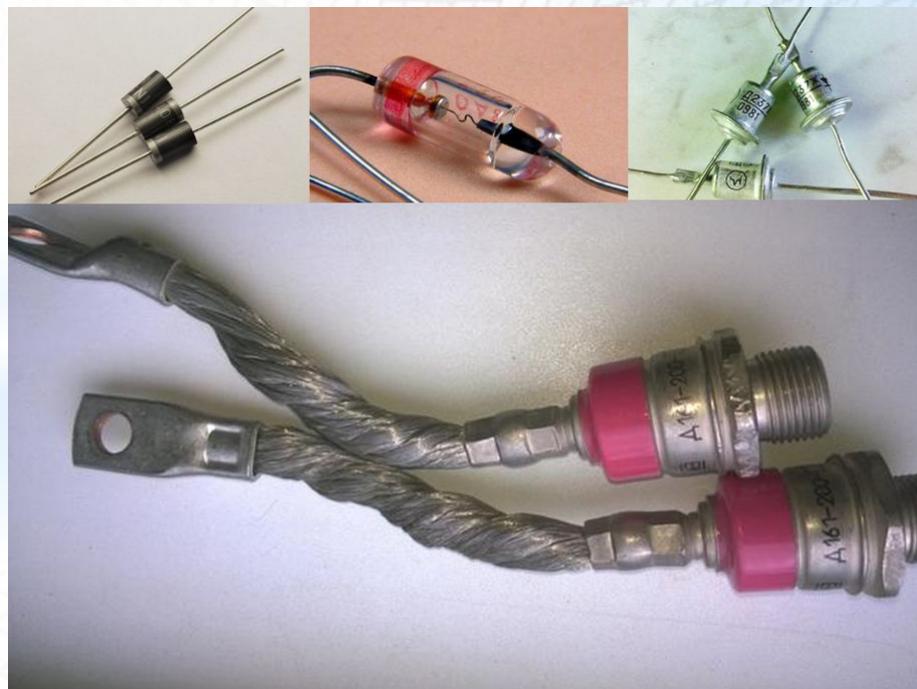


ТЕМА 3.

ПОЛУПРОВОДНИКИ. ДИОДЫ НА ОСНОВЕ P-N ПЕРЕХОДОВ

1. Полупроводники
2. Виды и основные характеристики диодов
3. Основные схемы подключения диодов



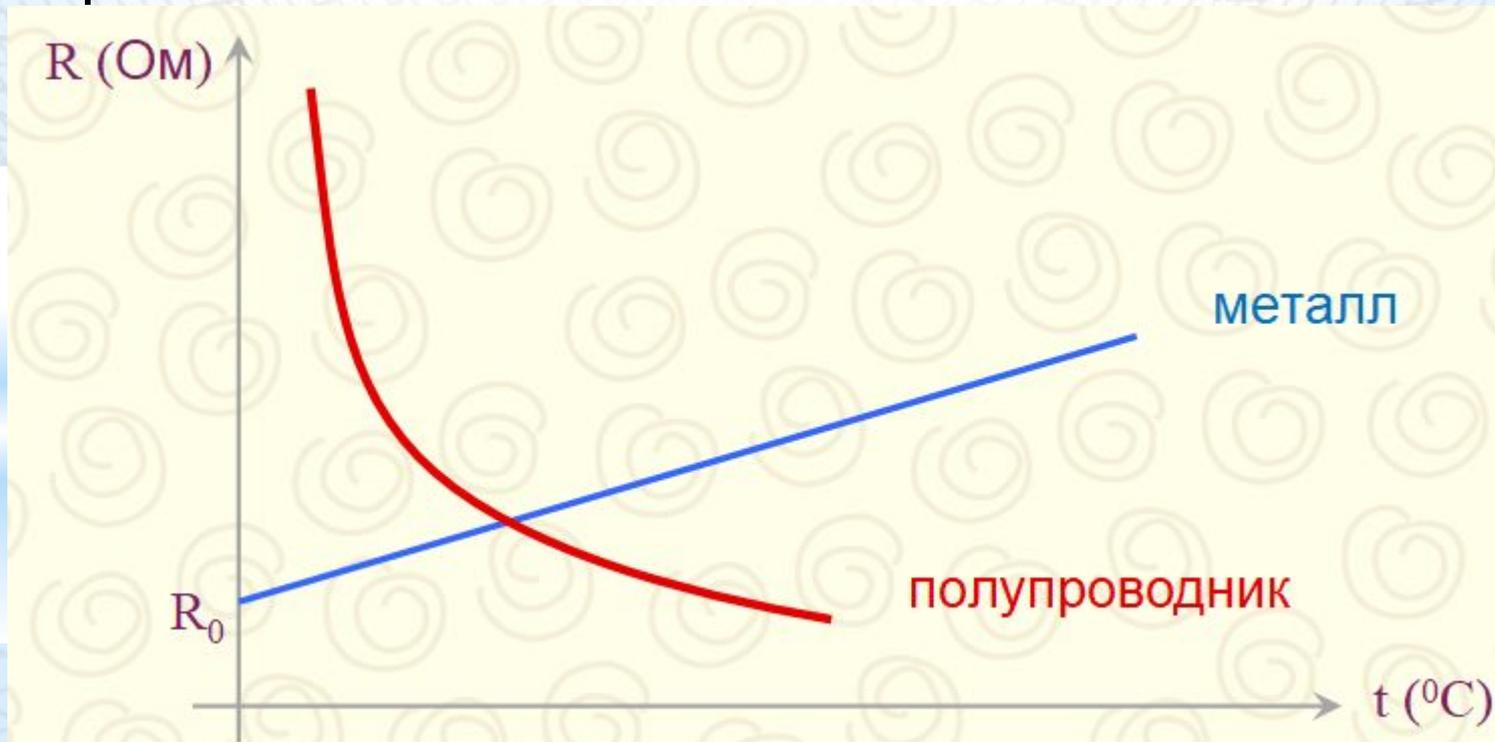
Полупроводниками называются такие материалы, которые по удельному сопротивлению занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Электропроводность полупроводников зависит от концентрации и вида примесей, от внутренней структуры, от внешних воздействий (температура, свет, напряжение и т.д.).



1. Полупроводники

Проводимость полупроводников зависит от температуры. В отличие от проводников, сопротивление которых возрастает с ростом температуры, сопротивление полупроводников при нагревании уменьшается. Вблизи абсолютного нуля полупроводники имеют свойства диэлектриков.

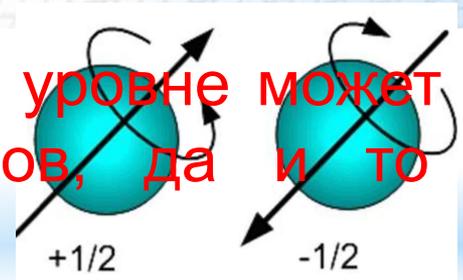


1. Полупроводники

Несмотря на огромное количество свободных электронов в металле, располагаются они по энергетическим уровням потенциальной ямы в строгом порядке. Каждый из электронов занимает вакантное место на возможно более низком уровне.

Распределение электронов по уровням подчинено принципу Паули, согласно которому никакие две частицы не могут находиться в совершенно одинаковых состояниях. ($N=2n^2$)

В силу этого на каждом энергетическом уровне может расположиться не более двух электронов, да и то имеющих различные направления спинов.

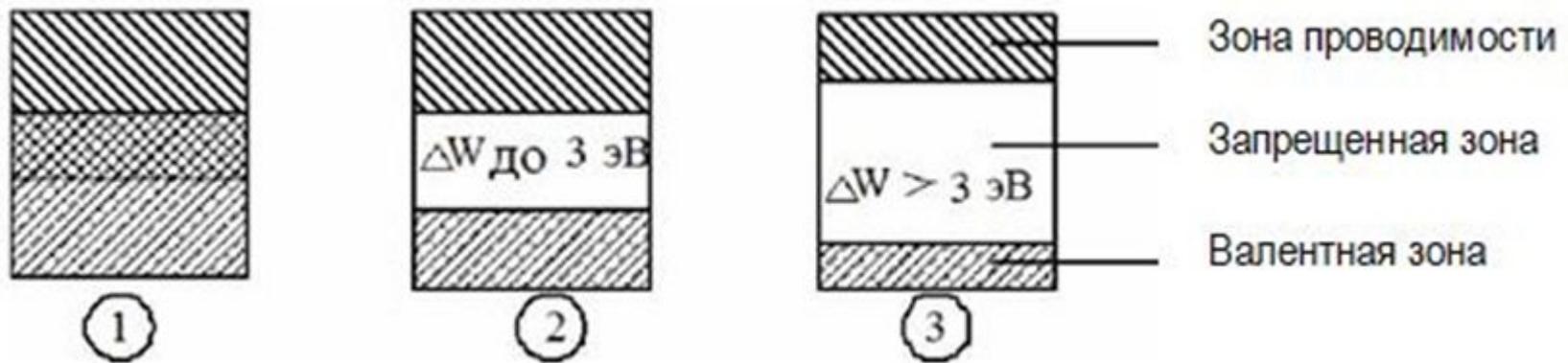


Число электронов, вращающихся вокруг ядра, всегда равно порядковому номеру элемента в периодической системе Д.И. Менделеева.

