

# STUDIUL EFECTULUI HALL

## 1. Scopul lucrării

Punerea în evidență a efectului Hall pentru un semiconductor intrinsec. Măsurarea tensiunii Hall, determinarea constantei Hall, a numărului de purtători de sarcină electrică într-un semiconductor intrinsec precum și a mobilității acestora.

## 2. Considerații teoretice

Efectul Hall constă în apariția unei diferențe de potențial pe laturile unei probe atunci când aceasta se găsește într-un câmp magnetic și este străbătută de curent electric. Efectul Hall se poate pune în evidență cu ajutorul dispozitivului experimental prezentat schematic în Figura 1. Placa metalică de dimensiuni  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (înălțime/grosimea, lățime, lungime) este plasată în câmpul magnetic  $\vec{B}$ , orientat perpendicular pe fața superioară și este parcursă în lungime de un curent de intensitate  $I$  datorat unui câmp electric  $\vec{E}$ .

La trecerea curentului electric prin semiconductor datorită forței electrice  $\vec{F}_e = e\vec{E}$  electronii (negativi) de conductibilitate vor circula cu o viteză  $\vec{v}$  în sens opus câmpului electric. În plus se știe că asupra sarcinilor electrice aflate în mișcare în câmp magnetic, în cazul nostru electronii de conducție, acționează forța Lorentz. Aceasta este orientată perpendicular pe câmpul magnetic aplicat și pe direcția vitezei (care este aceeași cu a câmpului electric, dar de sens contrar) conform relației:

$$\vec{F}_L = e\vec{v} \times \vec{B}. \quad (1)$$

Sub acțiunea acestei forțe, electronii negativi sunt deviați spre stânga. Astfel, pe latura stângă a probei există un surplus de electroni, iar pe cea dreaptă un deficit de electroni. Ca urmare apare o diferență de potențial  $U_H$ , care conduce la apariția unui câmp electric  $\vec{E}_H$ , orientat de la fața dreaptă spre fața stângă (vezi Fig. 1):

$$E_H = \frac{U_H}{b}. \quad (2)$$

Acesta are ca rezultat apariția forței electrice,  $\vec{F}_H = e\vec{E}_H$  care acționează asupra purtătorilor de sarcină electrică și se opune devierii în continuare a electronilor datorită forței Lorentz până la stabilirea echilibrului între forțe. Diferența de potențial  $U_H$  crește până

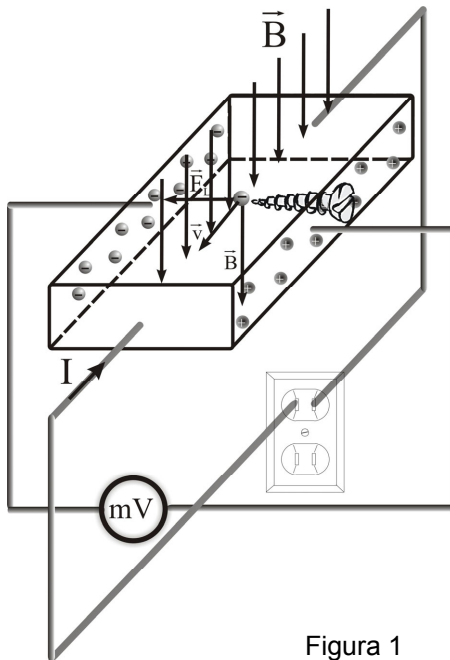


Figura 1

când cele două forțe  $F_L$  și  $F_H$  devin egale:

$$\frac{U_H}{b} e = evB, \quad (3)$$

unde  $b$  este lățimea plăcii). Dacă considerăm concentrația electronilor,  $n$  ca numărul de electroni de conductibilitate din unitatea de volum, atunci intensitatea curentului electric se poate scrie ca:

$$I = e \cdot n \cdot v \cdot a \cdot b. \quad (4)$$

Eliminând viteza din ecuațiile (3) și (4) se obține tensiunea Hall:

$$U_H = \frac{1}{ne} \frac{IB}{a} = R_H \frac{IB}{a}. \quad (5)$$

Această interpretare a fenomenului este aproximativă, valorile experimentale pentru  $R_H$  fiind deosebite de cele calculate cu formula (5). Explicația nepotrivirii constă în aceea că s-a considerat fluxul de electroni care constituie curentul electric  $I$  ca fiind monocinetic. Acest lucru nu este adevărat decât în cazul particular al metalelor și al semiconductoarelor intrinseci puternic degenerați. Printr-un calcul mai precis se poate determina valoarea lui  $R_H = A/ne$  unde  $A$  este o constantă care depinde în principal de mecanismul difuziei purtătorilor de sarcină.  $R_H$  poate fi negativ sau pozitiv după cum purtătorii de sarcină sunt electroni sau goluri. Astfel pentru un semiconductor extrinsec:

