

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Общие сведения о диодах

- *Полупроводниковый диод* – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя электровыводами.
- Выпрямляющим электрическим переходом может быть электронно-дырочный ($p-n$) переход, либо контакт «металл – полупроводник», обладающий вентильным свойством.

- В зависимости от типа перехода полупроводниковые диоды имеют следующие структуры:
- а) p – n -переход и два омических перехода, через которые соединяются выводы диода;
- б) выпрямляющий переход «металл – полупроводник» и один омический переход.

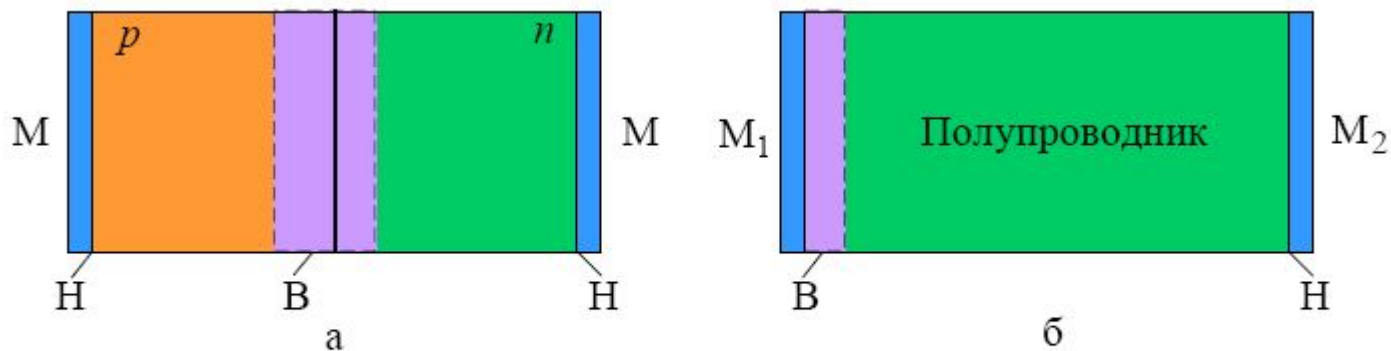


Рис. 2.1. Структуры полупроводниковых диодов: с выпрямляющим p – n -переходом (а); с выпрямляющим переходом на контакте «металл – полупроводник» (б); Н – невыпрямляющий электрический (омический) переход; В – выпрямляющий электрический переход; М – металл

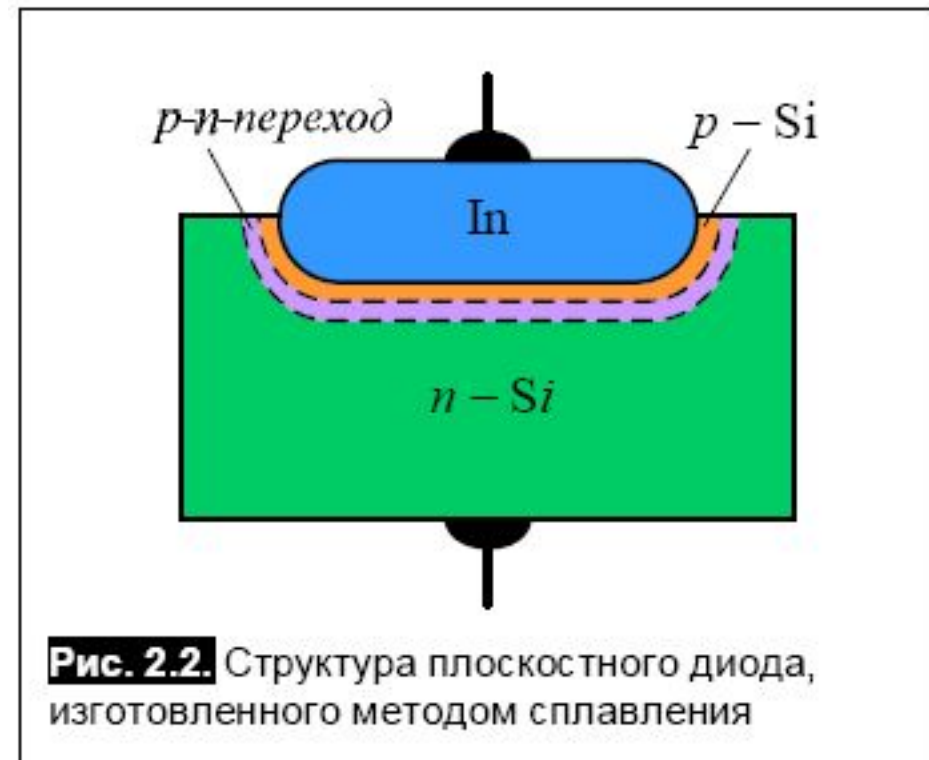
- В большинстве случаев полупроводниковые диоды с $p-n$ -переходами делают несимметричными. Поэтому количество неосновных носителей, инжектируемых из сильно легированной (низкоомной) области, называемой *эмиттером диода*, в слабо легированную (высокоомную) область, называемую *базой диода*, значительно больше, чем в противоположном направлении.

• 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.

