



Лабораторная работа №3.05
**"Температурная зависимость электрического
сопротивления металла и полупроводника"**

Группа М3203
Кравченкова Елизавета
Лакеев Георгий

Преподаватель
Хуснутдинова Наира Рустемовна

Физические основы компьютерных и сетевых технологий
Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия

7 января 2024 г.

Оглавление

1 Цели и Задачи	3
2 Установка	4
2.1 Объект исследования	4
2.2 Метод экспериментального исследования	4
2.3 Измерительные приборы	4
2.4 Схема установки	4
3 Теория и рабочие формулы	6
3.1 Погрешности	8
4 Ход работы	10
4.1 Проведение измерений	10
4.1.0.1 Установка	10
4.1.0.2 Измерения. Часть 1. Изучение полупроводникового образца . . .	10
4.1.0.3 Измерения. Часть 2. Изучение металлического образца	11
4.2 Обработка результатов	12
4.2.1 Расчет сопротивления при всех температурах.	12
4.2.2 Рассчитаем значения натурального логарифма сопротивления полупро- водника и величину обратной абсолютной температуры. По результатам расчетов построим график соответствующей зависимости $\ln R = \ln R(\frac{1}{T})$. Оценим линейность полученного графика	12

4.2.3	Построим график зависимости сопротивления металла от температуры в шкале Цельсия $R_m = R_m(t)$. Качественно оценим линейность полученного графика.	13
4.2.4	Определение величины температурного коэффициента сопротивления металла	14
4.2.5	Нахождение среднего значения $\langle \alpha \rangle$ и погрешностей $\Delta \alpha$	14
4.2.6	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника	15
4.2.7	Найдем среднее значение ширины запрещенной зоны $\langle E_g \rangle$ и его погрешность ΔE_g	15
4.2.8	По значению температурного коэффициента сопротивления металла и ширине запрещенной зоны полупроводника с помощью литературных данных идентифицируем их.	15
5	Результаты	17
5.1	Таблица 0 : Измерительные приборы.	17
5.2	Таблица 1: Полупроводниковый образец.	17
5.3	Таблица 2: Металлический образец.	18
5.4	Таблица 3: Значения температурного коэффициента сопротивления металла. . .	19
5.5	Таблица 4: Значения ширины запрещенной зоны полупроводника.	19
5.6	График 1: График зависимости $\ln(R) = \ln R(1000/T)$	20
5.7	График 2: График зависимости $R(t)$	20
6	Используемая литература	21
7	Выводы	22

Цели и Задачи

Цели:

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

Задачи:

1. Измерить значения силы тока, напряжения и температуры в цепи с резистором, меняющим свою температуру. На основе измеренных данных рассчитать сопротивление образцов для каждого значения температуры.
2. На основе полученных данных вычислить температурный коэффициент сопротивления и ширину запрещённой зоны, определить материалы, из которых изготовлены резисторы.

Установка

2.1 Объект исследования

Замкнутая цепь с источником тока и резистором, температуру которого можно регулировать.

2.2 Метод экспериментального исследования

Исследование косвенных величин, полученных из многократных прямых измерений.

2.3 Измерительные приборы

Наименование	Предел измерений	Цена деления	$\Delta_{\text{и}}$
Амперметр	2000мкА	1мкА	1мкА
Вольтметр	2В	0,001В	0,001В
Термометр	370К	1К	1К

