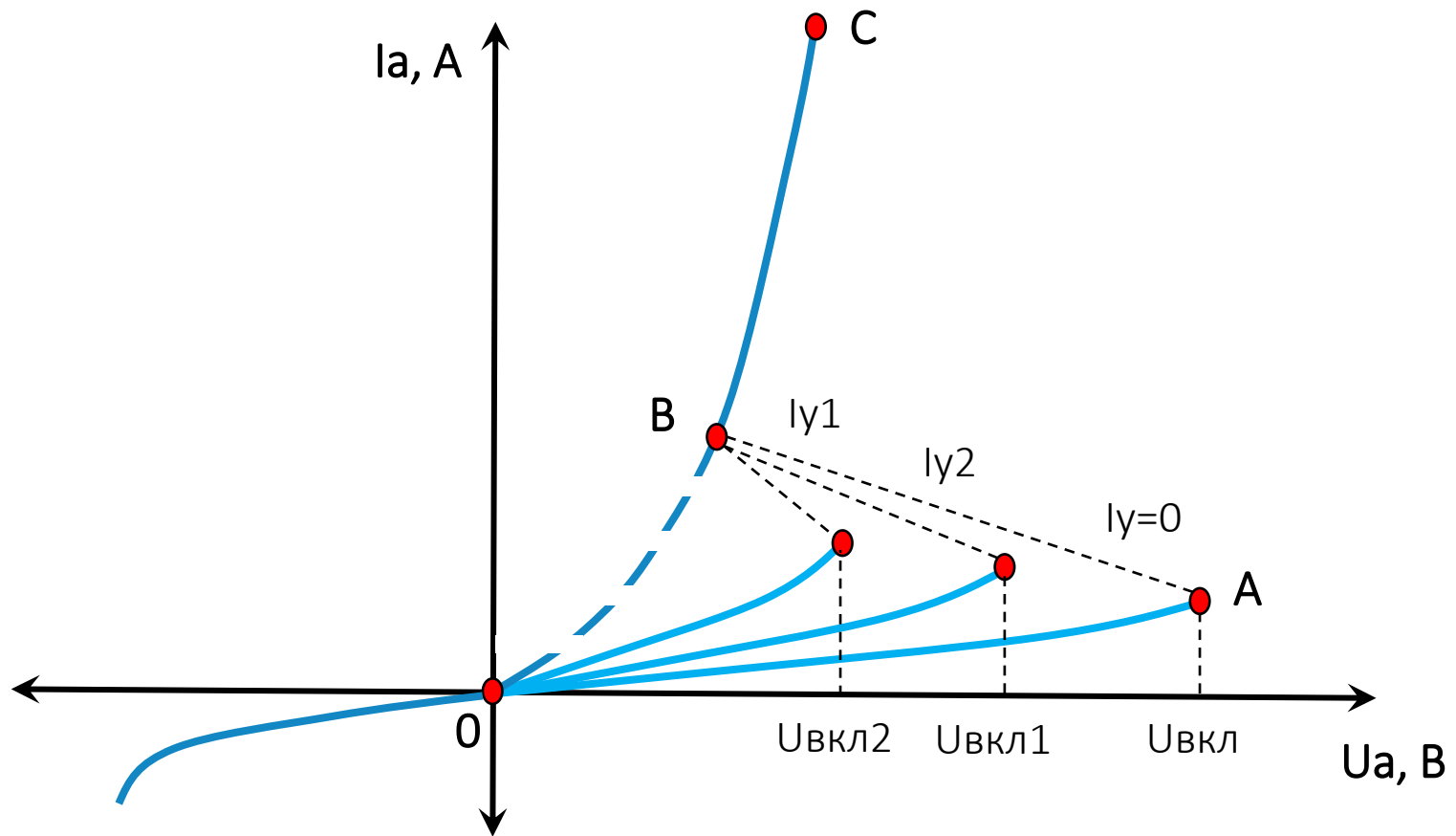
Пусть напряжение мало, тогда ток, протекающий через тиристор будет определяться переходом **П2**, так как переходы **П1** и **П3** открыты и их сопротивление мало.

Тиристор будет закрыт, и через него будет протекать малый обратный ток перехода **П2**. Вольтамперная характеристика при этом повторяет характеристику диода.

По мере увеличения напряжения U_a оно приводит к возрастанию инжекции неосновных носителей заряда в области, прилегающие к переходу **П2**. Наличие неосновных носителей около перехода **П2** (линзы) уменьшает его сопротивление.



Вольтамперная характеристика динистора



Это приводит к увеличению тока, и дальнейшему росту инжекции носителей заряда.

Наступает момент, когда неосновных носителей так много, что переход можно считать включенным в прямом направлении (переход из точки **A** в точку **B**).

