



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PROCESOWEJ, MATERIAŁOWEJ
I FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



LABORATORIUM Z FIZYKI

ĆWICZENIE NR W-6

SKALOWANIE TERMOMETRU OPOROWEGO I PÓŁPRZEWODNIKOWEGO



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa
tel./ fax. +343250324, e-mail: imi@imi.pcz.pl, <http://www.cns.pcz.pl>

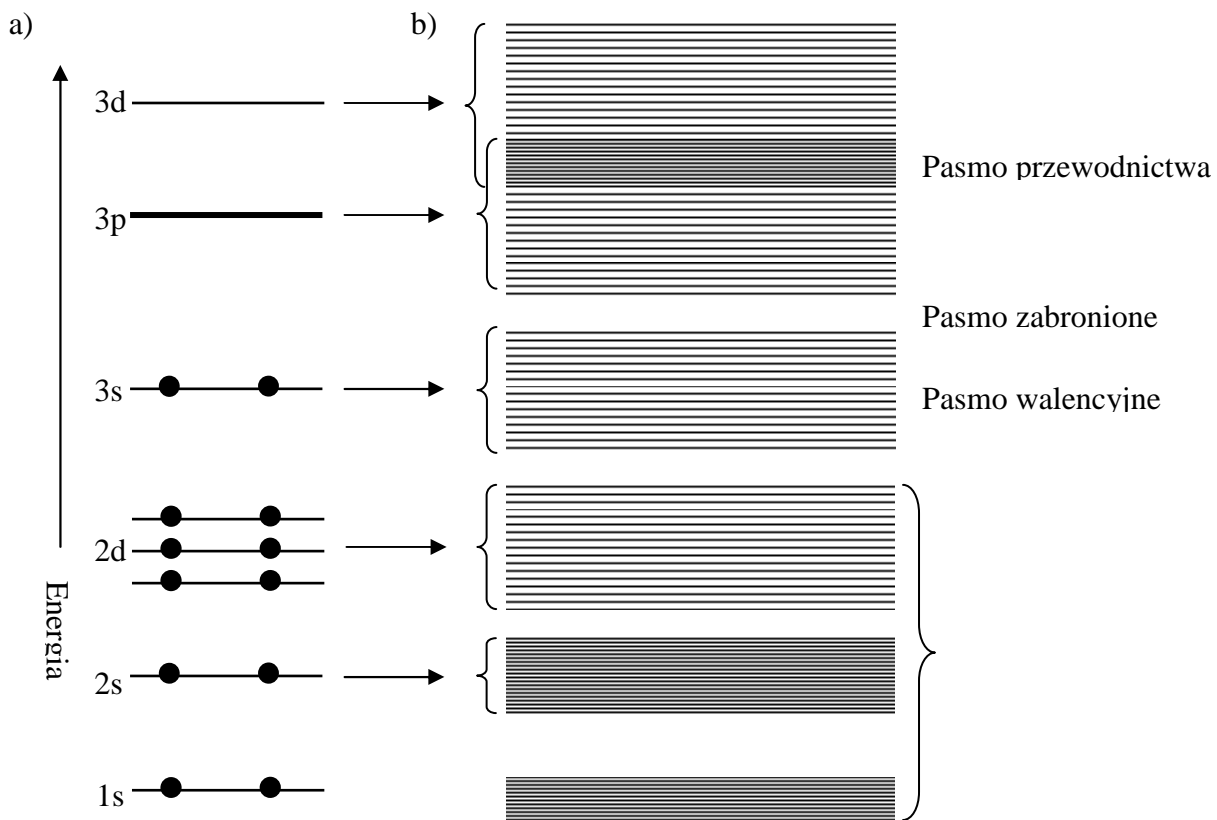
I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Podstawy pasmowej teorii ciała stałego.
2. Podstawy kinetyczno-molekularnej teorii gazu elektronowego. Zależność oporu elektrycznego od temperatury dla metali.
3. Półprzewodniki samoistne i domieszkowe. Zależność oporu elektrycznego półprzewodników od temperatury.
4. Metody pomiaru temperatury. Skale temperatury.

