

Электроника для любознательных.

Часть 2. Полупроводниковые приборы.

1. Что такое диод?

- Диодом называется электронный прибор, имеющий одностороннюю проводимость.

Полупроводниковый диод состоит из двух областей **n-области** и **p-области**, соединённых между собой (рис. 1).

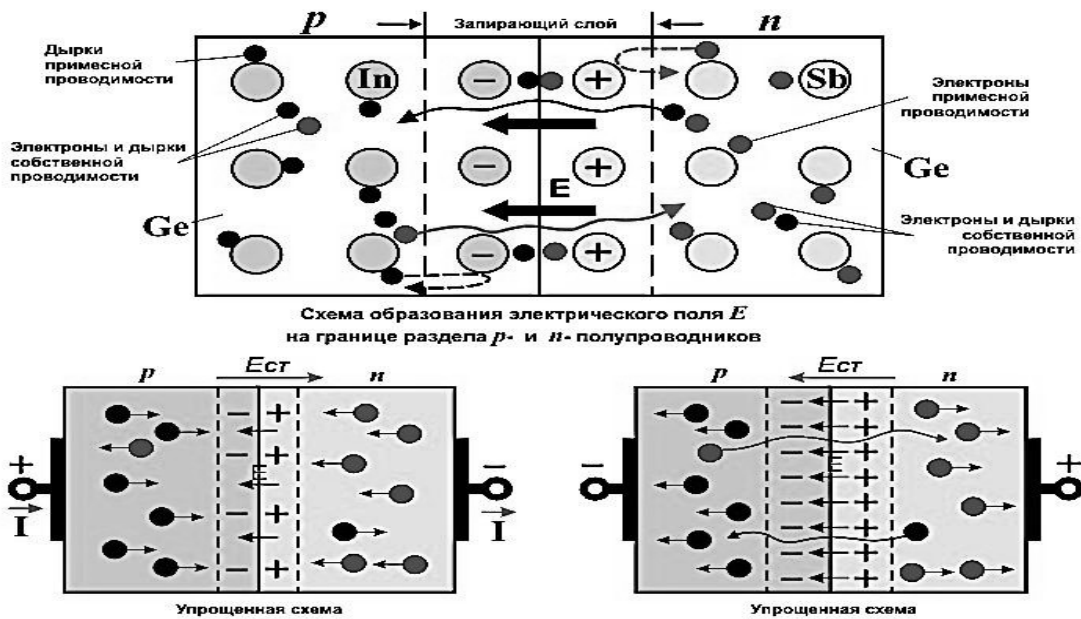


Рис. 1. Строение полупроводникового диода.

У диода может быть два подключения к источнику питания: **прямое** (когда n-область подключена к (-) источника, а p-область к (+) (рис. 2, а) и **обратное** (наоборот) (рис. 2, б).

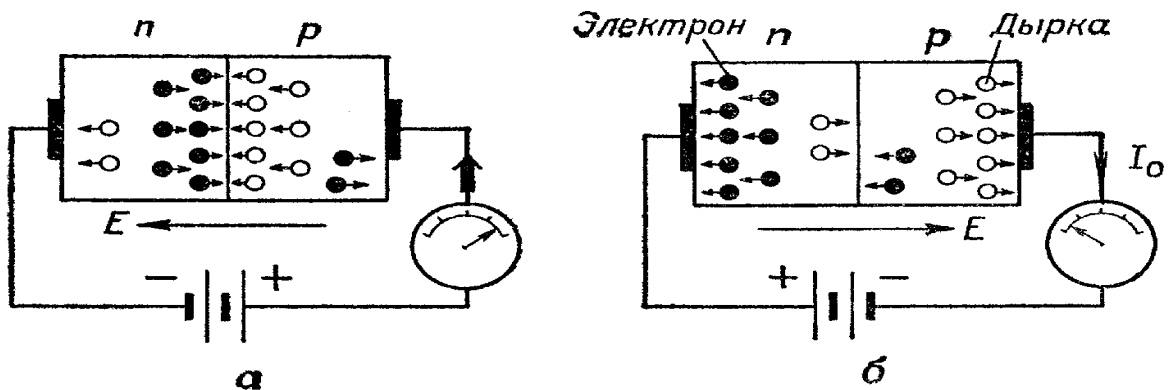


Рис. 2. Подключение источника питания к n-p переходу (чёрные шарики – электроны; белые – «дырки»): а). прямое включение n-p перехода; б). обратное включение n-p перехода.

