



Politechnika Wrocławska

Fizyka 3.1 Pomiar zależności oporu metali i półprzewodników od temperatury (ćwiczenie 44a)

Sprawozdanie z Laboratorium

23 października 2023

Wydział i kierunek studiów W12N, Automatyka i Robotyka
Termin zajęć każdy wtorek, 15:15 - 16:55
Prowadzący dr Krzysztof Gałkowski
Numer i temat ćwiczenia 44a Pomiar zależności oporu metali i półprzewodników od temperatury
Data ćwiczenia, termin oddania sprawozdania 17.10.2023, 24.10.2023
Skład grupy Adam Prystupa, Jakub Wilczyński

1 Cel ćwiczenia

- Pomiar oporu elektrycznego metalu i półprzewodnika w funkcji temperatury.
- Wyznaczenie temperaturowego współczynnika oporu (rezystancji) metalu.
- Wyznaczenie szerokości pasma wzbronionego półprzewodnika (tzw. przerwy wzbronionej).

1.1 Opis wykonania ćwiczenia

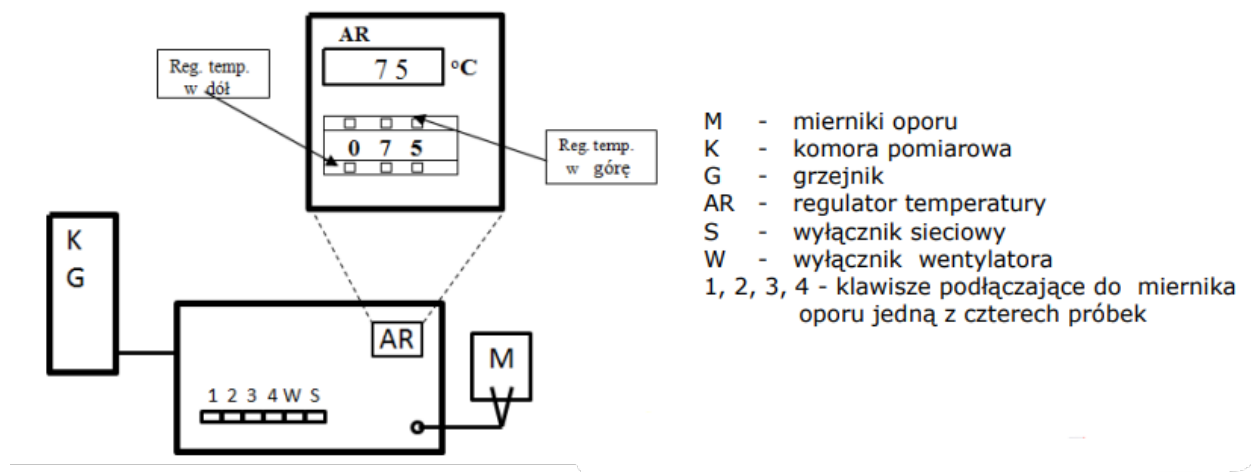
Ćwiczenie polegało na:

1. Podłączeniu układu pomiarowego.
2. Zmierzeniu rezystancji próbek w temperaturze pokojowej.
3. Rozgrzanie próbek do $100^{\circ}C$.
4. Stopniowe schładzanie próbek i wykonywanie pomiarów co $5^{\circ}C$.
5. Opracowanie wyników (na podstawie dwóch wybranych próbek).

1.2 Przedstawienie układu pomiarowego i narzędzi pomiarowych wraz z ich dokładnością.

Pomiary, których wyniki wykorzystano do obliczeń w dalszej części sprawozdania, zostały dokonane w układzie pomiarowym przedstawionym na poniższym rysunku.

Jako niepewność temperatury przyjęliśmy dla wartości dużych $0,2^{\circ}\text{C}$ biorąc pod uwagę dokładność miernika temperatury czyli jego rozdzielczość tj. $0,1^{\circ}\text{C}$ plus błąd mierzącego również $0,1^{\circ}\text{C}$ ze względu na nieliniowość zmiany temperatury i jej szybką zmianę dla większych wartości. Dla mniejszych temperatur ze względu na bardzo powolną zmianę jako niepewność przyjęliśmy tylko $0,1^{\circ}\text{C}$ gdyż powolna zmiana pozwalała na wyeliminowanie błędu związanego z ludzką reakcją.



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego.

