

Лабораторная работа 11.1

Определение ширины запрещённой зоны полупроводника

Драчев Ярослав
Факультет общей и прикладной физики МФТИ

1 марта 2021 г.

Аннотация

Исследуется температурная зависимость проводимости типичного полупроводника — германия или кремния. Определяется ширина запрещённой зоны методом, частично исключаящим ошибки эксперимента.

1 Теоретическое введение

Величина электропроводности в полупроводниках определяется числом электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне (эти числа в чистых полупроводниках, конечно, равны друг другу).

Числа электронов, находящихся в зоне провод

2 Выполнение

По проведённым прямым измерениям, представленным в таблице 1, ис-

U , мВ	$R_{\text{пр}}$, кОм	$R_{\text{нп}}$, кОм
0	$0,093 \pm 0,016$	$0,73 \pm 0,02$
$0,410 \pm 0,010$	$0,095 \pm 0,016$	$0,43 \pm 0,02$
$0,820 \pm 0,010$	$0,098 \pm 0,016$	$0,27 \pm 0,02$
$1,230 \pm 0,010$	$0,106 \pm 0,016$	$0,18 \pm 0,02$
$1,640 \pm 0,010$	$0,118 \pm 0,016$	$0,106 \pm 0,016$
$2,050 \pm 0,010$	$0,109 \pm 0,016$	$0,097 \pm 0,016$
$2,460 \pm 0,010$	$0,111 \pm 0,016$	$0,064 \pm 0,016$
$2,870 \pm 0,010$	$0,115 \pm 0,016$	$0,048 \pm 0,016$

Таблица 1: Прямые измерения

следуем зависимости

$$\ln \sigma = f(1/T)$$

для проводника и полупроводника, где

$$\sigma = \frac{l}{RS}, \quad t = t_{\text{комн}} + \beta U, \quad \beta = 41 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}, \quad t_{\text{комн}} = 24,0 \pm 1,0^\circ \text{С}.$$

$$l_{\text{пп}} = 39,20 \pm 0,10 \text{ мм}, \quad S_{\text{пп}} = a^2, \quad a = 4,10 \pm 0,10 \text{ мм}.$$

$$l_{\text{пр}} = 13,40 \pm 0,10 \text{ м}, \quad S_{\text{пр}} = \pi d^2, \quad d = 0,070 \pm 0,010 \text{ мм}.$$

Также, кроме систематической погрешности, в таблице 1 учтена погрешность установки

$$\pm [0,015 \pm 0,02 (R_k/R_x - 1)],$$

где R_k — включённый предел измерений (2 кОм), R_x — значение измеряемой величины в килоомах. Для обезразмеривания аргумента логарифма разделим все полученные значения σ на $\sigma_0 = \sigma(t_{\text{комн}})$. Полученные описанным образом косвенные измерения приведены в таблице 2. График зависи-

$T^{-1}, 10^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$	$\sigma_{\text{пп}}, 1/\text{Ом} \cdot \text{м}$	$\sigma_{\text{пр}}, 1/\text{мкОм} \cdot \text{м}$	$\ln(\sigma_{\text{пп}}/\sigma_{\text{пп0}})$	$\ln(\sigma_{\text{пр}}/\sigma_{\text{пр0}})$
$3,365 \pm 0,011$	$3,19 \pm 0,19$	9 ± 3	0	0
$3,256 \pm 0,011$	$5,4 \pm 0,4$	9 ± 3	$0,53 \pm 0,09$	$0,0 \pm 0,4$
$3,153 \pm 0,011$	$8,6 \pm 0,9$	9 ± 3	$0,99 \pm 0,12$	$0,0 \pm 0,4$
$3,057 \pm 0,012$	$13,0 \pm 1,9$	8 ± 3	$1,40 \pm 0,16$	$-0,1 \pm 0,4$
$2,966 \pm 0,012$	22 ± 3	7 ± 2	$1,93 \pm 0,16$	$-0,2 \pm 0,4$
$2,880 \pm 0,013$	24 ± 4	8 ± 2	$2,02 \pm 0,18$	$-0,2 \pm 0,4$
$2,800 \pm 0,014$	36 ± 9	8 ± 2	$2,4 \pm 0,2$	$-0,2 \pm 0,4$
$2,724 \pm 0,015$	48 ± 16	8 ± 2	$2,7 \pm 0,3$	$-0,2 \pm 0,4$

Таблица 2: Косвенные измерения

мости $\sigma(T)$ для полупроводника представлен на рис. 1, а для проводника — на рис. 2. Для проводника (в нашем случае — меди) коэффициент наклона

