Institutt for fysikk, NTNU
FY1303 Elektrisitet og magnetisme
Vår 2004

Øving 2

Veiledning: Tirsdag 20. januar
Innleveringsfrist: Fredag 23. januar

Oppgave 1

I en perfekt krystall av halvledermaterialet silisium vil, ved romtemperatur, bare en liten andel av valenselektronene være *mobile* og bidra til den elektriske ledningsevnen. Tettheten av mobile elektroner vil være $n_i = 1.45 \cdot 10^{10}$ pr cm^3 (der indeks i står for *intrinsikk*, som er en vanlig betegnelse på en ren, perfekt halvleder). Til sammenligning er tettheten av Si-atomer ca $5 \cdot 10^{22}$ pr cm^3. Tettheten av mobile ladninger kan økes betraktelig ved såkalt *doping*, dvs ved å erstatte en andel av Si-atomene med andre atomer. En kan f.eks. benytte fosfor (P), og ved romtemperatur vil praktisk talt hvert eneste P-atom bidra med ett mobilt elektron og derved øke den elektriske ledningsevnen.

a) Den elektriske ledningsevnen (konduktiviteten) til ren silisium er $\sigma_i = 4 \cdot 10^{-4}\ \Omega^{-1}\mathrm{m}^{-1}$ (ved "normale" forhold, dvs romtemperatur og atmosfærisk trykk). Under forutsetning av at konduktiviteten σ er proporsjonal med tettheten av mobile ladningsbærere n, hvor mange fosforatomer må vi tilføre (pr cm^3) for å øke konduktiviteten med 7 størrelsesordener, dvs til en verdi $\sigma = 4 \cdot 10^3\ \Omega^{-1}\mathrm{m}^{-1}$?

[Kommentar: I virkeligheten vil ikke σ øke lineært med tettheten av mobile ladningsbærere når disse tilføres ved hjelp av doping, som her. Grunnen er at jo flere fosforatomer vi introduserer i silisiumkrystallen, desto oftere vil de mobile elektronene kollidere på sin vei gjennom materialet, noe som igjen resulterer i en redusert driftshastighet og tilsvarende redusert strømstyrke. I denne oppgaven ser du bort fra denne effekten og antar lineær sammenheng mellom σ og n.]

b) Dopingen i punkt *a*) tilsvarer at en viss brøkdel av silisiumatomene er erstattet med fosfor. Hvor stor er denne brøkdelen?

Oppgave 2

En rektangulær Hall-prøve av silisium har tykkelse $w = 1$ mm (i y-retning) og tverrsnitt med areal 3 mm^2 (i yz-planet). Prøven er dopet med fosfor og plasseres i et magnetfelt $\vec{B} = B\hat{z}$ med $B = 0.8$ T.
Når du påtrykker en viss spenning over prøven (i x-retning), måler du en strømstyrke $I = 2.5$ mA. Samtidig måler du en potensialforskjell $V_H = 2.0$ mV på tvers av prøven (i y-retning). Hvor stor er da tettheten av mobile elektroner, og dermed også fosforatomer, i Hall-prøven?

Oppgave 3

For en gitt temperatur T sier halvlederligningen ("massevirkningsloven") at produktet av elektronkonsentrasjonen n og hullkonsentrasjonen p er konstant i en halvleder:

$$n \cdot p = \text{ konstant}$$

Dette er helt analogt såkalt *kjemisk likevekt.*
Eksempel:
I vann vil en liten andel av molekylene være ionisert ved at et proton (H^+) er overført fra ett molekyl til et annet. Hvor stor denne andelen er bestemmes av temperaturen, og ved romtemperatur har vi $[H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$, med konsentrasjoner [...] målt i enheten mol/L. I helt rent vann har vi nødvendigvis like mange H_3O^+ som OH^-, dvs $[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ mol/L. Dersom et eller annet stoff (f.eks. en syre) tilsettes vannet, med den følge at en av disse ionekonsentrasjonene endres, vil det stille seg inn en likevekt slik at vi hele tiden har $[H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$.
Slik vil det også være i en halvleder: Økes tettheten av den ene typen ladningsbærer, vil elektroner i ledningsbåndet "falle ned" til ledige tilstander (hull) i valensbåndet, og i et slik omfang at produktet $n \cdot p$ forblir konstant.
Rent germanium (Ge) har ved romtemperatur ca $3 \cdot 10^{13}$ mobile elektroner (dvs eksitert til ledningsbåndet) pr cm^3. Dersom Ge forurenses ("dopes") med arsen (As), vil praktisk talt alle As-atomene bidra med (dvs "donere") ett elektron til ledningsbåndet. Med et dopenivå på $N_d = 10^{17}$ As-atomer pr cm^3, bestem resulterende elektrontetthet n og hulltetthet p. Hvor mange ladningsbærere har vi *totalt* pr cm^3 (dvs hull + elektroner) i henholdsvis rent Ge og i Ge dopet med 10^{17} As-atomer pr cm^3?