

Бичина Марина Б04-005, Лабораторная работа №. 11.1(1) «Определение ширины запрещенной зоны полупроводника»

Цель работы:

1. Исследовать температурную зависимость проводимости типичного полупроводника
2. Определить ширину запрещенной зоны

Теоретическая справка: Проводимость в полупроводниках зависит от количества электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.

Вероятность заполнения $f(\varepsilon)$ энергетических уровней электронами определяется функцией Ферми:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{\varepsilon - \mu}{kT}\right)},$$

где ε – значение энергии уровня в зоне проводимости, μ – уровень Ферми. В приближении $(\varepsilon - \mu) \gg kT$ имеем:

$$f(\varepsilon) \approx \exp\left(-\frac{\varepsilon - \mu}{kT}\right).$$

При небольших температурах электроны занимают нижние уровни, то есть $\varepsilon \approx \varepsilon_c$, ε_c – энергия, соответствующая дну зоны проводимости. Тогда количество электронов n_n равно:

$$n_n = Q_n \cdot f(\varepsilon) \approx Q_n \exp\left(-\frac{\varepsilon_c - \mu}{kT}\right).$$

Здесь Q_n – количество занятых электронами уровней. Вероятность возникновения дырки равна $1 - f(\varepsilon)$. В рассматриваемом приближении энергию дырок будем считать равной энергии верхней границы валентной зоны ε_v , тогда число дырок n_p в валентной зоне определяется аналогично

$$n_p = Q_p \cdot (1 - f(\varepsilon)) \approx Q_p \exp\left(\frac{\varepsilon_v - \mu}{kT}\right).$$

В чистых полупроводниках $n_n \approx n_p$, следовательно верно:

$$n_n n_p = n^2 = Q_n Q_p \exp\left(-\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_v}{kT}\right).$$

Ширину запрещенной зоны обозначим $\Delta = \varepsilon_c - \varepsilon_v$, тогда получим:

$$n \propto \exp\left(-\frac{\Delta}{2kT}\right).$$

В присутствии электрического поля средняя скорость v носителя заряда пропорциональна ему: $v \propto E$. Плотность тока в случае полупроводника запишется так:

$$j = j_n + j_p = |e| (n_n v_n + n_p v_p) \propto nE,$$

где индексы n и p соответствуют электронам и дыркам. Из полученной пропорциональности следует температурная зависимость проводимости полупроводника:

$$\sigma_s \propto \exp\left(-\frac{\Delta}{2kT}\right) \quad (1)$$

Описание установки:

В нашей работе производится исследование зависимости $\sigma(T)$ с помощью универсального цифрового вольтметра В7-34А

