

## Лабораторная работа №5

# Изучение характеристик полупроводникового диода

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить вольтамперную характеристику (ВАХ) полупроводникового диода.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

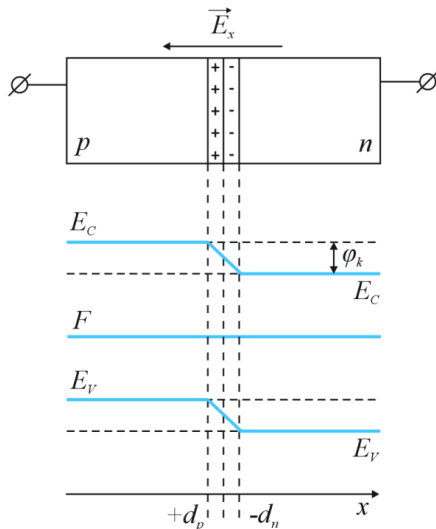
- Полупроводниковый диод;
- Миллиамперметр;
- Вольтметр.

### 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 p-n-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)

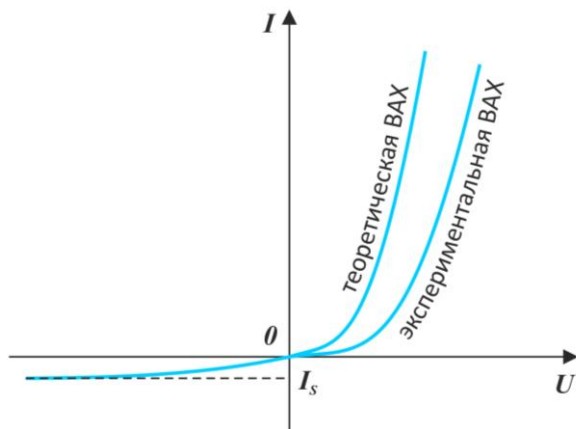


Рис. 2. ВАХ полупроводникового диода

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).

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

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

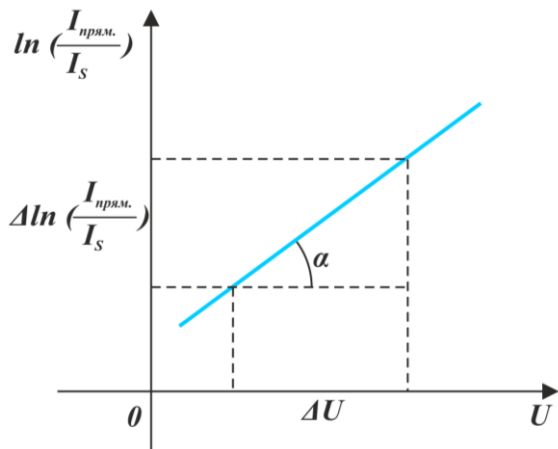


Рис. 3

### 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 построите 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?