
Группа Р3208

К работе допущен _____

Студент Петров, Ступин, Есоян

Работа выполнена _____

Преподаватель Сорокина Е.К.

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. Снять зависимость сопротивления металла и полупроводника от температуры.
2. Рассчитать температурный коэффициент сопротивления металла.
3. Рассчитать ширину запрещённой зоны полупроводника.
4. Построить графики.

3. Объект исследования.

Металлический и полупроводниковый образцы, зависимости их сопротивления от температуры.

4. Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения напряжения на образце и тока, проходящего через него, при различных температурах.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Закон Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}$$

2. Ширина запрещённой зоны ($k = 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,62 * 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{\text{К}}$):

$$E_g = 2k \cdot \frac{\Delta \ln R_{\text{п}}}{\Delta \frac{1}{T}}$$

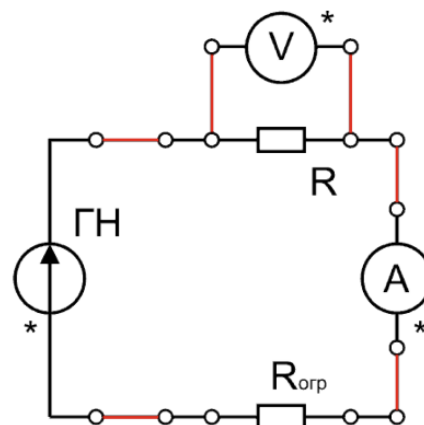
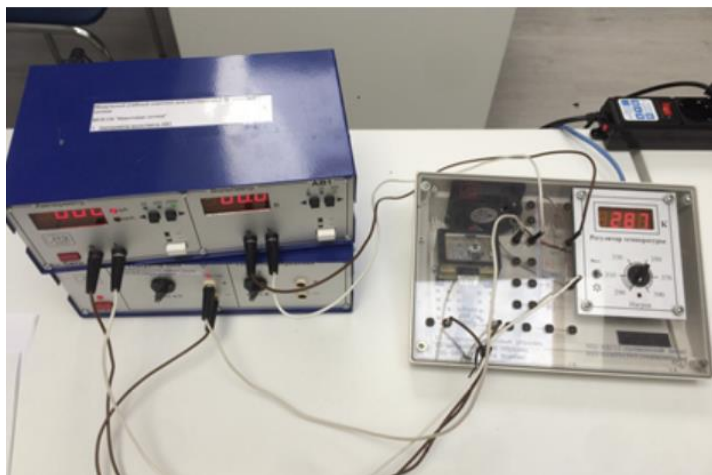
3. Зависимость сопротивления от температуры для металла при небольших диапазонах температур (R_0 – сопротивление данного образца при температуре 0°C, α – температурный коэффициент сопротивления):

$$R_{\text{м}} = R_0(1 + \alpha T)$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Вольтметр	цифровой	0–2 В	0,001 В
2	Амперметр	цифровой	0–2000 мкА	1 мкА
3	Датчик температуры	цифровой	300–350 К	1 К

7. Схема установки.



8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1. Результат измерения и их обработки для полупроводникового образца.

№	T, K	$I, \mu A$	U, B	R, Ω	$\ln R$	$\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$
1	294	1093	0,198	181,153	5,199	3,401
2	299	1150	0,171	148,696	5,002	3,344
3	304	1197	0,141	117,794	4,769	3,289
4	309	1230	0,119	96,748	4,572	3,236
5	314	1261	0,099	78,509	4,363	3,185
6	319	1284	0,084	65,421	4,181	3,135
7	324	1306	0,070	53,599	3,982	3,086
8	329	1319	0,061	46,247	3,834	3,040
9	334	1339	0,050	37,341	3,620	2,994
10	339	1349	0,043	31,875	3,462	2,950
11	344	1353	0,038	28,086	3,335	2,907
12	347	1367	0,027	19,751	2,983	2,882

Рассчитаем $R, \ln R, \frac{10^3}{T}$ для первой строки:

$$R = \frac{U}{I} = 181,153 \text{ Ом}$$

$$\ln R = 5,199$$

$$\frac{10^3}{T} = 3,401 \frac{1}{K}$$

Аналогично для остальных строк.

