

## 2.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковыми диодами называют полупроводниковые приборы с одним электрическим переходом и двумя выводами. Они применяются для выпрямления переменного тока, детектирования переменных колебаний, преобразования СВЧ колебаний в колебания промежуточной частоты, стабилизации напряжения в цепях постоянного тока и т. д. По назначению полупроводниковые диоды делятся на выпрямительные, высокочастотные, варикапы, стабилитроны и др.

**Выпрямительные диоды.** Выпрямительные полупроводниковые диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный.

Основу современных выпрямительных диодов составляет электронно-дырочный переход (ЭДП), который получают методом сплавления или диффузии. В качестве материала применяется германий или кремний.

Для получения больших значений выпрямленных токов в выпрямительных диодах используются ЭДП с большой площадью, поскольку для нормальной работы диода плотность тока через переход не должна превышать  $1-2 \text{ А/мм}^2$ . Такие диоды называют плоскостными.

Конструкция плоскостного полупроводникового диода малой мощности приведена на рис. 2.1, а. Для улучше-

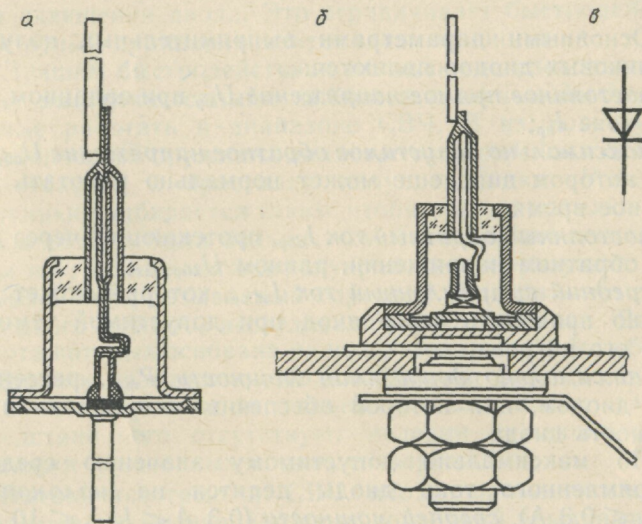


Рис. 2.1. Конструкция (а, б) и условное обозначение (в) выпрямительных полупроводниковых диодов

ния отвода тепла в диодах средней и большой мощности к их корпусу приваривается винт, с помощью которого диоды крепятся к специальному радиатору или шасси (рис. 2.1, б).

Основной характеристикой выпрямительного диода является его вольт-амперная характеристика (ВАХ). Вид ВАХ зависит от материала полупроводника и температуры (рис. 2.2, а и б).

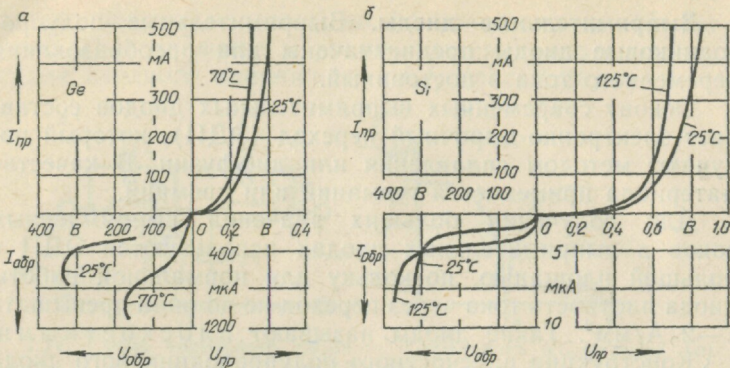


Рис. 2.2. ВАХ германиевого (а) и кремниевого (б) диодов при различных температурах

Основными параметрами выпрямительных полупроводниковых диодов являются:

- постоянное прямое напряжение  $U_{пр}$  при заданном прямом токе  $I_{пр}$ ;*
- максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\ max}$ , при котором диод еще может нормально работать длительное время;*
- постоянный обратный ток  $I_{обр}$ , протекающий через диод при обратном напряжении, равном  $U_{обр\ max}$ ;*
- средний выпрямленный ток  $I_{вп.ср}$ , который может длительно проходить через диод при допустимой температуре его нагрева;*
- максимально допустимая мощность  $P_{max}$ , рассеиваемая диодом, при которой обеспечивается заданная надежность диода.*

По максимально допустимому значению среднего выпрямленного тока диоды делятся на *маломощные ( $I_{вп.ср} \leq 0,3\ A$ )*, *средней мощности ( $0,3\ A < I_{вп.ср} \leq 10\ A$ )* и *большой мощности ( $I_{вп.ср} > 10\ A$ )*. Выпрямительные диоды большой мощности называются силовыми.

Маломощные выпрямительные элементы, представляющие собой последовательно соединенные выпрямительные полупроводниковые диоды, называют выпрямительными столбами. Выпускаются также выпрямительные блоки, в которых выпрямительные диоды соединяются по определенной (например, мостовой) схеме.

Выпрямительные полупроводниковые диоды способны работать на частотах  $50...10^5$  Гц (силовые диоды — на частотах 50 Гц), т. е. являются низкочастотными.

**Высокочастотные диоды.** К *высокочастотным* относятся полупроводниковые диоды, способные работать на частотах до 300 МГц. Диоды, работающие на частотах свыше 300 МГц, называют *сверхвысокочастотными* (СВЧ).

С ростом частоты увеличивается шунтирование дифференциального сопротивления обратно смещенного ЭДП зарядной емкостью. Это приводит к уменьшению обратного сопротивления и ухудшению выпрямительных свойств диода. Так как значение зарядной емкости пропорционально площади ЭДП, то для ее уменьшения необходимо уменьшать площадь ЭДП.

Малую площадь перехода имеют микросплавные диоды, но их недостатком является накопление в базе неосновных носителей заряда, инжектируемых в нее при прямом включении диода. Это ограничивает быстродействие (частотный диапазон) микросплавных диодов.

Лучшим быстродействием обладают и, следовательно, более высокочастотными являются *точечные диоды*, способные работать в диапазоне СВЧ. В их конструкции металлическая пружинка диаметром около 0,1 мм острием прижимается к кристаллу полупроводника. Материал пружинки подбирается таким, чтобы работа выхода электронов из него была больше, чем из полупроводника. При этом на границе металл-полупроводник образуется запирающий слой, называемый барьером Шоттки — по имени немецкого ученого, исследовавшего это явление. Диоды, работа которых основана на использовании свойств барьера Шоттки, называются диодами Шоттки. В них электрический ток переносится основными носителями заряда, вследствие чего отсутствуют явления инжекции и накопления неосновных носителей заряда.

Высокочастотные и СВЧ диоды применяются для выпрямления высокочастотных колебаний (выпрямительные), детектирования (детекторные), управления уровнем мощности (переключательные), умножения частоты (умножительные) и других нелинейных преобразований электрических сигналов.

**Варикапы.** Варикапы называют полупроводниковые диоды, действие которых основано на использовании зависимости емкости от обратного напряжения. Варикапы используются в качестве элемента с электрически управляемой емкостью.

Характер зависимости  $C_v = f(U_{обp})$  показан на рис. 2.3, а. Эту зависимость называют *вольт-фарадной харак-*

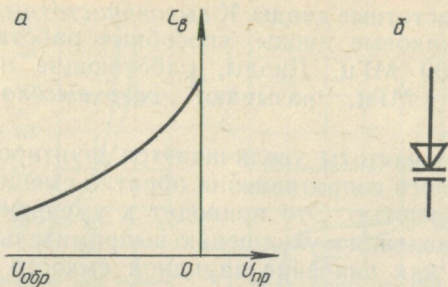


Рис. 2.3. Вольт-фарадная характеристика (а) и условное обозначение (б) варикапа

теристикой варикапа. Основными параметрами варикапов являются:

*номинальная емкость  $C_{в}$* , измеренная при заданном обратном напряжении  $U_{обр}$ ;

*коэффициент перекрытия емкости  $K_c$* , определяемый отношением емкостей варикапа при двух значениях обратного напряжения;

*максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\max}$*  та *добротность  $Q_{в}$* , определяемая как отношение реактивного сопротивления варикапа к сопротивлению потерь.

