

Группа: R3137 К работе допущен: .

Студент: Нестеров И.А. Работа выполнена:

Преподаватель: Крылов В.А. Отчет принят:

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.05. «Температурная зависимость электрического сопротивления металла и проводника».

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.

Изучение температурной зависимости электрического сопротивления металла и полупроводника.

3. Объект исследования.

Металлический образец. Полупроводниковый образец.

4. Метод экспериментального исследования.

Изменение сопротивления путём повышения температуры.

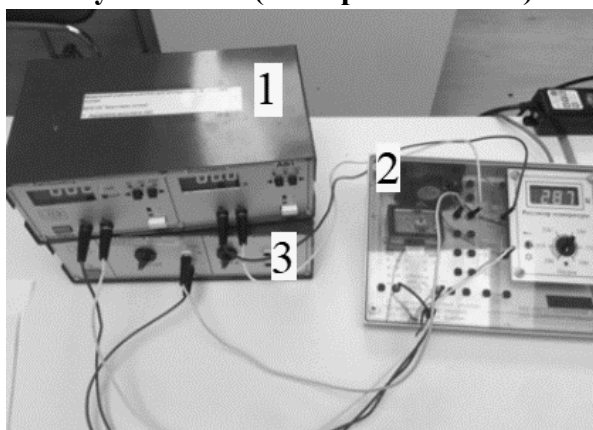
5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \vec{F} &= q\vec{E} & (2) \quad \vec{j} &= qn\vec{u} & (3) \quad \vec{u} &= \mu\vec{E} & (4) \quad \vec{j} &= \sigma\vec{E} & (5) \quad \rho_m &= \rho_0(1 + \alpha t) \\
 (6) \quad R_m &= R_0(1 + \alpha t) & (7) \quad \alpha &= \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t} & (8) \quad \sigma_n &= en(\mu_- + \mu_+) & (9) \quad n &\sim \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \\
 (10) \quad \sigma_n &\sim \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) & (11) \quad \rho_n &= \frac{1}{\sigma_n} = \rho_m \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right) & (12) \quad R_n &= R_m \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right) \\
 (13) \quad \ln(R_n) &= \ln(R_m) + \frac{E_g}{2kT} & (14) \quad E_g &= 2k \cdot \frac{\Delta \ln(R_n)}{\Delta(1/T)}
 \end{aligned}$$

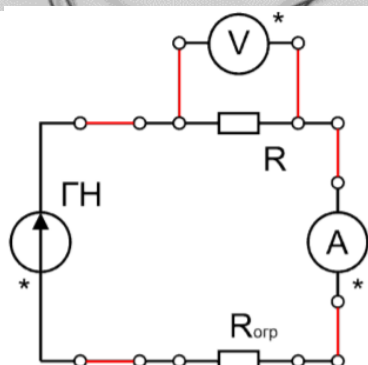
6. Измерительные приборы.

| № п/п | Наименование | Цена деления | Диапазон | Δи |
|-------|-------------------------|--------------|------------------|----------|
| 1 | Вольтметр | 0,001 В | от 0 до 2 В | 0,0005 В |
| 2 | Амперметр | 1 мкА | от 0 до 2000 мкА | 0,5 мкА |
| 3 | Электрический термометр | 1 К | от 290 до 390 К | 0,5 К |

7. Схема установки (см. Приложение 1).



1. Амперметр-вольтметр АВ1.
2. Стенд «СЗ-ТТ01» с объектами изучения - металлическим и полупроводниковым образцами.
3. Генератор ГН1



Принципиальная электрическая схема установки.

Одновременно измеряя напряжение на объекте исследования и ток через него, можно найти его сопротивление с помощью закона Ома для участка цепи $R = U/I$.

8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1: полупроводниковый образец

| № п.п | T, K | $I, \text{мкА}$ | $U, \text{В}$ | $R, \text{Ом}$ | $\ln R$ | $\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$ |
|----------|--------|-----------------|---------------|----------------|---------|-------------------------------|
| 1 | 300 | 1027 | 0,840 | 818 | 6,71 | 3,33 |
| 2 | 305 | 1135 | 0,740 | 652 | 6,48 | 3,28 |
| 3 | 310 | 1205 | 0,690 | 573 | 6,35 | 3,23 |
| 4 | 315 | 1300 | 0,620 | 477 | 6,17 | 3,17 |
| 5 | 320 | 1400 | 0,540 | 386 | 5,96 | 3,12 |
| 6 | 325 | 1480 | 0,470 | 317 | 5,76 | 3,08 |
| 7 | 330 | 1560 | 0,420 | 269 | 5,6 | 3,03 |
| 8 | 335 | 1630 | 0,365 | 224 | 5,41 | 2,99 |
| 9 | 340 | 1694 | 0,314 | 185 | 5,22 | 2,94 |
| 10 | 345 | 1748 | 0,275 | 157 | 5,06 | 2,9 |
| 11 | 350 | 1795 | 0,258 | 144 | 4,97 | 2,86 |
| 12 | 355 | 1843 | 0,203 | 110 | 4,7 | 2,82 |