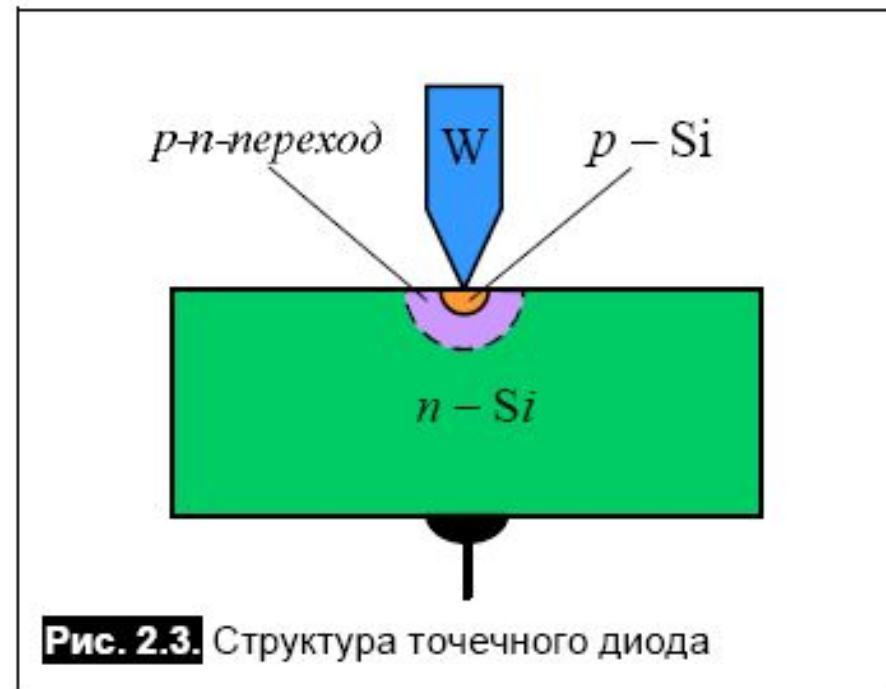
- **Плоскостными** называют такие диоды, у которых размеры, определяющие площадь $p-n$ -перехода, значительно больше его ширины.
- Площадь $p-n$ -перехода может составлять от долей квадратного миллиметра до десятков квадратных сантиметров.

Промышленностью выпускаются плоскостные диоды в широком диапазоне токов (до тысяч ампер) и напряжений (до тысяч вольт), это позволяет их использовать в установках малой, средней и большой мощности.



- **Точечные диоды** имеют очень малую площадь $p-n$ -перехода, причем линейные размеры ее меньше толщины $p-n$ -перехода.
- Точечные $p-n$ -переходы образуются в месте контакта монокристалла полупроводника и острия металлической проволоочки – пружинки.

Благодаря малой площади $p-n$ -перехода барьерная ёмкость точечных диодов очень незначительна, это позволяет использовать их на высоких и сверхвысоких частотах.



Выпрямительные диоды

- *Выпрямительный диод* – это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.

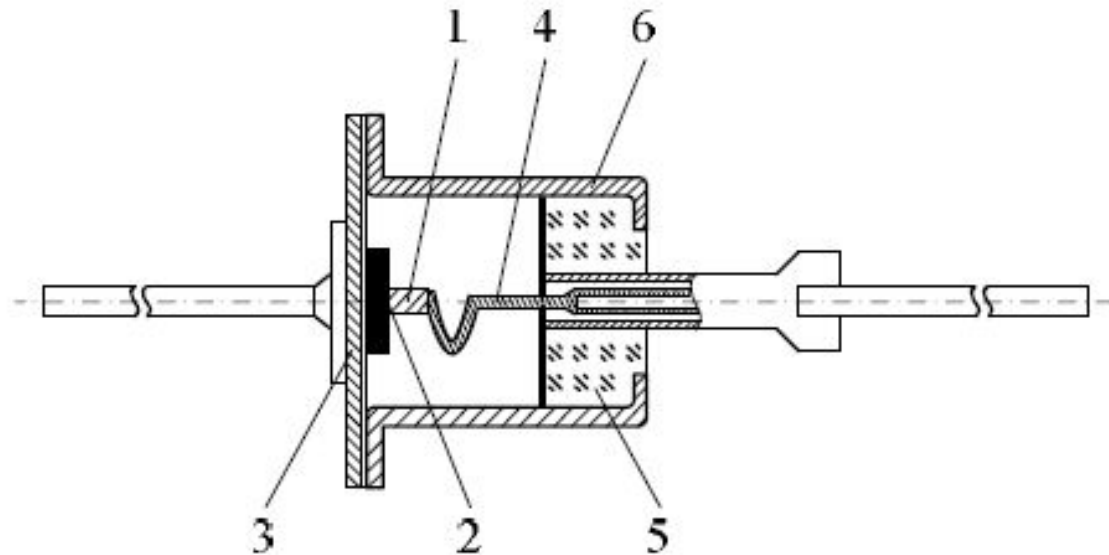


Выпрямительные диоды:
дискретное исполнение (а);
диодные мосты (б).

