

Группа _____ Р3207 _____ К работе допущен _____

Студент _____ Путинцев Д. Д. _____ Работа выполнена _____ 25.02.2025 _____

Преподаватель _____ Терещенко Г. В _____ Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.05

**Температурная зависимость электрического сопротивления металла и
полупроводника**

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.

Объект исследования.

Металлический и полупроводниковый образцы, зависимости их сопротивления от температуры.

Метод экспериментального исследования.

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

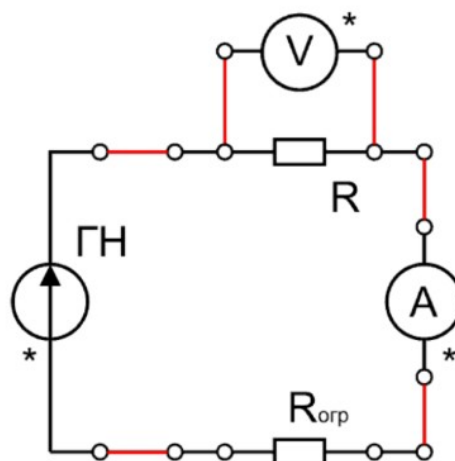
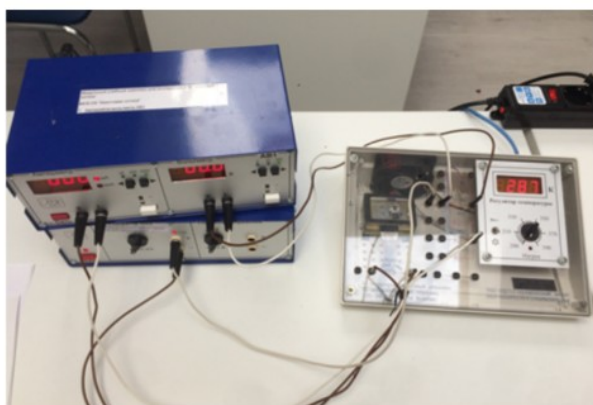
Рабочие формулы и исходные данные.

- Закон Ома для участка цепи: $R = \frac{U}{I}$, где R - сопротивление, U - напряжение, I - сила тока
- Сопротивление проводника $R_n = R_m \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)$, где kT - средняя энергия теплового движения, R_m - предел к которому стремится значение сопротивления полупроводника при повышении температуры
- Прологарифмируем это соотношение и получим формулу для расчета ширины запрещенной зоны (k - постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К = $8,62 \cdot 10^{-5}$ эВ/К): $E_g = 2k \cdot \frac{\Delta \ln(R_n)}{\Delta(1/T)}$
- Зависимость сопротивления от температуры для металла при небольших диапазонах температур: $R_m = R_0(1 + \alpha T)$, где R₀ - сопротивление данного образца при температуре 0°C, α — температурный коэффициент сопротивления

Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Амперметр	Электронный	0 - 2000 мкА	1 мкА
2	Вольтметр	Электронный	0 - 2 В	0,001 В
3	Датчик температуры	Электронный	300 - 370 К	1 К

Схема установки



Результаты прямых измерений и их обработки

Таблица 1: Полупроводниковый образец

№	T, K	I, мкА	U, В	R, Ом	ln R	$\frac{10^3}{T}; \frac{1}{K}$
1	298	1020	0.228	223.53	5.41	3.36
2	303	1113	0.16	143.76	4.97	3.3
3	307	1145	0.136	118.77	4.78	3.26
4	312	1172	0.121	103.24	4.64	3.21
5	317	1196	0.104	86.96	4.47	3.15
6	322	1216	0.088	72.39	4.28	3.11
7	327	1228	0.074	60.26	4.10	3.06
8	332	1242	0.062	49.92	3.91	3.01
9	337	1253	0.054	43.1	3.76	2.97
10	342	1264	0.046	36.39	3.59	2.92
11	346	1280	0.032	25	3.22	2.89

Таблица 2: Металлический образец

№	T, K	I, мкА	U, В	R, кОм	t, °C
1	348	1030	1.743	1692.23	74.85
2	342	1108	1.639	1479.24	68.85
3	338	1122	1.637	1459	64.85
4	334	1134	1.631	1438.27	60.85
5	328	1149	1.619	1409.05	54.85
6	322	1153	1.593	1381.61	48.85
7	317	1182	1.590	1345.18	43.85