Таблица 2: металлический образец

| № п.п | T, K | $I, \text{мкА}$ | $U, \text{В}$ | $R, \text{Ом}$ | $t, ^\circ\text{C}$ |
|-------|--------|-----------------|---------------|----------------|---------------------|
| 1 | 355 | 1340 | 1,790 | 1336 | 82 |
| 2 | 350 | 1356 | 1,778 | 1311 | 77 |
| 3 | 345 | 1369 | 1,768 | 1291 | 72 |
| 4 | 340 | 1378 | 1,760 | 1277 | 67 |
| 5 | 335 | 1391 | 1,750 | 1258 | 62 |
| 6 | 330 | 1406 | 1,739 | 1237 | 57 |
| 7 | 325 | 1425 | 1,725 | 1211 | 52 |
| 8 | 320 | 1433 | 1,717 | 1198 | 47 |
| 9 | 315 | 1448 | 1,705 | 1177 | 42 |
| 10 | 310 | 1463 | 1,692 | 1157 | 37 |
| 11 | 305 | 1477 | 1,683 | 1139 | 32 |
| 12 | 300 | 1489 | 1,672 | 1123 | 27 |

Таблица 1: Полупроводниковый образец

Расчёт сопротивления R для каждого измерения:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1,790}{1340 \cdot 10^{-6}} = 817,9163 \text{ Ом} = 818 \text{ Ом}$$

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

$$\ln R = \ln 817,9163 = 6,70676 = 6,71$$

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

$$\frac{10^3}{T} = \frac{10^3}{300} = 3,33333 \frac{1}{K} = 3,33 \frac{1}{K}$$

Таблица 2: Металлический образец

Расчёт сопротивления R для каждого измерения: $R = \frac{U}{I} = \frac{1,790}{1340 \cdot 10^{-6}} = 1335,821 \text{ Ом} = 1336 \text{ Ом}$

Расчёт температуры t по шкале Цельсия:

$$t = T - 273 = 355 - 273 = 82 ^\circ\text{C}$$

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Расчёт температурного коэффициента α_{ij} :

$$\alpha_{ij} = \frac{R_i - R_j}{R_j \cdot t_i - R_i \cdot t_j} = \frac{1335,821 - 1210,526}{1210,526 \cdot 82 - 1335,821 \cdot 52} = 0,00420445 \text{ K}^{-1} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

| i | j | $\alpha_{ij}, \text{K}^{-1}$ |
|-----|-----|------------------------------|
| 1 | 7 | 0,004204 |
| 2 | 8 | 0,00369 |
| 3 | 9 | 0,003732 |
| 4 | 10 | 0,003992 |
| 5 | 11 | 0,003903 |
| 6 | 12 | 0,003722 |

Расчёт среднего значения температурного коэффициента:

$$\alpha = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = \frac{1}{6} \cdot 0,023244 \text{ K}^{-1} = 0,003874 \text{ K}^{-1} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Расчёт ширины запрещённой зоны E_{gij} :

$$E_{gij} = 2k \cdot \frac{T_i \cdot T_j}{T_j - T_i} \cdot \ln\left(\frac{R_i}{R_j}\right) = 2 \cdot 1,380649 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{300 \cdot 330}{330 - 300} \cdot \ln\left(\frac{817,9163}{269,2308}\right) = 1,013423 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,63253 \text{ эВ} = 0,6 \text{ эВ}$$

| i | j | $E_{gij} \cdot 10^{-19}, \text{Дж}$ |
|-----|-----|-------------------------------------|
| 1 | 7 | 1,013423 |
| 2 | 8 | 1,004778 |
| 3 | 9 | 1,096768 |
| 4 | 10 | 1,111582 |
| 5 | 11 | 1,016477 |
| 6 | 12 | 1,12399 |

Расчёт среднего значения ширины запрещённой зоны E_g :

$$E_g = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E_{gij} = \frac{1}{6} \cdot 6,3670177 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,0611696 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,66233 \text{ эВ} = 0,7 \text{ эВ}$$

10. Расчет погрешностей измерений.

Коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и $n = 10$: $t_{\alpha,n} = 2.2621$

Расчёт абсолютной погрешности температуры t :

Расчёт среднего значения \bar{t} :

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчёт СКО $S_{\bar{t}}$:

$$S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{3575}{12 \cdot (12-1)}} = 5,204165 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчёт доверительного интервала $\Delta_{\bar{t}}$:

$$\Delta_{\bar{t}} = t_{\alpha,n} \cdot S_{\bar{t}} = 2,2621 \cdot 5,204165 = 11,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчёт абсолютной погрешности Δt :

$$\Delta t = \sqrt{\Delta_{\bar{t}}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta_{\text{и}}\right)^2} = \sqrt{11,77^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot 0,5\right)^2} = 11,77 \text{ }^{\circ}\text{C} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчёт абсолютной погрешности температурного коэффициента α :

Расчёт среднего значения $\bar{\alpha}$:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Расчёт СКО $S_{\bar{\alpha}}$:

$$S_{\bar{\alpha}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{2,012347423 \cdot 10^{-7}}{6 \cdot (6-1)}} = 8,1901311 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

Расчёт доверительного интервала $\Delta_{\bar{\alpha}}$:

$$\Delta_{\bar{\alpha}} = t_{\alpha,n} \cdot S_{\bar{\alpha}} = 2,2621 \cdot 8,1901311 \cdot 10^{-5} = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

Расчёт абсолютной погрешности $\Delta \alpha$:

$$\Delta \alpha = \sqrt{\Delta_{\bar{\alpha}}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta_{\text{и}}\right)^2} = \sqrt{(1,85 \cdot 10^{-4})^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot 0,05\right)^2} = 0,033 \text{ K}^{-1}$$

Расчёт относительной погрешности ε_{α} :

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\Delta \alpha}{\bar{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{0,033}{3,9 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 7,4442\% = 7\%$$

Расчёт абсолютной погрешности ширины запрещённой зоны ΔE_g :

Расчёт среднего значения $\overline{E_g}$:

$$\overline{E_g} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E_{g_{ij}} = 1,34157 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,83848 \text{ эВ} = 0,8 \text{ эВ}$$

Расчёт СКО $S_{\overline{E_g}}$:

$$S_{\overline{E_g}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{g_i} - \overline{E_g})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{3,36948 \cdot 10^{-40}}{5 \cdot (5-1)}} = 4,10456 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Расчёт доверительного интервала $\Delta_{\overline{E_g}}$:

$$\Delta_{\overline{E_g}} = t_{\alpha,n} \cdot S_{\overline{E_g}} = 2,26 \cdot 4,10456 \cdot 10^{-21} = 9,27631 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Расчёт абсолютной погрешности ΔE_g :

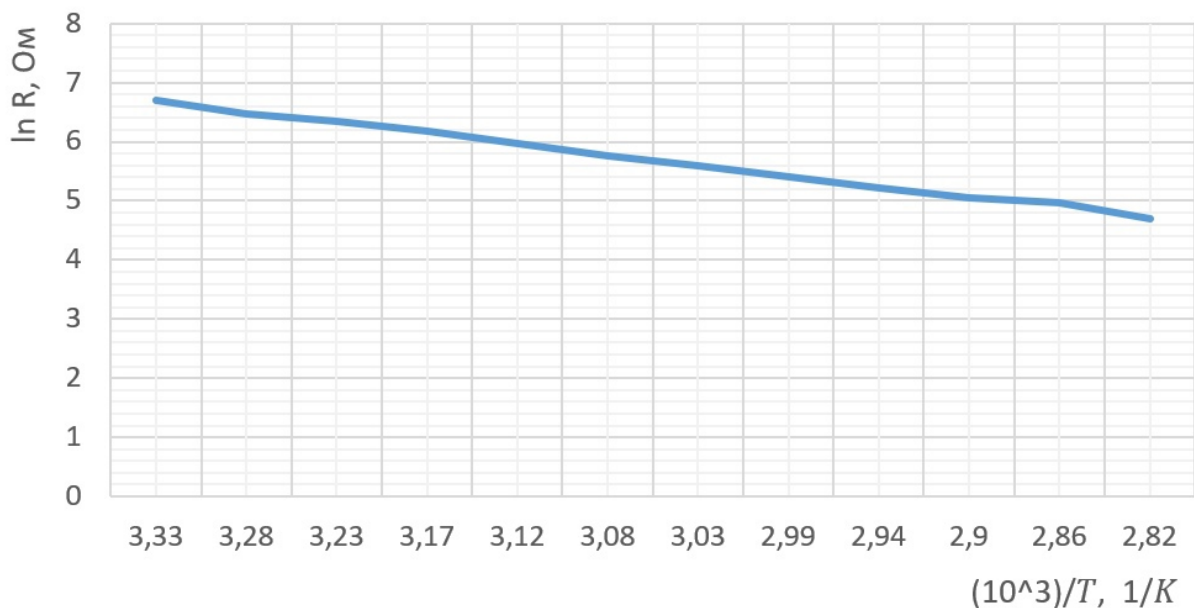
$$\Delta E_g = \sqrt{\Delta_{\overline{E_g}}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta_n\right)^2} = 9,27631 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 9 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 0,05625 \text{ эВ} = 0,06 \text{ эВ}$$