конструкция выпрямительного маломощного диода

- 1 - Индий (вплавливается в исходную полупроводниковую пластину); 2 - кристалл германия *n*-типа; 3 - кристаллодержатель; 4 - внутренний вывод (имеет специальный изгиб для уменьшения механических напряжений при изменении температуры); 5 - стеклянный изолятор; 6 - коваровый корпус.

Ковар — сплав на основе никеля (Ni, 29 %), кобальта (Co, 17 %), и железа (Fe, — остальное).

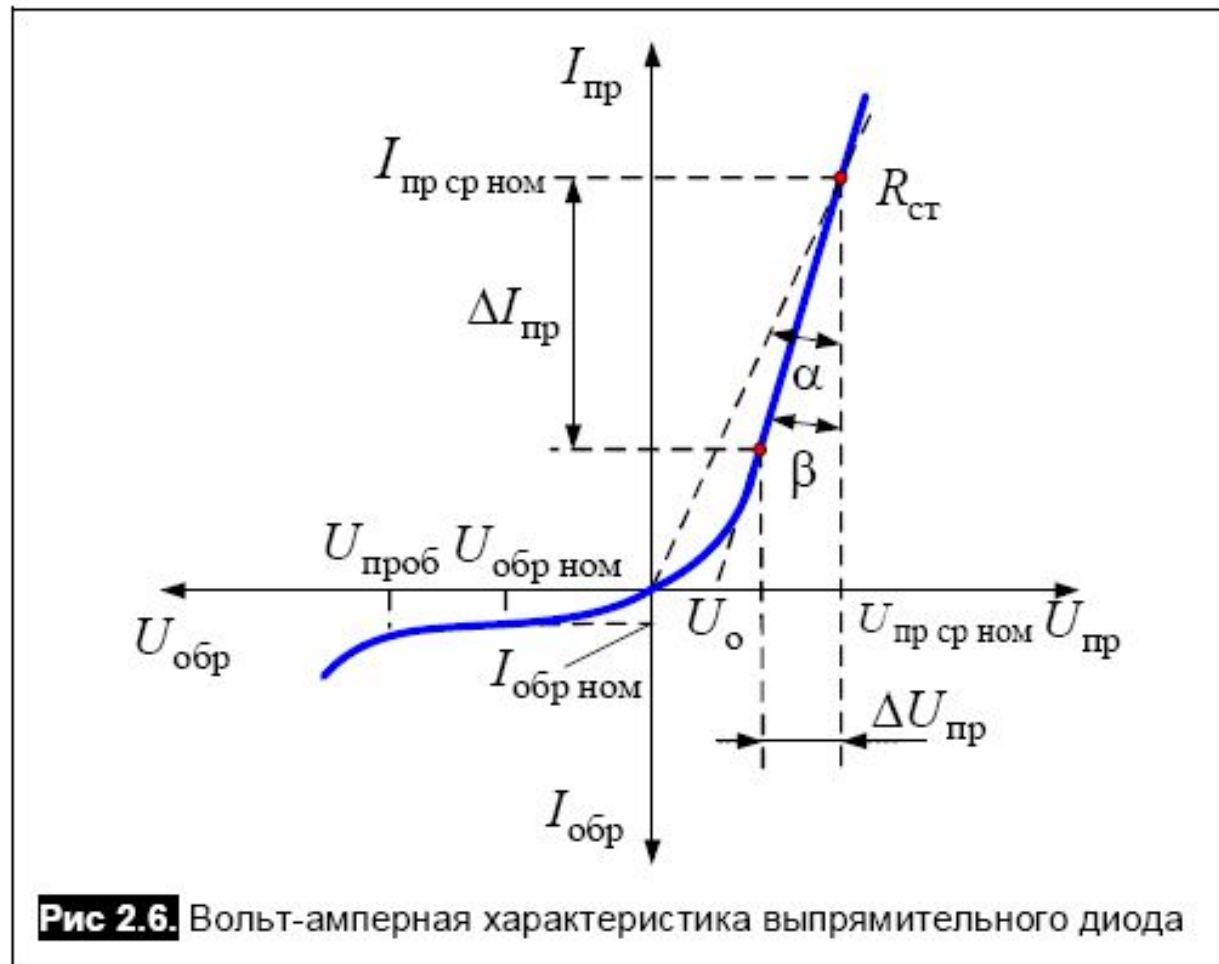


- Кристаллы мощных выпрямительных диодов монтируются в массивном корпусе, который имеет стержень с резьбой для крепления диода на радиаторе, для отвода выделяющегося при работе прибора тепла.