При прямом включении основные носители «р» и «n» областей движутся к р-n переходу и в цепи начинает протекать электрический ток (рис. 2, а).

При обратном включении основные носители « р » и « n » областей движутся от р-n перехода и в цепи электрического тока практически нет (рис. 2, б). Ток, который вызван неосновными носителями в 1000 раз меньше *основного тока*. Его ещё называют **обратным током утечки**.

При прямом включении сопротивление р-n перехода **маленькое** (основные носители движутся к переходу) (рис. 3). При обратном включении сопротивление перехода **большое** (основные носители уходят от перехода).

На рис. 4 показан метод измерения полупроводникового диода.

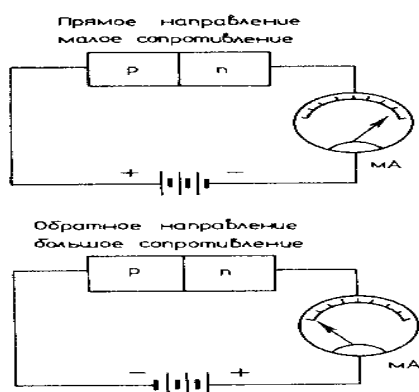


Рис. 3. Сопротивление р-n перехода.

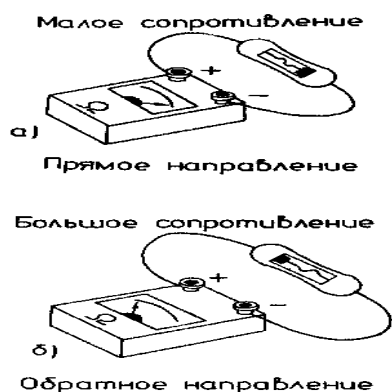


Рис. 4. Измерение р-n перехода.

Конструктивно полупроводниковые диоды изготавливаются точечными и плоскостными.

2. Точечный диод.

На рис. 5 показаны два точечных диода.

▪ Точечный диод состоит из стеклянного корпуса, в котором имеется тонкое остриё, спаянное с германиевым или кремневым кристаллом с n-проводимостью (рис. 6).

Диод пропускает ток только в направлении от острия к кристаллу, а в обратном направлении оказывает току большое сопротивление.

Причиной этого является образованный при обработке р-n переход

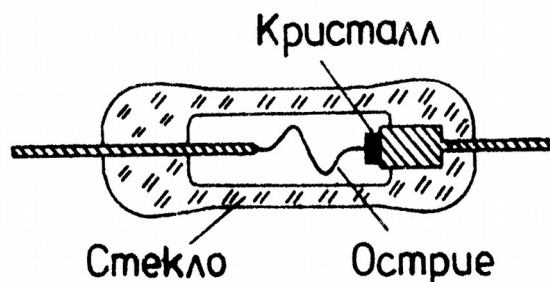


Рис. 6. Точечный диод.



Рис. 5. Виды точечных диодов.

между острием и кристаллом (**рис. 6**). Размеры перехода примерно равны одной точке, откуда и произошло название диода – **точечный**. Острие (или р-область) называется ещё **анодом**, а кристалл (или n-область) – **катодом** диода.

Таким образом, **направление пропускания тока – от анода к катоду**.

3. Плоскостной диод.

▪ **Плоскостной диод представляет собой прибор, в котором р-n переход возникает на значительной по площади (до 1000 мм² в силовых выпрямительных диодах) границе между полупроводниками р - и n - типов.**

Плоскостной диод показан в разрезе на **рис. 7**.

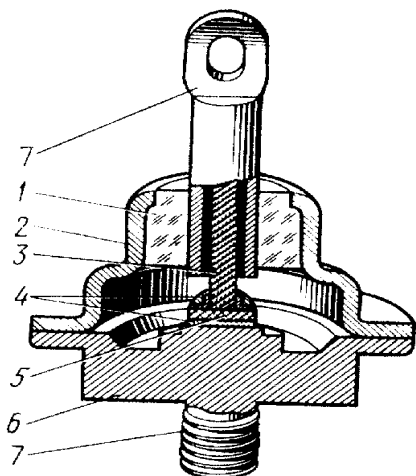


Рис. 7. Конструкция плоскостного диода:
1- стеклянный изолятор; 2- металлический корпус; 3 - вывод анода; 4 - спай; 5 - германий; 6 - кристаллодержатель; 7- катод.



Рис. 8. Полупроводниковые диоды.