Ширина разрешенных энергетических зон не зависит от размеров кристалла, а определяется лишь природой атомов, образующих твердое тело, и симметрией кристаллической решетки.

Наибольшей шириной запрещенной зоны ΔW обладают диэлектрики (ΔW условно от 3 до 10 эВ), к полупроводникам относят вещества с ΔW от 0,1 до 3 эВ

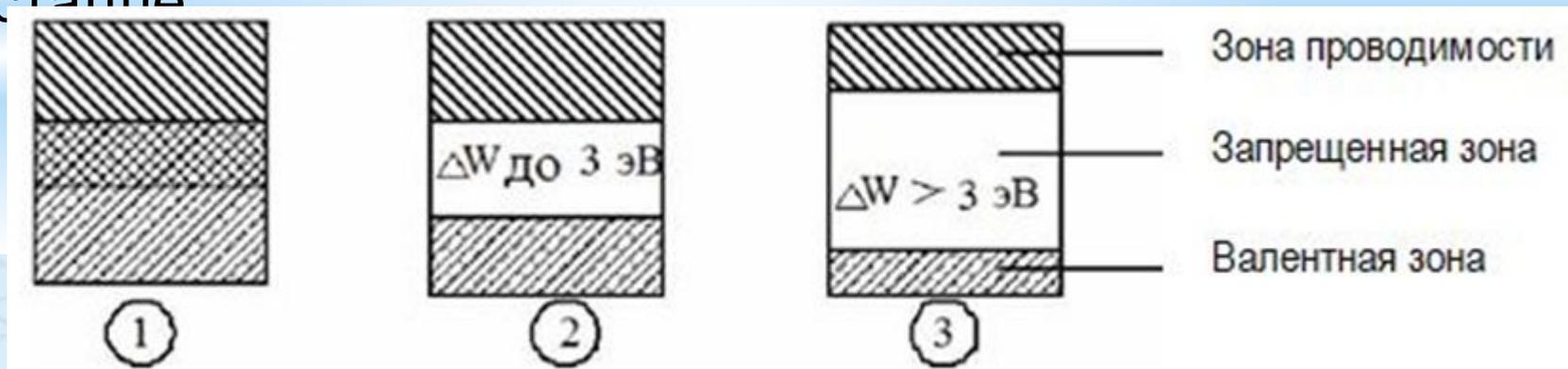
Запрещённая зона у проводников отсутствует на энергетической диаграмме, т.к. валентная зона и зона проводимости перекрываются.



Энергетические уровни валентных электронов при расщеплении образуют *валентную зону*. Разрешенные энергетические уровни, свободные от электронов в невозбужденном состоянии атома, расщепляясь, образуют одну или несколько свободных зон.

Нижнюю из свободных называют - *зоной проводимости*. Значение энергии разрешенного энергетического уровня в атоме определяется номером разрешенной орбиты.

Разрешенные энергетические зоны разделены *запрещенными зонами* - области значений энергии, которыми не могут обладать электроны в идеальном кристалле.

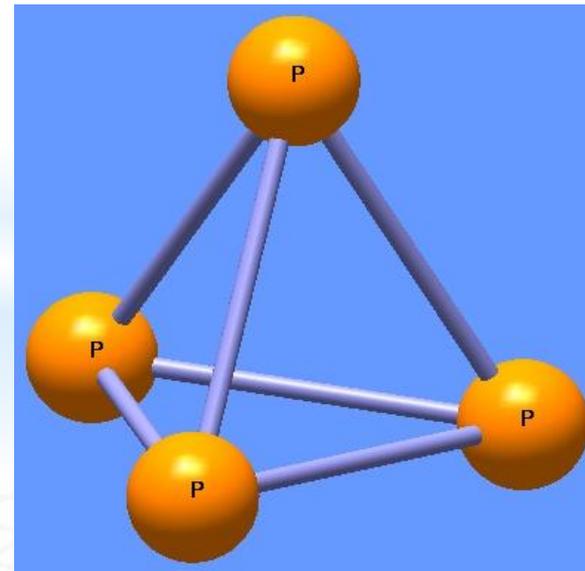
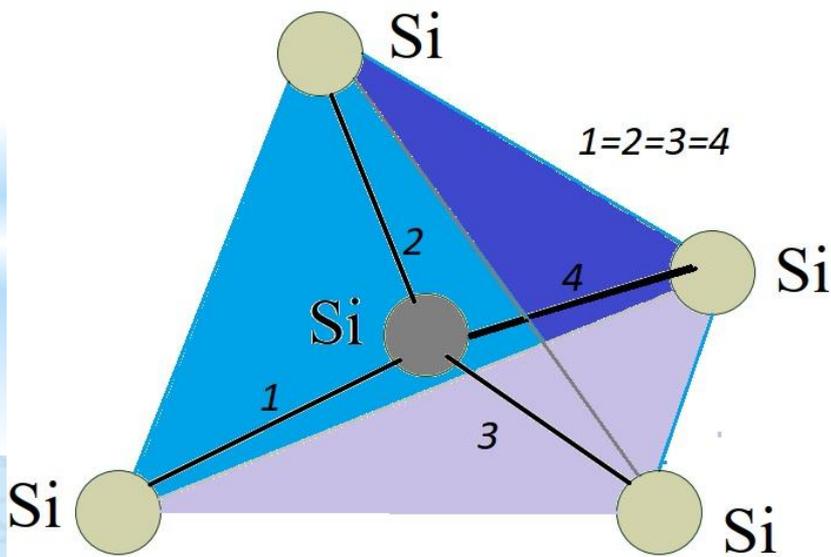


1. Полупроводники

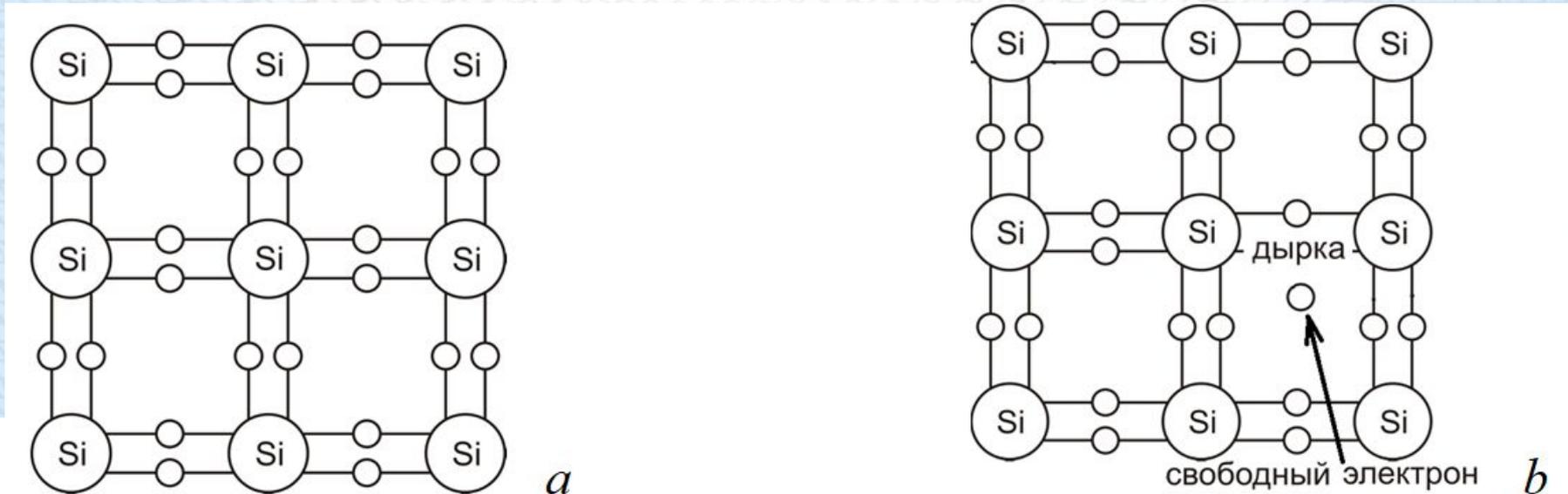
Наиболее распространенным полупроводником является кремний, хотя используется и германий.

Оба эти элемента – четырехвалентные, то есть на внешней орбите их атомов находятся по четыре электрона. Кристаллы кремния и германия имеют очень ясную и стройную структуру, благодаря которой атомы удерживаются вместе в устойчивом образовании (устойчивость обеспечивается ковалентной связью).