$$R_H = \frac{A}{e} \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p - n\mu_n)^2}, \quad (6)$$

unde  $n$  și  $p$  sunt concentrațiile purtătorilor de sarcină, electroni respectiv goluri iar  $\mu_p$  și  $\mu_n$  sunt mobilitățile corespunzătoare sarcinilor pozitive și negative. Mobilitatea se definește ca raportul dintre viteza de drift medie a purtătorilor de sarcină sub acțiunea unui câmp exterior  $\vec{E}$  și mărimea câmpului exterior  $E = |\vec{E}|$ :

$$\mu = \frac{v}{E}. \quad (7)$$

Dacă se exprimă conductibilitatea electrică în funcție de mobilitate atunci avem relația:

$$\sigma = en \left( \mu_n + \mu_p \right). \quad (8)$$

Valorile lui  $R_H$  sunt cuprinse între  $10^{-11}$  și  $10^{-10}$  Vm/AT, în cazul majorității metalelor, acestea fiind mult mai mari pentru semiconductoare ( $10^{-4}$  –  $10^2$  Vm/AT). Cunoscând valoarea și semnul constantei Hall se pot obține informații privind concentrația, mobilitatea și tipul purtătorilor de sarcină. Din semnul lui  $R_H$

se determină tipul purtătorilor de sarcină, iar cunoscând  $R_H = A/ne$  se determină concentrația  $n$ . Pentru materialele cu un singur tip de purtători, din  $\sigma = n \cdot e \cdot \mu$  și  $n = \frac{A}{R_H e}$  rezultă  $R_H \sigma = A \mu$ , de unde se determină mobilitatea  $\mu$ .

Pentru semiconductoarele cu ambele tipuri de purtători de sarcină electrică întrucât  $n$ ,  $p$ ,  $\mu_n$  și  $\mu_p$  sunt necunoscute, relația (4) devine incompletă pentru determinarea constantei Hall, a concentrației și mobilității purtătorilor de sarcină electrică.

### 3. Aplicații

În domeniul măsurătorilor electrotehnice efectul Hall este utilizat la măsurarea intensității câmpului magnetic și a inducției magnetice, la măsurarea pierderilor de energie în fier, a curenților continui foarte intensi, la măsurarea puterii în rețelele de curent continuu și alternativ, a defazajului și a factorului de putere.

În domeniul calculatoarelor electronice și automată dispozitivul Hall este folosit ca multiplicator în calculatoare numerice, efectul Hall este de asemenea folosit pentru protecția automată a instalațiilor de scurtcircuit, comutatori fără contact, stabilizator de curent, etc.

### 4. Metodica experimentală

#### 4.1 Montajul experimental

Dispozitivul experimental (vezi Fig.2) se compune dintr-un electromagnet confecționat din tole ARMCO în formă de cadru, pentru a concentra cât mai bine câmpul magnetic. Fiecare bobină are un număr mare de spire, valoarea maximă a curentului de alimentare  $I_B$ , a bobinelor electromagnetului fiind de 3A. Electromagnetul este conectat la o sursă de 12 V printr-un potențiomtru R.

Placa semiconductoare de germaniu care se studiază, este introdusă între polii electromagnetului și este alimentată de la un redresor stabilizat, cu un curent  $I$  de comandă, măsurat cu miliampermetrul mA. Curentul maxim admis prin plăcuță este 10 mA. Tensiunea Hall se măsoară între punctele 3 și 4 ale plăcuței de germaniu (Fig. 1).

