CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Teknisk Fysik

2008-01-14
kl.:14^{00}-18^{00}
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 2008-01-24
Granskning : 2008-01-24 kl. 12.15-12.30 i rum 1043, Soliden, Fysik.

---

1. Antag att 1 mol av en enatomig gas får genomlöpa en Carnotcykel bestående av: en isotermisk expansion mellan A och B, en adiabatisk expansion mellan B och C, en isotermisk kompression mellan C och D och en adiabatisk kompression mellan D och A.

   I punkten A är tryck och temperatur 25 atm och 600 K respektive.
   I punkten C är tryck och temperatur 1 atm och 400 K respektive.

   a) Bestäm volymerna i punkterna och A och C

   b) Bestäm ett numeriskt värde på verkningsgraden. (4p)

2. För ett kiselprov i pulverform uppmäts vid en Debye-Scherrer upptagning med neutroner (en källa producerar neutroner med väldefinierad hastighet som får träffa provet) den minsta avböjningsvinkeln, 2θ, till 48,0°. (θ = Braggvinkeln)

   Vilken våglängd skall röntgenstrålning ha för att ge samma minsta avböjningsvinkel som neutronerna ger? Tillåtna reflexer: se nästa sida. Nödvändiga kiseldata får inhämtas från tabellverk (4p)

3. Förklara följande fyra begrepp. Ett par tre meningar per begrepp bör räcka. Helt nöjaktig förklaring av ett begrepp ger 1 p.

   hallspänning effektiv massa massverkans lag plasmon

   (4p)

4. I en tänkt frielektronliknande metall ligger atomerna ordnade efter ett enkelt kubiskt gitter med en atom per gitterpunkt.

a) Hur stor skulle valensen (antal ledningselektroner per atom; behöver ej vara heltal) behöva vara för att Fermisfären skall nå fram till närmsta Brillouinzongräns? (antag här att den periodiska potentialen är mycket svag och att Fermisfären därför verkligen är rund)

b) Antag nu att valensen är två och skissa hur ledningselektronernas energi beror av vågvektorn i en riktning från zoncentrum mot närmsta Brillouinzon. (antag här att den periodiska potentialen är måttligt stor) (4p)

5. a) Beskriv kortfattat någon experimentell metod för att bestämma bandgapet i en halvledare.

b) Rita en figur som kvalitativt visar hur elektrontätheten per energienhet beror av elektronenergin i ledningsbandet och beräkna därefter den mest sannolika elektronenergin relativt ledningsbandets botten hos en odopad halvledare vid temperaturen T. (4p)

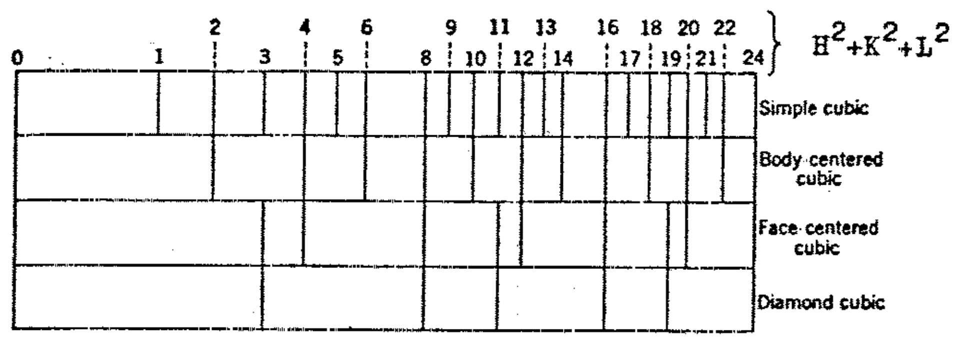
6. Man önskar med hjälp av aluminium p- dopa ett kiselprov vid 300 K så att ledningsförmågan blir 100 $(\Omega m)^{-1}$.

a) Vilken koncentration (uttryckt i m^{-3}) av Al- atomer bör man välja?

b) Var ligger Ferminivån?

