

Laboratorium Fizyczne 2

Pomiary zależności oporu od temperatury
w przewodnikach i półprzewodnikach

Zespół:	Dominika Karczewska
	Igor Michalski
Prowadzący:	dr inż. Eunika Zielony
Data wykonania ćwiczenia:	04.12.2017r.
Data oddania sprawozdania:	11.12.2017r.
Ocena:	

Uwagi prowadzącego:

1. Wstęp

Podczas doświadczenia badana jest rezystancja czterech próbek. Na podstawie zmian rezystancji w funkcji temperatury należy określić czy badana próbka to przewodnik, czy półprzewodnik. W przewodnikach koncentracja elektronów swobodnych jest bardzo duża i praktycznie nie zależy ona od temperatury. Każdy z elektronów, gdy nie jest przyłożone pole elektryczne, wykonuje chaotyczne drgania cieplne. Suma drgań gazu elektronowego wynosi zero. Tym samym nie ma wkładu do płynącego prądu. Gdy przyłożymy pole zewnętrzne, ruch elektronów staje się ukierunkowany. Definiujemy parametr $\mu = v_{sr}/E$ zwany ruchliwością elektronów. Definiuje on stosunek prędkości średniej ruchu elektronów na jednostkę przyłożonego pola elektrycznego. Pozwala to badać rezystancję w przewodniku niezależnie od E , a jedynie od temperatury. Podczas ogrzewania metalu, sieć krystaliczna drga coraz mocniej, co utrudnia przepływ elektronów w ustalonym kierunku, co powoduje zmniejszenie prądu w układzie. Wzrost rezystancji jest liniowy i wprost proporcjonalny do wzrostu temperatury.

W półprzewodnikach pasmo przewodnictwa oddzielone jest od pasma walencyjnego pasmem wzbronionym, na którym nie mogą przebywać elektrony. W tym wypadku wzrost temperatury jest korzystny, ponieważ zwiększa energię pojedynczych elektronów, co ułatwia im przeskok do pasma przewodnictwa. Zwiększając temperaturę, wykładniczo zmniejsza się opór w półprzewodniku, ponieważ coraz więcej elektronów uzyskuje energię pozwalającą przedostać się im do pasma przewodnictwa, pomimo stałego pola elektrycznego. Dodatkowo w miejscach, skąd elektrony przeszły do pasma przewodnictwa powstają „dziury” przemieszczające się w kierunku przeciwnym do ruchu elektronów w paśmie przewodnictwa. Prąd „dziurowy” ma jednak niewielki wkład do wartości całego prądu płynącego przez półprzewodnik.

2. Użyte wzory

- Niepewność pomiaru temperatury

$$u(T) = 0,75\% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt}$$

- Niepewność pomiaru rezystancji miernikiem M3850

$$u(R) = 0,5\% \text{ rdg} + 0,1 \text{ dgt}$$

- Wzór opisujący zależność rezystancji od temperatury w przewodniku

$$R(T) = R_0 \alpha T + R_0$$

- Wzór opisujący zależność rezystancji od temperatury w półprzewodniku

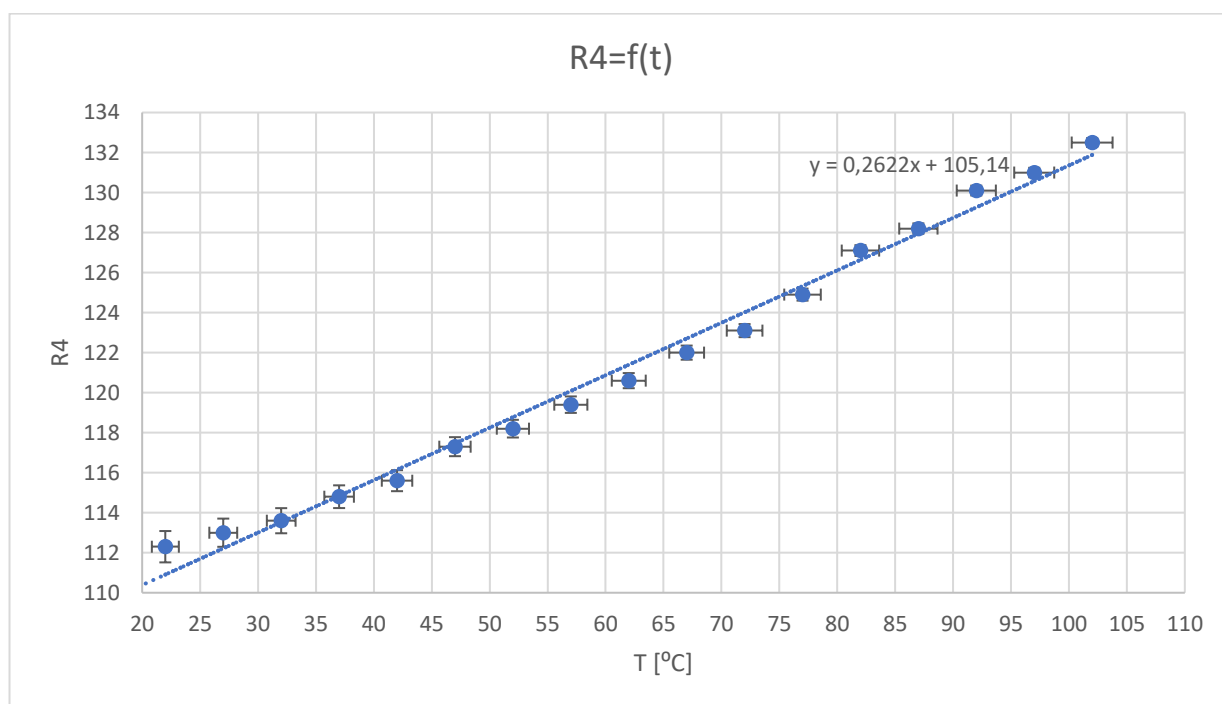
$$R_s(T) = R_{s0} e^{\frac{E_g}{2kT}}$$

3. Wyniki pomiarów i przykładowe obliczenia

Tabela 1: Wyniki pomiarów temperatury i rezystancji dla próbek 1, 2, 3 i 4 oraz ich niepewność pomiarowa.

Lp.	T [°C]	u(T) [°C]	R1 [Ω]	u(R1) [Ω]	R2 [Ω]	u(R2) [Ω]	R3 [Ω]	u(R3) [Ω]	R4 [Ω]	u(R4) [Ω]
1	22,0	1,2	136,60	0,79	32,70	0,27	58,30	0,40	112,30	0,79
2	27,0	1,3	121,00	0,71	28,50	0,25	51,80	0,36	113,00	0,71
3	32,0	1,3	105,60	0,63	25,30	0,23	46,10	0,34	113,60	0,63
4	37,0	1,3	93,60	0,57	22,90	0,22	41,50	0,31	114,80	0,57
5	42,0	1,4	85,00	0,53	21,10	0,21	38,10	0,30	115,60	0,53
6	47,0	1,4	75,00	0,48	19,20	0,20	34,40	0,28	117,30	0,48
7	52,0	1,4	68,30	0,45	17,80	0,19	31,60	0,26	118,20	0,45
8	57,0	1,5	62,30	0,42	16,50	0,19	29,00	0,25	119,40	0,42
9	62,0	1,5	55,60	0,38	15,20	0,18	26,50	0,24	120,60	0,38
10	67,0	1,6	50,50	0,36	14,10	0,18	24,40	0,23	122,00	0,36
11	72,0	1,6	45,30	0,33	12,90	0,17	22,20	0,22	123,10	0,33
12	77,0	1,6	40,20	0,31	12,00	0,16	20,20	0,21	124,90	0,31
13	82,0	1,7	34,00	0,27	11,40	0,16	18,80	0,20	127,10	0,27
14	87,0	1,7	31,70	0,26	10,20	0,16	16,80	0,19	128,20	0,26
15	92,0	1,7	29,10	0,25	10,00	0,15	16,00	0,18	130,10	0,25
16	97,0	1,8	27,40	0,24	9,20	0,15	14,60	0,18	131,00	0,24
17	102,0	1,8	24,60	0,23	8,90	0,15	13,90	0,17	132,50	0,23

▪ Analiza przewodnika



Wykres 1: Zależność oporu próbki od temperatury.

Ponadto opór w funkcji temperatury definiowany jest jako:

$$R(T) = R_0 \alpha T + R_0$$

Z powyższego wzoru wynika

$$a = R_0 \alpha$$

$$b = R_0$$

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

Tabela 2: Wyniki regresji liniowej dla wykresu 1.

a [1/°C]	u(a) [1/°C]	b [Ω]	u(b) [Ω]
0,2622	0,0070	105,14	0,47

$$\alpha = \frac{0,2622}{105,14} = 0,002493 \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

$$u_c(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{b^2} u^2(a) + \frac{a^2}{b^4} u^2(b)} = 0,000067 \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

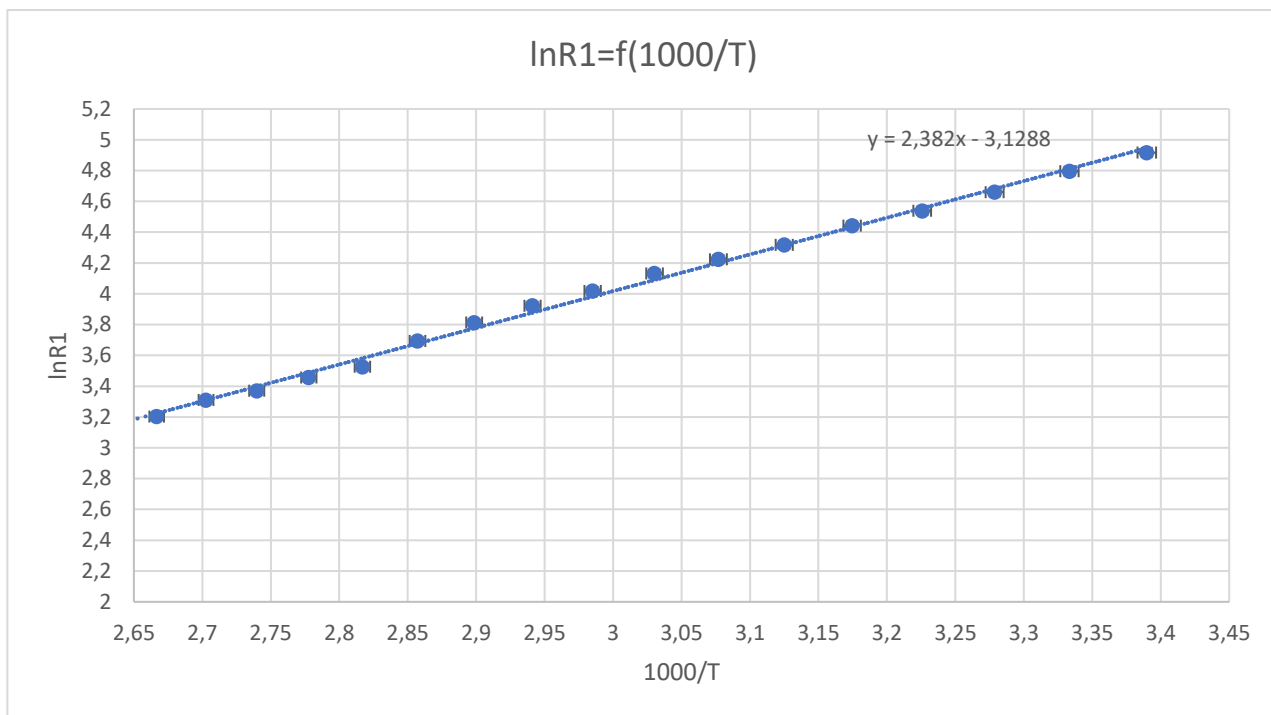
▪ Analiza półprzewodnika

Po zlogarytmowaniu wzoru na opór półprzewodnika otrzymujemy

$$\ln R_s = \frac{E_g}{2kT} + \ln R_{s0} = 10^{-3} \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1000}{T} + \ln R_{s0}$$

Tabela 3: Wyniki obliczeń temperatury logarytmu naturalnego z rezystancji i 1000 dzielonego przez temperaturę w Kelwinach oraz ich niepewności pomiarowe dla próbki nr 1.

T [K]	u(T) [K]	lnR1 [Ω]	u(lnR1) [Ω]	1000/T [1/K]	u(1000/T) [1/K]
295,0	1,2	4,9171	0,0057	3,390	0,014
300,0	1,3	4,7958	0,0058	3,333	0,014
305,0	1,3	4,6597	0,0059	3,279	0,014
310,0	1,3	4,5390	0,0061	3,226	0,014
315,0	1,4	4,4427	0,0062	3,175	0,014
320,0	1,4	4,3175	0,0063	3,125	0,014
325,0	1,4	4,2239	0,0065	3,077	0,014
330,0	1,5	4,1320	0,0066	3,030	0,014
335,0	1,5	4,0182	0,0068	2,985	0,014
340,0	1,6	3,9220	0,0070	2,941	0,014
345,0	1,6	3,8133	0,0072	2,899	0,013
350,0	1,6	3,6939	0,0075	2,857	0,013
355,0	1,7	3,5264	0,0079	2,817	0,013
360,0	1,7	3,4563	0,0082	2,778	0,013
365,0	1,7	3,3707	0,0084	2,740	0,013
370,0	1,8	3,3105	0,0086	2,703	0,013
375,0	1,8	3,2027	0,0091	2,667	0,013



Wykres 2: Wykres zależności $\ln R_1$ od $1000/T$

Tabela 4: Wyniki regresji liniowej dla powyższej zależności

a [$1/^\circ\text{C}$]	$u(a)$ [$1/^\circ\text{C}$]	b [Ω]	$U(b)$ [Ω]
2,382	0,035	-3,13	0,11

$$a = 10^{-3} \frac{E_g}{2k}$$

Na podstawie powyższego wzoru można wyznaczyć E_g :

$$E_g = 2000ka = 2000 \cdot 1,3806 \cdot 10^{-23} \cdot 2,382 = 6,577 \cdot 10^{-20} [\text{J}]$$

$$u_c(E_g) = \sqrt{(2000k)^2 u^2(a)} = 0,035 \cdot 2000 \cdot 1,3806 \cdot 10^{-23} = 0,094 \cdot 10^{-20} [\text{J}]$$

Tabela 5: Wynik szerokości przerwy energetycznej w dżulach i elektronowoltach

E_g [J]	$u_c(E_g)$ [J]	E_g [eV]	$u_c(E_g)$ [eV]
$6,577 \cdot 10^{-20}$	$0,094 \cdot 10^{-20}$	0,4105	0,0059

4. Wnioski

- Próbki 1, 2 oraz 3 to półprzewodniki.
- Próbkę numer 4 to przewodnik.
- Dla próbki nr 1: $E_g = (0,4105 \pm 0,0059) \text{ eV}$ – wartość ta odpowiada PbS.
- Dla próbki nr 4: $\alpha = (2,493 \pm 0,067) \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$