2.4 Схема установки

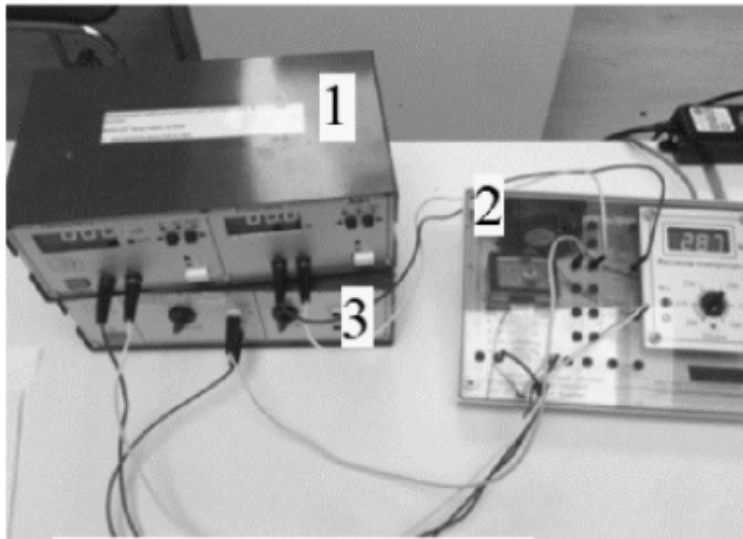


Рис. 2.1: Общий вид лабораторной установки

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

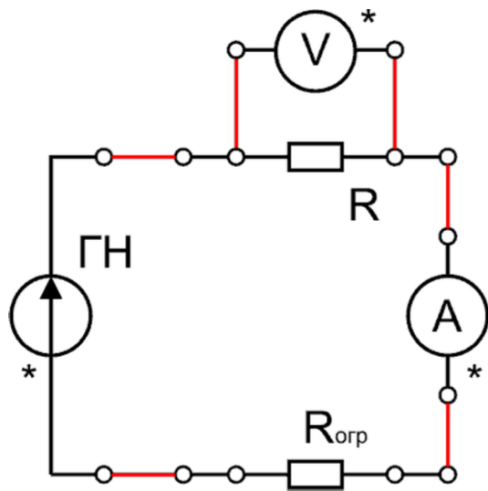


Рис. 2.2: Электрическая схема установки

Нагреватель с системой термостабилизации и измерения текущей температуры объекта находится внутри стенда «СЗ-ТТ01». Также в корпусе стенда расположен вентилятор, необходимый для более быстрого охлаждения образца.

Дополнительный резистор $R_{огр} = 680 \text{ Ом}$, подключаемый последовательно с объектом, необходим в связи с тем, что при нагревании сопротивление полупроводникового образца может уменьшиться в несколько раз, и общее сопротивление схемы будет слишком малым по сравнению с постоянным по величине внутренним сопротивлением источника ЭДС. Для проведения измерений с металлическим образцом отсутствует необходимость подключения $R_{огр}$, но в схеме оно остается из соображений унификации.

Теория и рабочие формулы

Электрический ток есть направленное движение заряженных частиц - свободных носителей заряда.

Зная значение напряжения и силы тока можно найти сопротивление с помощью **закона Ома для участка цепи**:

$$R = \frac{U}{I} \quad (0)$$

Без внешнего электрического поля эти носители совершают хаотическое тепловое движение. Средний модуль скорости теплового движения электронов при комнатных температурах порядка 10^5 м/с. Внешнее электрическое поле действует на носитель заряда с силой

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1)$$

где q - заряд носителя, \vec{E} - напряженность электрического поля. Таким образом, внешнее поле создает направленное движение носителей заряда - электрический ток с плотностью тока

$$\vec{j} = qn\vec{u} \quad (2)$$

Здесь n - концентрация носителей заряда, \vec{u} - направленная (дрейфовая) скорость носителей. Если ток создается единственным типом носителей (например, электронами), формула (2) дает полную плотность тока в испытуемом образце.

В конденсированных средах носители заряда претерпевают частые столкновения с другими частицами. Это ведет к двум важным следствиям: дрейфовая скорость носителей много меньше средней скорости их теплового движения ($u \ll v$) и пропорциональна силе \vec{F} , следовательно, и напряженности поля:

$$\vec{u} = \mu\vec{E} \quad (3)$$

Величину μ называют подвижностью носителей заряда. В итоге плотность тока оказывается пропорциональной напряженности поля: из (2) и (3) следует

$$\vec{j} = \sigma\vec{E} \quad (4)$$

где $\sigma = qn\mu$ есть параметр конкретного материала - его **удельная проводимость**. Обратную величину $\rho = \sigma^{-1}$ называют **удельным сопротивлением**. Соотношение (4) представляет собой дифференциальную (векторную) форму закона Ома.

Зависимость проводимости от температуры принципиально различна для металлов и полупроводников. В металлах практически все валентные электроны свободны - не связаны с каким-

либо конкретным атомом, поэтому температура не может заметно изменить концентрацию свободных носителей n .

Подвижность же тем больше, чем реже столкновения носителей со всякого рода дефектами кристаллической решетки. Таковыми являются атомы примеси, отклонения от идеального регулярного расположения атомов в узлах за счет, например, структурных дефектов кристалла или тепловых колебаний решетки. Увеличение с ростом температуры интенсивности тепловых колебаний атомов и хаотической скорости электронов увеличивает частоту столкновений между ними. Это ведет к уменьшению подвижности носителей заряда.

Для не слишком больших интервалов температуры (и не слишком низких температур) удельное сопротивление большинства металлов удовлетворительно описывается линейной зависимостью

$$\rho_m = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (5)$$

где ρ_0 - удельное сопротивление при температуре 0°C , α - температурный коэффициент сопротивления.