Rezystancja M-3850, M-3860D	400 Ω 4 kΩ 40 kΩ 400 kΩ 4 MΩ	± 0,5 % rdg + 1 dgt	0,1 Ω 1 Ω 10 Ω 100 Ω 1 kΩ
	40 MΩ		± 1,0 % rdg + 2 dgt 10 kΩ

Rysunek 2: Dokładność miernika METEX M-3850

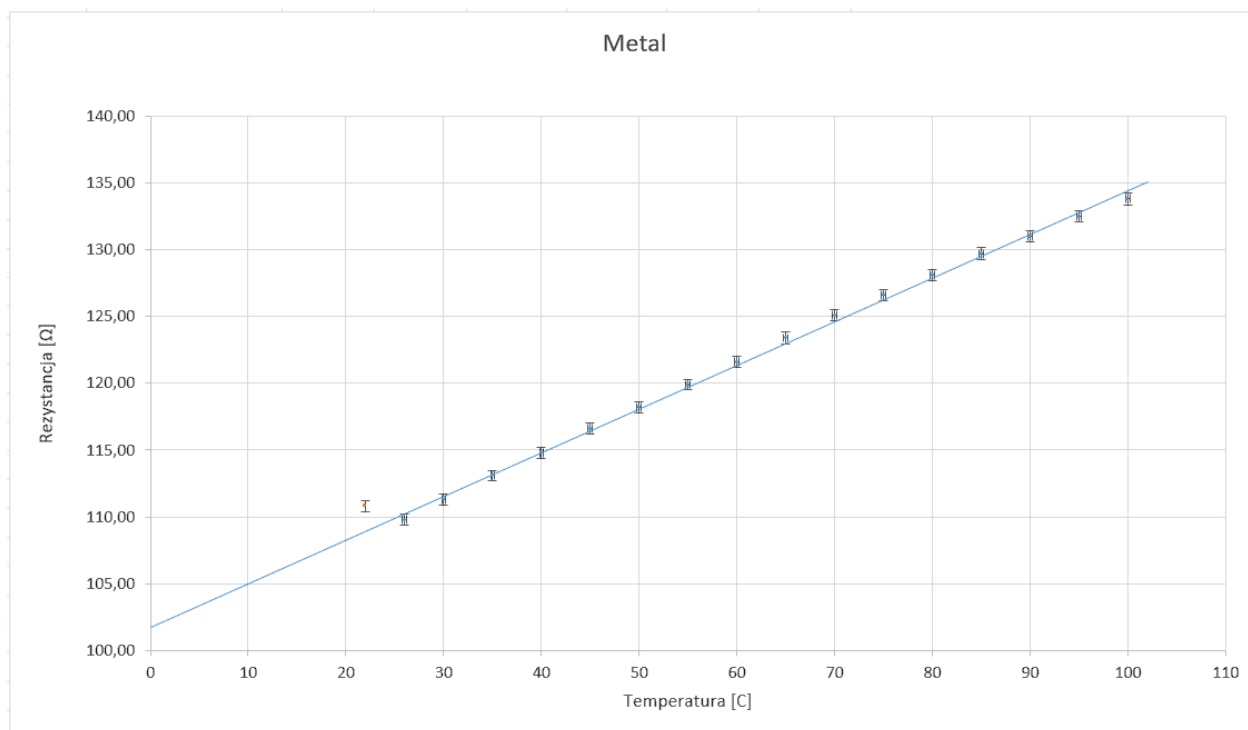
2 Opracowanie wyników

2.1 Metal (próbka nr.3)

Pewność tego, że mamy w tym przypadku z metalem jest uzasadniona znanymi nam właściwościami rezystancji w metalach gdzie wraz ze wzrostem temperatury ona również rośnie.

Rysunek 3: Tabela zbiorcza pomiarów i obliczeń dla metalu.

Lp.	t	R _m	u(t)	u(R _m)	a	u(a)	b	u(b)	α	u(α)
	°C	Ω	°C	Ω	Ω/°C	Ω/°C	Ω	Ω	°C ⁻¹	°C ⁻¹
1	100	133,80	0,2	0,45	0,3268	0,0036	101,77	0,24	0,003211	0,000037
2	95	132,50	0,2	0,45						
3	90	131,00	0,2	0,44						
4	85	129,70	0,2	0,44						
5	80	128,10	0,2	0,43						
6	75	126,60	0,2	0,43						
7	70	125,10	0,2	0,42						
8	65	123,40	0,2	0,42						
9	60	121,60	0,2	0,41						
10	55	119,90	0,2	0,41						
11	50	118,20	0,2	0,40						
12	45	116,60	0,1	0,40						
13	40	114,80	0,1	0,39						
14	35	113,10	0,1	0,39						
15	30	111,30	0,1	0,38						
16	26	109,80	0,1	0,38						



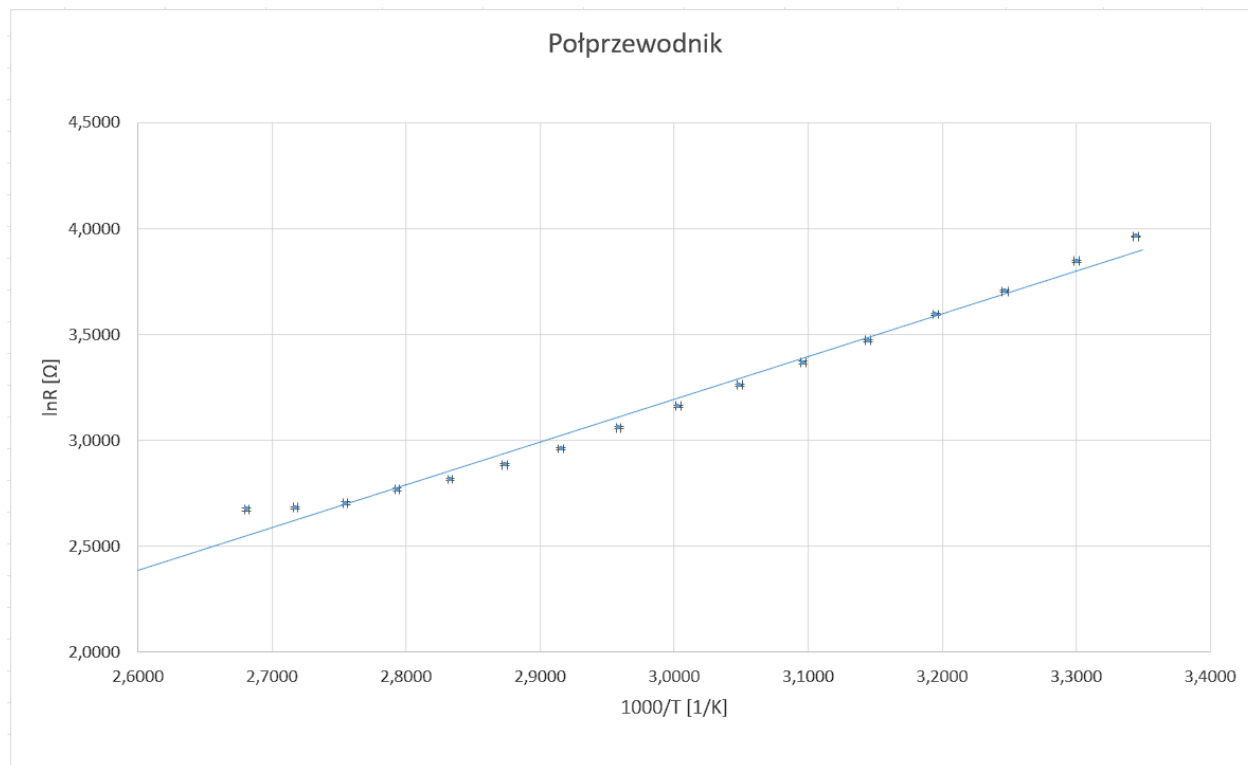
Rysunek 4: Wykres zależności rezystancji od temperatury dla metalu

2.2 Półprzewodnik (próbka nr.2)

Pewność tego, że mamy w tym przypadku z półprzewodnikiem jest uzasadniona znanymi nam właściwościami rezystancji w półprzewodnikach gdzie wraz ze wzrostem temperatury rezystancja maleje.

Rysunek 5: Tabela zbiorcza pomiarów i obliczeń dla półprzewodnika.

Lp.	T(K)	1000/T	u(1000/T)	ln(R)	u(ln(R))	A	u(a)	E _g	u(E _g)	E _g	u(E _g)
	[K]	[1/K]	[1/K]	[-]	[-]	K	K	J	J	eV	eV
1	373	2,6810	0,0015	2,6741	0,0069	2,025	0,066	5,591E-20	1,90E-21	0,349	0,012
2	368	2,7174	0,0015	2,6810	0,0069						
3	363	2,7548	0,0016	2,7014	0,0074						
4	358	2,7933	0,0016	2,7663	0,0070						
5	353	2,8329	0,0017	2,8154	0,0066						
6	348	2,8736	0,0017	2,8848	0,0062						
7	343	2,9155	0,0017	2,9601	0,0063						
8	338	2,9586	0,0018	3,0587	0,0057						
9	333	3,0030	0,0019	3,1612	0,0056						
10	328	3,0488	0,0019	3,2619	0,0054						
11	323	3,0960	0,0020	3,3673	0,0052						
12	318	3,1447	0,0020	3,4720	0,0050						
13	313	3,1949	0,0021	3,5946	0,0047						
14	308	3,2468	0,0022	3,7038	0,0045						
15	303	3,3003	0,0022	3,8459	0,0043						
16	299	3,3445	0,0023	3,9627	0,0040						