В плоскостном германиевом диоде на пластину германия 5 с электронной проводимостью устанавливается таблетка из индия, которая в процессе изготовления диода нагревается до 500°С и плавится так, что её атомы диффундируют в германий, образуя область с дырочной проводимостью

накладывается диоде на границе двух областей (с электронной и дырочной проводимостью) появляется запирающий **p-n-переход**.

Как в точечном, так и в плоскостном диоде, германий 5 припоем 4 укреплен на кристаллодержателе 6, к которому приварен вывод катода (нижний) 7. Вывод анода 3 также припоем 4 укрепляется в области с дырочной проводимостью и выводится наружу в верхней части диода. Металлический корпус 2 сварен с кристаллодержателем 6 и стеклянным изолятором 1.

Кремниевые диоды отличаются от германиевых не только материалом полупроводника, но и некоторыми преимуществами, а именно: более высокой предельной температурой, значительно меньшим обратным током, более высоким пробивным напряжением.

На **рисунке 8** представлены плоскостные полупроводниковые диоды.

4. Параметры диодов.

К важнейшим параметрам диода относятся: **максимальный ток в прямом направлении, максимальное обратное напряжение, вольт-амперная характеристика.**

▪ **Максимальный ток** — это максимальный ток, который может пройти через диод.

Для точечных диодов: **10 – 50 мА.**

Для плоскостных: **0,1 – 10 А.**

При превышении этого тока диод выходит из строя.

▪ **Максимальное обратное напряжение** — это наибольшее напряжение в обратном направлении, при котором диод всё ещё сохраняет свою работоспособность.

Для точечных диодов: **20 – 60 В.**

Для плоскостных: **100 – 800 В.**

▪ **Вольт-амперная характеристика диода** — выражает графическую зависимость протекающего тока от приложенного напряжения в одном и другом направлении (рис. 9).

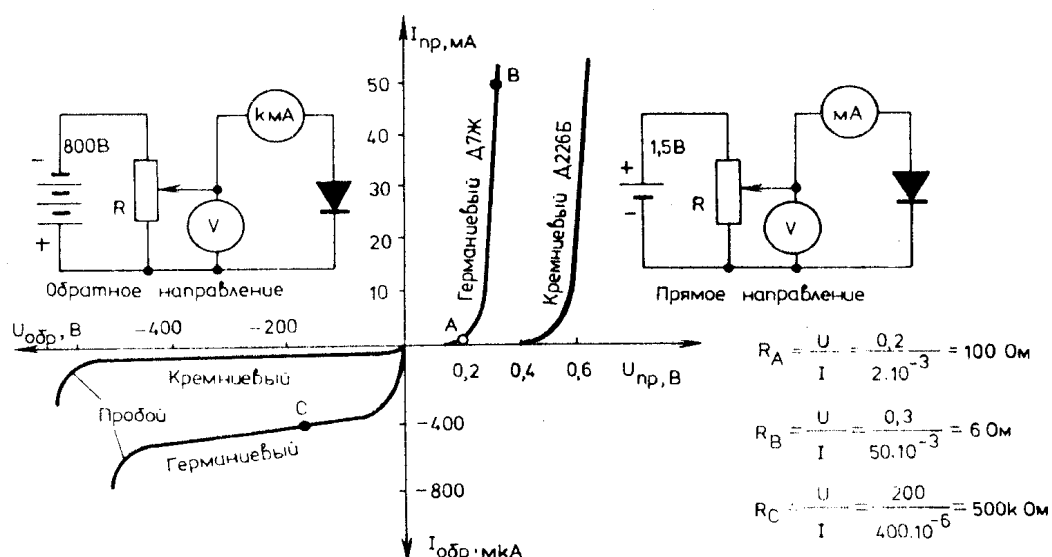


Рис. 9. Вольт-амперные характеристики кремниевого и германиевого диода и способы, которыми они снимаются.

Полупроводниковые диоды обозначаются буквами **Д** (Д20, Д105) и **КД** (КД202).

На принципиальных схемах полупроводниковые диоды обозначаются как представлено на **рис. 10**, а на **рис. 11** представлена цветовая маркировка



Рис. 10. Обозначение полупроводниковых диодов: **а).** старое обозначение; **б).** новое обозначение.

Диоды. Цветовая маркировка по европейской системе PRO ELECTRON				
Цвет полосы (точки)	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	4-ый 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				
ВАТ85				

Рис. 11. Цветовая маркировка диодов.

