



## ĆWICZENIE 44

## POMIAR ZALEŻNOŚCI OPORU METALI I PÓŁPRZEWODNIKÓW OD TEMPERATURY

### Instrukcja wykonawcza

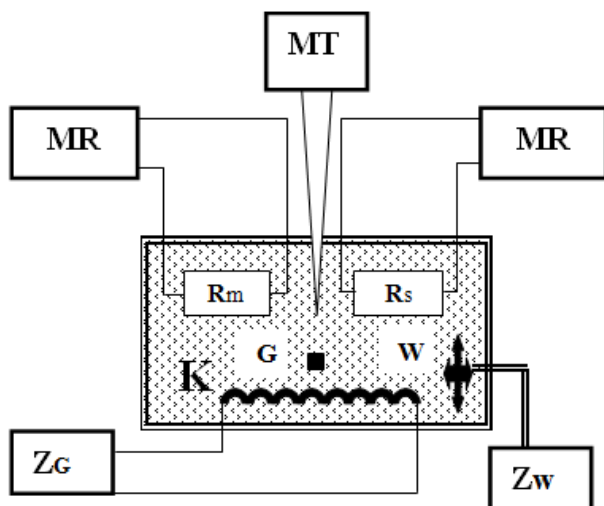
#### 1. Wykaz przyrządów

1. Komora pomiarowa zawierająca badane próbki: metalową o oporze  $R_m$  i półprzewodnikową o oporze  $R_s$ , grzejnik  $G$  i wentylator  $W$
2. Mierniki oporu MR
3. Miernik temperatury MT wraz z termoparą
4. Zasilacz grzejnika z możliwością regulacji napięcia wyjściowego - do 20 V, wydajność prądowa - 1,5 A

#### 2. Cel ćwiczenia

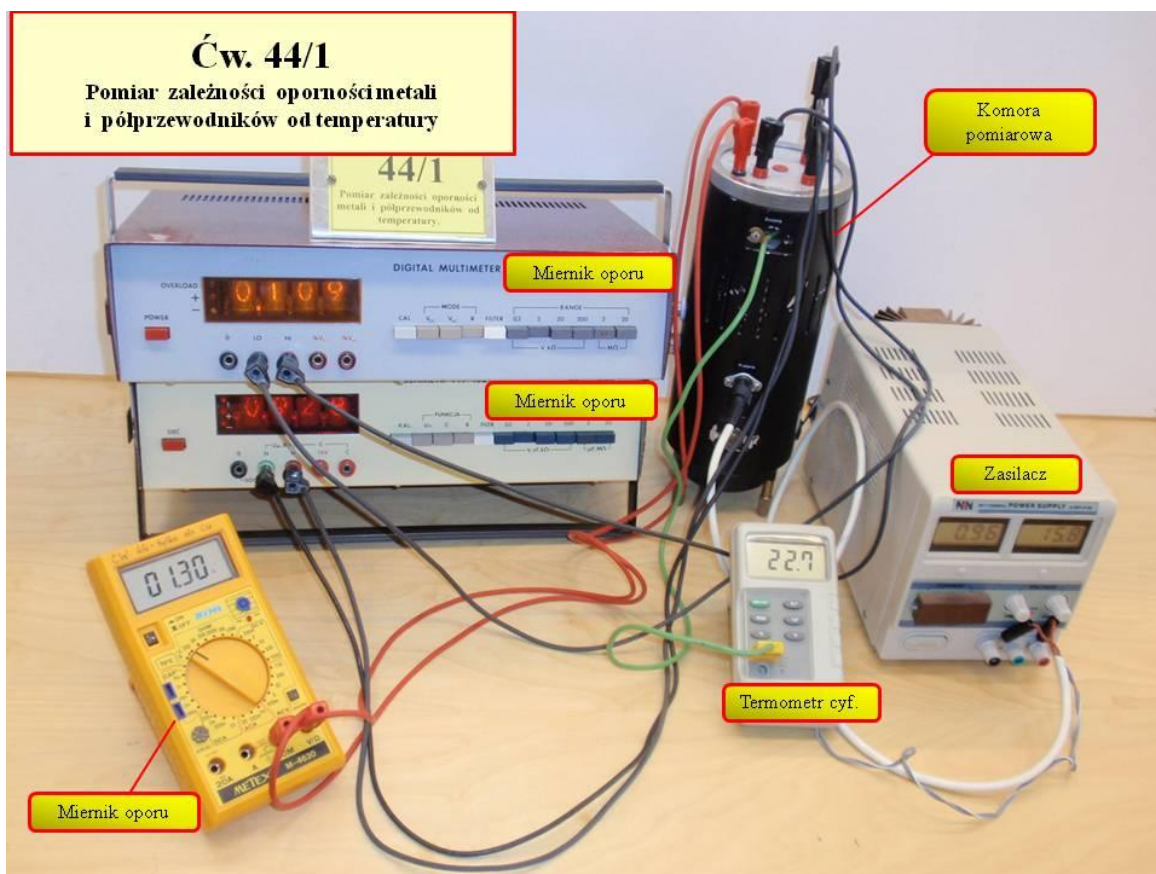
Pomiar oporu elektrycznego metalu i półprzewodnika w funkcji temperatury oraz wyznaczenie temperaturowego współczynnika oporu (rezystancji) metalu i szerokości pasma wzbronionego półprzewodnika (tzw. przerwy wzbronionej).