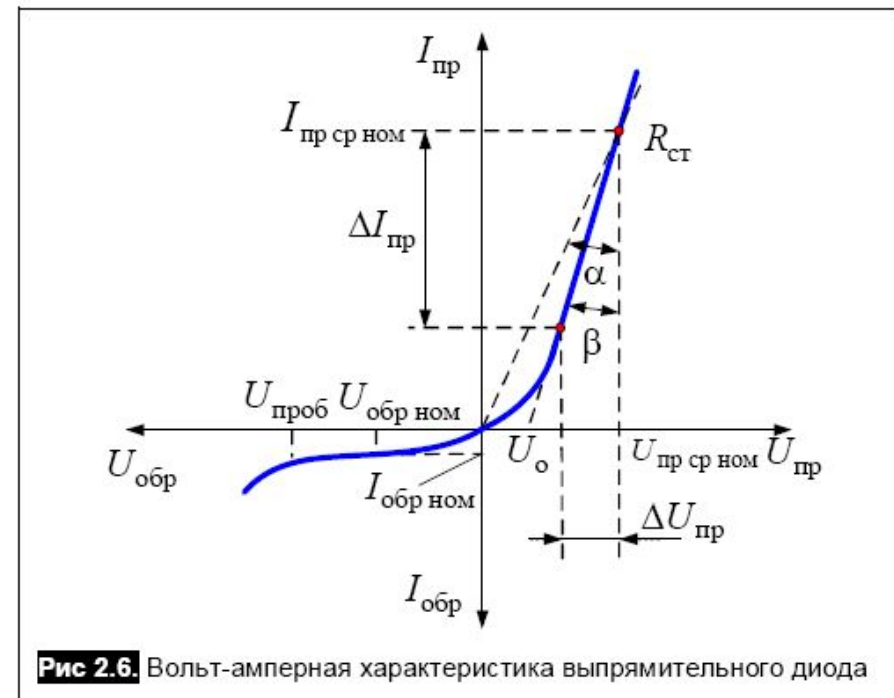
Рис. 2.5. Мощные выпрямительные диоды: дискретное исполнение (а); диодный силовой модуль (б); конструкция одного из диодов (в)

- Выпрямительные диоды должны иметь как можно меньшую величину обратного тока (определяется концентрацией неосновных носителей заряда).



основные параметры

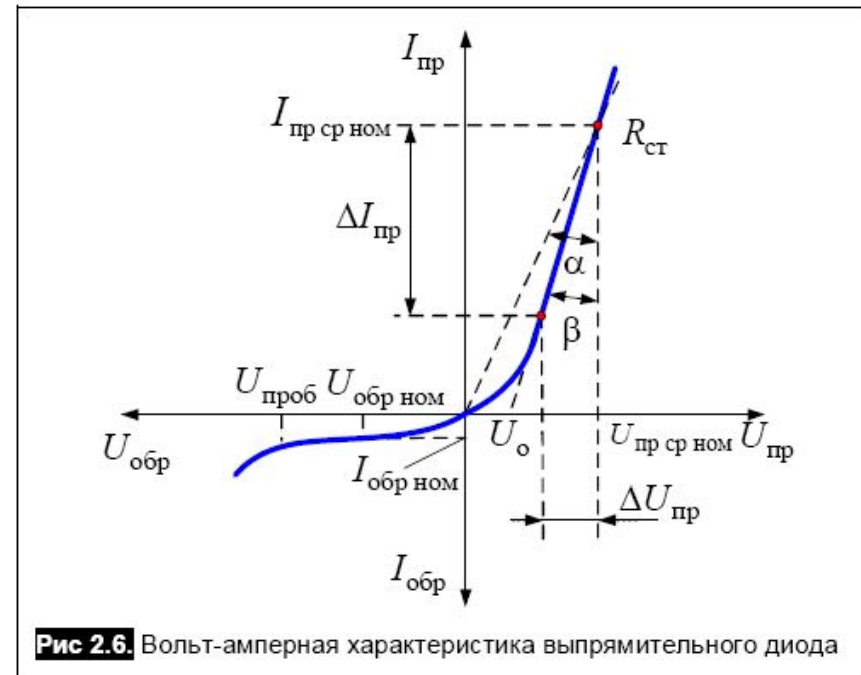
- 1. *Номинальный средний прямой ток*
- $I_{\text{пр ср ном}}$ – среднее значение тока, проходящего через открытый диод и обеспечивающего допустимый его нагрев при номинальных условиях охлаждения.



- 2. *Номинальное среднее прямое напряжение*

$U_{\text{пр ср ном}}$ – среднее значение прямого напряжения на диоде при протекании номинального среднего прямого тока.

- 3. *Напряжение отсечки U_o* , определяемое точкой пересечения линейного участка прямой ветви вольт-амперной характеристики с осью напряжений.



- 4. **Пробивное напряжение** $U_{\text{проб}}$ – обратное напряжение на диоде, соответствующее началу участка пробоя на вольт-амперной характеристике.
- 5. **Номинальное обратное напряжение** $U_{\text{обр ном}}$ – рабочее обратное напряжение на диоде; его значение для отечественных приборов составляет $0,5U_{\text{проб}}$.