5. Опорный диод (стабилитрон).

▪ **Опорные диоды (стабилитроны) используются не для выпрямления тока, а в качестве стабилизаторов напряжения.**

Они изготавливаются из кремния и поэтому называются кремниевыми стабилитронами или опорными диодами. В них тоже имеется **p-n** переход, однако, по сравнению с другими диодами его ширина невелика. Вот почему, когда на диод подаётся напряжение в обратном направлении, в переходе наступает электрический пробой, который не выводит из строя диод. Именно в режиме этого пробоя при малейшем увеличении напряжения ток через диод резко возрастёт. На **рис. 12** дан внешний вид двух опорных диодов с их схемным обозначением. Диод **Д808** маломощный, а диод **2С920А** средней мощности и снабжён винтом для крепления к охлаждающему радиатору.

На этом же рисунке показана вольтамперная характеристика опорного диода **Д808**.

При обратных напряжениях меньших, чем **7 В**, ток через диод практически не протекает.

При напряжении **7 В** диод открывается (точка 1) и через него начинает протекать ток.

При небольшом увеличении напряжения ток резко возрастает.

Например, при увеличении напряжения от **7 В** до **7,3 В** ток возрастёт от **3** до **33 мА**, т. е., в 11 раз. Именно область от точки 1 до точки 2 является рабочим участком опорного диода.

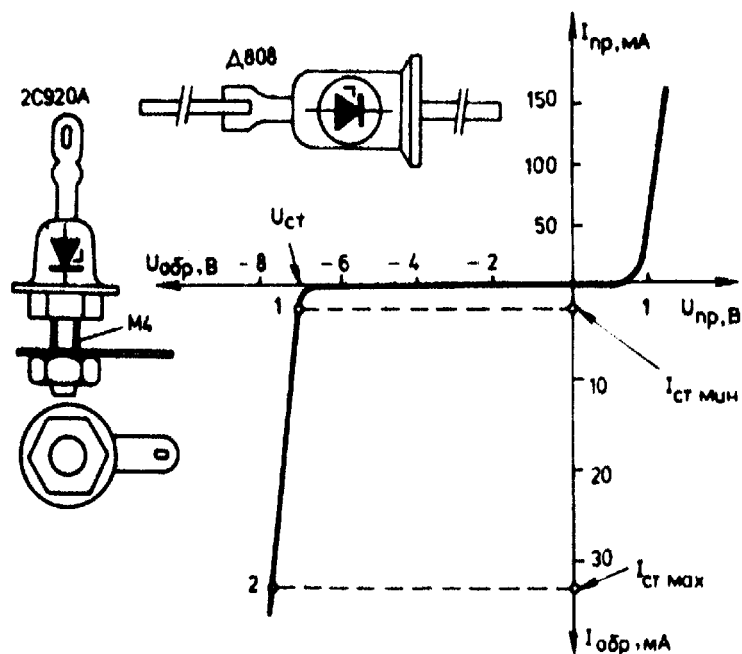


Рис. 12. Кремниевые стабилитроны и вольт-амперная характеристика стабилитрона Д808.

К основным параметрам опорного диода относятся: напряжение стабилизации, минимальный ток стабилизации, максимальный ток стабилизации.

Напряжение стабилизации. Это напряжение $U_{ст}$ при котором ток стабилизируется. Производятся диоды с напряжением стабилизации чаще всего от **6 до 12 В**, но имеются диоды и с напряжением от **2 до 6 В** и от **12 до 300 В**.

▪ **Чем круче участок 1-2 вольтамперной характеристики опорного диода, тем лучше он стабилизирует напряжение.**

Минимальный ток стабилизации. Это наименьший ток $I_{ст. мин.}$, с которого начинается стабилизация.

Обычно $I_{ст. мин.} = 4 - 5 \text{ мА}$.

Максимальный ток стабилизации опорного диода. Это наибольший ток $I_{ст. макс.}$ через диод, который во время работы нельзя превышать, потому что наступит недопустимое нагревание диода.

В маломощных диодах чаще всего $I_{ст. макс.} = 20 - 40 \text{ мА}$.