Расчёт относительной погрешности ε_{E_g} :

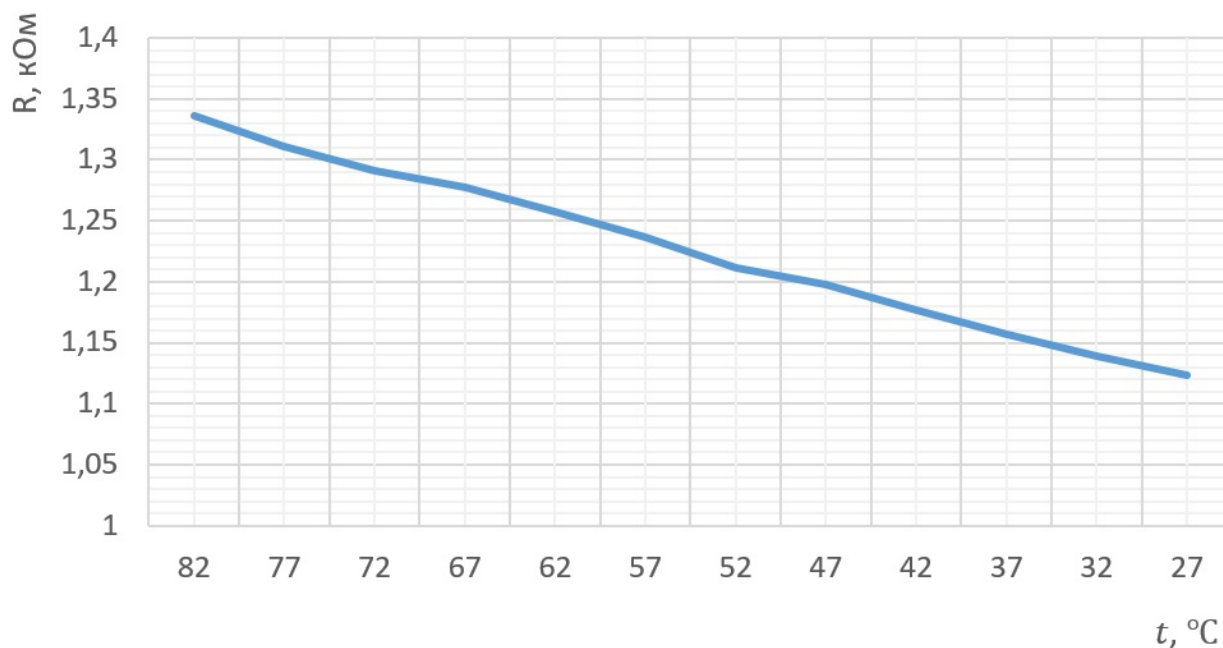
$$\varepsilon_{E_g} = \frac{\Delta E_g}{\overline{E_g}} \cdot 100\% = \frac{1,34157 \cdot 10^{-19}}{9,27631 \cdot 10^{-21}} \cdot 100\% = 14,4623293\% = 14\%$$

11. Графики

Зависимость $\ln(R) = \ln(R) (1/T)$



Зависимость $R_m = R_m(t)$



12. Окончательные результаты.

Представлены выше.

13. Выводы и анализ результатов работы.

В результате проделанной работы были проведены многократные прямые и косвенные измерения, по ходу которых была рассчитана ширина запрещенной зоны E_g для полупроводникового образца, а также температурный коэффициент α для металлического образца. Были рассчитаны их абсолютные и относительные погрешности. По полученному значению температурного коэффициента, к сожалению, точно определить металл не представляется возможным, но множество вариантов сужается до следующих: золото, медь, цинк, серебро, алюминий. Температурные коэффициенты этих металлов попадают в пределы полученной погрешности. Ширина же запрещенной зоны полупроводника совпадает с таковой у антимонида галлия и германия.

14. Замечания преподавателя (исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт).