



Ćw. 9. Pomiar temperaturowej zależności oporności metali i półprzewodników

Cel ćwiczenia

Pomiary temperaturowych zależności oporności półprzewodników i metalu. Wyznaczenie wartości przerwy energetycznej badanego półprzewodnika oraz temperaturowego współczynnika rezystancji dla metalu.

Zasada pomiaru

W ćwiczeniu należy wyznaczyć zależności oporności półprzewodników i metalu od temperatury, w zakresie temperatur od ciekłego azotu (~80K) aż do temperatury pokojowej (~300K). Wszystkie oporności są mierzone multimetrami BRYMEN, zaś do wyznaczenia temperatury zastosowano skalibrowany oporowy czujnik temperatury Pt1000. Na skrzynce pomiarowej jego zaciski są oznaczone jako Ω_T . Czujnik ten jest wykonany z cienkiego drutu platynowego.

Układ pomiarowy

Badany metal i półprzewodniki, oraz czujnik temperatury znajdują się w metalowej obudowie wypełnionej olejem silikonowym. Taka sonda zakończona jest wtykiem DB-9. Całość zamontowana jest w uchwycie. Wtyk połączony jest z odpowiednim gniazdem w skrzynce pomiarowej, do której za pomocą przewodów z wtykami należy podłączyć multimetry BRYMEN, przełączone na zakres pomiaru oporności ($\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$).

Zadania do wykonania

Zmierzyć zależności oporności półprzewodników i metalu od temperatury 80K do temperatury pokojowej. W tym celu w obecności przewodzącego należy napęścić termos ciekłym azotem a następnie opuścić ramię z sondą, aż do całkowitego zanurzenia sondy w azocie. Śledzić wskazania omomierzy. W chwili gdy wskazania te ustalą się, można założyć, że badane próbki osiągnęły temperaturę ciekłego azotu, tj. $T \sim 80K$ (w tej temperaturze oporność czujnika wynosi około 200Ω). Następnie w czasie pomiarów, notując wskazania omomierzy, należy stopniowo podnosić uchwyt wraz z sondą, aż całkowicie wynurzy się ona z azotu. Wyniki pomiarów oporności należy jednocześnie notować co około 20Ω według wskazań omomierza podłączonego do czujnika temperatury. Temperaturę w skali Kelwina można obliczyć znając wartości oporności czujnika R_T według zależności:

$$T = 0.2430 \cdot R_T + 28.55.$$



Opracowanie wyników pomiarów

1) Dla półprzewodników, na podstawie pomiarów zależności oporności od temperatury, sporządzić wykresy $\ln(R) = f(1/T)$. Obliczyć niepewności $u(R) = \frac{\text{dokładność pomiaru oporności}}{\sqrt{3}}$, korzystając z formuł podanych w instrukcjach do multimetrów, oraz $u(T) = 0.2430 \cdot u(R)$. Nanieść na wykresy słupki niepewności wyznaczone z:

$$u(\ln(R)) = \frac{u(R)}{R}, \quad u\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{u(T)}{T^2}.$$

2) Liniową część charakterystyki $\ln(R) = f(1/T)$ dopasować prostą o równaniu $y = ax + b$ i znając wartość współczynnika kierunkowego prostej, wyznaczyć przerwę wzbronioną półprzewodnika E_g , korzystając z poniższej zależności. Na podstawie wyznaczonej wartości przerwy wzbronionej określić materiał półprzewodnika.

Zależność oporu półprzewodnika od temperatury jest funkcją wykładniczą:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right),$$

gdzie R_0 – jest wielkością stałą, k – stała Boltzmanna ($k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

Logarytmując obie strony powyższego równania otrzymujemy:

$$\begin{cases} \ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T} \\ y = ax + b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = \frac{E_g}{2k} \\ b = \ln R_0 \end{cases}$$

Zatem $E_g = 2ka$.

Jednostką obliczonej przerwy wzbronionej jest [J]. Przeliczyć tę wartość na [eV] wiedząc, że $1\text{eV} \cong 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$.

3) Obliczyć niepewność przerwy wzbronionej $u(E_g)$ ze wzoru:

$$u(E_g) = 2k\Delta a,$$

gdzie Δa to niepewność wynikająca z regresji liniowej.

4) Na podstawie pomiarów zależności oporności od temperatury dla metalu, porządzić wykres $R(t) = f(t)$, gdzie t – temperatura w [°C]. Obliczyć niepewności



$u(R) = \frac{\text{dokładność pomiaru oporności}}{\sqrt{3}}$, korzystając z formuł podanych w instrukcjach do multimetrów, oraz $u(t) = 0.2430 \cdot u(R)$ i nanieść na wykres słupki niepewności.

5) Liniową część charakterystyki $R(t) = f(t)$ dopasować prostą o równaniu $y = ax + b$ i znając wartość współczynnika kierunkowego prostej, wyznaczyć temperaturowy współczynnik rezystancji α , korzystając z poniższej zależności. Na podstawie wyznaczonej wartości α określić materiał metalu.

W szerokim zakresie temperatur zależność rezystancji metali opisana jest wzorem:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + \alpha t) = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot t .$$

$$\begin{cases} y = ax + b \\ R = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = R_0 \cdot \alpha \\ b = R_0 \end{cases}$$

Zatem $\alpha = \frac{a}{R_0} = \frac{a}{b}$.

6) Obliczyć niepewność przerwy wzbronionej $u(\alpha)$ ze wzoru:

$$u(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{a}{b^2} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{1}{b} \Delta a\right)^2} ,$$

gdzie Δa i Δb to niepewności współczynników wynikających z regresji liniowej.

Materiały pomocnicze

1. Opis teoretyczny do ćwiczenia.

Opracowanie: Z. Gumienny, E. Popko, E. Zielony