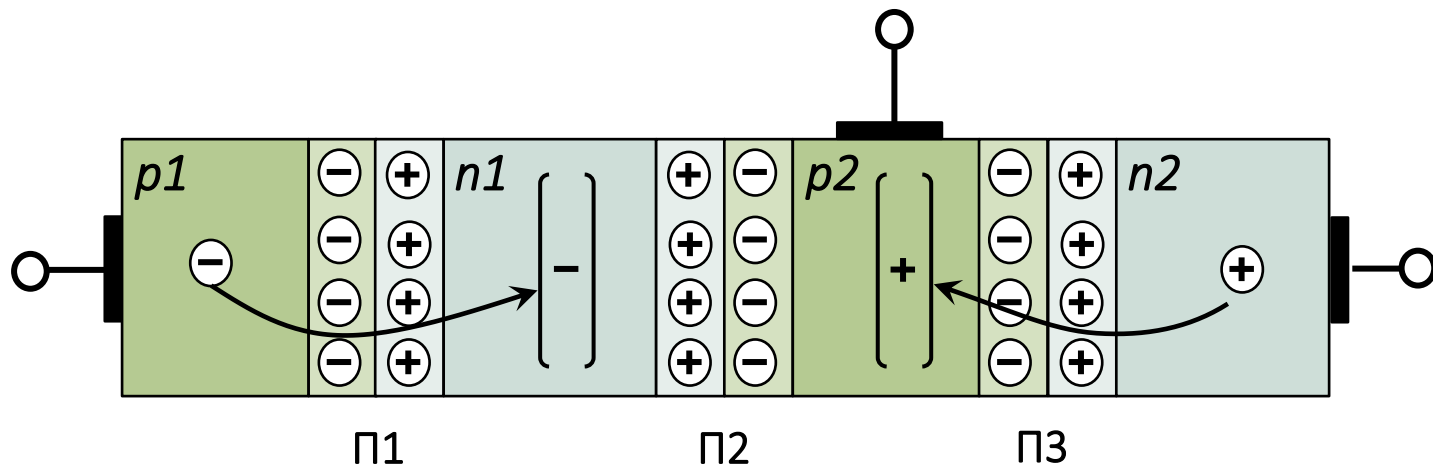
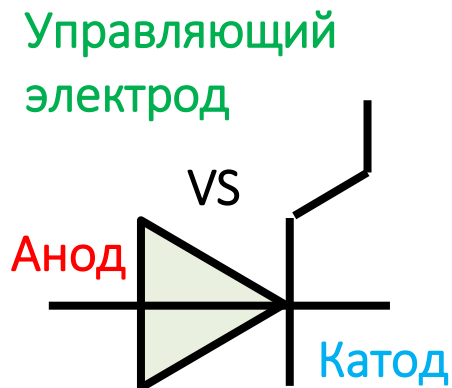
Тринистор

Если от одной из средних областей сделать вывод, то получится управляемый тиристор – **тринистор**. Физические процессы в тринисторе такие же как и в динисторе, третий электрод позволяет уменьшить напряжение включения. Чем больше ток I_y , тем меньше напряжение включения.

После окончания протекания тока I_y тиристор остается во включенном состоянии. Выключить тиристор при помощи управляющего электрода нельзя.

Существует два способа выключения тиристора:

- разомкнуть цепь тиристора;
- подать на него обратное напряжение.





Оптоэлектроника – раздел науки и техники, в котором изучаются вопросы генерации, обработки, запоминания и хранения информации на основе совместного использования электрических и оптических явлений.

Оптоэлектронные приборы используют в своей работе электромагнитное излучение оптического диапазона.

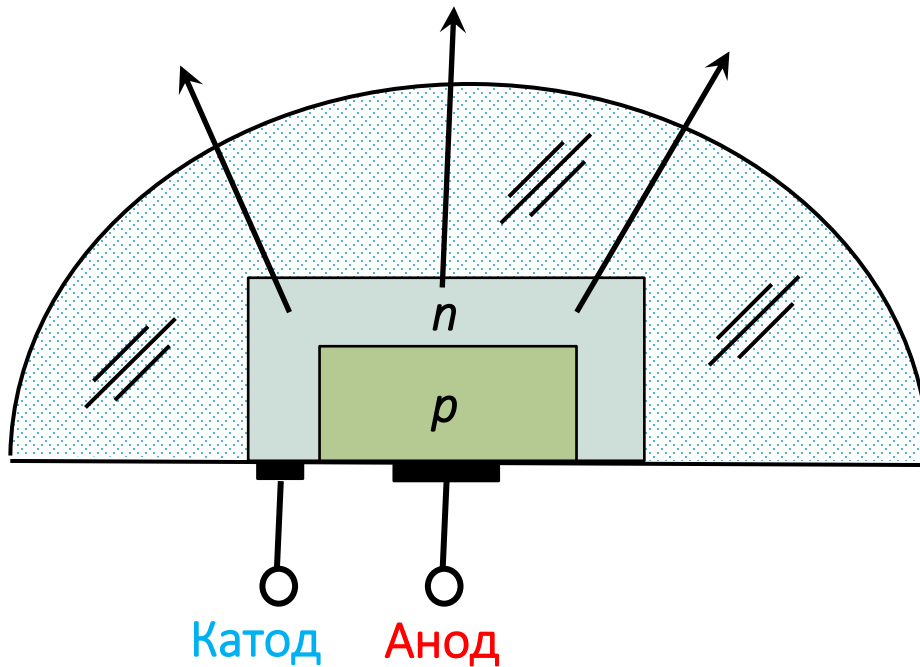
Элементная база оптоэлектроники включает в себя:

1. **Оптоизлучатели** – преобразователи электрической энергии в световую (светодиоды и лазеры);
2. Фотоэлектрические приемники излучения (**фотоприемники**) – преобразователи световой энергии в электрическую (солнечные батареи);
3. Оптоэлектронные приборы (**оптроны**), представляющие собой источник и приемник излучения конструктивно объединенные в один корпус.

