

## TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

**Tid** 2002-01-14 f

**Lokal** M

**Hjälpmedel** Matematiska tabeller, Physics Handbook, TEFYMA, bifogad formelsamling, 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 tex Plancks konstant och elektronmassan.

**Examinator** Lars Walldén (772 33 47)

1. Vid upptagning av ett Laue- diffraktogram infaller vit röntgenstrålning (dvs  $\gamma$  strålning med ett brett och kontinuerligt spektrum av våglängder) vinkelrätt mot en Fe(100) kristall. Beräkna vinkeln,  $\alpha$ , mot normalriktningen till provet för en av de diffrakterade strålarna. Provet är så tjockt att endast bakåtdiffrakterade strålar observeras, dvs reflexer vars diffraktionsvinkel är större än  $90^\circ$ . Välj vilken reflex Du vill som ger  $\alpha \neq 0$ . Indicera reflexen och ange för vilken våglängd den erhålls. Fe har bcc- struktur med  $a = 2.87 \text{ \AA}$ .
2. a) Härled ett uttryck för dispersionen,  $\omega(k)$ , för vågor som beskriver vibrationsrörelsen för en linjär kedja av ekvidistanta atomer (atomavstånd =  $a$ ) alla av samma slag (atommassan =  $m$ ). Du kan utgå från att endast närmsta grannar växelverkar (kraftkonstant =  $c$ ). Ställ upp rörelseekvationen för en atom, ansätt en lämplig våglösning osv. (2 p)  
b) Om Du ovanstående uppgift (dvs uppgift 2 a) framgår att endast vågor vars frekvens understiger en viss frekvens fortplantas av kedjan. Beskriv den vågrörelse som erhålls om man försöker fortplanta vågor med högre frekvens, tex genom att tvinga atomen i en av kedjans ändar att svänga med en högre frekvens. Du belönas med 1p om Du beskriver rörelsen kvalitativt i ord men ett uttryck som beskriver rörelsen belönas med 2p. (2 p)
3. Den elektriska konduktiviteten för en ren metall ökar vid låga temperaturer starkt med minskande temperatur ( $\sigma \propto T^{-5}$ ). Vad är det för inelastiska kollisioner som begränsar ledningsförmågan? (1 p)  
a) Förklara kvalitativt det starka temperaturberoendet vid låga temperaturer. (1 p)  
b) I 1D- fallet väntar man sig att ett grundämne med en atom per gitterpunkt är ledare eller isolator beroende på antalet valenselektroner per atom. Förklara detta så detaljerat Du kan. (2p)
4. a) Ett Ge -prov innehåller donatoratomer med en så hög halt att medelavståndet mellan dessa är lika stort som dubbla banradien för elektroner i dopnivån. Beräkna dophalten (kvoten mellan antalet dopatomer och antalet Si atomer) och gör en uppskattning av den temperatur över vilken provet förväntas uppvisa intrinsisk ledning. (3p) b) Ange en för

tekniska tillämpningar väsentlig skillnad mellan elektronstrukturen för Si och GaAs. (1 p)

5. a) Rita figurer och diagram som visar hur domänstrukturen och magnetiseringen  $M$ , för ett enkristallint prov av Fe påverkas av ett magnetfält pålagt i en riktning som A) sammanfaller med en för domänerna karakteristisk magnetiseringsriktning och B) avviker från en sådan riktning. (2p)  
 b) Härled ett uttryck för elektrongasens paramagnetiska susceptibilitet. (2p)

Lösningar 14/1-02

Uppgift 1.

Lösning I: rita och räkna. Rita i rec. gittret in  $\underline{k}_{in}$  så att spetsen träffar en punkt och välj en reflex som tar sig ut ur kristallen. Reciproka gittret är ett fcc-gitter med gitterp  $=4\pi/a$ . Rita in en  $\underline{k}$ -vektor så att dess spets träffar en pkt i den enhetscell Du ritar, t ex det främre, nedre högra hörnet. Du ser då att t ex en reciprok gittervektor från detta hörn till mittpunkten på enhetscellens vänstra sidyta resulterar i en diffrakterad stråle med en diffraktionsvinkel större än  $90^\circ$ . Med den infallande strålen i  $x$ - riktningen så att  $\underline{k} = 2\pi/\lambda (1, 0, 0)$  så är den reciproka gittervektorn  $\underline{G}_{-2\ 1\ 1} = 2\pi/a (-2, 1, 1)$ . Tre andra strålar indicerade  $-2, -1, 1, -2, 1, -1$  och  $-2, -1, -1$  har samma diffraktionsvinkel.

