

Отчет по лабораторной работе №2

Измерение статических характеристик полупроводникового диода

Работу выполнили студенты
440 группы радиофизического факультата
Сарафанов Ф.Г., Платонова М.В.

Нижний Новгород, 5 ноября – 19 ноября 2019 г.

Содержание

Введение	2
1. Вольт-амперная характеристика диода	3
1.1. ВАХ холодного диода	3
1.2. ВАХ нагретого диода	4
2. Вольт-фарадная характеристика диода	6
Заключение	7

Введение

В настоящей работе изучается *полупроводниковый диод*. Основной принцип работы – инжекция основных и неосновных носителей заряда через $p-n$ переход под воздействием напряжения, приложенного к p и n областям. В работе будут получены экспериментальные кривые ВАХ, ВФХ, из которых будут получены константы, характеризующие свойства диода: собственная емкость, сопротивление базы, концентрация неосновных носителей заряда, коэффициент неидеальности и т.д.

Установка. В работе измеряются прямая и обратная вольт-амперная характеристика диода, вольт-фарадная характеристика контура с диодом. Измерения проводятся при комнатной температуре диода и при нагреве диода с помощью нагревательного элемента.

Для измерения характеристик собирается лабораторная установка, общий вид которой приведен на рис. 1. На диод, расположенный на корпусе над нагревательным элементом, подаётся прямое или обратное напряжение, регулируемое ручкой «плавно» для соответствующего напряжения. Ток и напряжение на диоде измеряются вольтметром и амперметром, выведенными на корпус установки.

Последовательно диоду в установке включена индуктивность. За счет наличия собственной и паразитной емкости, диод и индуктивность образуют последовательный LC -контур, по резонансному значению тока в котором и можно получить вольт-фарадную характеристику.

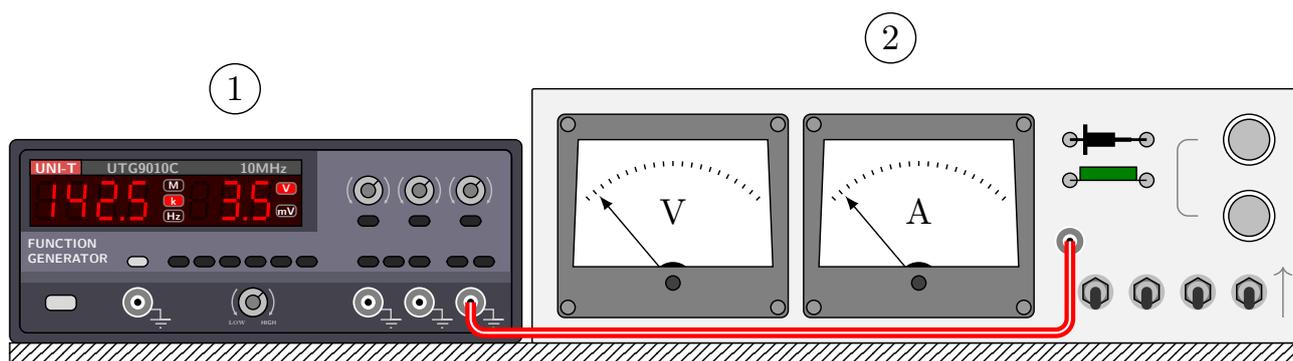


Рис. 1. Лабораторная установка. 1 – генератор сигналов UNI-T UTG9010C, 2 – блок режимов, позволяющий подавать напряжение в прямом и обратном направлении, а также измерять резонансную частоту контура

1. Вольт-амперная характеристика диода

Измерение ВАХ проводится при подключении установки, отвечающем принципиальной схеме, приведенной на рис. 2 при отключенной цепи LC -контура.