По графику 1 можно заметить линейную зависимость между обратной температурой и логарифмом сопротивления

Таблица 2. Результат измерения и их обработки для металлического образца.

№	T, K	$I, \mu A$	U, B	R, Ω	$t, ^\circ C$
1	347	1030	1,617	1569,903	73,85
2	342	1059	1,597	1508,026	68,85
3	337	1070	1,582	1478,505	63,85
4	332	1080	1,572	1455,556	58,85
5	327	1093	1,562	1429,094	53,85
6	322	1105	1,553	1405,430	48,85
7	317	1119	1,543	1378,910	43,85
8	312	1131	1,532	1354,553	38,85
9	307	1147	1,522	1326,940	33,85

10	302	1159	1,510	1302,847	28,85
11	297	1174	1,498	1275,980	23,85
12	292	1188	1,486	1250,842	18,85

Рассчитаем R, t для первой строки:

$$R = \frac{U}{I} = 1569,903 \text{ Ом}$$

$$t = 73,85^\circ\text{C}$$

Аналогично для остальных строк.

По графику 2 можно заметить линейную зависимость между сопротивлением и температурой

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Расчёт ширины запрещённой зоны:

$$E_{gij} = 2k \frac{T_i * T_j}{T_j - T_i} \ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right)$$

Таблица 3. Результаты расчётов ширины запрещённой зоны для полупроводникового образца.

i	j	$E_{gij}, 10^{-19} \text{ Дж}$	$E_{gij}, \text{ эВ}$
1	7	1,07	0,67
2	8	1,06	0,66
3	9	1,07	0,67
4	10	1,07	0,67
5	11	1,02	0,64
6	12	1,31	0,82
$\langle E_g \rangle$		1,10	0,69
ΔE_g		0,02	0,01

Рассчитаем E_{g17} в Дж и эВ:

$$E_{g17} = 1,07 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E_{g17} = 0,67 \text{ эВ}$$

Аналогично для следующих.

Расчёт температурного коэффициента сопротивления:

$$\alpha_{ij} = \frac{R_i - R_j}{R_j * t_i - R_i * t_j}$$

Таблица 4. Результаты расчётов температурного коэффициента сопротивления металлического образца.

i	j	$\alpha_{ij}, 10^{-3}/^\circ\text{C}$
1	7	5,79
2	8	4,43
3	9	4,37
4	10	4,40
5	11	4,42
6	12	4,47
$\langle \alpha \rangle$		4,65
$\Delta \alpha$		0,09

Рассчитаем α_{17} :

$$\alpha_{17} = 5,79 * 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Аналогично для следующих.

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

$$\Delta E_g = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{gij} - \langle E_g \rangle)^2}{n(n-1)}} = 0,01 \text{ эВ}$$

$$\varepsilon_{E_g} = 1,49 \%$$

$$\Delta \alpha = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_{ij} - \langle \alpha \rangle)^2}{n(n-1)}} = 0,09 * 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\varepsilon_{\alpha} = 1,91 \%$$

11. Графики.

