

Laborator de Fizica

STUDIUL CONDUCTIBILITĂȚII ELECTRICE A METALELOR

I. Considerații teoretice

Curentul electric reprezentând o mișcare dirijată a unor particule încărcate electric, este rezultatul acțiunii unui câmp electric. Această mișcare a purtătorilor de sarcină se suprapune peste mișcarea haotică de agitație termică. Întrucât în solide curenții sunt datorati electronilor și nu ionilor, conducția metalelor și semiconductoarelor este o conducție electronică.

La metale purtătorii de sarcină, care participă la procesul de conducție, sunt electronii din banda de valență parțial ocupată. Sub acțiunea unei diferențe de potențial dU aplicată între două secțiuni infinite apropiate a unui conductor câmpul electric creat este:

$$E = \frac{dU}{dI}, \quad (1)$$

Densitatea curentului electric poate fi definită ca sarcina dQ ce traversează secțiunea dS în timpul dt :

$$j = \frac{dI}{dS} = \frac{dQ}{dS \cdot dt}. \quad (2)$$

Considerând că numărul electronilor din unitatea de volum (concentrația purtătorilor de sarcină) este n , sarcina dQ care va traversa secțiunea transversală dS în timpul dt va fi:

$$dQ = n \cdot e \cdot V = n \cdot e \cdot dS \cdot v_d \cdot dt, \quad (3)$$

de unde:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{v}_d. \quad (4)$$

În aceste relații v_d reprezintă viteza de transport (dirijat), ea fiind o viteză medie între două ciocniri a electronilor cu miezurile atomilor din nodurile rețelei cristaline care execută mișcări de vibrație în jurul poziției de echilibru. Aceasta este mult mai mică decât viteza agitației termice.

Viteza v_d poate fi calculată funcție de câmpul electric E , de viteza medie $\langle v \rangle$ a electronilor de conducție datorită agitației termice. Electronii de conducție participând la agitația termică, se ciocnesc mereu de miezurile ionilor, adică ei interacționează cu rețeaua, suferind dese schimbări bruște de viteză. Putem descrie ciocnirile electron-rețea prin durată medie τ între două ciocniri ($\tau = \langle l \rangle / \langle v \rangle$, $\langle l \rangle$ fiind drumul liber mediu).

Din legea lui Newton accelerația imprimată electronului este:

$$\vec{a} = \frac{e \cdot \vec{E}}{m} \quad (5)$$

iar viteza de transport

$$\vec{v}_d = \vec{a} \cdot \tau = \frac{e \cdot \vec{E}}{m} \cdot \tau = \frac{e \cdot \vec{E}}{m} \cdot \frac{\langle l \rangle}{\langle v \rangle} \quad (6)$$

Mărimea fizică numeric egală cu viteza câștigată într-un câmp de 1 V/m:

$$\mu = \frac{v_d}{E} = \frac{e \cdot \tau}{m} \quad (7)$$

este numită mobilitatea purtătorilor.

Utilizând expresia vitezei de transport expresia densității curentului devine:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{v}_d = n \cdot e \cdot \frac{e \cdot \tau}{m} \cdot \vec{E} = n \cdot e \cdot \mu \cdot \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (8)$$

Expresia $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$ reprezintă forma locală (vectorială) a legii lui Ohm, mărimea $\sigma = n \cdot e \cdot \frac{e \cdot \tau}{m} = n \cdot e \cdot \mu$ reprezintă conductibilitatea electrică a solidului considerat.

Aplicând o tensiune U la bornele unui conductor calibrat, de secțiune constantă S și lungime l , va rezulta un curent:

$$I = jS = \sigma SE = \sigma S \frac{U}{l} = \frac{U}{\frac{l}{\sigma S}} = \frac{U}{R}, \quad (9)$$

care reprezintă legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit. Aceasta furnizează relația între rezistivitate și mobilitate:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{ne\mu} \quad (10)$$

Expresia $\sigma = ne\mu$ ne arată că conductibilitatea electrică a solidelor este determinată în esență de concentrația purtătorilor de sarcină care pot participa la procesul de conducție și de împrăștierea pe care o suferă acești purtători în mișcarea lor prin solid, adică de mobilitatea lor μ . În cazul metalelor, unde concentrația purtătorilor rămâne practic constantă, creșterea temperaturii duce la creșterea rezistivității electrice prin scăderea mobilității purtătorilor de sarcina electrica, ca rezultat al creșterii împrăștierii electronilor de către vibrațiile rețelei cristaline (cvasi-particule numite fononi).

