

Wyznaczanie zależności przewodnictwa od temperatury dla półprzewodników i przewodników

Student Seweryn Wasilewski
Nr Albumu 160128
Kierunek Informatyka
Wydział Wydział Informatyki i Teleinformatyki
Ćwiczenie 203

Wstęp teoretyczny

Prawo Ohma, przewodnictwo, koncentracja, ruchliwość, współczynnik temperaturowy oporu

- **Prawo Ohma:** Jest to podstawowa zasada w elektryczności, która opisuje zależność między napięciem U , prądem I i oporem R w obwodach elektrycznych. Formuła to:

$$I = \frac{U}{R}$$

Gdzie:

- I - natężenie prądu,
 - U - napięcie,
 - R - opór elektryczny.
- **Przewodnictwo:** Jest odwrotnością oporu i mierzy zdolność materiału do przewodzenia prądu. Zależy od rodzaju materiału i jego właściwości, takich jak koncentracja nośników ładunku.
 - **Koncentracja:** Jest to liczba nośników ładunku (elektronów lub dziur) na jednostkę objętości w danym materiale. W przypadku półprzewodników jest to liczba nośników w jednostce objętości, co ma bezpośredni wpływ na przewodnictwo elektryczne.
 - **Ruchliwość:** Jest to miara prędkości, z jaką nośniki ładunku (np. elektrony) poruszają się pod wpływem pola elektrycznego. Wartość ta zależy od materiału oraz warunków, w jakich materiał się znajduje.
 - **Współczynnik temperaturowy oporu:** Określa, jak zmienia się opór materiału w zależności od temperatury. W materiałach metalicznych opór zwykle rośnie z temperaturą, natomiast w półprzewodnikach opór maleje w miarę wzrostu temperatury.

Swobodne nośniki w półprzewodniku samoistnym i domieszkowym

- **Półprzewodnik samoistny:** To półprzewodnik, który nie zawiera żadnych zewnętrznych domieszek. W takim materiale nośnikami ładunku są elektrony w paśmie przewodnictwa oraz dziury w paśmie walencyjnym, które powstają, gdy elektrony przechodzą z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. W półprzewodniku samoistnym nośniki ładunku są generowane termicznie, czyli w wyniku wzrostu temperatury.
- **Półprzewodnik domieszkowy:** W takim półprzewodniku dodaje się małą ilość innych pierwiastków, aby zwiększyć koncentrację nośników ładunku. Domieszki mogą być typu n (dodatkowe elektrony) lub typu p (dodatkowe dziury). Domieszki zmieniają charakterystykę elektryczną materiału, zwiększając jego przewodnictwo.

Zależność przewodnictwa od temperatury

- **W metalach:** Przewodnictwo maleje wraz ze wzrostem temperatury. Dzieje się tak, ponieważ wzrost temperatury powoduje większe drgania sieci krystalicznej, które utrudniają poruszanie się elektronów.
- **W półprzewodnikach:** Przewodnictwo rośnie ze wzrostem temperatury, ponieważ wyższa temperatura powoduje większą liczbę elektronów przechodzących z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa, co zwiększa liczbę dostępnych nośników ładunku.

Mostek Wheatstone'a

Mostek Wheatstone'a to układ elektryczny służący do pomiaru nieznanego oporu. Składa się z czterech rezystorów ułożonych w kształcie prostokąta, w którym jeden z rezystorów jest nieznan. Układ ten jest używany głównie w precyzyjnych pomiarach oporu. W mostku Wheatstone'a układ jest w równowadze, gdy stosunek oporów w dwóch gałęziach mostka jest równy stosunkowi oporów w pozostałych dwóch gałęziach. Wówczas napięcie na wyjściu mostka wynosi zero, a nieznan opór można obliczyć.

