

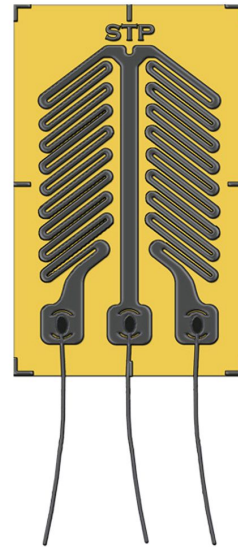
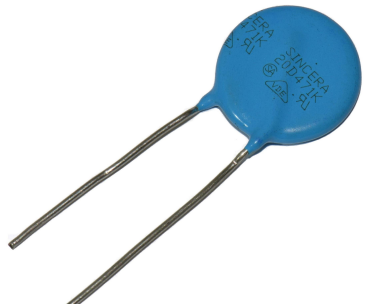
ПРИБОРЫ

- Полупроводниковыми называются приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводниковых материалов.



**Полупроводниковые резисторы** — приборы с двумя выводами, в которых электрическое сопротивление зависит от приложенного напряжения, температуры, освещенности, механических деформаций и других управляющих параметров. Полупроводниковые резисторы широко используются в качестве датчиков освещенности, в системах регулирования температуры, тепловой защиты, противопожарной безопасности и т.д.

- **Линейный резистор** - удельное сопротивление мало зависит от напряжения и тока. Является «элементом» интегральных микросхемах.

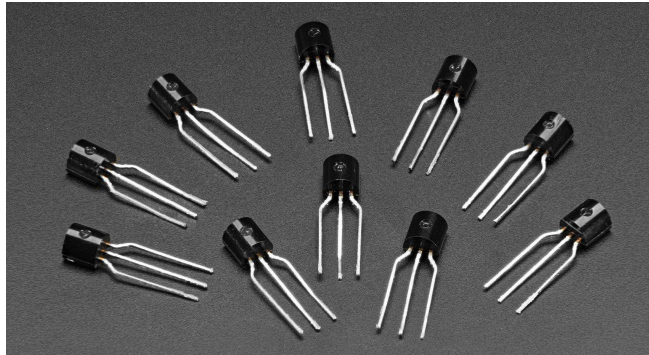
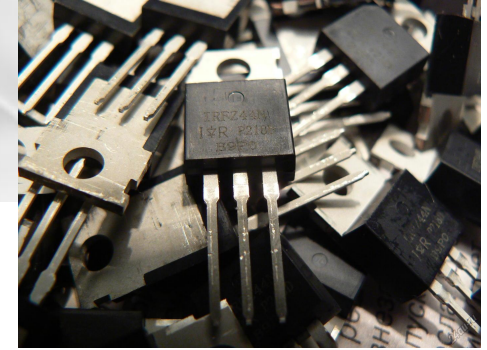
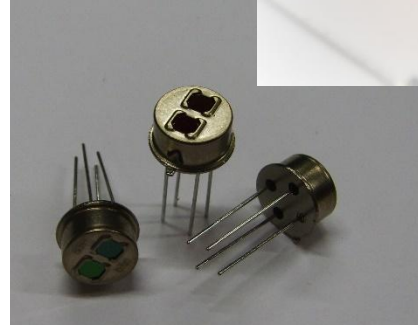
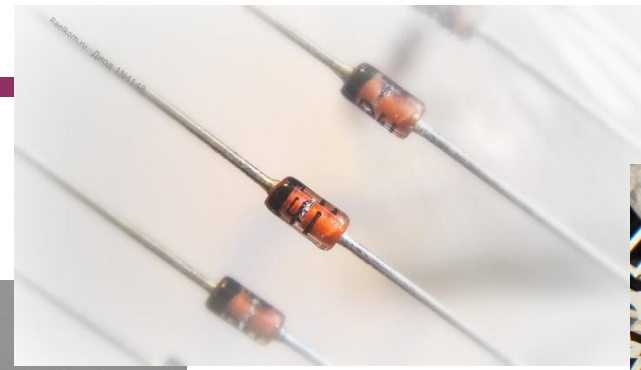


Тип резисторов	Условное обозначение
Линейные резисторы	
Варисторы	
Тензорезисторы	
Терморезисторы	
Фоторезисторы	

- **Варистор** - сопротивление зависит от приложенного напряжения.
- **Терморезистор** - сопротивление зависит от температуры. Различают два типа: термистор (с увеличением температуры сопротивление падает) и позисторы (с увеличением температуры сопротивление возрастает).
- **Фоторезистор** - сопротивление зависит от освещенности (излучения).
- **Тензорезистор** - сопротивление зависит от механических деформаций.



