

Hallov pojav

Martin Šifrar

7. februar 2023

1 Uvod

V čistem polprevodniku je gostota prevodnih elektronov enaka

$$n_p(T) = \frac{1}{4} \left(\frac{2m_e kT}{\pi h^2} \right)^{3/2} \exp \left\{ -\frac{E_g}{2kT} \right\}, \quad (1.1)$$

pri čemer je E_g energijska reža med valenčnim in prevodnim pasom. V n-dopiranem polprevodniku zveza v nizko-temperaturni limiti postane

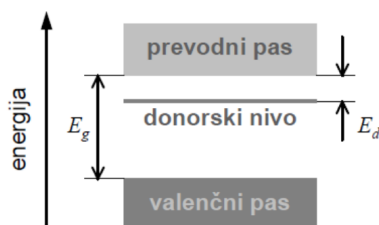
$$n_p(T) = N_d \frac{1}{4} \left(\frac{2m_e kT}{\pi h^2} \right)^{3/2} \exp \left\{ -\frac{E_d}{2kT} \right\}, \quad (1.2)$$

pri čemer je N_d gostota donorskih primesi, E_d pa reža od prevodnega pasa navzdol proti nivoju donorskih elektronov (glej sliko 1). Če je termična energija dovolj velika ($kT > E_d$), prevladajo v prevodnem pasu donorski elektroni, ki so kar v celoti „sublimirani“ v prevodni pas. Tedaj velja, da je gostota prevodnih elektronov preprosto

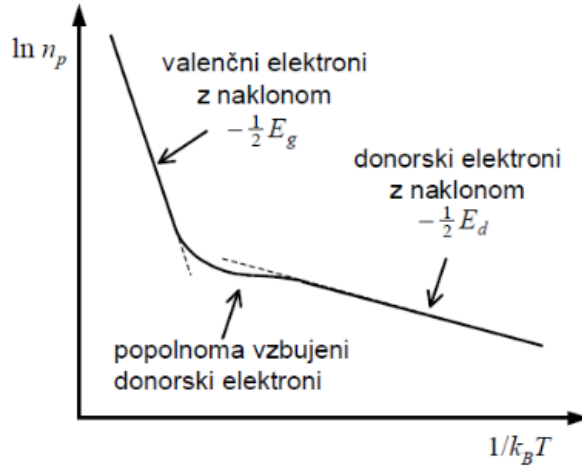
$$n_p(T) = N_d. \quad (1.3)$$

2 Naloga

1. Izmeri temperaturno odvisnost Hallove napetosti vzorca polprevodnika tipa n na temperaturnem območju med 20 °C in 80 °C.
2. Nariši graf Ohmske upornosti R v odvisnosti od temperature T .
3. Nariši graf Hallove konstante R_H v odvisnosti od temperature T .
4. S pomočjo enačbe (4) nariši graf $\ln(n_p)$ v odvisnosti od $1/kT$.
5. Določi vrsto nosilcev naboja v germanijevem vzorcu na tem temperaturnem območju. Preveri ustreznost enačb (1.1, 1.2, 1.3).



Slika 1: Valenčni in prevodni pas v n-dopiranem polprevodniku.



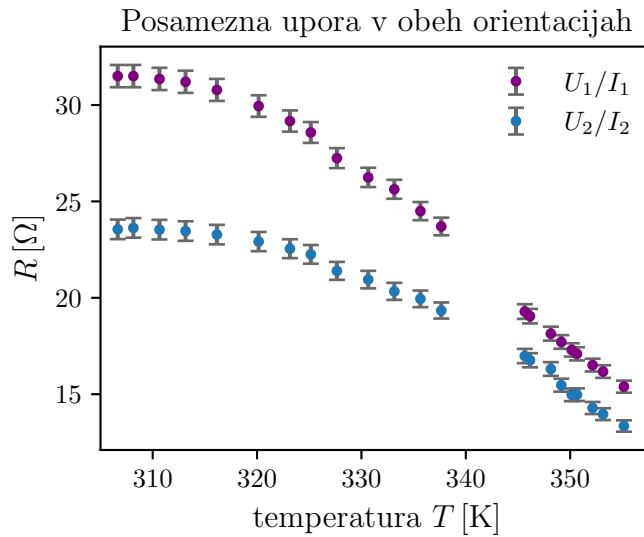
Slika 2: Diagram, kjer jasno vidimo visoko in nizko-temperaturno limito izrazov (1.1, 1.2, 1.3).

