

Группа _____ К работе допущен _____

Студент _____ Работа выполнена _____

Преподаватель _____ Отчет принят _____

Лаборант _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №2.02

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА И ПОЛУПРОВОДНИКА

1. Цель работы.

Определение температурного коэффициента сопротивления металла и ширины запрещенной зоны полупроводника.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Измерить электрическое сопротивление металлического и полупроводникового образцов в диапазоне температур от комнатной до 70 °С.
2. По результатам п. 1 вычислить температурный коэффициент сопротивления металла и ширину запрещенной зоны полупроводника.

3. Объект исследования.

Металлический и полупроводниковый образцы

4. Метод экспериментального исследования.

Температурной зависимости электрического сопротивления металла и полупроводника

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$\alpha = \frac{1}{R_0} * \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

$$E_g = 2k \frac{\Delta \ln R_s}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Мультиметр	Цифровой	0-4,59 кОм	0,01 кОм
2	Термометр	Цифровой	0-60 град.	1 град.
3				
4				

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

№ изм	t, град.	Rm, кОм	Rs, кОм	T, К	1/T, К ⁻¹	ln(Rs)	1000/T, К ⁻¹
1	-10	0,964	140,2	263	0,003802	4,94307	3,802281
2	-5	0,984	104,3	268	0,003731	4,647271	3,731343
3	0	1	75,2	273	0,003663	4,320151	3,663004
4	5	1,022	60,7	278	0,003597	4,105944	3,597122
5	10	1,04	48,3	283	0,003534	3,877432	3,533569
6	15	1,058	38,54	288	0,003472	3,651697	3,472222
7	20	1,076	30,01	293	0,003413	3,401531	3,412969
8	25	1,095	22,47	298	0,003356	3,112181	3,355705
9	30	1,112	18,37	303	0,0033	2,910719	3,30033
10	35	1,134	14,04	308	0,003247	2,64191	3,246753
11	40	1,153	11,71	313	0,003195	2,460443	3,194888
12	45	1,168	9,42	318	0,003145	2,242835	3,144654
13	50	1,189	7,67	323	0,003096	2,037317	3,095975
14	55	1,206	6,2	328	0,003049	1,824549	3,04878
15	60	1,223	5,18	333	0,003003	1,644805	3,003003
16	65	1,246	4,19	338	0,002959	1,432701	2,95858
17	70	1,262	3,432	343	0,002915	1,233143	2,915452
18	75	1,279	2,862	348	0,002874	1,051521	2,873563

Экстраполяция зависимости $R_m(t)$:

Данная линейная зависимость имеет вид $y = kx + b$. В нашем случае $R_0 = y(0) = 1,00$ кОм.

На миллиметровке строим график зависимости $R_m(t)$, далее «на глаз» (мы это сделали линией тренда в эксель) проводим так скажем экстраполяцию (примерное поведение графика вне наших значений), находим пересечение с осью Oy

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

пары точек	$R_i - R_j, \text{кОм}$	$t_i - t_j, \text{град.}$	$\alpha_{ij}, \text{K}^{-1}$	$\alpha_{ij} - \langle \alpha \rangle, \text{K}^{-1}$	$(\alpha_{ij} - \langle \alpha \rangle)^2, \text{K}^{-2}$
6-13	0,131	35	0,003743	4,67206E-05	2,18281E-09
7-14	0,13	35	0,003714	1,81491E-05	3,29392E-10
8-15	0,128	35	0,003657	-3,89937E-05	1,52051E-09
9-16	0,134	35	0,003829	0,000132435	1,7539E-08
10-17	0,128	35	0,003657	-3,89937E-05	1,52051E-09
11-18	0,126	35	0,0036	-9,61366E-05	9,24224E-09
12-19	-1,168	-318	0,003673	-2,31806E-05	5,3734E-10

$$R_0 = y(0) = 1,00 \text{ кОм}$$

$$\langle \alpha_{ij} \rangle = 0,003696 \text{ K}^{-1};$$

$$\Sigma(\alpha_{ij} - \langle \alpha \rangle)^2 = 0,3287 * 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

$$\alpha = \frac{1}{R_0} * \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

