

VARIAȚIA REZISTENȚEI ELECTRICE A SEMICONDUCTORILOR CU TEMPERATURA

1. Scopul lucrării

În lucrarea de față se urmărește variația rezistenței electrice a unui termistor cu temperatura și se determină lărgimea benzii interzise prin metoda grafică.

2. Teoria lucrării

Între atomii constituenți ai corpurilor solide, cristaline sau amorfe, se exercită forțe de atracție sau de respingere, , forțe care se găsesc în stare de echilibru pentru o anumită distanță de echilibru caracteristică fiecărei substanțe.

Prin examinarea interacțiunii dintre doi atomi învecinați, adică prin examinarea forțelor de legătură dintre atomi se poate explica formarea benzilor de energie. Cauza ce determină deplasarea nivelelor energetice ale atomilor în procesul de formare al cristalului, precum și apariția benzilor de *energie permisă* este *interacțiunea* dintre electronii diferiților atomi, a cărei intensitate crește odată cu apropierea atomilor.

Fiecărei subpături de electroni ai atomilor individuali îi corespunde în cristalul nou format o *bandă de energie permisă* (BP). Benzile de energie permisă sunt separate prin *benzi de energie interzise* (BI) (Fig. 1).

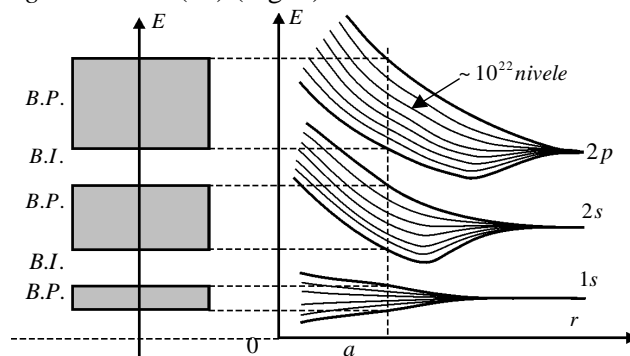


Fig. 1. Construcția zonelor permise și interzise.

Banda de energie permisă ocupată (parțial sau total) de electroni de valență se numește *bandă de valență* (BV) sau *bandă fundamentală*.

Urmează *banda interzisă* (BI), a cărei lărgime se notează cu E_g și se măsoară în eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$).

Banda de energie permisă, situată deasupra acestei benzi interzise, se numește *bandă de conducție* (BC).

Din analiza structurii și a lărgimii benzilor energetice permise și interzise, corpurile solide se împart în: *conductori*, *semiconductori* și *izolatori*.

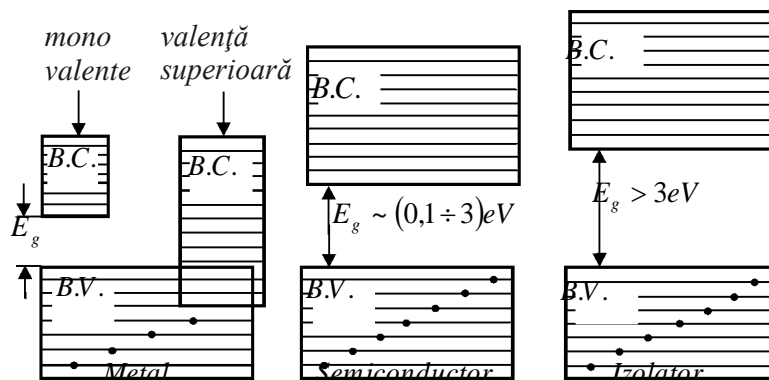


Fig. 2 Benzi energetice ale corpurilor solide.

La materialele conductoare (metale), banda de valență este parțial ocupată de electroni, așa că restul benzii rămâne neocupat. Banda de conducție (BC) este foarte apropiată de banda de valență (BV) în cazul metalelor monovalente, sau chiar se suprapune parțial peste aceasta, la metalele cu valențe superioare.

