

Lucrarea 3 :

Studiul efectului Hall la semiconductori

1 Considerații teoretice

În această lucrare vom studia efectul Hall într-o plăcuță semiconductoare de formă paralelipipedică, precum cea din *Figura 1 (a)*.

Prin plăcuța semiconductoare se stabilește curentul electric de intensitate I în lungul dimensiunii celei mai mari. Se aplică un câmp magnetic de inducție \vec{B} perpendicular pe direcția curentului electric de intensitate I . Sub acțiunea acestui câmp asupra electronilor de sarcină electrică $-e$ se va manifesta *forța Lorentz*

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

și aceștia vor fi antrenați în mișcare circulară, de diametru mai mare decât lățimea probei, pentru cei mai mulți dintre ei, care se vor aduna pe una din fețe încărcându-o negativ, cealaltă față rămânând încărcată pozitiv *Figura 1 (b)*.

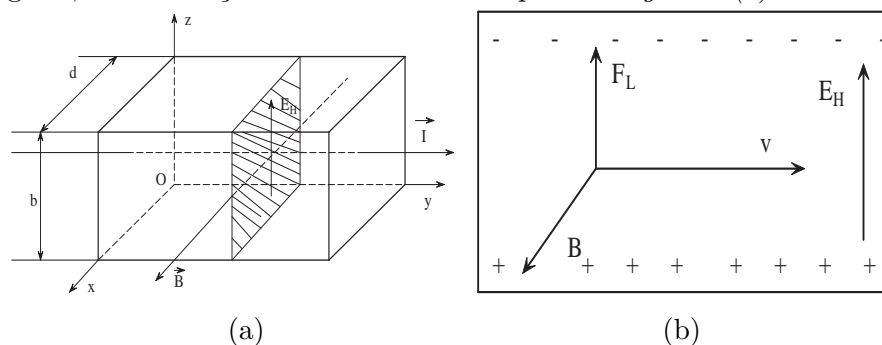


Figura 1.

Ca urmare a acțiunii forței Lorentz între cele două fețe, opuse și încărcate cu sarcini de semn opus va apare un câmp electric transversal, $\vec{E}_H = -\vec{v} \times \vec{B}$, numit *câmp Hall*, iar diferența de potențial corespunzătoare se numește *tensiune Hall*. Câmpul Hall acționează asupra electronilor cu o forță $\vec{f} = -e\vec{E}_H$ de sens contrar forței Lorentz. Devierea electronilor spre una din fețele probei are loc până în momentul în care forța Lorentz, \vec{F}_L , este echilibrată de forța \vec{f} corespunzătoare

câmpului Hall, $\vec{F}_L = -\vec{f}$. Aceasta este exprimată, dacă lucrăm cu modulele mărimilor luate în considerare, prin relația

$$eE_H = evB. \quad (2)$$

Din acest moment purtătorii de sarcină vor trece nedeviați prin probă. Multiplicând ambii membri ai ecuației (2) cu concentrația n a electronilor din probă și ținând cont de faptul că densitatea j a curentului electronilor este dată de relația $j = nev = \frac{I}{bd}$ ecuația (2) devine

$$neE_H = nevB = \frac{I}{bd}B \implies E_H = \frac{1}{ne} \frac{I}{bd}B \implies U_H = E_H \cdot b = \frac{1}{ne} \frac{I}{d}B = R_H \frac{I}{d}B. \quad (3)$$

Din relația de mai sus observăm că tensiunea Hall este proporțională cu inducția câmpului magnetic aplicat, B , cu intensitatea I a curentului ce parcurge proba în lungul dimensiunii celei mai mari și invers proporțională cu lățimea d a probei. Factorul de proporționalitate $R_H = \frac{1}{ne}$ se numește *constantă Hall*. Cunoscând constanta Hall se poate determina concentrația n a electronilor.

Într-o teorie mai riguroasă se ține seama și de interacțiunile electronilor cu imperfecțiunile rețelei, constanta Hall corectându-se în mod corespunzător.

