STUDIUL EFECTULUI HALL

În această lucrare studiem un efect galvano-magnetic foarte important, cu care se determină foarte precis concentrația și tipul purtătorilor de sarcină electrică liberi care participă la conducția electrică din materialul studiat.

Teoria efectului Hall

Având un semiconductor omogen, de formă paralelipipedică, prin care trece un curent electric, vezi figura 1, diferența de potențial între punctele A și B, situate în același plan perpendicular pe liniile de curent (suprafață echipotențială), este nulă în absența câmpului magnetic constant **B**. Aplicând un câmp magnetic, perpendicular pe direcția curentului, între punctele A și B apare o diferență de potențial; acest fenomen se numește efect Hall, iar diferența de potențial care există între punctele A și B, tensiune Hall.

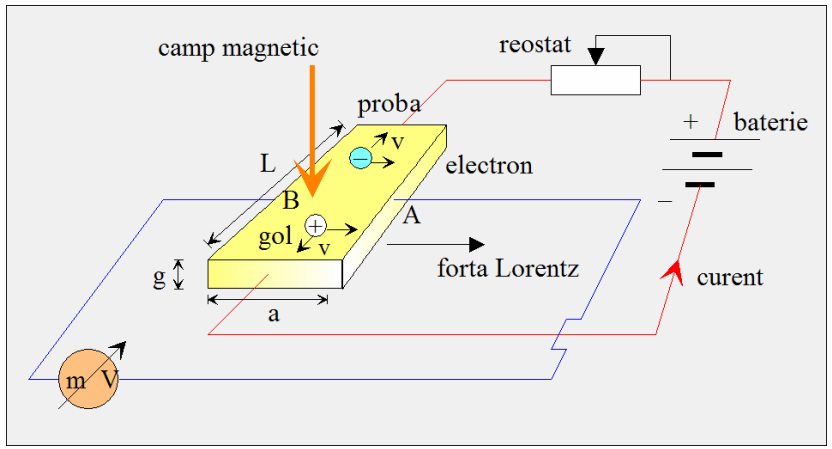

Figura 1. Montaj experimental pentru măsurarea efectului Hall.

Considerăm că în materialul probei (plăcuței) avem un singur tip de purtători de sarcină cu sarcina electrică "e", care se mișcă cu viteza "**v**", în câmpul magnetic "**B**". Asupra acestei sarcini va acționa forța Lorentz:

$$\mathbf{F} = e\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}\,, \quad \text{"e" își conține semnul} \qquad (1)$$

Prin acțiunea ei, sarcinile, indiferent de semnul lor, vor fi deviate către aceeeași suprafață. Singura condiție care se cere îndeplinită este ca sensul de mișcare al sarcinilor să fie compatibil cu sensul curentului ce trece prin probă. Deplasarea sarcinilor spre o suprafață modifică încărcarea electrică a acesteia conducând la apariția unei diferențe de încărcare electrică între suprafețele S_A și S_B. În acest fel ia naștere în probă un câmp electric $\mathbf{E}_H$ ce generează o forță contrară forței Lorentz. Astfel că după o încărcare electrică suficientă a suprafețelor S_A și S_B, restul purtătorilor trec nedeviați prin probă. Din egalitatea forței Lorentz cu forța generată de încărcarea electrică a suprafețelor:

$$e \cdot \mathbf{E}_H = e \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (2)$$

și cunoscând legătura care există între densitatea de curent, **j**, viteza purtătorilor **v** și concentrația lor, n:

$$\mathbf{j} = e \cdot n \cdot \mathbf{v} \qquad (3)$$

obținem:

$$n \cdot E_H = j \cdot B / e \qquad (4)$$

Luând în considerare dimensiunile probei așa cum sunt indicate în figura 1 (g e grosimea), pentru tensiunea Hall se obține ($I=jS=jag$ și $E_H=U_H/a$):

$$U_H = R_H \cdot I \cdot B / g \qquad (5)$$

unde am notat cu R_H *constanta Hall* a materialului care este dată de relația:

$$R_H = 1/(ne) \qquad (6)$$

Din această expresie se vede că semnul diferenței de potențial depinde de semnul purtătorilor liberi, pentru conducție de electroni $R_H < 0$, iar pentru conducție de goluri $R_H > 0$. Cunoscând constanta Hall R_H se poate determina concentrația purtătorilor de curent, n, din relația (6).

Cunoscând, pentru una și aceeași probă, constanta Hall R_H și conductibilitatea σ, în cazul în care există un singur tip de purtători care participă la conducție, se poate găsi mobilitatea purtătorilor de curent, μ:

$$\mu_H = \sigma \cdot R_H. \qquad (7)$$

Pentru semiconductorii cu conducție de ambele feluri, electroni (μ_n) și goluri (μ_p) lucrurile sunt mai complicate, expresiile pentru coeficientul Hall și conductibilitate fiind:

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu_n + p \cdot e \cdot \mu_p \qquad (8)$$

$$R_H = (1/e)\,[(p\mu_p^2 - n\mu_n^2)/(p\mu_p + n\mu_n)^2] \cdot [\langle\tau^2\rangle/\langle\tau\rangle^2] \qquad (9)$$

unde τ este timpul de relaxare al purtătorilor de sarcină. Factorul de corecție "$\langle\tau^2\rangle/\langle\tau\rangle^2$" este de ordinul unității ($3\pi/8$ la temperaturi înalte, iar pentru cele joase 1,93, pentru detalii vezi "Fizica semiconductorilor" de P. S. Kireev).