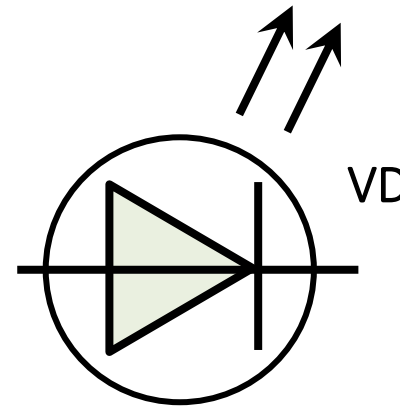
Светоизлучающие диоды (light-emitting diode)

Излучение возникает при протекании прямого тока диода в результате рекомбинации электронов и дырок в области ***p-n*** перехода. При рекомбинации излучаются кванты света.

Для создания светоизлучающих диодов используют сложные полупроводниковые материалы, у которых квант энергии излучается в оптическом (инфракрасном диапазоне).



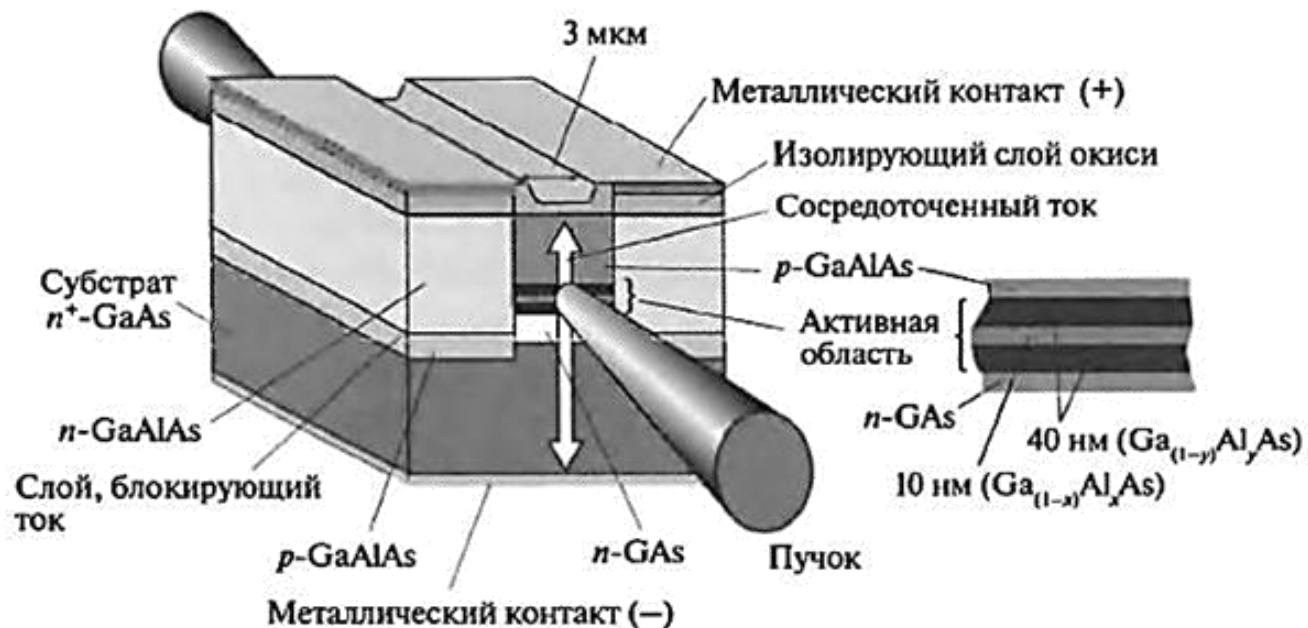
GaP – красный, зеленый, желтый;
GaAs – инфракрасный;
SiC – синий.



Лазерные диоды

Лазерный диод — полупроводниковый лазер, построенный на базе диода. Его работа основана на возникновении инверсии населённости в области р-п перехода при инжекции носителей заряда.

Лазерное излучение монохромно и когерентно (волны имеют одинаковую длину и постоянную разность фаз), оно обеспечивает почти параллельный пучок света с интенсивностью в 1000 раз выше диодного.



Фоторезисторы

Фоторезистор – полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом.

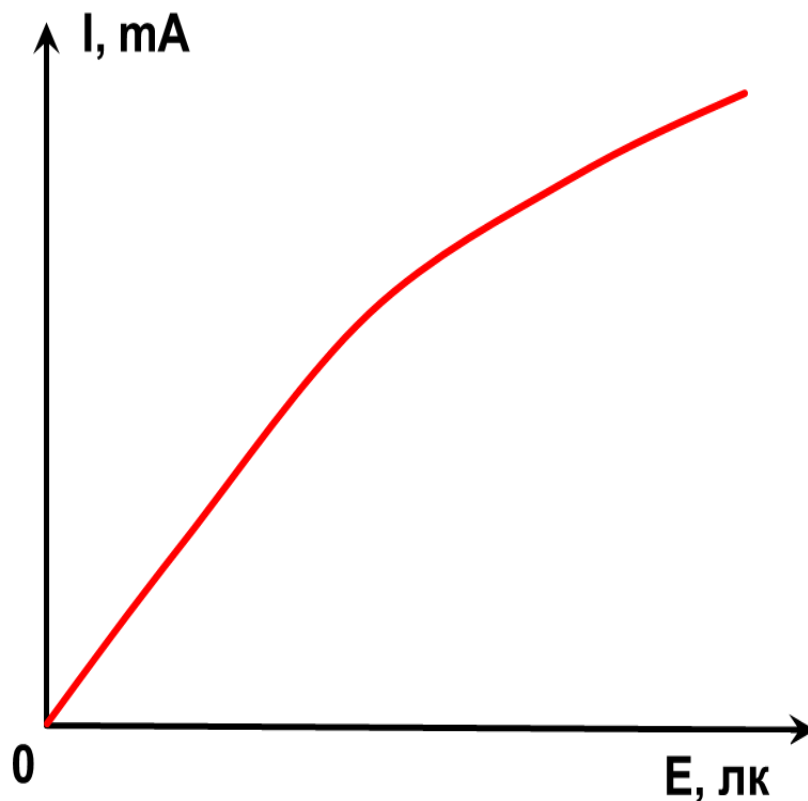
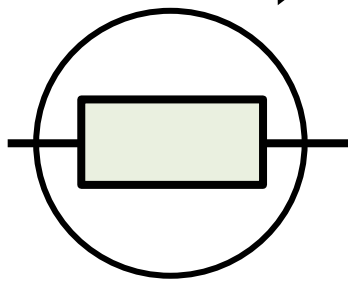
Поток фотонов, падающих на полупроводник вызывает появление пар электрон-дырка, увеличивающих проводимость.