La materialele semiconductoare, banda de valență (BV) este complet ocupată, iar banda de conducție (BC) este complet goală. Între aceste două benzi există o bandă interzisă (BI) relativ îngustă $E_g \approx (0,1 \div 3) \text{ eV}$.

La materialele izolatoare, banda de valență (BV) este complet ocupată, iar banda de conducție (BC) este complet liberă și este separată de aceasta printr-o bandă interzisă (BI) largă $E_g > 3 \text{ eV}$.

Proprietatile electrice ale semiconductoarelor pot fi explicate cu ajutorul modelului benzilor de energie descris. Purtătorii de sarcină din cele două benzi sunt accelerați sub acțiunea unui câmp electric \vec{E} astfel că se obține un curent de conducție cu densitatea superficială:

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} = \frac{d}{dS} \left(\frac{dQ}{dt} \right) = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

relație numită *legea vectorială a lui Ohm*, în care apare *conductivitatea electrică intrinsecă* :

$$\sigma = n_i \cdot e \cdot (\mu_n + \mu_p) \quad (2)$$

unde n_i reprezintă concentrația purtătorilor de sarcină intrinseci, iar μ_n, μ_p reprezintă mobilitatea purtătorilor de sarcina negativi, respectiv pozitivi în câmp electric (mobilitatea de drift, de raportul dintre modulul vitezei de drift și modulul intensității câmpului electric exterior).

La temperaturi joase proprietatile electrice ale semiconductoarelor sunt controlate de impurități și conductibilitatea respectivă se numește extrinsecă.

La temperaturi peste temperatura camerei predomină conductibilitatea intrinsecă și se poate exprima $\sigma(T)$ prin relația:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \quad (3)$$

unde

$$\sigma_0 = \frac{2e(2\pi\sqrt{m_n^* m_p^*} k_B)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \cdot (A_n + A_p) \quad (4)$$

deci pentru $T \rightarrow \infty$, $\sigma_i \rightarrow \sigma_0$;

În formula (4), h este constanta lui Planck, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, iar k_B este constanta lui Boltzmann, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. A_n, A_p sunt constante pentru fiecare conductor;

m_n^*, m_p^* reprezintă *masa efectivă* a purtătorului de sarcină negativ, respectiv pozitiv.

Masa efectivă a particulei în cristal este egală cu masa pe care ar avea-o particula liberă pentru ca sub acțiunea unei forțe date să primească o accelerație egală cu accelerația pe care o primește în cristal sub

acțiunea aceleiași forțe. Masa efectivă nu prezintă nici proprietăți inerțiale, nici proprietăți gravitaționale.

Coeficientul de temperatura al variației rezistenței electrice a semiconductorilor cu temperatura are o valoare mare și negativă. Aceasta poate să constituie și un neajuns pentru că duce la funcționarea nestabilă a aparatelor cu dispozitive semiconductoare în cazul variațiilor de temperatura. Micșorarea rezistenței semiconductorilor cu creșterea temperaturii este utilizată în tehnica *termorezistențelor* (termistori).

Termistorul este un dispozitiv semiconductor omogen preparat din oxizi de mangan, cupru și zinc, cu conducție în ambele sensuri. Rezistența sa scade repede la creșterea temperaturii.

Într-un interval relativ restrâns de temperatura rezistența R_T a unui semiconductor poate fi exprimată prin relația:

$$R_T = A' \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (5)$$

A' și B sunt constante care depind de proprietățile fizice ale semiconductorului. Relația cunoscută $R = \rho \frac{l}{S}$ se poate aplica și unei termorezistențe formate dintr-un semiconductor (ρ - rezistivitatea în ohm·m).

Variația $R = f(T)$ la semiconductori se poate considera liniară pentru un interval foarte mic de temperatura :

$$R_T = R_{T_0} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)] \quad (6)$$

α - coeficientul de temperatura în intervalul $(T - T_0)$.

Această relație permite determinarea coeficientului α , din intervalul considerat, a cărui valoare caracterizează proba.