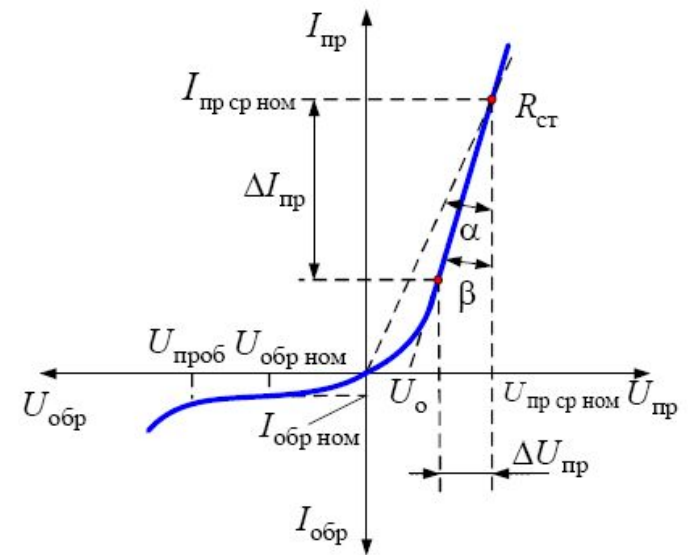
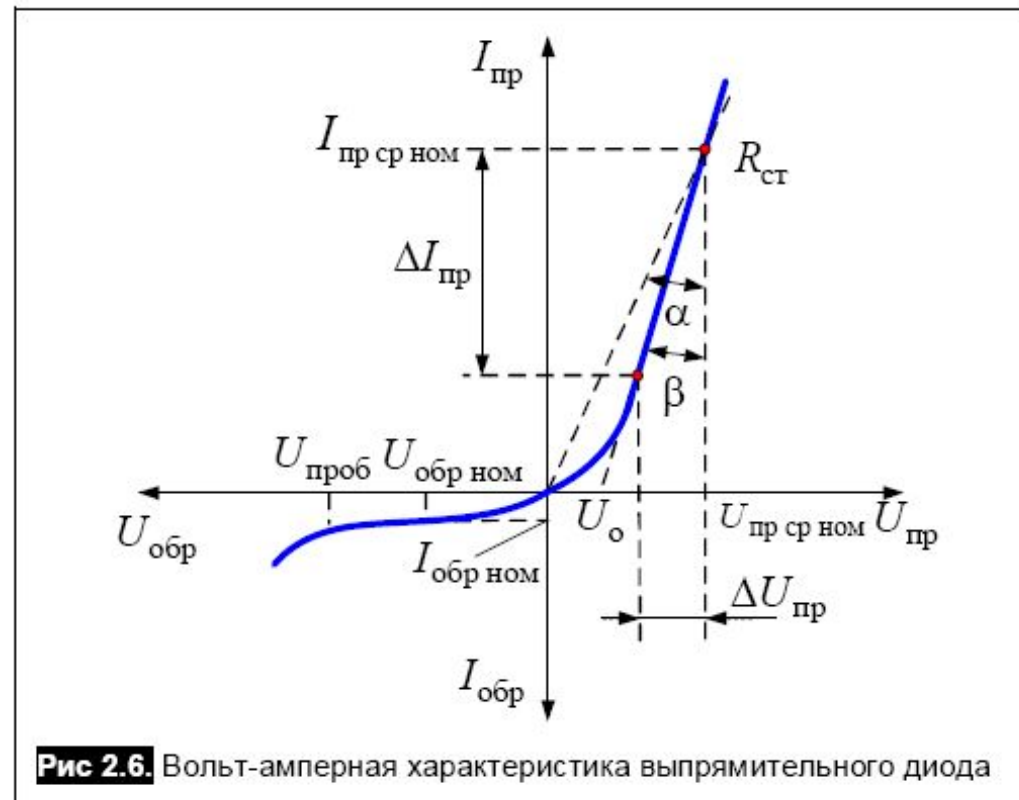


Рис 2.6. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

- 6. **Номинальное значение обратного тока** $I_{\text{обр ном}}$ – величина обратного тока диода при приложении к нему номинального обратного напряжения.



Импульсные диоды

- *Импульсный диод* – это полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов и предназначенный для применения в импульсных режимах работы.
- *Импульсные режимы* – это такие режимы, когда диоды переключаются с прямого напряжения на обратное через короткие промежутки времени, порядка долей микросекунды.

