

Группа М3201

К работе допущен _____

Студенты Ткачук С.А. и Чуб Д.О.

Работа выполнена _____

Преподаватель Шоев В.И.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.05

Температурная зависимость электрического сопротивления металла и полупроводника

1. Цель работы

1. Получить зависимость электрического сопротивления металлического и полупроводникового образцов в диапазоне температур от комнатной до 75°C.
2. По результатам п.1 вычислить температурный коэффициент сопротивления металла и ширину запрещенной зоны полупроводника.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Проведение измерений сопротивления при различных температурах
2. Построение графиков зависимостей сопротивления от температуры
3. Определение температурного коэффициента сопротивления металла и ширины запрещенной зоны полупроводника

3. Объект исследования

Изменение сопротивления материалов при изменении температуры

4. Метод экспериментального исследования

Лабораторный

5. Рабочие формулы и исходные данные

Формулы:

Температурный коэффициент сопротивления для пары значений сопротивления, зависящего от температуры (R_i - сопротивление i -го измерения, t_i - температура i -го измерения)

$$\alpha_{ij} = \frac{R_i - R_j}{R_j \cdot t_i - R_i \cdot t_j} \quad (1)$$

Среднее значение температурного коэффициента сопротивления α (α_i - i -е значение α , N - количество значений):

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N} \quad (2)$$

Погрешность среднего значения α ($t_{x,N}$ - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности x и количества проведенных измерений N , α_i - i -е значение α , $\bar{\alpha}$ - среднее значение α):

$$\Delta \bar{\alpha} = t_{x,N} \cdot \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \bar{\alpha})^2} \quad (3)$$

Ширина запрещенной зоны полупроводника для пары значений сопротивления, зависящего от температуры (R_i - сопротивление i -го измерения, T_i - температура i -го измерения, k - постоянная Больцмана)

$$E_{gij} = 2k \frac{\ln R_i - \ln R_j}{\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln \frac{R_i}{R_j} \quad (4)$$

Среднее значение ширины запрещенной зоны полупроводника E_g (E_{g_i} - i -е значение E_g , N - количество значений):

$$\bar{E}_g = \frac{\sum_{i=1}^N E_{g_i}}{N} \quad (5)$$

Погрешность среднего значения E_g ($t_{x,N}$ - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности x и количества проведенных измерений N , E_{g_i} - i -е значение E_g , \bar{E}_g - среднее значение E_g):

$$\Delta \bar{E}_g = t_{x,N} \cdot \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (E_{g_i} - \bar{E}_g)^2} \quad (6)$$

Закон Ома (R – сопротивление, U - напряжение, I - сила тока):

$$R = \frac{U}{I} \quad (7)$$

Исходные данные:

Постоянная Больцмана: $k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \approx 8,61733 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{\text{К}}$

6. Измерительные приборы

	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Амперметр-вольтметр	Электронный	0-2000 мкА 0-2 В	0.5%
2				
3				

7. Схема установки

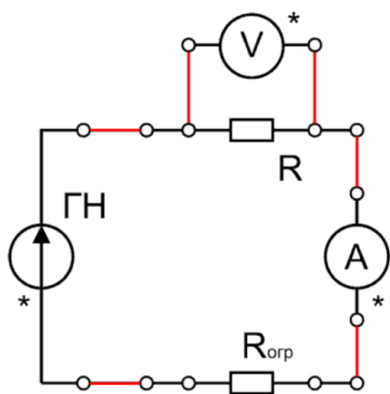


Рис. 1: электрическая схема установки

8. Результаты прямых измерений и их обработки

Таблица 1: Полупроводниковый образец

№	T, K	$I, \mu A$	U, B	R, Ω	$\ln R$	$\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$
1	286	1127	0,285	253	5,53	3,50
2	293	1182	0,210	178	5,18	3,41
3	298	1227	0,179	146	4,98	3,36
4	303	1260	0,158	125	4,83	3,30
5	308	1297	0,131	101	4,62	3,25
6	313	1330	0,110	83	4,42	3,19
7	318	1356	0,094	69	4,24	3,14
8	323	1379	0,078	57	4,04	3,10
9	328	1394	0,066	47	3,86	3,05
10	333	1409	0,057	40	3,70	3,00
11	338	1423	0,047	33	3,50	2,96
12	343	1430	0,041	29	3,36	2,92