#### 3. Schemat układu pomiarowego



- MR - mierniki oporu (rezystancji)
- MT - miernik temperatury z termoparą
- K - komora pomiarowa
- $R_m$  - opornik metalowy
- $R_s$  - opornik półprzewodnikowy
- G - grzejnik
- $Z_G$  - zasilacz grzejnika
- W - wentylator
- $Z_w$  - zasilacz wentylatora

Rys. 1. Schemat układu pomiarowego.



**Rys.2.** Stanowisko pomiarowe.

#### 4. Przebieg pomiarów

1. Pomiar oporu przeprowadza się za pomocą mierników MR, które należy podłączyć do badanych oporników  $R_m$  i  $R_s$ .
2. Po sprawdzeniu układu pomiarowego przez opiekuna dydaktycznego, w temperaturze pokojowej odczytać wartości oporu metalu i półprzewodnika.
3. Następnie włączyć zasilacz grzejnika i podwyższać temperaturę próbek do  $90^{\circ}\text{C}$  stopniowo zwiększając napięcie zasilające grzejnik. Wartości oporu odczytywać co ok.  $5^{\circ}\text{C}$ . Optymalną szybkość grzania uzyskuje się przy następujących ustawieniach wartości napięcia wyjściowego zasilacza:
 

10 V	dla temperatur z zakresu	$20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$
15 V	dla temperatur	$40^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$
20 V	dla temperatur	$70^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$
4. Po osiągnięciu temperatury  $90^{\circ}\text{C}$  należy przerwać proces grzania przez zmniejszenie napięcia zasilania do zera i wyłączenie zasilacza.  
Proces schładzania próbek można przyspieszyć włączając wentylator. Przed opuszczeniem stanowiska pomiarowego wyłączyć wentylator.

#### 5. Opracowanie wyników

1. Na podstawie pomiarów narysować wykres zależności:  $R_m = f(t)$  dla metalu oraz  $\ln R_s = f(1000/T)$  dla półprzewodnika.  $T$  oraz  $t$  oznaczają temperaturę wyrażoną odpowiednio w Kelwinach i stopniach Celsjusza.
2. Na wykresach dla wybranych punktów pomiarowych zaznaczyć graficznie niepewności pomiarowe wynikające z dokładności użytych przyrządów.
- 3.a) Metodą regresji liniowej wyznaczyć wraz z niepewnościami współczynniki  $a$  i  $b$  prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych zależności  $R_m = f(t)$  dla metalu. Nanieść tę prostą na wykres.

Porównując równanie wyznaczonej prostej

$$y = a \cdot x + b$$

z równaniem na opór metalu w funkcji temperatury

$$R_m(t) = R_o \cdot \alpha \cdot t + R_o$$

wyznaczyć temperaturowy współczynnik oporu  $\alpha$  występujący w równaniu.