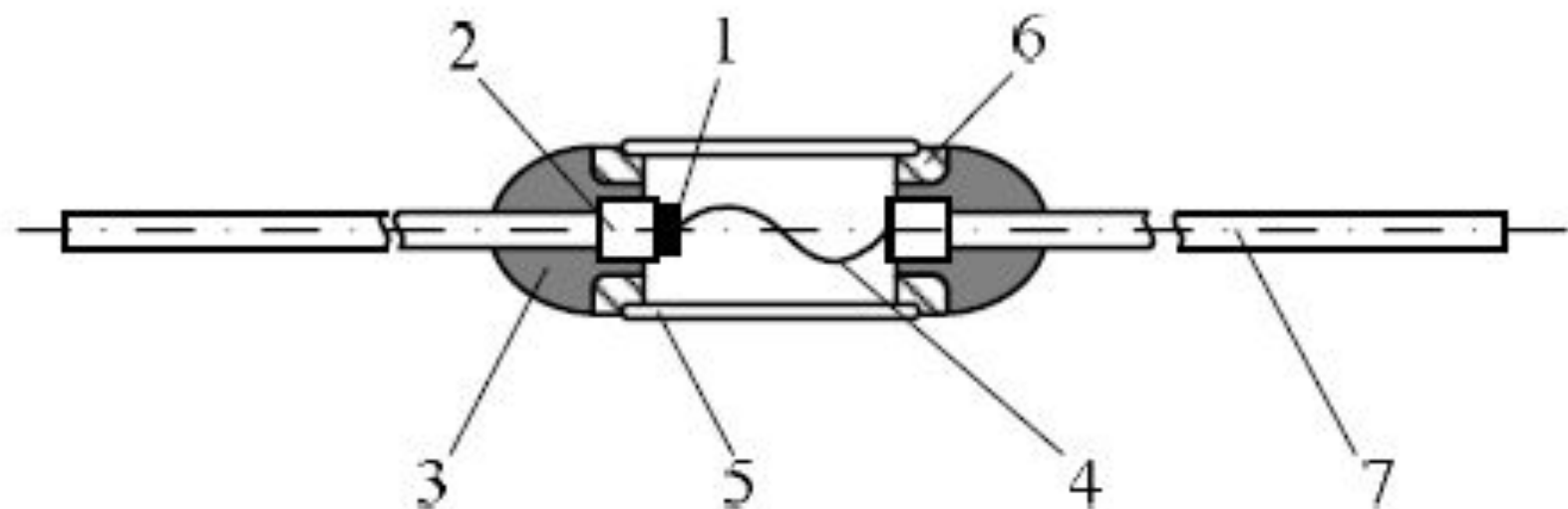


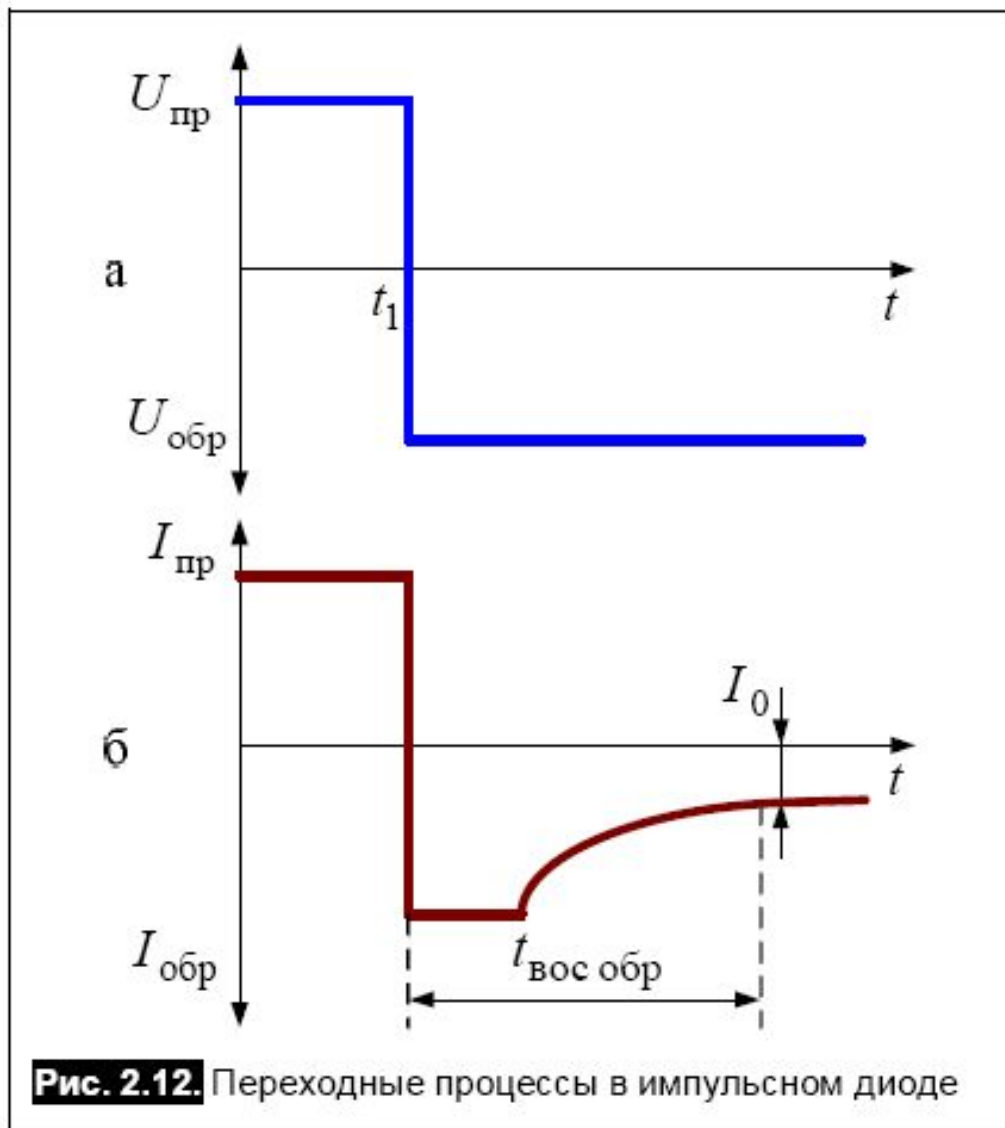
Рис. 2.11. Конструкция импульсного диода:

1 – кристалл полупроводника; 2 – кристаллодержатель; 3 – припой;
4 – контактная пружина; 5 – стеклянный корпус; 6 – коваровая трубка;
7 – внешние выводы

- При прямом напряжении ($0 - t_1$) происходит инжекция носителей из эмиттерной области в базовую и их накопление там.