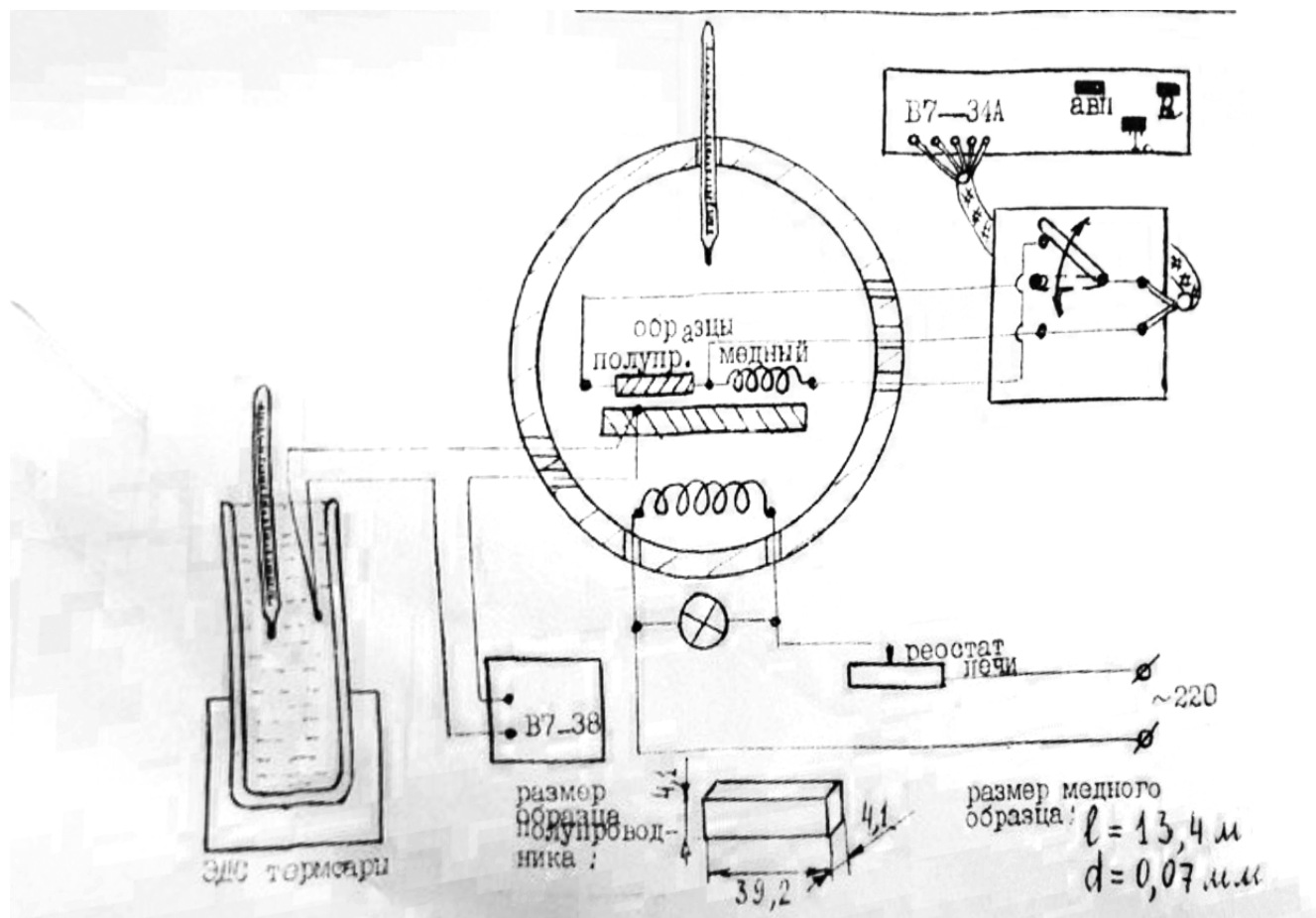


Рис. 1: Схема установки по измерению $\sigma(T)$

Исследуемые образцы в специальном зажиме помещаются в электронагревательную печь. Сопротивление образцов измеряется с помощью вольтметра В7-34А. Последовательное подключение образцов к прибору осуществляется с помощью ключа. Удельная проводимость образцов находится по формуле

$$\sigma = \frac{l}{RS} \quad (2)$$

где R – сопротивление образца, l – его длина, S – поперечное сечение образца. Константы при выполнении работы:

1. Константа термопары: $0.41 \frac{\text{мВ}}{^\circ\text{C}}$
2. Истинный 0: $T_t = -0.01 \text{ мВ}$
3. Температура в помещении $T_k = 25^\circ\text{C}$
4. Размер медного образца $l = 13.4 \text{ м}$, $d = 0.07 \text{ мм}$
5. Размер полупроводника: $c = 39.2 \text{ мм}$, $a = b = 4.1 \text{ мм}$

Ход работы:

1. В ходе нагревания образцов, снимем температурную зависимость $R(T)$. По формуле 2 найдем значение удельной проводимости образцов. Результаты занесем в таблицу 1