8	312	1198	1.588	1325.54	38.85
9	307	1211	1.586	1309.66	33.85
10	303	1221	1.577	1291.56	29.85
11	298	1238	1.576	1274.64	24.85
12	295	1250	1.576	1260.8	21.85
13	290	1263	1.545	1223.28	16.85

Полупроводниковый образец

Расчёт сопротивления R для каждого измерения:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0.228 \text{ В}}{10^{-6} * 1020 \text{ А}} = 223.53 \text{ Ом}$$

Расчёт натурального логарифма сопротивления $\ln(R)$ для каждого измерения:

$$\ln(R) = \ln(223.53) = 5.41$$

Расчёт величины обратного значения температуры $\frac{10^3}{T}$

$$\frac{10^3}{T} = \frac{1000}{298} = 3.36$$

Металлический образец

Расчёт сопротивления R для каждого измерения:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1.743 \text{ В}}{10^{-6} * 1030 \text{ А}} = 1692.23 \text{ Ом}$$

Расчёт температуры t по шкале Цельсия:

$$t = T - 273.15 = 348 - 273.15 = 74.85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчет результатов косвенных измерений

i	j	$E_{g_{ij}}, 10^{-19} \text{ Дж}$	$E_{g_{ij}}, \text{ эВ}$
1	7	1.22	0.76
2	8	1.01	0.63
3	9	0.97	0.60
4	10	1.02	0.64
5	11	1.30	0.81
$E_{g_{cp}}$		1.104	0.69
$\Delta E_{g_{cp}}$		0.19	0.11

Таблица 3: Результаты расчетов ширины запрещенной зоны для полупроводникового образца

$$E_{g_{ij}} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right) = \frac{2 * 1.38 * 10^{-23} * 298 * 327}{327 - 298} * \ln\left(\frac{223.53}{60.23}\right) = 1.22 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E_{g_{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{ij} = \frac{1}{5} * 5.52 = 1.104 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

i	j	$a_{ij}, \frac{10^{-3}}{^{\circ}\text{C}}$
2	8	5.19
3	9	4.20
4	10	4.11
5	11	3.85
6	12	3.85
7	13	3.94
a_{cp}		4.19

Таблица 4: Результаты расчетов температурного коэффициента сопротивления для металлического образца

$$a_{ij} = \frac{R_i - R_j}{R_j * t_i - R_i * t_j} = \frac{1479.24 - 1325.54}{1325.54 * 342 - 1479.24 * 312} = 5.19 \frac{10^{-3}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$a_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij} = \frac{1}{6} * 25.14 = 4.19 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Расчет погрешностей измерений.

Расчет погрешностей для температурного коэффициента сопротивления

$$\Delta a_{ij} = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{ij} - a_{cp})^2}{n(n-1)}} = 0.54 * 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

где $t_{\alpha, n}$ - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha = 0.95$ и числа измерений n .

Относительная погрешность

$$\varepsilon = \frac{0.54}{4.19} * 100\% = 12.9\%$$

Расчет погрешностей для ширины запрещенной зоны

$$\Delta E_g = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{ij} - E_{cp})^2}{n(n-1)}} = 0.19 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\Delta E_g = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{ij} - E_{cp})^2}{n(n-1)}} = 0.11 \text{ эВ}$$

Относительная погрешность

$$\varepsilon = \frac{0.19}{1.104} * 100\% = 17.2\%$$

$$\varepsilon = \frac{0.11}{0.69} * 100\% = 15.9\%$$

Графики

По рассчитанным значениям сопротивления образцов были построены графики зависимости от температуры. Оба имеют линейный вид, что согласуется с теоретическими зависимостями сопротивления полупроводникового и металлического образцов.

