

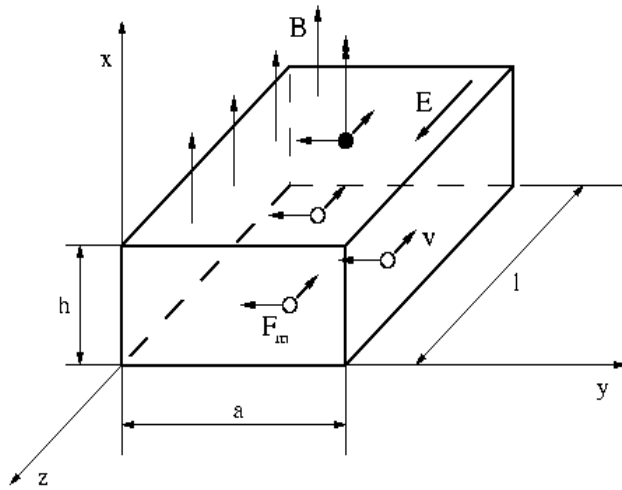
Štúdium základných parametrov polovodičových materiálov

Teoretický úvod

V praxi stojíme veľakrát pred úlohou stanoviť koncentráciu nosičov náboja a ich pohyblivosť v kove alebo v polovodiči. Ukazuje sa, že v takomto prípade je najvýhodnejšie použiť metódu *Hallovhov javu*, ktorého podstata spočíva v tom, že vo vzorke, cez ktorú preteká elektrický prúd pričom táto vzorka je umiestnená v magnetickom poli, vzniká *Hallove napätie*.

Predstavme si vzorku materiálu v tvare hranolku (obr. 1) o dĺžke l , ktorou preteká prúd I v smere dlhšej strany, takže prúdovú hustotu môžeme vyjadriť vzťahom

$$J = \frac{I}{S} = \frac{I}{ah} \quad (1)$$



Obr. 1

Zvoľme súradnicový systém tak, ako je to znázornené na obr. 1. Intenzita elektrického poľa $E = E_z$ spôsobujúceho elektrický prúd vo vzorke a indukcia magnetického poľa $B = B_x$ sú na seba kolmé. Magnetické pole o indukcii $\vec{B}$ vychyluje elektróny z roviny určenej ich rýchlosťou $\vec{v}$ a magnetickou indukciou $\vec{B}$ silou, pre ktorú môžeme písať

$$\vec{F}_m = -e[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (2)$$

Teda v prípade ako je znázornený na obr. 1 bude $\vec{F}_m$ orientovaná v smere $-y$. Vychyľované elektróny sa zhromažďujú na krajoch vzorky dovtedy,

kým elektrické pole, ktoré sami vytvárajú nevykompenzuje silový účinok magnetického poľa. Od tohoto momentu sa ďalšie nosiče náboja nevychyľujú. V tomto ustálenom stave existuje vo vzorke priečne elektrické pole o intenzite E_y , pre ktorú platí

$$eE_y = evB \quad (3)$$

Keď vyjadríme rýchlosť nosičov v poli E_z podľa vzťahu (2) a prúdovú hustotu v smere z podľa vzťahu (1), môžeme z rovnice (3) pre priečne elektrické pole písať

$$E_y = \frac{J}{en} B \quad (4)$$

Toto priečne pole vyvolá pozdĺž šírky vzorky potenciálny rozdiel U_H , teda Hallove napätie, ktoré môžeme zmerať využitím kontaktov na bočných stenách vzorky. Potom

$$U_H = aE_y = a \frac{J}{en} B \quad (5)$$

kde a je šírka vzorky v smere y . Keď využijeme rovnicu (1), po dosadení za J môžeme Hallovo napätie vyjadriť vzťahom

$$U_H = \frac{IB}{enh} = R_H \frac{IB}{h} \quad (6)$$

kde $R_H = 1/en$ je *Hallova konštanta*. Toto odvodenie bolo založené na predpoklade, že nosiče náboja (elektróny) sú voľné, čo je dobre splnené pre kovy. Pre polovodiče, kde takéto priblíženie nie je úplne správne, dáva presná teória pre Hallovu konštantu ešte číselný faktor $(3\pi/8)$. Potom môžeme písať

- pre kovy

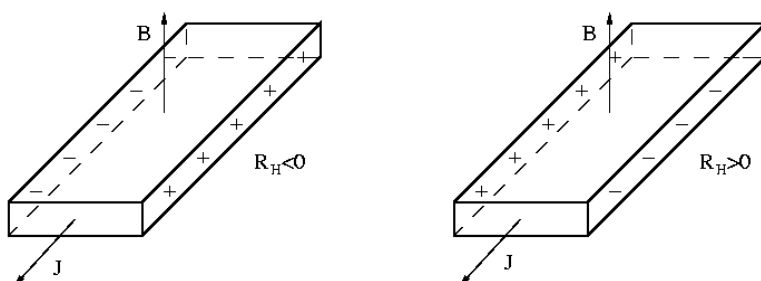
$$R_H = \frac{1}{en} \quad (7)$$

- pre polovodiče

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{en} \quad (8)$$

Všimnime si ešte jednu skutočnosť. Ak budeme mať polovodič typu P, budú nosičmi voľného náboja *diery*. Ich vektor rýchlosti bude smerovať v zápornom smere osi z , teda opačne ako v prípade elektrónov. Avšak, vzhľadom na rovnicu (2) magnetická sila F_m bude mať rovnaký smer ako v prípade elektrónovej vodivosti, preto zadná stena polovodičovej vzorky sa bude nabíjať kladným nábojom. Vzniknuté priečne elektrické pole E_y bude mať smer opačný ako v prípade elektrónovej vodivosti. Potom naopak, z polarizácie Hallovho napätia U_H môžeme usudzovať, o aký typ vodivosti ide.

