CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Teknisk Fysik

2007-01-15
kl.:08^{30}-12^{30}
Sal : V

Tentamen i **FYSIK 2 för E** (FFY143)

Lärare: Stig-Åke Lindgren, tel 7723346
Hjälpmedel: Valfri kalkylator och ett A4-blad med egenhändigt framställda anteckningar, Beta, Physics Handbook, TEFYMA eller motsvarande gymnasietabell
Rättningsprotokollet anslås senast 2007-01-30
Granskning: 2007-01-30 kl. 12.^{00}-12.^{30} i rum 1043 i Soliden, Fysik

---

1. En viss mängd enatomig idealgas får genomlöpa en kretsprocess bestående av 3 delprocesser. En adiabatisk expansion till dubbla volymen följs av en isobar kompression till ursprungsvolymen och avslutas av en isokor upphettning till ursprungstrycket.

   a) Åskådliggör processen i ett pV- diagram och markera på ett tydligt sätt vid vilka delprocesser som värme tillförs respektive bortförs gasen.

   b) Teckna uttrycket för verkningsgrad i termer av de värmemängder som du infört i föregående deluppgift.

   c) Beräkna ett numeriskt värde på verkningsgraden. (4p)

2. Vid en röntgenundersökning (Debye-Scherrer upptagning) av ett metallpulver uppmäts de tre minsta Braggvinklarna, θ, till 24,36°, 42,33°, 52,16°. Röntgenvåglängden är 1,70 Å.

   a) Bestäm kristallstruktur och gitterkonstant.

   b) Hur många olika Braggvinklar (inklusive de tre som är givna ovan) förekommer i experimentet?

   (tillåtna reflexer: se sista sidan) (4p)

3. Då en av metallytorna på en 1,0 cm^3 stor välkyld kubformad frielektronliknande metallbit belyses med monokromatiskt ljus med våglängden 295 nm emitteras elektroner som strax utanför metallytan har en maximal kinetisk energi på 1,00 eV. Man har tidigare observerat att med ljusvåglängden 100 nm är det möjligt att excitera och emittera även de allra energifattigaste ledningselektronerna och att en sådan emitterad elektron har kinetiska energin 4,40 eV utanför metallytan. Hur många atomer finns det i det kubformade metallprovet?
Räkna med en ledningselektron per atom. (4p)

4. a) Gör en beräkning och uppskatta sannolikheten för att ett tillstånd vid ledningsbandets botten i rent egenledande kisel är ockuperat av en elektron vid rumstemperatur? (2p)

b) Nämn någon metod för att bestämma bandgapet i en halvledare och redogör för hur det går till. (2p)

5. I ett mycket lätt n-dopat prov av Si är elektrontätheten i ledningsbandet vid rumstemperatur dubbelt så hög som den skulle vara i avsaknad av dopning. Vid temperaturen i fråga gäller att praktiskt taget samtliga donatoratomer är joniserade samt att $n \cdot p = 4{,}0 \cdot 10^{30}\ m^{-6}$.

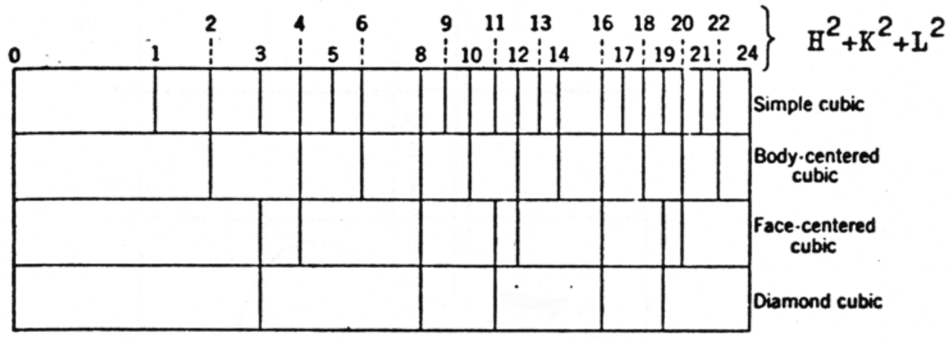
a) Beräkna förhållandet mellan antalet donatoratomer och Si-atomer.