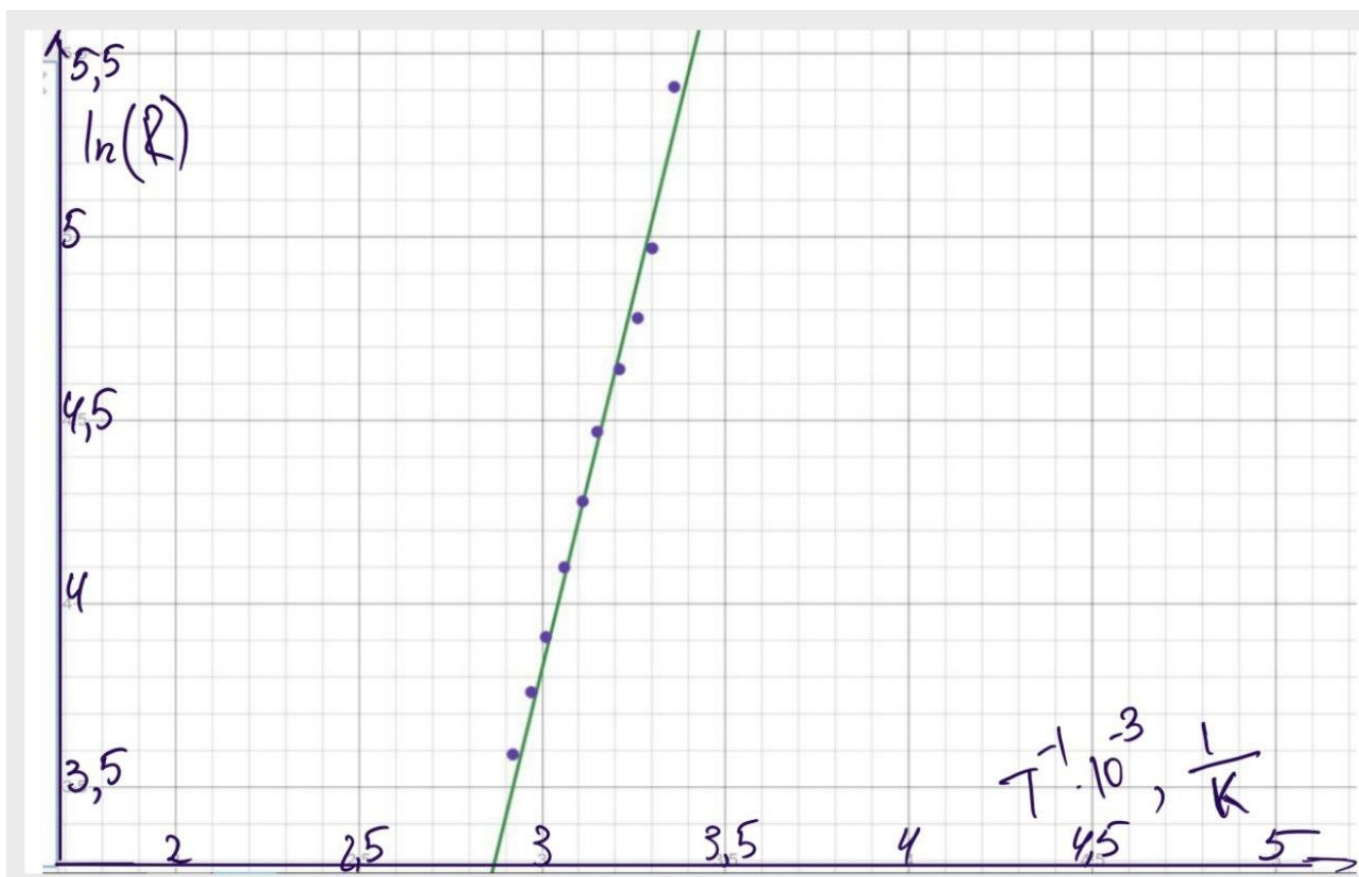


График зависимости $\ln(R)$ от $1/T$ для полупроводника

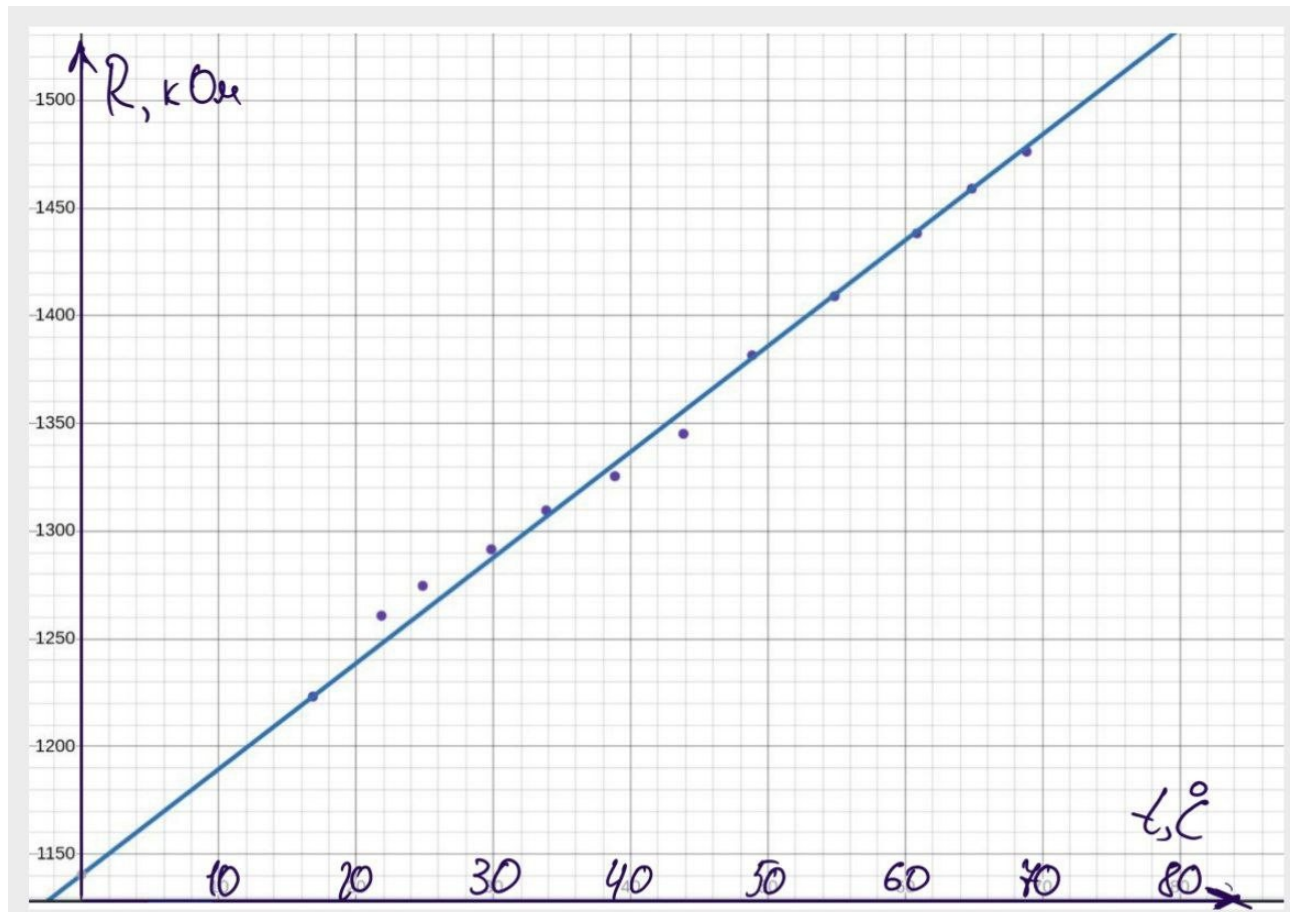


График зависимости R от t для металла

Окончательные результаты.

Температурный коэффициент сопротивления проводника:

$$\alpha = (4.19 \pm 0.54) * 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}; \varepsilon_{\alpha} = 12.9\%; \alpha = 0.95$$

Ширина запрещенной зоны полупроводникового образца:

$$E_g = (1.10 \pm 0.19) * 10^{-19} \text{ Дж}; \varepsilon_{E_g} = 17.2\%; \alpha = 0.95$$

$$E_g = (0.69 \pm 0.11) \text{ эВ}; \varepsilon_{E_g} = 15.9\%; \alpha = 0.95$$

Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторного эксперимента были построены графики зависимости электрического сопротивления от температуры для образцов, относящихся к металлам и полупроводникам. Анализ этих графиков показал, что они хорошо поддаются линейному приближению, что дало возможность определить температурный коэффициент сопротивления для металлического образца и ширину запрещенной зоны для полупроводника.

На основе полученного значения ширины запрещенной зоны полупроводника, равного 0,69 эВ и с учетом погрешности измерений, можно сделать вывод о том, что исследуемый образец — германий. Так как ширина запрещенной зоны германия при комнатной температуре составляет приблизительно 0,67 эВ. Таким образом, полученное значение укладывается в допустимый диапазон.

Температурный коэффициент сопротивления металлического образца был вычислен и составил $\alpha = 4.19 * 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$, так что можно сделать вывод том, что исследуемый образец —

это алюминий. Так как его температурный коэффициент сопротивления равен $4.2 * 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$

Таким образом, в ходе лабораторной работы были получены графики зависимости электрического сопротивления от температуры для металлического и полупроводникового образцов, по которым были вычислены температурный коэффициент сопротивления металла и ширина запрещенной зоны полупроводника.