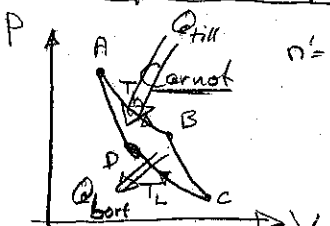
Gällande Si- data: $n\ p = 9\ 10^{30}\ m^{-6}$ (gäller vid 300 K)
Mobiliteterna för elektroner och hål är 0,16 m^2/Vs och 0,05 m^2/Vs respektive.
Effektiva massorna för elektroner och hål är 26 % respektive 50 % av frielektronmassan. Bandgapet i kisel är 1,14 eV. (4p)

Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer:



Lösn. förslag Fysik 2 för E 2008-01-14

(1.)



$n' = 1\,\text{mol}$; $\begin{cases} P_A = 25\,\text{atm} \\ T_A = 600\text{K} \end{cases}$ $\begin{cases} P_C = 1\,\text{atm} \\ T_C = 400\text{K} \end{cases}$

$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_C V_C}{T_C} = n' \cdot R = 1 \cdot 8{,}3\ J/K$

a) $\begin{cases} V_A = \frac{8{,}3 \cdot 600}{25 \cdot 1{,}013 \cdot 10^5}\ m^3 = \underline{1{,}97 \cdot 10^{-3}\ m^3} \\ V_C = \frac{8{,}3 \cdot 400}{1 \cdot 1{,}013 \cdot 10^5}\ m^3 = 32{,}8 \cdot 10^{-3}\ m^3 \end{cases}$

b) För Carnot gäller:

$\frac{|Q_{till}|}{|Q_{bort}|} = \frac{T_h}{T_L}$

$\underline{\eta} = \frac{W_{netto}}{|Q_{till}|} = \frac{|Q_{till}| - |Q_{bort}|}{|Q_{till}|} = 1 - \left|\frac{Q_{bort}}{Q_{till}}\right| = 1 - \frac{T_L}{T_h} = 1 - \frac{400}{600} = \underline{\underline{\frac{1}{3}}}$

(2.) Debye-Scherrer ; Bragg: $2 \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \sin\theta = \lambda$

Kisel: $\begin{cases} \text{diamantstruktur} \\ \text{gitterkonstant } a = 5{,}43\,Å \end{cases}$; tillåtna reflexer $h^2+k^2+l^2 = 3, 8, \ldots$

θ min då $h^2+k^2+l^2$ är min dvs $= 3$

$\therefore\ 2 \frac{a}{\sqrt{3}} \sin\theta_{min} = \lambda \Rightarrow \lambda = 2 \cdot \frac{5{,}43\,Å}{\sqrt{3}} \sin 24° = 2{,}55\,Å$

Svar: Våglängden skall vara $\underline{\underline{2{,}55\,Å}}$ (oavsett neutr, fotoner,..)

(3.) Se litteraturen

(4.) $G_{hkl} = \frac{2\pi}{a}(h\hat{x} + k\hat{y} + l\hat{z})$; S.C. alla hkl tillåtna

X ledn.el per atom och 1 atom/cell $\Rightarrow \frac{N_e}{V} = \frac{X}{a^3}$

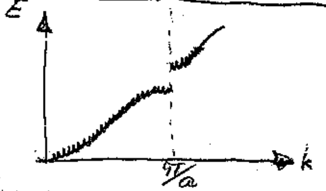
a) $\therefore$ Kortaste $G = |G_{100}| = \frac{2\pi}{a}$

$\Rightarrow$ Avstånd till närmsta B-zongräns $= \frac{1}{2} G_{100} = \frac{\pi}{a}$

Fermisfärens radie $k_F = \left(3\pi^2 \frac{N_e}{V}\right)^{1/3} = \left(3\pi^2 \frac{X}{a^3}\right)^{1/3}$

Ekv. $\left(3\pi^2 \frac{X}{a^3}\right)^{1/3} = \frac{\pi}{a} \Rightarrow 3\pi^2 X = \pi^3 \Rightarrow X = \frac{\pi}{3} = \underline{1{,}05} = \text{Svar}$

b)

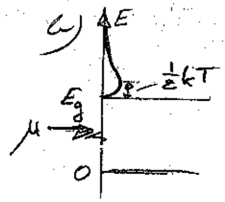


$X = 2 \Rightarrow \left(3\pi^2 \frac{2}{a^3}\right)^{1/3} = \left(\frac{6\pi^3}{\pi \cdot a^3}\right)^{1/3} = \left(\frac{6}{\pi}\right)^{1/3} \cdot \frac{\pi}{a} = 1{,}24 \cdot \frac{\pi}{a}$

el kan spilla ut i 2:a zonen.

