

TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

Tid 2006 08-31 em

Lokal V

Hjälpmedel **Matematiska tabeller, Physics Handbook, TEFYMA, typgodkänd räknare eller annan räknare i fickformat dock utan inprogrammerad text eller ekvationer av intresse för tentamen. Däremot är det i sin ordning att i räknarens minne ha lagrat värden på naturkonstanter som t.ex Plancks konstant och elektronmassan.**

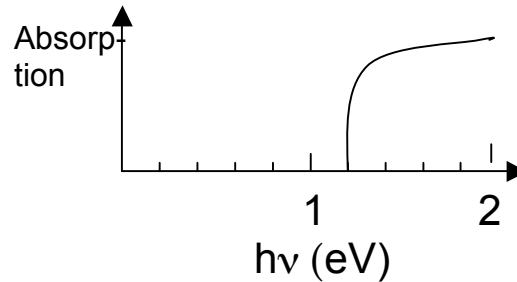
Examinator Lars Walldén (ankn 3347)

1. Vid röntgendiffraktion med monokromatisk strålning från polykristallina prover av Ge, GaAs och KBr registreras de diffrakterade strålarna som svärtade linjer (vertikala i nedanstående figur) på remsor av fotografisk film. För de tre ämnena erhålls de diffraktionslinjer som visas i nedanstående figur. Identifiera de tre proverna A, B och C, dvs ange vilket ämne som ger vilket mönster och förklara hur Du kommit fram till Ditt resultat.



2. Utgår från Debyes approximation för dispersionsrelation, $\omega(k)$, för vibrationer i en fast kropp och visa att vibrationernas bidrag till värmekapaciteten i det 2-dimensionella fallet är proportionell mot T^2 vid låga temperaturer. Uppgiften innehåller flera steg och Du kan få poäng på uppgiften även om Du inte klarar av att ge ett fullständigt svar. Du kan lämpligen börja med att ange Debyes approximation och därefter tillståndstätheten i k -rummet för 2D och redogöra för hur frekvensfördelningen, $D(\omega)$, beräknas osv.
3. a) Förklara vad som menas med "Brillouin-zongräns". (1p)

- b) Förklara varför i 1D-fallet ett ämne med ekvidistanta atomer kommer att vara elektriskt ledande om valensen är udda men en isolator om antalet valenselektroner är ett jämnt tal. (1 p)
- c) Härled ett uttryck för den elektriska ledningsförmågan för en frielektronliknande metall och beräkna med dess hjälp den genomsnittliga tiden mellan två inelastiska kollisioner vid rumstemperatur för en ledningselektron i Na vars resistivitet vid rumstemperatur är $4.2 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$. (2 p)
- 4) Nedanstående figur visar optiska absorptionen för en halvledare AB där A är ett trevärt och B ett femvärt ämne. Vid 300 K är mobiliteten för elektroner $0.45 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ och för hål $0.01 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Elektroner och hål har båda lika stor massa som en fri elektron. a) Beräkna ledningsförmågan vid 300K och ange om den har n eller p-karaktär. b) Ämnet dopas med Sn så att ledningsförmågan blir $10^{-2} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ och domineras av motsatt typ av laddningsbärare. Hur stor halt av Sn erfordras (ange antal atomer per kubikmeter) om man antar att alla Sn atomerna är joniserade vid 300 K? c) Vilket av ämnena, A eller B, har ersatts av tenn-atomer? Halvledaren har fransett gitterparametern, som är 5.86 \AA , samma struktur som t ex GaAs. (4 p totalt)



5. Skriv en uppsats om ferromagnetism. Du kan lämpligen redogöra för Weiss modell, ange vad som menas med domäner (och förklara varför sådana finns), domänväggar (vad som är av betydelse för deras tjocklek), lättmagnetiseringsriktning (hur man kan påvisa deras existens), magnoner (hur de kan studeras). (4 p)

Lösningssanvisningar Tentamen 31/8 2006

1. Av Physics H framgår att samtliga tre ämnen kan beskrivas med fcc- gitter (ges av att gitterpkterna är $(0,0,0)$, $(1/2,1/2,0)$, $(1/2,0,1/2)$ och $(0,1/2,1/2)$) och en bas av två atomer.

