

Løsningsforslag til øving 8

Veiledning fredag 14. mars

Oppgave 1

a) Sammenhengen mellom $\vec{v}$, μ , $\vec{E}$ og $\vec{B}$ er oppgitt, så det er bare å sette inn:

$$\begin{aligned} v_{nx} &= -\mu_n E_x \\ v_{px} &= \mu_p E_x \\ v_{ny} &= -\mu_n (E_y - v_{nx} B_z) \\ &= -\mu_n (E_y + \mu_n E_x B_z) \\ v_{py} &= \mu_p (E_y - v_{px} B_z) \\ &= \mu_p (E_y - \mu_p E_x B_z) \end{aligned}$$

Her har vi neglisjert $v_{ny} B_z$ og $v_{py} B_z$ i forhold til E_x , som antydnet i oppgaveteksten. Vi bruker altså “ikke for sterkt” magnetfelt.

b) Strømtettheten i y -retningen blir:

$$\begin{aligned} j_y &= -nev_{ny} + pev_{py} \\ &= ne\mu_n(E_y + \mu_n E_x B_z) + pe\mu_p(E_y - \mu_p E_x B_z) \\ &= eE_y(n\mu_n + p\mu_p) + eE_x B_z(n\mu_n^2 - p\mu_p^2) \end{aligned}$$

Da gjenstår bare å uttrykke E_x ved hjelp av j_x ,

$$j_x = -nev_{nx} + pev_{px} = eE_x(n\mu_n + p\mu_p),$$

og sette $j_y = 0$:

$$j_y = eE_y(n\mu_n + p\mu_p) + \frac{j_x B_z}{n\mu_n + p\mu_p}(n\mu_n^2 - p\mu_p^2) = 0$$

Hall-konstanten blir dermed:

$$R_H \equiv \frac{E_y}{j_x B_z} = \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e(p\mu_p + n\mu_n)^2}$$

c) I en n -type halvleder er $n \gg p$, slik at vi kan neglisjere $p\mu_p$ i forhold til $n\mu_n$. Dermed:

$$R_H \simeq -\frac{1}{ne}$$

I en p -type halvleder er $p \gg n$, og $n\mu_n$ kan neglisjeres:

$$R_H \simeq \frac{1}{pe}$$

Oppgave 2

a) I rent Ge har vi like mange hull i valensbåndet som elektroner i ledningsbåndet, dvs $n_i = p_i$ (i for “intrinsikk”). Det betyr at produktet er $n_i \cdot p_i = 9 \cdot 10^{26}$. Etter tilsats av 10^{17} As-atomer pr cm^3 har vi en elektrontetthet n tilnærmet lik 10^{17} . Produktet av n og p er uforandret, så hulltettheten må nå være

$$p = \frac{9 \cdot 10^{26}}{10^{17}} = 9 \cdot 10^9,$$

altså redusert til ca 1/10000 av sin opprinnelige verdi.

Det som har skjedd er følgende: Tilførsel av As-atomer og frigivelse av ett elektron pr As-atom til ledningsbåndet forstyrrer elektron-hull likevekten (på samme måte som tilsats av en syre forstyrrer likevekten mellom $[\text{OH}^-]$ og $[\text{H}_3\text{O}^+]$ i vann). Overskuddet på elektroner fører midlertidig til en større *rekombinasjonsrate* (dvs: elektroner faller ned fra ledningsbånd til valensbånd og rekombinerer med hull) enn *generasjonsrate* (dvs: elektroner eksiteres fra valensbånd opp i ledningsbåndet og genererer elektron-hull par), inntil likevekt er gjenopprettet, uttrykt ved $n \cdot p = 10^{26}$.

Alternativt kunne vi tenke slik: Start med $T = 0$ og As-atomene på plass. Til å begynne med er systemet i grunntilstanden, med $n = p = 0$ og ingen As-atomer ionisert. Når temperaturen økes, vil det være mye lettere å rive løs et elektron fra hvert As-atom enn å eksitere elektroner fra valensbåndet til ledningsbåndet. Ved romtemperatur er så godt som alle As-atomene ionisert, mens langt færre elektroner er eksitert fra valens- til ledningsbånd. Termisk likevekt er en dynamisk likevekt (derav *termodynamisk*!) der ledningselektroner i middel faller like ofte ned i valensbåndet som valenselektroner eksiteres opp til ledningsbåndet.