2 Prezentarea instalației experimentale

Instalația experimentală pentru studiul efectului Hall este compusă din trei circuite : un circuit de comandă, un circuit de câmp magnetic și un circuit de măsură, conform schemei prezentate în *Figura 2*

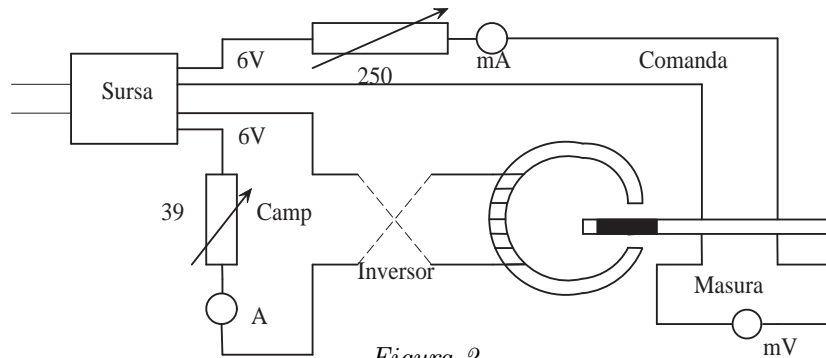


Figura 2

Circuitul ce produce câmpul magnetic este realizat dintr-o înfășurare din sârmă de Cu pe un miez magnetic, înfășurare alimentată, prin intermediul unui

reostat de 39Ω și al unui inversor, de la o sursă stabilizată de tensiune continuă de $6V$. Intensitatea curentului din circuit este citită cu un instrument analogic. În miezul magnetic este realizat un întrefier prin înlăturarea unei porțiuni din acesta. Inducția câmpului magnetic în funcție de intensitatea curentului I_b prin bobina de câmp este dată de relația

$$B[T] = -0.017 + 0.48I_b - 0.12I_b^2 \quad (4)$$

unde I_b se exprimă în A .

Circuitul de comandă este realizat dintr-un reostat de 250Ω , proba semiconductoră plasată în întrefier, regiune în care câmpul magnetic este omogen, sursa stabilizată de tensiune continuă și instrument analogic pentru măsurarea curentului din circuit, numit *curent de comandă*, I_c .

Pe fețele între care apare câmpul Hall se depun electrozi pe întreaga lor suprafață, pentru a se evita supraîncălzirea acestora în cazul realizării punctiforme. Electrozii lipiți pe aceste fețe împreună cu un voltmetru digital la care sunt duse două fire, câte unul de la fiecare electrod constituie circuitul de măsură.

Inversorul de tensiune are următorul rol : contactele punctiforme ale firelor ce leagă electrozii la voltmetru nu sunt pe aceeași linie echipotențială, adică nu sunt simetrice față de un plan de simetrie al probei. Acest fapt impune să măsurăm tensiunea Hall pentru ambele sensuri ale câmpului magnetic.

3 Modul de lucru

În această lucrare se studiază efectul Hall prin două metode :

- Curentul de comandă, I_c , ca parametru și curentul de câmp, I_b , ca variabilă,
- Curentul de câmp, I_b , ca parametru și curentul de comandă, I_c , ca variabilă.

1. Pentru primul experiment se aleg trei valori ale curentului de comandă $I_c = 30mA, 50mA, 70mA$ și pentru fiecare dintre acestea se aleg 17 valori ale curentului de câmp I_b de la $0,2A$ la $1A$ cu pasul $0.05A$. Pentru fiecare pereche (I_c, I_b) se utilizează inversorul. Se reține valoarea tensiunii Hall măsurate. Rezultatele măsurătorilor se trec în coloanele doi, patru și cinci ale Tabelului 1. Utilizând relația (4) se completează coloana a treia.

2. Pentru al doilea experiment se aleg trei valori ale curentului de câmp $I_b = 300mA, 500mA, 700mA$ și pentru fiecare dintre acestea se aleg 9 valori ale curentului de comandă, I_c de la $20mA$ la $100mA$ cu pasul $10mA$. Pentru fiecare pereche (I_c, I_b) se utilizează inversorul. Se reține valoarea tensiunii Hall măsurate. Rezultatele măsurătorilor se trec în coloanele doi, trei și patru ale Tabelului 2.

Lățimea d a probei este $0,3mm$

4 Prezentarea rezultatelor

1.1. Se completează coloana a șasea, din Tabelul 1, cu media aritmetică a coloanelor a patra și a cincea.

1.2. Se calculează constanta Hall cu relația

$$R_H = \frac{U_H d}{I_c B} \quad (5)$$

obținută din relația (3) și se completează coloana a șaptea a Tabelului 1. Se completează apoi coloanele 8, 9, 10, 11.

