

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM II

Úloha č.: X

**Název:** Měření elektrické vodivosti a Hallovy konstanty polovodiče

**Vypracovala:** ..... **stud. sk.** ..... **dne:** 15.03.04.....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** .....

**Posuzoval:** ..... **dne** ..... **výsledek klasifikace** .....

**Připomínky:**

## I. Pracovní úkol

- I. Změřte závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí při nulové magnetické indukci.
- II. Zjistěte závislost Hallova napětí na magnetické indukci na konstantním proudu vzorkem
- III. Výsledky měření zpracujte graficky a vyhodnoťte měrnou vodivost a Hallovu konstantu vzorku
- IV. Vypočtěte pohyblivost a koncentraci nositelů Hallova náboje

## II. Teorie

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

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

$i$  ..... hustota proudu

$E$  ..... intenzita elektrického pole

Pro polovodiče potom platí vztah:

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \quad (2)$$

$e$  ..... elementární náboj

$\mu$  ..... pohyblivost

$n$  ..... koncentrace elektronů

$p$  ..... koncentrace děr

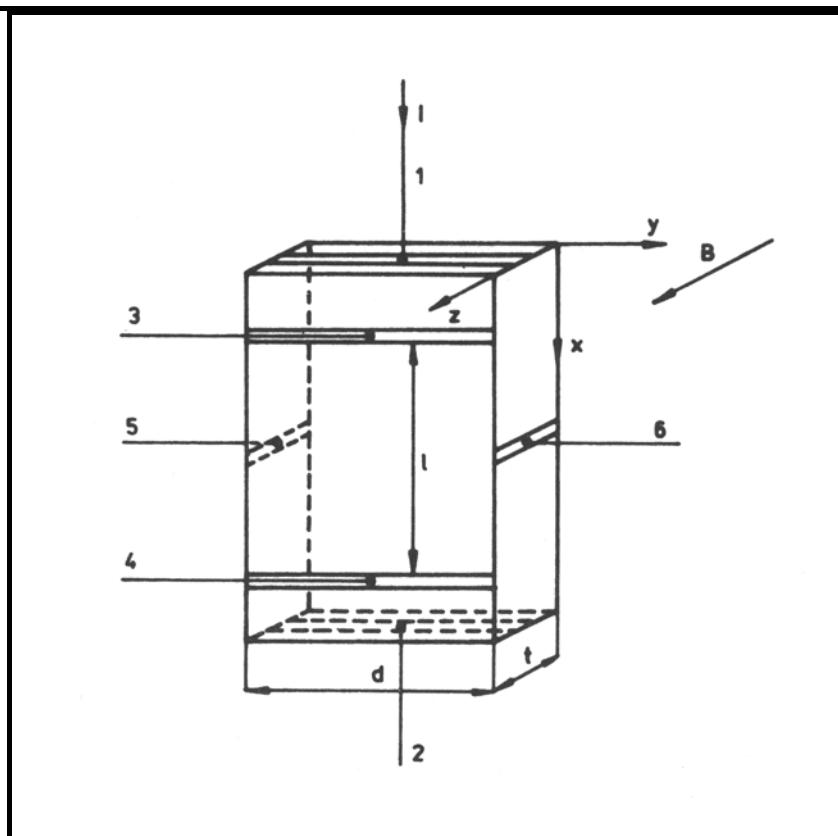
Pro naše výpočty budeme předpokládat, že v materiálu významně převládá jen jedna z typů vodivosti. V této úloze vodivost vypočteme ze vztahu:

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

$l, t, d$  ..... rozměry vzorku

$I_{1,2}$  ..... proud vzorkem

$U_{3,4}$  ..... napětí mezi kontakty 3, 4; viz obr. 1



obr. 1

Pro proudovou hustotu platí:

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

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  $-e\langle v_n \rangle B$ , kde  $\langle v_n \rangle$  je střední rychlost uspořádaného pohybu elektronů. Výslednice této síly směřuje ve směru záporné osy  $y$ . Tato síla způsobuje odchýlení elektronů směrem ke stěně (kontakt 5), tím vzniká příčné elektrické pole  $E_y$ . Kromě Lorentzovy síly působí na náboje také elektrostatická síla  $eE_y$ . Pro napětí mezi kontakty 5, 6 platí vztah:

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

$U_H$  ..... Hallovo napětí

Při měření Hallova napětí musíme uvažovat i Hallův rozptylový faktor  $r_H$ . Potom platí vztah:

$$U_H = \frac{r_H}{en} \cdot \frac{IB}{t} \quad (6)$$

Pro daný materiál  $r_H = 3/8\pi$ .

