

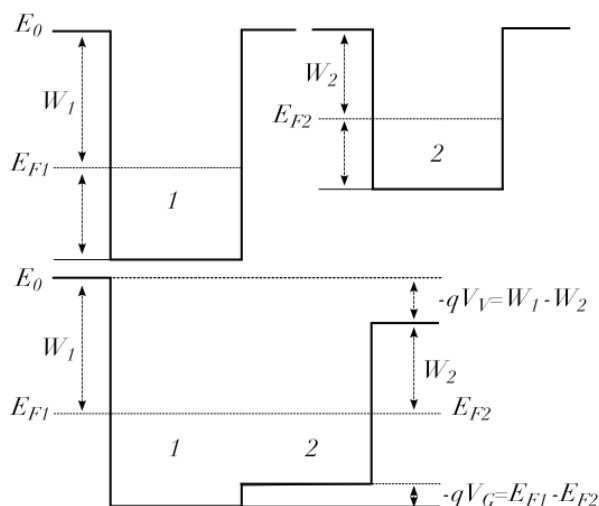
P1-F5. Badanie zjawiska Peltiera

Zagadnienia

Struktura pasmowa półprzewodnika. Praca wyjścia. Poziomy Fermiego. Kontaktowa różnica potencjałów, wewnętrzna i zewnętrzna. Zjawisko Seebecka. Zjawisko Peltiera.

1 Wprowadzenie

Na rys. 1 przedstawiono schematycznie sytuację energetyczną elektronów w dwóch metalach, o różnych położeniach energii (poziomu) Fermiego ($E_{F1} \neq E_{F2}$) i pracach wyjścia ($W_1 \neq W_2$). Gdy te ośrodki zostaną zbliżone do siebie na taką odległość, by mogła nastąpić wymiana nośników między nimi, układ będzie dążyć do stanu równowagi, w którym wyrównują się poziomy Fermiego mierzone względem poziomu próżni E_0 . Jeżeli sytuacja jest taka, jak na rys. 1, w metalu 2 część elektronów posiada energie wyższe niż



Rys. 1: Dwa metale o różnych pracach wyjścia W_1 i W_2 i różnych poziomach Fermiego E_1 i E_2

poziomy Fermiego w metalu 1, więc następuje dyfuzja elektronów z metalu 2 do metalu 1. Metal 1 ładuje się ujemnie, a metal 2 - dodatnio, i na złączu wytwarza się równowagowa kontaktowa różnica potencjałów, zwana *zewnętrznym napięciem kontaktowym* lub *napięciem Volty*, proporcjonalnym do różnicy prac wyjścia [1]

$$V_V = -\frac{1}{q} (W_1 - W_2), \quad (1)$$

gdzie q jest wartością bezwzględną ładunku elektronu. Z kolei różnica potencjałów wynikająca z różnicy poziomów Fermiego (która jest wyznaczana względem dna studni potencjału) nazywa się *wewnętrznym napięciem kontaktowym* lub *napięciem Galvaniego*

$$V_G = -\frac{1}{q} (E_{F1} - E_{F2}). \quad (2)$$

Przyczyną występowania zjawisk termoelektrycznych na złączu dwóch materiałów przewodzących, o różnych pracach wyjścia i położeniach poziomów Fermiego, jest zależność energii Fermiego od temperatury

$$E_F(T) = E_F^0 \left[1 - \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{kT}{E_F^0} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

1.1 Zjawisko Seebecka

Napięcie Galvaniego jest funkcją temperatury na mocy zależności (3)

$$V_G = -\frac{1}{q}(E_{F1}^0 - E_{F2}^0) + \frac{\pi^2 k^2 T^2}{12q} \left(\frac{1}{E_{F1}^0} - \frac{1}{E_{F2}^0} \right). \quad (4)$$