b) Beräkna ett numeriskt värde på Ferminivåns position relativt dess läge för odopat Si. (Svara i eV och med tecken + eller -) (4p)

6. Mg (valens=2) kan lösas in i Li (valens=1) så att atomslagen är slumpmässigt fördelade över gitterpositionerna. Legeringens elektronstruktur är frielektronlik. Hur stor behöver halten av Mg vara för att Fermisfären skall nå fram till närmsta Brillouinzongräns? Legeringen har bcc struktur. (4p)

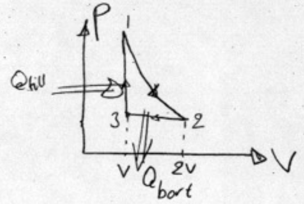
Figur till uppgift 2

Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer:



Lösn.anv. till FYSIK 2 för E (2007-01-15)

1.



$Q_{till} = Q_{3\to1} = n'C_v(T_1 - T_3)$

$Q_{bort} = Q_{2\to3} = n'C_p(T_2 - T_3)$

$e = \frac{W_{netto}}{Q_{till}} = \frac{Q_{till} - Q_{bort}}{Q_{till}} = 1 - \frac{Q_{bort}}{Q_{till}}$

$= 1 - \frac{n'C_p(T_2 - T_3)}{n'C_v(T_1 - T_3)} = 1 - \gamma\,\frac{T_2/T_3 - 1}{T_1/T_3 - 1}$

2→3: $\frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{p_3V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{2V}{T_2} = \frac{V}{T_3} \Rightarrow \boxed{\frac{T_2}{T_3} = 2}$

3→1: $\frac{p_3V_3}{T_3} = \frac{p_1V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{T_1}{T_3} = \frac{p_1}{p_3} = \frac{p_1}{p_2}$

men $p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = 2^\gamma$

∴ $\boxed{\frac{T_1}{T_3} = 2^\gamma}$

Således: $e = 1 - \gamma\,\frac{2-1}{2^\gamma - 1}$ där $\gamma = \frac{5}{3}$

$\Rightarrow e = 1 - \frac{5}{3}\cdot\frac{1}{2^{5/3} - 1} = 0{,}2336$

Svar: Verkningsgraden är 23,6 %

2.

$2\,\frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}\,\sin\theta = \lambda$

$\Rightarrow \frac{\sin^2\theta}{h^2+k^2+l^2} = \frac{\lambda^2}{4a^2} = \text{konstant}$

θ	$\frac{\sin^2\theta}{h^2+k^2+l^2}$
24,36°	$\sin^2 24{,}36/3 = 0{,}05671$
42,33°	$\sin^2 42{,}33/8 = 0{,}0567$
52,16°	$\sin^2 52{,}16/11 = 0{,}0567$

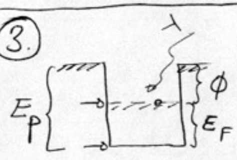
∴ 3, 8, 11, 16, 19 diamant!

$h^2+k^2+l^2 = 19$ går inte ($\Rightarrow \sin\theta > 1$)

men $=16$ går ; ∴ 4 olika Braggvinklar

Således: $\frac{\lambda^2}{4a^2} = 0{,}0567 \Rightarrow a = 3{,}57$ Å ; Diamantstruktur

3.



Med $\lambda = 295$ nm fås $E_{k,max} = 1{,}00$ eV

$\Rightarrow \left(E_{k,max} = \frac{hc}{\lambda} - \Phi\right) \Rightarrow \Phi = \frac{hc}{295\,\text{nm}} - 1{,}00\,\text{eV} = \underline{3{,}20\,\text{eV}}$

Med $\lambda = 100$ nm fås $E_k = 4{,}40$ eV utanför ytan om den exciterats från gropens botten.