Это явление называют внутренним фотоэффектом (эффектом фотопроводимости).

Фоторезисторы изготавливают из светочувствительных материалов (сульфид кадмия, селенид кадмия)

Используют для измерения интенсивности света:

- в фотографическом оборудовании;
- в охранных датчиках;
- в устройствах автоматического открывания дверей;
- в тестирующем оборудовании для измерения интенсивности света.



Люкс-амперная характеристика

Фоторезисторы

Фотодиод – приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в ***p-n*** переходе.

Основное физическое явление – генерация пар электрон-дырка в области ***p-n*** перехода и в прилегающих к нему областях под действием излучения

Фотодиоды используют:

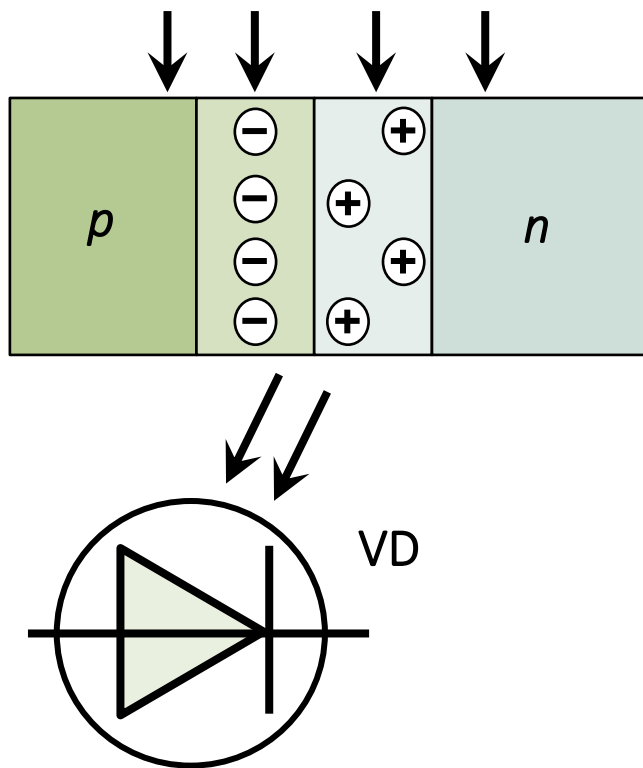
- в режиме фотогенератора (без внешнего источника);
- в режиме фотопреобразователя (с внешним источником электрической энергии)

Фотогенератор преобразует световую энергию в электрическую (фотоны, проникая в область ***p-n*** перехода, вызывают генерацию пар электрон-дырка.

Под действием электрического поля перехода дырки движутся к электроду слоя ***p***, электроны к электроду слоя ***n***.

В результате между электродами возникает напряжение, которое увеличивается при увеличении **Φ** .

В этом режиме работают солнечные батареи, КПД – 20%.



