Ćwiczenie 8

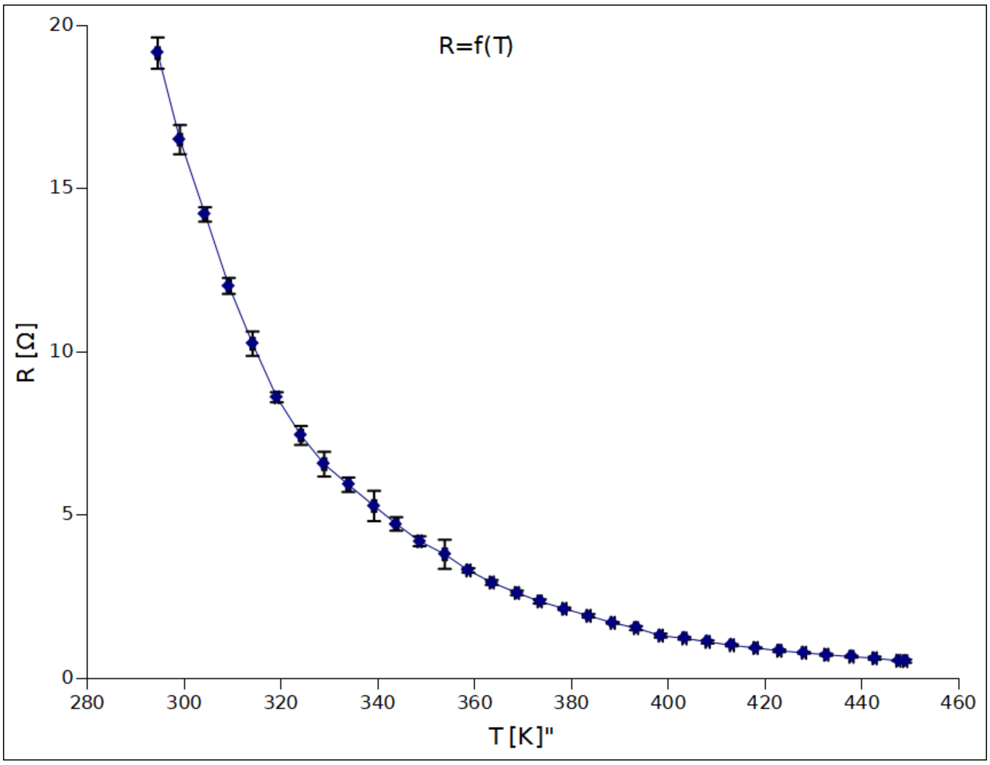
Wyznaczanie energii aktywacji w półprzewodnikach

Patrycja Trybułowska, Zuzanna Rudzińska
Zespół 7

21/10/2022

1 Wykonanie ćwiczenia

Na zajęciach laboratoryjnych wykonałyśmy pomiary oporności ρ próbek półprzewodnikowych grzanych w piecyku oporowym. Na podstawie zebranych przez nas pomiarów podczas wykonywania ćwiczenia wykreśliłysmy zależność R=f(T) przedstawioną ponizej na wykresie wraz z wyliczonymi niepewnościami.



Rysunek 1: Wykres R=f(T)

Naniesiona na wykres niepewność pomiaru temperatury wynosiła:

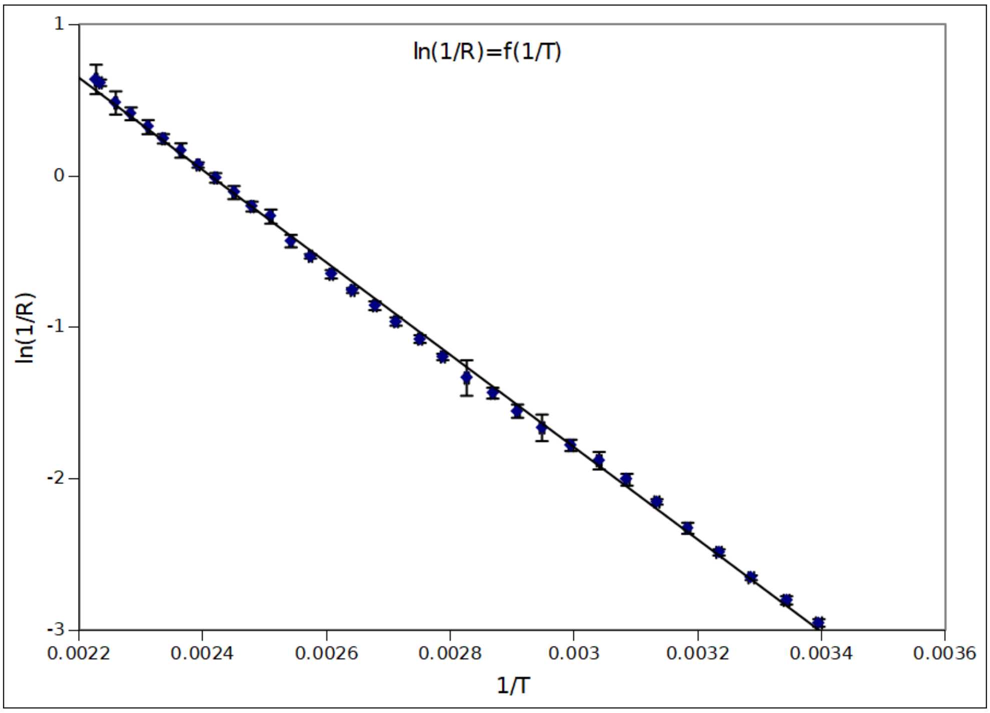
$$u(T) = \sqrt{\frac{\Delta x^2}{3} + \frac{\Delta x_e^2}{3} + u_t^2} = 0.42K$$

Za dokładność kontrolera piecyka przyjęłyśmy najmniejszą podziałkę : $u_t = 0.1\ (^oC)$
Za dokładność termometra mierzącego temperaturę w pomieszczeniu przyjęłyśmy pół podziałki: $\Delta x = 0.5\ (^oC))$
Za niepewność odczytu z termometra, czyli niepewność eksperymentatora także przyjęłyśmy pół podziałki: $\Delta x_e = 0.5(^oC)$
Przy obliczaniu nipewności odczytu z multimetra korzystałyśmy ze wzoru podanego w instrukcji do przyrządu:

$$u_{ohmomierza} = 1.2\% \cdot rdg + 5 * dgt$$

gdzie rdg-odczytana wartość,
dgt- najmniejsza znaczaca cyfra.
Niepewność oporności obliczyłysmy ze wzoru podanego poniżej przyjmując $u_{odczytu} = \epsilon\{100, 10, 1\}$, w zależności od wskazania ohmomierza i najmniejszej podziałki na wyświetlaczu:

$$u(R) = \sqrt{u_{ohmomierza}^2 + u_{odczytu}^2}$$



Rysunek 2: Wykres $\ln 1_{\overline{R}} = f(\frac{1}{T})$

Do wyliczenia niepeności na tym wykresie posłużyłyśmy się poniższymi wzorami, z których mogłyśmy skorzystać znając niepewności temperatury oraz oporu:

$$u(\frac{1}{T}) = |\sqrt{(\cdot u(T))^2}| = \frac{1}{T^2} \cdot u(T)$$

$$u(ln\frac{1}{R}) = |\sqrt{(\ \cdot u(R))^2}| = \frac{1}{R} \cdot u(R)$$

2 Dopasowanie prostej metoda najmniejszych kwadratów

Do danych z wykresu dopasowałyśmy prostą korzystając z wbudowanej funkcji linest w programie Gnumeric. Dzięki tej metodzie otrzymałyśmy:

$$a = -3049.77$$

$$u(a) = 20.20$$

Aby obliczyć energię aktywacji posłużyłyśmy się wzorem:

$$a = -\frac{\delta E}{k_B}$$

$$\Delta E = a \cdot (-k_B)$$

gdzie przez k_B oznaczamy stałą Boltzamana wynoszącą $\sim 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} = 8.62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}$. Otrzymujemy więc:

$$\Delta E = 0.26[eV]$$

Znając zaleznośś pomiędzy energia aktywacji a energią graniczną możemy policzyc wartośc przerwy energetycznej:

$$E_g = 2 \cdot \Delta E = 2 \cdot a \cdot k_B \approx 0.53[eV]$$

Porównując te wartości z otrzymaną tabelą przerw energetycznych dla danych pierwiastków i związków chemicznych możemy stwierdzić, że najbliższą przerwę energetyczną do obliczonej w doświadczeniu ma german ($E_g(Ge) = 0.67eV$)

