

TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

Tid 2000-03-11 14.15 - 18.15

Lokal vv

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 energin 60 eV infaller vinkelrätt mot en enkristall av Fe (bcc, $a = 2.87 \text{ \AA}$) skuren så att dess yta är parallell med de tätpackade planen, dvs parallell med (110). Beräkna vinkeln mellan ytans normalriktning och de diffrakterade strålar som bildar minsta och näst minsta vinkeln med normalen. Gör t ex så här:

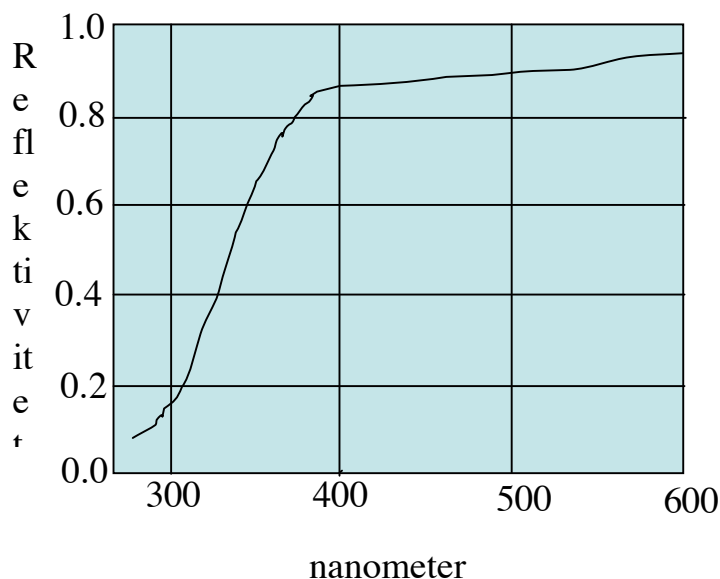
(4 p)

- Rita upp atomernas position i ett (110) plan
- Rita upp eller ange på annat sätt aktuellt reciprokt gitter
- Beräkna de efterfrågade vinklarna

2. Nedanstående figur visar hur reflektionsförmågan, R , vid vinkelrätt infallande ljus beror av våglängden (λ i nanometer) för metallen kalium.

(2 p)

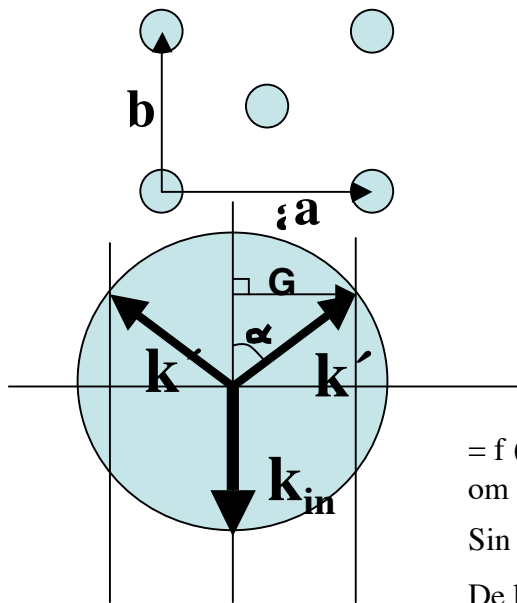
- Förklara kvalitativt våglängdsberoendet.
- Utnyttja kurvan för att bestämma plasmonenergin.



- (2 p) b) Kalcium har fcc struktur med $a = 5.58 \text{ \AA}$. Utgå från att elektronstrukturen beskrivs väl av frielektronmodellen och ange vilket eller vilka Brillouin-zonplan som skär Fermisfären.
3. (2 p) a) Vad menas med "Umklapp-process" och vilken betydelse har den för elektrisk och termisk ledningsförmåga?
- (1 p) b) Hur kan man erhålla information om vakansbildningsenergin i en metall via resistansmätningar?
- (1 p) c) Uppskatta hur ofta en C atom byter plats i en Fe-kristall om denna hålls vid temperaturen 800 K. Du får själv höfta till de parametervärden som behövs och får poäng på uppgiften om dessa inte är orimliga och uppgiften i övrigt är rätt löst.
4. (2 p) a) Redogör för en enkel modell i vilken man med hänvisning till vad som gäller för en väteatom kan uppskatta läget för den energinivå som erhålls i en donatordopad halvledares bandgap.
- (1 p) b) För en halvledare har valensbandets elektroner sin maximala energi vid $k = 0$. För små värden på k är
- $$E(\mathbf{K}) = E_0 \left(e^{-(ak)^2} - 1 \right)$$
- där $E_0 = 3 \text{ eV}$ och $a = 2 \text{ \AA}$. Beräkna kvoten mellan massan för ett hål med $k = 0$ och massan för en fri elektron.
- (1 p) (c) Beräkna ledningsförmågan för ett Si prov som dopats med 10^{22} fosforatomer per m^3 . Det räcker med en enkel räkning om Du motiverar den approximation Du gör.
5. (2 p) (a) Härled uttrycket för det paramagnetiska bidraget till fri-elektron gasens paramagnetiska susceptibilitet.
- (2 p) (b) Hur stort pålagt magnetfält, $\mu_0 H$, behövs för att 51 % av metalljonerna i CuSO_4 skall ha sina magnetiska moment orienterade parallellt med magnetfältet, om saltet hålls vid rumstemperatur (300 K) ?

