

## TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

**Tid** 2002-03-16, 14.15

**Lokal** V

**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.** En stråle elektroner med låg energi, 60 eV, infaller vinkelrätt mot en Ag(110) kristall. Det översta atomlagret ger upphov till bakåtdiffrakterade strålar. Ag har fcc-struktur med gitterparametern 4.1 Å.

  - a)** (1p) Atomerna i översta atomlagret har positioner som Du ska beskriva med gitter och bas för en 2D kristall.
  - b)** (1p) Beskriv det reciproka gittret till det gitter Du utnyttjat i föregående uppgift.
  - c)** (2p) Beräkna de tre minsta vinklarna mot provets normal för de diffrakterade strålarna. Ange också för var och en av de tre olika vinklarna hur många strålar som bildar samma vinkel mot provets normal.
  
- 2. a)** (1p) Utgå från känt uttryck för tillståndstätheten i k-rummet för att uppskatta Debye-vågvektorn för Al. Al har fcc-struktur med gitterparametern 4.05 Å.

  - b)** (1p) Den av Debye utnyttjade dispersionsrelationen för gittersvängningar är felaktig vid höga frekvenser. Förklara varför den ändå beskriver  $C_v(T)$  väl vid låga temperaturer.
  - c)** (1p) Visa med diagram hur  $\omega(k)$  för gittersvängningar skiljer sig åt beroende på om det finns en eller två atomer i basen.
  - d)** (1p) Vad menas med Umklapp-process? Ge exempel på något sammanhang där sådana processer är av betydelse.

- 3.** Ca är divalent, har fcc-struktur med  $a = 5.58 \text{ \AA}$  och elektronstrukturen beskrivs rätt väl av frielektronmodellen.
- a)** (1p) I vilket våglängdsintervall förväntas metallen ha hög optisk reflektivitet?
- b)** (1p) Enligt Physics Handbook är resistiviteten vid rumstemperatur  $4 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m}$  för Ca. Uppskatta den medelfria väglängden för en elektron vid Fermi-nivån.
- c)** (2p) Förklara kvalitativt varför konduktiviteten för en metall är starkt temperaturberoende vid låga temperaturer.
- 4. a)** (2p) Beräkna en lämplig dophalt för att ett Si prov ska erhålla en elektrontäthet,  $n$ , som vid rumstemperatur är  $10^4$  ggr större än den intrinsiska elektrontätheten vid rumstemperatur. Beräkna också Fermi-nivåns läge i bandgapet för den dopade halvledaren. Motivera de approximationer Du gör.
- b)** (1p) Ett energiband beskrivs av  $E(k_x) = -E_0 \cos k_x a$  där  $E_0 = 1 \text{ eV}$  och  $a = 4 \text{ \AA}$ . Beräkna kvoten mellan effektiva bandmassan i  $k_x = 0$  och elektronens massa ( $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ).
- c)** (1p) Visa att en elektron som vid  $t = 0$  befinner sig i  $k_x = 0$  i ovan beskrivna energiband kommer att oscillera med frekvensen  $\frac{e\epsilon a}{\hbar}$  om ett statiskt elektriskt fält,  $\epsilon$ , påläggs i x-led.
- 5. a)** (2p) Härled uttrycket för magnetiseringen,  $M$ , för ett salt innehållande metalljoner som vardera har ett spinn (och därmed ett magnetiskt moment  $\mu_B$ ).
- b)** (1p) Magnetiska momentet för salter med joner av övergångsmetall kan inte beräknas på samma sätt som för salter med joner av sällsynt jordartsmetall. Ange vad det är som skiljer de två fallen.
- c)** (1p) Förklara vad som menas med en magnetisk domän och vilka storheter som bestämmer domänväggars tjocklek.

Lösning Tentamen 16/3 2002

- Gitter: Rektangulärt med  $b=a/\sqrt{2}$ ; Bas: en atom  
 Rec gitter: Stavar i rekt gitter med kantlängderna  $2\pi/a$  och  $2\pi\sqrt{2}/a$   
 $k_{in} = (60/3.81)^{1/2} = 3.97 \text{ \AA}^{-1}$   
 $\sin \alpha_1 = 2\pi/(a k_{in}) \Rightarrow \alpha_1 = 22.7^\circ$ ; två reflexer, 0 1 och 0  $\bar{1}$   
 $\sin \alpha_2 = 2\pi\sqrt{2}/(a k_{in}) \Rightarrow \alpha_2 = 33.1^\circ$ ; två reflexer, en 10 och minus ett noll  
 $\sin \alpha_3 = 2\pi\sqrt{3}/(a k_{in}) \Rightarrow \alpha_3 = 42.0^\circ$ ; fyra reflexer, 1 1, 1  $\bar{1}$ ,  $\bar{1}$  1,  $\bar{1}$   $\bar{1}$ .
- a)  $N_{At} = (V/8\pi^3) (4\pi k_D^3 / 3)$  där  $N_{At}/V = 4/a^3$  vilket ger  $k_D = 1.52 \text{ \AA}^{-1}$
- a) Refl hög för  $\omega < \omega_p$  där  $\omega_p^2 = \frac{ne^2}{\epsilon_0 m}$  som med  $n = 8/a^3$  ger  $\lambda > 1560 \text{ \AA}$   
 b)  $\sigma = 10^8/4 \Omega^{-1} m^{-1} = ne^2\tau/m$ ;  $l = v_F \tau$ , Fermi-hastigheten ur  $\hbar k_F = mv_F$  där  $k_F = (3\pi^2 n)^{1/3}$ . Räkningarna ger  $l = 240 \text{ \AA}$ .
- a) Intrinsiska fallet  $np = 2.2 \cdot 10^{31} m^{-6}$  och  $n=p = 4.5 \cdot 10^{15} m^{-3}$ . För den dopade h.l.

$$\text{är } n = p + N_D^+ = [p \ll n] = N_D^+ = N_D \left( 1 - \frac{1}{1 + \exp((E_D - \mu)/kT)} \right)$$

vi försöker med  $n \approx N_D$  och kollar i efterhand om denna appr är OK.

$$n \approx N_D = 4.5 \cdot 10^{19} m^{-3}$$

$$n = n_0 \exp((\mu - E_v)/kT) = [m^* = 0.26] = 0.26^{3/2} 2.5 \cdot 10^{25} \exp((\mu - E_g)/kT) = 4.5 \cdot 10^{19}$$

$$\Rightarrow \mu = 0.86 \text{ eV}$$

$$\text{Koll: } E_D \approx E_g - 50 \text{ meV} \approx 1.09 \text{ eV. } \Rightarrow (1 + \exp((E_D - \mu)/kT))^{-1} \text{ litet dvs } N_D \approx N_D^+$$

$$\text{b) } m_{eff} = \hbar^2 / (d^2 E / dk^2) = \hbar^2 / (E_0 a^2 \cos(k_x a)) = 0.48 m$$

$$\text{c) Rörelseekv: } \hbar dk_x / dt = -e \mathcal{E} \text{ dvs } k_x = -e \mathcal{E} t / \hbar$$

$$v_g = (1/\hbar) dE / dk_x = (E_0 a / \hbar) \sin k_x a = (E_0 a / \hbar) \sin(-e a \mathcal{E} t / \hbar) \text{ och}$$

$$\text{och efter integration m a p tiden } x = (E_0 / e \mathcal{E}) (1 - \cos(-e a \mathcal{E} t / \hbar)),$$

$$\text{dvs } \omega = e a \mathcal{E} / \hbar$$