För KBr och GaAs består basen av två olika atomer med olika formfaktor och därför uppvisar diffraktionsmönstret alla de reflexer som är tillåtna av gittret (basens strukturfaktor är skild från noll pga av att formfaktorerna är olika). För ett fcc-gitter ges reflexer kännetecknade av att h,k,l alla är udda tal eller alla är jämna tal.

För Ge är basens atomer lika vilket innebär att basens strukturfaktor, S , kan bli noll för en del reflexer som tillåts av gittret (destruktiv interferens i basen).

$$S = f \sum \exp(-G_{hkl} \cdot R_j) = [G_{hkl} = 2\pi/a (h,k,l) \text{ och } R_1 = (0,0,0) \text{ och } R_j = a (1/4,1/4,1/4)] \\ = f(1 + \exp(-i\pi/2(h+k+l))) \text{ som ger } S=0 \text{ för } h+k+l = 2+4m, m = 0, 1, 2 \dots$$

Detta innebär att 200, 222, osv reflexerna inte finns med för Ge dvs färre reflexer för Ge än för de två andra ämnena, dvs Ge är prov C.

Beträffande de övriga två är gitterparametern mindre för GaAs än för KBr och därför är diffraktionsvinklarna större, dvs GaAs är prov A och KBr är prov B.

2. Debyes approximation $\omega = v k$; $D(\omega)$ ur $D(\omega) d\omega = (A/4\pi^2) 2\pi k dk$; därefter sätts uttrycket för inre energin upp som för 3D fallet (se boken).
3. a) Brillouin-zonplan är mittpktsnormalplan till de reciproka gittervektorerna.
 b) 1D: plats för 2 elektroner per atom i ett energiband, ty antalet platser i ett band = Paulis tvåa \times tätheten pkr på k-axeln \times Brillouin-zonens längd = $2 \times L/2\pi \times 2\pi/a = 2L/a$, där L/a är antalet atomer. Med en elektron per atom fylls ett band till hälften dvs Fermi-nivån i bandet \Rightarrow ledare. Med gap mellan energibanden vid zongränserna och två elektroner per atom så fylls lägsta bandet helt och närmsta högre band är helt tomt. Innebär att energi kan tas upp endast i kvanta större än energigapet \Rightarrow isolator (åtminstone vid $T=0$). Pss udda valens ger ledare och jämn valens isolator.
 c) $F = -eE = m dv/dt$; slå till fältet vid $t=0$ efter tiden τ : $\Delta v = -e E \tau / m$; låt τ vara en karakteristisk tid mellan två på varandra följande kollisioner då elektronen tappar allt sin av fältet erhållna energi, $\Rightarrow j = -n e \Delta v = n e^2 E \tau / m = \sigma E$.
 Na envärt med bcc struktur, dvs $n = 2/a^3$. Enl PH $\rho = 4.2 \cdot 10^{-8} \Omega m$ och $\sigma = 1/\rho$. Insättning ger $\tau = 3 \cdot 10^{-14}$ s.
4. Av diagrammet framgår att energigapet är 1.2 eV.
 a) ren halvledare $n=p$. Uttrycken för n och p ger med lika massor för elektroner och hål att Fermi-nivån ligger mitt i bandgapet. Uttrycken för n och p ger då att $n = p = 9.5 \cdot 10^{14} m^{-3}$ och $\sigma = n e \mu_e + p e \mu_h = n e (\mu_e + \mu_h) = 7 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1} m^{-1}$. Halvledaren är av n-typ pga av den högre mobiliteten för elektronerna.
 b) För att erhålla p-typ med mycket högre konduktivitet än för den rena halvledaren behövs uppenbarligen att $p \gg n$. Detta och att alla dopatomerna är joniserade innebär att $\sigma = p e \mu_h = [N = dophalten] = N e \mu_h$ är OK som approximation. Härav erhålles $N = 6.3 \cdot 10^{18} m^{-3}$. Sn är fyrvärt och måste här substituera för det femvärda ämnet.
5. Se boken.