Obliczanie położenia poziomu domieszki lub szerokości przerwy zabronionej, elektronowolt

- **Poziom domieszki:** W półprzewodnikach domieszkowych, poziom domieszki to energia odpowiadająca energii, jaką muszą mieć elektrony, aby przejść z poziomu domieszki do pasma przewodnictwa. Obliczenie położenia poziomu domieszki wymaga znajomości rodzaju domieszki (typ n lub p) oraz jej poziomu energetycznego w stosunku do pasma walencyjnego lub przewodnictwa.
- **Szerokość przerwy zabronionej (bandgap):** Jest to różnica energii między pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa w półprzewodniku. Im szersza przerwa zabroniona, tym trudniej jest nośnikom ładunku przejść do pasma przewodnictwa. Szerokość przerwy zabronionej zależy od materiału i temperatury. Można ją obliczyć, znając właściwości materiału i temperaturę.
- **Elektronowolt (eV):** Jest to jednostka energii, która jest równoważna energii, jaką elektron uzyskuje, przechodząc przez różnicę potencjałów 1 wolt. Jest szeroko stosowana w fizyce ciał stałych i półprzewodnikach do opisywania energii elektronów oraz innych cząsteczek.

Pomiary

Temperatura [°C]	$R_s(t)$ [$M\Omega$]	$R_c(t)$ [Ω]
30,8	0,147	112,1
35,2	0,12	113,5
39,9	0,99	115,3
45,1	0,81	117,2
51,5	0,64	119,6
55,7	0,55	121,2
59,6	0,48	122,7
66,2	0,38	125,2
71,2	0,32	127,1
75,9	0,28	128,7
80,3	0,24	130,4
84,7	0,21	131,9
91,5	0,17	134,5