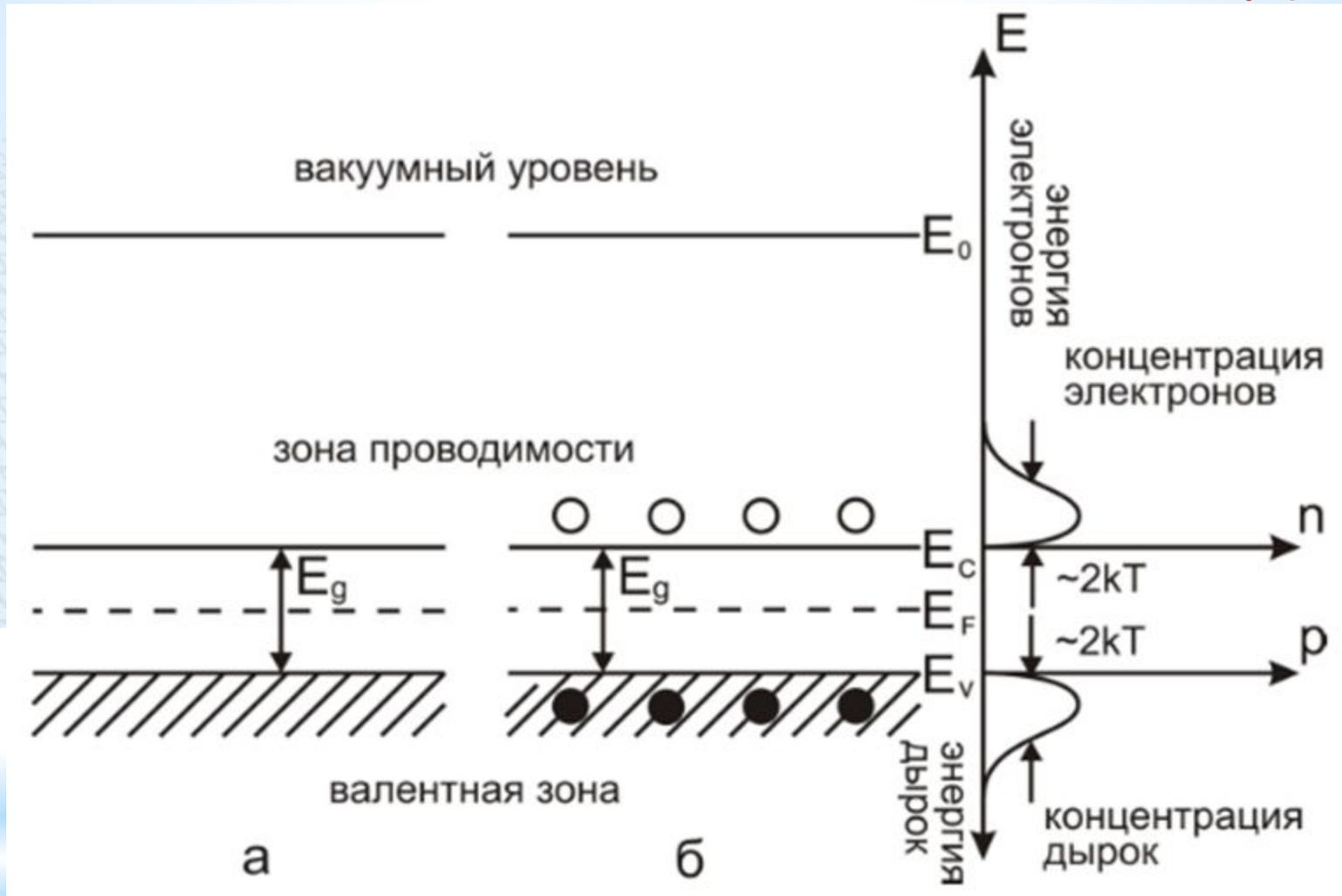
Соседние атомы в кристалле кремния или германия принимают совместное участие в таком образовании, в результате чего каждое ядро имеет «половинную долю» в восьми валентных электронах вместо индивидуального владения четырьмя валентными электронами, которыми обладал бы изолированный атом.



Каждая из указанных на рисунке связей между атомами кремния, представляет собой совместно используемый валентный электрон.



Там, где электрон становится свободным, он оставляет после себя *дырку* или отсутствие отрицательного заряда, которое также может казаться перемещающимся, если разорванная связь заполняется электроном из соседнего атома.



E_0 - энергия уровня вакуума, (энергии, которую нужно сообщить электрону для того, чтобы он покинул полупроводник); E_C - энергия дна зоны проводимости; E_V - энергия потолка валентной зоны; $E_g = E_C - E_V$ - ширина запрещенной зоны; E_F - энергия уровня Ферми.

Понятие уровня Ферми E_F связано с функцией распределения Ферми-Дирака $f(E)$, определяющей распределение электронов по энергиям с учетом принципа Паули.

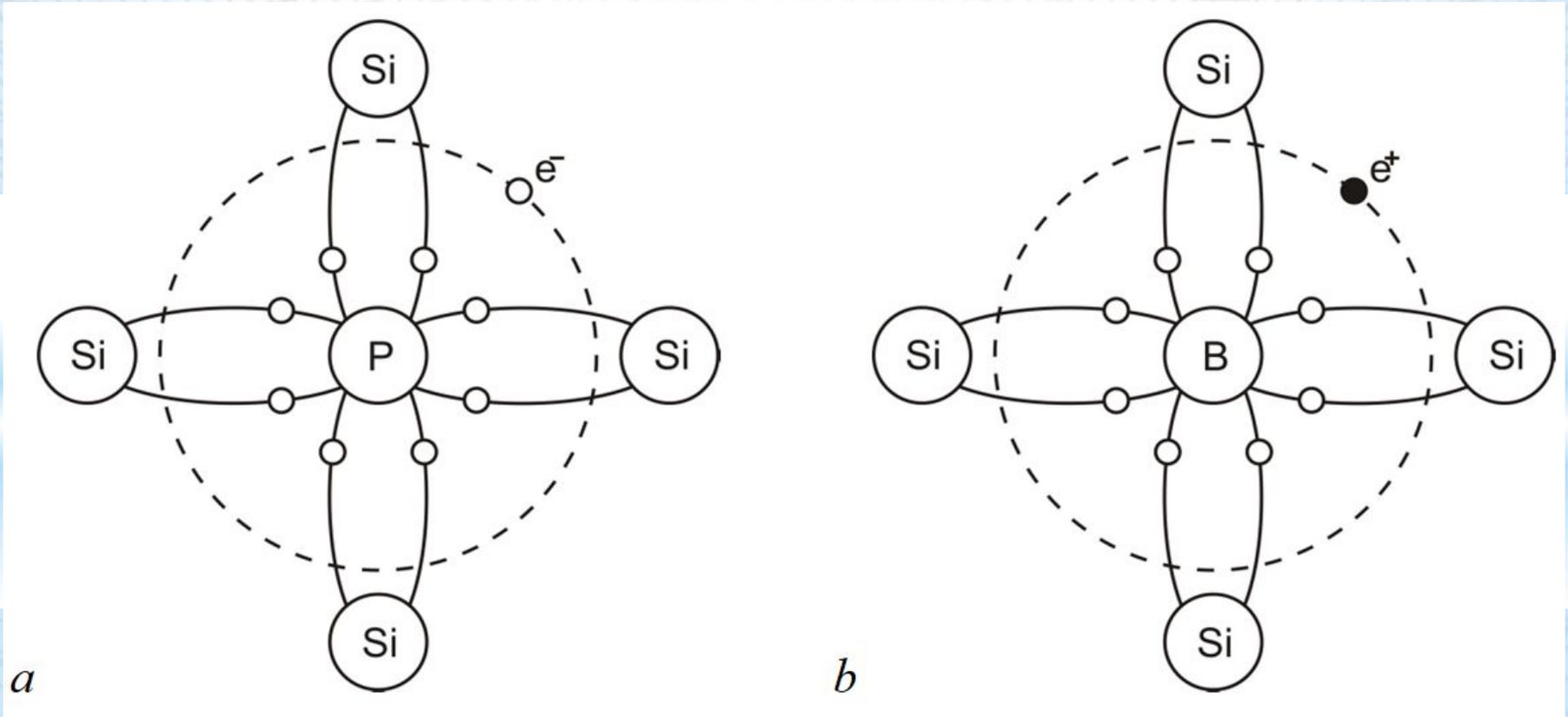
Эта функция описывает вероятность того, что разрешенное состояние с энергией E занято электроном.

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp \left| \frac{E - E_F}{kT} \right|}$$

Что означает E_F - это энергетическое состояние, которое занято с вероятностью $\frac{1}{2}$.