ΔT , мВ	R_{-1} , кОм	R_{-2} , кОм	ΔT , К	σ_1 , Ом*м ⁻¹	σ_2 , Ом*м ⁻¹
0,02	0,0914	-	0,49	9524133,15	
0,13	0,0924	0,5957	3,17	9421058,12	3,91
0,32	0,094	0,4572	7,80	9260699,68	5,10
0,72	0,0972	0,2913	17,56	8955820,68	8,01
1,03	0,0997	0,2136	25,12	8731251,46	10,92
1,32	0,102	0,16	32,20	8534370,30	14,57
1,52	0,1036	0,1344	37,07	8402565,35	17,35
1,72	0,1053	0,113	41,95	8266911,40	20,64
1,94	0,107	0,094	47,32	8135567,95	24,81
2,15	0,1086	0,0812	52,44	8015706,91	28,72
2,33	0,1104	0,0707	56,83	7885016,04	32,98
2,52	0,1116	0,0616	61,46	7800230,92	37,86
2,76	0,1134	0,0522	67,32	7676417,73	44,67
2,95	0,1153	0,0577	71,95	7549919,95	40,41
3,16	0,1165	0,0438	77,07	7472152,54	53,24
3,25	0,1173	0,0385	79,27	7421191,56	60,57
3,4	0,1183	0,0352	82,93	7358459,60	66,25

Таблица 1: Данные, полученные в ходе выполнения работы

2. По полученным данным построим график зависимости $\sigma(T)$ для меди
3. Определим температурный коэффициент сопротивления для меди. Для этого угловой коэффициент поделим на среднее значение σ :

$$\alpha = \frac{a}{\sigma} = 0.00268 \text{ K}^{-1}$$

Погрешность для температурного коэффициента возьмем из погрешности для углового коэффициента.

Окончательно:

$$\alpha = (2.70 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

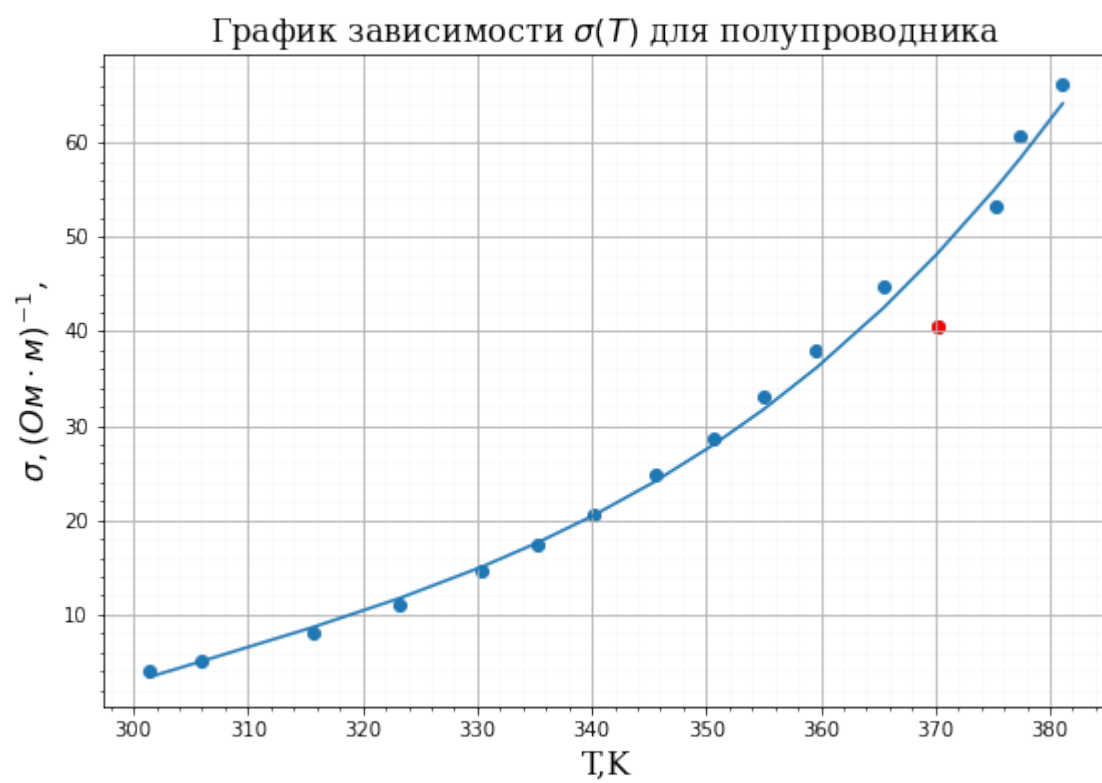
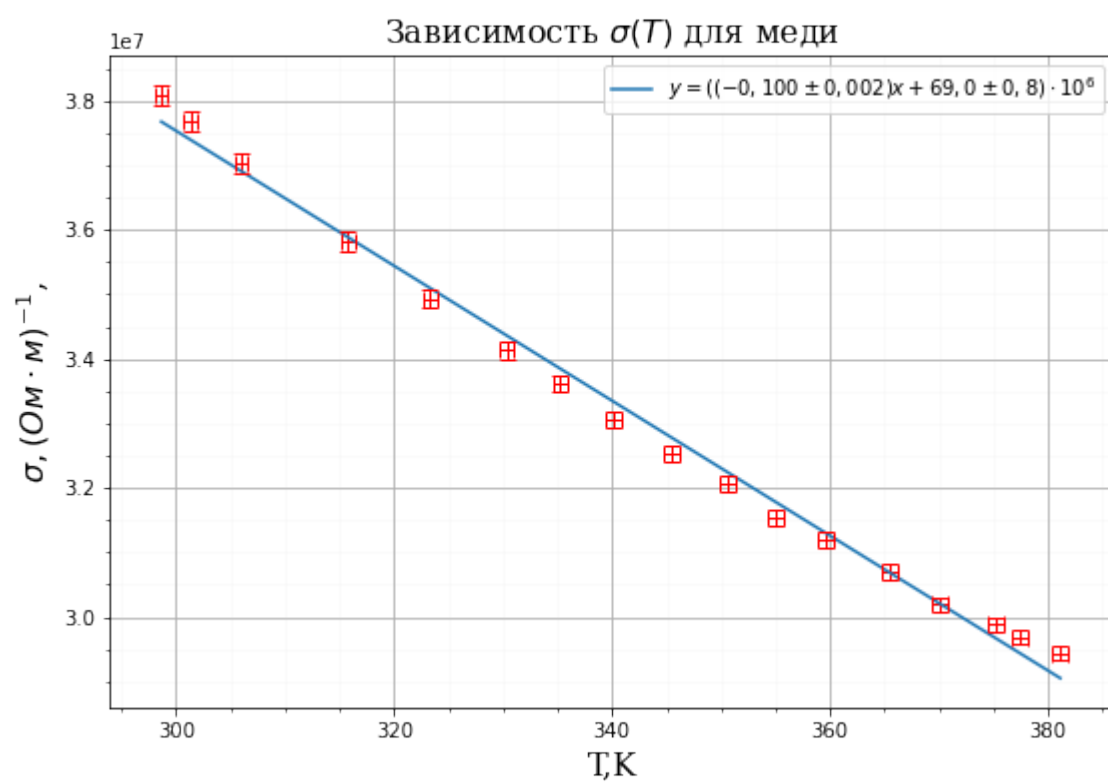
4. Получим графики для полупроводника (с экспоненциальной и линейной зависимостями)
5. По наклону графика 3 определим, исходя из формулы 1, ширину запрещенной зоны, как