**Полупроводниковые стабилитроны.** Полупроводниковым стабилитроном называют полупроводниковый диод, напряжение на котором сохраняется с определенной точностью при изменении проходящего через него тока в заданном диапазоне. Он предназначен для стабилизации напряжения в цепях постоянного тока.

ВАХ стабилитрона показана на рис. 2.4, а, а условное обозначение — на рис. 2.4, б.

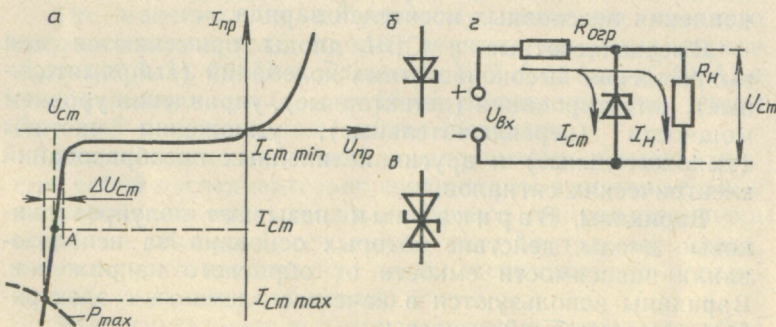


Рис. 2.4. ВАХ (а), условные обозначения несимметричного (б) и симметричного (в) кремниевых стабилитронов и схема стабилизатора напряжения (г)

Если ЭДП создать с двух сторон кремневой пластины, то получится стабилитрон с симметричной ВАХ — симметричный стабилитрон (рис. 2.4, в).

Рабочим участком стабилитрона является участок электрического пробоя. При изменении тока, протекающего через стабилитрон, от значения  $I_{ст\ min}$  до значения  $I_{ст\ max}$  напряжение на нем мало отличается от значения  $U_{ст}$ . На этом свойстве основано использование стабилитронов.

Принцип работы стабилизатора напряжения на кремниевом стабилитроне (рис. 2.4, г) заключается в том, что при изменении напряжения  $U_{вх}$  изменяется ток, протекающий через стабилитрон, а напряжение на стабилитроне и подключенной параллельно ему нагрузке  $R_n$  практически не меняется.

Основными параметрами кремневых стабилитронов являются:

*напряжение стабилизации  $U_{ст}$ ;*

*минимальный  $I_{ст\ min}$  и максимальный /стах токи стабилизации;*

*максимально допустимая рассеиваемая мощность  $P_{max}$ ,*

*дифференциальное сопротивление на участке стабилизации  $r_d = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст}$ ;*

*температурный коэффициент напряжения на участке стабилизации*

$$TKU = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст} \Delta T}.$$

У современных стабилитронов напряжение стабилизации лежит в пределах от 1 до 1000 В при токах стабилизации от 1 мА до 2 А. Для стабилизации напряжений менее 1 В используется прямая ветвь ВАХ кремниевого диода, называемого стабистором. У стабисторов  $U_{ст} = 0,7$  В. Путем последовательного соединения стабилитронов (или стабисторов) можно получить любое требуемое напряжение стабилизации.

Дифференциальное сопротивление на участке стабилизации примерно постоянно и для большинства стабилитронов составляет 0,5...200 Ом. Температурный коэффициент напряжения может быть положительным (у стабилитронов с  $U_{ст} \geq 6$  В) и отрицательным (у стабилитронов с  $U_{ст} < 6$  В) и для большинства стабилитронов находится в пределах  $(-0,5...+0,2) \%/^{\circ}\text{C}$ .