Естественно, так же зависит от температуры и сопротивление любого однородного металлического образца, если весь он имеет эту температуру:

$$R_m = R_0(1 + \alpha t) \quad (6)$$

где R_0 - сопротивление данного образца при температуре 0°C .

Поскольку мы считаем, что зависимость сопротивления металла от температуры имеет линейный характер, то для каждой пары значений можно написать систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} R_i = R_0(1 + \alpha t_i), \\ R_j = R_0(1 + \alpha t_j), \end{cases} \quad (7)$$

После исключения неизвестной величины R_0 из этой системы получаем рабочую формулу для нахождения α :

$$\alpha_{ij} = \frac{R_i - R_j}{R_j \cdot t_i - R_i \cdot t_j} \quad (8)$$

В полупроводнике валентные электроны связаны с ядрами атомов значительно сильнее, чем в металле. «Оторваться» от атома и превратиться в электрон проводимости могут лишь те из них, которые обладают избыточной энергией, большей некоторого значения E_g , которое называют **шириной запрещенной зоны**

$$E_g = 2k \cdot \frac{\Delta \ln R_{\pi}}{\Delta \frac{1}{T}} \quad (9)$$

где k - постоянная Больцмана; при комнатной температуре $k = 1,38064910^{-23} \text{Дж/К} \approx 8,6173310^{-5} \text{эВ/К}$

Из этой формулы получаем:

$$E_{gij} = 2k \frac{\ln R_i - \ln R_j}{\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}} = 2k \frac{T_i T_j}{T_j - T_i} \ln \frac{R_i}{R_j} \quad (10)$$

Можно представить зависимость сопротивления собственного полупроводника от температуры в виде:

$$\ln R_{\text{п}} = \ln R_{\text{м}} + \frac{E_g}{2kT} \quad (11)$$

Хорошо видна разница между металлом и полупроводником: сопротивление металла по мере повышения температуры растет, сопротивление полупроводника - падает. Для металла сопротивление линейно зависит от температуры (формула (6)), а для полупроводника линейно связаны логарифм сопротивления и величина, обратная температуре (формула (11)), следовательно по результатам измерений сопротивления образца из полупроводника можно найти ширину его запрещенной зоны, как угловой коэффициент в зависимости логарифма сопротивления от величины $(2kT)^{-1}$ (формула (10))

3.1 Погрешности

Среднее арифметическое всех результатов измерений:

$$\langle t \rangle_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (11)$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{\langle t \rangle} = \sqrt{\frac{1}{N \cdot (N-1)} \sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle_N)^2} \quad (12)$$

Расчет погрешности, используя коэффициент Стьюдента. Доверительный интервал для измеряемого в работе промежутка времени:

$$\Delta t = t_{\alpha, N} \cdot \sigma_{\langle t \rangle} \quad (13)$$

$$\alpha = P(t \in [\langle t \rangle - \Delta t, \langle t \rangle + \Delta t]) \quad (14)$$

Погрешности косвенных измерений :

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (15)$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{\langle t \rangle_N} \cdot 100\% \quad (16)$$

Ход работы

4.1 Проведение измерений

4.1.0.1 Установка

1. Перед включением проверим правильность соединения элементов электрической схемы. В цепи должен находиться элемент R_1 - полупроводниковое сопротивление.
2. Проверим чтобы регуляторы выходного напряжения генератора (в левой части лицевой панели прибора) и температуры образца (на стенде) находились в крайнем левом положении (т.е. был повернуты против часовой стрелки до упора).
3. Кнопки выбора режима измерений на амперметре-вольтметре АВ1 должны находиться в т.н. «отжатом» положении, в этом случае прибор обеспечивает измерение постоянных токов и напряжений. Кнопка подключения внутреннего сопротивления генератора ГН1 также должна находиться в «отжатом» положении.
4. Включим приборы АВ1 и ГН1 с помощью красных кнопок «Сеть» на корпусах приборов. Установим на амперметре диапазон измеряемых токов 0-2000 мкА, а на вольтметре диапазон измеряемых напряжений 0-2 В.
5. Аккуратным поворотом по часовой стрелке регулятора выходного напряжения установите значение силы тока, протекающего через образец в интервале 1000-1100 мкА.