1.3. Se pune relația (5) sub forma

$$U_H = \frac{I_c}{d} R_H B \quad (6)$$

și se reprezintă grafic U_H în funcție de B . Punctele de pe grafic se înscriu pe o dreaptă. Se determină panta dreptei, $\frac{I_c}{d} R_H$, fie din considerente de geometrie analitică, fie utilizând un program de fitare. Din panta dreptei se determină coeficientul Hall R_H .

1.4. Se compară rezultatele obținute prin cele două metode, statistică și grafică, și se discută comparativ.

2.1. Se completează coloana a cincea cu media aritmetică a coloanelor a treia și a patra a Tabelului 2.

2.2. Se calculează constanta Hall cu relația (5) și se completează coloana a șasea a Tabelului 2. Se completează apoi coloanele 7, 8, 9, 10.

2.3. Se pune relația (5) sub forma

$$U_H = \frac{B}{d} R_H I_c \quad (7)$$

și se reprezintă grafic U_H în funcție de I_c . Punctele de pe grafic se înscriu pe o dreaptă. Se determină panta dreptei, $\frac{B}{d} R_H$, fie din considerente de geometrie analitică, fie utilizând un program de fitare. Din panta dreptei se determină coeficientul Hall R_H .

2.4. Se compară rezultatele obținute prin cele două metode, statistică și grafică, și se discută comparativ.

3. Pentru un set de măsurători se calculează concentrația electronilor din relația de definiție a coeficientului Hall

$$n = \frac{1}{e R_H} \quad (8)$$

și se completează coloanele doi și trei ale Tabelului 3 de mai jos

10. Se completează toate coloanele Tabelului 3.

Tabel 1
 $I_c = 30$ [mA]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nr. crt.	I_b [A]	B [T]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	0,20									
2	0,25									
3	0,30									
4	0,35									
5	0,40									
6	0,45									
7	0,50									
8	0,55									
9	0,60									
10	0,65									
11	0,70									
12	0,75									
13	0,80									
14	0,85									
15	0,90									
16	0,95									
17	1,00									

Tabel 2
 $I_b = 300$ [mA] , $B =$ [T]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr. crt.	I_c [mA]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	20								
2	30								
3	40								
4	50								
5	60								
6	70								
7	80								
8	90								
9	100								

Tabel 1
 $I_c = 50$ [mA]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nr. crt.	I_b [A]	B [T]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	0,20									
2	0,25									
3	0,30									
4	0,35									
5	0,40									
6	0,45									
7	0,50									
8	0,55									
9	0,60									
10	0,65									
11	0,70									
12	0,75									
13	0,80									
14	0,85									
15	0,90									
16	0,95									
17	1,00									

Tabel 2
 $I_b = 500$ [mA] , $B =$ [T]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr. crt.	I_c [mA]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	20								
2	30								
3	40								
4	50								
5	60								
6	70								
7	80								
8	90								
9	100								

Tabel 1
 $I_c = 70$ [mA]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nr. crt.	I_b [A]	B [T]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	0,20									
2	0,25									
3	0,30									
4	0,35									
5	0,40									
6	0,45									
7	0,50									
8	0,55									
9	0,60									
10	0,65									
11	0,70									
12	0,75									
13	0,80									
14	0,85									
15	0,90									
16	0,95									
17	1,00									

Tabel 2
 $I_b = 700$ [mA] , $B =$ [T]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr. crt.	I_c [mA]	U_{H_1} [mV]	U_{H_2} [mV]	U_H [mV]	R_H [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle$ [$m^3/A \cdot s$]	ΔR_H [$m^3/A \cdot s$]	σ_{R_H} [$m^3/A \cdot s$]	$\langle R_H \rangle \pm \sigma_{R_H}$ [$m^3/A \cdot s$]
1	20								
2	30								
3	40								
4	50								
5	60								
6	70								
7	80								
8	90								
9	100								

Tabel 3

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

1	2	3	4	5	6	7
Nr. crt.	R_{H_i} [$m^3/A \cdot s$]	n_i [m^{-3}]	$\langle n \rangle$ [m^{-3}]	Δn_i [m^{-3}]	σ_n [m^{-3}]	$\langle n \rangle \pm \sigma_n$ [m^{-3}]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						