- При смене полярности напряжения на обратную в первый момент величина обратного тока будет значительна, так как накопленные в базе неосновные носители начнут двигаться в сторону $p-n$ -перехода, образуя импульс обратного тока.

- Через некоторое время обратный ток достигнет нормального установившегося значения.



Диоды Шоттки

- Потенциальный барьер, полученный на основе контакта «металл – полупроводник», часто называют *барьером Шоттки*, а диоды, использующие такой потенциальный барьер, – *диодами Шоттки*.

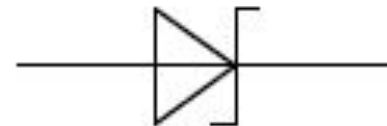
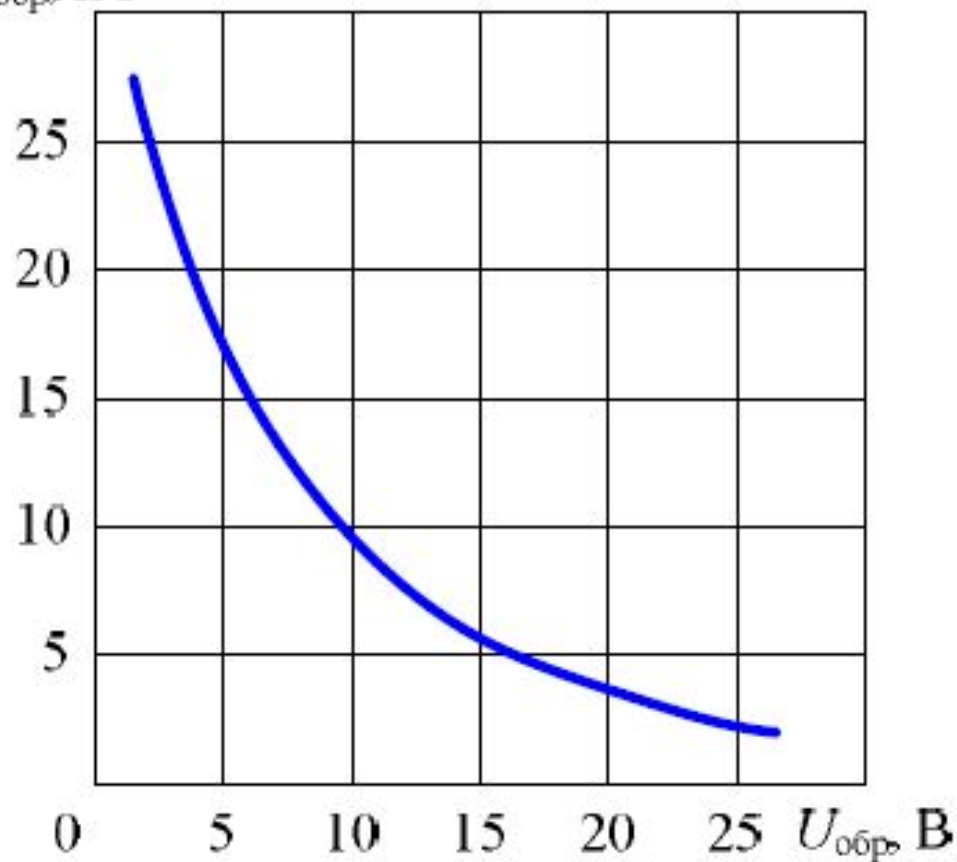


Рис. 2.16. Условное графическое обозначение диода Шоттки

Варикапы

- *Варикап* – это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости $p-n$ -перехода от обратного напряжения.
- Варикап можно рассматривать как конденсатор, ёмкость которого можно регулировать при помощи электрического сигнала.
- Максимальное значение емкости варикап имеет при нулевом обратном напряжении. При увеличении обратного напряжения ёмкость варикапа уменьшается.

$C_{обр}$, пФ



а



б



в

Рис. 2.17. Варикапы: вольт-амперная характеристика (а); конструкции (б); условное графическое изображение варикапов (в)

Основные параметры варикапов:

- 1. *Номинальная ёмкость* C_H – ёмкость между выводами, измеренная при заданном обратном напряжении;
- 2. *Добротность варикапа* Q – отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданной ёмкости или обратном напряжении;

- 3. *Коэффициент перекрытия по ёмкости* K_C – отношение максимальной ёмкости C_{\max} варикапа к его минимальной ёмкости C_{\min} при двух заданных значениях обратного напряжения.
- 4. *Температурный коэффициент ёмкости* α – относительное изменение ёмкости варикапа, приходящееся на один градус изменения температуры окружающей среды:

$$\alpha = \frac{\Delta C}{C \Delta T}.$$

Стабилитроны

- *Стабилитронами* называют полупроводниковые диоды, работающие при обратном смещении в режиме пробоя.
- Это свойство широко используется при создании специальных устройств – *стабилизаторов напряжения*.