3 Meritve

Vzorec napaja baterija z napetostjo

$$U_0 = (0.89 \pm 0.01) \text{ V}.$$

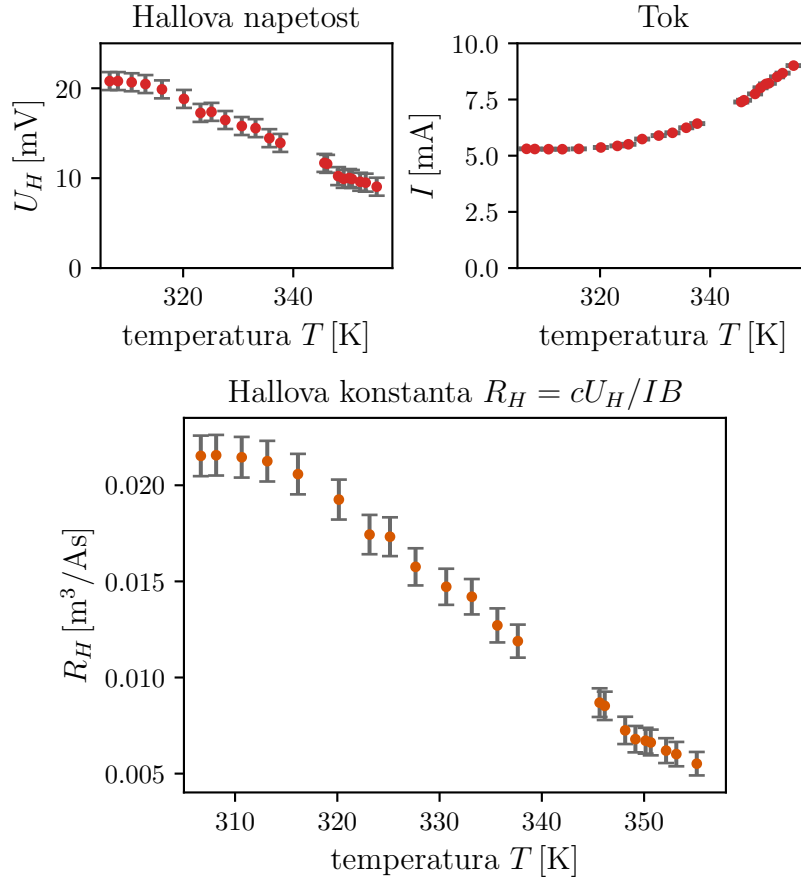
Pri različnih temperaturah pomerimo napetost in tok. Oboje izmerimo v obeh orientacijah magnetnega polja, napetosti v prvi in drugi orientaciji označimo U_1 in U_2 . Tok se iz ene v drugo orientacijo znotraj napake ne spremeni. Za obe orientaciji izračunamo Ohmsko upornost vzorca (glej sliko 3).



Slika 3: Ohmske upornosti, izračunane v eni in drugi orientaciji vzorca. Kar nas bo kasneje zanimalo, je razlika napetosti $(U_1 - U_2)/2$, ki predstavlja Hallovo napetost. Ker je temperaturni potek toka znotraj napake identičen za prvo in drugo orientacijo, torej imamo le en tok $I = I_1 = I_2$, je razlika med krivuljama sorazmerna kasneje predstavljeni R_H .

Hallovo napetost lahko izračunamo iz napetosti v eni in drugi orientaciji kot

$$U_H = \frac{U_1 - U_2}{2},$$



Slika 4: Potek Hallove napetosti $U_H = (U_1 - U_2)/2$ in toka (zgoraj). Spodaj je izračunana Hallova konstanta, ki je neke vrste „prečni upor“ vzorca. Predznak konstante je odvisen od tega, kakšno konvencijo izberemo. Pomembno pa je pomniti, da se pri spremembi predznaka nosilcev naboja obrne tudi njen predznak.

s čimer se znebimo Ohmskega padca napetosti, ki ni odvisen od orientacije magnetnega polja (oz. vzorca v polju). Iz dobljene napetosti (slika 4 levo zgoraj) izračunamo Hallovo konstanto, definirano kot

$$R_H = \frac{cU_H}{IB}, \quad (3.1)$$

pri čemer je $c = 0.95$ mm debelina našega vzorca, B pa gostota magnetnega polja $B = 0.173$ T. Temperaturno odvisnost $R_H(T)$ vidimo na sliki 4 spodaj.

Poleg načina, na katerega smo Hallovo konstanto definirali v (3.1), iz samih lastnosti sistema sledi, da velja

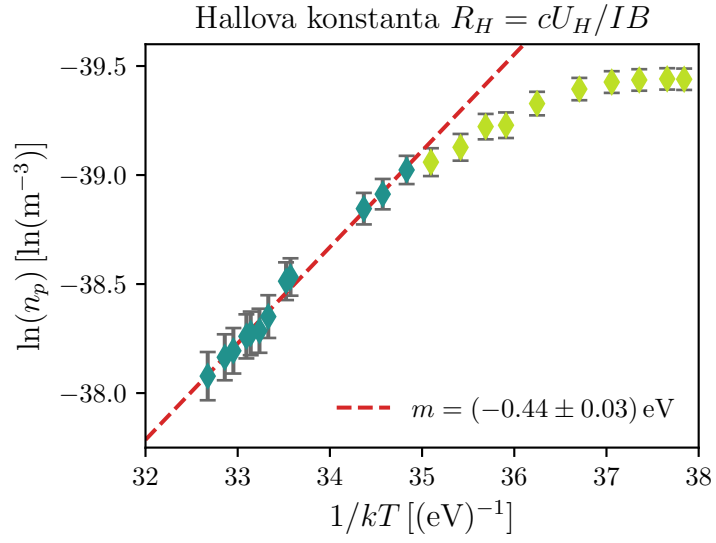
$$R_H = -\frac{1}{ne_0},$$

pri čemer je n gostota nosilcev naboja. Tako lahko izračunamo gostoto nosilcev naboja in jo kot v simboličnem diagramu 2 predstavimo v odvisnosti od $1/kT$ na sliki 5.

V visoko-temperaturni limiti, torej za manjše vrednosti $1/kT$, je logaritem n po $1/kT$ premica z naklonom $-E_g/2$. To sledi direktno iz enačbe 1.1, ki predstavlja visoko-temperaturno limito celotnega sistema. Iz naših meritev izračunamo, da je naklon premice

$$m = (0.44 \pm 0.03) \text{ eV},$$

iz česar dobimo energijsko režo



Slika 5: Logaritmirane

$$E_g = (0.88 \pm 0.07) \text{ eV}.$$

Za naklon premice v nizko-temperaturni limiti bi morali vzorec ohladiti znatno pod sobno temperaturo, torej enačbe 1.3 z našimi meritvami ne moremo preveriti. Vidimo pa, da se 5 na desni, pri nižjih temperaturah, nekoliko izravna.