2.1 Niepewność energii granicznej

Niepewność energii granicznej obliczymy posługując się propagacją niepewności typu A. Wynika ona z dopasowania prostej metodą najmniejszych kwadratów. Wraz z wykorzystaniem funkcji wartość tej niepewności niemal otrzymujemy w wyniku.

$$u(E) = \sqrt{(u(a))^2} = 20.20eV \tag{1}$$

2.2 Test χ^2

Korzystając ze wzoru na test χ^2:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

wyznaczamy sumę takich wartości, gdzie O_i jest wielkością oczekiwaną (wartość obliczona zgodnie ze wzorem prostej y=ax+b wyznaczonej w tej sekcji wyżej) a E_i jest wartością uzyskaną w doświadczeniu ($\ln(1\backslash R)$). Suma takich wartości wyniosła $\chi^2 = 0.017$ Odczytując wartość testu dla poziomu istotności $\alpha = 0.05$, widzimy, że $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$. Tak więc nie możemy odrzucić hipotezy o tym, że otrzymane dane są liniowe.

3 Koncentracja swobodnych nośników w próbce

Do obliczenia koncentracji swobodnych nośników w próbce przy temperaturze T=300K i założeniu, że są to elektrony, a efektywna gęstość stanów w paśmie przewodnictwa wynosi $N_p = 10^{10} cm^{-3}$ korzystamy ze wzoru:

$$n = N_p e^{\frac{E_p - E_f}{k_B T}}$$

gdzie

$$E_p - E_f \sim \frac{E_g}{2} = 0.26[eV]$$

Obliczając więc koncentrację zgodnie ze wzorem powyżej:

$$n = 10^{16}[\frac{1}{m^3}] \cdot e^{\frac{0.26}{300[K]\cdot 8.62\cdot 10^{-5}[\frac{eV}{K}]}} \approx 2.33 \cdot 10^{14}[1\backslash cm^3]$$

4 Ruchliwość nośników w temperaturze T=300K

Przy założeniu cylindrycznego kształtu próbki o długości 1mm i powierzchni podstaw $1mm^2$ wyznaczymy ruchliwość nośników korzystjąc ze wzoru:

$$\sigma = ne\mu$$

$$\mu = \frac{\sigma}{ne} = \frac{l}{neRS}$$

Korzystamy tutaj z zależnoci $\sigma = l\backslash RS$. Tak więc obliczając ruchliwość:

$$\mu = \frac{10^{-3}m}{2.33 \cdot 10^{20} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-6} \cdot 16.6 \cdot 10^3} = 1.6 \cdot 10^7 \left[\frac{cm^2}{Vs}\right]$$

5 Wnioski

Dopasowania prostej do wykresu $f(\frac{1}{T})$ pozwoliły nam stwierdzić, że przerwa energetyczna wynosi około 0.53 eV. Porównując to z wielkościami podanymi w tabeli w ćwiczeniu możemy zauważyć, że jest to wielkość najbardziej zbliżona do germanu ($E_g = 0.67eV$). Jednak różnica w przerwie energetyczej może świadczyć iż w półprzewodniku znajdują się domieszki, które tą przerwę zmiejszają. Może to również świadczyć o tym, że w doświadczeniu odczekałyśmy zbyt mało czasu aby temperatury kolejno ustabilizowały się wystarczająco.

Sprawdzając test χ^2 (zakładając współczynnik istotności $\alpha = 0.05$) możemy stwierdzić z 95% pewnością, że hipoteza o linowości danych z wykresu (2) $ln\frac{1}{R} = f(\frac{1}{T})$ jest prwadziwa.

Porównując ruchliwość nośników z ruchliwością samoistnych nośników dla germanu w temp. 300K ze źródłami internetowymi[1], która wynosi $10^{10}\left[\frac{cm^2}{Vs}\right]$, nasza wartość jest zaledwie o 3 rzędy wielkości niższa. Jako, że przerwa energetyczna nie jest równa czystemu germanowi możemy więc stwierdzić, że w próbce znajdowały się domieszki. Wielkości te są realne co potwierdza, że ćwiczenie oraz obliczenia zostały wykonane poprawnie.

[1]https://www.fuw.edu.pl/ stepniew/PFP.pdf Podstawy Fizyki Półprzewodników 2007/2008 Prof. Roman Stępniewski