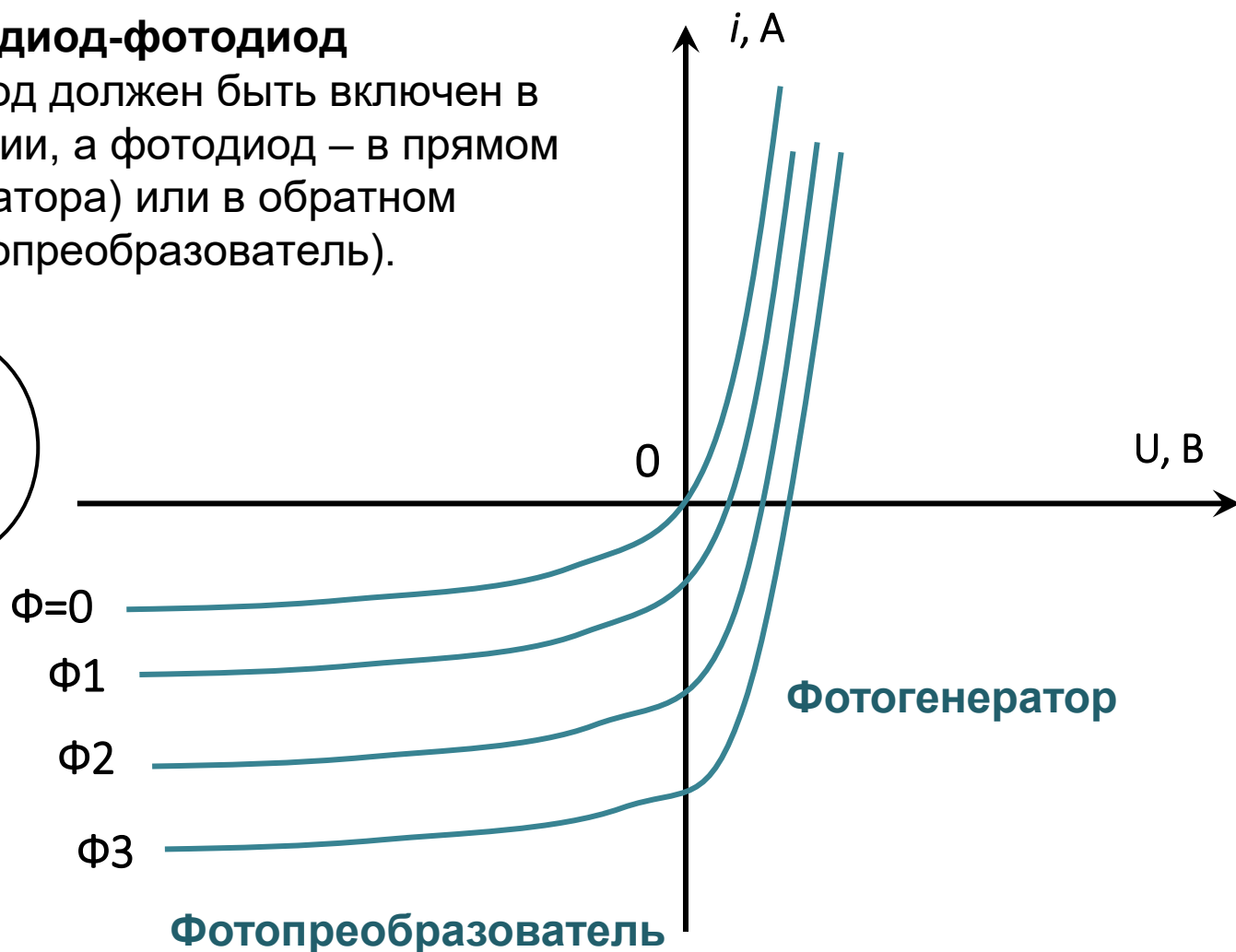
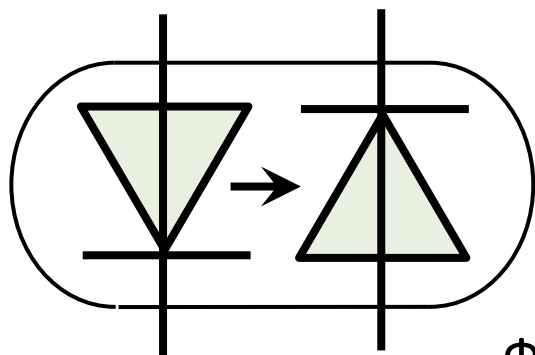
Фотодиоды

Фотопреобразователь – используется для управления током.

К фотодиоду прикладывается обратное напряжение и через него в обратном направлении течет малый ток. При увеличении светового потока этот ток увеличивается.

Оптопара светодиод-фотодиод

Излучающий диод должен быть включен в прямом направлении, а фотодиод – в прямом (режим фотогенератора) или в обратном направлении (фотопреобразователь).