Víme, že magnetická indukce  $B$  závisí na proudu dle vztahu:

$$B = 0,115 I \quad (7)$$

Hallovu konstantu spočteme podle vzorce:

$$R_H = \frac{r_H}{en} \quad (8)$$

Hallovu pohyblivost určíme ze vztahu:

$$\mu = R_H \sigma \quad (9)$$

Vzhledem k tomu, že svorky na vzorku nemusí být symetrické, je třeba užít vztah:

$$|U_H| = \frac{|U_{5,6}^{(1)} - U_{5,6}^{(2)}|}{2} \quad (10)$$

$U_{5,6}^{(1)}, U_{5,6}^{(2)} \dots$  napětí při opačných polaritách magnetického pole

### III. Výsledky měření

Rozměry vzorku:  $l = (6,0 \pm 0,1) \text{ mm}$

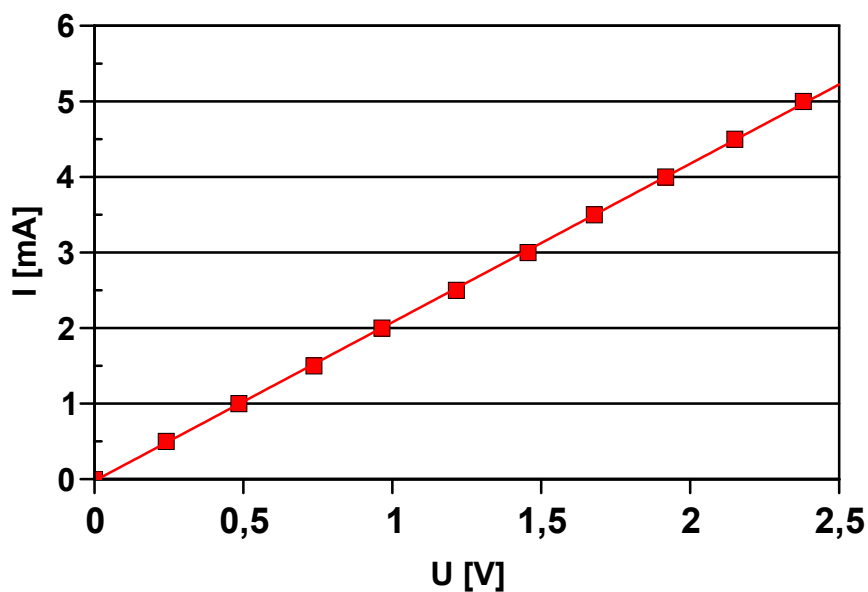
$d = (3,4 \pm 0,1) \text{ mm}$

$t = (0,7 \pm 0,1) \text{ mm}$

tab. 1 – závislost proudu na napětí při nulové intenzitě magnetického pole

I [mA]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
U [V]	0,000	0,241	0,485	0,737	0,965	1,215	1,456	1,678	1,918	2,150	2,380