Для пары 6 – 13:

$$\alpha = \frac{1}{R_0} * \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{1}{1,0} * \frac{0,131}{35} = 0,003743 \text{ K}^{-1}$$

пары точек	$\ln(R_i/R_j)$	$\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}, \text{K}^{-1}$	γ_{ij}, K	$\gamma_{ij} - \langle \gamma \rangle, \text{K}$	$(\gamma_{ij} - \langle \gamma \rangle)^2, \text{K}^2$
1-5	1,065638	0,000268712	3965,72008	-71,19971271	5069,399091
2-6	0,995575	0,000259121	3842,12188	-194,7979098	37946,22567
3-7	0,918621	0,000250034	3673,97704	-362,9427436	131727,4351
4-8	0,993763	0,000241418	4116,36349	79,4437026	6311,301883
5-9	0,966713	0,000233239	4144,7322	107,812412	11623,51618
6-10	1,009786	0,000225469	4478,60404	441,6842515	195084,9781

$$\gamma_{ij} = \frac{\ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right)}{\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}}$$

$$\langle \gamma_{ij} \rangle = 4036,9198 \text{ K};$$

$$\Sigma(\gamma_{ij} - \langle \gamma \rangle)^2 = 3,878 * 10^5 \text{ K}^2$$

$$E_g = 2k \frac{\Delta \ln R_s}{\Delta\left(\frac{1}{T}\right)} = 2k * \gamma = 2k \frac{\Delta \ln R_s}{\Delta\left(\frac{1}{T}\right)} = 2k * \gamma = 2 * 1,38 * 10^{-23} * 4036,9198 = 1,1142 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$= \frac{1,1142 * 10^{-19}}{1,6 * 10^{-19}} = 0,6964 \text{ эВ}$$

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

$$\sigma_{\langle \alpha \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\alpha_i - \langle \alpha \rangle)^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0.3287 \cdot 10^{-7}}{7 \cdot 6}} = 2,7976 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1};$$

$$\Delta \alpha = \sigma_{\langle \alpha \rangle} \cdot t(0.68, 7) = 2,7976 \cdot 10^{-5} \cdot 1.1 = 3,0774 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$$

$$\sigma_{\langle \gamma \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{3,878 \cdot 10^5}{4 \cdot 3}} = 113,6900 \text{ К}$$

$$\Delta \gamma = \sigma_{\langle \gamma \rangle} \cdot t(0.68, 4) = 113,6900 \cdot 1,3 = 136,4280 \text{ К}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_g &= \frac{\Delta \gamma}{\langle \gamma \rangle} E_g = \frac{136,4280}{4036,9198} \cdot 0,6964 = 0.02353 \text{ эВ} = 0.02353 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = \\ &= 0.03765 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \end{aligned}$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

Рис 1. Зависимость $R_m(t)$

Рис 2. Зависимость $\ln R_s(1000/T)$

12. Окончательные результаты.

$$\alpha = (3,696 \pm 0,031) \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$$

$$\gamma = (4037 \pm 140) \text{ К}$$

$$E_g = (0,696 \pm 0,024) \text{ эВ}; \quad E_g = (1,1 \pm 0,04) \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

- В ходе лабораторной работы была снята зависимость сопротивления металла и проводника от температуры. Построены зависимости $R_m(T)$ и $\ln R_s(1000/T)$.
- Определено значение $R_0 = 1,00 \text{ кОм}$ графической экстраполяцией линейной зависимости $R_m(t)$ к температуре $t = 0$ град.
- Вычислен температурный коэффициент сопротивления металла и его погрешность $\alpha = (3,696 \pm 0,031) \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Табличное значение $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ не попадает в доверительный интервал, но близко к нему.
- Вычислен угловой коэффициент зависимости $\ln R_s(1000/T)$ и найдена его погрешность $\gamma = (4037 \pm 140) \text{ К}$
- Для германиевого полупроводника найдена ширина запрещенной зоны и вычислена её погрешность $E_g = (0,696 \pm 0,024) \text{ эВ}$. Табличное значение $E_g = 0,7 \text{ эВ}$ попадает в доверительный интервал экспериментально полученного значения. Это говорит о точности проведенных измерений

