

Лабораторная работа 5.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

5.1.1. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод – двухполюсный прибор, имеющий один p – n -переход. По функциональному назначению диоды делят на две группы: выпрямительные и специальные. Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока. В специальных типах полупроводниковых диодов используют различные свойства p – n -перехода: явление пробоя, барьерную емкость перехода и т. д.

Упрощенная структура диода показана на рис. 5.1.1, а, а его условное графическое изображение – на рис. 5.1.1, б. Электрод диода, подключенный к p -области, называют *анодом* (А), а электрод, подключенный к n -области – *катодом* (К). Если анод положителен по отношению к катоду, то на диод подано прямое смещение; ток диода при этом называют *прямым*. При обратном смещении катод более положителен, чем анод. Обратный ток при этом ограничен малым током насыщения.

Полупроводниковые диоды выполняют на основе несимметричных p – n -переходов. В этом случае в одной из областей концентрация примеси, определяющей вид проводимости, значительно больше, чем в другой области. Область с высокой концентрацией примеси называют *эмиттером*. Функции эмиттера может выполнять как катод, так и анод. Область с низкой концентрацией примесей называют *базой*. База имеет значительно большее объемное сопротивление, чем эмиттер.

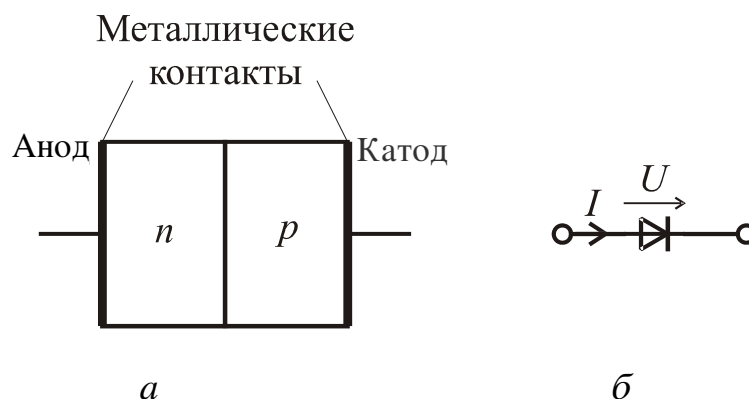


Рис. 5.1.1

Идеальная ВАХ диода описывается выражением

$$I = I_0 \left(e^{U/V_t} - 1 \right). \quad (5.1.1)$$

здесь V_t – температурный потенциал, I_0 – обратный ток насыщения. Величина I_0 зависит от типа полупроводника и размеров диода. У маломощных кремниевых диодов ток I_0 имеет порядок 10^{-15} А. Обратный ток кремниевых диодов на 1–2 порядка меньше, чем германиевых. Кроме того, обратный ток диода зависит от температуры. При увеличении температуры он увеличивается примерно в два раза у германиевых и в 2.5 раза у кремниевых диодов на каждые 10°C .

Максимально допустимое увеличение обратного тока диода определяет максимальную температуру, которая составляет $80 - 100^\circ\text{C}$ для германиевых диодов и $150 - 200^\circ\text{C}$ для кремниевых.

Дифференциальное сопротивление диода равно отношению приращения напряжения на диоде к вызванному им приращению тока:

$$R_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI}.$$

Из формулы (5.1.1) следует, что

$$R_{\text{диф}} \approx \frac{V_t}{I}$$

Пробой p–n-перехода. Обратный ток диода не изменяется, пока обратное напряжение не достигнет значения $U_{\text{пр}}$. Это так называемое *напряжение пробоя*, при котором наступает пробой p–n -перехода. После начала пробоя незначительное увеличение обратного напряжения сопровождается резким увеличением тока.

В основе пробоя p–n-перехода лежат следующие явления:

- 1) туннельный пробой (эффект Зенера);
- 2) лавинный пробой;
- 3) тепловой пробой.

Туннельный пробой наблюдается тогда, когда напряженность электрического поля такова, что становится возможным туннельный переход из валентной зоны полупроводника с электропроводностью одного типа в зону полупроводника с электропроводностью другого типа. Как правило, туннельный пробой наблюдается при напряжениях ниже 6 В.

Лавинный пробой обусловлен образованием носителей заряда из-за ударной ионизации атомов полупроводника. Если напряженность электрического поля достаточно велика, то электроны приобретают энергию, достаточную для того, чтобы выбивать другие электроны из атомов

кристаллической решетки. Этот процесс приводит к быстрому (лавинному) нарастанию обратного тока.

Тепловой пробой происходит при нагреве перехода. За счет тепловой энергии происходит генерация пар электрон – дырка. Это приводит к увеличению обратного тока и дальнейшему увеличению температуры. Процесс нарастает лавинообразно и приводит к изменению структуры кристалла, выводя его из строя.

Параметры выпрямительных диодов. Перечислим основные параметры выпрямительных диодов, приводимые в справочной литературе.

1. Максимально допустимое обратное напряжение диода $U_{обр. max}$ – значение обратного напряжения, которое диод может выдержать в течение длительного времени без нарушения работоспособности. У маломощных диодов $U_{обр. max}$ может изменяться от нескольких десятков до нескольких тысяч вольт.

2. Средний выпрямленный ток диода I_{cp} – среднее за период значение выпрямленного тока.