Факт, что на уровне Ферми должно существовать разрешенное состояние, не является обязательным

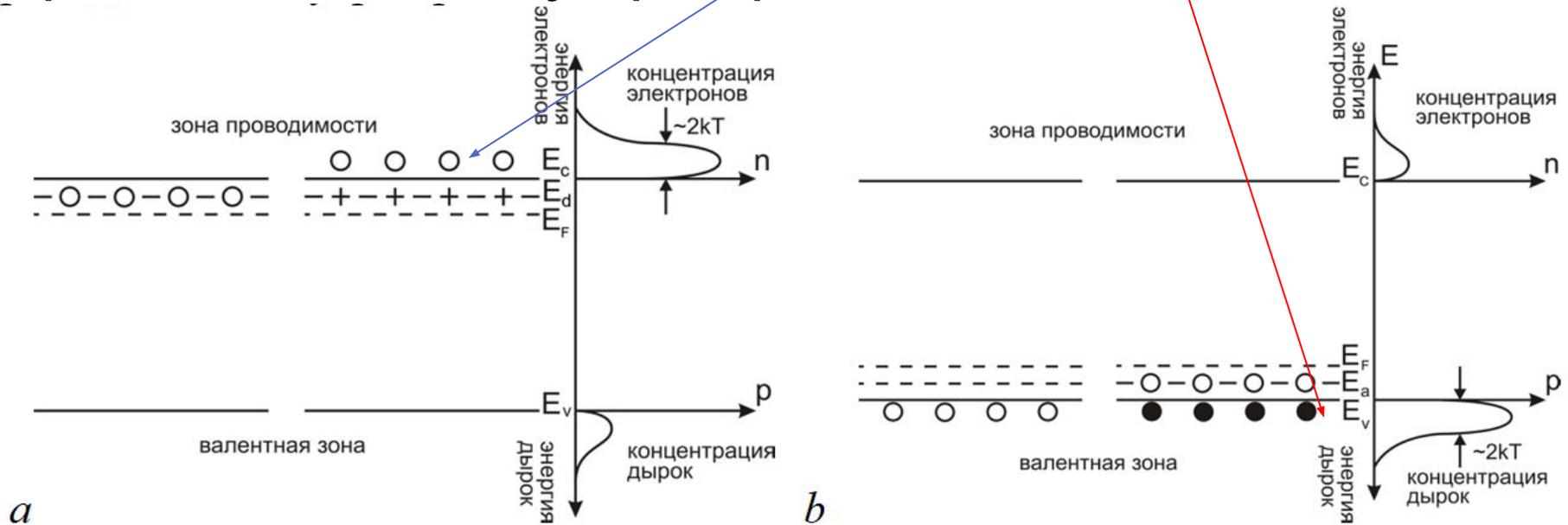
Атомы некоторых примесей способны внедряться в кристаллическую решетку, не внося в нее чрезмерной деформации, и в случае, когда валентность этих атомов отличается от собственной валентности полупроводника, проводимость кристалла значительно возрастает.



Введение примесей в полупроводник называют *легированием*, а появляющаяся при этом проводимость называется *примесной* проводимостью. Пятивалентные примеси, такие как фосфор, называются *донорными*, так как они добавляют свободные электроны в кристалл. Этот легированный полупроводник носит название полупроводника *n-типа*.

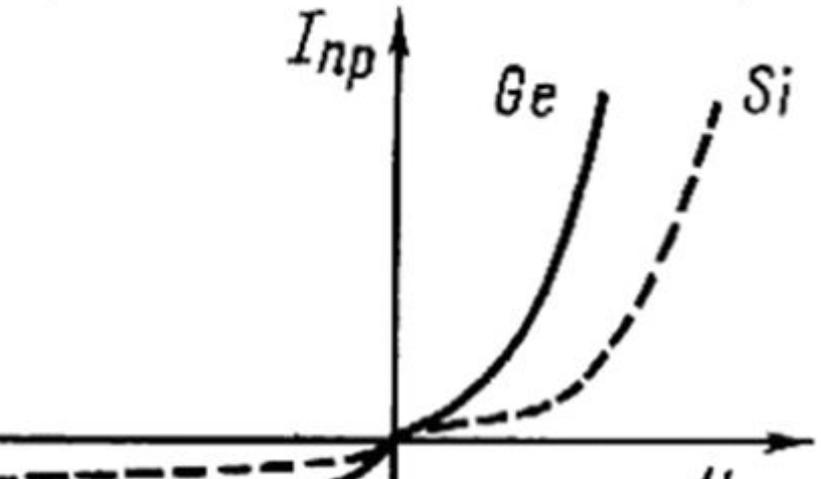
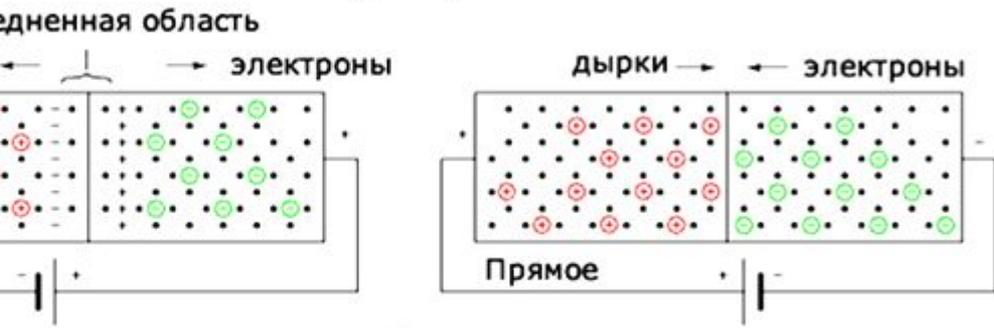
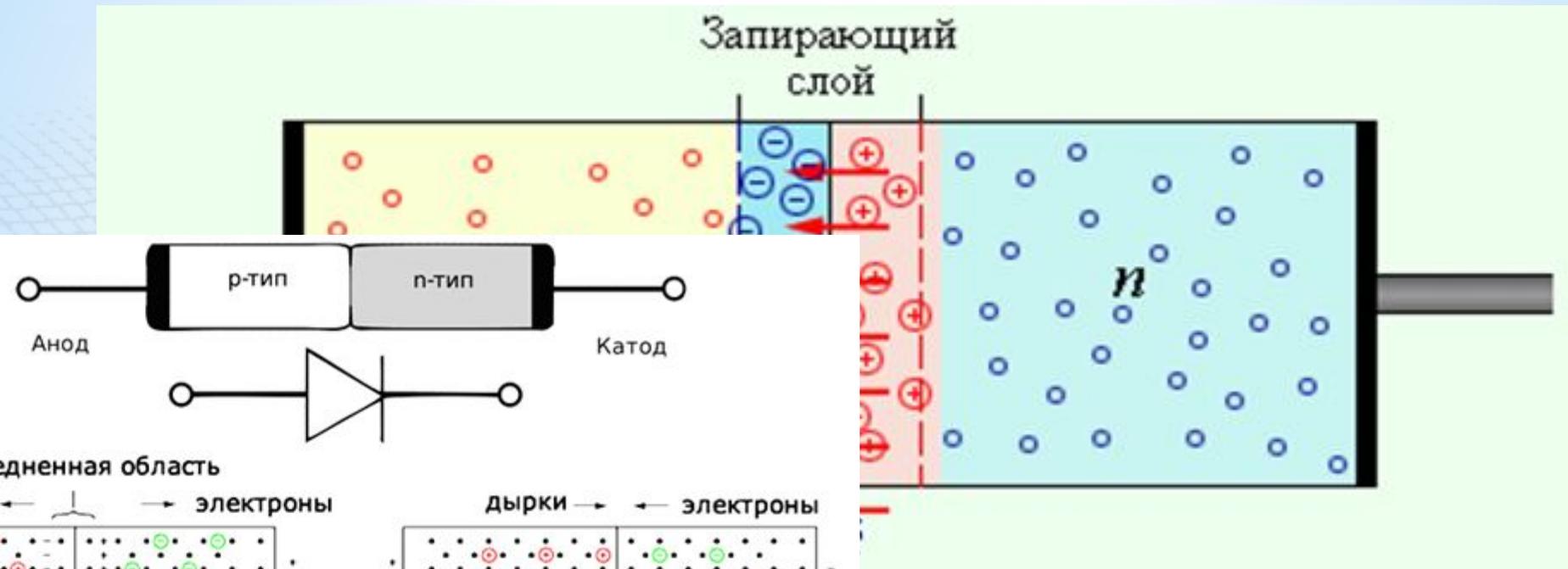
примеси, подобные бору, называют *акцепторными*, поскольку они, будучи введены в кристалл, способны принимать электроны. Так как теперь проводимость обусловлена *положительными* дырками, этот легированный полупроводник носит название полупроводника *p-типа*.

Важно понимать, что образец полупроводника как *n-типа*, так и *p-типа*, сам по себе не обладает в целом электрическим зарядом. В любом случае общее число электронов уравнивается таким же числом протонов в ядрах атомов. Обозначения *n*- и *p*- относятся только к типу зарядов, ответственных за проводимость внутри кристалла.