Umieszczenie spojenia w temperaturze $T_A \neq T_B$ powoduje podniesienie temperatury spojenia o $\Delta T = T_B - T_A$ i wzrost wewnętrznej kontaktowej różnicy potencjałów o

$$\Delta U = V_{GB} - V_{GA} = \frac{\pi^2 k^2}{12q} \left(\frac{1}{E_{F1}^0} - \frac{1}{E_{F2}^0} \right) (T_B^2 - T_A^2). \quad (5)$$

Jeżeli przyjmie się $T_A = T$, wówczas $T_B = \Delta T + T$

$$T_B^2 - T_A^2 = (T_B - T_A)(T_B + T_A) = \Delta T(T_B + T_A) = \quad (6)$$

$$= \Delta T(\Delta T + 2T) = \Delta T^2 + 2T\Delta T \cong 2T\Delta T \quad (7)$$

co jest prawdą gdy ΔT^2 jest wielkością niewielką w porównaniu z T . Zatem kontaktowa różnica potencjałów na złączu utrzymywanym w temperaturze $T + \Delta T$ jest proporcjonalne do ΔT

$$\Delta U = \frac{\pi^2 k^2 T}{6q} \left(\frac{1}{E_{F1}^0} - \frac{1}{E_{F2}^0} \right) \Delta T. \quad (8)$$

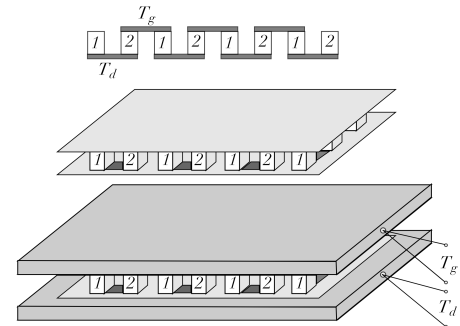
Utworzenie obwodu elektrycznego, złożonego z dwóch (pół)przewodników (i dwóch ścisłych spojeń tych (pół)przewodników) i umieszczenie jednego ze spojeń w innej temperaturze $T_A \neq T_B$ spowoduje powstanie w obwodzie różnicy potencjałów (siły elektromotorycznej)

$$U_{AB} = V_A - V_B = \frac{\pi^2 k^2}{12q} \left(\frac{1}{E_{F1}^0} - \frac{1}{E_{F2}^0} \right) (T_A^2 - T_B^2). \quad (9)$$

Efekt ten nazywa się *zjawiskiem Seebecka* [2].

1.2 Zjawisko Peltiera

Podczas przepływu prądu elektrycznego przez spojenie dwóch różnych półprzewodników (lub przewodników) obserwuje się emisję ciepła (ogrzewanie złącza) lub pobieranie ciepła z sieci krystalicznej (ochładzanie złącza). Wymiana ciepła z otoczeniem, oparta o zjawisko termoelektryczne, została zaobserwowana w 1834 roku przez francuskiego fizyka Jean Charles Athanase Peltier'a i jest wykorzystywana w elementach elektrycznych, zwanych *elementami Peltiera*, służących do budowy układów chłodzących i stabilizujących temperaturę w różnych zastosowaniach technicznych.



Rys. 2: Konstrukcja elementu Peltiera

Ilość ciepła pobieranego lub wydzielanego na złączu w czasie t , podczas przepływu przez niego prądu o natężeniu i , jest proporcjonalna do ładunku q , który przepływa przez złącze

$$Q = \Pi q = \int_0^t \Pi i dt,$$

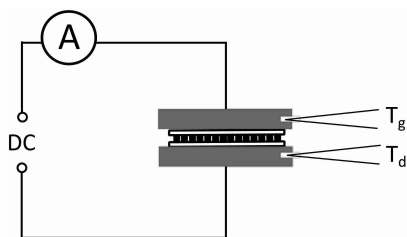
gdzie Π jest złożoną stałą materiałową zależną od właściwości elektronowych materiałów tworzących złącze. Ciepło Peltiera zależy liniowo od natężenia prądu i może być wydzielane lub pochłaniane w zależności od kierunku przepływającego prądu. W przypadku materiałów o jednakowym przewodnictwie (elektronowym, lub dziuowym), zjawisko Peltiera jest spowodowane różnicą energii nośników w tych materiałach, liczoną względem dna studni potencjału (1). Jeśli nośnik pod wpływem przyłożonego napięcia porusza się przez złącze w stronę obszaru, w którym jego energia względem dna studni potencjału będzie mniejsza, wówczas nadmiar energii przekaże do sieci krystalicznej i takie złącze się ogrzeje [3].