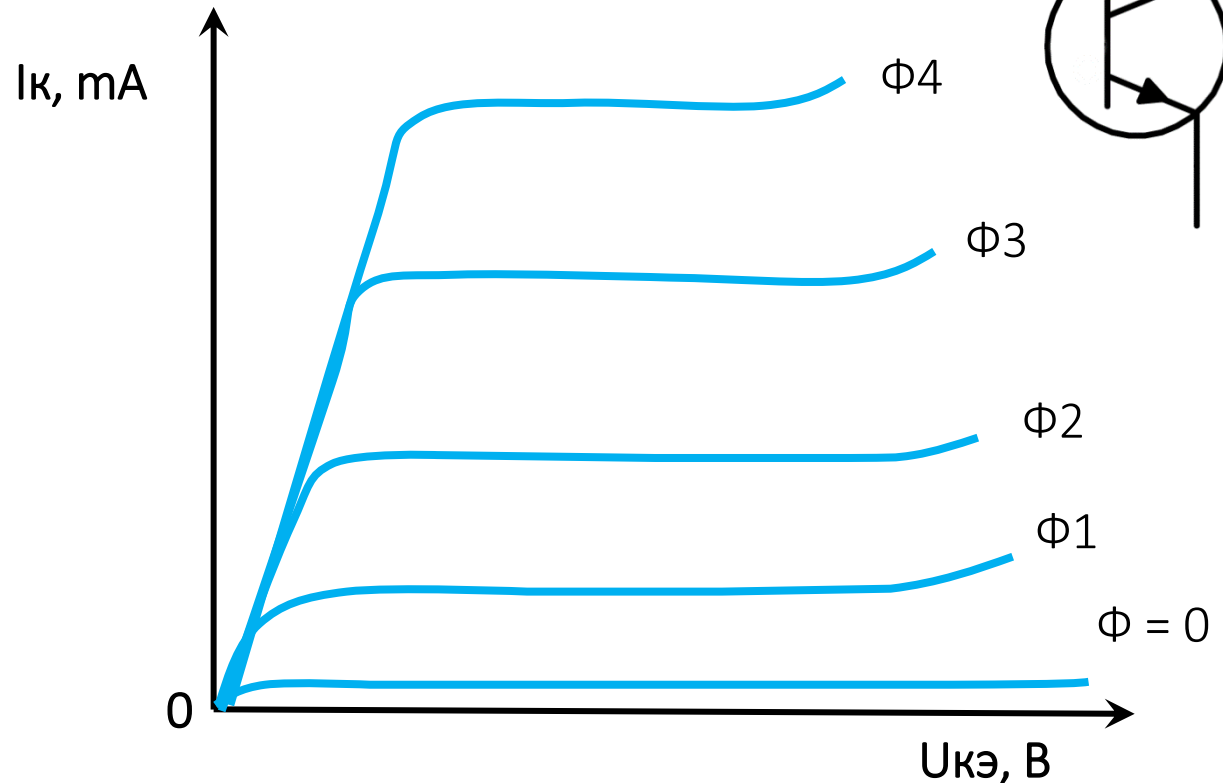
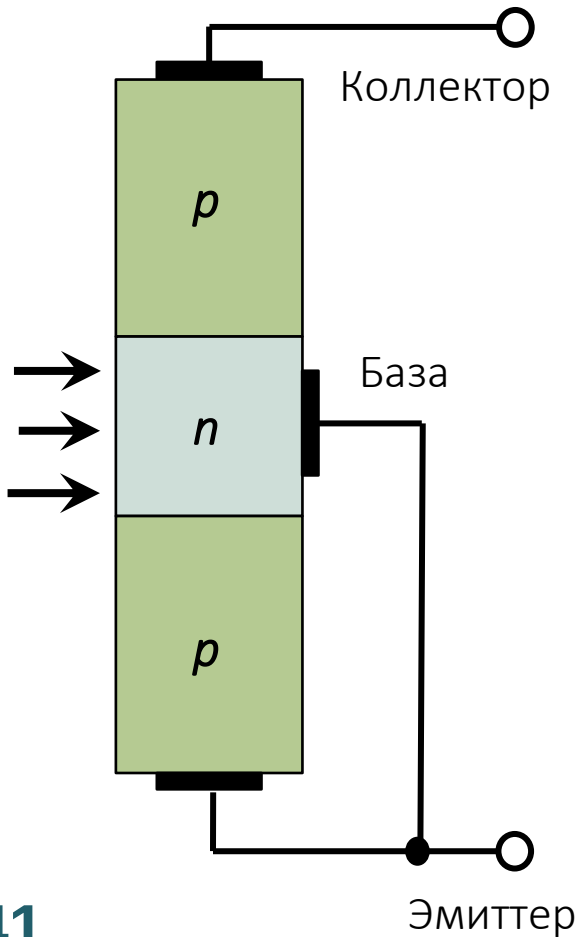


Фототранзисторы

Свет вызывает в базе генерацию пар электрон-дырка. Дырки под действием поля коллекторного перехода идут из базы в коллектор и увеличивают ток коллектора.

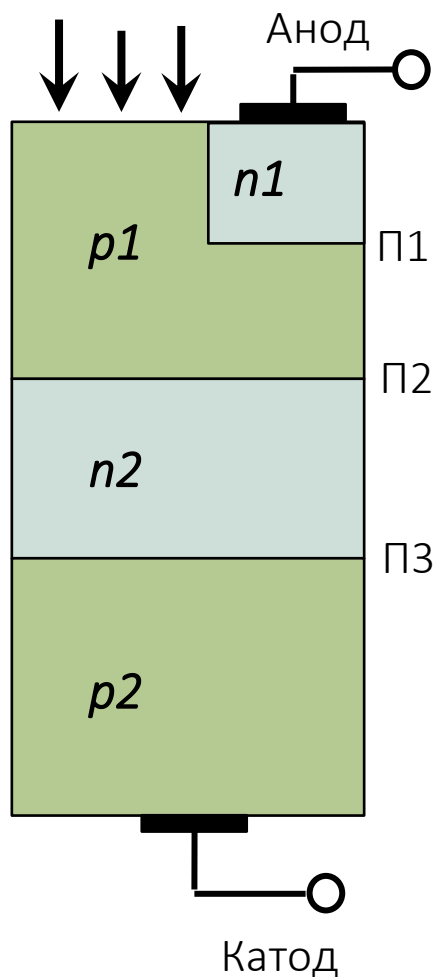
Электроны остаются в базе и повышают напряжение эмиттерного перехода, что усиливает инжекцию дырок через эмиттерный переход.

Таким образом, изменяя световой поток можно управлять коллекторным переходом.