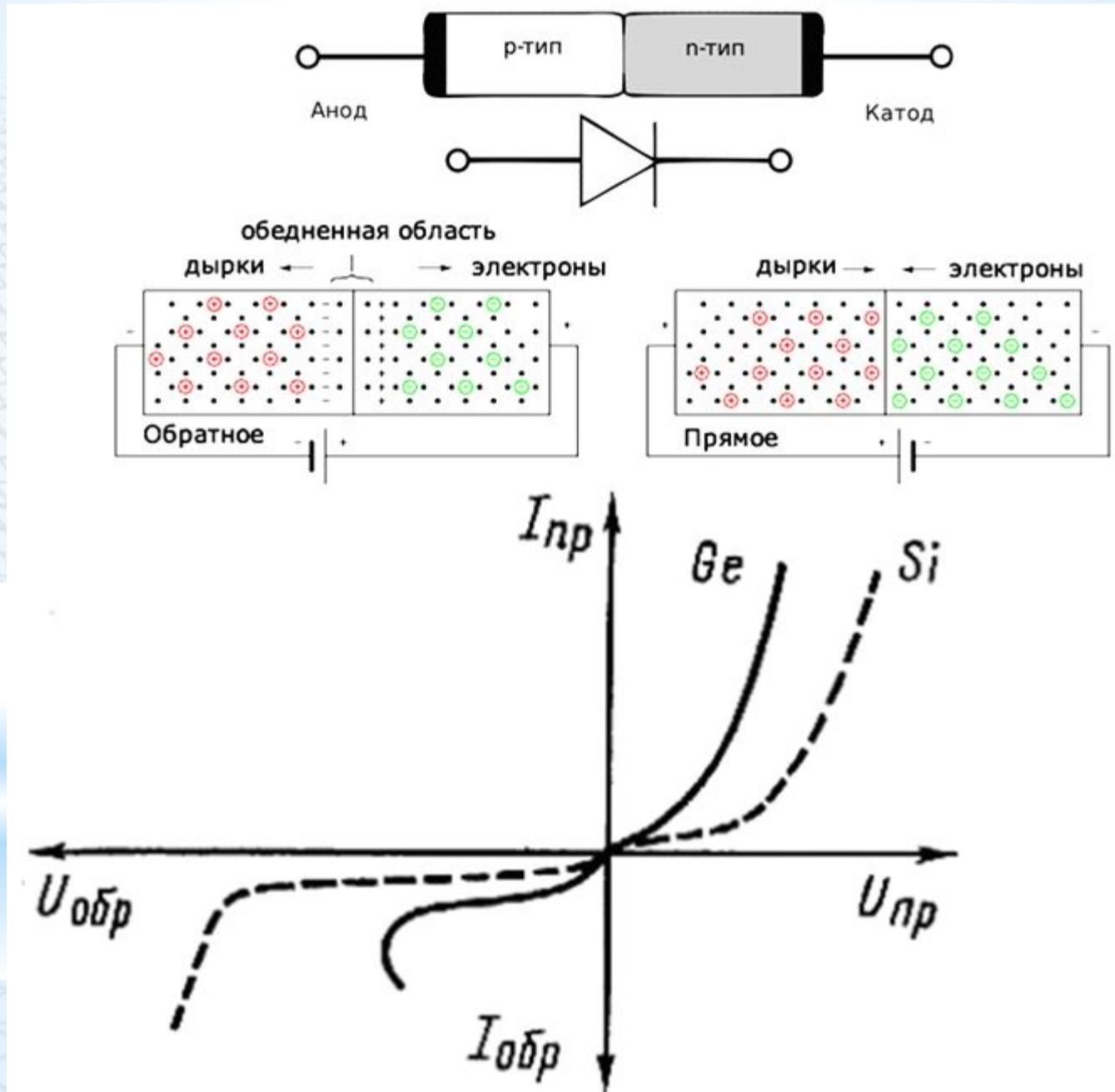
Работа полупроводникового прибора, как правило определяется эффектами, имеющими место на границе между материалами p - и n -типа. На этой стадии важно понять, что **полупроводниковый переход представляет собой изменение материала с p -типа на n -тип в пределах одной и той же непрерывной кристаллической решетки**. При простом соединении образцов материала p -типа и материала n -типа p - n переход не возникает.

При контакте двух полупроводников n - и p -типов начинается процесс диффузии: дырки из p -области переходят в n -область, а электроны, наоборот, из n -области в p -область. В результате в n -области вблизи зоны контакта уменьшается концентрация электронов и возникает **положительно заряженный слой**. В p -области уменьшается концентрация дырок и возникает **отрицательно заряженный слой**. Таким образом, на границе полупроводников образуется двойной электрический слой, поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу



такого начального
 свободных электронов
 тически не остается
 та область, шириной
 зывается обедненным

2. Виды и основные характеристики диодов



2. Виды и основные характеристики диодов

Электрический ток может свободно протекать через диод в одном направлении, а в другом направлении диод представляет собой почти бесконечное сопротивление.

Такая односторонняя характеристика указывает на важное применение диодов: выпрямление, преобразование переменного напряжения в постоянное.

Электрические переходы обладают паразитными параметрами, которые влияют на время переключения в импульсном режиме (инерционность носителей, переходные процессы): барьерной и диффузионной ёмкостями.

Барьерная ёмкость обусловлена зарядами примесных ионов, сосредоточенными в обеднённом слое, с увеличением абсолютного значения обратного напряжения уменьшается. Диффузионная ёмкость образуется в основном при прямом включении, и с ростом прямого напряжения увеличивается.

Кроме этого в реальных p - n -переходах наблюдается явление пробоя, под которым понимают резкое увеличение обратного тока.

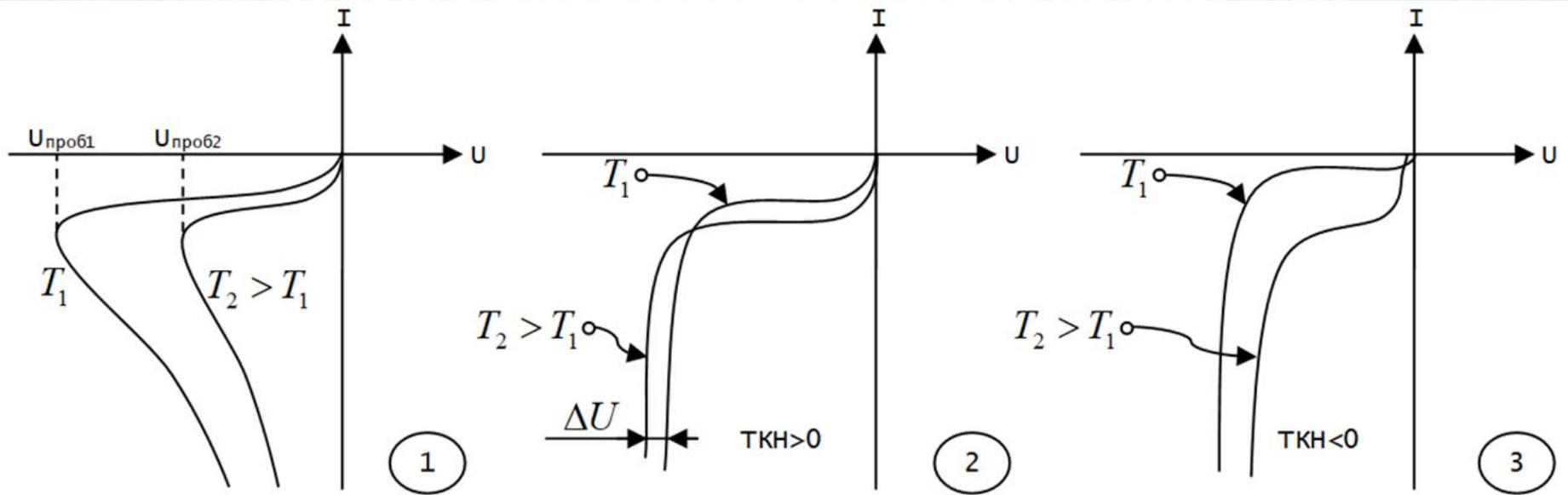
2. Виды и основные характеристики диодов

Различают три вида пробоя

1. Тепловой

2. Лавинный

3. Туннельный

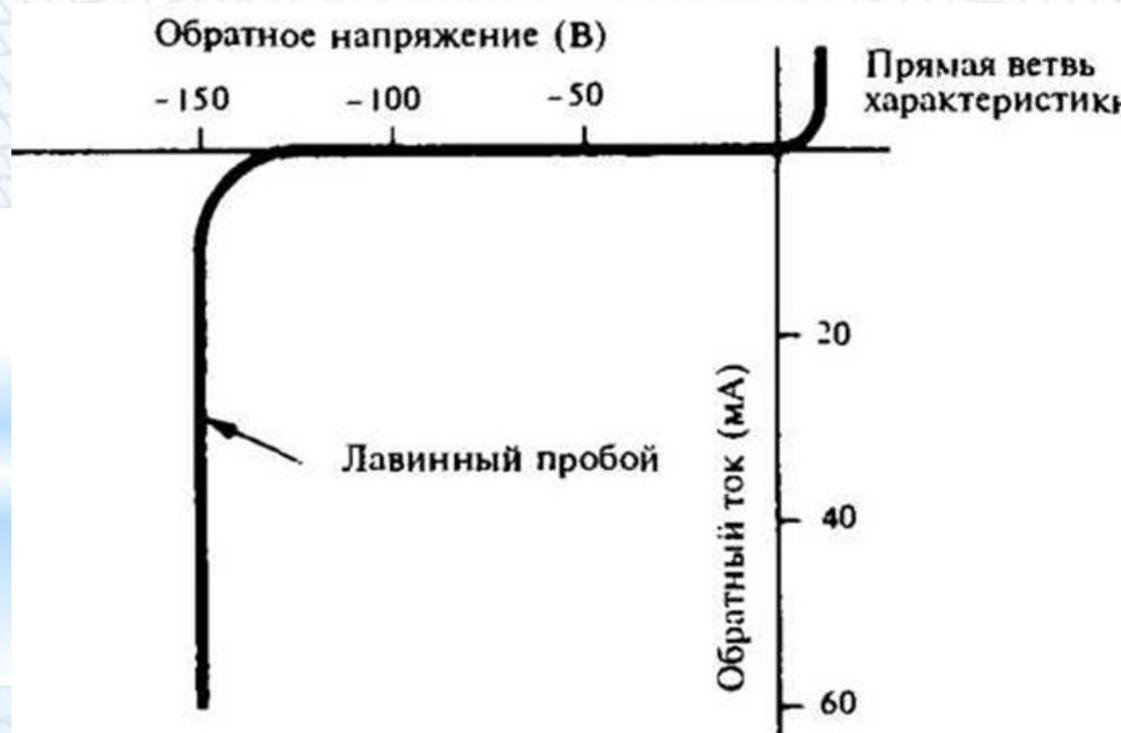


Лавинный и туннельный пробой относятся к электрическим видам пробоев, они обратимы. В основе лавинного пробоя лежит эффект размножения носителей заряда в сильном электрическом поле.