II. Wprowadzenie teoretyczne

Wszystkie materiały można podzielić na trzy duże klasy w zależności od własności elektrofizycznych, a mianowicie: metale, półprzewodniki i dielektryki. Elektryczna oporność właściwa tych materiałów mieści się w granicach: dla metali $10^{-6} - 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, dla półprzewodników $10^{-4} - 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, natomiast dla dielektryków (izolatorów) elektryczna oporność właściwa jest większa niż $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$. Oporność właściwa w funkcji temperatury jest różna dla różnych typów materiałów; dla metali rośnie wraz ze wzrostem temperatury, dla półprzewodników wraz ze wzrostem temperatury maleje.

Substancje krystaliczne zbudowane są z atomów, które z kolei składają się z dodatnio naładowanego jądra i otaczających go elektronów. Elektrony te zajmują jedynie pewne dozwolone orbity, którym odpowiadają dyskretne poziomy energetyczne. Rozkład poziomów energetycznych w typowym atomie przedstawiono schematycznie na rys. 1 a.

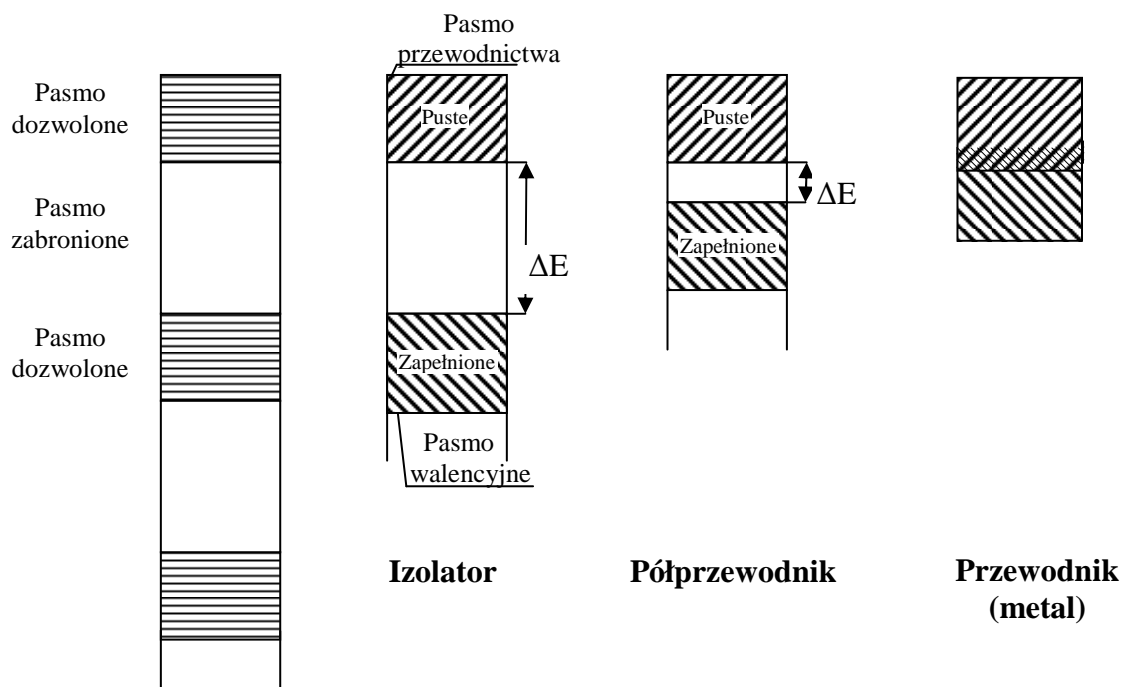


Rys. 1. Rozkład poziomów energetycznych w atomie (a) i pasma poziomów energetycznych w kryształ (b)

Czarne kółka symbolizujące elektrony zajmują odpowiednie poziomy. Najwyższym z obsadzonych poziomów energetycznych jest poziom elektronów walencyjnych od których to w głównej mierze zależą własności atomu. W kryształach, który jest skończonym zbiorem atomów każdy z poziomów energetycznych rozszerza się tworząc pasma poziomów energetycznych (rys. 1 b).