4.1.0.2 Измерения. Часть 1. Изучение полупроводникового образца

1. Убедившись в стабильности показаний всех приборов запишем в Таблицу 1 значения: температуры, силы тока, напряжения.
2. Включим подогрев образца, установив регулятор температуры между делениями шкалы 370 К и 390 К. Нагрев образца при этом происходит в непрерывном режиме и его температура монотонно начнет расти.
3. При увеличении температуры на $\Delta T \approx 3 - 5 K$ относительно предыдущего значения запишем новые значения температуры, силы тока и напряжения в Таблицу 1.
4. Записываем данные в таблицу, пока температура не достигла 355-360 К.

№	T, K	I, мкА	U, В	R, Ом	ln R	$\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$
1	289	1102	0,306			
2	292	1136	0,273			
3	296	1179	0,236			
4	300	1224	0,201			
5	305	1260	0,171			
6	310	1292	0,144			
7	315	1322	0,124			
8	320	1348	0,105			
9	325	1370	0,088			
10	330	1387	0,076			
11	335	1403	0,064			
12	340	1414	0,055			
13	345	1423	0,047			
14	350	1448	0,025			

4.1.0.3 Измерения. Часть 2. Изучение металлического образца

1. Не выключая нагрев, заменим объект измерений - подключив элемент R2 (металлический резистор) вместо элемента R1. Для этого следует переключить провод идущий от ограничительного резистора Rогр на одну позицию ниже и подключить вольтметр параллельно элементу R2.
2. Отрегулируем выходное напряжение генератора так, чтобы ток через образец находился в диапазоне 1000-1100 мкА. Плавным поворотом регулятора температуры против часовой стрелки до упора выключим подогрев термостабилизируемой площадки с образцами. Ее температура начнет уменьшаться вследствие теплообмена с окружающей средой.
3. Начиная с $T = 350 - 355 K$ запишем в Таблицу 2 текущие значения температуры, тока и напряжения на металлическом образце.
4. Будем заполнять таблицу, при уменьшении температуры на $\Delta T \approx 3 - 5 K$, относительно предыдущего значения, пока не достигнем температуры близкой к комнатной $T = 295 - 300 K$.
5. После завершения процесса измерений в невыключенном состоянии сдадим лабораторную установку дежурному инженеру и получим его подпись на стандартном бланке протокола отчета.

№	T, K	I, мкА	U, В	R, кОм	t, °C
1	349	1037	1,727		
2	346	1109	1,666		
3	343	1126	1,653		
4	340	1131	1,648		
5	335	1146	1,637		
6	330	1155	1,629		
7	327	1163	1,623		
8	324	1172	1,615		
9	320	1182	1,608		
10	317	1188	1,602		
11	312	1200	1,591		
12	307	1212	1,583		
13	302	1226	1,574		
14	297	1238	1,563		

4.2 Обработка результатов

4.2.1 Расчет сопротивления при всех температурах.

По формуле (0) посчитаем значения сопротивления, результаты запишем в Таблицу 1 и Таблицу 2

4.2.2 Рассчитаем значения натурального логарифма сопротивления полупроводника и величину обратной абсолютной температуры. По результатам расчетов построим график соответствующей зависимости $\ln R = \ln R(\frac{1}{T})$. Оценим линейность полученного графика

Посчитаем $\ln R$ и $\frac{1000}{T}$ для полупроводникового образца, данные запишем в Таблицу 1
Полученную зависимость $\ln R(1000/T)$ покажем на графике