Dopingen med As-atomer har resultert i at det totale antall ladningsbærere har økt dramatisk: Før tilsats av arsen hadde vi $n_i + p_i = 6 \cdot 10^{13}$ ladnings-

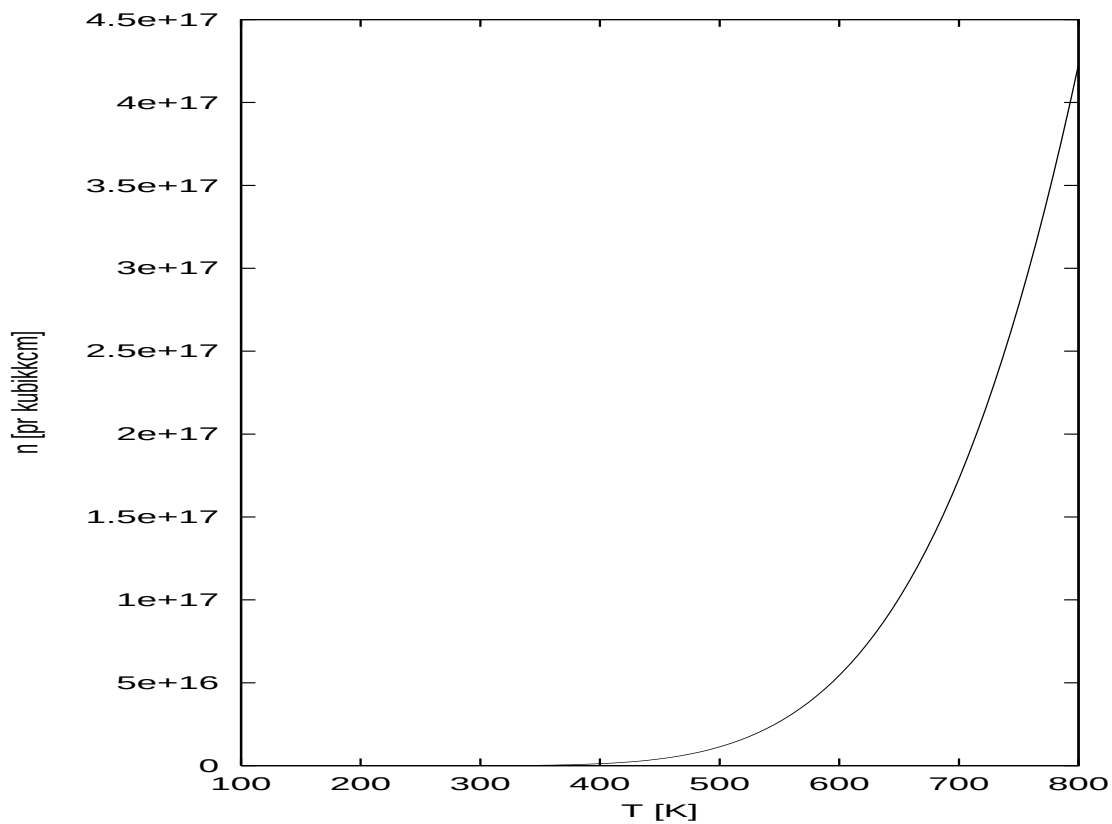
bærere pr cm^3 . Etter tilsats av arsen har vi $n + p \simeq n = 10^{17}$ ladningsbærere pr cm^3 .

b) Funksjonen vi skal regne ut er

$$n(T) = 2.4 \cdot 10^{15} T^{3/2} \exp\left(-\frac{3884}{T}\right)$$

der T i K(elvin) gir n i antall pr cm^3 .

På lineær skala:



På logaritmisk skala, dvs $\log_{10} n$ som funksjon av T :

