

Tentamen fasta tillståndets fysik Aug 1999

1. Då röntgenstrålning våglängden 1.54 Å diffrakteras av ett Al-prov minskar diffraktionsvinkeln med 0.021° när temperaturen höjs från 300K till 700 K för den h,0,0-reflex, som har största möjliga diffraktionsvinkel. (Diffraktionsvinkeln är dubbla Bragg-vinkeln).
 - a) Beräkna gitterparameterns ändring, Δa , pga temperaturhöjningen. Al har fcc-struktur med $a=4.05$ Å. (2p)
 - b) Uppskatta hur stor del av längdutvidgningen för Al som orsakas av att temperaturhöjningen från 300 K till 700 K ger upphov till ett ökande antal vakanser. Vakansbildningsenergin är 0.78 eV. (2p)
2. Beräkna hur den tillförda energin fördelas mellan valenselektroner, vibrationer och vakanser vid en liten temperaturhöjning (en eller annan grad) för Al från en utgångstemperatur av
 - a) 5 K
 - b) 900 K.Vakansbildningsenergin är 0.78 eV. (4p)
3. Figuren nedan visar valenselektronernas bandstruktur, $E(\mathbf{k})$, för Si.
 - a) Vilka av banden (numrerade i figuren för K- Γ riktningen) är besatta med elektroner? (1p)
 - b) Förklara varför just de i a) nämnda banden är fyllda. (1p)
 - c) Varför finns inget energigap mellan band 1 och 2 vid X-punkten?(1p)
 - d) Av bandstrukturen kan man sluta sig till att det inte går att utnyttja Si för att bygga halvledarlasrar. Förklara detta. (1p)
 - e) I vilket våglängdsområde är Si genomskinligt (1p).Totalt max 4p på uppgiften
4. Inför begreppet effektiv bandmassa och visa hur denna varierar med vågvektorn för ett typiskt energiband. (4p)
5. Redogör för Weiss modell för ferromagnetism och Heisenbergs förklaring av det s.k. inre fält som postulerades av Weiss. (4p)

Lösningar, tentamen Fasta tillst. 1999-08-26

1. a) Al har fcc-struktur med $a=4.05$ Å (se Physics Handbook sid 105).

$$2 d \sin\theta = \lambda$$

$$\text{dvs } \sin^2\theta = (\lambda/2a)^2 (h^2 + k^2 + l^2)$$

för fcc är h, k och l alla udda eller alla jämna tal,

dvs för h 0 0 –reflexer är h = 2, 4, 6 ...

$\sin^2\theta < 1$ betyder, med $\lambda= 1.54$ Å, att största möjliga värde på h är 4.

Braggs lag med h= 4 : $a \sin\theta = 2 \lambda$

Differentiera $\Delta a \sin\theta + a \Delta\theta \cos\theta = 0$

$$\Delta a = -a \Delta\theta \cot\theta$$

För h =4 ger Braggs lag $\theta = 49.5^\circ$

$$\Delta\theta = [\text{Bragg-vinkeln är halva diffr. vinkeln}] = 0.0105 \text{ radianer}$$

$$\Delta a = 0.036 \text{ \AA}$$

$$b) \Delta l/l = 400 \times 23 \times 10^{-6} = 92 \times 10^{-4}$$

Halten vakanser vid RT försumbar jämförd med halten vid 700 K.

$n/N = e^{-E/kT}$ ger med $E = 0.78 \text{ eV}$ och $T = 700 \text{ K}$ att $n/N = 2 \times 10^{-6}$, dvs så stor är relativa volymändringen p g a vakanserna och längdändringen är 1/3 av detta. Vakansernas bidrag till längdutvidgningen är således försumbart (en tiotusendel ungefär) vid dessa temperaturer.

2. a) $E_v/kT = 1840 \Rightarrow$ försumbart bidrag från vakanserna.
 $\theta = 428 \text{ K}$ för Al (Physics Handbook sid 101), dvs $T \ll \theta$
 Sätt in aktuella storheter formelsamlingens uttryck för elektron- och fononbidragen till värmekapacititeten. Kom ihåg att N i uttrycket för fononbidraget är antalet atomer men i uttrycket för elektronbidraget är N antalet valenselektroner (3 per atom för Al).
 Insättning ger $C_{el} / C_{fon} = 1.4$
- b) $T = 900 \text{ K}$, $C_{fon} \approx 3kN$
 Vakansernas bidrag till inre energin $U_v = n E_v = N E_v e^{-E_v/kT}$ som efter derivering map T ger $C_{vak} = kN (E_v / kT)^2 e^{-E_v/kT}$
 $C_{vak} / C_{fon} = 0.0013$ och $C_{el} / C_{fon} = 0.032$.
3. a och b) 4 valenselektroner per atom och två atomer i cellen dvs 8 elektroner i cellen.
 Det finns plats för 2 el per cell i ett band så de fyra nedersta banden är fyllda vid $T=0$.
- c) X- punkten ligger på det Brillouin- zonplan som är mittpunktsnormalplan till G_{200} . $E_{gap} = 2 S^* V_G$ där V_G är jonpotentialens Fourier-komponent och S^* strukturfaktorn som för diamantstrukturen släcker ut 200- reflexer och eliminerar energigapet vid det Brillouin- zonplan som svarar mot G_{200} .
- d) Bandgapet är indirekt vilket betyder att endast fononassisterade, relativt svaga, optiska övergångar över gapet är möjliga.
- e) Bandgapet är 1.14 eV så ämnet är genomskinligt för fotonenergier mindre än 1.14 eV och i våglängd betyder det $\lambda > 10900 \text{ \AA}$.