

1 Pracovní úkol

1. Zjistěte závislost proudu na přiloženém napětí při nulové magnetické indukci.
2. Zjistěte závislost Hallova napětí na magnetické indukci při dvou hodnotách konstantního proudu vzorkem.
3. Výsledky měření zpracujte graficky a vyhodnoťte měrnou vodivost a Hallovu konstantu vzorku
4. Vypočtěte pohyblivost a koncentraci nositelů náboje.

2 Teoretický úvod

Měrná elektrická vodivost σ je veličina charakterizující schopnost látky vést elektrický proud. Vystupuje v Ohmově zákoně zapsaném v diferenciálním tvaru:

$$i = \sigma E \quad (1)$$

kde i je hustota proudu a E je intenzita elektrického pole.

V našem případě je látkou polovodič - germanium typu n, tedy můžeme předpokládat, že výrazně převažují elektrony jako nositelé náboje. Potom pro vodivost platí vztah:

$$\sigma = en\mu_n \quad (2)$$

kde μ_n je pohyblivost elektronů a n je koncentrace elektronů.

V této úloze vodivost vypočteme ze vztahu:

$$\sigma = \frac{l}{td} \frac{I_{1,2}}{U_{3,4}} \quad (3)$$

kde $I_{1,2}$ je proud vzorkem (tj. mezi kontakty 1 a 2 - viz příloha 1, obr.1) a $U_{3,4}$ je napětí mezi kontakty 3 a 4. l , t a d jsou rozměry vzorku (viz obr.1).

Jestliže teče proud mezi kontakty 1 a 2 na vzorku tvaru kvádru (viz obr.1), platí pro proudovou hustotu:

$$i = \frac{I}{dt} \quad (4)$$

Působí-li na vzorek magnetické pole o indukci B ve směru osy z a je-li proud vzorkem způsoben pohybem elektronů proti směru osy x , působí na tyto náboje Lorentzova síla o velikosti $-e < v_n > B$, jejíž výslednice míří ve směru záporné osy y . Tato síla způsobuje odchýlení elektronů směrem ke stěně, v níž je umístěn kontakt 5 (viz obr.1). Tím vzniká příčné elektrické pole E_y . Kromě Lorentzovy síly působí na náboje také elektrostatická síla eE_y . K rovnováze dojde, jsou-li obě síly v rovnováze. Potom pro napětí mezi kontakty 5, 6 (tzv. Hallovo napětí U_H) platí:

$$U_H = r_H \frac{1}{en} \frac{IB}{t} \quad (5)$$

kde r_H je tzv. Hallův rozptylový faktor. V našem případě je $r_H = \frac{3}{8}\pi$.

Hallovu konstantu R_H spočteme ze vztahu:

$$R_H = \frac{r_H}{en} \quad (6)$$

Hallovu pohyblivost určíme ze vzorce:

$$\mu = R_H \sigma \quad (7)$$

Vzhledem k tomu, že kontakty na vzorku nemusí být umístěny symetricky, je třeba pro výpočet Hallova napětí užít vztah:

$$|U_H| = \frac{|U_{5,6}^{(1)} - U_{5,6}^{(2)}|}{2} \quad (8)$$

kde $U_{5,6}^{(1)}$ a $U_{5,6}^{(2)}$ jsou napětí při opačných polaritách magnetického pole.

Schéma zapojení pro měření úkolu 1 viz obr.2, pro měření úkolu 2 viz obr.3 (oboje viz příloha 1).

3 Výsledky měření

Rozměry vzorku

$$l = (6.0 \pm 0.1)mm$$

$$d = (3.4 \pm 0.1)mm$$

$$t = (0.7 \pm 0.1)mm$$

Závislost magnetické indukce na proudu: $B(T) = 0.098 I(A)$

3.1 Závislost proudu vzorkem na napětí při nulové magnetické indukci

tab.1

I(mA)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5
U(V)	0.000	0.243	0.483	0.759	0.961	1.213	1.454	1.688	1.918	2.159	2.382

3.2 Závislost Hallova napětí na magnetické indukci

I=2mA

tab.2

I(A)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
B(T)	0.049	0.098	0.147	0.196	0.245	0.294	0.343	0.392
$U_{5,6}^{(1)}$ (V)	42.14	33.00	22.77	14.75	5.57	-2.51	-13.51	-18.86
$U_{5,6}^{(2)}$ (V)	60.03	69.48	79.26	88.05	98.35	107.33	116.15	124.53
U_H (V)	8.95	18.24	28.25	36.65	46.39	54.92	64.83	71.70

I=4mA

tab.3

$I(\text{A})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$B(\text{T})$	0.049	0.098	0.147	0.196	0.245	0.294	0.343	0.392
$U_{5,6}^{(1)}(\text{V})$	80.93	63.88	42.45	27.63	10.81	-6.34	23.60	-38.10
$U_{5,6}^{(1)}(\text{V})$	117.01	136.05	153.70	173.40	189.01	209.30	227.20	243.50
$U_H(\text{V})$	18.04	36.09	55.63	72.89	89.10	107.82	125.40	140.80

3.3 Grafické zpracování, zjištěné hodnoty

Grafické zpracování závislostí z tab.1-3 viz příloha 2.

Hodnoty zjištěné pomocí lineární regrese:

$$\text{měrná vodivost: } \sigma = (5.3 \pm 0.8) A \text{ V}^{-1} m^{-1}$$

$$\text{koncentrace nositelů náboje: } n = (1.2 \pm 0.2) \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

$$\text{Hallova konstanta: } R_H = (6.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-2} \text{ C}^{-1} m^3$$

$$\text{pohyblivost: } \mu = (0.3 \pm 0.05) \Omega^{-1} \text{ C}^{-1} m^2$$

4 Diskuze

Závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí vyšla lineární, což odpovídá předpokladům. Grafické zpracování viz příloha 2.

Závislost Hallova napětí na magnetické indukci vyšla pro obě hodnoty proudu také lineární.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zatíženy poměrně velkou chybou, která např. pro koncentraci elektronů či pro pohyblivost dosahuje až 17%. To je podle mého názoru způsobeno hlavně nepřesným měřením rozměru t vzorku.

5 Závěr

Závislosti proudu na přiloženém napětí i Hallova napětí na magnetické indukci vyšly lineární.

Zjištěné hodnoty:

$$\text{měrná vodivost: } \sigma = (5.3 \pm 0.8) A \text{ V}^{-1} m^{-1}$$

$$\text{koncentrace nositelů náboje: } n = (1.2 \pm 0.2) \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

$$\text{Hallova konstanta: } R_H = (6.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-2} \text{ C}^{-1} m^3$$

$$\text{pohyblivost: } \mu = (0.3 \pm 0.05) \Omega^{-1} \text{ C}^{-1} m^2$$

6 Literatura

- [1] Bakule,R., Šternberk,R.: Fyzikální praktikum II. - elektřina a magnetismus, SPN Praha 1989
- [2] Brož,J.:Základy fyzikálních měření, SPN Praha 1967
- [3] Mikulčák a kol.: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, SPN, Praha 1970