Efectul Hall are numeroase aplicații. În domeniul materialelor e utilizat pentru determinarea concentrației de purtători de sarcină electrică liberi din materiale. În electrotehnică este folosit la măsurarea inducției magnetice (câmp magnetic), a curentului electric (prin câmpul magnetic care-l generează), la măsurarea puterii în rețelele de curent continuu și alternativ, a defazajului și a factorului de putere. În domeniul electronicii, a calculatoarelor și automaticii dispozitivele Hall se folosesc ca multiplicator în calculatoarele analogice, ca senzor de debit pentru

lichide conductoare, la protecția automată la scurtcircuit a instalațiilor, pentru comutatoare fără contact, stabilizatoare de curent, etc.

Montajul experimental

Montajul experimetal, prezent schematic în figura 1, constă din 3 circuite:

– circuitul de alimentare a electromagnetului cu un curent I_B (nu este în figură),
– circuitul de alimentare a probei (plăcuței de germaniu) cu un curent I,
– circuitul pentru măsurarea diferenței de potențial Hall.

Curenții de lucru care se trec prin probă sunt de ordinul mA. Din prelucrarea graficelor $U_H=U(H)_{I=const.}$ şi $U_H=U(I)_{H=const.}$ se obține concentrația de purtători. Măsurând conductibilitatea probei se poate găsi mobilitatea Hall a purtătorilor.

Modul de lucru

1. Conectează circuitul electromagnetului la 12 V coborând întrerupătorul lamă şi din reostat fixează valoarea curentului în electromagnet la I_B=1,5 A care va genera un câmp magnetic cu inducția magnetică B=0.2 Tesla în probă. **Atenție**! la conectarea, dar mai ales la *deconectarea* electromagnetului apare o tensiune autoindusă şi flamă la contactorul lamă care te poate "pişca" (senzație neplăcută) daca ai contact cu partea metalică a contactorului.
2. Conectează circuitul probei la redresorul stabilizat (4 V) şi reglează curentul prin probă la I=2 mA (ulterior şi la valorile de 4, 6 şi 8 mA).
3. Pentru fiecare valoare a curentului prin probă citeşte pe milivoltmetru diferența de potential între punctele A si B în absența câmpului magnetic (I_B=0, întrerupătorul lamă în poziția "sus") şi cu câmp magnetic (întrerupătorul lamă în poziția "jos"). **Diferența dintre cele două citiri** este *tensiunea Hall* U_H pe care o treci în tabel pe poziția corespunzătoare.

   Diferența de potențial în absența câmpului magnetic apare fiindcă cele 2 contacte A şi B de pe proba semiconductoare nu sunt perfect față-n față din punct de vedere electric şi ceea ce măsurăm este o cădere de tensiune ohmică (rezistivă) între cele 2 contacte (tensiunea de asimetrie).
4. Repetă măsuratorile pentru alte două valori ale curentului prin electromagnet I_B = 2A (B = 0,25 T) şi I_B = 2,5 A (B = 0,25 T).

Prelucrarea datelor experimentale

Calculează mărimea "IB/g" şi trece-o în tabel, unde "g" este grosimea probei. Se cunosc **datele probei**: g = 1,3 mm, a = 2,0 mm, L = 12,0 mm, R = 370 Ω.

Reprezintă grafic tensiunea Hall U_H în funcție de mărimea IB/g. Conform ecuației (5) între cele două mărimi este o relație liniară.

$$U_H = R_H \cdot (I \cdot B/g)$$

Panta dreptei obținute este chiar coeficientul Hall şi se calculează ca:

$$R_H = [U_{H(2)} - U_{H(1)}] / [(I \cdot B/g)_{(2)} - (I \cdot B/g)_{(1)}]$$

unde (1) şi (2) se referă la 2 puncte de pe dreapta obținută în grafic, cât mai depărtate între ele, pentru a minimiza eroarea de citire.

Folosind relația (6) şi sarcina elementară $e=1{,}6.10^{-19}$ C, calculăm densitatea de purtători de sarcină, numărul de electroni (sau goluri) din unitatea de volum:

$$n = 1/(R_H\, e)$$

Cu datele plăcuței de germaniu (probei) calculează conductivitatea ei electrică

$$\sigma = 1/\rho \qquad \rho = RS/L = Rag/L$$

şi mobilitatea purtătorilor de sarcină cu relația (7):

$$\mu_H = \sigma \cdot R_H.$$

Tabel pentru datele experimentale

I_B(A)	B(T)	I(mA)	IB/g(A·T/m)	U_H(mV)	R_H(Vm/AT)	n(m^{-3})
1,5	0,2	2				
		4				
		6				
		8				
2	0,25	2				
		4				
		6				
		8				
2,5	0,28	2				
		4				
		6				
		8				