

DEPENDENȚA REZISTIVITĂȚII DE TEMPERATURĂ

la materialele conductoare și semiconductoare

Scopul lucrării

Studiul proprietăților de conducție ale materialelor conductoare și semiconductoare în funcție de temperatură.

1. Fundamentare teoretică

În cazul *materialelor conductoare*, purtătorii mobili de sarcină sunt, de regulă, electronii de conducție, a căror concentrație este practic constantă, dependența rezistivității electrice de temperatură fiind determinată numai de constanta de timp de relaxare τ , dată de interacțiile dintre electroni și diferite particule în timpul conducției.

La temperaturi foarte scăzute este predominant mecanismul de interacție cu impuritățile și defectele existente în material, astfel încât metalul prezintă o rezistivitate independentă de temperatură numită *rezistivitate reziduală* ρ_0 .

La temperaturi scăzute ($T \ll T_D$ – *temperatura Debye*) este predominantă interacția cu fononii acustici rezultând o proporționalitate a rezistivității cu T^5 , iar la temperaturi ridicate ($T \gg T_D$) același mecanism conduce la o proporționalitate a rezistivității cu T . Astfel, temperatura Debye (T_D) poate fi definită ca fiind temperatura minimă începând de la care rezistivitatea unui material conductor crește liniar, coeficientul de temperatură fiind considerat constant.

În cazul *materialelor semiconductoare*, purtătorii mobili de sarcină sunt electronii de conducție și golurile, astfel încât:

$$\rho = \left(\frac{m_n}{N_n q_0^2 \tau_n} + \frac{m_p}{N_p q_0^2 \tau_p} \right)^{-1} = \frac{1}{q_0 (N_n \mu_n + N_p \mu_p)} \quad (1)$$

unde N_p (N_n) reprezintă concentrația golurilor (electronilor) din material la echilibru termodinamic, m este masa inertă a unui purtător mobil de sarcină, q_0 este sarcina electrică a electronilor ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$), iar μ este coeficientul de mobilitate:

$$\mu_n = \frac{q_0}{m_n} \tau_n \quad \text{și} \quad \mu_p = \frac{q_0}{m_p} \tau_p \quad (2)$$

Concentrația purtătorilor mobili de sarcină proveniți, la temperaturi coborâte, în special din mecanismul extrinsec de ionizare a impurităților, iar la temperaturi ridicate, din mecanismul intrinsec de rupere a legăturilor covalente, crește exponențial cu creșterea temperaturii. Mobilitatea acestor purtători scade în general la creșterea temperaturii după o lege practic liniară.

În lucrarea de față ne propunem să studiem dependența de temperatură a două rezistențe, una de putere, realizată dintr-un material conductor (Nichelină) și alta, reprezentând rezistența de intrare R_{be} a unui tranzistor n-p-n realizat dintr-un material semiconductor (Siliciu extrinsec).

Tranzistorul este format din două joncțiuni **p-n**, fiecare joncțiune fiind realizată practic prin alăturarea a doi semiconductori, unul de tip **p** (golurile sunt purtători majoritari de sarcină) și unul de tip **n** (electronii sunt purtători majoritari de sarcină). Produsul concentrațiilor de electroni și goluri într-un semiconductor este constant la echilibru termic, și variază odată cu temperatura după legea:

$$N_n \cdot N_p = n_i^2 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot T}} \quad (3)$$

unde n_i este concentrația intrinsecă a purtătorilor de sarcină (caracteristică de material), ΔE este energia de activare a unei joncțiuni, k este constanta lui Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$), iar T este temperatura absolută. Când produsul $k \cdot T$ este comparabil cu ΔE , agitația termică produce un număr mare de electroni (goluri) iar cristalul își pierde proprietățile de semiconductor, având o comportare asemănătoare cu cea a unui metal (conductor). Creșterea numărului de purtători de sarcină și a vitezei lor de mișcare duce la o creștere a numărului de ciocniri și deci la o micșorare a mobilității, însă această micșorare este nesemnificativă în raport cu creșterea numărului de purtători.

Un fenomen în funcționarea tranzistorului este injecția purtătorilor de sarcină minoritari printr-o joncțiune. Mișcarea prin difuzie a purtătorilor de sarcină face posibilă trecerea celor minoritari dintr-o regiune de concentrație mare în regiuni de concentrație mică. Purtătorii minoritari injectați printr-o joncțiune perturbă echilibrul concentrațiilor electronilor și golurilor datorită recombinărilor cu purtătorii majoritari.

Aplicând unei joncțiuni p-n un câmp direct V_j , în structura ei apare un curent de goluri de la p spre n, a cărui expresie este:

$$I_p = I_S (e^{\frac{q_0 V_j}{kT}} - 1) \quad (4)$$

unde I_S este curentul invers de saturație al joncțiunii, care se poate calcula cu relația:

$$I_S = q_0 n_i^2 S \cdot \left(\frac{D_p}{N_n \cdot L_p} + \frac{D_n}{N_p \cdot L_n} \right) \quad (5)$$

q reprezentând sarcina electrică a electronilor (e), S , secțiunea transversală a joncțiunii, D_p (D_n), coeficientul de difuzie pentru goluri (electroni), iar L_p (L_n), lungimea de difuzie a electronilor (golurilor). Cel mai sensibil termen la variația temperaturii este n_i , iar curentul de saturație I_S crește exponențial cu temperatura.