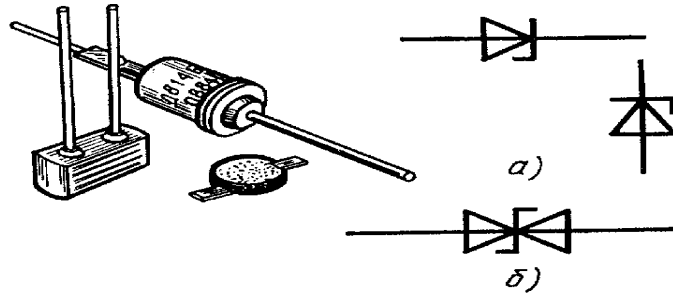


Рис. 13. Обозначение стабилитронов на принципиальных схемах:
а). Стабилитрон; б). Двуханодный стабилитрон.

На **рис. 13** представлены обозначения стабилитронов на принципиальных схемах.

Двуханодный (двухсторонний) стабилитрон можно включать в электрическую цепь в любом направлении.

6. Туннельный диод.

▪ **Туннельный диод** - это специальный диод, характеристики которого отличаются от характеристик любого обычного диода или стабилитрона.

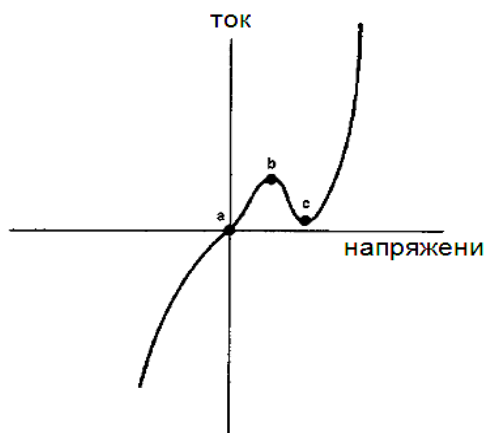


Рис. 14. Вольт-амперная характеристика туннельного диода

Благодаря необычной форме вольт-амперной характеристики (**рис. 14**) (на ней имеется **участок b–c** с отрицательным сопротивлением).

В обычных условиях туннельные диоды работают в области своего отрицательного сопротивления. В данной области незначительное уменьшение напряжения включает этот прибор, а небольшое повышение – выключает его.

Важным достоинством этих диодов является то, что они могут работать на очень высоких частотах (до 10^{11} Гц).

Туннельный диод может использоваться либо как генератор, либо как высокоскоростной выключатель: специфическая особенность прибора, низкое сопротивление, позволяют почти мгновенно изменять внутреннее сопротивление.

Общий вид и обозначение на принципиальных схемах, приведены на **рис. 15, а**.

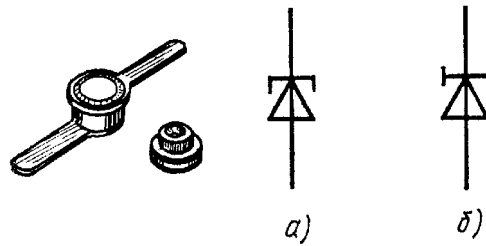


Рис. 15. Общий вид и обозначение на принципиальных схемах туннельного диода.

7. Обращённые диоды.

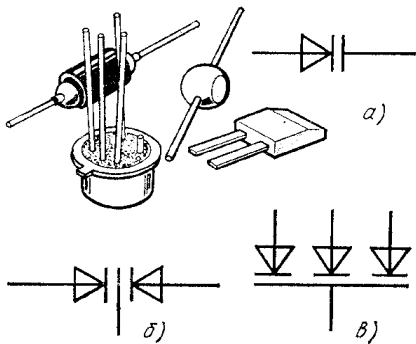
▪ **Обращённые диоды — разновидность туннельных диодов, у которых при малом напряжении на p-n переходе проводимость в обратном направлении больше, чем в прямом.**

Используют такие диоды при прямом включении. В условном обозначении обращённого диода чёрточку-катод изображают с двумя штрихами, касающимися её своей серединой (**рис. 15, б**).

8. Варикапы.

▪ **Варикап – диод, обычно используется в качестве конденсатора переменной ёмкости.**

Изменение ёмкости осуществляется изменением подаваемого на варикап постоянного обратного напряжения. Отрицательный полюс управляющего напряжения должен быть включен на вывод варикапа, обозначенный знаком (+).



Условное графическое обозначение варикапов (**рис. 16, а**) наглядно отражает их суть: две параллельные чёрточки воспринимаются как символ конденсатора.

Как и конденсаторы переменной ёмкости, варикапы часто изготавливают в виде блоков (их называют матрицами) с общим катодом и отдельными анодами. Для примера на **рис. 16, б** показано обозначение матрицы из двух варикапов, а на **рис. 16, в** — из трёх.

Рис. 16. Варикап.