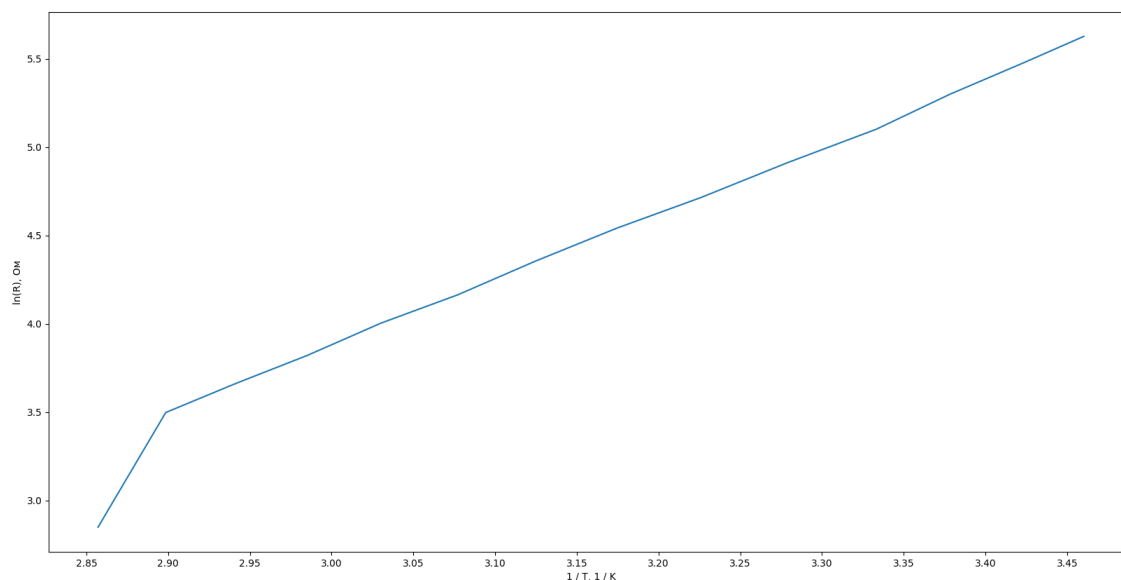


Рис. 4.1: График зависимости $\ln(R) = \ln R(1000 / T)$

Полученный график зависимости логарифма сопротивления полупроводника от обратной температуры похож на линейный, а значит совпадает с теоретическим, возрастает линейно с ростом аргумента.(см формула (11))

4.2.3 Построим график зависимости сопротивления металла от температуры в шкале Цельсия $R_m = R_m(t)$. Качественно оценим линейность полученного графика.

Запишем значения температуры в шкале Цельсия в Таблицу 2. Полученную зависимость $R_m(t)$ покажем на графике

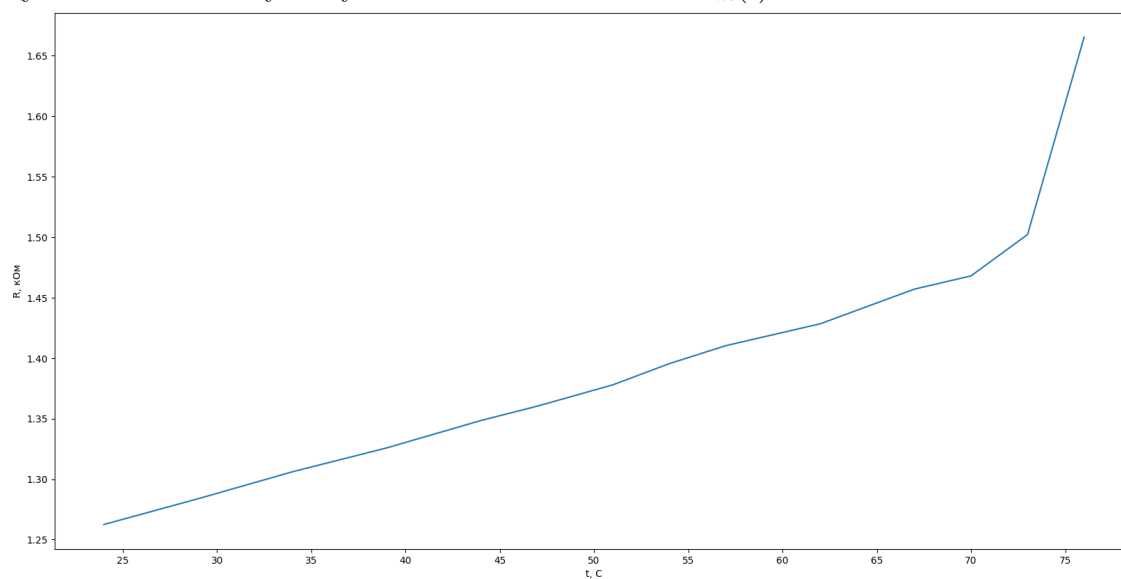


Рис. 4.2: График зависимости R от t

Полученный график зависимости сопротивления металла от температуры похож на линейный, а значит совпадает с теоретическим, возрастает линейно с ростом аргумента.(см формула (6))

4.2.4 Определение величины температурного коэффициента сопротивления металла

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. Так, в таблице имеется 14 независимых значений, первая точка объединяется в пару с восьмой, вторая с девятой, и так далее.

