

Zależność oporności ciał stałych od temperatury

Cel ćwiczenia:

1. Sprawdzenie doświadczalne zależności oporności elektrycznej metali (miedzi i konstantanu) R od temperatury T i wyznaczenie odpowiednich współczynników α zależności temperaturowej rezystancji
2. Sprawdzenie doświadczalne zależności oporności elektrycznej półprzewodnika (germanu) R od temperatury T i wyznaczenie odpowiedniej szerokości przerwy międzypasmowej E_g

Zagadnienia teoretyczne:

1. Przewodnictwo elektryczne.
2. Klasyczna elektronowa teoria przewodnictwa elektrycznego metali.
3. Półprzewodniki samoistne i domieszkowe.
4. Przewodnictwo elektryczne półprzewodników.
5. Zależność temperaturowa przewodnictwa elektrycznego.

Zagadnienia elementarne:

W przypadku metali prawo Wiedemana-Franza mówi, że stosunek współczynnika przewodnictwa cieplnego metalu k do współczynnika przewodnictwa właściwego σ jest jednaki dla wszystkich metali i proporcjonalny do temperatury:

$$\frac{k}{\sigma} = LT \quad (1)$$

gdzie:

L - współczynnik wyznaczany eksperymentalnie (liczba Lorentza).

Tak więc oporność właściwa metali ρ , będąca odwrotnością przewodnictwa właściwego, jest proporcjonalna do temperatury T .

Zależność oporności przewodnika wykonanego z metalu od temperatury opisana jest zależnością:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2)$$

gdzie: R_0 jest rezystancją w temperaturze T_0 , α - temperaturowy współczynnik zmian rezystancji. Po przekształceniu wzoru (2) otrzymujemy wzór na α :

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0(T - T_0)} \quad (3)$$

W przypadku półprzewodników samoistnych przewodnictwo ich jest funkcją ruchliwości odpowiednich nośników:

$$\sigma = n|q_-|\mu_n + p|q_+|\mu_p \quad (4)$$

gdzie:

μ_n - ruchliwość elektronów, μ_p - ruchliwość dziur, n - koncentracja elektronów,
 p - koncentracja dziur, q - ładunek elektronu, q_+ - ładunek dziury.

Gdy $n = p$ to:

$$\sigma = n|q|(\mu_p + \mu_n) \quad (5)$$

Stąd oporność właściwa:

$$\varrho = \frac{1}{n|q|(\mu_p + \mu_n)} \quad (6)$$

Wraz z temperaturą zmienia się liczba elektronów przewodnictwa oraz ruchliwość nośników w sposób następujący:

$$n \sim T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{\frac{-E_g}{2kT}} \quad (7)$$

$$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}} \quad (8)$$

gdzie:

E_g - szerokość przerwy energetycznej w półprzewodnikach,

k - stała Boltzmanna,

T - temperatura w Kelwinach.

Tak więc w oporność półprzewodników zależy od temperatury w sposób następujący:

$$R = C \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (9)$$

gdzie: C stała materiałowa o wymiarze oporności

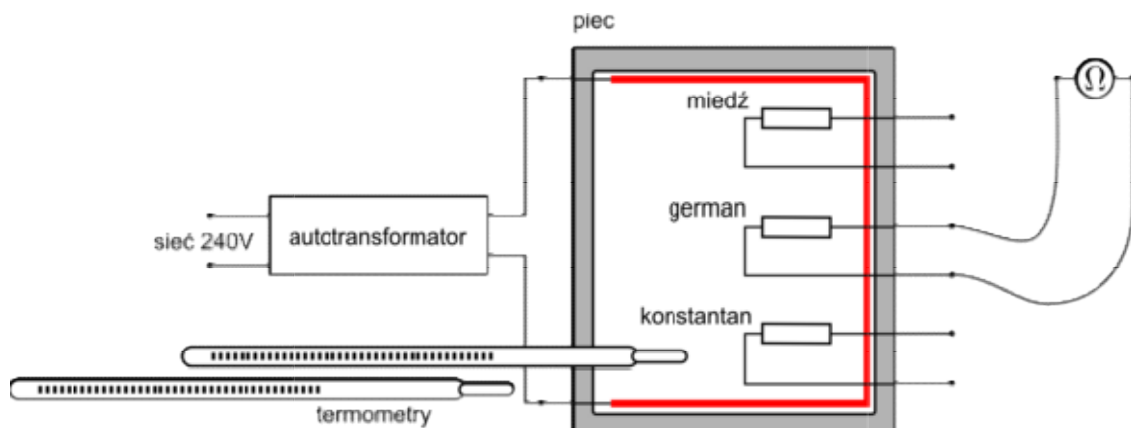
$$E_g = 2k_B \frac{\ln R_0 - \ln R}{T_0^{-1} - T^{-1}} \quad (10)$$

R_0 – oporność w temperaturze T_0

Konstantan: jest stopem wieloskładnikowym zawierającym Cu, Ni, Mn, Fe, C. Odznacza się dużym oporem właściwym i małymi współczynnikami temperaturowym oporu oraz dużą stabilnością tych własności w szerokim zakresie temperatur.