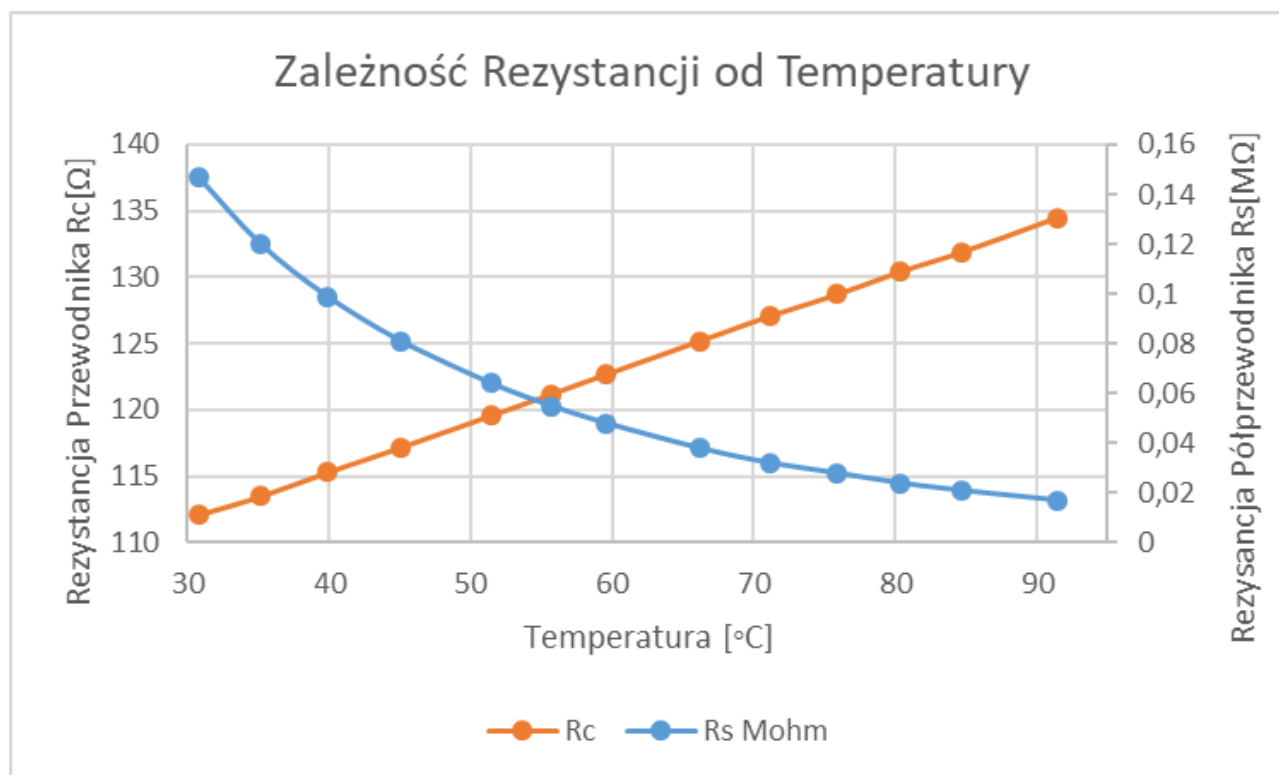
Tabela 1: Wyniki pomiarów

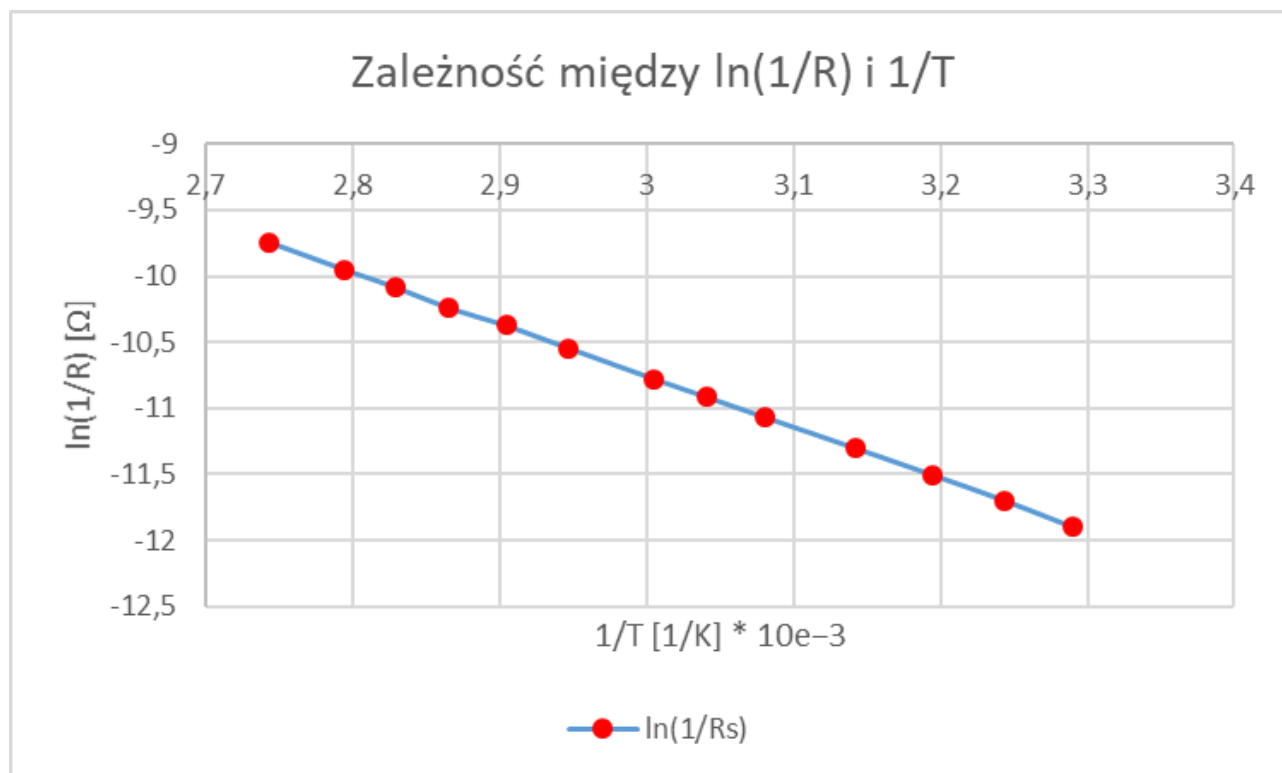
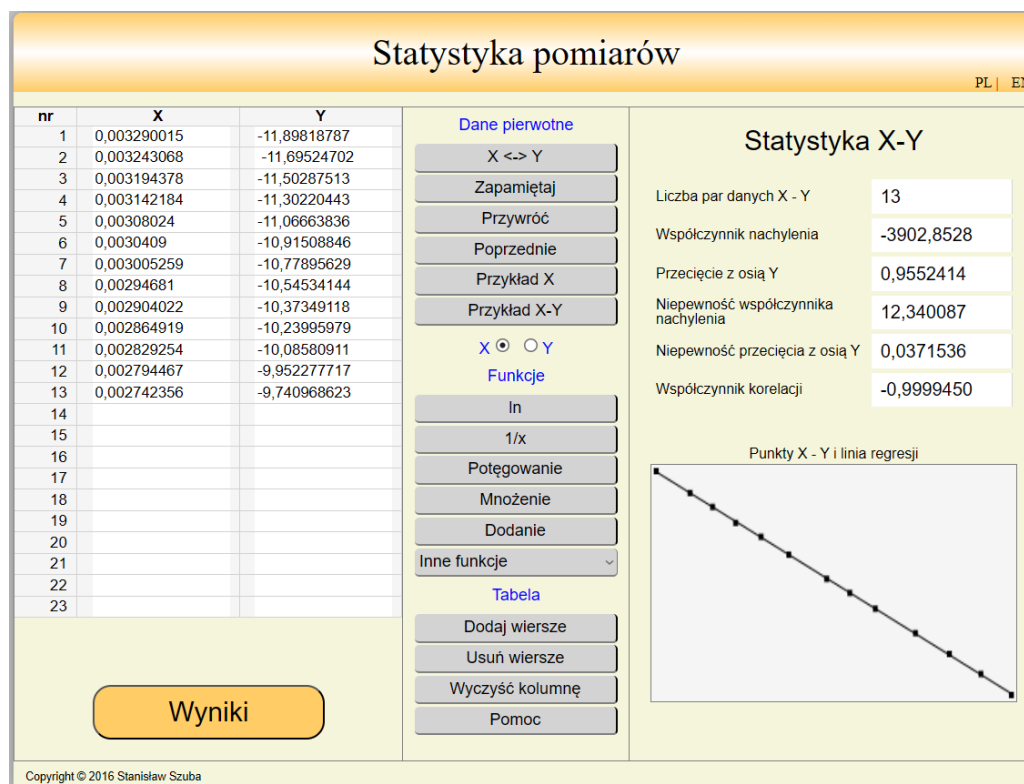
Obliczenia