Je zvykom Hallovej konštanty prisudzovať podľa dohody znamienko súhlasne so znamienkom nosičov prúdu, t.j. u kovov a polovodiča typu N záporné a u polovodiča typu P kladné. Schématicky je situácia znázornená na obr. 2.



Obr. 2

Úloha

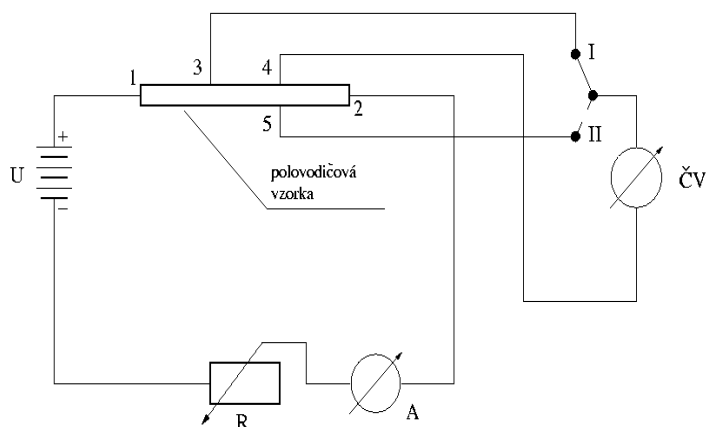
V nasledujúcich bodoch zmerajte

1. Mernú vodivosť danej polovodičovej vzorky (InSb).
2. Veľkosť Hallovhó napätia pre rôzne hodnoty prúdu, ktorý preteká vzorkou pri danej hodnote magnetickej indukcie B . Závislosť $U_H = f(I)_{B=\text{konšt}}$ vyneste graficky.
3. Určte typ vodivosti danej polovodičovej látky.
4. Využitím vzťahov (6) a (8) stanovte koncentráciu nosičov v polovodičovej látke.
5. Z nameranej hodnoty vodivosti a koncentrácie stanovte pohyblivosť nosičov prúdu. Využite vzťah $\sigma = en\mu$, kde σ je merná elektrická vodivosť polovodiča, μ je pohyblivosť nosičov prúdu.

Postup merania

K meraniu elektrickej vodivosti a Hallovej konšanty použijeme vzorku tvaru hranolčeka, ku ktorej sú zhotovené prívodné elektródy tak, ako je to na obr. 3. Prívody 1, 2 nazývame prúdovými kontaktmi (sondami), prívody 3, 4 nazývame napäťovými kontaktmi. Hallovské napätie meriame medzi prívodmi 4, 5. Vzorkou necháme pretekať prúd, ktorého hodnotu nastavíme pomocou odporu R a jeho veľkosť odčítame na ampérmetri A. Úbytok napätia medzi sondami 3, 4 určíme číslcovým voltmetrom alebo iným meračom napätia s "bezrúdovým odberom". Vodivosť polovodičovej vzorky potom určíme podľa vzťahu

$$\sigma = \frac{l}{ah} \frac{I}{U} \quad (9)$$



Obr. 3

V zmysle obr. 1 bude l vzdialenosť medzi napäťovými kontaktmi, a je šírka vzorky, h je hrúbka vzorky, I je prúd vzorkou, U je napätie na kontaktoch 3, 4.

Aby sme stanovili Hallovo napätie (kontakty 3, 4), prepne prepínač PR do polohy II. Pri zvolenej hodnote prúdu vzorkou (rádovo miliampére) stanovíme číslicovým voltmetrom hodnotu napätia U_0 na hallovských kontaktoch 4, 5. Potom vložíme vzorku do priečného magnetického poľa ($B = 0.5 \text{ T}$). Prúd sa v dôsledku magnetorezistencie trochu zmení, preto ho dostavíme na pôvodnú hodnotu. Číslicovým voltmetrom stanovíme napätie U_{H1} na hallovských sondách.

Skutočné Hallovo napätie dostaneme ako

$$U_H = U_{H1} - U_0 \quad (10)$$

ktoré môžeme využiť pre stanovenie Hallovej konštanty (6) a tým k určeniu koncentrácie nosičov náboja podľa (8). Z polarít Hallovho napätia stanovíme typ vodivosti.

Poznámka: Popísané meranie je možno rozšíriť, ak namiesto permanentného magnetu použijeme elektromagnet, ktorý nám umožní realizovať meranie pri rôznych hodnotách B . Potom z grafickej závislosti $U_H = f(B)_{I=\text{konšt}}$, ktorá reprezentuje priamku, môžeme ako smernicu určiť Hallovu konštantu.

Kontrolné otázky

1. Ako vyjadríme veľkosť prúdovej hustoty v polovodiči pomocou koncentrácie, pohyblivosti a intenzity elektrického poľa?
2. Ako vzniká Hallovo elektromotorické napätie?
3. Od čoho závisí polarita Hallovho napätia?
4. Popíšte situáciu pre prípad, keď sú prítomné obidva typy nosičov, t.j. elektróny aj diery.
5. Dokážte vzťah (9).
6. Porozmýšľajte, ako je možné zo závislosti $U_H = f(B)_{I=\text{konšt}}$ stanoviť Hallovu konštantu.
7. Dokážete určiť smer sily $\vec{F}_m$ pri danej konfigurácii $\vec{v}$, $\vec{B}$ (pozri vzťah 2)?