

ZADANIE 28

Wyznaczanie przewodnictwa cieplnego miedzi

Wstęp

Pomiędzy ciałami ogrzаныmi do różnych temperatur zachodzi wymiana ciepła. Ciało o wyższej temperaturze traci ciepło, a ciało o niższej temperaturze je zyskuje. Wymiana ciepła trwa do momentu wyrównania się temperatury obydwu ciał.

Istnieją trzy sposoby przekazu ciepła:

- 1) konwekcja (unoszenie), której towarzyszy przemieszczanie się materii w postaci strumieni cieczy lub gazu (tzw. prądów konwekcyjnych),
- 2) promieniowanie - polega na wytworzeniu kosztem ciepła energii promienistej, transporcie tej energii w postaci fali elektromagnetycznej i absorpcji tej fali przez ciało o niższej temperaturze,
- 3) przewodzenie ciepła - proces przekazu energii chaotycznego ruchu termicznego zachodzący wewnątrz ciała, którego różne części mają różną temperaturę.

Mikroskopowy mechanizm przewodnictwa cieplnego zależy od rodzaju materiału. W ciałach o strukturze krystalicznej, atomy znajdują się w węzłach sieci i w temperaturze (bezwzględnej) większej od zera wykonują drgania wokół położenia równowagi. Amplituda tych drgań jest tym większa im wyższa jest temperatura. W przewodnikach (metalach) oprócz atomów tworzących sieć krystaliczną mamy do czynienia ze swobodnymi elektronami.

W izolatorach rozprzestrzenianie się drgań sieci krystalicznej jest jedynym mechanizmem transportu ciepła.

W przewodnictwie ciepła w czystych metalach biorą udział głównie swobodne elektrony. W metalach domieszkowanych i stopach nieuporządkowanych udział transportu ciepła poprzez rozprzestrzenianie się drgań sieci jest porównywalny z udziałem elektronów.

Celem ćwiczenia jest zbadanie przepływu ciepła wzdłuż długiego, cienkiego jednorodnego pręta miedzianego i wyznaczenie współczynnika przewodnictwa cieplnego miedzi.

Ilość ciepła przepływająca w jednostce czasu przez powierzchnię przekroju poprzecznego pręta, którego końce są utrzymywane w różnych od siebie, ale nie zmieniających się temperaturach opisuje prawo Fouriera:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

gdzie

$\partial T / \partial x$ - gradient temperatury (zmiana temperatury na jednostkę długości pręta)

S - pole powierzchni przekroju poprzecznego pręta

λ - współczynnik przewodnictwa cieplnego materiału pręta $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Wskutek przepływu ciepła układ dąży do stanu stacjonarnego, w którym rozkład temperatury wzdłuż pręta będzie niezależny od czasu. Przebieg tego procesu opisuje równanie różniczkowe (równanie dyfuzji) [2] :

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = c_w \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

gdzie ρ , c_w , – ciepło właściwe i gęstość materiału.

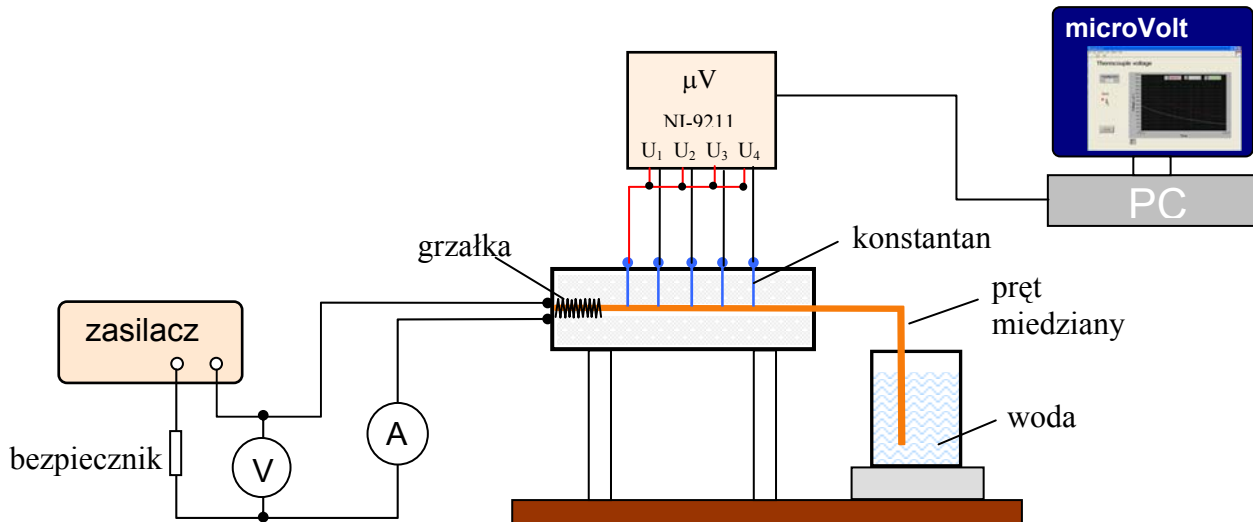
Wrażenie $\lambda(\partial^2 T / \partial x^2)$ opisuje różnicę pomiędzy ilością ciepła wpływającego w jednostce czasu do odcinka pręta o długości $\Delta x = x_2 - x_1$ przez powierzchnię S_{x1} a ilością ciepła wypływającego z tego odcinka pręta w jednostce czasu przez powierzchnie S_{x2} , przy czym ilość ciepła liczona jest na jednostkę objętości. Ciepło, które pozostanie w rozważanym odcinku pręta spowoduje zmianę temperatury tego odcinka. Ilość ciepła zmagazynowanego w objętości $S \Delta x$ w jednostce czasu, przypadającą na jednostkę objętości określa wyrażenie $c_w \rho (\partial T / \partial t)$.

