

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа

**«Изучение динамических характеристик
р-п переходов»**

Утверждено на заседании каф. 405 31.08.06 (Протокол №1) как
учебно-методическое руководство

Москва, 2006 г.

Для исследования *динамических* характеристик р-п переходов в работе используются полупроводниковые (Ge, Si) диоды. В основе идеализированной модели диода для большого сигнала лежит модель р-п перехода, представленная эквивалентной схемой (рис.1)

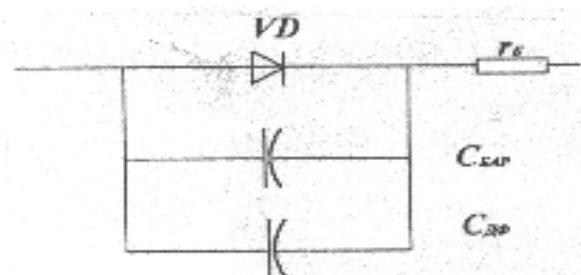


Рисунок 1.

На схеме диод VD моделируется вольт-амперной характеристикой (ВАХ), описываемой формулой $I = I_0[\exp(u/\varphi_T) - 1]$, где I_0 – тепловой ток; u – напряжение на переходе; $\varphi_T = kT/q$ – тепловой потенциал; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; q – заряд электрона; $\varphi_T = 0,026$ В при $T = 300$ К.

Тепловой ток I_0 и сопротивление базы r_B являются статическими параметрами, а барьерная $C_{бар}$ и диффузная $C_{дф}$ емкости – динамическими параметрами диода.

Динамические параметры зависят от напряжения u на диоде VD.

Диффузионная емкость существенна при прямом напряжении и может быть выражена через ток диода:

$$C_{дф} = I \frac{\tau_{эф}}{\varphi_T},$$

где $\tau_{эф}$ – эффективное время жизни неосновных носителей заряда в базе диода. Оно определяется экспериментально на специальной установке (рисунок 2).

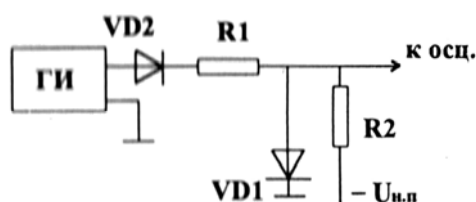


Рисунок 2.

От генератора импульсов (ГИ) на исследуемый диод $VD1$ через токоограничительное сопротивление $R1$ и вспомогательный быстродействующий диод $VD2$ (с пренебрежимо малым по сравнению с $VD1$ временем восстановления обратного сопротивления) поступают положительные импульсы напряжения с амплитудой $U_{си}$. Изменение напряжения на диоде $VD1$ во времени $U_{VD1}(t)$ наблюдаются на осциллографе.

В момент времени t_1 подается импульс напряжения и через некоторое время устанавливаются на диоде ток и напряжение, определяемые статическим режимом. В момент времени t_2 напряжение на генераторе падает до нуля и начинается переходный процесс снижения напряжения на диоде $VD1$. Диод $VD2$ практически мгновенно запирается, отключая генератор импульсов от диода $VD1$. Ток через диод $VD1$ скачком уменьшается на величину $I_{np} = U_{zu}/R_1$, а напряжение на диоде U_{VD1} скачком уменьшается на величину $\Delta U = r_B \cdot U_{zu}/R_1$. Следовательно, сопротивление базы может быть определено не только из статических характеристик, но и из импульсных измерений при известных U_{zu} и R_1 . При $t_2 < t < t_3$ напряжение на диоде остается прямым и медленно уменьшается за счет рассасывания накопленных в базе неосновных носителей заряда. Эффективное время жизни носителей заряда в базе диода определяется по формуле:

$$\tau_{эф} = \varphi_T \frac{\delta t}{\delta U}, \quad \text{где } \delta U \text{ и } \delta t \text{ находятся в соответствии с рисунком 3.}$$

При $t > t_3$ диффузионная емкость уменьшается, основной становится барьерная емкость, и процесс разряда резко увеличивается.