Într-un tranzistor n-p-n în conexiune emitor-comun, golurile, majoritare în emitor, datorită polarizării directe a joncțiunii bază-emitor cu ajutorul tensiunii V_{be} , creează un curent de goluri de forma:

$$I_p = I_S (e^{\frac{q_0 \cdot V_{be}}{k \cdot T}} - 1) \cong I_S \cdot e^{\frac{q_0 \cdot V_{be}}{k \cdot T}} \quad (6)$$

Astfel, golurile libere din emitor, care au energie suficientă, trec în bază, de unde vor fi difuzate în colector prin joncțiunea baza-colector. Curentul de saturație în joncțiunea bază-colector I_E (curentul invers când emitorul este în circuit deschis)

se suprapune peste curentul de difuzie al golurilor în colector, valoarea acestuia fiind:

$$I_C = I_\Sigma + \alpha I_p \cong I_S \cdot e^{\frac{q_0 V_{be}}{kT}} \quad (7)$$

unde α este coeficientul de transfer al tranzistorului ($0.9 < \alpha < 0.99$).

2. Desfășurarea lucrării

A. Dependența rezistivității de temperatură la materialele conductoare

Cu ajutorul a două surse de tensiune continue legate în serie se alimentează o rezistență de putere R_{Ni} de valoare nominală de 470Ω cu o tensiune de 60V. Se conectează un miliampermetru în serie cu cele două surse de tensiune și rezistența, se monitorizează temperatura rezistenței și se trec în **Tabelul 1** valorile curentului ce trece prin ea la diferite temperaturi. Valorile rezistenței R_{Ni}

Se calculează coeficientul de temperatură al rezistenței α_t cu ajutorul relației (8), pentru fiecare variație a temperaturii și, pe baza rezultatelor obținute se trasează graficele $R_{Ni}(T)$ și $\alpha_t(T)$.

$$\alpha_t = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (8)$$

Tabelul 1

T [$^{\circ}\text{C}$]	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I_R [mA]									
R_{Ni} [Ω]									
α_p [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]									

B. Dependența rezistivității de temperatură la materialele semiconductoare

Se va realiza schema din **Figura 1** pe montajul experimental de laborator. Tranzistoul T_1 va lucra în regim de sursă de curent constant pentru tranzistorul T_{n-p-n} . Cu ajutorul potențiometrului P , a rezistenței R_1 și a diodelor D_1 , D_2 , D_3 , se poate regla curentul de bază necesar polarizării tranzistorului T_{n-p-n} , tranzistor ce va fi încălzit cu ajutorul rezistenței de putere alimentată similar ca la punctul 2.A, plasându-se în interiorul materialului ceramic al acesteia. Se vor face câte 3 măsurători la fiecare temperatură pentru tensiunea V_{be} , curentul de bază setându-se pe rând, la intervale foarte scurte de timp, cu ajutorul potențiometrului P și comutatorului K la valoarea de $150\mu\text{A}$, apoi la $100\mu\text{A}$ și apoi, scurtcircuitând dioda D_1 , la valoarea de $50\mu\text{A}$, iar rezultatele se vor trece în **Tabelul 2**.

Tabelul 2

T [$^{\circ}\text{C}$]	20		35		50		65		80	
Valori măsurate și calculate	V_{be} [mV]	R_{be} [k Ω]	V_{be} [mV]	R_{be} [k Ω]	V_{be} [mV]	R_{be} [k Ω]	V_{be} [mV]	R_{be} [k Ω]	V_{be} [mV]	R_{be} [k Ω]
$I_b = 150\mu\text{A}$										
$I_b = 100\mu\text{A}$										
$I_b = 50\mu\text{A}$										

Pe baza rezultatelor obținute se vor trasa pe același grafic $R_{be}(T)$ pentru cele 3 valori ale curentului de bază.

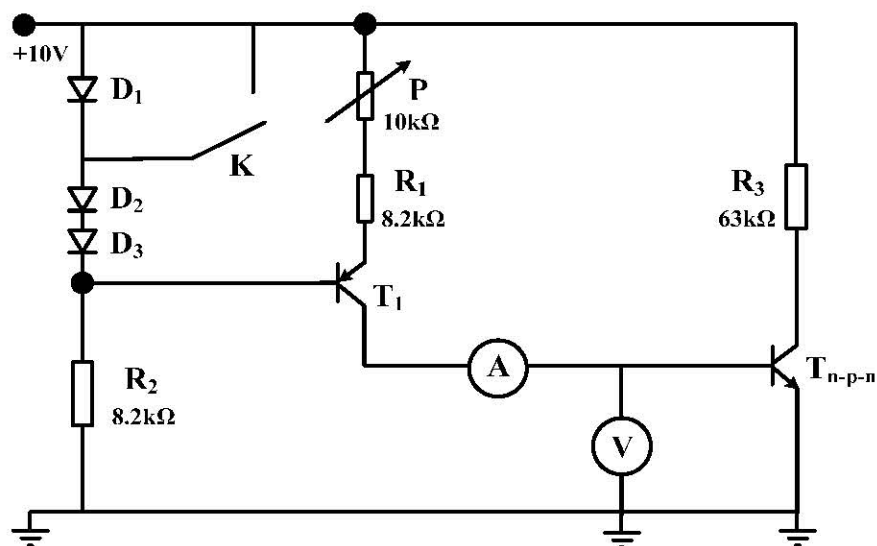


Figura 1. Schema electrică a montajului experimental

Conținutul referatului

- **Tabelul 1** împreună cu calculele și graficele pentru $R_{Ni}(T)$ și $\alpha_t(T)$;
- **Tabelul 2** împreună cu graficul și calculele necesare pentru determinarea rezistenței R_{be} în funcție de temperatură;
- Concluzii și comentarii.