

## Pracovní úkoly

1. Zjistěte závislost proudu vzorkem 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.

## Teoretická část

Měrná elektrická vodivost  $\sigma$  je veličina, která určuje jak je která látka schopná vést elektrický proud. Pro  $\sigma$  platí podle [1]:

$$\sigma = \frac{l}{td} \frac{I}{U_{34}} \quad (1)$$

Kde  $l$  je vzdálenost elektrod, mezi kterými měříme napětí  $U_{34}$  (ve směru proudu  $I$ ) a  $td$  je průřez vzorku. Definice rozměrů  $l$ ,  $t$  a  $d$  je patrná z obrázku 1.

Hallův jev je důsledkem působení Lorentzovy síly na pohybující se náboj v magnetickém poli. Tato síla způsobí, že se pohybující se nositel náboje přesune ke straně vzorku kolmé na magnetickou indukci  $B$  magnetického pole a procházející proud  $I$ . To vybudí v tomto směru Hallovo napětí  $U_H$  pro, které platí podle [1]:

$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{t} \quad (2)$$

Kde  $R_H$  je Hallova konstanta. Tato konstanta závisí na Hallově rozptylovém faktoru  $r_H$ , který je v našem případě [1]  $r_H = 3\pi/8$ . Pro  $R_H$  platí podle [1]:

$$R_H = \frac{r_H}{en} \quad (3)$$

Kde  $e$  je náboj nositelů náboje a  $n$  je koncentrace těchto nositelů.

Pro Hallovu konstantu  $R_H$  a měrnou elektrickou vodivost  $\sigma$  platí vztah podle [1]:

$$\mu = R_H \sigma \quad (4)$$

Takto zavedená veličina  $\mu$  se nazývá Hallovska pohyblivost.

Magnetické pole je vytvářeno pomocí cívek, kterými protéká proud  $I_{cív}$ . Pro vztah mezi  $B$  a  $I_{cív}$  v našem případě platí:

$$B = 0.098 \cdot I_{cív} \quad (5)$$

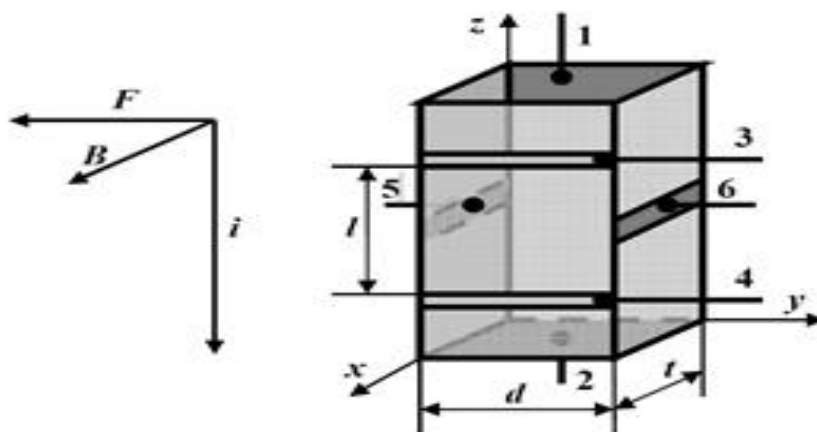
## Metoda měření

Nejprve jsme měřili proud procházející vzorkem v závislosti na přiloženém napětí, obvod byl zapojen podle schématu 1. Poté jsme za konstantního proudu vzorkem měřili závislost Hallova napětí na magnetické indukci magnetického pole, obvod byl zapojen podle schématu 2.