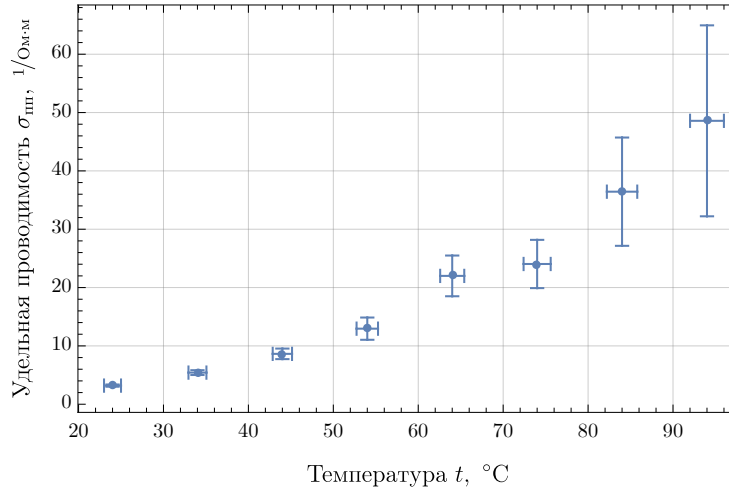


Рис. 1: График зависимости $\sigma(T)$ полупроводника

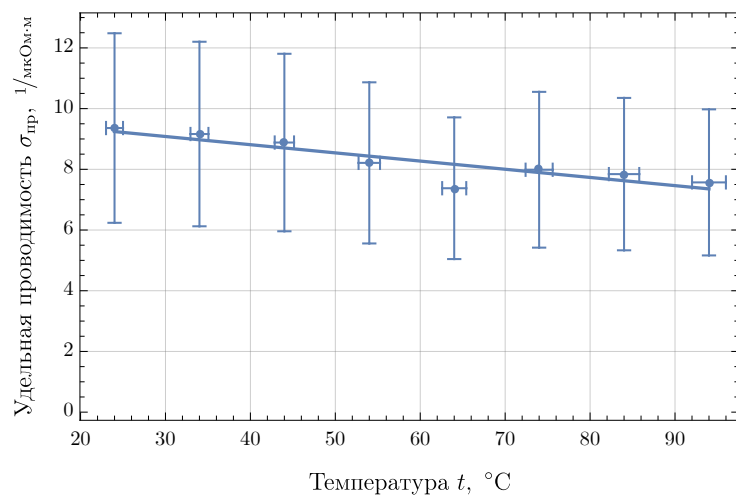


Рис. 2: График зависимости $\sigma(T)$ проводника

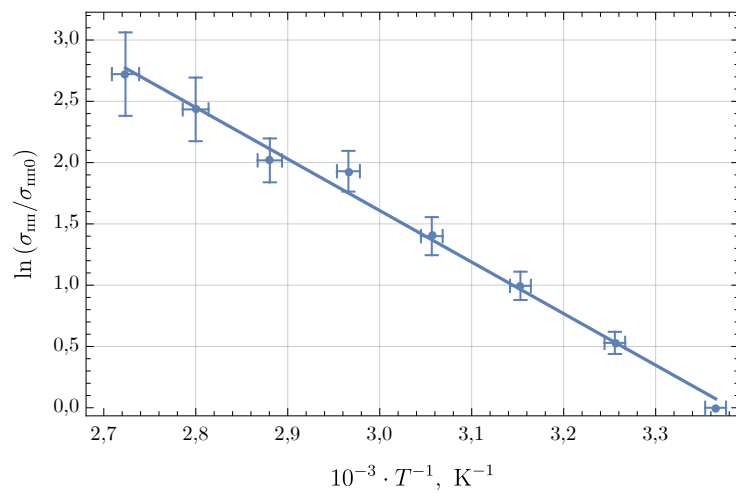


Рис. 3: График $\ln \sigma = f(1/T)$ полупроводника

графика

$$\frac{d\sigma}{dT} = -0,027 \pm 0,006 \frac{1}{\text{мкОм} \cdot \text{м} \cdot \text{К}}.$$

Среднее значение σ по исследуемому интервалу будет равно

$$\bar{\sigma} = 8,3 \pm 1,0 \frac{1}{\text{мкОм} \cdot \text{м}}.$$

А температурный коэффициент сопротивления соответственно

$$\alpha = -\frac{1}{\bar{\sigma}} \frac{d\sigma}{dT} = 0,0033 \pm 0,0008 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

что в пределах погрешности совпадает с табличным значением

$$\alpha_{\text{Cu}} \approx 0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

По графику на рис. 3 определяем коэффициент наклона

$$\eta = (-4,20 \pm 0,15) \text{ К}.$$

Откуда ширина запрещённой зоны полупроводника

$$\Delta = -2k\eta = 0,73 \pm 0,03 \text{ эВ},$$

что совпадает с табличной величиной запрещённой зоны для германия

$$\Delta_{\text{Ge}} \approx 0,7 \text{ эВ}.$$