$$k_{in} = k_{ut} = x$$

$$\text{Pythagoras sats ger } (4\pi/a - x)^2 + (2\pi\sqrt{2}/a)^2 = x^2$$

$$x = 3\pi/a \text{ och } \cos\alpha = (4\pi/a - x)/x = 1/3$$

$$\alpha = 70.5^\circ$$

$$\text{reflex: } -2\ 1\ 1$$

$$\lambda = 2\pi/x = 2a/3 = 1.91 \text{ \AA}$$

Lösning II: räkna

$$\underline{k}_{ut} = \underline{k}_{in} + \underline{G}_{h,k,l} \dots 1$$

$$k_{in} = k_{ut} \dots 2$$

$$\text{kvadrera ekv. 1 och 2} \Rightarrow 0 = 2\underline{k}_{in} \cdot \underline{G}_{h,k,l} + G_{h,k,l}^2$$

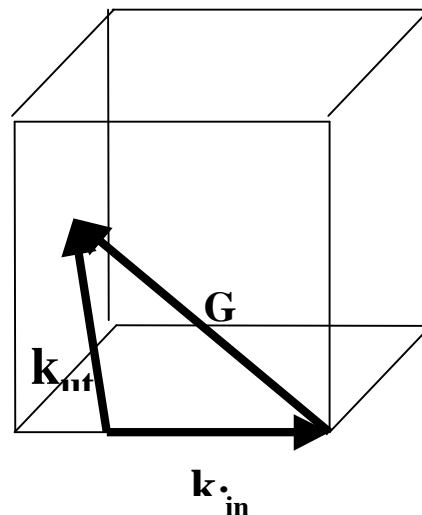
som med  $\underline{k}_{in} = 2\pi/\lambda (1, 0, 0)$  och  $\underline{G}_{h,k,l} = 2\pi/a (h, k, l)$  ger

$$0 = 2h/\lambda + (h^2 + k^2 + l^2)/a \dots 3$$

$$3 \text{ insatt i ekv. 1} \Rightarrow \underline{k}_{ut} = 2\pi/a (h - (h^2 + k^2 + l^2)/2h, k, l)$$

Reflexen i bakåtriktningen om  $h - (h^2 + k^2 + l^2)/2h < 0$ , som gäller t ex för  $h, k, l = -2, 1, 1$ .

$\underline{G}_{-2, 1, 1}$  ger  $\underline{k}_{ut} = 2\pi/a (h - (h^2 + k^2 + l^2)/2h, k, l) = 2\pi/a (-0.5, 1, 1)$  som bildar  $70.5^\circ$  med normalen och ger  $\lambda = 2\pi/k_{ut} = 2a/3 = 1.91 \text{ \AA}$ .



Uppgift 4

Ge:  $a=5.66 \text{ \AA}$ ,  $E_g = 0.67 \text{ eV}$ ,  $m_e = 0.12$ ,  $m_h = 0.32$ ,  $\epsilon_r = 16$ .

Uttrycket för Bohr-radie där  $\epsilon_0$  ersatts med  $\epsilon_r \epsilon_0$  och massan med effektiva elektronmassan  $m_e m$  ger banradie  $r = (16/0.12) 0.53 \text{ \AA} = 70.7 \text{ \AA}$ . För att räkna ut tätheten kan man placera dopatomerna i ett regelbundet mönster t.ex. fcc-ordning. Med  $a_{\text{dop}}$  = gitterparametern för dopatomerna erhålls då  $4r = a_{\text{dop}} \sqrt{2}$  och en täthet  $4/(a_{\text{dop}})^3 = 5 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$ . Tätheten Ge atomer är  $8/5.66^3 \text{ \AA}^{-3} = 4.4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$  dvs halten dopatomer är c:a en på hundra tusen.

För en grov uppskattning av hur hög temperaturen behöver vara för att egenledningen ska ha betydelse antar vi att alla dopatomerna är joniserade och räknar ut vid vilken temperatur det finns lika många elektroner i en ren halvledare. (Man skulle kanske hellre räkna ut vid vilken temperatur det finns lika många laddningsbärare i den rena halvledaren, dvs summera antalet elektroner och hål i den.)

Insättning i uttrycket för tätheten elektroner i en ren halvledare ger

$4.2 \cdot 10^{20} T^{3/2} e^{-3900/T} = 5 \cdot 10^{23}$  som kan omskrivas  $T = 3900/(1.5 \ln T - 7.09)$ . Iteration ger att  $T = 1130 \text{ K}$ .