Din relația de definiție a coeficientului α :

$$\alpha = (R_T - R_0) / (T - T_0) \cdot R \cdot T_0 \quad (7)$$

prin trecerea la limită se obține valoarea lui α pentru orice temperatura:

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \quad (8)$$

Prin diferențierea relației (5) și înlocuind R obținut în relația (8) se elimină dR/dT între egalitățile obținute și se găsește:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \quad (9)$$

Se constată că acest coeficient de temperatura invers proporțional cu patratul temperaturii absolute este negativ (rezistența semiconductorilor se micșorează când temperatura crește).

Pentru evaluarea lui B se procedează astfel:

$$\frac{R_T}{R_0} = e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (10)$$

$$B = \frac{\ln R_T - \ln R_{T_0}}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad (11)$$

3. Dispozitivul experimental

Schema electrică a este arătată în figura 3. Părțile componente ale instalației sunt: termistor, generator de curent constant cu intensitatea $I = 1 \text{ mA}$, multimetru (M) și sursa termică (R). Termistorul S este introdus într-un creuzet care conține pulbere de alumină pentru uniformizarea câmpului termic. Temperatura în creuzet se măsoară cu un termometru cu mercur.

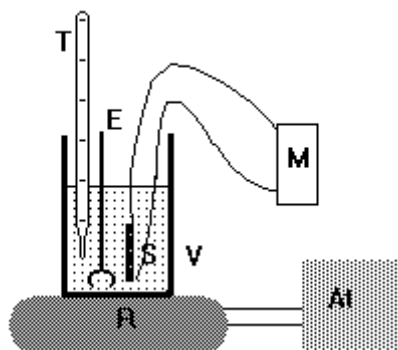


Fig.3 Dispozitivul experimental.

4. Modul de lucru

1. Se verifică montajul reprezentat schematic în fig.1 (se introduce în creuzet proba semiconductoră și termometrul având grijă ca ambele să fie introduse complet în alumină).
2. Se alimentează plita electrică cuplându-se ambele radiatoare și se urmărește creșterea temperaturii în vas. Când temperatura ajunge la 40°C se decuplează radiatorul de 500 [W] , iar când se ajunge la 85°C se decuplează radiatorul de 250 [W] . La atingerea temperaturii de 120°C ridicăm suportul cu termistor. Temperatura în vas continuă să crească până peste 155°C .

ATENȚIE !

La atingerea temperaturii de 120°C se scoate termometrul din vas prin ridicarea suportului.

3. La intervale de câte 5°C citite pe termometrul cu mercur se determină valoarea rezistenței măsurând tensiunea electrică cu multimetrul.
4. Se completează tabelul 1.

Tabelul 1

Nr.Cr.	t [°C]	T [K]	U [V]	R [Ω]	1/T [1/mK]	ln R [Ω]
1						
2						
3						
4						
5						

6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

5. Prelucrarea datelor experimentale

1. Se va trasa graficul $R=f(T)$.

2. Se determină lărgimea benzii interzise (E_g). Relația (3) permite să scriem $\sigma=f(T)$

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (12)$$

respectiv

$$\ln \sigma_i = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2kT} \quad (13)$$

$$\sigma = 1/\rho; \quad \ln \rho = \ln \rho_0 + E_g/2kT \Rightarrow \ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT} \quad (14)$$

3. Se va reprezenta grafic $\ln R = f(1/T)$ și din grafic se va determina E_g .

$$(\text{tg } \beta = \Delta(\ln R) / \Delta(1/T) = E_g / 2k)$$

6. Întrebări

1. Definiți masa efectivă
2. Scrieți formula conductivității semiconductorului, specificând marimile fizice care apar.
3. Descrieți instalația experimentală utilizată.
4. Scrieți formula liniarizată pentru rezistența semiconductorului în funcție de temperatură.
5. Cum se determină mărimea B .

7. Bibliografie

1. I. Damian, D. Popov, Teme experimentale, Editura Politehnica (2003).
2. Luminosu I., Fizică – teme experimentale - Editura Politehnica, Timișoara, 2009.
3. C. Marcu, I. Mihalca, D. Mihailovici, I. Damian, R. Baea, M. Cristea, Lucrări de laborator Fizică (1981).