Таблица 2: Металлический образец

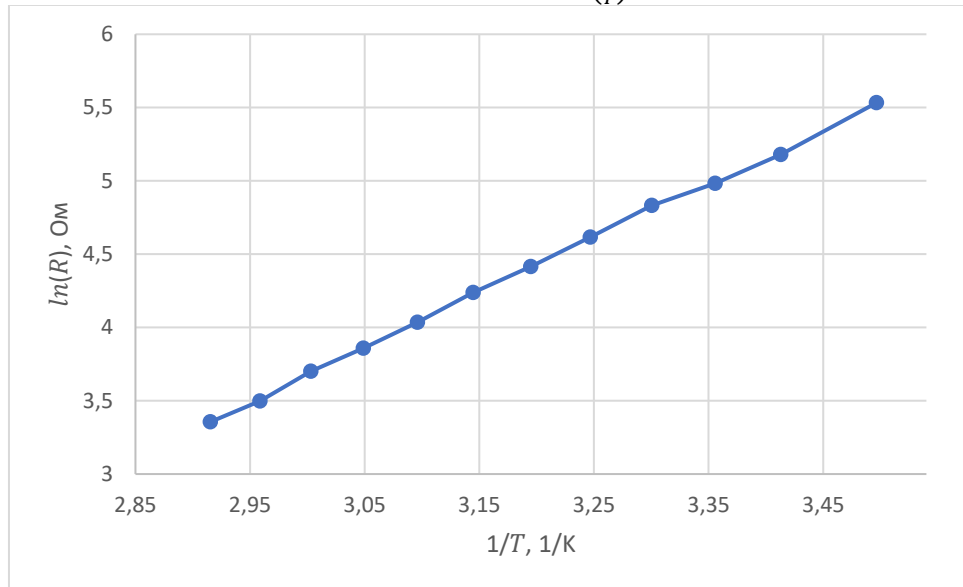
№	T, K	$I, \mu A$	U, B	$R, k\Omega$	$t, ^\circ C$
1	343	1051	1,571	1,49	70
2	338	1063	1,554	1,46	65
3	333	1074	1,538	1,43	60
4	328	1088	1,526	1,40	55
5	323	1099	1,516	1,38	50
6	318	1110	1,505	1,36	45
7	313	1121	1,495	1,33	40
8	308	1134	1,485	1,31	35
9	303	1145	1,472	1,29	30
10	298	1158	1,462	1,26	25

9. Расчет результатов косвенных измерений

Рассчитаем по формуле (7) и запишем в 5 столбец **Таблицы 1** и **Таблицы 2** значения сопротивления объектов R исследования при всех температурах.

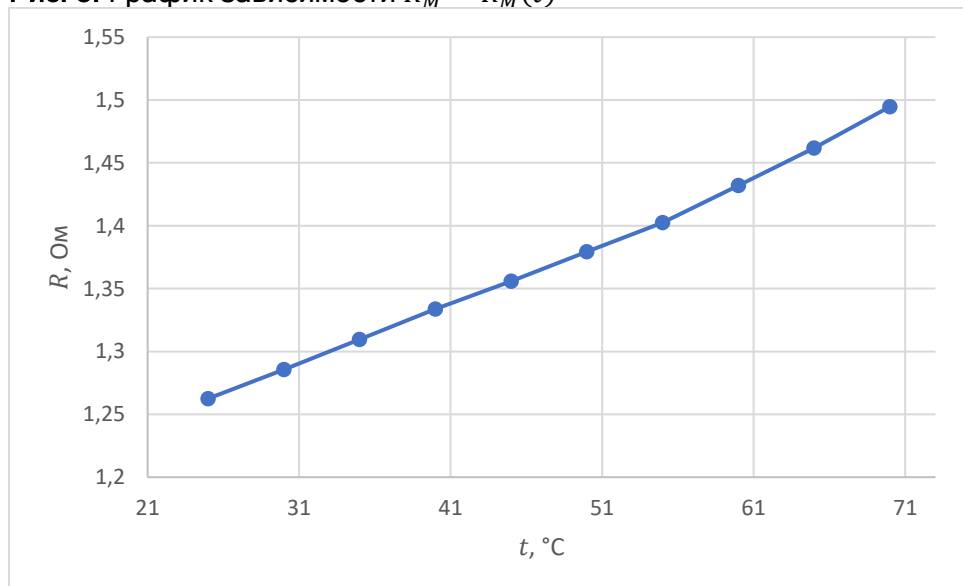
По данным **Таблицы 1** рассчитаем значения натурального логарифма сопротивления полупроводника $\ln R$ и величину обратной абсолютной температуры $\frac{10^3}{T}$, занесем в 6 и 7 столбец **Таблицы 1** соответственно. По результатам расчетов построим график соответствующей зависимости $\ln(R) = \ln(R) \left(\frac{1}{T} \right)$ (**Рис. 2**). График близок к линейному.