Измерение барьерной емкости происходит на специальной установке.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поставить исследуемый диод в установку для измерения времени жизни носителей заряда в базе диода. Изменяя амплитуду импульса $U_{гн}$ генератора импульсов, установить прямой ток $I_{np}=10$ мА ($U_{zu}=40$ В, так как $R_1=4$ кОм). Рекомендуемый масштаб по оси напряжений на экране осциллографа – 0,05 В/дел. Временная диаграмма напряжения на диоде показана на рисунке 3.

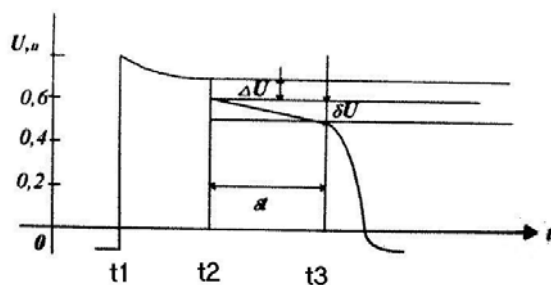


Рисунок 3.

Скачок $\Delta U = r_B \cdot I_{np}$ обусловлен уменьшением падения напряжения на сопротивлении базы при изменении тока от I_{np} до 0 в момент прохождения заднего фронта импульса. После окончания импульса происходит разряд диффузионной ёмкости. Зарисовать осциллограмму напряжения на диоде с указанием масштабов по осям. Найти сопротивление базы по формуле $r_B = \Delta U / I_{np}$ и сравнить его со значением r_{B1} , найденным ранее.

2. По осциллограмме найти эффективное время жизни носителей заряда в базе диода. Для этого на экране осциллографа "крупным планом" установить картинку, соответствующую интервалу времени t_2-t_3 , и, выбрав на нем линейный участок, удобный для измерения интервал времени δt , определить соответствующий ему интервал напряжений δU . Рассчитать эффективное время жизни носителей заряда в базе диода по формуле:

$$\tau_{эф} = \varphi_T \frac{\delta t}{\delta U}$$

3. Рассчитать диффузионную емкость диода для прямого тока 10 мА по формуле:

$$C_{эф} = I \frac{\tau_{эф}}{\varphi_T}$$

4. Присоединить диод к установке для измерения барьерной емкости и снять вольт-фарадную характеристику диода в диапазоне обратных напряжений 0...10 В. Рекомендуемые значения напряжений 0; -1; -3; -6; -10 В. Для каждого значения напряжения ручкой $R_{бал}$ (сопротивление балансировки) получить минимальное показание стрелочного прибора "Индикатор" и отсчитать значение емкости по лимбу "Отсчет". Построить вольт-фарадную характеристику диода.

Форма вольт-фарадной характеристики диода определяется законом распределения примесей в $p-n$ переходе и аппроксимируется зависимостью:

$$C_{бар}(U) = \frac{C_0}{\left(1 - U/\varphi_0\right)^n}, \quad C_0 = C_{бар}(0),$$

$n = 2 \dots 1$ – параметр, зависящий от типа $p-n$ перехода ($n=0,5$ В для ступенчатого распределения примесей; $n=0,3$ В для линейного распределения примесей),

$\varphi_0 = 1$ В – высота потенциального барьера перехода.

Параметр n определить методом наименьших квадратов по формуле:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m \ln\left(1 - \frac{U_i}{\varphi_0}\right) \ln\left(\frac{C_0}{C_{бар}(U_i)}\right)}{\sum_{i=1}^m \ln^2\left(1 - \frac{U_i}{\varphi_0}\right)},$$

где U_i – значения напряжений (отрицательные), выбранных при измерениях вольт-фарадной характеристики диода.