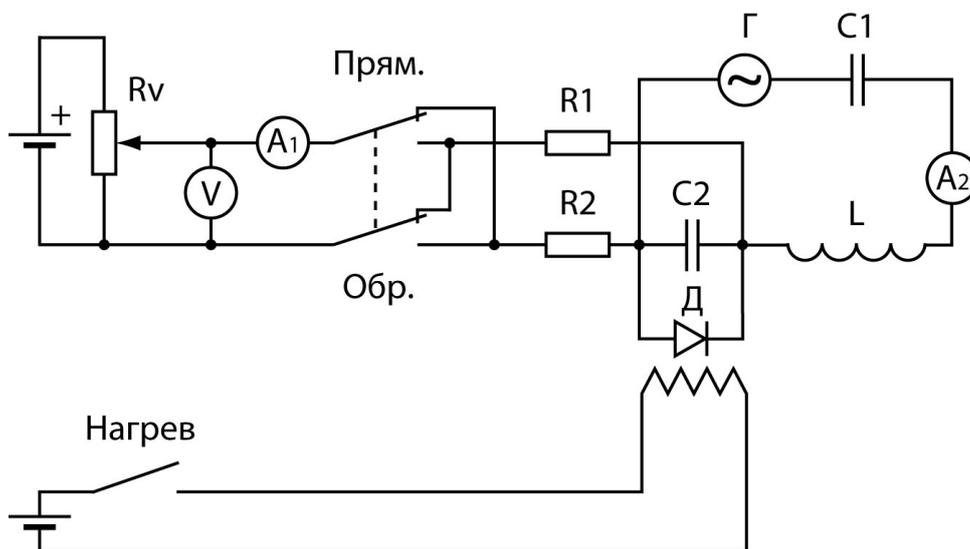


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

1.1. ВАХ холодного диода

Данная ВАХ снимается при условиях комнатной температуры ($\sim 26^\circ$). Результаты измерений обратной и прямой ветви приведены на рис. 4, 3.

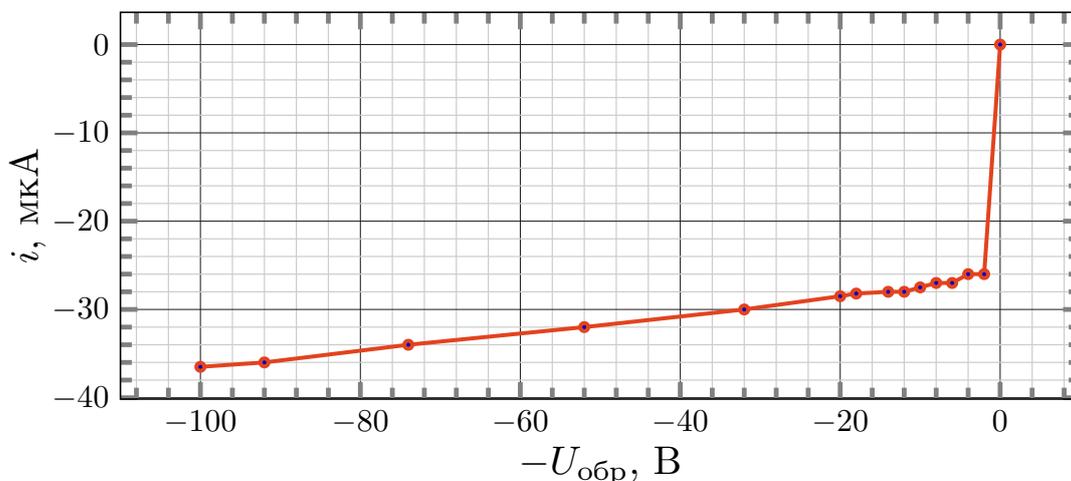


Рис. 3. Обратная ветвь ВАХ

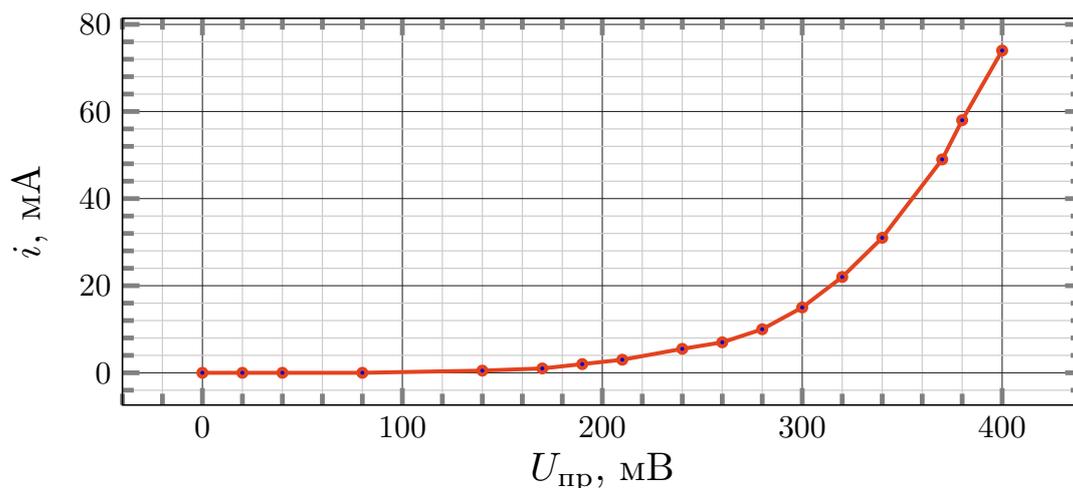


Рис. 4. Прямая ветвь ВАХ

Как показано в [2, стр. 15], ВАХ диода с коэффициентом неидеальности n определяется выражением

$$i = i_s [e^{(u - iR_0)/n\varphi_T} - 1].$$

Для комнатной температуры $\varphi_T \approx 25$ мВ. Аппроксимировав обратной функцией $u(i)$ экспериментальную ВАХ прямой ветви, получили значения неизвестных констант:

$$n \simeq 1.9, \quad J_s \simeq 0.03 \text{ мА}, \quad R_0 \simeq 0.4 \text{ Ом}.$$

