

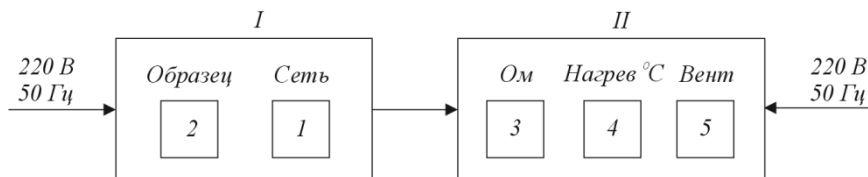
## Лабораторная работа №4 ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое и экспериментальное изучение температурной зависимости проводимости полупроводников.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Схема установки для изучения температурной зависимости электропроводности полупроводников представлена на **рис. 1**.



**Рис. 1.** Схема установки

I – объект измерения (электропечь с установленными в ней образцами);

II – измерительное устройство;

1 – выключатель «Сеть» предназначен для включения и выключения питания объекта исследования;

2 – переключатель «Образец», установленный в положение «3» указывает на то, что к измерительному входу подключен полупроводник;

3 – кнопка «Нагрев» предназначена для включения и выключения (путем повторного нажатия) электропечи;

4 – индикатор «Ом» показывает величину сопротивления образца при данной температуре, которую показывает индикатор «°C»;

5 – кнопку «Вент» не использовать.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

**Полупроводники** представляют собой большой класс кристаллов, проводимость  $\delta$  которых меняется в широком интервале от  $10^{-10}$  до  $10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$  и возрастает с увеличением температуры.

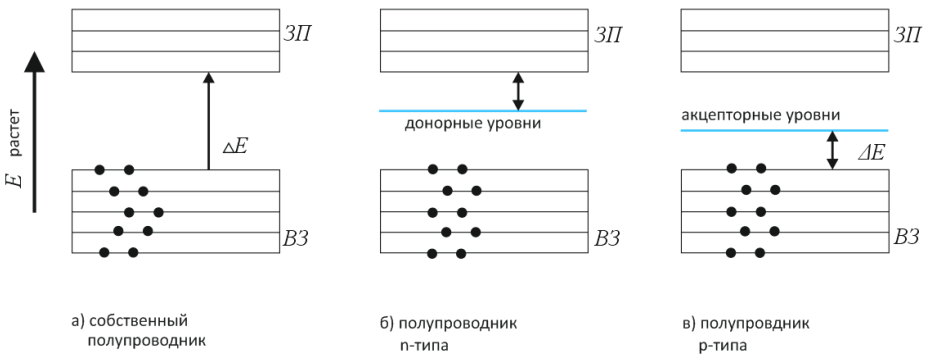
Проводимость полупроводников пропорциональна концентрации подвижных носителей заряда: электронов в зоне проводимости (ЗП) и дырок в валентной зоне (ВЗ):

$$\delta = q(\mu_n N_n - \mu_p N_p) \quad (1)$$

где  $\mu_n$  и  $N_n$  – соответственно, подвижность и концентрация электронов в зоне проводимости;

$\mu_p$  и  $N_p$  – подвижность и концентрация дырок в валентной зоне.

Упрощенная схема зонной структуры полупроводника представлена на **рис.2**.



**Рис. 2.** Зонная структура полупроводников

В чистых (собственных) полупроводниках концентрация электронов в ЗП и дырок в ВЗ равны ( $N_n = N_p$ ). Поэтому

$$\delta = qN(\mu_n + \mu_p) \quad (2)$$

Зависимость проводимости собственных полупроводников практически полностью определяется зависимостью концентрации носителей от температуры  $T$  и ширины запрещенной зоны  $\Delta E$  :

$$N \approx \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \quad (3)$$

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

$T$  – абсолютная (термодинамическая) температура.

Следовательно, **проводимость полупроводника** может быть представлена как:

$$\delta = \delta_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \quad (4)$$

где  $\delta_0$  – величина, зависящая от природы полупроводника и имеющая размерность проводимости полупроводника.

$\delta_0$  – проводимость полупроводника при  $T \rightarrow \infty$  .

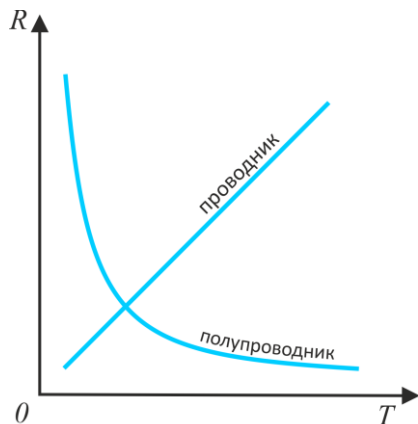
Переходя от проводимости к сопротивлению, можно написать:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right) \quad (5)$$

Для примесных полупроводников температурная зависимость электропроводности, как и в случае собственных, определяется в основном температурной зависимостью концентрации носителей. В этом случае в формуле (5) ширина запрещенной зоны являющейся интервалом энергией между донорными уровнями примесей и дном ЗП (зоной проводимости) для электронных полупроводников (полупроводников  $n$ -типа) или вершиной ВЗ (валентной зоны) и акцепторными уровнями примесей для дырочных полупроводников (полупроводников  $p$ -типа) (рис.2. б, в).