## Pomůcky

- Vzorek germania typu N
- Cívky
- Multimetr MXD-4660A (zapojený jako voltmetr)
- Multimetr MY-65 (zapojený jako ampérmetr)
- Analogová ampérmetr
- Vodiče
- Laboratorní zdroj

## Schémat a obrázky



Obrázek 1: definice rozměrů  $l$ ,  $t$  a  $d$ . Proud  $I$  teče mezi body 1 a 2. Hallovo napětí měříme mezi body 5 a 6. Napětí  $U_{34}$  měříme mezi body 3 a 4 – zdroj [1]

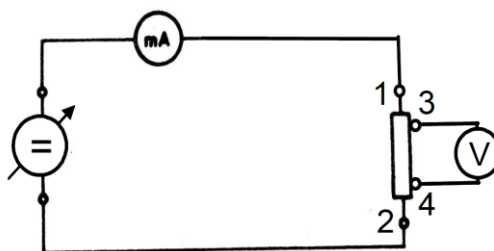


Schéma 1 - zdroj [1]

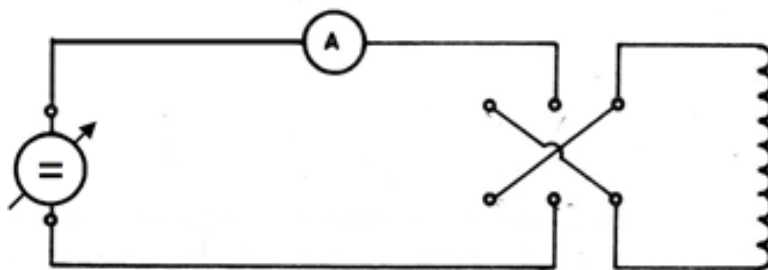


Schéma 2 - zdroj [1]

## Výsledky měření

Laboratorní podmínky by výsledky experimentu neměly ovlivnit.

Tabulka 1: rozměry vzorku

	hodnota	$\pm$
$l$ [mm]	6.000	0.005
$d$ [mm]	3.350	0.005
$t$ [mm]	0.720	0.005

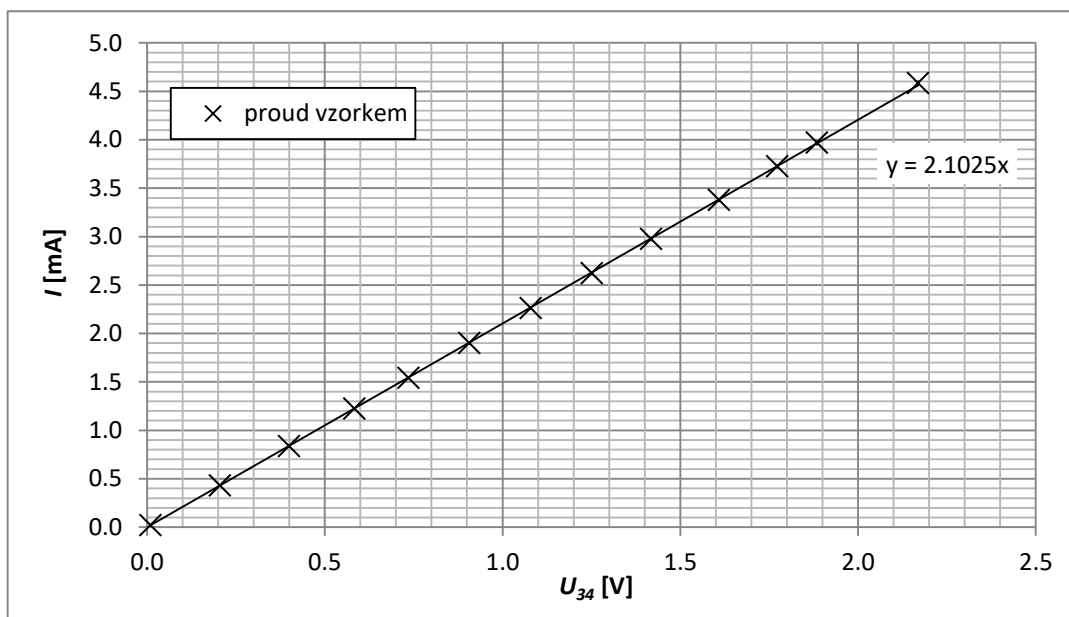
Tabulka 2 : měrná vodivost vzorku

	hodnota	$\pm$
$\sigma$ [ $\text{m}^{-1}\text{S}$ ]	5.23	0.04

Tabulka č. 1 obsahuje rozměry vzorku. Velikost nositelů náboje je elementární náboj elektronů, protože převládá elektronová vodivost (vzorek je polovodič typu N)