∴ $E_k = \frac{hc}{\lambda} - E_p \Rightarrow E_p = \frac{hc}{100\,\text{nm}} - 4{,}40\,\text{eV} = \underline{8{,}00\,\text{eV}}$

∴ $E_F + \Phi = 8{,}00 \Rightarrow E_F = 4{,}80$ eV

$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m}\left(3\pi^2\frac{N_e}{V}\right)^{2/3}$

$\Rightarrow \frac{N_e}{V} = \left(\text{med } \varepsilon_F = 4{,}80\,\text{eV}\right)$

$= 4{,}78\cdot10^{28}\ \frac{\text{elektroner}}{m^3}$

Med 1 ledn.el/atom och $V = 1\,\text{cm}^3$ fås då: Antal atomer $= 4{,}8\cdot10^{22}$ st $= \underline{\text{Svar}}$

4.

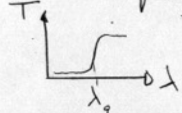
a) **Si**: $E_g \approx 1{,}1$ eV ; Fermi-Dirac: $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}}+1}$

Rent Si: $\mu \approx \frac{1}{2}E_g$

$f(E_g) = \frac{1}{e^{\frac{E_g-\mu}{kT}}+1} = \frac{1}{e^{\frac{\mu}{0{,}025}}+1} \approx \underline{10^{-10}}$

Rumstemp: $kT \approx 0{,}025$ eV

b) T.ex. Mät transmissionen av el.magn. strålning genom en tunn platta av halvledarmaterialet som fkn. av λ



Påtaglig ökn. av T då λ större än λ_g där λ_g är våglängden hos den foton (med energi $\frac{hc}{\lambda_g}$) som nätt och jämnt kan excitera ett el-hål par, dvs. $\frac{hc}{\lambda_g} = E_g$.

$\left(\Rightarrow E_g = \frac{hc}{\lambda_g}\right)$

5.

Si: $n\cdot p = 4{,}0\cdot10^{30}\,m^{-6}$ (Givet)

odopat: $n_i = \sqrt{np} = 2{,}0\cdot10^{15}\,m^{-3}$

dopat: $n = 2n_i = 4{,}0\cdot10^{15}\,m^{-3} \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} = 1{,}0\cdot10^{15}\,m^{-3}$

dopämneskoncentration: $N_d = n - p = 3{,}0\cdot10^{15}\,m^{-3}$

Si har atomtätheten: $5{,}0\cdot10^{28}\,m^{-3}$

Således: $\frac{\text{antal donatoratomer}}{\text{antal Si-atomer}} = \frac{3\cdot10^{15}}{5\cdot10^{28}} = \underline{6\cdot10^{-14}}$

6.

Avstånd till närmsta B.zon gräns för en bcc-struktur

$= \frac{1}{2}\cdot$ kortaste reciproka gittervektorn $= \frac{1}{2}\cdot\sqrt{1^2+1^2+0^2}\cdot\frac{2\pi}{a} = \sqrt{2}\cdot\frac{\pi}{a}$

Frielektronmodellen $k_F = \left(3\pi^2\frac{N_e}{V}\right)^{1/3}$; bcc: $\begin{cases}2\text{ atomer per cell.}\\ x\text{ el per atom}\end{cases}$

Sök $\frac{N_e}{V}$ så att $k_F = \sqrt{2}\cdot\frac{\pi}{a}$ där $\frac{N_e}{V} = \frac{2}{a^3}\cdot x$

∴ $\left(3\pi^2\frac{2x}{a^3}\right)^{1/3} = \sqrt{2}\cdot\frac{\pi}{a} \Rightarrow x = 1{,}48$

Om Li (valens =1) och Mg (valens 2) slumpvis över gitterpunkterna fås 1,48 $\frac{\text{el}}{\text{g.pkt}}$ om antalet Mg ≈ antal Li-atomer