График 1. Зависимость логарифма сопротивления от обратной температуры

Зависимость логарифма сопротивления от обратной температуры

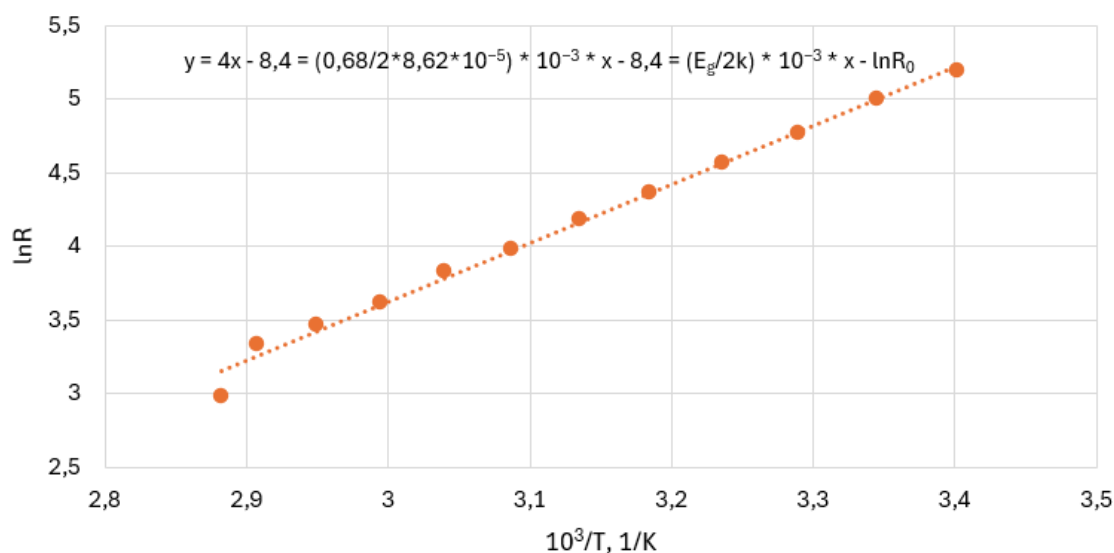
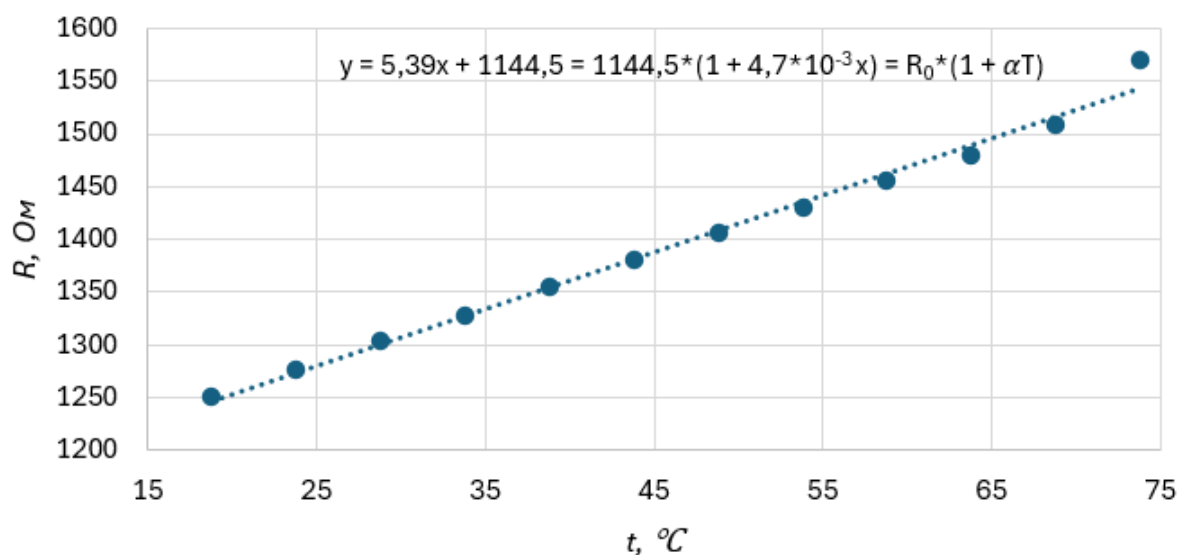


График 2. Зависимость сопротивления металла от температуры

Зависимость сопротивления металла от температуры



12. Окончательные результаты.

$$E_g = (1,10 \pm 0,02) \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = (0,69 \pm 0,01) \text{ эВ} \quad \varepsilon_{E_g} = 1,49 \%$$

$$\alpha = (4,65 \pm 0,09) \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}} \quad \varepsilon_\alpha = 1,91 \%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе работы было исследовано изменение электрического сопротивления металла и полупроводника при изменении температуры.

Для полупроводника подтверждена линейная зависимость логарифма сопротивления от обратной температуры, рассчитана ширина запрещённой зоны. Исходя из полученного значения ширины запрещённой зоны полупроводника, равного $E_g = 0,69 \text{ эВ}$ с учётом погрешности измерений можно предположить, что исследуемый полупроводник – германий.

Для металлического образца подтверждена линейная зависимость сопротивления от температуры, рассчитан температурный коэффициент сопротивления. Исходя из полученного значения температурного коэффициента сопротивления металлического образца, равного $\alpha = 4,65 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ с учётом погрешности измерений можно предположить, что исследуемый проводник – вольфрам.

Результаты согласуются с теоретическими представлениями, что подтверждает корректность измерений и расчетов.