.....

Pomiary:



Rys. 62.4. Schemat układu pomiarowego.

1. Budujemy obwód wg schematu na rys. 4.
2. Zmierzyć opór badanych próbek w temperaturze początkowej.
3. Za pomocą autotransformatora ustawić wartość prądu $I = 0,7$ [A].
4. Pomiaru rezystancji wszystkich próbek dokonać multimetrem 1321 co 2°C .
5. Wyniki zapisać w tabeli 1,2,3.

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń dot. badań zależności temperaturowej rezystancji elektrycznej miedzi

i	$T / ^\circ\text{C}$	R / Ω	$\alpha / ^\circ\text{C}^{-1}$	$\alpha_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}$ $/ ^\circ\text{C}^{-1}$	$\Delta\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\alpha_i^2 - \alpha_{sr}^2)}{N-1}}$ $/ ^\circ\text{C}^{-1}$	$\Delta\alpha/\alpha_{sr}$
1	T_0					
2	$T_0 + 2$					
...						
30	$T_0 + 60$					

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń dot. badań zależności temperaturowej rezystancji elektrycznej konstantanu

i	$T / ^\circ\text{C}$	R / Ω	$\alpha / ^\circ\text{C}^{-1}$	$\alpha_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}$ $/ ^\circ\text{C}^{-1}$	$\Delta\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_{sr})^2}{N-1}}$ $/ ^\circ\text{C}^{-1}$	$\Delta\alpha/\alpha_{sr}$
1	T_0					
2	$T_0 + 2$					
...						
30	$T_0 + 60$					

Tabela 3. Wyniki pomiarów i obliczeń dot. badań zależności temperaturowej rezystancji elektrycznej germanu

i	T/K	$\frac{1}{T} / \text{K}^{-1}$	R / Ω	$\ln R$	E_g / eV	$E_{g_{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{gi}}{N}$ /eV	$\Delta E_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{gi} - E_{g_{sr}})^2}{N-1}}$ /eV	$\Delta E_g / E_{g_{sr}}$
1	T_0							
2	$T_0 + 2$							
...								
30	$T_0 + 60$							

Opracowanie wyników.

1. Dla metalu:

- Sporządzić wykres zależności (w postaci punktów pomiarowych) $R = f(T)$. Ekstrapolować wykres do przecięcia z osią R, wyznaczyć z wykresu R_0 (przy $T_0 = 20^\circ\text{C}$) oraz na podstawie wzoru (3) obliczyć temperaturowy współczynnik zmian rezystancji α
- Wyznaczyć średnią wartość α_{sr} (według wzoru podanego w tabeli)
- Wyznaczyć niepewność pomiaru $\Delta\alpha_{sr}$ oraz niepewność względną $\Delta\alpha_{sr}/\alpha_{sr}$

2. Dla konstantanu:

- Sporządzić wykres zależności (w postaci punktów pomiarowych) $R = f(T)$. Ekstrapolować wykres do przecięcia z osią R, wyznaczyć z wykresu R_0 (przy $T_0 = 20^\circ\text{C}$) oraz na podstawie wzoru (3) obliczyć temperaturowy współczynnik zmian rezystancji
- Wyznaczyć średnią wartość α_{sr} (według wzoru podanego w tabeli)
- Wyznaczyć niepewność pomiaru $\Delta\alpha_{sr}$ oraz niepewność względną $\Delta\alpha_{sr}/\alpha_{sr}$

3. Dla półprzewodnika:

- Sporządzić wykres zależności (w postaci punktów pomiarowych) $\ln R = f(1000/T)$
- Dla każdego z pomiarów obliczyć, na podstawie wzoru (10), wielkość przerwy energetycznej germanu E_g w elektronowoltach ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)
- Wyznaczyć średnią wartość $E_{g_{sr}}$ (według wzoru podanego w tabeli)
- Wyznaczyć niepewność pomiaru $\Delta E_{g_{sr}}$ oraz niepewność względną $\Delta E_{g_{sr}}/E_{g_{sr}}$

Protokół pomiarowy

	Laboratorium z fizyki		
Rok akadem:	Temat: <i>Zależność oporności ciał stałych od temperatury.</i>		
Kierunek:	Imię i Nazwisko:		
Grupa:			
	Ocena	Data Zaliczenia	Podpis
L			
S			
K			

		Miedź		Konstantan		German			
Lp.	T /K	$R^{(\text{Cu})}$ /k Ω	$\alpha^{(\text{Cu})}$ /K ⁻¹	$R^{(\text{co})}$ /k Ω	$\alpha^{(\text{co})}$ /K ⁻¹	T^{-1} /K ⁻¹	$R^{(\text{Ge})}$ /k Ω	$\ln R^{(\text{Ge})}$	$E_g^{(\text{Ge})}$ /eV
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									