3. Средний обратный ток диода $I_{обр. cp}$ – среднее за период значение обратного тока.

4. Средняя рассеиваемая мощность диода P_{cp} – средняя за период мощность, рассеиваемая диодом. У маломощных диодов P_{cp} может изменяться от сотен милливольт до нескольких десятков ватт.

5. Дифференциальное сопротивление диода $R_{диф}$ – отношение приращения напряжения к малому приращению тока. Дифференциальное сопротивление может изменяться от единиц до нескольких сотен Ом.

5.1.2. Стабилитроны

Стабилитрон – полупроводниковый диод, работающий в режиме управляемого лавинного пробоя. В зависимости от удельного сопротивления базы в стабилитроне может иметь место и туннельный, и лавинный, и смешанный пробой.

Стабилитроны изготавливают из кремния, обеспечивающего необходимую форму вольт-амперной характеристики. Германиевые диоды для стабилизации напряжения непригодны, так как электрический пробой у них легко переходит в тепловой.

Условное графическое изображение стабилитрона и его вольт-амперная характеристика показаны на рис. 5.1.2.

Прямая ветвь ВАХ стабилитрона имеет такой же вид, как и у кремниевого диода. У стабилитронов рабочей является обратная ветвь ВАХ. Она имеет излом и вслед за ним – круто падающий линейный участок. Поэтому при изменении тока в широких пределах напряжение на приборе

практически не изменяется. Это свойство стабилитрона позволяет использовать его в качестве стабилизатора напряжения.

Поскольку электрический пробой наступает при сравнительно низком обратном напряжении, мощность, выделяющаяся в $p-n$ -переходе, будет небольшой, что предохраняет переход от теплового (необратимого) пробоя. Ток стабилитрона колеблется в пределах от единиц миллиампер до нескольких ампер. Рабочее напряжение стабилитрона, являющееся напряжением пробоя $p-n$ -перехода, лежит в пределах от единиц до нескольких десятков вольт.

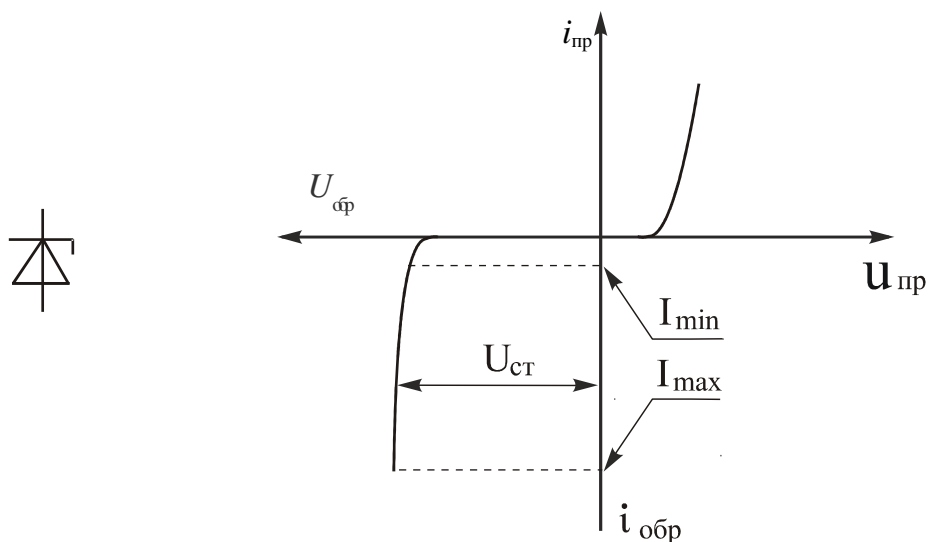


Рис. 5.1.2

Основное применение кремниевых стабилитронов – стабилизация выпрямленного напряжения.

Приведем основные параметры стабилитронов, указываемые в справочной литературе.

1. Напряжение стабилизации $U_{ст}$ – напряжение на стабилитроне при заданном токе стабилизации (в режиме пробоя).

2. Максимально допустимая мощность, рассеиваемая на стабилитроне, – наибольшая мощность, выделяющаяся в $p-n$ -переходе, при которой не происходит тепловой пробой перехода. Она составляет от сотен милливатт до единиц ватт.

3. Максимальный ток стабилизации $I_{ст\ max}$ – наибольшее значение тока, при котором мощность, рассеиваемая на стабилитроне, не превышает допустимого значения. Значение $I_{ст\ max}$ может составлять от нескольких миллиампер до нескольких ампер.

4. Минимальный ток стабилизации $I_{ст\ min}$ – минимальный ток, при котором возникает устойчивый пробой.

5. Дифференциальное сопротивление $R_{диф}$ – отношение приращения напряжения к приращению тока в режиме стабилизации:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta I_{\text{ст}}}.$$

Дифференциальное сопротивление может быть от единиц Ом для низковольтных стабилизаторов до сотен Ом для стабилизаторов на более высокие напряжения.

5. Температурный коэффициент напряжения стабилизации – относительное изменение напряжения стабилизации при изменении температуры окружающей среды на 1 °С:

$$\alpha_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{ст}}/U_{\text{ст}}}{\Delta T}.$$

Здесь $\alpha_{\text{ст}}$ может принимать значения от 10^{-5} до 10^{-3} К⁻¹.

Рекомендуемая литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
3. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.