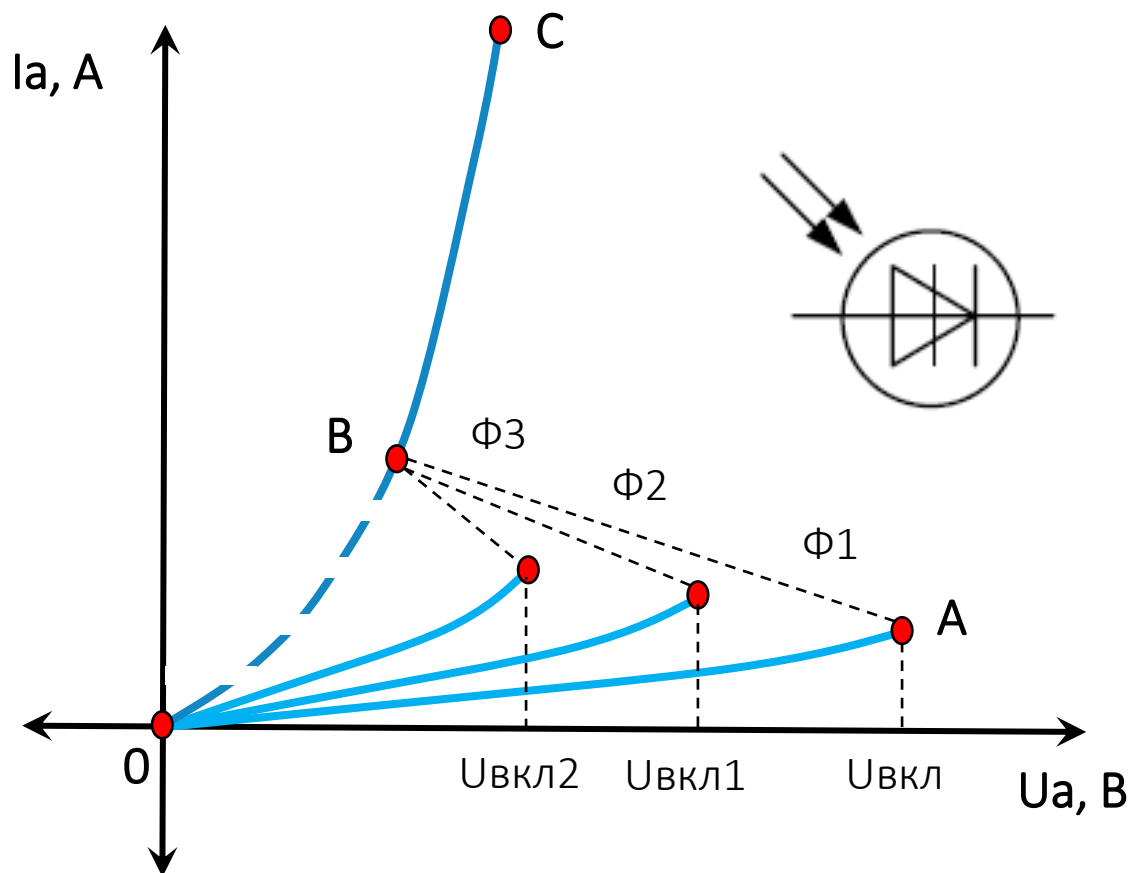


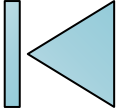
Фототиристоры

Под действием света на область ***p1*** в ней генерируются электроны и дырки. Электроны, попадая в область перехода **П2** уменьшают его сопротивление и напряжение на нем, а напряжение на переходах **П1** и **П3** увеличивается. Увеличение напряжения на переходах **П1** и **П3** приводит к увеличению инжекции в этих переходах и сопротивление перехода **П2** вновь уменьшается.



Процесс повторяется и ток лавинообразно увеличивается.





Закключение

Полупроводниковые материалы по своему удельному электрическому сопротивлению занимают место между проводниками и диэлектриками.

Чистые (собственные) проводники в п/п приборах не используются, так как обладают малой проводимостью и не обеспечивают односторонней проводимости. Для снижения удельного сопротивления полупроводников и придания определенного типа проводимости: электронной (при преобладании свободных электронов) или дырочной в них вносят примеси.

В качестве примесей применяют пятивалентные элементы, которые создают электронную проводимость и называются донорными примесями и трехвалентные элементы, создающие дырочную проводимость, называемые акцепторными примесями.

Область полупроводника, расположенная вблизи границы между р и n слоями называется электронно-дырочным переходом или р-n переходом.

Диод, это электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет малое сопротивление), называют анодом, подключаемый к отрицательному полюсу - катодом.

Выпрямляющим электрическим переходом может быть электронно-дырочный (р–n) переход, либо контакт «металл – полупроводник», обладающий вентильным свойством.

Заключение

Полупроводниковые диоды по назначению подразделяют на выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы, туннельные и др.

Туннельный диод – это полупроводниковый диод, содержащий р–п переход с очень малой толщиной запирающего слоя (потенциального барьера), в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперной характеристике при прямом напряжении участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Обращенные диоды, это диоды, обратные токи которых велики уже при малых обратных напряжениях (десятки милливольт) и значительно превосходят прямые токи.

Основу структуры диода Шоттки составляет контакт «металл – полупроводник», который возникает в месте соприкосновения полупроводникового кристалла n- или р-типа проводимости с металлами.

Варикап – это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости р–п перехода от обратного напряжения. Варикапы используются в качестве электрически управляемых конденсаторов переменной емкости.

Стабилитрон (диод Зенера) – это полупроводниковый диод, изготовленный из слабо легированного кремния, который применяется для стабилизации постоянного напряжения.

Заключение

Транзистором называется полупроводниковый преобразовательный прибор, имеющий не менее трёх выводов и способный усиливать мощность.

Основой биполярного транзистора является кристалл полупроводника р-типа или n-типа проводимости, который также как и вывод от него называется базой. Диффузией примеси или сплавлением с двух сторон от базы образуются области с противоположным типом проводимости, нежели база. Область, имеющая большую площадь р-n перехода, и вывод от неё называют коллектором. Область, имеющая меньшую площадь р-n перехода, и вывод от неё называют эмиттером.

Транзистор характеризуется тремя коэффициентами усиления: по току по напряжению и по мощности. Наибольшими коэффициентом усиления обладает схема включения с общим эмиттером.