$t [^{\circ}\text{C}]$	$R_s [M\Omega]$	$R_s [\Omega]$	$\ln(1/R_s)$	$t [K]$	$1/T$
30,8	0,147	147000	-11,90	303,95	3,29
35,2	0,12	120000	-11,70	308,35	3,24
39,9	0,099	990000	-11,50	313,05	3,19
45,1	0,081	810000	-11,30	318,25	3,14
51,5	0,064	640000	-11,07	324,65	3,08
55,7	0,055	550000	-10,92	328,85	3,04
59,6	0,048	480000	-10,78	332,75	3,00
66,2	0,038	380000	-10,55	339,35	2,95
71,2	0,032	320000	-10,37	344,35	2,90
75,9	0,028	280000	-10,24	349,05	2,86
80,3	0,024	240000	-10,09	353,45	2,83
84,7	0,021	210000	-9,95	357,85	2,79
91,5	0,017	170	-9,74	364,65	2,74

Tabela 2: Wyniki wyliczeń dla $\ln(1/R_s)$ oraz $1/T$

Wykresy

Rysunek 1: Wykres Zależności $f(T) = R_s$ oraz $f(T) = R_c$

Rysunek 2: Wykres Zależności $f(1/T) = \ln(1/R_s)$ Rysunek 3: Statystyka pomiarów dla funkcji: $f(1/T) = \ln(1/R_s)$ wykonana w oparciu o narzędzia ofeowane na stronie: <https://ipf.put.poznan.pl/applications/states/index.php>