- *Полупроводниковые диоды* — приборы с одним р-п переходом и двумя выводами, в которых используются свойства этого перехода. Полупроводниковые диоды широко применяются в электронике для выпрямления электрического тока, стабилизации напряжения и тока, для генерации высокочастотных сигналов, в качестве быстродействующих переключателей в системах автоматики и т.д.
- *Полупроводниковые фотоэлектрические приборы* — это приборы, в которых используется эффект взаимодействия оптического излучения (видимого инфракрасного или ультрафиолетового) с носителями заряда (электронами или дырками). Эти приборы широко используются в системах автоматики, контрольно-измерительных устройствах, в системах оптоволоконной техники, в качестве элементов солнечных батарей и др.
- *Биполярные транзисторы* — полупроводниковые приборы, имеющие два р-п перехода и используемые для усиления и генерации электрического сигнала.

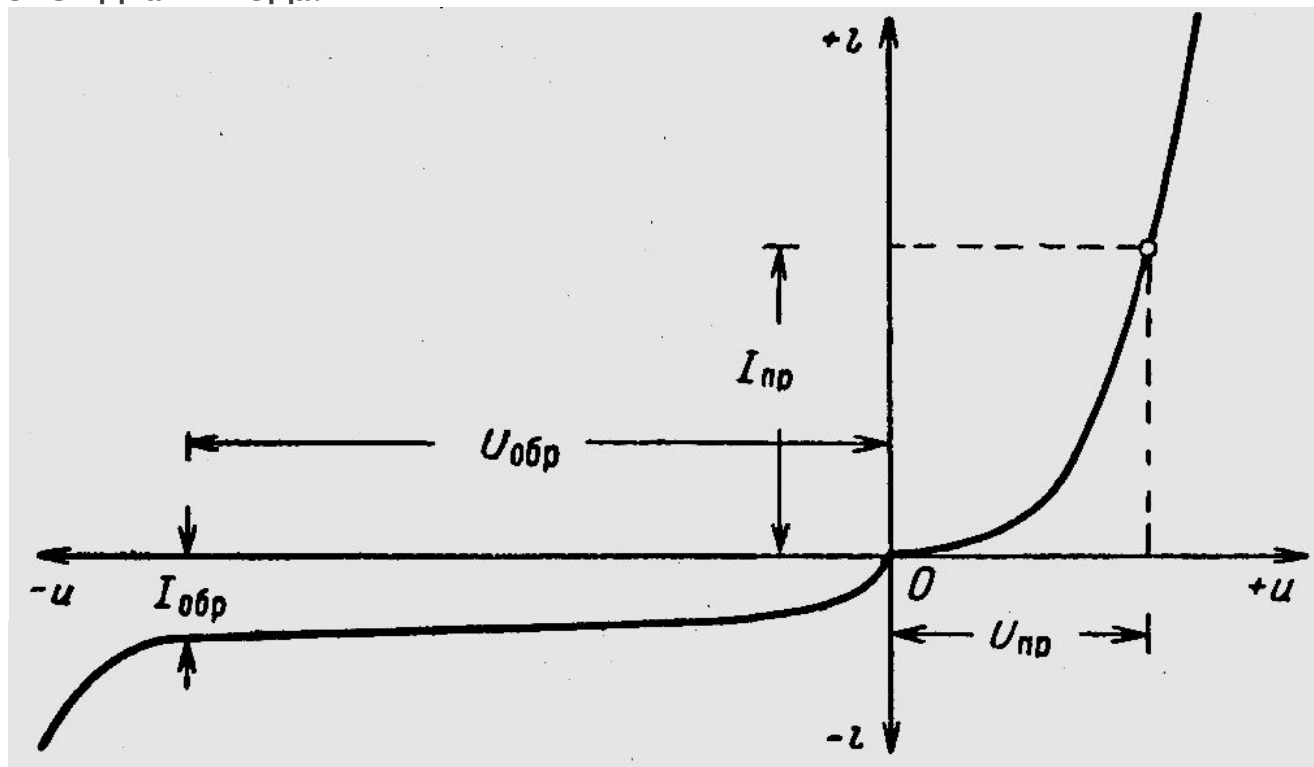
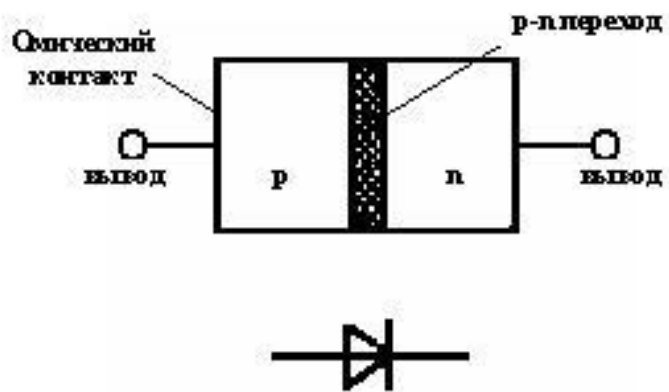