По формуле (8) посчитаем значения температурного коэффициента сопротивления металла для каждой пары. Результаты запишем в Таблицу 3

	R_i , кОм	R_j , кОм	$\alpha_{ij}, 10^{-3} \cdot C^{-1}$
1	1.665381	1.377986	0.014520
2	1.502254	1.360406	0.004942
3	1.468028	1.348485	0.004011
4	1.457118	1.325833	0.004102
5	1.428447	1.306106	0.003775
6	1.410390	1.283850	0.003920
7	1.395529	1.262520	0.003835

4.2.5 Нахождение среднего значения $\langle \alpha \rangle$ и погрешностей $\Delta \alpha$

По формуле (11) найдем среднее значение:

$$\langle \alpha \rangle = 0.0055865253875657895$$

По формуле (12) найдем среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{\alpha} = 0,001496347$$

По формуле (13) найдем погрешность ($t_{0.95,7} = 2.45$):

$$\Delta \alpha = 0,003666051$$

По формуле (16) найдем относительную погрешность.

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\Delta \alpha}{\langle \alpha \rangle} = 0,656230891$$

4.2.6 Определение ширины запрещенной зоны полупроводника

По формуле (10) найдем ширину запрещенной зоны полупроводника для пар точек (выбранных по тому же принципу, что и предыдущем пункте). Результаты запишем в Таблицу 4

	R_i , Ом	R_j , Ом	T_i , К	T_j , К	$E_{i,j}$, эВ	$E_{i,j}$, Дж
0	277.676951	77.893175	289	320	0.654127	$1,0466 \cdot 10^{-19}$
1	240.316901	64.233577	292	325	0.654528	$1,04725 \cdot 10^{-19}$
2	200.169635	54.794521	296	330	0.642064	$1,0273 \cdot 10^{-19}$
3	164.215686	45.616536	300	335	0.634462	$1,01514 \cdot 10^{-19}$
4	135.714286	38.896747	305	340	0.638683	$1,02189 \cdot 10^{-19}$
5	111.455108	33.028812	310	345	0.641094	$1,02575 \cdot 10^{-19}$
6	93.797277	17.265193	315	350	0.919631	$1,47141 \cdot 10^{-19}$

4.2.7 Найдем среднее значение ширины запрещенной зоны $\langle E_g \rangle$ и его погрешность ΔE_g

По формуле (11) найдем среднее значение:

$$\langle E_g \rangle = 1.0936204710368871 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0.6835127943980543 \text{ эВ}$$

По формуле (12) найдем среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{E_g} = 0,039457227 \text{ эВ} = 6,31316 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

По формуле (13) найдем погрешность ($t_{0.95,7} = 2.45$):

$$\Delta E_g = 0,096670206 \text{ эВ} = 1,54672 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

По формуле (16) найдем относительную погрешность.

$$\varepsilon_{E_g} = \frac{\Delta E_g}{\langle E_g \rangle} = 0,141431451$$

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

Полученное нами значение температурного коэффициента сопротивления:

$$\alpha = 0.005586 \pm 0,0036660, 10^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$$

Табличные значения α для железа $0,005671, 10^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$

Абсолютное отклонение

$$\Delta\alpha_{\text{откл}} = |\alpha_{\text{эксп}} - \alpha_{\text{табл}}| = 0,000084475$$

Относительное отклонение $\varepsilon_{\alpha_{\text{откл}}} = \frac{\Delta\alpha_{\text{откл}}}{\alpha_{\text{табл}}} = 0,014895894 = 1,48\%$

$$\Delta\alpha = 0,003666051 > |\alpha_{\text{эксп}} - \alpha_{\text{табл}}| = 0,000084475$$

Табличное значение температурного коэффициента сопротивления железа находится очень близко к нашему, отчего можно сделать вывод, что скорее всего мы имели дело именно с этим металлом.

Полученное нами значение запрещенной зоны полупроводника

$$E_g = 0.683513 \pm 0,0966702 \text{ эВ}$$

Табличное значение E_g для германия: 0.67 эВ

Абсолютное отклонение

$$\Delta E_{\text{откл}} = |E_{\text{эксп}} - E_{\text{табл}}| = 0,013512794$$

Относительное отклонение $\varepsilon_{E_{\text{откл}}} = \frac{\Delta E_{\text{откл}}}{E_{\text{табл}}} = 0,02016835 = 2,01\%$

$$\Delta E = 0,096670206 > |E_{\text{эксп}} - E_{\text{табл}}| = 0,013512794$$

Табличное значение германия также находится очень близко к нашему, из чего делаем вывод, что наш полупроводник - германий.

Результаты

5.1 Таблица 0 : Измерительные приборы.

Наименование	Предел измерений	Цена деления	$\Delta_{\text{и}}$
Амперметр	2000мкА	1мкА	1мкА
Вольтметр	2В	0,001В	0,001В
Термометр	370К	1К	1К

5.2 Таблица 1: Полупроводниковый образец.