Туннельный пробой p - n - перехода обусловлен проникновением электронов сквозь (а не над ним) потенциальный барьер, что возможно при больших значениях концентраций примесей в p - и n - областях

2. Виды и основные характеристики диодов

Лавинный пробой может происходить при напряжениях от 5 В до 1000 В и выше. Напряжение пробоя зависит от конструкции диода и степени легирования кремния. Значением напряжения пробоя ограничивается обратное пиковое напряжение в выпрямителях.



2. Виды и основные характеристики диодов

Строго говоря, понятие диода Зенера включает в себя туннельный эффект при преодолении потенциального барьера и применимо только к диодам с напряжением пробоя менее 5 В, а при напряжении пробоя более 5 В диоды правильнее называть лавинными.

Диоды и стабилитроны

Диоды. Цветовая маркировка по европейской системе PRO ELECTRON				
Цвет пяти точек	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	4-й элемент
Золотой				
Серебряный				
Черный	AA	X		0
Коричневый			1	1
Красный	BA	S	2	2
Оранжевый			3	3
Желтый		T	4	4
Зеленый		V	5	5
Голубой		W	6	6
Фиолетовый			7	7
Серый		Y	8	8
Белый		Z	9	9

Пример обозначения	
BAT85	

Стабилитроны. Цветовая маркировка по системе JIS-C-7012 (Япония)		
Цвет четыре точки	1-й элемент	2-й элемент
Золотой		
Серебряный		
Черный		0
Коричневый	1	1
Красный	2	2
Оранжевый	3	3
Желтый	4	4
Зеленый	5	5
Голубой	6	6
Фиолетовый	7	7
Серый	8	8
Белый	9	9

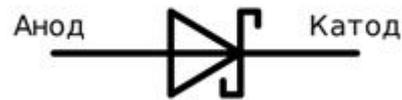
Пример обозначения	
10 В	
Двойной второй элемент указывает на запятую между цифрами	
7,5 В	
3,9 В	

Диоды и стабилитроны. Цветовая маркировка по системе JEDEC (США)					
Цвет четыре точки	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	4-й элемент	5-й элемент
Золотой					
Серебряный					
Черный	0	0	0	0	-
Коричневый	1	1	1	1	A
Красный	2	2	2	2	B
Оранжевый	3	3	3	3	C
Желтый	4	4	4	4	D
Зеленый	5	5	5	5	E
Голубой	6	6	6	6	F
Фиолетовый	7	7	7	7	G
Серый	8	8	8	8	H
Белый	9	9	9	9	I

Пример обозначения	
1N66	
1N237A	
1N1420G	

2. Виды и основные характеристики диодов.

На основе модификации $p-n$ перехода созданы полупроводниковые диоды с особыми свойствами, для их обозначения условные обозначения используют специальные знаки, изображаемые либо на самом базовом символе диода, либо в непосредственной близости от него, а чтобы акцентировать внимание на некоторых из них, базовый символ помещают в круг – условное обозначение корпуса полупроводникового прибора.

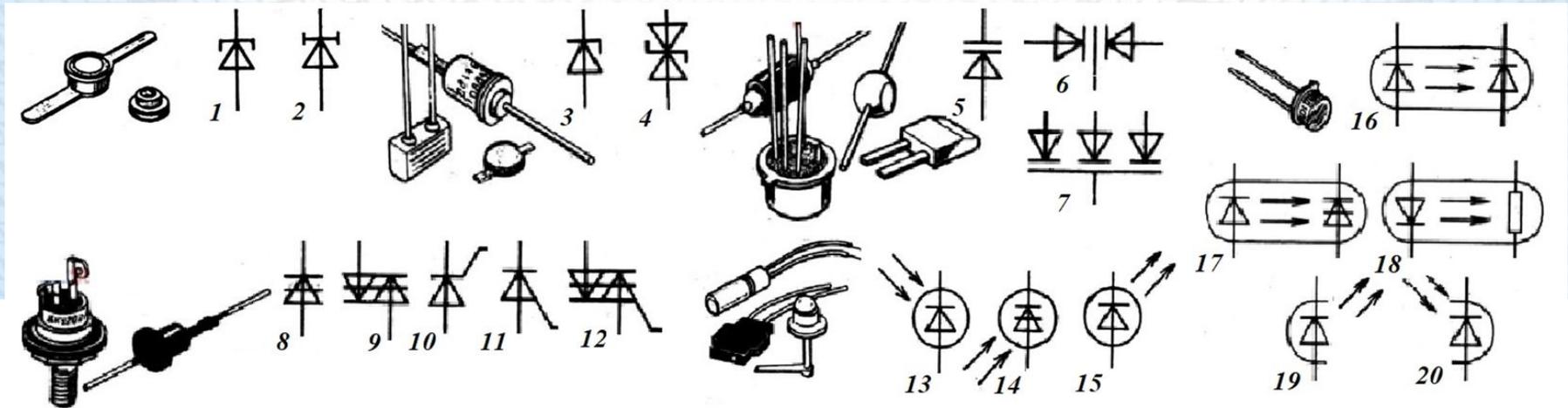


Диод Шоттки – полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении. В диодах Шоттки в отличие от обычных диодов, где используется $p-n$ переход, в качестве барьера Шоттки используется переход металл-полупроводник.

на практике большинство диодов Шоттки применяется в низковольтных цепях при обратном напряжении порядка единиц и нескольких десятков вольт

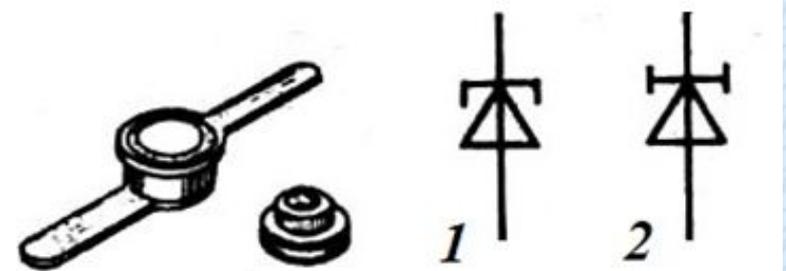
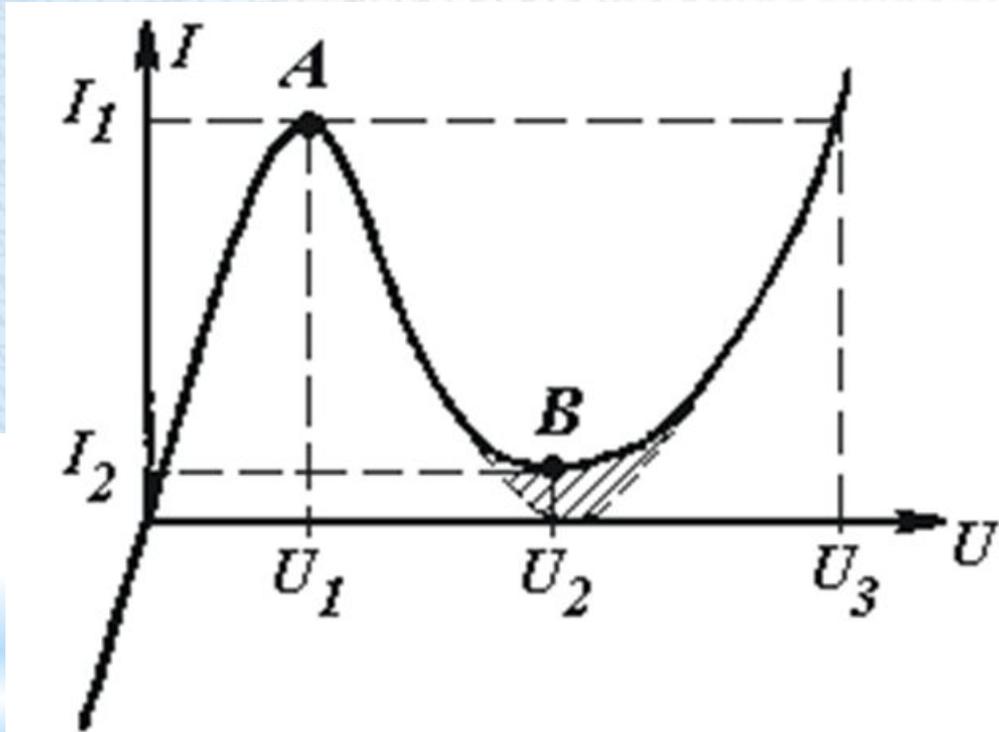
2. Виды и основные характеристики диодов.