- *Полевые транзисторы* — полупроводниковые приборы, в которых используются полупроводниковые материалы с различными типами электропроводности и которые образуют один р или n переход. Полевые транзисторы применяются в качестве усилителей и генераторов на высоких частотах.
- *Тиристоры* — полупроводниковые приборы, имеющие три или более р-п переходов. Тиристоры широко применяются в качестве быстродействующих переключателей.
- *Полупроводниковые микросхемы* — микроэлектронные изделия, предназначенные для преобразования электрического сигнала, все элементы и межэлементные соединения которых выполнены в объеме и на поверхности полупроводникового кристалла.

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



- **Полупроводниковый диод** – это полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя омическими контактами (омическим называют контакт металла с полупроводником, не обладающий выпрямляющим свойством), к которым присоединяются два вывода.



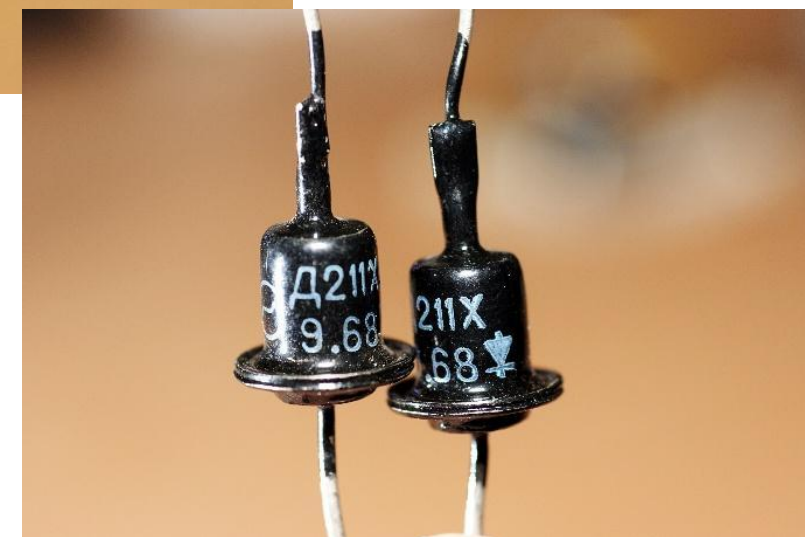
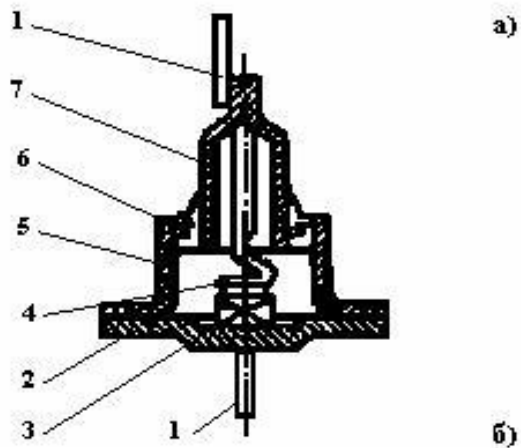
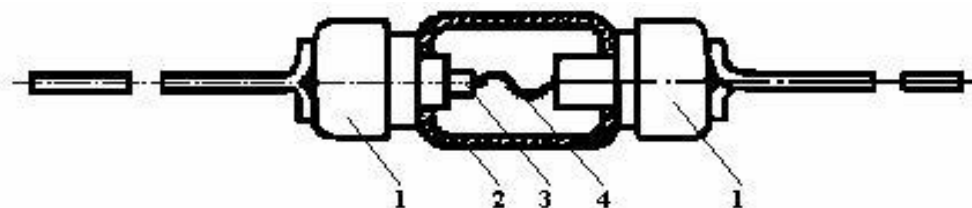
## КЛАССИФИЦИРУЮТ ДИОДЫ ПО РАЗЛИЧНЫМ ПРИЗНАКАМ:

- ❑ *неосновному полупроводниковому материалу* – кремниевые, германиевые, из арсенида галлия;
- ❑ *по физической природе процессов, обуславливающих их работу* – туннельные, фотодиоды, светодиоды и др.;
- ❑ *по назначению* – выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы и др.;
- ❑ *по технологии изготовления электрического перехода* – сплавные, диффузионные и др.;
- ❑ *по типу электрического перехода* – точечные и плоскостные.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОСНОВНОМУ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМУ МАТЕРИАЛУ

- **Кремниевые диоды** обладают малыми обратными токами, более высокой рабочей температурой (150 - 200 °С), выдерживают большие обратные напряжения и плотности тока. Кроме того, кремний – широко распространенный.
- К преимуществам **германиевых диодов** можно отнести малое падение напряжения при протекании прямого тока (0,3 - 0,6 В против 0,8 - 1,2 В). Рабочая температура 80 - 100 °С. Кроме названных полупроводниковых материалов, в сверхвысокочастотных цепях используют арсенид галлия GaAs.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ТИПУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА





## Точечные диоды

- Имеют очень малую площадь электрического перехода. Линейные размеры, определяющие ее, меньше ширины р-п-перехода.
- Точечные диоды в основном изготавливают из **германия п-типа**, металлическую пружинку – из тонкой проволоочки, материал которой для германия п-типа должен быть акцептором. Острие пружинки затачивается до площади в несколько квадратных микрометров.
- Корпус точечных диодов герметичный. Он представляет собой керамический или стеклянный баллон, покрытый черной светонепроницаемой краской (во избежание проникновения света, так как кванты света могут вызвать генерацию носителей заряда вблизи р-п-перехода, а, следовательно, увеличить обратный ток диода).
- Благодаря малой площади р-п-перехода емкость точечных диодов очень незначительна. Поэтому точечные диоды используют на высоких и сверхвысоких частотах. Их применяют в основном для выпрямления переменного тока высокой частоты (выпрямительные диоды высокочастотные) и в импульсных схемах (импульсные диоды).
- Так как площадь р-п-перехода точечного диода мала, то прямой ток через переход должен быть небольшим из-



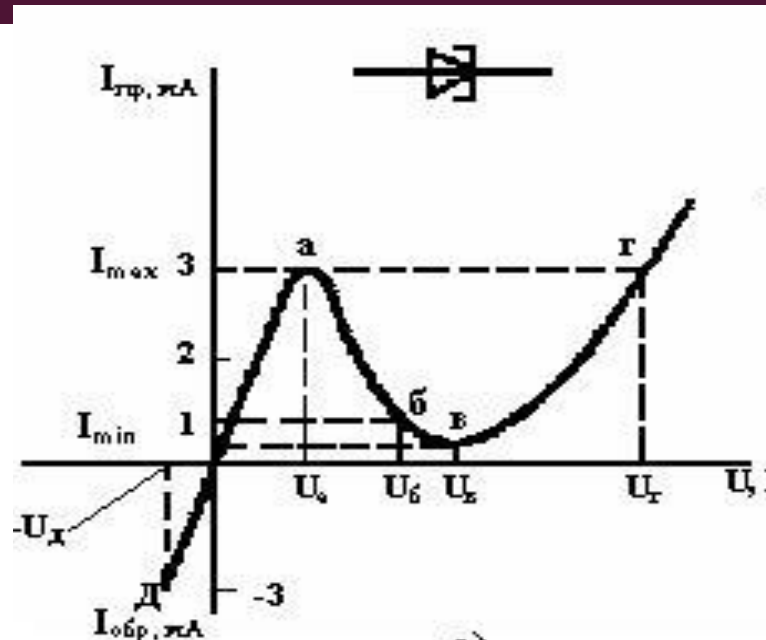
## Плоскостные диоды

- Плоскостные диоды имеют плоский электрический переход, линейные размеры которого, определяющие его площадь, значительно больше ширины р-п-перехода.
- Плоскостные диоды используются для работы на частотах до 10 кГц. Ограничение по частоте связано с большой барьерной емкостью р-п-перехода.
- Плоскостные диоды, как и точечные, могут быть выполнены с контактом металла – полупроводник.
- Емкость электрического перехода таких диодов небольшая, время перезарядки емкости мало, поэтому их используют для работы в импульсных

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ

## Туннельные диоды

- Туннельным диодом называют полупроводниковый прибор, сконструированный на основе вырожденного полупроводника, в котором при обратном и небольшом прямом напряжении возникает туннельный эффект и вольт-амперная характеристика имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.
- Устройство туннельных диодов в принципе почти не отличается от устройства других диодов, но для их изготовления применяют полупроводниковые материалы с большим содержанием примесей.
- Удельные сопротивления областей р- и n-типов очень малы, а ширина р-n-перехода составляет примерно 0,02 мкм.
- Напряженность электрического поля в таких р-n-переходах достигает огромной величины – до  $10^6$  В/см.



