

Лабораторная работа №5

Изучение характеристик полупроводникового диода

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить вольтамперную характеристику (ВАХ) полупроводникового диода.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- Полупроводниковый диод;
- Миллиамперметр;
- Вольтметр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Нелинейность и несимметричность ВАХ полупроводникового диода обусловлена наличием **электронно-дырочного перехода** или **p-n-перехода**, которой возникает на границе раздела двух областей диода с разным типом проводимости (**рис. 1**).

После создания электрического поля между контактами начинается взаимная диффузия основных носителей заряда электронов из *n*- в *p*-область, дырок из *p*- в *n*-область. Вследствие чего образуется *объемный заряд*, положительный в *n*-области и отрицательный *p*-области.

Это обстоятельство приводит к возникновению контактной разности потенциалов (U_k). Возникшее при этом электрическое поле создает дрейфовый ток дырок из *n*- в *p*-область и электронов из *p*- в *n*-область. В некоторый момент из времени напряженность контактного поля достигает такой величины, что диффузионные токи электронов и дырок уравновешиваются дрейфовыми токами система придет в равновесие и рост контактного поля прекратится.

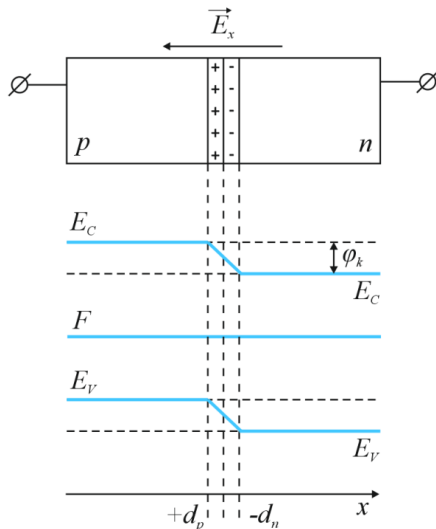


Рис. 1. Энергетическая диаграмма р-п-перехода:

E_C – дно проводимости;

E_V – потолок валентной зоны;

F – уровень Ферми;

d_p и d_n – соответственно границы области объемного заряда

в p - и n -области.

В области объемного заряда ($d_p \leq x \leq d_n$) существует сильное электрическое поле, и практически отсутствуют свободные носители зарядов.

Из **рис. 1** видно, что для перехода электроны в зоне проводимости из n в p -область ему необходимо преодолеть потенциальный барьер $\phi_k = -qU_k$. Такой же барьер должны преодолеть дырки при переходе из p - в n -область.

Такая система должна обладать свойствами выпрямления. При подаче отрицательного потенциала на n -область и положительного потенциала на p -область потенциальный барьер для дырок и электронов уменьшается на величину:

$$\Delta\varphi = qU,$$

где U – внешняя разность потенциалов;
 q – заряд электрона.

По мере возрастания U величина тока резко возрастает за счет уменьшения высоты потенциального барьера ($\varphi_k = qU_k$), который нужно преодолеть электронам и дыркам при переходе из « n » в « p » и из « p » в « n » области, соответственно (что получило название *прямого* или *пропускного* направления).

При подаче на p - n -переход разности потенциалов противоположной полярности, высота потенциального барьера для электронов и дырок возрастает на величину $\varphi_k = qU_k$. Следовательно, вероятности перехода электронов и дырок в p - n - и n - p -области уменьшаются. Величина обратного тока, соответственно, очень мала (*обратное* или *затормозное* направление).

Зависимость силы тока от приложенного к p - n -переходу напряжения задается формулой

$$I = I_S \left(e^{\pm \frac{qU}{AkT}} - 1 \right), \quad (1)$$

где T – термодинамическая температура;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постоянная Больцмана;

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – заряд электрона;

I_S – ток, определяемый концентрацией неосновных носителей тока;

A – параметр, учитывающий толщину p - n -перехода и рекомбинацию электронов и дырок в нем.

Для предельного случая, когда переход тонкий и резкий, параметр A равен единице. Определяя из ВАХ параметр A , можно судить о характере p - n -перехода.

В формуле (1) знак «+» относится к прямому, а знак «-» – к обратному направлению тока.

Анализируя формулу (1) для прямого тока, видим, что первое слагаемое при наибольших напряжениях значительно больше единицы.

