

Wyznaczanie zależności przewodnictwa od temperatury dla półprzewodników i przewodników - doświadczenie 203 (sala 217A)

Sebastian Maciejewski 132275 i Jan Techner 132332

8 grudnia 2017

1 Wstęp teoretyczny

Przewodnictwo właściwe materiałów zależy od temperatury. Dla metali (przewodników) spada przy wzroście temperatury ze względu na spadek ruchliwości nośników. W przypadku półprzewodnika samoistnego zdolność przewodzenia prądu rośnie wykładniczo przy wzroście temperatury. Dzieje się tak, gdyż rośnie koncentracja nośników. Ruchliwość spada podobnie jak w metalach, zmiany te są jednak niewielkie w porównaniu ze zmianami koncentracji.

Takie właściwości półprzewodnika wynikają z tego, iż nośnikami prądu są w nim elektrony w paśmie przewodnictwa i dziury w paśmie walencyjnym. Elektrony są dostarczane do pasma przewodnictwa z pasma walencyjnego (w półprzewodnikach samoistnych) lub z poziomów domieszkowych (w półprzewodnikach domieszkowanych). Dziury natomiast powstają w paśmie walencyjnym po przejściu elektronu do pasma przewodnictwa.

Liczba elektronów przechodzących na wyższy poziom energetyczny zależy wykładniczo min. od temperatury i wyraża się (dla półprzewodników samoistnych) wzorem:

$$n = n_{0s} e^{\frac{E_g}{2kT}} \quad (1)$$

gdzie E_g to szerokość pasma zabronionego, k to stała Boltzmanna a T temperatura.

Opis doświadczenia

Wykonywane przez nas doświadczenie polega na pomiarze rezystancji przewodnika i półprzewodnika umieszczonych w metalowym bloczku w miarę wzrostu temperatury. Układ podgrzewany jest do temperatury około 85°C , dzięki zwiększaniu napięcia prądu płynącego przez przewodnik i półprzewodnik, a następnie chłodzony za pomocą wentylatora do temperatury bliskiej 25°C . Odczyt temperatury dokonywany jest przy pomocy termometru, zaś rezystancja mierzona jest przy pomocy dwóch multimetrów.

2 Wyniki pomiarów

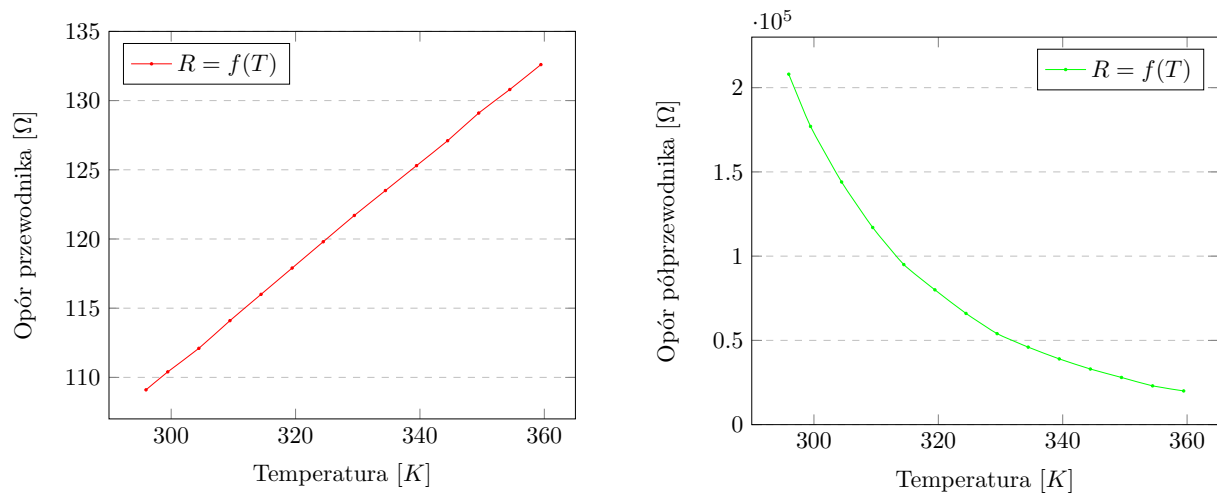
Dokładność pomiaru temperatury to $0,1^{\circ}\text{C}$ a dokładność pomiaru rezystancji jest różna w zależności od multimetru - dla półprzewodnika wynosi ona $0,1\text{k}\Omega$ zaś dla przewodnika $0,1\Omega$.