- Туннельные диоды обладают усилительными свойствами и могут работать в схемах как активные элементы.
- Широкое применение в ЭВМ, в качестве быстродействующих импульсных переключающих устройств и в генераторах высокочастотных колебаний. Создают схемы мультивибраторов, триггеров, которые служат основой для построения логических схем, запоминающих устройств и т.д.



светодиод

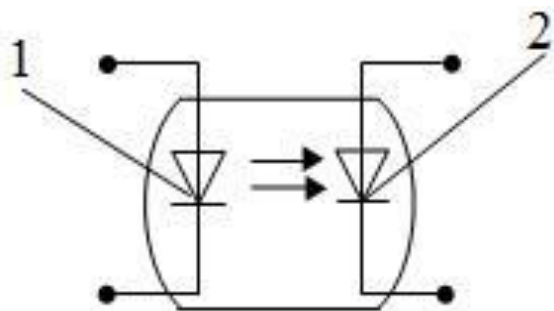
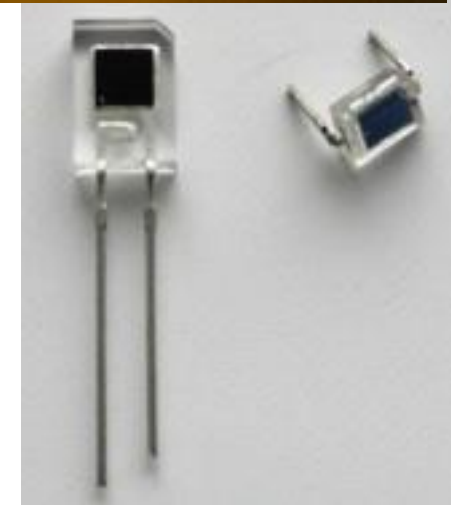


фотодиод



## Простейший фотодиод

- Представляет собой обычный полупроводниковый диод, в котором обеспечивается возможность воздействия оптического излучения на р–n-переход
- Ток через р–n-переход обусловлен дрейфом неосновных носителей – дырок. Дрейфовый ток фотоносителей называется **фототоком**.
- Фотоносители – дырки заряжают р-область положительно относительно n-области, а фотоносители – электроны – n-область отрицательно по отношению к р-области. Возникающая разность потенциалов называется **фотоЭДС**.
- Генерируемый ток в фотодиоде – обратный, он направлен от катода к аноду, причем его величина тем больше, чем больше освещенность.



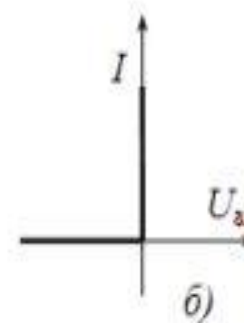
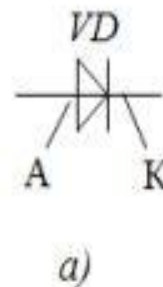
- Фотодиоды, работающие в режиме фотогенератора, часто применяют в качестве источников питания, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую. Они называются **солнечными элементами** и входят в состав солнечных батарей, используемых на космических кораблях.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ



## Выпрямительные диоды

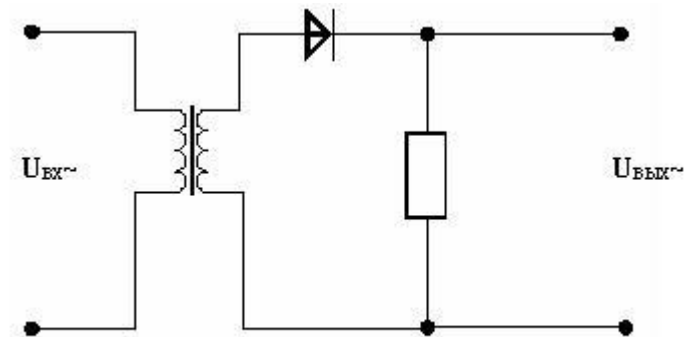
- Работа выпрямительного диода объясняется свойствами электрического р–п-перехода.
- Вблизи границы двух полупроводников образуется слой, лишенный подвижных носителей заряда (из-за рекомбинации) и обладающий высоким электрическим сопротивлением, – запирающий слой. Этот слой определяет потенциальный барьер.