1.2. ВАХ нагретого диода

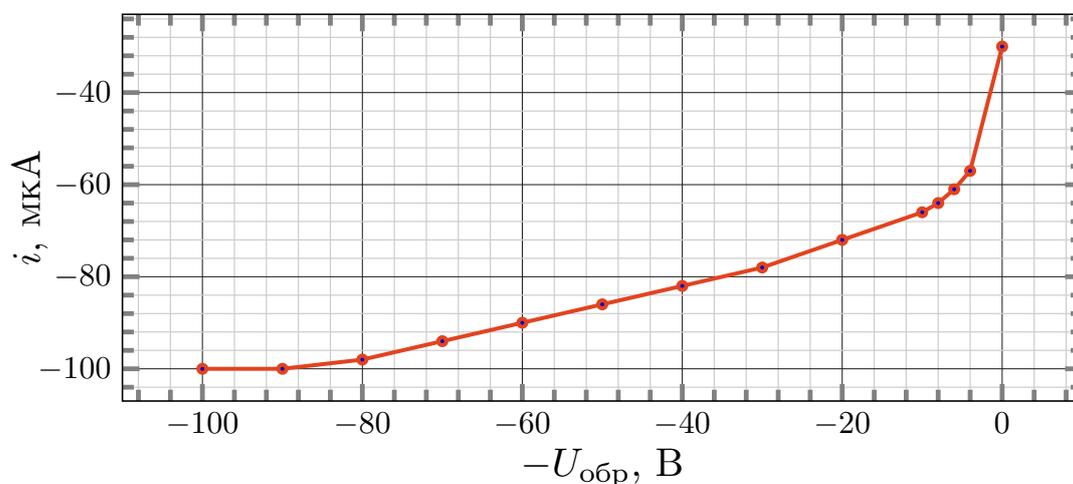


Рис. 5. Обратная ветвь ВАХ

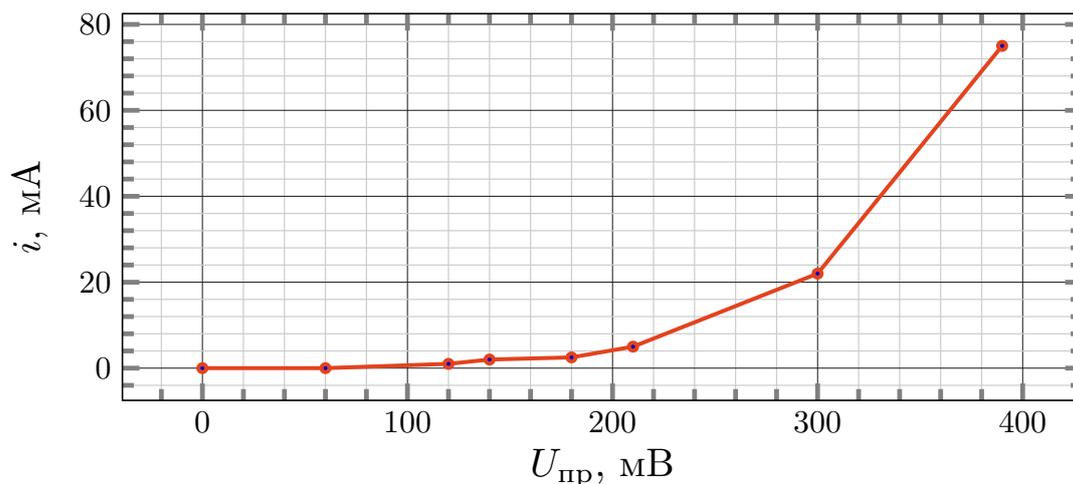


Рис. 6. Прямая ветвь ВАХ

Измерения проводятся при нагреве диода с помощью нагревательного элемента. Нагрев прекращается при возрастании тока через диод до ~ 70 мкА.

Чтобы иметь возможность измерить характеристики при относительно постоянной температуре, на диод после нагрева надевается теплоизолирующий кожух из пенопласта.

Аналогично ВАХ прямой ветви, аппроксимацией нашли параметры кривой ВАХ:

$$n \simeq 2.19, \quad J_s \simeq 0.10 \text{ мА}, \quad R_0 \simeq 0.38 \text{ Ом}.$$

При этом считалось, что $\varphi_T \approx 28$ мВ ($T = 340\text{К}$).

Отметим по результатам экспериментов с нагревом диода, что обратный ток нагретого диода больше, чем холодного. Это можно объяснить тем, что обратный ток возникает за счет тепловой генерации неосновных носителей заряда в нейтральных p - и n - областях, прилегающих к переходу. Носители диффундируют к границам перехода и переносятся в соседнюю область полем [2, стр.14].

2. Вольт-фарадная характеристика диода

Для снятия ВФХ на последовательный контур, образованный элементами $C_2 = 37.9$ пФ, D и $L = 364$ мкГн подаётся гармонический сигнал с амплитудой 0.19 В.

Частота генератора подбирается так, чтобы наблюдать резонанс токов на частоте f_0 . При этом частота резонанса f_0

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_d + C_2)}} \Rightarrow C_d = \frac{1}{4\pi^2 L f_0^2} - C_2$$

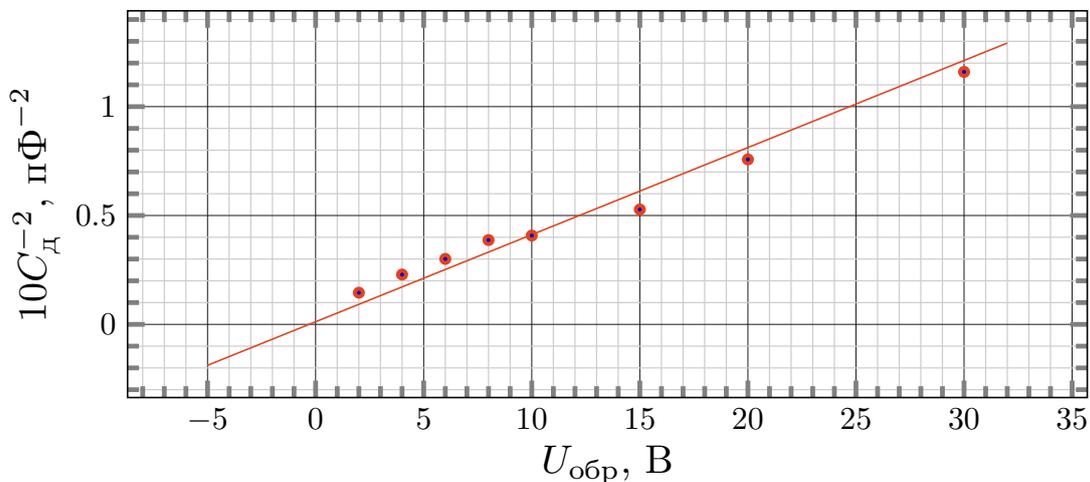


Рис. 7. ВФХ $p-n$ перехода

Как показано в [2, стр.18], в случае резко несимметричного $p-n$ перехода величина барьерной емкости не зависит от свойств p -области и определяется формулой

$$C_d = S \sqrt{\frac{e\epsilon\epsilon_0 N_d}{2(U_k - U)}}$$

Это выражение позволяет найти контактную разность потенциалов и концентрацию донорной примеси: График зависимости $C^{-2}(U)$, изображенный на рис. 7, отсекает на оси абсцисс отрезок, равный по величине U_k .

В нашем случае

$$U_k = 0.3 \text{ В.}$$

Можно также найти концентрацию донорной примеси N_d через угол наклона прямой k :

$$\frac{10}{C^2} = \frac{1}{N_d} \frac{20(U_k - U)}{e\epsilon\epsilon_0 S^2} \Rightarrow N_d = \frac{20}{e\epsilon\epsilon_0 S^2 \cdot k}$$

В нашем случае $k = 0.04 \text{ пФ}^{-2} \text{ В}^{-1} = 0.04 \cdot 10^{24} \text{ Ф}^{-2} \text{ В}^{-1}$, $S^2 = 1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$, $\varepsilon \sim 10$, тогда

$$N_d = \frac{20}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 8.4 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 0.04 \cdot 10^{24}} = 3.7 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$$

Заключение

В настоящей работе мы изучили принципы работы полупроводникового диода, измерили основные параметры диода при комнатной температуре и в нагретом состоянии: коэффициент неидеальности $n = 1.9 \div 2.19$, сопротивление базы $R_6 = 0.38 \div 0.4 \text{ Ом}$, обратный ток перехода $I_s = 0.03 \div 0.1 \text{ мА}$, концентрацию неосновных носителей заряда $N_d = 3.7 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$.

Список литературы

- [1] Орлов И. Я., Односецев В. А. и др. Основы радиоэлектроники: учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 169 с.
- [2] Битюрин Ю. А. и др. Измерение статических характеристик полупроводникового диода. Н.Новгород: ННГУ, 2004. – 38 с.