(5.) a) $R(T)$ eller tex $I(\lambda)$
detaljer se litteraturen

b)



energifördelningen i ledn. bandet $=$

$= N(E) \cdot f(E) =$ $\begin{cases} N(E) = \text{tillst. tätheten} \\ f(E) = \text{Fermi-Diracs fördeln.fkn} \end{cases} =$

$= \text{konst} \cdot \sqrt{E - E_g} \cdot \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1} \approx \underbrace{\text{konst} \cdot \sqrt{E - E_g} \cdot e^{\frac{\mu - E}{kT}}}$

sök max av genom derivera och sätt $= 0$

$\frac{d}{dE}\left(\sqrt{E - E_g}\, e^{\frac{\mu - E}{kT}}\right) = 0$

$\left[\frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{E - E_g}} + \sqrt{E - E_g} \left(-\frac{1}{kT}\right)\right] e^{\frac{\mu - E}{kT}} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} + (E - E_g) \cdot \left(\frac{-1}{kT}\right) = 0$

$\Rightarrow \underline{\underline{E - E_g = \frac{1}{2} kT}} = \text{Svar}$

(6.) $\begin{cases} \sigma_{dop} = ne\mu_e + pe\mu_h = 100\ (\Omega m)^{-1} \\ n \cdot p = n_i^2 = 9 \cdot 10^{30}\ m^{-6} \end{cases}$

p-dop: $p > n$
$p - n = N_a^- = N_a$ ty RT och praktiskt taget alla joniserade

$\mu_e = 0{,}16 \frac{m^2}{Vs}$; $m_e^* = 0{,}26\, m_e$

$\mu_h = 0{,}05 \frac{m^2}{Vs}$; $m_h^* = 0{,}50\, m_e$

$\Rightarrow \frac{n_i^2}{p} e\mu_e + pe\mu_h = \sigma_{dop}$

$\Rightarrow p^2 - \frac{\sigma_{dop}}{e\mu_h} p + n_i^2 \frac{\mu_e}{\mu_h} = 0$

$\Rightarrow p = \frac{100}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}05} \pm \sqrt{\left(\frac{100}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}05}\right)^2 - 9 \cdot 10^{30} \cdot \frac{0{,}16}{0{,}05}} = 6{,}3 \cdot 10^{21} \pm \sqrt{(6{,}3 \cdot 10^{21})^2 - 2{,}9 \cdot 10^{31}} =$

$= \underline{12{,}6 \cdot 10^{21}\ m^{-3}}$

$\underline{n} = \frac{9 \cdot 10^{30}}{12{,}6 \cdot 10^{21}} = \underline{7 \cdot 10^{8}\ m^{-3}} \lll p$

$\therefore$ a) Dopämneskonc $N_a = p - n = \underline{\underline{1{,}3 \cdot 10^{22}\ m^{-3}}}$

b) $\mu = ?$ $p = p_0 \cdot e^{-\mu/kT}$ där $p_0 = 2{,}5 \cdot 10^{25}\ m^{-3} \cdot (m_h^*)^{3/2}$
$T = 300\text{K}$, $\Rightarrow kT = 0{,}026\,\text{eV}$ $= 0{,}88 \cdot 10^{25}\ m^{-3}$

$\Rightarrow \mu = kT \ln \frac{p_0}{p} \Rightarrow$

$\Rightarrow \mu = 0{,}026 \cdot \ln \frac{0{,}88 \cdot 10^{25}}{12{,}6 \cdot 10^{21}}\ \text{eV} = \underline{0{,}17\,\text{eV}}$

Svar: $\underline{0{,}17\,\text{eV}}$ ovanför valensbandstoppen.