Рис. 2. График зависимости $\ln(R) = \ln(R) \left(\frac{1}{T} \right)$



По данным **Таблицы 2** построим график зависимости сопротивления металла R от температуры t в шкале Цельсия $R_M = R_M(t)$ (**Рис. 3**). График близок к линейному.

Рис. 3. График зависимости $R_M = R_M(t)$



Для определения величины температурного коэффициента сопротивления металла разделим все точки в **Таблице 2** на пары, в которых значения отстоят друг от друга на примерно одинаковое максимальное расстояние (1 и 6, 2 и 7 и т.д., т.к. у нас 10 измерений).

По формуле (1) посчитаем значение α_{ij} для всех пар:

i	j	$R_i, \text{Ом}$	$R_j, \text{Ом}$	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_j, ^\circ\text{C}$	$\alpha_{ij}, \frac{1}{K}$
1	6	1,49	1,36	70	45	0,0050
2	7	1,46	1,33	65	40	0,0045
3	8	1,43	1,31	60	35	0,0043
4	9	1,40	1,29	55	30	0,0041
5	10	1,38	1,26	50	25	0,0041

По формуле (2) посчитаем среднее значение α :

$$\bar{\alpha} = 0,0044 \frac{1}{K}$$

Аналогичные действия проведем при вычислении ширины запрещенной зоны полупроводника. Разделим все точки в Таблице 1 на пары, в которых значения отстоят друг от друга на примерно одинаковое максимальное расстояние (1 и 7, 2 и 8 и т.д., т.к. у нас 12 измерений)

По формуле (4) посчитаем значение E_{gij} для всех пар:

i	j	$R_i, \text{Ом}$	$R_j, \text{Ом}$	$T_i, ^\circ\text{C}$	$T_j, ^\circ\text{C}$	$E_{gij}, \text{Дж}$	$E_{gij}, \text{эВ}$
1	7	253	69	286	318	$1,02 \cdot 10^{-19}$	0,64
2	8	178	57	293	323	$9,92 \cdot 10^{-20}$	0,62
3	9	146	47	298	328	$1,02 \cdot 10^{-19}$	0,64
4	10	125	40	303	333	$1,06 \cdot 10^{-19}$	0,66
5	11	101	33	308	338	$1,07 \cdot 10^{-19}$	0,67
6	12	83	29	313	343	$1,04 \cdot 10^{-19}$	0,65

По формуле (5) посчитаем среднее значение E_g :

$$\bar{E}_g = 1,03 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,65 \text{ эВ}$$

По значению температурного коэффициента сопротивления металла и ширине запрещенной зоны полупроводника с помощью литературных данных идентифицируем их:

$$\alpha = 0,0044 \frac{1}{K} - \text{Константан}$$

$$E_g = 0,65 \text{ эВ} - \text{Германий}$$

10. Расчет погрешностей измерений

Рассчитаем погрешность $\Delta\bar{\alpha}$ по формуле (3):

$$\Delta\bar{\alpha} = 0,00018 \frac{1}{K}$$

Рассчитаем погрешность $\Delta\bar{E}_g$ по формуле (6):

$$\Delta\bar{E}_g = 1,24 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 0,0075 \text{ эВ}$$

11. Окончательные результаты

$$\alpha = (0,00440 \pm 0,00018) \frac{1}{K} \quad \varepsilon_\alpha = 4\%$$

$$E_g = (1,03 \cdot 10^{-19} \pm 1,24 \cdot 10^{-21}) \text{ Дж} = (0,6500 \pm 0,0075) \text{ эВ}$$

$$\varepsilon_{E_g} = 1,1\%$$

12. Вывод и анализ результатов работы

Была доказана зависимость электрического сопротивления металлического и полупроводникового образцов от температуры и посчитаны температурный коэффициент сопротивления металла и ширина запрещенной зоны полупроводника. С помощью литературных материалов были установлены элементы, из которых состоит металл и полупроводник