Каков бы ни был тип проводимости (тип полупроводника) тепловое возбуждение увеличивает вероятность перехода электронов из ВЗ в ЗП

или электронов с донорных уровней в ЗП, или дырок с акцепторных уровней в ВЗ. В свою очередь это приводит к увеличению концентрации электронов в ЗП и дырок в ВЗ, что обуславливает уменьшение сопротивления  $R$  полупроводника при увеличении  $T$  в противоположность сопротивлению полупроводников (рис.3)



**Рис. 3.** Зависимость сопротивления от температуры

Для начальной температуры

$$R_n = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT_n}\right)$$

Для  $T > T_n$  сопротивление полупроводника уменьшается в  $\frac{R_n}{R}$  раз:

$$\frac{R_n}{R} = \exp\left[\frac{\Delta E}{2k}\left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)\right], \quad \ln\left(\frac{R_n}{R}\right) = \frac{\Delta E}{2k}\left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)$$

Обозначим

$$y = \ln\left(\frac{R_n}{R}\right), \quad x = \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}$$

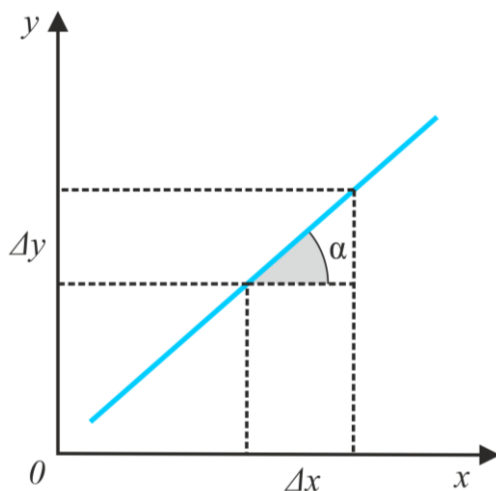
Тогда получим **линейное выражение**:

$$y = ax,$$

где  $a = \frac{\Delta E}{2k}$ .

График, соответствующий этому выражению, представлен на **рис.4**. Таким образом, можно графически определить

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \operatorname{tg} \alpha$$



**Рис. 4**

### **ХОД РАБОТЫ**

1. Включите установку выключателями «Сеть» на задней панели измерительного устройства II и передней панели объекта исследования I
2. Установите переключатель «Образец» в положение «3» (полупроводник)

3. Дайте установке прогреться в течение 5 минут, при этом на индикаторе « $^{\circ}C$ » устанавливается температура окружающей среды  $t$ ; на индикаторе « $Om$ » – сопротивление образца при данной температуре  $R$ .
4. Измерение сопротивления образца при нагреве производить в следующем порядке:
  - 4.1. Запишите показания при начальной температуре  $t_n$  и  $R_n$
  - 4.2. Нажмите кнопку «Нагрев» (индикатор засветиться)
  - 4.3. Нагрейте терморезистор на  $2^{\circ}C$ , нажмите кнопку «Стоп инд» (индикатор засветится), снимите показания сопротивления  $R$  с индикатора « $Om$ ».
  - 4.4. Далее нажмите кнопку «Стоп инд» (он погаснет)
  - 4.5. Произвести аналогичное измерение сопротивления  $R_t$  через каждые  $2^{\circ}C$  до температуры  $50^{\circ}C$ , повторяя действия, указанные в пункте 4.3.
  - 4.6. Данные занесите в **таблицу**
5. Вычислив значения  $y = \ln\left(\frac{R_n}{R}\right)$  и  $x = \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}$  для каждой температуры, построить **график зависимости**  $y = f(x) = ax$  (рис.3)
6. Определить графически константу  $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$
7. Вычислить **энергию активации**  $\Delta E = 2ka$
8. Выразить конечный результат  $\Delta E$  в **электрон-вольтах**  
 $1эВ = 1,67 \cdot 10^{-19} Дж$

Таблица

№ п/п	$t_n = \text{---}^\circ\text{C}$	$T_n = \text{---}K$	$R_n = \text{---}Om$	$\frac{R_n}{R}$	$y = \ln\left(\frac{R_n}{R}\right)$	$\frac{1}{T_n} = \text{---}K^{-1}$		
	$t, ^\circ\text{C}$	$T, K$	$R, Om$			$\frac{1}{T}, K^{-1}$	$x = \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}, K^{-1}$	$a = \frac{\Delta y}{\Delta x}, K^{-1}$
1								
2								
3								
...								
	50							

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое проводимость? Какова его связь с сопротивлением?
2. Виды проводимости в полупроводнике
3. Почему сопротивление проводников с ростом температуры увеличивается?
4. Объясните температурную зависимость полупроводников.
5. Что такое валентная зона (ВЗ), зона проводимости (ЗП)?
6. Объясните различия свойств проводников, полупроводником и диэлектриков на основе зонной теории твердых тел.
7. Что такое энергия активации?
8. Что называется энергией Ферми?