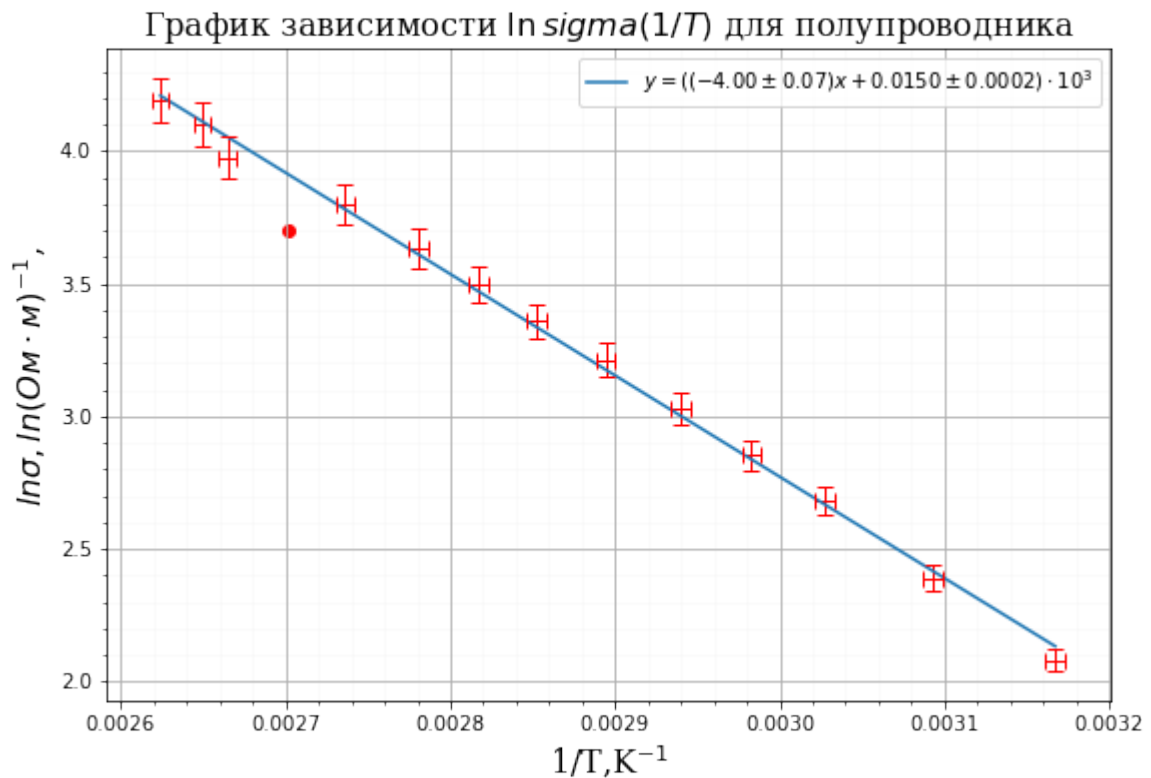
$$\Delta = 2k \frac{\Delta(\ln \sigma)}{\Delta(1/T)} = -2k \cdot a$$

где a – угловой коэффициент, вычисленный по МНК

$$\Delta = 2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 4 \cdot 10^3 = 11.04 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = 0.689 \text{ эВ}$$

Данное значение соответствует запрещенной зоне Германия





6. Значение погрешности вычислим как

$$\sigma_{\Delta} = \frac{2k}{e} \cdot \sigma_a = 1 \cdot 10^{-4}$$

Окончательно:

$$\Delta = 0.6890 \pm 0.0001 \text{ эВ}$$

Выводы:

1. В ходе работы была исследована температурная зависимость проводимости меди и германия. Получено, что для меди зависимость выглядит как $\sigma \propto 1/T$, а для германия как $\sigma \propto \exp(-1/T)$

2. Был вычислен температурный коэффициент сопротивления меди, равный

$$\alpha = (2.70 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

при табличном значении

$$\alpha_{\text{табл}} = 3.8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

3. Была вычислена ширина запрещенной зоны полупроводника

$$\Delta = 0.6890 \pm 0.0001 \text{ эВ}$$

с хорошей точностью совпадающая с запрещенной зоной Германия

$$\Delta_{\text{табл}} = 0.67 \text{ эВ}$$