Graf č. 1 zobrazuje závislost proudu  $I$  procházejícím vzorkem na napětí  $U_{34}$ . Graf také obsahuje chybové úsečky, které jsou dány nepřesnostmi přístrojů, bohužel chybové úsečky jsou tak krátké, že na grafu nejsou čitelné. Naměřená data jsou proložena lineárním fitem. Ze směrnice tohoto fitu a z rozměrů vzorku v tabulce č. 1 lze podle vzorce (1) spočítat měrnou vodivost  $\sigma$ , tato měrná vodivost je zachycena v tabulce č. 2. Chybu jsme v tomto

případě určili ze vzorce pro výpočet chyby nepřímého měření. Do tohoto vzorce jsme dosadili chyby rozměrů vzorku a chybu směrnice z fitu.

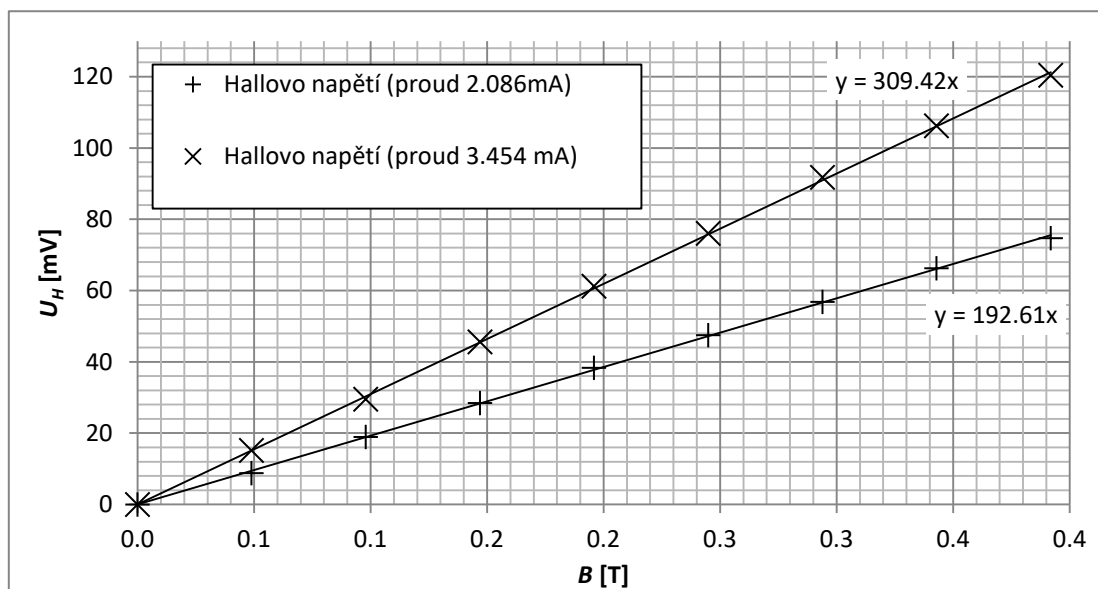


Graf 1: Proud vzorkem v závislosti na napětí  $U_{34}$

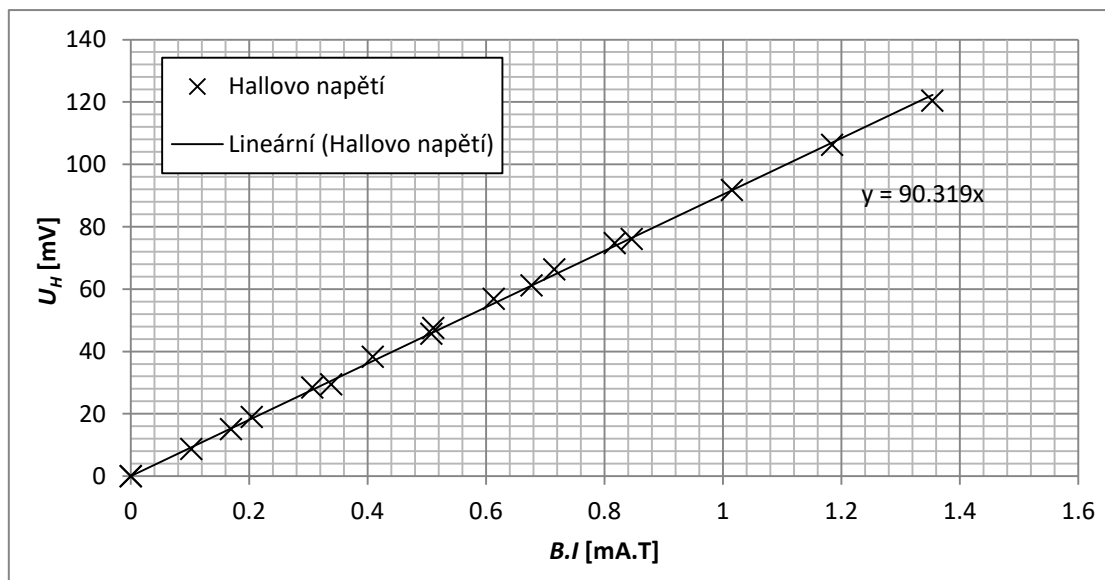
**Tabulka 3: Hallova konstanta, koncentrace nositelů náboje, Hallovska pohyblivost**

	hodnota	chyba
$R_H$ [ $\text{m}^3 \text{A}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]	$-65.0 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$
$n$ [ $\text{m}^{-3}$ ]	$1.13 \cdot 10^{20}$	$0.01 \cdot 10^{20}$
$\mu$ [ $\text{m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]	0.289	0.003

Graf č. 2 obsahuje závislost Hallova napětí  $U_H$  na magnetické indukci  $B$ , kterou jsme spočítali ze vzorce (5), pro dvě různé hodnoty proudu  $I$ . Data jsou proložena lineárním fitem. Graf č. 3 obsahuje závislost Hallova napětí na součinu  $B \cdot I$ , data jsou opět proložena lineárním fitem, ze směrnice tohoto fitu a vzorce (2) lze spočítat Hallovu konstantu  $R_H$ , ze vzorce (3) lze spočíst koncentraci nositelů náboje  $n$  a ze vzorce (4) lze spočíst Hallovska pohyblivost  $\mu$ . Tyto veličiny jsou zaznamenány v tabulce č. 3. Chyby všech těchto veličin jsme spočetli jako chyby nepřímého měření.