Konstrukcję elementu Peltiera przedstawia rys. 2. Element składa się z półprzewodnika typu n (1) i półprzewodnika typu p (2), połączonych elementami miedzianymi szeregowo w taki sposób, że złącza 1-2 znajdują się z jednej strony, a złącza 2-1 z drugiej strony elementu. Całość jest przykryta z obu stron płytkami ceramicznymi. Przy wymuszeniu przepływu prądu przez taki układ, jedna strona elementu zyskuje temperaturę T_g , a druga temperaturę T_d .

Czułość danego modułu Peltiera (Λ) jest definiowana jako współczynnik proporcjonalności między różnicą temperatur powierzchni elementu a prądem przez niego przepływającym

$$\Delta T = T_g - T_d = \Lambda i.$$

2 Układ pomiarowy



Rys. 3: Schemat układu pomiarowego

W układzie pomiarowym element Peltiera umieszczony jest między dwiema grubymi płytkami aluminiowymi. W płytkach nawiercono otwory, w których umieszczono czujniki temperatury T_d i T_g . Element jest szeregowo połączony z zasilaczem prądu stałego i amperomierzem. Po włączeniu prądu w obwodzie, efekt Peltiera zachodzi natychmiast, jednak zanim w układzie ustali się stan równowagi termicznej, konieczne jest odczekanie odpowiedniego czasu (około 7-10 minut). Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika czułości elementu Peltiera czyli wielkości która charakteryzuje osiąganą przez element różnicę temperatur ΔT , przypadającą na 1 A przepływającego prądu.

3 Pomiary

1. Połączyć układ według schematu przedstawionego na rys. 3.
2. Ustawić natężenie prądu 0.5 A i odczekać odpowiednią ilość czasu do stabilizacji temperatury w płytkach aluminiowych.
3. Zanotować temperatury w płytkach aluminiowych.
4. Powtórzyć czynności z krokiem 0.5 A aż do 3 A.
5. Odwrócić polaryzację źródła prądowego.
6. Dla natężeń prądu od 0 do - 3 A co 0.5 A notować temperatury w płytkach aluminiowych.

Tab. 1: Wzór tabeli pomiarowej

| Lp. | I , A | $u(I)$, A | $T_d, ^\circ\text{C}$ | $T_g, ^\circ\text{C}$ | ΔT , K | $u(\Delta T)$, K |
|-----|---------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |

4 Opracowanie wyników pomiarów

1. Dla każdego natężenia prądu obliczyć różnicę temperatur ΔT wygenerowaną przez element Peltiera i wyrazić ją w kelwinach.
2. Na podstawie informacji o niepewności pomiaru temperatur T_g i T_d , korzystając z prawa przenoszenia niepewności, obliczyć niepewność wyznaczenia ΔT .
3. Wyznaczyć niepewności wszystkich pomiarów natężenia prądu I .
4. Sporządzić wykres $\Delta T = f(I)$.
5. Na wykresie zaznaczyć słupki niepewności naniesionych punktów pomiarowych.
6. Metodą regresji liniowej wyznaczyć współczynniki otrzymanej prostej i zapisać je w poprawnym formacie wraz z jednostkami.
7. Czułość modułu Peltiera to współczynnik nachylenia prostej. Jaka jest różnica temperatur na module Peltiera, przypadająca na 1 A płynącego przez niego prądu?

Literatura

- [1] S Szczeniowski. *Fizyka doświadczalna. Część III Elektryczność i magnetyzm*. PWN, 1980.
- [2] Z Kleszczewski. *Podstawy fizyczne elektroniki ciała stałego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2000.
- [3] J Bodzenta. *Wykłady z fizyki*. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, 2009.