На основе модификации $p-n$ перехода созданы полупроводниковые диоды с особыми свойствами.



2. Виды и основные характеристики диодов.

Благодаря необычной форме вольт-амперной характеристики (на ней имеется участок отрицательного сопротивления) туннельные диоды используют для усиления и генерирования электрических сигналов и в переключающих устройствах.

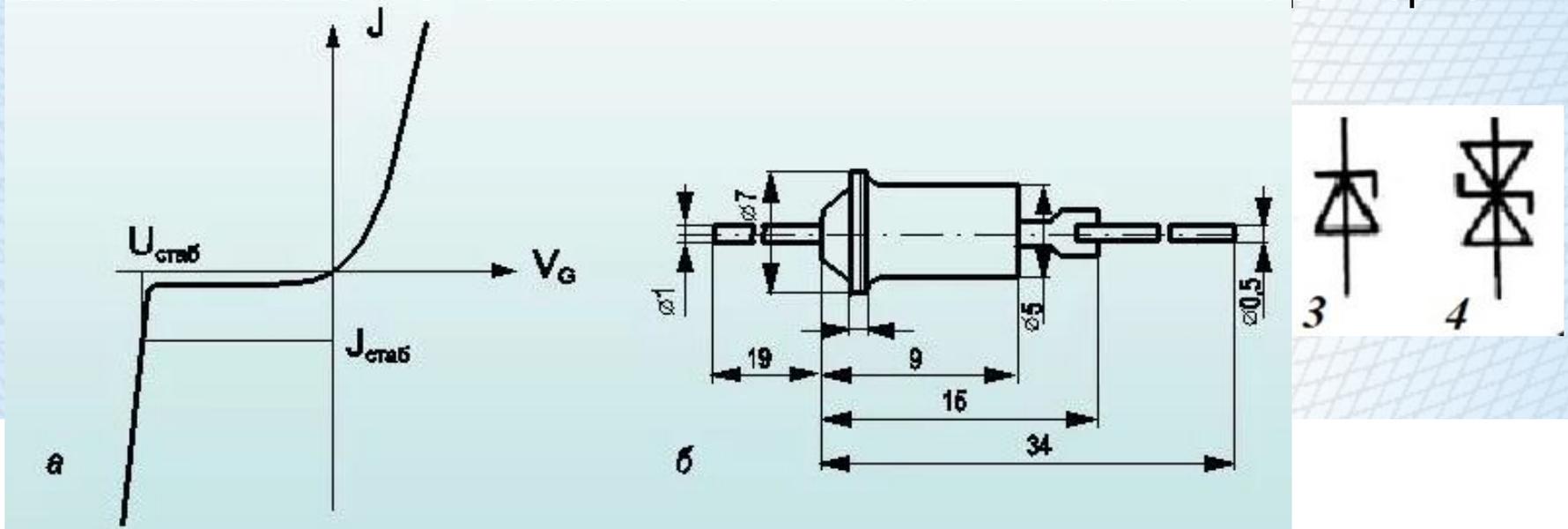


Туннельные диоды изготавливают из полупроводниковых материалов с очень большим содержанием примеси, в результате чего полупроводник превращается в полуметалл.

2. Основные виды и характеристики диодов.

Стабилитроны

Прочное место в источниках питания, особенно низковольтных, завоевали полупроводниковые диоды зеннера или стабилитроны, работающие также на обратной ветви вольт-амперной характеристики.



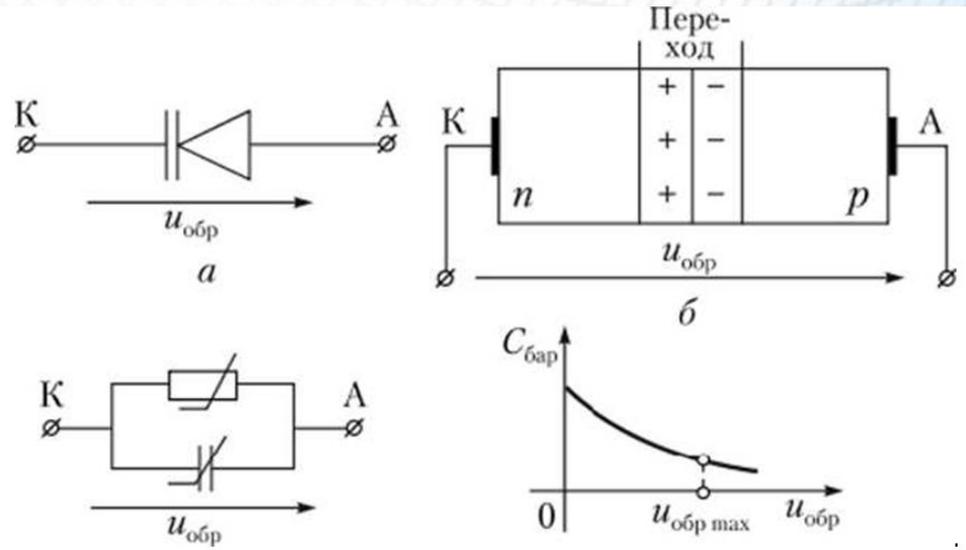
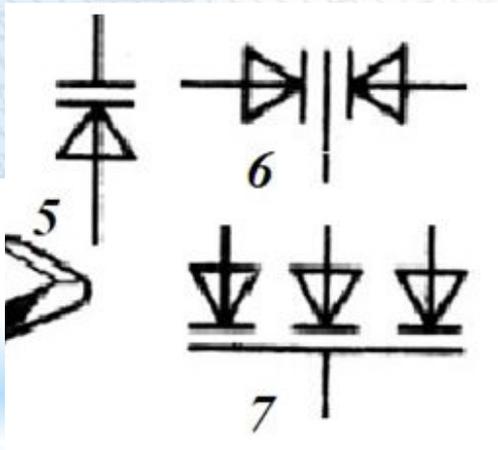
При включении их в обратном направлении и определенном напряжении - на переходе последний «пробивается», и в дальнейшем, несмотря на увеличение тока через переход напряжение на нем остался почти неизменным.

2. Основные виды и характеристики диодов.

Варикапы

Изменяя напряжение, приложенное к $p-n$ переходу, можно изменять его толщину, а следовательно, и емкость между слоями полупроводника.

Это явление использовано в специальных полупроводниковых приборах – **варикапах** [от английских слов **vari**(able) – переменный и **cap**(acitor) – конденсатор].

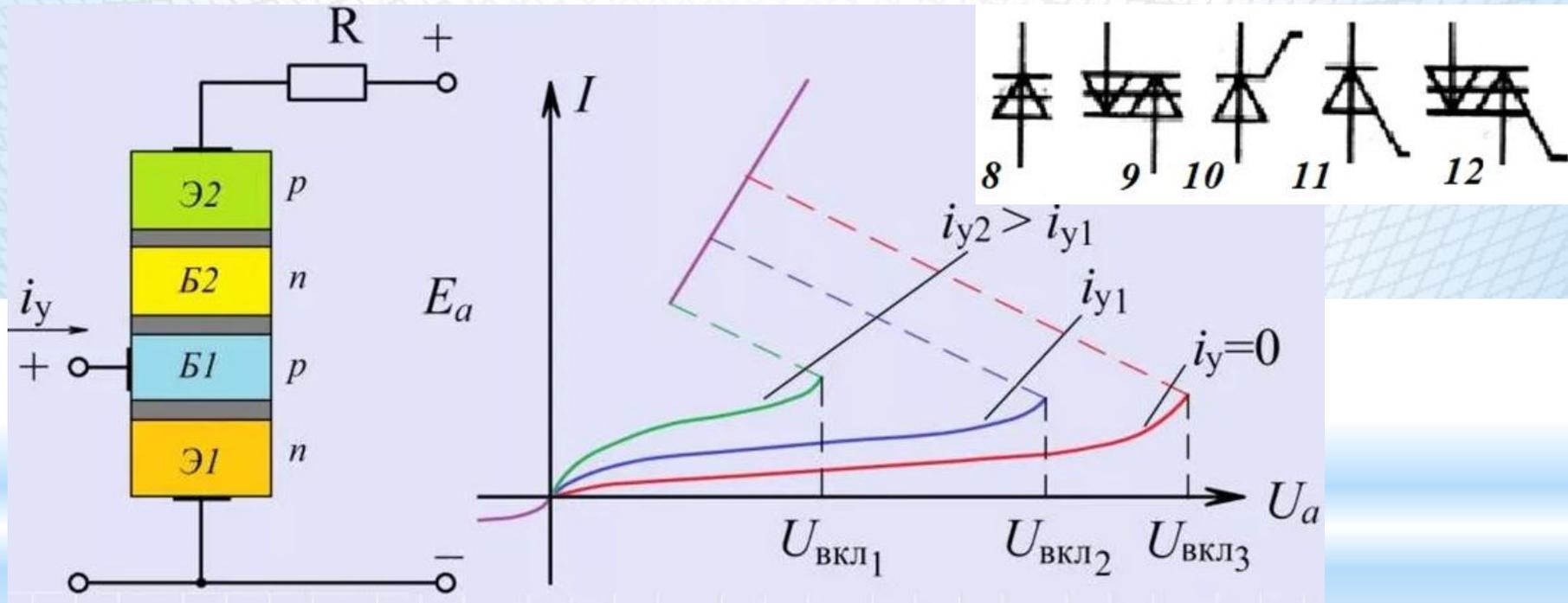


Варикапы широко применяют для настройки колебательных контуров, в устройствах автоматической подстройки частоты, а также в качестве частотных модуляторов в различных генераторах.