**Graf 2: Závislost Hallova napětí na magnetické indukci pro dva různé proudy procházející vzorkem**



**Graf 3: Závislost Hallova napětí na součinu magnetické indukce a proudu procházejícím vzorkem**

## Diskuse

Naměřená data odpovídají teoretickým závislostem, hodnoty na sobě závisí lineárně, chyba lineárního fitu se pohybovala okolo 0.4%, což je poměrně dobrý výsledek.

Nepřesnosti měření jsou způsobeny hlavně chybami přístrojů. Vzhledem k malým rozměrům vzorku nehraje roli ani případná nehomogenita magnetického pole. Další nepřesnost a systematická chyba může plynout z faktu, že vzorek se při průchodu větších proudů zahříval a tím se mohly měnit jeho elektrické vlastnosti.

Další systematickou chybu mohlo způsobit, že naše teorie nezohledňuje možné přechodové jevy na rozhraní elektrod a polovodičového vzorku.

## Závěr

Měrná vodivost vzorku byla:

$$\sigma = (5.23 \pm 0.04) \text{ Sm}^{-1}$$

Hallova konstanta vzorku byla:

$$R_H = (-65.0 \pm 0.5) \text{ m}^3\text{A}^{-1}\text{s}^{-1}$$

Hallovská pohyblivost nositelů náboje byla:

$$\mu = (0.289 \pm 0.003) \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$$

Koncentrace nositelů náboje byla:

$$n = (1.13 \pm 0.01) 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

## Literatura

- [1] Měření elektrické vodivosti a Hallovy konstanty polovodiče. *Fyzikální praktikum* [online].  
[cit. 20.11.2016]. Dostupné z:  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_210.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_210.pdf)
- [2] Fundamental Physical Constants. *National Institute of Standards and Technology* [online].  
[cit. 20.11.2016]. Dostupné z:  
[http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?te|search\\_for=all!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?te|search_for=all!)