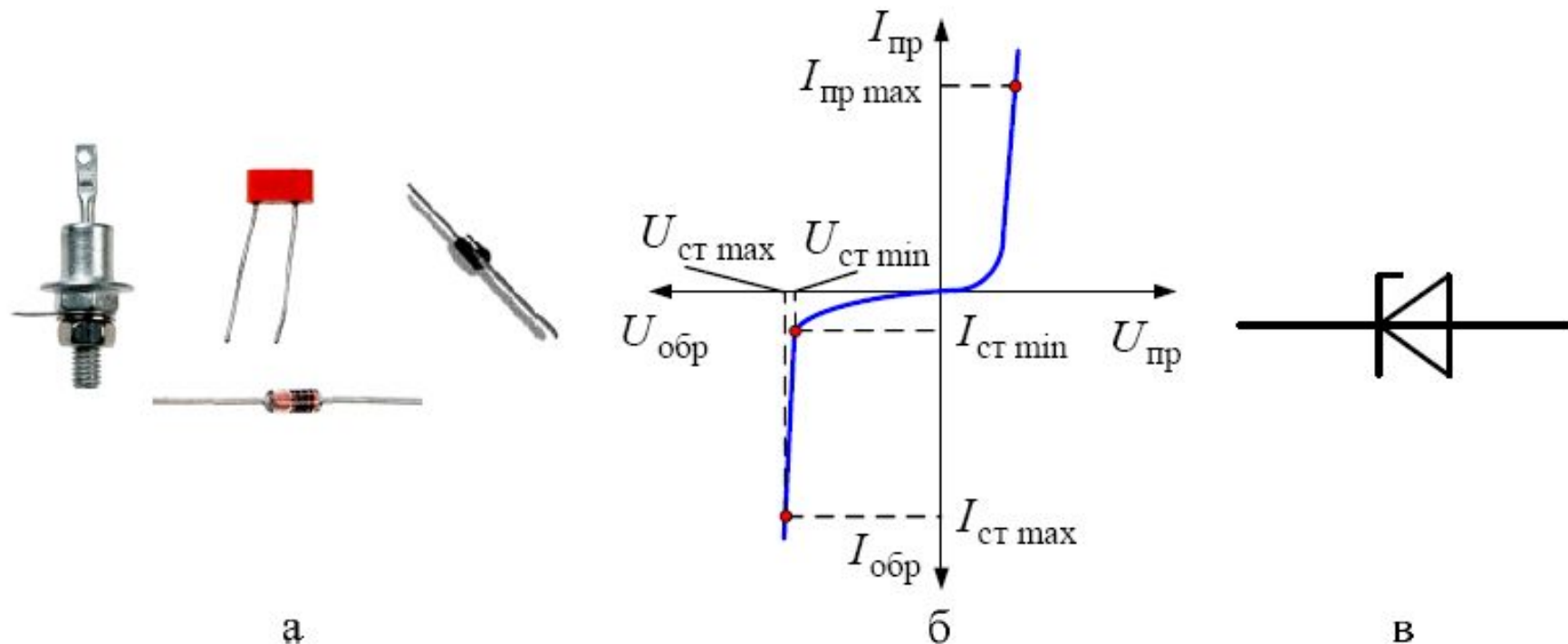


Рис. 2.18. Стабилитроны: конструкции (а), вольт-амперная характеристика (б) и условное графическое обозначение (в)

Конструкции стабилитронов практически не отличаются от конструкций выпрямительных диодов.

Рабочий ток стабилитрона (его обратный ток) не должен превышать максимально допустимое значение $I_{ст\ max}$ во избежание перегрева полупроводниковой структуры и выхода его из строя.

- Необходимое напряжение стабилизации получают выбором соответствующей концентрации примеси в базе диода.

Основные параметры стабилитронов:

- 1. *Напряжение стабилизации* U_{CT} – напряжение на стабилитроне при протекании через него тока стабилизации;
- 2. *Ток стабилизации* I_{CT} – значение постоянного тока, протекающего через стабилитрон в режиме стабилизации;
- 3. *Дифференциальное сопротивление стабилитрона* r_{CT} – дифференциальное сопротивление при заданном значении тока стабилизации, т.е.

$$\frac{\Delta U_{\text{CT}}}{\Delta I_{\text{CT}}};$$

- 4. *Температурный коэффициент напряжения стабилизации* $\alpha_{\text{ст}}$ — отношение относительного изменения напряжения стабилизации стабилитрона к абсолютному изменению температуры окружающей среды при постоянном значении тока стабилизации:

$$\alpha_{\text{ст}} = \frac{1}{U_{\text{ст}}} \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta T} \cdot 100\% ;$$

Предельные параметры стабилитронов:

- 1. *Минимально допустимый ток стабилизации* $I_{\text{ст min}}$ — наименьший ток через стабилитрон, при котором напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$ находится в заданных пределах;
- 2. *Максимально допустимый ток стабилизации* $I_{\text{ст max}}$ — наибольший ток через стабилитрон, при котором напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$ находится в заданных пределах, а температура перехода не выше допустимой;
- 3. *Максимально допустимая рассеиваемая мощность* P_{max} — мощность, при которой не возникает теплового пробоя перехода.