2. Основные виды и характеристики диодов.

Тиристоры

Это диоды, представляющие собой чередующиеся слои кремния с электропроводностью типов р и n. Таких слоев в тиристоре четыре, - он имеет три р-n перехода (структура р-n-p-n).



Тиристоры с выводами только от крайних слоев структуры называют динисторами и обозначают символом диода, перечеркнутым отрезком линии, параллельной черточке-катоде (рис. 8). Такой же прием использован и при построении обозначения симметричного динистора (рис. 9).

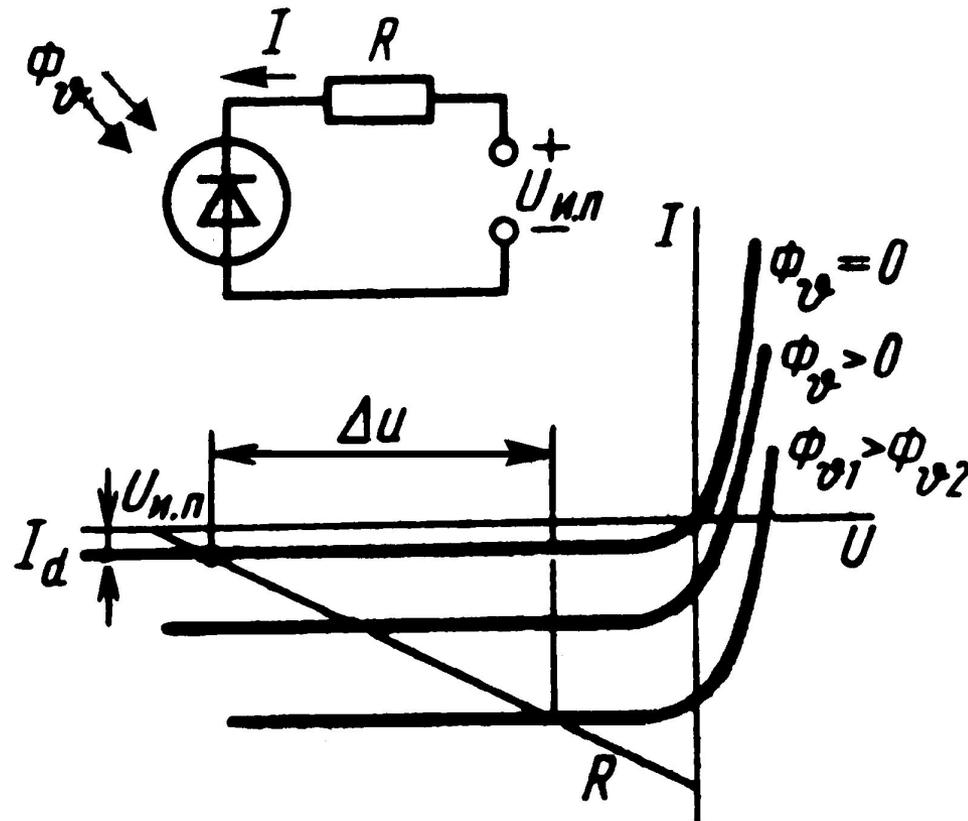
2. Основные виды и характеристики диодов.

Фотодиоды

Основной частью **фотодиода** является переход, работающий при обратном смещении.

В отсутствие света ток через *p-n* переход очень мал – не превышает обратного тока обычного диода.

При освещении кристалла обратное сопротивление перехода резко падает, ток через него растет.

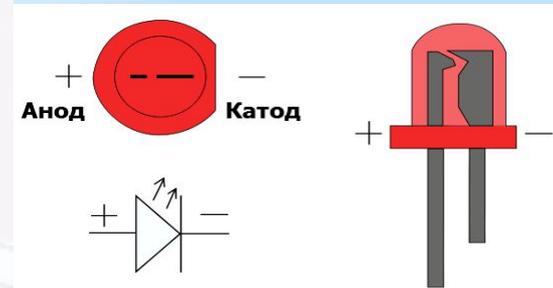
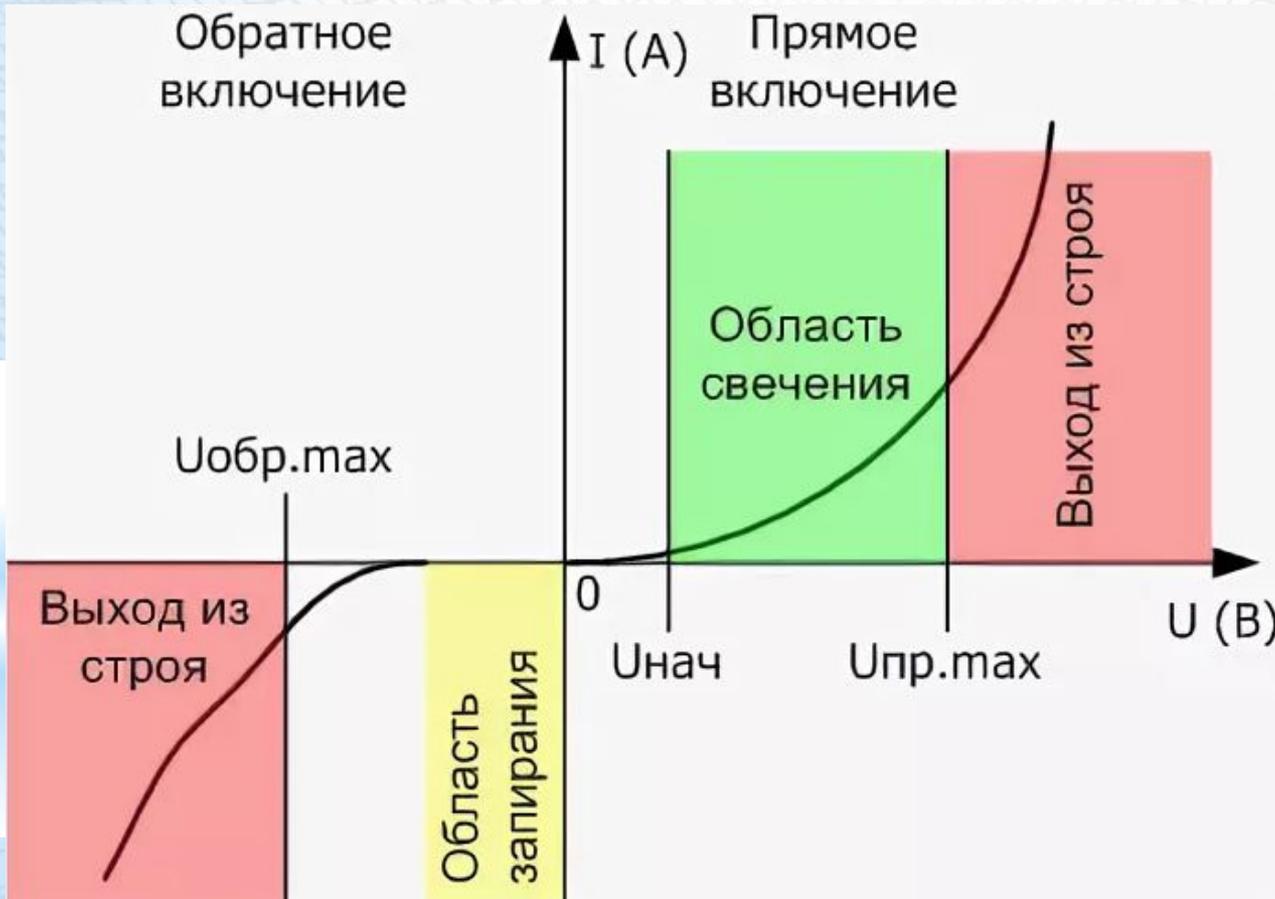


В фотодиодном режиме при напряжении питания 20 В. I_d (темновой ток) кремниевых фотодиодов обычно не превышает 3 мкА, в то время как у германиевых фотодиодов при напряжении питания 10В он достигает 15—20 мкА.

2. Основные виды и характеристики диодов.

Светодиоды

Полупроводниковые диоды, излучающие свет при прохождении тока через р-п переход, называют светодиодами. Включают такие диоды в прямом направлении.



3. Основные схемы подключения диодов