Rysunek 6: Wykres zależności $\ln R = f\left(\frac{1000}{T}\right)$

3 Użyte wzory i przykładowe obliczenia.

Współczynniki a i b oraz A prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych zostały wyznaczone za pomocą regresji liniowej. W tym przypadku wykorzystaliśmy funkcję wbudowaną programu Microsoft Excel pod nazwą REGLINP.

3.1 Niepewność standardowa pomiaru rezystancji.

$$\Delta R = 0,5\%rdg + 1dgt$$

$$u(R) = \frac{\Delta R}{\sqrt{3}} = \frac{0,005 \cdot 133,8 + 0,1}{\sqrt{3}} \approx 0,443982357 \approx 0,45\Omega$$

3.2 Temperaturowy współczynnik rezystancji

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{0,3268}{101,77} \approx 0,003212 \frac{1}{^{\circ}C}$$

3.3 Niepewność złożona temperaturowego współczynnika rezystancji

$$u_c(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial a}\right)^2 \cdot u^2(a) + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial b}\right)^2 \cdot u^2(b)} = \sqrt{\left(\frac{1}{b} \cdot u(a)\right)^2 + \left(\frac{-a}{b^2} \cdot u(b)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{101,77} \cdot 0,0036\right)^2 + \left(-\frac{0,3268}{101,77^2} \cdot 0,24\right)^2} \approx 0,000037 \frac{1}{^{\circ}C}$$

3.4 Niepewność $\frac{1000}{T}$

$$u\left(\frac{1000}{T}\right) = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{1000}{T}}{\partial T} \cdot u(T)\right)^2} = \sqrt{\left(-\frac{1000}{T^2} \cdot u(T)\right)^2} = \sqrt{\left(-\frac{1000}{139129} \cdot 0,2\right)^2} \approx 0,0015 \frac{1}{K}$$

3.5 Niepewność $\ln R$

$$u(\ln R) = \frac{u(R)}{R} = \frac{0,20}{14,50} \approx 0,0069$$

3.6 Przerwa wzbroniona

$$E_g = 2000 \cdot A \cdot k = 2000 \cdot 2,025 \cdot 1,3806 \cdot 10^{-23} \approx 5,59 \cdot 10^{-20} J = 0,349 eV$$

k - stała Boltzmana ($1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$)

3.7 Niepewność przewy wzbronionej

$$u(E_g) = \sqrt{\left(\frac{\partial E_g}{\partial A} \cdot u(A)\right)^2} = \sqrt{(2000 \cdot k \cdot u(A))^2} = \sqrt{2000 \cdot 1,3806 \cdot 10^{-23} \cdot 0,066} = 1,9 \cdot 10^{-21} J = 0,012 eV$$

4 Wnioski

- Na podstawie wzrostu lub spadku rezystancji w zależności od wzrostu temperatury możemy wywnioskować, że próbki nr: 1, 2, 4 to półprzewodniki a próbka nr.3 to metal.
- Obliczając przerwę wzbronioną półprzewodnika można ustalić konkretnie z jakiego materiału jest on W przypadku próbki nr. 2 był to najprawdopodobniej arsenek indu, którego przerwa wzbroniona wynosi $0,36 eV$.
- Analogicznie znając temperaturowy współczynnik rezystancji możemy z dosyć dużą dokładnością określić z jakiego materiału została wykonana próbka nr. 3, była to najprawdopodobniej miedź lub platyna, których współczynnik temperaturowy wynosi $3,9 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}C}$.
- Zaobserwowaliśmy, że rezystancja dla temperatury pokojowej zmierzona przed rozpoczęciem pomiarów jest niższa niż wynikałoby to z późniejszych pomiarów przy obniżaniu stopniowym temperatury. Wynikać to może z zakłóceń pomiarów spowodowanych między innymi nagrzewaniem się całego układu pomiarowego oraz ułomności działania termometru. Aby zachować przejrzystość i jak najlepszą dokładność pomiary kontrolne nie zostały uwzględnione w obliczeniach i sporządzonych charakterystykach.

5 Źródła

- <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/pomoce/niedokladnosc-miernikow-lpf.pdf>
- <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/instrukcje/cwn100b.pdf>
- <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/pomoce-dydaktyczne.php>
- <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/opisy/cw044.pdf>