

## TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

**Tid** 2005 01-10 fm

**Lokal** V

**Hjälpmedel** Matematiska tabeller, Physics Handbook, TEFYMA, typgodkänmd 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 (7723347)

1. En vit Röntgen-stråle ( $d$  vs en stråle med ett kontinuerligt spektrum av våglängder i det våglängdsintervall, som är av intresse) infaller mot en Fe(100)- kristall längs dess 100-riktning. Fe har bcc-struktur med gitterparametern  $2.87 \text{ \AA}$ .
  - a) Beskriv den atomära ordningen i kristallens översta atomlager. En enkel figur är OK som svar. (1 p)
  - b) Beräkna vinkeln mellan provets normal och  $\bar{4} 2 2$  - reflexen samt den våglängd som ger upphov till  $\bar{4} 2 2$  - reflexen. (3p)
2. För gittervågor på en linjär kedja av lika och ekvidistanta atomer erhålls som bekant dispersionsrelationen  $\omega = (4 c/m)^{1/2} |\sin(ka/2)|$ .
  - a) Visa att det är tillräckligt med ett  $2\pi/a$  långt intervall utefter  $k$ - axeln för att beskriva atomernas rörelse,  $d v s$  att  $k$  och  $k + (2\pi/a) m$  beskriver samma rörelse.  $m$  är ett heltal. (1p)
  - b) Förklara varför grupphastigheten är noll för  $k = \pi/a$ . (1p)
  - c) Hur ändras dispersionsrelationen om det finns två olika atomslag i kedjan och varannan atom är lika? Svar utan härledning är OK. (1p)
  - d) Uppskatta storleken av  $c$  för Cu utgående från kända data för metallen. (1p)
3.
  - a) Visa att elektronernas bidrag till värmekapacitiveteten för en frielektronmetall är proportionellt mot temperaturen. (2p)
  - b) Hur kan man särskilja elektronernas och vibrationernas bidrag till värmekapacitiveteten? (1p)
  - c) Det finns, utöver de ovan nämnda, ytterligare bidrag till en metalls värmekapacitivetet. En del av dessa är relaterade till för metallen speciella egenskaper. Ange något sådant bidrag. (1p)
4.
  - a) Beräkna ledningsförmågan vid rumstemperatur och Fermi-nivån för kisel dopat med 3 ppm fosfor (3p)
  - b) Vad är det för grundläggande skillnad mellan Si och GaAs som gör att tillämpningsområdena för dessa båda halvledare är delvis olika? (1p)
5. Beskriv huvudtyperna av dislokationer och redogör för hur kunskaper om dislokationer utnyttjas för att erhålla höghållfasta material. (4p)

Lösning Tentamen 10 jan 2005

1 a) Fe(100): Fe-enkristall skuren så att ytan är parallell med 100-plan. Ytstrukturen beskrivs av ett kvadratisk gitter med en atom per gitterpunkt. Gitterparametern för Fe är 2.87 Å och det är också gitterparametern för den kvadratiske ytcellen.

$$b) \mathbf{k}_{\text{ut}} = \mathbf{k}_{\text{in}} + \mathbf{G}_{\text{hkl}} \dots 1$$

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

$$\text{Ekv 1 ger efter kvadrering } (k_{\text{ut}})^2 = (k_{\text{in}})^2 + (\mathbf{G}_{\text{hkl}})^2 + 2 \mathbf{G}_{\text{hkl}} \cdot \mathbf{k}_{\text{in}},$$

$$\text{som med ekv 2 ger } 0 = (\mathbf{G}_{\text{hkl}})^2 + 2 \mathbf{G}_{\text{hkl}} \cdot \mathbf{k}_{\text{in}} \dots 3$$

$$\text{där } \mathbf{k}_{\text{in}} = \frac{2\pi}{\lambda} (1,0,0); \quad \mathbf{G}_{\text{hkl}} = \frac{2\pi}{a} (-4,2,2). \text{ Insättning i ekv 3 ger } \lambda = a/3 = 0.96 \text{ \AA}.$$

Vinkeln ur  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}_{\text{ut}} = k_{\text{ut}} \cos\phi$  där  $\mathbf{n} = (-1,0,0)$  och  $\mathbf{k}_{\text{ut}}$  erhålls ur ekv 1  $\Rightarrow \cos\phi = 1/3$ ,  $\phi = 70.5^\circ$ .

4. a) Gitterparametern  $a = 5.43 \text{ \AA}$ , 8 Si atomer i enhetskuben, dvs  $8/a^3 = 5 \cdot 10^{28}$  Si-atomer per  $\text{m}^3$ . Tätheten P-atomer  $N_D = 15 \cdot 10^{22}$  per  $\text{m}^3$  som är avsevärt större än tätheten hål och elektroner i rent Si (ung  $4.5 \cdot 10^{15}$  per kubikmeter enl formelsamlingen, eftersom enligt sid 3 i formelsamlingen  $n_p = 2.1 \cdot 10^{31} \text{ m}^{-6}$ .) Därför ett rimligt antagande att  $p \ll n$  och  $n \approx N_D$ . Dessa antaganden kan kollas i efterhand. Ledningsförmågan  $= n e \mu_e \approx 15 \cdot 10^{22} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.16 = 3.8 \cdot 10^3 \text{ S}$ . Insättning i formelsamlingens uttryck för elektrontätheten ger med  $n = N_D$  och med värdet på  $n_0$  enligt formelsamlingen att  $\mu$  ligger ca 130 meV under bandgapets övre gräns. Antagandet att  $n \approx N_D$  utgår från att dopnivån är obesatt vilket är en approximation eftersom antalet ofyllda nivåer är  $(1 - f(E_D)) N_D$  där  $E_D$  för P enligt Physics Handbook ligger 45 meV under bandgapets övre gräns och där  $f(E_D)$  betecknar besättningstalet för dopnivån. Med  $E_D - \mu = 130 - 45 = 85 \text{ meV}$  erhålls  $1 - f(E_D) = 0.966$  vilket således innebär en modest korrektion av värdena på  $n$  och  $\mu$ . Beräkningarna blir endast marginellt mer omfattande om man löser ut  $n$  och  $\mu$  direkt ur sambanden  $n = p + (1 - f(E_D)) N_D = [p \ll n] = (1 - f(E_D)) N_D$  och formelsamlingens uttryck för  $n$ , nämligen  $n = n_0 \exp((\mu - E_C)/kT)$ . Sambanden ger att  $\mu$  ligger 131 meV under bandgapets övre gräns.