Rezistivitatea unui metal conținând atomi de impuritate are forma:

$$\rho = \rho_L + \rho_I \quad (11)$$

unde ρ_L este contribuția mișcării termice, iar ρ_I este rezistivitatea cauzată de împrăștierea undelor asociate electronilor pe atomi de impuritate, care perturbă periodicitatea rețelei. La zero absolut rezistența extrapolată, numită rezistență reziduală, este egală cu ρ_I pentru metale și aliaje ce nu trec în stare de supraconductibilitate. Aceasta este independentă de temperatură și are valori de 10^5 - 10^6 ori mai mari ca ρ la temperatura de 20°C , depinzând de puritatea metalului. În metale simple ρ_L este proporțional cu temperatura T , afară de regiunea temperaturilor joase. Proporționalitatea cu T la

temperaturi mari rezultă din faptul că probabilitatea împrăștierii electronului este proporțională cu numărul de fononi.

În domeniul temperaturilor înalte

$$\Delta\rho = \alpha\rho_0\Delta T \text{ sau } \rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T) = \rho_0(1 + \alpha\Delta t) \quad (12)$$

unde se definește un coeficient mediu al rezistivității:

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\Delta\rho}{\Delta T} = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{T - T_0} \quad (13)$$

unde $T_0 = 273,16 \text{ K}$.

II. Metodica experimentală

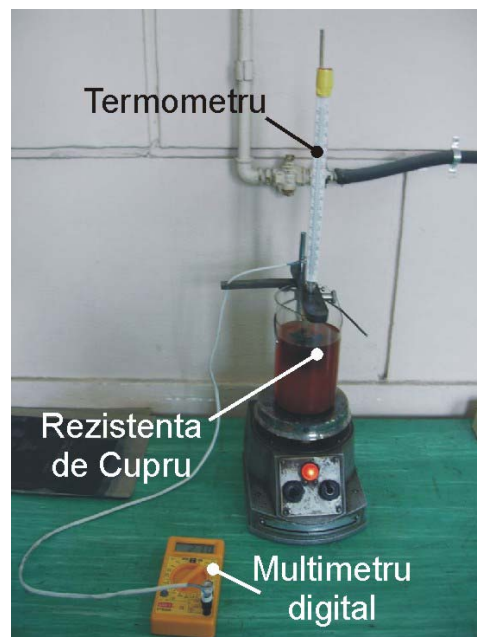
a) Instalația experimentală

Instalația experimentală (vizualizată în figura alăturată) constă dintr-un fir de cupru de lungime $l = 916 \text{ m}$ și diametrul $\varnothing = 0.12 \text{ mm}$ bobinat introdus într-un vas termorezistent cu ulei așezat pe o plită cu agitator magnetic. Rezistența firului de cupru se măsoară cu ajutorul unui multimetru digital iar temperatura cu un termometru.

b) Modul de lucru

Se urmează următoarele etape:

1. Se notează rezistența firului la temperatura camerei.
2. Se alimentează plita electrică.
3. Pentru încălzirea plitei, comutatorul din dreapta se trece pe poziția „on” care se observă prin aprinderea becului roșu. Reșoul va încălzi uleiul care încălzește la rândul lui firul de cupru.
4. Se măsoară rezistența firului de cupru din 5 în 5 grade până la o valoare maximă a temperaturii de $55 - 60^\circ \text{ C}$, limitată pentru a nu încălzi prea tare uleiul și a-l degrada. Valorile se trec în tabelul 1.



III. Prelucrarea datelor experimentale

1. Se calculează rezistivitatea cu formula:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad (14)$$

2. Se calculează conductibilitatea electrică ca inversul rezistivității:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (15)$$

3. Se calculează mobilitatea electronilor cu ajutorul formulei:

$$\mu = \frac{\sigma}{n \cdot e} \quad (16)$$

unde $n = 8.4 \times 10^{28}$ electroni/m³ de Cu, si $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C.

4. Se trasează pe același grafic dependenta $\rho = \rho(t)$ si $\sigma = \sigma(t)$. Si se extrapolează la zero pentru a calcula rezistivitatea si conductibilitatea la zero grade Celsius $\rho_0 = \rho(0)$ si $\sigma_0 = \sigma(0)$.

5. Se calculează timpul mediu de ciocnire, τ la zero grade Celsius:

$$\tau = \frac{\sigma(0) \cdot m}{n \cdot e^2} = \mu(0) \frac{m}{e} \quad (17)$$

unde $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, masa electronului.

6. Se calculează coeficientul termic mediu al rezistivității cuprului, α .
7. Se completează tabelul:

Tabelul 1

$t [^{\circ} \text{C}]$	
$R [\text{k}\Omega]$	
$\rho [\Omega \text{m}]$	
$\sigma [\Omega \text{m}]^{-1}$	
$\mu [\text{m}^2/\text{Vs}]$	