Lösning tentamen 11/3 00

1. Lågenergetiska elektroner => 2D diffraction. $E=60 \text{ eV}$ ger $k_{in} = 3.97 \text{ \AA}^{-1}$.



Gitter: $\mathbf{a} = a \sqrt{2} (1,0) = c (1,0)$
 $\mathbf{b} = a (1,0)$

Bas: $(0, 0)$ och $1/2(c, a)$

Rec gitter: Stavar $\mathbf{A} = 2\pi/c (1, 0)$
 $\mathbf{B} = 2\pi/a (0, 1)$

$\mathbf{G}_{h,k} = h \mathbf{A} + k \mathbf{B}$

Strukturfaktorn $S = f \sum \exp(-\mathbf{G}_{h,k} \cdot \mathbf{R}_i)$
 $= f (1 + \exp(-i\pi (h+k))) = 0$ om $h+k = \text{udda tal}$ och 2
 om $h+k$ är ett jämnt tal.

$\sin \alpha = G/k_{in}$

De kortaste rec gittervektorer med $S \neq 0$ är \mathbf{G}_{11} och

\mathbf{G}_{20} . Längden på dessa ger $\alpha_1 = 42.6^\circ$ och $\alpha_2 = 51.4^\circ$.

2. a) Kalium är en friel.liknande metal med svaga direkta optiska övergångar. Den avtagande reflektiviteten med ökande frekvens avspeglar elektronernas minskande förmåga att röra sig i itakt med fältet tillräckligt mycket för att hindra fältet att tränga in i metallen.

$\epsilon_1 = 1 - (\omega/\omega_p)^2 = N^2$, $R_{\text{vinkelrätt}} = |(N-1)/(N+1)|^2$ där $N \approx i k$ för $\omega < \omega_p \Rightarrow R \approx 1$. För $\omega > \omega_p$ är $N \approx n$ vilket ger en liten reflektivitet. R minskar snabbt vid plasmafrekvensen.

b) $\lambda_p \approx 340 \text{ nm} \Rightarrow$ plasmonenergin $\approx 3.6 \text{ eV}$.

c) Ca tvåvärd. $K_F = (3 \pi^2 4.2)^{1/3}/a = 6.19/a$. $G_{hkl} = 2\pi/a (h, k, l)$ där h, k, l alla är udda eller alla är jämna tal. Närmsta zonplan på avståndet $G_{111}/2 = 5.44/a$, näst närmsta på avst $G_{200}/2 = 6.28/a$. Endast närmsta zonplanen skärs således av Fermi- sfären.

3. a) Se boken sid 132

b) boken sid 253, 256, 267

c) $N \exp(-E_A/kT)$ med värden på storheterna I intervallen $N. 1-6$, $h\nu = 10- 200 \text{ meV}$,
 $E_A : 0.1 - 2 \text{ eV}$.

4. a) Se boken sid 284-286

b) $m^* = (\hbar/2\pi)^2 / d^2 E/dk^2$; $\frac{d^2 E}{E_0 dk^2} = (4a^4 k^2 - 2 a^2) \exp(-a^2 k^2) = -2a^2$ för $k=0$.

För hålet $m_h^* = -m_e^* = (\hbar/2\pi)^2 / (2a^2 E_0) = 0.32 m$.

c) $N_D \gg n_i$. Fosfor donator. Formelsamlingen ger $pn = 2.1 \cdot 10^{31} \text{ m}^{-6}$, $n \approx N_D \Rightarrow \sigma = 300 \text{ 1/Ohm m}$.

5. a) Se boken sid 151

b) Cu^{+2} $S = 1/2$ $N_2/N_1 = \exp(-2\mu_B\mu_0H/kT) = 49/51$, som ger $\mu_0H = 8.8$ T.