Zauważając, że zmienna  $x$  odpowiada temperaturze  $t$ , z porównania wynika, że

$$a = R_o \cdot \alpha \quad \text{oraz} \quad b = R_o.$$

Stąd otrzymujemy:

$$\alpha = \frac{a}{R_o}, \quad \text{czyli:} \quad \alpha = \frac{a}{b}. \quad (1)$$

Mając uzyskane metodą regresji liniowej współczynniki prostej  $a$  i  $b$  oraz ich niepewności  $u(a)$  i  $u(b)$ , na podstawie ostatniego równania (1) obliczyć niepewność złożoną  $u_c(\alpha)$  temperaturowego współczynnika oporu.

- b) Wiemy, że w zakresie wyższych temperatur w półprzewodniku dominuje przewodnictwo samoistne, a więc opór półprzewodnika opisany jest równaniem:

$$R_s = R_{s,o} \exp \frac{E_g}{2kT}.$$

Po zlogarytmowaniu tego równania otrzymujemy  $\ln R_s = \frac{E_g}{2kT} + \ln R_{s,o}$ ,

co można zapisać w postaci:

$$\ln R_s = 10^{-3} \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1000}{T} + \ln R_{s,o}. \quad (2)$$

Widzimy, że jest to zależność liniowa  $\ln R_s$  od  $1000/T$ .

Metodą regresji liniowej wyznaczyć wraz z niepewnościami współczynniki  $A$  i  $B$  prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych zależności  $\ln R_s = f(1000/T)$  dla półprzewodnika. Nanieść tę prostą na wykres.

Porównując równanie wyznaczonej prostej

$$y = A \cdot x + B$$

z równaniem (2) i zauważając, że  $1000/T$  odpowiada zmiennej  $x$  wyznaczyć szerokość pasma wzbronionego  $E_g$ . Z tego porównania wynika, że:

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

Zatem:

$$E_g = 2000 \cdot k \cdot A, \quad (3)$$

gdzie:  $k = 1,3806 \cdot 10^{-23}$  J/K - stała Boltzmanna.

Mając uzyskany metodą regresji liniowej współczynnik kierunkowy prostej  $A$  i jego niepewność  $u(A)$ , na podstawie równania (3) obliczyć niepewność  $u_c(E_g)$  przerwy wzbronionej (niepewność stałej Boltzmana pomijamy).

4. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do odpowiednich tabel.

## 6. Informacje dodatkowe

Szerokość przerwy energetycznej  $E_g$  w półprzewodniku wyrazić w dżulach [J] i elektronowoltach [eV].

## 7. Proponowane tabele (do zatwierdzenia u prowadzącego)

**Tabela 1.** Wyniki pomiarów temperatury i oporu metalu oraz obliczeń współczynników linii prostej i temperaturowego współczynnika oporu oraz ich niepewności.

l. p.	$t$	$R_m$	$a$	$b$	$\alpha$
	$^{\circ}\text{C}$	$\Omega$	$\frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}}$	$\Omega$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
1					
2					
3					
$\vdots$					
n					
$\Delta X$	(1)	(1)			
$u(X)$	(1)	(1)	(2)	(2)	
$u_c(X)$					

- (1) Obliczenia  $\Delta t$ ,  $u(t)$ ,  $\Delta R_m$ ,  $u(R_m)$  przeprowadzić dla jednej wybranej liczby porządkowej l.p.  
 (2) Niepewności  $u(a)$  i  $u(b)$  otrzymane metodą regresji liniowej.

**Tabela 2.** Wyniki pomiarów temperatury i oporu półprzewodnika oraz obliczeń współczynnika kierunkowego prostej i szerokości przerwy wzbronionej oraz ich niepewności.

l. p.	$t$	$1000/T$	$R_s$	$\ln R_s$	$A$	$E_g$	$E_g$
	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{1}{\text{K}}$	$\Omega$		K	J	eV
1							
2							
3							
$\vdots$							
n							
$\Delta X$	(3)		(3)				
$u(X)$	(3)		(3)		(5)		
$u_c(X)$		(3)		(3) (4)			

- (3) Obliczenia  $\Delta t$ ,  $u(t)$ ,  $u_c(1000/T)$ ,  $\Delta R_s$ ,  $u(R_s)$ ,  $u_c(\ln R_s)$  przeprowadzić dla jednej wybranej liczby porządkowej l.p.  
 (4)  $u_c(\ln R_s) = u(R_s)/R_s$ .  
 (5) Niepewność  $u(A)$  otrzymana metodą regresji liniowej.