№	T, К	I, мкА	U, В	R, Ом	$\ln R$	$\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$
1	289	1102	0,306	277,67695	5,6264584	3,460207612
2	292	1136	0,273	240,3169	5,4819585	3,424657534
3	296	1179	0,236	200,16964	5,2991652	3,378378378
4	300	1224	0,201	164,21569	5,1011807	3,333333333
5	305	1260	0,171	135,71429	4,9105518	3,278688525
6	310	1292	0,144	111,45511	4,7136219	3,225806452
7	315	1322	0,124	93,797277	4,5411358	3,174603175
8	320	1348	0,105	77,893175	4,3553383	3,125
9	325	1370	0,088	64,233577	4,1625261	3,076923077
10	330	1387	0,076	54,794521	4,0035902	3,03030303
11	335	1403	0,064	45,616536	3,8202703	2,985074627
12	340	1414	0,055	38,896747	3,6609106	2,941176471
13	345	1423	0,047	33,028812	3,4973803	2,898550725
14	350	1448	0,025	17,265193	2,8486925	2,857142857

5.3 Таблица 2: Металлический образец.

№	T, K	$I, \text{мкА}$	U, B	$R, \text{кОм}$	$t, ^\circ C$
1	349	1037	1,727	1,6653809	76
2	346	1109	1,666	1,5022543	73
3	343	1126	1,653	1,4680284	70
4	340	1131	1,648	1,4571176	67
5	335	1146	1,637	1,4284468	62
6	330	1155	1,629	1,4103896	57
7	327	1163	1,623	1,3955288	54
8	324	1172	1,615	1,3779863	51
9	320	1182	1,608	1,3604061	47
10	317	1188	1,602	1,3484848	44
11	312	1200	1,591	1,3258333	39
12	307	1212	1,583	1,3061056	34
13	302	1226	1,574	1,2838499	29
14	297	1238	1,563	1,2625202	24

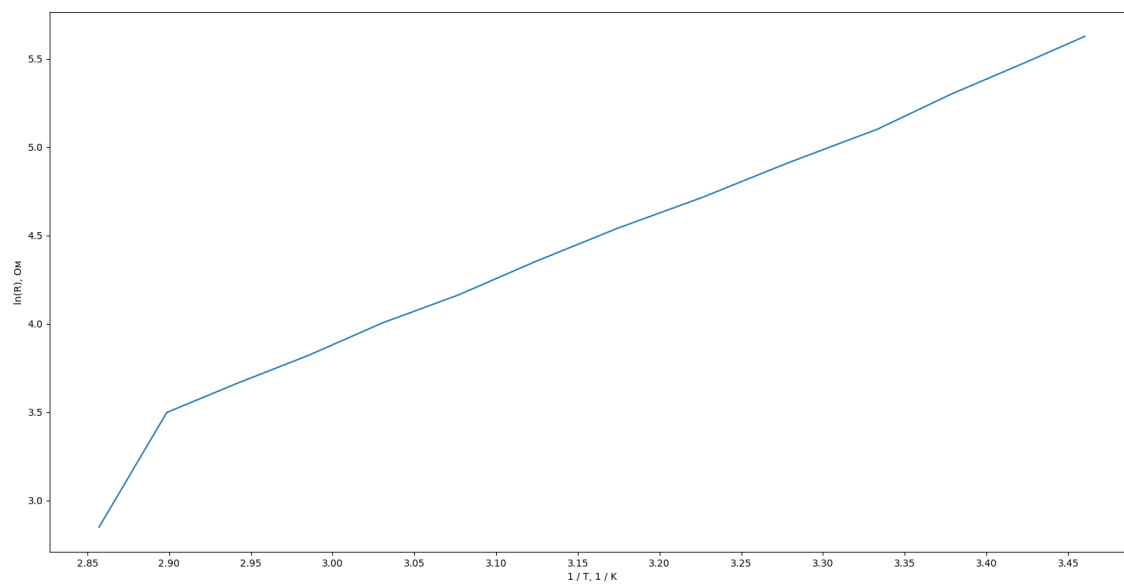
5.4 Таблица 3: Значения температурного коэффициента сопротивления металла.