Każde pasmo zawiera zbiór blisko siebie położonych poziomów energetycznych. Z fizycznego punktu widzenia za rozszczepienia poziomów atomowych w kryształach na pasma energetyczne odpowiedzialne jest sprzężenie rezonansowe fal elektronowych na orbitach sąsiadujących atomów i dla atomów z powłok zewnętrznych oddziaływanie między falami elektronowymi jest silniejsze niż dla elektronów znajdujących się na orbitach wewnętrznych o niższych poziomach energetycznych. Wykresy pasm energetycznych zawierają trzy pasma energetyczne: pasmo walencyjne, pasmo zabronione i pasmo przewodnictwa (wewnętrzne pasmo energetyczne ze względu na niższą energię jest pomijane).

Schematyczny obraz pasmowej budowy kryształów w izolatorze, półprzewodniku i metalu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Pasmowa budowa kryształów

Szerokość pasma zabronionego (przerwa energetyczna) pozwala podzielić ciała krystaliczne na trzy grupy. W izolatorach szerokość pasma zabronionego jest rzędu 10 eV, w półprzewodniku wartość ta jest rzędu 1 eV, natomiast w metalu pasma walencyjne i przewodnictwa zachodzą na siebie.

Teoria elektronowa przewodnictwa metali sformułowana w 1900 r. przez P. Drudego, zakładała, że elektrony przewodzenia w metalu można traktować jak gaz elektronowy podobny do jednoatomowego gazu idealnego. Podczas ruchu elektrony przewodzenia podobnie jak cząsteczki gazu zderzają się z jonami sieci krystalicznej a długość drogi swobodnej elektronów powinna być rzędu stałej sieci krystalicznej metalu tj. 10^{-10} m. Teoria ta zakładała również, że wszystkie elektrony mają jednakową

prędkość ruchu cieplnego. Lorentz udoskonalił teorię Drudego poprzez stwierdzenie, że w gazie elektronowym występuje rozkład prędkości, który podlega statystyce Maxwella-Boltzmann. Jeżeli w przewodniku powstanie pole elektryczne, rozkład ten przestaje obowiązywać i prędkość średnia elektronów jest proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego.

W przewodniku metalicznym swobodne elektrony znajdują się w ciągłym ruchu podobnie jak cząsteczki gazu w zbiorniku. Jeżeli końce przewodu połączymy ze źródłem napięcia to wewnątrz tego przewodu wystąpi uporządkowany ruch ładunków elektrycznych (prąd elektryczny) w wyniku wytworzenia w nim pola elektrycznego. Taki prąd nazywa się prądem przewodzenia. Do pojawienia się prądu i jego przepływu przez przewodnik konieczne jest występowanie w danym materiale ładunków elektrycznych, które są w stanie przemieszczać się pod wpływem pola elektrycznego.

W metalach ilość elektronów swobodnych nie zależy w sposób istotny od temperatury, natomiast w wyniku wzrostu amplitudy drgań jonów sieci krystalicznej, spowodowanej podwyższeniem temperatury, elektrony częściej zderzają się z jonami sieci krystalicznej, maleje zatem ich ruchliwość i mniejsza ich ilość przepływa przez przekrój poprzeczny przewodnika w jednostce czasu. Rejestrujemy to jako wzrost oporu elektrycznego.

Przepływający prąd wydziela w przewodniku pewną ilość ciepła w skutek czego rośnie temperatura przewodnika, a konsekwencji jego opór elektryczny. Zależność oporu od temperatury wyraża się w przybliżeniu wzorem:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)], \quad (1)$$

gdzie: R_0 – opór w temperaturze odniesienia,
 T_0 – temperatura odniesienia (zwykle 273 K),
 α - temperaturowy współczynnik oporu,
 R – opór w temperaturze $T > T_0$.

Zależność wzrostu oporu wraz ze wzrostem temperatury została wykorzystana do budowy termometru oporowego. Najczęściej do tego celu stosuje się bardzo cienki platynowy drucik nawinięty na małą szpulkę. Zwykle temperatury takie mają opór $R = 100 \Omega$ i mogą mierzyć temperaturę w zakresie $5 < T < 1500 \text{ K}$.

W półprzewodnikach opór maleje wraz ze wzrostem temperatury, bowiem rośnie liczba wzbudzeń zgodnie z rozkładem Boltzmann. Rośnie zatem liczba swobodnych nośników prądu.