Тогда формулу можно записать

$$I_{\text{прям}} = I_S \left(e^{\pm \frac{qU}{AkT}} - 1 \right) \approx I_S \cdot e^{\frac{qU}{AkT}} \quad (2)$$

Для обратного тока, наоборот пренебрегаем первым слагаемым

$$I_{\text{обрат}} = I_S \left(e^{\pm \frac{qU}{AkT}} - 1 \right) \approx -I_S,$$

$$I_{\text{обрат}} = -I_S \quad (3)$$

Кривая ВАХ диода будет выглядеть следующим образом (рис. 2)

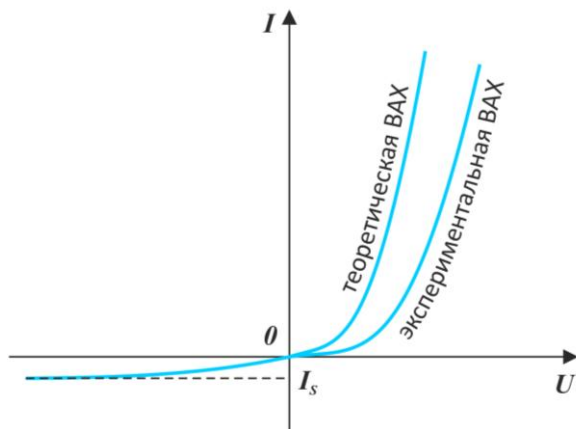


Рис. 2. ВАХ полупроводникового диода

Для нахождения параметра A логарифмируем выражение (2) получаем

$$\ln\left(\frac{I_{\text{прям}}}{I_S}\right) = \frac{qU}{AkT}$$

Выражая kT в электрон-вольтах (эВ) для комнатных температур $T = 300^\circ \text{K}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 0,86 \cdot 10^{-4} \frac{\text{эВ}}{\text{К}}$ – постоянная Больцмана, имеем

$$kT = 0,025 \text{эВ}$$

Тогда формулу (2) можно записать

$$\ln\left(\frac{I_{\text{прям}}}{I_S}\right) = \frac{qU}{AkT} = \frac{40 \cdot U}{A},$$

где U выражается в вольтах.

Построив график $\ln\left(\frac{I_{\text{прям}}}{I_S}\right) = f(U)$, по тангенсу $\text{tg } \alpha$ угла наклона прямой найдем параметр A (рис. 3).

$$\text{tg } \alpha = \frac{\Delta \ln\left(\frac{I_{\text{прям}}}{I_S}\right)}{\Delta U},$$

$$A = \frac{40}{\text{tg } \alpha} \tag{4}$$

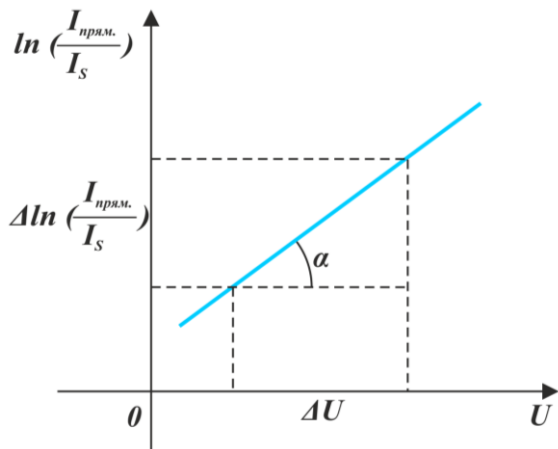


Рис. 3

ХОД РАБОТЫ

1. Подключите установку в сеть 220В, и занулите электроизмерительные приборы. Подключите полупроводниковый диод к входным клеммам установки в *прямом* направлении.
2. Плавно увеличивая напряжение U , подаваемое на диод, определите величину тока $I_{\text{прям. эксп.}}$. Данные занесите в таблицу.
3. Аналогичные измерения проделайте для *обратного* направления $I_{\text{обрат}}$.
4. Постройте графики $I(U)$ (экспериментальной и теоретических) значений ВАХ диода в прямом и обратном направлении.
5. По данным таблицы постройте график логарифмической зависимости

$$\ln\left(\frac{I_{\text{прям. эксп}}}{I_S}\right) = f(U)$$

6. Определите параметр A через тангенс угла наклона прямой (см. (4))

7. Вычислите теоретические значения $I_{\text{прям.теор.}}$ используя формулу (2).

8. Сравните значения $I_{\text{прям.теор.}}$ с $I_{\text{прям. эксп.}}$. Сделайте вывод.

Таблица

№ п/п	1	2	3	4	5	
U , В						
$I_{\text{прям.эксп}}$, мКА						
$I_{\text{обрат}}$, мКА						
$\frac{I_{\text{прям.эксп.}}}{I_S}$						
$\ln\left(\frac{I_{\text{прям.эксп.}}}{I_S}\right)$						
$I_{\text{прям.теор.}}$, мКА						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова природа электропроводности полупроводников?
2. Каким образом создается примесная электронная или дырочная электропроводность?
3. Как образуется p - n -переход при контакте n - и p -полупроводников?
4. Почему происходит искривление энергетических зон в области контакта?
5. Что происходит в p - n -переходе при действии внешнего напряжения?
6. Объясните ход вольтамперной характеристики диода.
7. Чем объясняется насыщение тока обратного (заторможенного) направления?
8. Каковы основные преимущества и недостатки полупроводниковых диодов по сравнению с вакуумными?
9. Каково основное свойство полупроводникового диода?
10. Какое назначение диода в электрических цепях?