Dla ogrzewania i chłodzenia przewodnika i półprzewodnika otrzymaliśmy następujące odczyty oporu:

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Opór półprzewodnika [$\text{k}\Omega$]	Opór przewodnika [Ω]
22,8	208,0	109,1
26,3	177,0	110,4
31,3	144,0	112,1
36,3	117,0	114,1
41,3	95,0	116,0
46,3	80,1	117,9
51,3	66,5	119,8
56,3	54,7	121,7
61,3	46,4	123,5
66,3	39,2	125,3
71,3	33,0	127,1
76,3	28,0	129,1
81,3	23,9	130,8
86,3	20,4	132,6
81,3	26,8	131,3
76,3	31,6	129,9
71,3	38,1	128,1
66,3	44,9	126,4
61,3	52,7	124,6
56,3	61,2	122,9
51,3	73,4	120,7
46,3	87,0	118,6
41,3	103,6	116,6
36,3	124,7	114,6
31,3	149,9	112,5
26,3	181,6	110,5
24,9	191,7	109,9

3 Opracowanie wyników

Poniższe wykresy przedstawiają zależności zmierzonych wartości oporu przewodnika i półprzewodnika od temperatury:

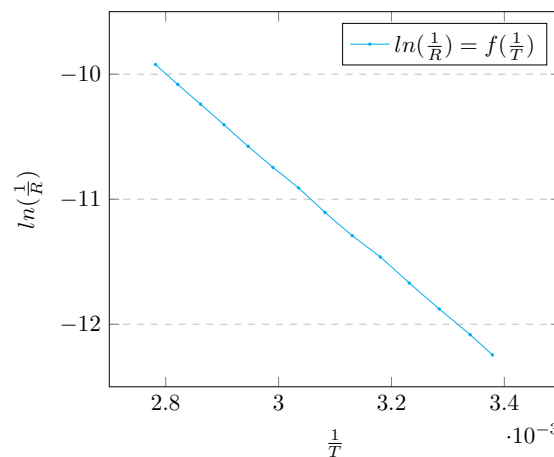


Rysunek 1: Zależność oporu przewodnika i półprzewodnika od temperatury

W tabeli poniżej znajdują się wartości zmierzonej temperatury (w kelwinach), jej odwrotności oraz logarytm naturalny odwrotności oporu półprzewodnika w danej temperaturze:

$T(K)$	$1/T$	$\ln(1/R)$
295,95	0,00337895	-12,24529336
299,45	0,00333946	-12,08390501
304,45	0,00328461	-11,87756858
309,45	0,00323154	-11,66992921
314,45	0,00318016	-11,46163217
319,45	0,00313038	-11,29103113
324,45	0,00308214	-11,10495723
329,45	0,00303536	-10,90961899
334,45	0,00298998	-10,74505474
339,45	0,00294594	-10,57643203
344,45	0,00290318	-10,40426284
349,45	0,00286164	-10,23995979
354,45	0,00282127	-10,08163374
359,45	0,00278203	-9,92329018

Wartości z tabeli przedstawione na wykresie:



Rysunek 2: Zależność logarytmu naturalnego odwrotności oporu półprzewodnika od odwrotności temperatury

Dla zależności:

$$\ln(1/R) = f(1/T) \quad (2)$$

wyliczymy teraz, korzystając z metody regresji liniowej, współczynnik nachylenia prostej. Przyjmujemy, że $\ln(1/R) = y$ i $1/T = x$. Posługując się poniższymi wzorami:

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{n} (\sum y_i - a \sum x_i) \quad (4)$$

wyznaczamy współczynnik a oraz punkt b przecięcia prostej z osią OY:

$$a = -3869,397 \left[\frac{K}{\Omega} \right] \quad (5)$$

$$b = 0.0004225 \quad (6)$$

Błąd wyznaczenia wielkości a :

$$\Delta a = \sqrt{\frac{n(\sum y_i^2 - a \sum x_i y_i - b \sum y_i)}{(n-2)(n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)}} = 2,60816$$

Następnie korzystając z równania:

$$a = \frac{E_A}{2k} \Rightarrow E_A = 2ak \quad (7)$$

obliczamy energię aktywacji E_A , która wynosi:

$$E_A = -1,068 * 10^{-19} \frac{J}{K} = -0,667 \frac{eV}{K}$$

Błąd wyznaczenia E_A wyznaczamy za pomocą różniczki logarytmicznej:

$$\Delta E_A = \left(\frac{\Delta a}{a} \right) E_A$$

co po podstawieniu odpowiednich wartości Δa , a i E_A daje nam:

$$\Delta E_A = 7,20 * 10^{-23} \left[\frac{J}{K} \right] = 0,0004495 \left[\frac{eV}{K} \right]$$

Zatem ostateczne wartości a i E_A wyglądają następująco:

	a	$E_A \left[\frac{J}{K} \right]$	$E_A \left[\frac{eV}{K} \right]$
pomiar	-3869,39702854943	$-1,068 * 10^{-19}$	-0,667
dokładność	2,60816	$7,20 * 10^{-23}$	0,0004495
po zaokrągleniu	$(-3869,4 \pm 2,6) \left[\frac{K}{\Omega} \right]$	$(-1,0680 \pm 0,0007) \frac{J}{K}$	$(-0,66700 \pm 0,00045) \frac{eV}{K}$

Tablica 1: Współczynnik nachylenia linii a i energia aktywacji E_A wraz z dokładnościami Δa i ΔE_A

Wnioski

Wyniki uzyskane w doświadczeniu (szczególnie wykresy) stanowią potwierdzenie zależności opisanych we wstępie teoretycznym. Rysunek 1. najlepiej obrazuje relację między wzrostem temperatury a rezystancją dla półprzewodnika i przewodnika, a porównanie występujących na nim wykresów ukazuje różny sposób reakcji na wzrost temperatury tych dwóch materiałów.