Opór właściwy półprzewodnika wraz ze wzrostem temperatury maleje wykładniczo według wzoru:

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (2)$$

gdzie ρ_0 – oporność właściwa w temperaturze odniesienia, ρ – oporność właściwa w danej temperaturze T , ΔE – szerokość pasma zabronionego (przerwy energetycznej), k – stała Boltzmanna. W temperaturach skrajnie niskich (poniżej 100 K) półprzewodnik praktycznie staje się izolatorem.

Wykładnicza zależność spadku oporu elektrycznego w funkcji wzrostu temperatury półprzewodnika została wykorzystana do budowy prostych i wygodnych termometrów półprzewodnikowych. Zwykle elementy takie nazywamy termistorami.

III. Zestaw pomiarowy

Zestaw pomiarowy przedstawiono na rys. 3. W skład zestawu wchodzi: ultratermostat (1) z możliwością regulacji temperatury od 20 do 100°C co 1°C, płytki (2) na której zamocowano termometr oporowy i termistor, omomierz cyfrowy (3).



Rys. 3. Zestaw pomiarowy: ultratermostat (1), płytki (2) z zamocowanym termometrem oporowym i termistorem, omomierz cyfrowy (3)

IV. Przebieg ćwiczenia

1. Skalowanie termometru oporowego (platynowego)

- a) podłączyć omomierz do zacisków O i P na płytce umieszczonej w termostacie.
- b) nastawić termometr kontaktowy termostatu na temperaturę 90°C.
- c) przełączyć grzałkę termostatu w pozycję SSS


d) odczytywać temperaturę t oleju w termostacie (w którym umieszczony jest termometr oporowy) co 5°C w zakresie od 25°C do 90°C i odpowiadający danej temperaturze opór elektryczny termometru oporowego R_P .

e) temperaturę t i odpowiadający jej opór elektryczny R_P wpisać do tabeli.

2. Skalowanie termometru półprzewodnikowego (termistora)

a) podłączyć omomierz do zacisków O i T na płytce umieszczonej w termostacie.

b) nastawić termometr kontaktowy termostatu na temperaturę poniżej 25°C .

c) przełączyć grzałkę termostatu w pozycję 

d) lekko odkręcić zawór wody włączający przepływ wody chłodzącej termostat.

e) odczytywać temperaturę t oleju w termostacie (w którym umieszczony jest termistor) co 5°C w zakresie od 90°C do 25°C i odpowiadający danej temperaturze opór elektryczny termistora R_T .

f) temperaturę t i odpowiadający jej opór elektryczny termistora R_T wpisać do tabeli.

V. Tabela pomiarowa

<i>Opornik platynowy</i>			<i>Termistor</i>		
<i>L.p.</i>	<i>t [°C]</i>	<i>R_P [Ω]</i>	<i>L.p.</i>	<i>t [°C]</i>	<i>R_T [Ω]</i>
1.	25		1.	90	
2.	30		2.	85	
3.	...		3.	...	
4.	...		4.	...	
5.	...		5.	...	
...	

VI. Opracowanie ćwiczenia

1. Na podstawie wyników pomiarów sporządź wykresy zależności $R_P = f(t)$ dla termometru platynowego i $R_T = f(t)$ dla termistora.

2. Korzystając z wykresu zależności $R_P = f(t)$ dla termometru platynowego obliczyć przyrost oporu n_P przypadający na wzrost temperatury o 1 stopień $\left(n_P = \frac{\Delta R_P}{\Delta t}\right)$.

Te same obliczenia wykonać dla termistora w temperaturze ok. 30°C i 80°C $\left(n_T = \frac{\Delta R_T}{\Delta t}\right)$.

VII. Rachunek błędu

Korzystając z obliczonych w punkcie VI.2. wartości przyrostu oporu przypadający na wzrost temperatury o 1 stopień (n_P i n_T) określić dokładność pomiarów temperatury termometrem oporowym i termistorem.

VIII. Literatura

1. *T. Dryński* - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki.
2. *R. Resnick, D. Halliday* – Fizyka, PWN Warszawa.
3. *J. Orear* - Fizyka, tom I.
4. *Sz. Szczęniowski* - Fizyka doświadczalna.