Z równania (2) wynika, że w stanie stacjonarnym gradient temperatury ($\partial T / \partial x$) ma wartość stałą na całej długości pręta. Równania (1) wskazuje natomiast, że w stanie stacjonarnym ilość ciepła przepływającego w jednostce czasu przez poprzeczny przekrój pręta (dQ/dt) jest stała w czasie.

Współczynnik przewodnictwa cieplnego miedzi wyznaczymy stosując prawo Fouriera do układu w stanie stacjonarnym.

Układ pomiarowy

Rysunek przedstawia schemat układu pomiarowego do wyznaczenia współczynnika przewodnictwa cieplnego miedzi.



Pręt miedziany o średnicy (6 ± 0.1) mm umieszczony jest w obudowie wypełnionej materiałem izolującym, co ogranicza wymianę ciepła przez konwekcję.

Jeden z końców pręta może być ogrzewany przy pomocy nawiniętej na niego spirali zasilanej zasilaczem prądu stałego. Ciepło Joule'a wydzielane w spirali określamy mierząc natężenie prądu płynącego w obwodzie i spadek napięcia na oporze grzałki. Wydajność przekazu ciepła od grzałki do pręta wynosi $\eta = (49 \pm 5)\%$.

Drugi koniec pręta jest umieszczony w naczyniu z wodą o temperaturze otoczenia. Pojemność cieplna wody jest na tyle duża, że jej ogrzewanie za pośrednictwem pręta nie zmienia temperatury. Prowadząc pomiar w temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia minimalizujemy efekt wymiany ciepła przez promieniowanie.

Do powierzchni pręta, w znanych odległościach od siebie, zostały przylutowane druty z konstantanu. Złącza konstantan-miedź tworzą termopary. Napięcie termoelektryczne między złączami jest proporcjonalne do różnicy temperatur między nimi. Do pomiaru tych napięć wykorzystujemy 4-kanalowy cyfrowy mikrowoltomierz NI-9211. Rejestrujemy przebieg czasowy napięć termoelektrycznych pomiędzy złączem najbliższym grzałce (złącze „0”) a czterema innymi złączami.

Program microVolt przedstawia graficznie wyniki pomiarów i umożliwia zapisywanie danych na dysku komputera.

Wykonanie pomiarów

1. Zmontować układ pomiarowy według schematu pokazanego na rysunku.
UWAGA! Do zasilania grzałki należy użyć przewodu z bezpiecznikiem 200 mA zabezpieczającym przed uszkodzeniem układu.
2. Zarejestrować rozkład różnic temperatur jaki ustalił się wzdłuż pręta po zanurzeniu jednego z jego końców w naczyniu z wodą, przy wyłączonym przepływie prądu przez grzałkę.
3. Dla kilku (co najmniej czterech) wartości mocy prądu płynącego przez grzałkę zarejestrować rozkład napięć termoelektrycznych jaki ustalił się wzdłuż pręta. Pomiary można rozpocząć od napięcia 6 V i **nie należy przekraczać napięcia 12 V.**
Dla każdej z wartości mocy pomiary należy prowadzić do momentu osiągnięcia stanu, w którym zmiany rejestrowanych napięć termoelektrycznych (różnic temperatur) będą niewielkie.

Opracowanie wyników

- 1) Dla każdego zarejestrowanego przebiegu czasowego napięcia termoelektrycznego należy znaleźć wartość graniczną U_∞ , dla której został osiągnięty stan stacjonarny. Wartości U_∞ można wyznaczyć dopasowując do zarejestrowanej zależności $U(t)$ funkcję opisaną wzorem:

$$U(t) = U_\infty - U_0 e^{-(t-t_0)/\tau} \quad (3)$$

gdzie t - czas, U_∞ , U_0 , t_0 , τ parametry dopasowania.