Помимо усилительного часто используется ключевой режим работы биполярного транзистора: если напряжение между выводами база и эмиттер равно нулю, то транзистор обладает большим сопротивлением и ток в направлении эмиттер-коллектор не протекает (транзистор закрыт); если же напряжение база-эмиттер больше нуля, то сопротивление транзистора резко падает, что приводит к появлению тока эмиттер-коллектор (транзистор открыт).

Заключение

Полевыми транзисторами называют полупроводниковые приборы, в которых управление током, протекающим между двумя электродами осуществляется напряжением, приложенным к третьему электроду.

Различают два вида полевых транзисторов: с управляющим р-п переходом; с изолированным затвором.

Электрод, через который втекают заряды называется истоком, а электрод через который вытекают заряды называется стоком. Электрод, к которому приложено напряжение называется затвором.

Полевые МДП-транзисторы отличаются от транзисторов с управляющим р-п переходом тем, что у них электрод затвора изолирован от канала слоем диэлектрика.

В качестве диэлектрика чаще всего используют оксид кремния SiO_2 . Поэтому наряду с термином МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) пользуются термином МОП (металл-оксид-полупроводник).

Тиристорами называют полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми режимами работы (включен / выключен) имеющие три и более р-п переходов. Существуют неуправляемые тиристоры – динисторы, и управляемые – тринисторы и симисторы.

Оптоэлектроника – раздел науки и техники, в котором изучаются вопросы генерации, обработки, запоминания и хранения информации на основе совместного использования электрических и оптических явлений.

Заключение

Элементная база оптоэлектроники включает в себя: оптоизлучатели – преобразователи электрической энергии в световую (светодиоды и лазеры); фотоэлектрические приемники излучения (фотоприемники) – преобразователи световой энергии в электрическую (солнечные батареи); оптоэлектронные приборы (оптроны), представляющие собой источник и приемник излучения конструктивно объединенные в один корпус.

Излучение возникает при протекании прямого тока диода в результате рекомбинации электронов и дырок в области р-п перехода. При рекомбинации излучаются кванты света.

Лазерный диод – полупроводниковый лазер, построенный на базе диода. Его работа основана на возникновении инверсии населённости в области р-п перехода при инжекции носителей заряда.

Фоторезистор – полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. Поток фотонов, падающих на полупроводник вызывает появление пар электрон-дырка, увеличивающих проводимость. Это явление называют внутренним фотоэффектом (эффектом фотопроводимости).

Фотодиод – приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в р-п переходе.

Заключение

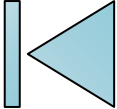
Основное физическое явление – генерация пар электрон-дырка в области р-п перехода и в прилегающих к нему областях под действием излучения.

Фотодиоды используют: в режиме фотогенератора (без внешнего источника); в режиме фотопреобразователя (с внешним источником электрической энергии).

Фотогенератор преобразует световую энергию в электрическую (фотоны, проникая в область р-п перехода, вызывают генерацию пар электрон-дырка).

Фотопреобразователь – используется для управления током. К фотодиоду прикладывается обратное напряжение и через него в обратном направлении течет малый ток. При увеличении светового потока этот ток увеличивается.

Фототранзистор позволяет усиливать световой ток, а фототиристор используется в качестве электронного ключа управляемого световым потоком.



Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные параметры выпрямительных диодов
2. Что такое прямое и обратное включение диода?
3. Что такое лавинный и тепловой пробой и чем они опасны для диода?
4. Что такое обеднённый слой и за счёт чего он образуется?
5. Какая ветвь ВАХ стабилитрона является рабочей?
6. Для каких целей применяют стабилитроны?
7. Что такое дрейфовый ток? Диффузионный?
8. Что такое коэффициент выпрямления и как он зависит от приложенного напряжения?
9. В чем особенности применения варикапа?
10. В чем особенность диодов Шоттки, их достоинства и область применения.
11. Каковы особенности туннельных и обращенных диодов?
12. Какие полупроводники называют чистыми и примесными?
13. Каким образом осуществляется процесс легирования?
14. Какие примеси называют донорными и акцепторными?
15. Какое влияние на режимы работы диода оказывает температура?
16. Что называется потенциальным барьером p-n перехода?
17. Как маркируются и обозначаются на схемах полупроводниковые диоды?
18. В каких устройствах (применительно к специальности) используются полупроводниковые диоды?

Вопросы для самоконтроля

19. Что называется биполярным транзистором?
20. Как устроен биполярный транзистор? Объясните назначение основных частей транзистора.
21. В чем заключается принцип действия биполярного транзистора?
22. Режимы работы биполярных транзисторов.
23. Объясните ключевой режим работы биполярного транзистора.
24. Как маркируются и обозначаются на схемах биполярные транзисторы?
25. В каких устройствах (применительно к специальности) используются биполярные транзисторы?
26. Устройство и принцип действия полевого транзистора с управляющим р-п переходом.
27. Устройство и принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором.
28. Устройство, принцип действия и вольтамперная характеристика тиристора
29. Принцип работы и материалы светоизлучающих диодов.
30. Что такое оптрон? Для чего они используются?
31. Объясните вид вольтамперной характеристики фотодиода.
32. Устройство и принцип действия фоторезисторов, фототранзисторов и фототиристоров.

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
2. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника /А. Хернер, Х-Ю. Риль; перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2013. – 624 с.
3. Wyatt, D. Aircraft Electrical and Electronic Systems / D. Wyatt, M. Tooley. – Second Edition – NY, Routledge, 2018. – 439 p.
4. Bell, J.A. Modern Diesel Technology: Electricity & Electronics / J.A. Bell - Second Edition – NY, Delmar, 2014. – 546 p.