- Если к р–п-переходу приложить внешнее напряжение, создающее электрическое поле в направлении, противоположном полю электрического слоя, то толщина этого слоя уменьшится и при напряжении 0,4 - 0,6 В запирающий слой исчезнет, а ток существенно возрастет (этот ток называют прямым).
- При подключении внешнего напряжения другой полярности запирающий слой увеличится и сопротивление р–п-перехода возрастет, а ток, обусловленный движением неосновных носителей заряда, будет незначительным даже при сравнительно больших напряжениях.
- Прямой ток диода создается **основными**, а обратный – **неосновными** носителями заряда. Положительный (прямой) ток диод пропускает в направлении от анода к катоду.

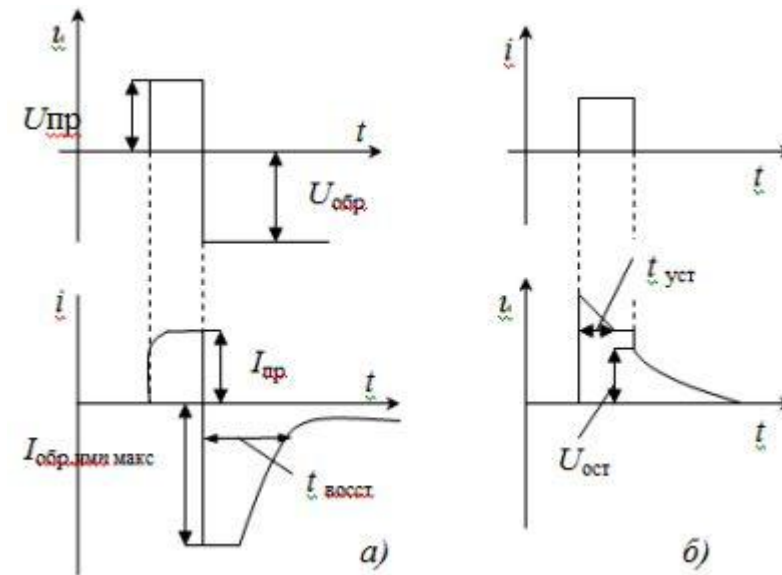
- В выпрямительных диодах используется свойство односторонней проводимости p-n-перехода.
- Их применяют в качестве **вентилей**, которые пропускают **переменный ток** только в **одном направлении**.
- Вентильные свойства диода зависят от того, насколько мал обратный ток. Для уменьшения обратного тока необходимо снижать концентрацию неосновных носителей, что может быть обеспечено за счет высокой степени очистки исходного полупроводника.

- Простейшая схема однополупериодного выпрямителя с полупроводниковыми диодами



## Импульсные диоды

- Диоды, предназначенные для работы в импульсных режимах, называются импульсными. Такие диоды используют, например, в вычислительных устройствах.
- В импульсных режимах через промежутки времени, равные единицам – долям микросекунды, диоды переключаются с прямого напряжения на обратное. При этом каждое новое состояние диода не может устанавливаться мгновенно, поэтому существенное значение здесь приобретают так называемые переходные процессы.
- УГО импульсных диодов такое же, как у выпрямительных диодов.

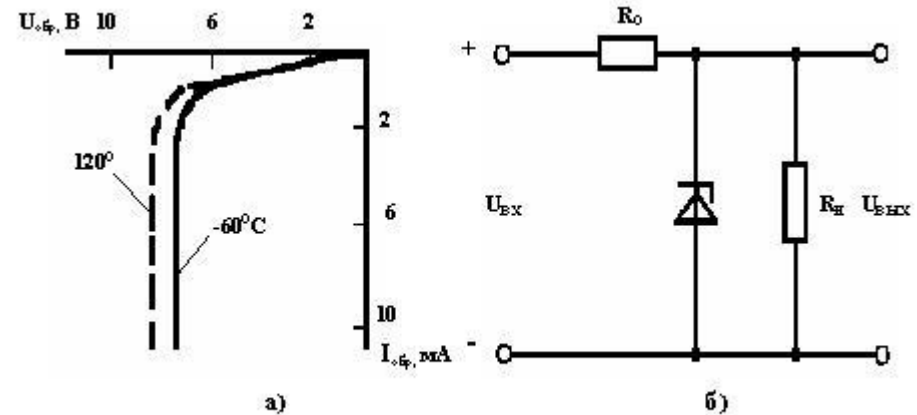


# Стабилитроны



- **Стабилитроны** – полупроводниковые диоды, работающие в режиме электрического пробоя (принцип работы стабилитрона основан на том, что при обратном напряжении на р-п-переходе в области электрического пробоя напряжение на нем практически не изменяется при значительном изменении тока).
- Это полупроводниковые диоды, принцип работы которых основан на том, что при обратном напряжении на р-п-переходе в области электрического пробоя напряжение на нем изменяется незначительно при значительном изменении тока.
- Стабилитроны предназначены для стабилизации напряжений и используются в параметрических стабилизаторах напряжения, в качестве источников опорных напряжений, в схемах ограничения импульсов и др.
- Напряжение стабилизации является рабочим. Оно зависит от свойств полупроводника, из которого изготавливают диод, а также технологии изготовления прибора.