Różnicę temperatur między punktami, dla których zostało określone napięcie U_∞ znajdujemy, przyjmując, że współczynnik termoelektryczny dla złącza miedz - konstantan w zakresie temperatur od 15°C do 40°C wynosi $(40.9 \pm 0.2) \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

- 2) Dla pomiarów wykonanych dla kolejnych wartości mocy grzałki sporządzić wykresy zależności różnicy temperatur $\Delta T_i = T_0 - T_i$ od odległości złącza „0” i „i”.
Do punktów doświadczalnych dopasować prostą.
Współczynnik kierunkowy tej prostej jest równy (wziętemu ze znakiem minus) gradientowi temperatury, jaki ustalił się w pręcie dla danej wartości mocy grzałki.
- 3) Sporządzić wykres zależności mocy dostarczanej do pręta (ηP) od gradientu temperatury ($\partial T/\partial x$) w stanie stacjonarnym.
Dopasować przebieg opisany przez prawo Fouriera

$$\eta P + P_0 = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}$$

4

(4)

gdzie

$\eta = (49 \pm 5)\%$ - sprawność grzałki,

P_0 – moc dostarczana do pręta (z otoczenia) przy wyłączonej grzałce.

- 4) Znając współczynnik kierunkowy prostej (4) obliczyć współczynnik przewodnictwa cieplnego miedzi i jego niepewność.
Porównać otrzymany wynik z danymi tablicowymi

Analiza niepewności pomiarowych

Wyznaczając niepewności mierzonych wielkości należy uwzględnić, że:

- błąd pomiaru napięcia mikrowoltomierzem NI-9211 wynosi $\pm(0.1\% + 5 \mu\text{V})$,
- błąd pomiaru napięcia (miernik CHY 38) zasilającego grzałkę wynosi $\pm(0.5\% \text{ odczytu} + 1 \text{ cyfra})$.
- błąd pomiaru natężenia prądu (miernik CHY 38) płynącego przez grzałkę wynosi $\pm(1\% \text{ odczytu} + 1 \text{ cyfra})$.
- odległości pomiędzy złączem „0” i kolejnymi złączami zostały zmierzone z dokładnością do $\pm 0.5 \text{ mm}$.

Literatura

[1] Sz. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. II, PWN 1964.

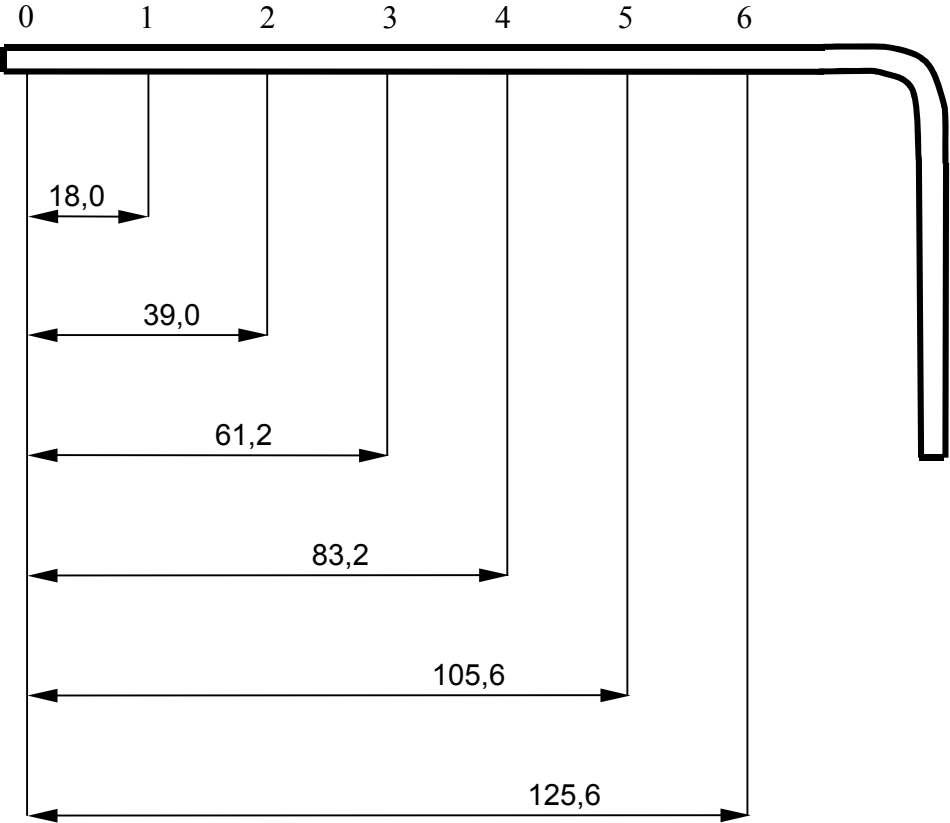
[2] F. Kaczmarek, II Pracownia fizyczna, PWN 1976.

[3] C. Kittel, Wstęp do fizyki ciała stałego, PWN 1974.

[4] http://pe.fuw.edu.pl/fizelektr/pliki/instr_microVolt.pdf

Schemat rozmieszczenia termopar na pręcie – Zestaw 28A

Wszystkie wymiary na rysunku podane są w milimetrach.
Wszystkie wymiary podane na rysunku zostały zmierzone z błędem 0.5 mm.



Schemat rozmieszczenia termopar na pręcie – Zestaw 28B

Wszystkie wymiary na rysunku podane są w milimetrach.
Wszystkie wymiary podane na rysunku zostały zmierzone z błędem 0.5 mm.