#### 4.2 Modul de lucru

1. Se conectează circuitul electromagnetului la 12 V și circuitul în care se găsește proba la redresorul stabilizat .
2. Se citește valoarea diferenței de potențial în absența câmpului magnetic (intensitatea curentului de alimentare a electromagneților  $I = 0$ ). Existența unei diferențe de potențial se datorează asimetriei contactelor laterale față de axa orizontală a plăcii semiconductoare și este egală cu căderea de tensiune pe placă între aceste contacte.
3. Cu ajutorul reostatului R se fixează valoarea curentului în electromagneți  $I_B = 1.5$  A. Se modifică curentul de comandă  $I$  prin proba de

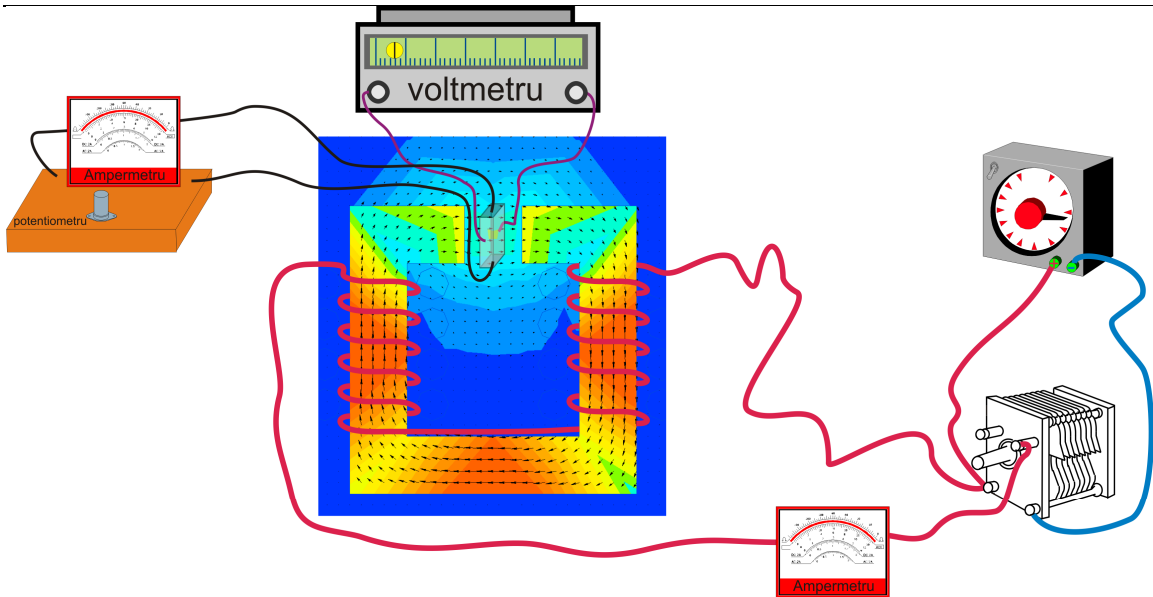


Figura 2

studiat din 2 mA în 2mA până la 8 mA citindu-se valoarea tensiunii electrice. Se ține seama că tensiunea indicată de voltmetru este suma tensiunii de asimetrie și a tensiunii Hall. Din graficul de etalonare al voltmetrului se scot valorile tensiunii Hall  $U_H$  (în mV) în funcție de valorile citite (în diviziuni).

4. Se repetă măsurătorile pentru alte două valori ale curentului din electromagneți  $I_B = 2A$  și  $I_B = 2.5 A$ .

#### 4.3 Prelucrarea datelor experimentale

1. Pentru fiecare dintre cele 12 valori experimentale ale lui  $U_H$  obținute pentru un anumit câmp  $B$  și un anumit curent  $I$  se calculează  $IB/a$
2. Din graficul  $U_H = f(IB/a)$  se calculează panta acestuia care reprezintă constanta Hall,  $R_H$ . Atenție la unitățile de măsură!
3. Concentrația de purtători de sarcină se determină cu relația  $n = 1/R_H e$
4. Conductibilitatea electrică se calculează cu relația

$$\sigma = \frac{c}{R \cdot a \cdot b}, \quad (9)$$

unde  $R$  este rezistența semiconductorului și are valoarea  $R = 400 \Omega$ , iar grosimea  $a = 1.5 \text{ mm}$ , lățimea  $b = 2.0 \text{ mm}$  și lungimea  $c = 12 \text{ mm}$ .

5. Mobilitatea se calculează din relația.

$$\mu = R_H \sigma. \quad (10)$$

Fizică: Îndrumător de laborator

Tabelul 1

$I_B$ [A]	$B$ [T]	$I$ [mA]	$\frac{IB}{a}$ [AT/m]	$U$ [div.]	$U_H$ [mV]	$R_H$ [Vm/AT]	$n$ [e <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [Ωm] <sup>-1</sup>	$\mu$ [m <sup>2</sup> /Vs]
1.5	0.20	2							
		4							
		6							
		8							
2	0.25	2							
		4							
		6							
		8							
2.5	0.28	2							
		4							
		6							
		8							