- Все стабилитроны изготавливают на основе п-кремния



- Если используется исходный полупроводник с высокой концентрацией примеси (низкоомный), то р-п-переход будет узким и наблюдается **туннельный** пробой. Рабочее напряжение при этом небольшое (до 6 В). В высокоомных полупроводниках р-п-переход широкий, пробой носит характер лавинного, рабочее напряжение несколько больше (порядка 8 В и более).



# Варикап

- Это полупроводниковый диод, основным параметром которого является, не односторонняя электрическая проводимость, а изменяемая под действием управляющего напряжения емкость.
- То есть в варикапе используется зависимость приложенного к нему обратного напряжения и емкости р-п-перехода.



- При прямом управляющем напряжении (+ к аноду, – к катоду) варикап работает как обычный диод.
- Если же к варикапу приложено обратное напряжение (+ к катоду, - к аноду), то ширина потенциального барьера увеличивается и он начинает вести себя как простейший **конденсатор**.
- При этом, чем больше обратное напряжение тем меньше емкость конденсатора (барьер расширяется и расстояние между воображаемыми обкладками увеличивается).

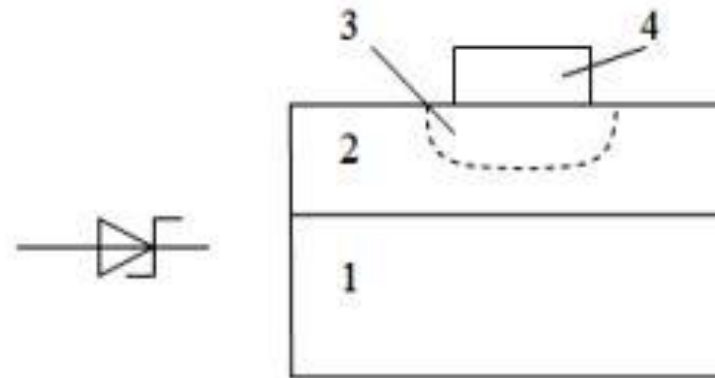


■ **Диоды Шоттки** получают, используя переход металл-полупроводник. При этом применяют подложки из низкоомного n-кремния (или карбида кремния) с высокоомным тонким слоем того же полупроводника

■ На поверхность эпитаксиального слоя наносят металлический электрод, обеспечивающий выпрямление, но не инжектирующий неосновные носители в базовую область (чаще всего золото). Благодаря этому в этих диодах нет таких медленных процессов, как накопление и рассасывание неосновных носителей в базе.

■ Кроме этого, у диодов Шоттки оказывается значительно меньше, чем у выпрямительных диодов последовательное сопротивление, так как металлический слой имеет малое сопротивление по сравнению с любым даже сильно легированным полупроводником. Это позволяет использовать диоды Шоттки для выпрямления значительных токов.

■ Применяют в импульсных вторичных источниках питания для выпрямления высокочастотных напряжений (частотой до нескольких МГц).



УГО и структура диода Шоттки: 1 – низкоомный исходный кристалл кремния, 2 – эпитаксиальный слой высокоомного кремния, 3 – область объемного заряда, 4 – металлический контакт