### Závislost proudu na přiloženém napětí



graf 1

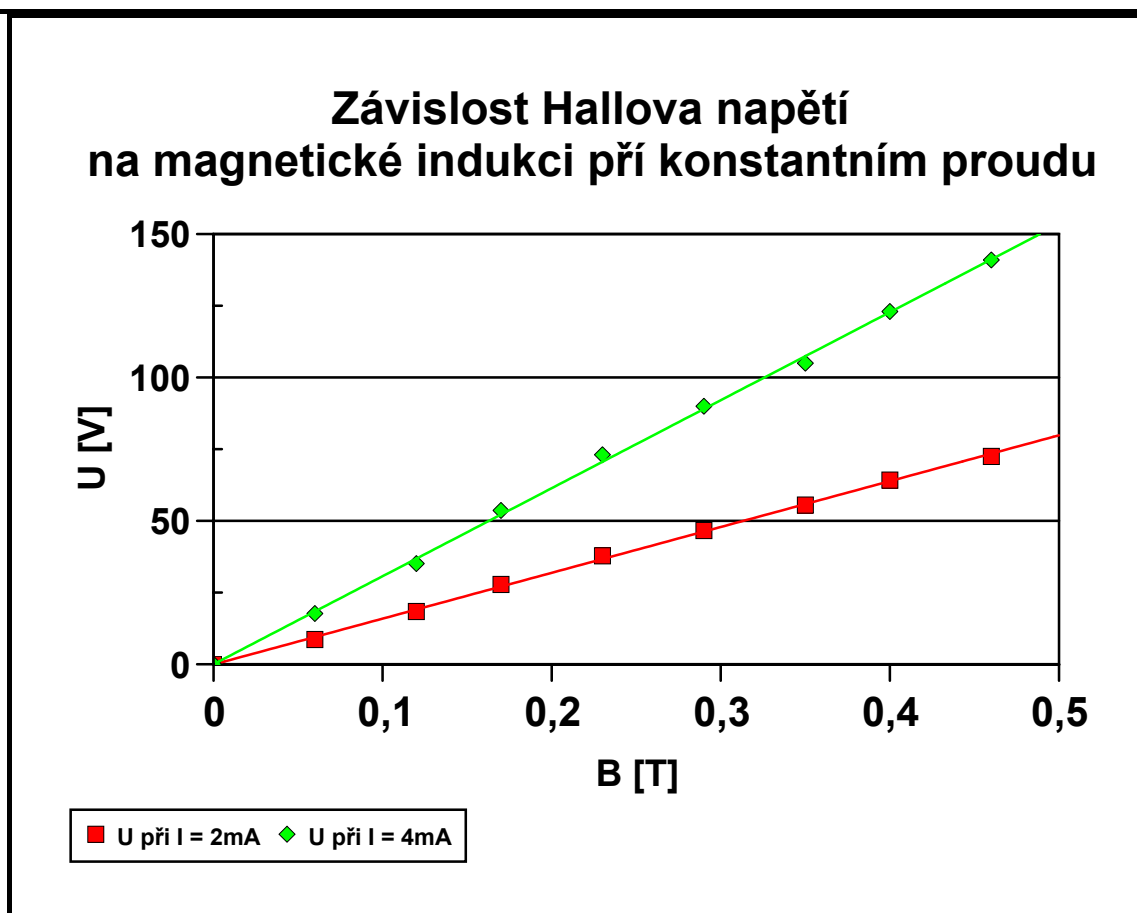
Z lineární regrese  $\sigma = (5,3 \pm 0,8) \text{ A} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

tab. 2 – závislost Hallova napětí na proudu (při  $I = 2 \text{ mA}$ )

I [A]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
B [T]	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,40	0,46
$U^{(1)}_{5,6} [\text{mV}]$	56,00	46,67	37,75	28,45	19,43	10,43	1,72	-6,46	-14,45
$U^{(2)}_{5,6} [\text{mV}]$	56,00	64,00	74,65	84,17	95,22	103,82	112,85	122,11	130,55
$U_H [\text{mV}]$	0,00	8,66	18,45	27,86	37,89	46,69	55,56	64,28	72,50

tab. 3 – závislost Hallova napětí na proudu (při  $I = 4 \text{ mA}$ )

I [A]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
B [T]	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,40	0,46
$U^{(1)}_{5,6} [\text{mV}]$	112,51	95,52	79,08	61,07	43,55	25,46	10,37	-5,54	-21,30
$U^{(2)}_{5,6} [\text{mV}]$	112,51	130,92	149,34	168,32	189,66	205	221	240	260
$U_H [\text{mV}]$	0,00	17,70	35,13	53,63	73,06	90	105	123	141



Z lineární regrese získáme

$$n = (1,3 \pm 0,1) \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$$

$$R_H = (5,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{C}^{-1} \text{m}^3$$

$$\mu = (0,029 \pm 0,004) \Omega^{-1} \text{C}^{-1} \text{m}^2$$

## IV. Diskuse

Naměřené a spočtené hodnoty jsou na zatíženy poměrně velkými chybami měření (všechny chyby jsme počítali jako chyby nepřímých měření). U pohyblivosti elektronů dosahuje až 15%. Je to způsobeno převážně velkou relativní chybou určení rozměru  $t$  vzorku.

## V. Závěr

Závislost proudu na napětí při nulové magnetické indukci je lineární, stejně jako závislost Hallova napětí na magnetické indukci, což odpovídá předpokladům. Měrná vodivost nám vyšla  $\sigma = (5,3 \pm 0,8) \text{A} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Hallova konstanta  $R_H = (5,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{C}^{-1} \text{m}^3$ . Pohyblivost elektronů  $\mu = (0,029 \pm 0,004) \Omega^{-1} \text{C}^{-1} \text{m}^2$ . Koncentrace nábojů  $n = (1,3 \pm 0,1) \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$ .

## **VI. Literatura**

Bakule, R., Štenberk, J.: Fyzikální praktikum II., SPN Praha

Spružil, B., Zieleniecová, P.: Úvod do teorie fyzikálních měření, SPN Praha, 1986