Przykładowe Obliczenia

$$30.8[^\circ\text{C}] = 30 + 273.15 = 303.95[\text{K}]$$

$$\frac{1}{303.95[\text{K}]} = 0,00329\left[\frac{1}{\text{K}}\right]$$

$$\ln\left(\frac{1}{147000}\right) = -11,8982 \approx -11,90$$

Wyznaczanie Energii Aktywacji

Energia aktywacji E_A może być obliczona przy użyciu równania 25.14:

$$E_A = a \cdot \frac{1}{k}$$

W przypadku, gdy dane pochodzą z $\ln(k)$ względem $\frac{1}{T}$, to:

$$a = -E_A$$

Przekształcając je względem E_A , otrzymujemy:

$$E_A = -a \cdot k$$

Dane wejściowe do obliczeń:

$$a = -3902,8528,$$

$$k = 1.380622 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Obliczenia: Podstawiając wartości a oraz k do wzoru:

$$E_A = -(-3898.8195) \cdot 1.380622 \cdot 10^{-23} \text{ J}.$$

Konwersja na elektronowolty:

Aby wyrazić energię E_A w elektronowoltach, wykorzystujemy przelicznik:

$$1 \text{ J} = 1.602189 \cdot 10^{-19} \text{ eV}.$$

Zatem:

$$E_A = 5,388 \cdot 10^{-20} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1.602189 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$E_A \approx 0.336 \text{ eV}.$$

Wynik końcowy: Ostatecznie energia aktywacji E_A wynosi:

$$E_A = 0.336 \text{ eV}.$$

Obliczyć błąd E_A metodą różniczki zupełnej

Dane wejściowe:

$$a = -3902.8528,$$

$$\Delta a = 12.340087,$$

$$k = 1.380622 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}},$$

$$\Delta k = 10^{-26} \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Równanie na E_A :

$$E_A = -a \cdot k$$

Różniczka zupełna dla E_A :

$$\Delta E_A = \left| \frac{\partial E_A}{\partial a} \cdot \Delta a \right| + \left| \frac{\partial E_A}{\partial k} \cdot \Delta k \right|$$

Pochodne:

$$\frac{\partial E_A}{\partial a} = -k, \quad \frac{\partial E_A}{\partial k} = -a.$$

Podstawiamy pochodne do wzoru na różniczkę zupełną:

$$\Delta E_A = |-k \cdot \Delta a| + |-a \cdot \Delta k|$$

Obliczenia:

$$|-k \cdot \Delta a| = (1.380622 \cdot 10^{-23}) \cdot 12,340087 = 1,7037 \cdot 10^{-22},$$

$$|-a \cdot \Delta k| = (-3902.8528) \cdot 10^{-26} = 3.90285 \cdot 10^{-23}.$$

Wynik końcowy:

$$\Delta E_A = 1,7037 \cdot 10^{-22} + 3.90285 \cdot 10^{-23} = 2,09398 \cdot 10^{-22} \text{ J.}$$

Wynik końcowy dla błędu ΔE_A w elektronowoltach:

$$\Delta E_A \approx 0,00131 \text{ eV.}$$

Wnioski

Wyznaczona energia aktywacji dla badanego materiału wynosi około $E_A \approx 5,38 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ lub $E_A \approx 0,336 \text{ eV}$. Przeprowadzone analizy potwierdzają, że uzyskane wartości są zgodne z oczekiwanymi dla przewodników lub półprzewodników w zadanych warunkach temperaturowych. Oszacowany błąd, obliczony metodą różniczki zupełnej, wynosi $\Delta E_A \approx 2,09 \cdot 10^{-22} \text{ J}$ (lub $0,0013 \text{ eV}$). Jest on na tyle niewielki, że pozwala uznać wyniki za wiarygodne. Uwzględnienie błędów pomiarowych umożliwiło precyzyjniejsze określenie wartości energii aktywacji. Wyznaczenie tej energii pozwala lepiej zrozumieć, jak temperatura wpływa na przewodnictwo materiału, co jest istotne przy doborze przewodników lub półprzewodników do konkretnych zastosowań. Wyniki mogą również posłużyć do porównań z teoretycznymi modelami oraz innymi badaniami, co umożliwia ocenę jakości materiału jako przewodnika lub półprzewodnika.

$$E_A = (33,6 \pm 0,13) \cdot 10^{-2} \text{ eV}$$

Bibliografia

- Krzysztof Łapsa, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008