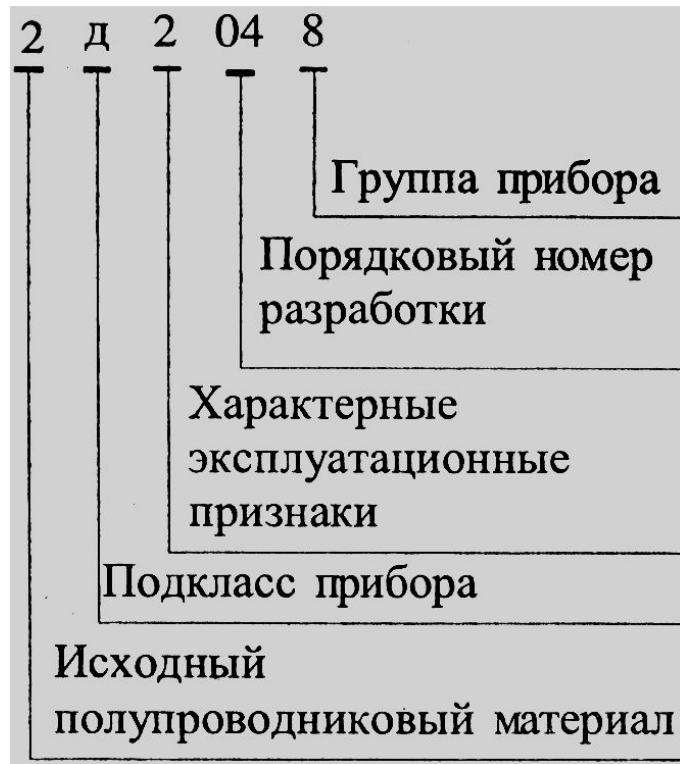
## ВЫВОД:

- **Выпрямительные диоды** предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты (обычно менее 50 кГц) в постоянный, т.е. для выпрямления. Их основными параметрами являются максимально допустимый прямой ток  $I_{пр\ max}$  и максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\ max}$ .
- **Универсальные диоды** служат для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц). Параметры этих диодов те же, что и у выпрямительных, только вводятся еще дополнительные: максимальная рабочая частота (МГц) и емкость диода (пФ).
- **Импульсные диоды** предназначены для преобразования импульсного сигнала, применяются в быстродействующих импульсных схемах. Требования, предъявляемые к этим диодам, связаны с обеспечением быстрой реакции прибора на импульсный характер подводимого напряжения - малым временем перехода диода из закрытого состояния в открытое и обратно.
- **Стабилитроны** - это полупроводниковые диоды, падение напряжения на которых мало зависит от протекающего тока. Служат для стабилизации напряжения.
- **Варикапы** - принцип действия основан на свойстве р-п-перехода изменять значение барьерной емкости при изменении на нем величины обратного напряжения. Применяются в качестве конденсаторов переменной емкости, управляемых напряжением. В схемах варикапы включаются в обратном направлении.
- **Светодиоды** - это полупроводниковые диоды, принцип действия которых основан на излучении р-п-переходом света при прохождении через него прямого тока.
- **Фотодиоды** – обратный ток зависит от освещенности р-п-перехода.
- **Диоды Шоттки** – основаны на переходе металл-полупроводник, за счет чего обладают значительно более высоким быстродействием, нежели обычные диоды.

# МАРКИРОВКА

## обозначения исходного полупроводникового материала

- Г, или 1 – германий или его соединения;
- К, или 2 – кремний или его соединения;
- А, или 3 – соединения галлия;
- И, или 4 – соединения индия.



## обозначения подклассов диодов

- Д – диоды выпрямительные и импульсные;
- В – варикапы;
- И – туннельные диоды;
- С – стабилитроны;

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ

## Туннельные диоды (подкласс И):

### Диоды (подкласс Д):

- 1 – выпрямительные диоды с постоянным или средним значением прямого тока не более 0,3 А;
- 2 – выпрямительные диоды с постоянным или средним значением прямого тока более 0,3 А, но не свыше 10 А;
- 3 – импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления более 500 нс;
- 4 – импульсные диоды с временем восстановления более 150 нс, но не свыше 500 нс;
- 5 – импульсные диоды с временем восстановления 30...150 нс;
- 6 – импульсные диоды с временем восстановления 5...30 нс;

### Варикапы (подкласс В):

- 1 – блочные варикапы;
- 2 – усилительные варикапы;
- 3 – импульсные диоды с временем восстановления
- 4 – импульсные диоды с эффективным временем жизни неосновных носителей заряда менее 1 нс.

- 1 – усилительные туннельные диоды;
- 2 – генераторные туннельные диоды;
- 3 – туннельные диоды с...

### Стабилитроны (подкласс С):

- 1 – стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 2 – стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации 10...100 В;
- 3 – стабилитроны мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В;
- 4 – стабилитроны мощностью не более 0,3...5 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 5 – стабилитроны мощностью 0,3...5 Вт с номинальным напряжением стабилизации 10...100 В;
- 6 – стабилитроны мощностью 0,3...5 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В;
- 7 – стабилитроны мощностью 5...10 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 8 – стабилитроны мощностью 5...10 Вт с номинальным напряжением стабилизации 10...100 В;
- 9 – стабилитроны мощностью 5...10 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В