№	$R_i, \text{кОм}$	$R_j, \text{кОм}$	$\alpha_{ij}, 10^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$
1	1.665381	1.377986	0.014520
2	1.502254	1.360406	0.004942
3	1.468028	1.348485	0.004011
4	1.457118	1.325833	0.004102
5	1.428447	1.306106	0.003775
6	1.410390	1.283850	0.003920
7	1.395529	1.262520	0.003835

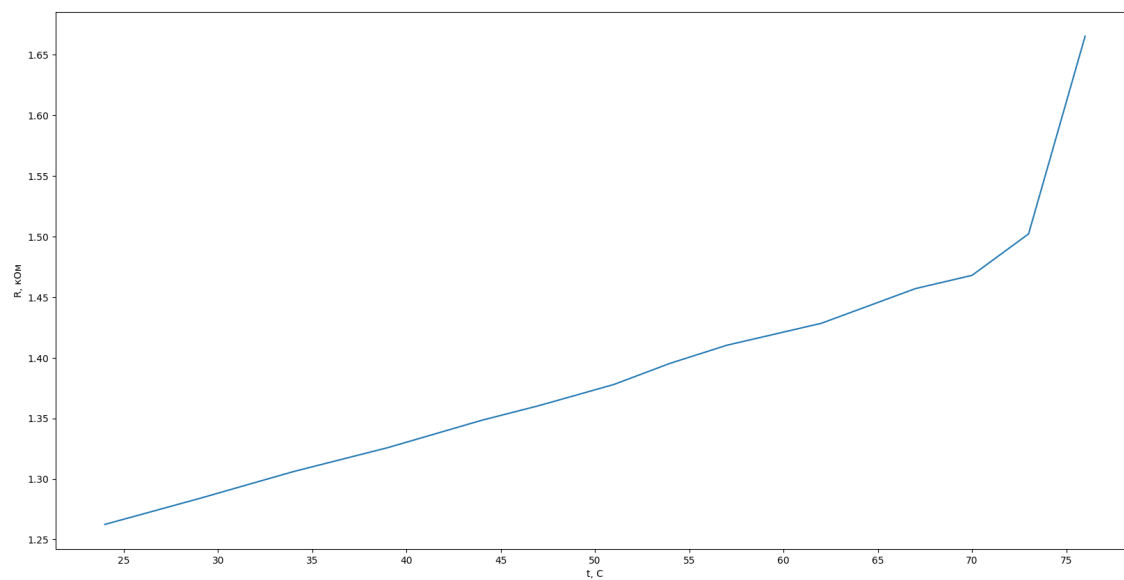
5.5 Таблица 4: Значения ширины запрещенной зоны полупроводника.

№	$R_i, \text{Ом}$	$R_j, \text{Ом}$	$T_i, \text{К}$	$T_j, \text{К}$	$E_{ij}, \text{эВ}$	$E_{ij}, \text{Дж}$
1	277.676951	77.893175	289	320	0.654127	$1,0466 \cdot 10^{-19}$
2	240.316901	64.233577	292	325	0.654528	$1,04725 \cdot 10^{-19}$
3	200.169635	54.794521	296	330	0.642064	$1,0273 \cdot 10^{-19}$
4	164.215686	45.616536	300	335	0.634462	$1,01514 \cdot 10^{-19}$
5	135.714286	38.896747	305	340	0.638683	$1,02189 \cdot 10^{-19}$
6	111.455108	33.028812	310	345	0.641094	$1,02575 \cdot 10^{-19}$
7	93.797277	17.265193	315	350	0.919631	$1,47141 \cdot 10^{-19}$

5.6 График 1: График зависимости $\ln(R) = \ln R(1000/T)$



5.7 График 2: График зависимости $R(t)$



Используемая литература

1. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003..

Выводы

В процессе проделанной нами работы были измерены значения силы тока, напряжения и температуры в цепи с резистром, меняющим температуру в диапазоне от комнатной до 75 °C.

На основе полученных нами данным были высчитаны сопротивления для каждого значения температуры, были получены графики зависимостей логарифма сопротивления полупроводника от обратной температуры и сопротивления металла от температуры. Они совпадают с теоретическими, а именно, возрастают линейно с ростом аргумента (см формулы (6),(11)). Также мы высчитали значение температурного коэффициента сопротивления металла ($\alpha = 0.005586 \pm 0,0036660, 10^{-3} \cdot C^{-1}$) и ширины запрещённой зоны полупроводника ($E_g = 0.683513 \pm 0,0036660$ эВ).

Хоть они не имеют пересечений с табличными значениями соответствующих величин, однако температурный коэффициент сопротивления металла отличается от значения для железа лишь на 1.48%. Полученное значение ширины запрещённой зоны отличается от значения для германия на 2.01%, поэтому мы считаем справедливым допущение, что в эксперименте использовался металл из железа и полупроводник из германия.