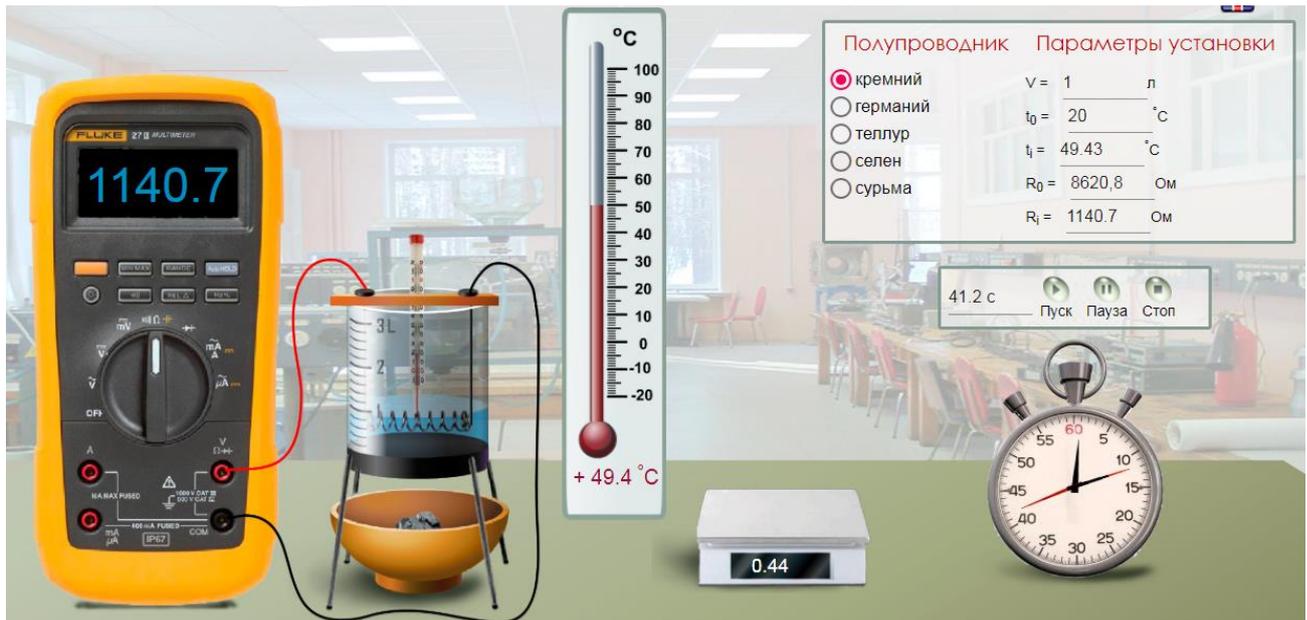


Изучение зависимости сопротивления полупроводников от температуры и определение ширины запрещенной зоны



Теория зависимости сопротивления полупроводника от температуры

Полупроводники (например, кремний, германий) обладают уникальным свойством: их сопротивление уменьшается при нагревании, в отличие от металлов, где оно растёт.

Почему так происходит?

- 1. Запрещённая зона** – это диапазон энергий между валентной зоной (где находятся связанные электроны) и зоной проводимости (где электроны могут свободно двигаться).
 - У полупроводников она узкая (например, ~ 0.7 эВ для кремния).
- 2. При нагревании:**
 - Электроны получают тепловую энергию $k_B T$ (k_B – постоянная Больцмана, T – температура).
 - Часть электронов "перепрыгивает" из валентной зоны в зону проводимости, увеличивая число свободных носителей заряда.
- 3. Рост проводимости:**
 - Чем выше температура, тем больше электронов преодолевают запрещённую зону → сопротивление падает.

Что такое ширина запрещённой зоны (E_g)?

Это минимальная энергия, необходимая электрону для перехода из валентной зоны в зону проводимости. Измеряется в электрон-вольтах (эВ).

Как определить E_g из эксперимента?

1. Измеряем зависимость сопротивления R от температуры T (в Кельвинах).
2. Строим график $\ln(R)$ от $\frac{1}{T}$. Для собственного полупроводника получится прямая линия в высокотемпературной области.

3. Формула для расчёта:

$$R(T) \approx R_0 \cdot e^{\frac{E_g}{2k_B T}},$$

где:

- R_0 – константа,
- $k_B = 8.617 \times 10^{-5}$ эВ/К – постоянная Больцмана.

4. Ширина запрещённой зоны:

- Угловой коэффициент наклона графика $\ln(R)$ от $\frac{1}{T}$ равен $\frac{E_g}{2k_B}$.
- Отсюда:

$$E_g = 2k_B \cdot \text{наклон.}$$

Пример расчета для кремния

1. Полный набор данных

t (°C)	T (K)	1/T (K ⁻¹)	R (Ом)	ln(R)
20	293.15	0.003411	10 000	9.210
30	303.15	0.003299	4 740	8.463
40	313.15	0.003193	2 462	7.809
50	323.15	0.003095	1 165	7.062
60	333.15	0.003002	698	6.548
70	343.15	0.002914	392	5.971
75	348.15	0.002872	299	5.700
80	353.15	0.002832	234	5.455

85	358.15	0.002792	176	5.170
90	363.15	0.002753	140	4.942
95	368.15	0.002716	108	4.682
100	373.15	0.002680	86	4.454

2. Расчёт наклона m и E_g (без поправки)

Построим линейную регрессию $\ln(R) = a + b \cdot \frac{1}{T}$.

Результаты аппроксимации (МНК):

- Наклон $m = 5436.6$ К,
- Пересечение $a = -9.383$.

Ширина запрещённой зоны:

$$E_g = 2k_B \cdot m = 2 \times 8.617 \times 10^{-5} \times 5436.6 \approx 0.937 \text{ эВ.}$$

(Без поправки, ближе к табличному значению 1.12 эВ, но ещё занижено.)

3. Учёт температурной зависимости $E_g(T)$

Для кремния ширина запрещённой зоны уменьшается с ростом температуры по формуле:

$$E_g(T) = E_{g0} - \frac{\alpha T^2}{T + \beta},$$

где:

- $E_{g0} = 1.166$ эВ (при $T = 0$ К),
- $\alpha = 4.73 \times 10^{-4}$ эВ/К,
- $\beta = 636$ К.

Пример расчёта для $T = 300$ К:

$$E_g(300) = 1.166 - \frac{4.73 \times 10^{-4} \times 300^2}{300 + 636} \approx 1.12 \text{ эВ.}$$

5. Вывод

1. **Без поправки:** $E_g \approx 0.94$ эВ (погрешность $\sim 16\%$).
2. **С поправкой на $E_g(T)$:** $E_{g0} \approx 1.15$ эВ $\rightarrow E_g(300) \approx 1.12$ эВ (совпадение с теорией).