CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Teknisk Fysik

2013-10-21
kl.:08^{30}-12^{30}
Sal : Hörsalar

Tentamen i **FYSIK 2 för E** (FFY143)

Lärare:	Stig-Åke Lindgren, tel 0707238333 eller 7723346
Hjälpmedel:	Valfri kalkylator och ett A4-blad med egenhändigt framställda anteckningar, Beta, Physics Handbook, TEFYMA eller motsvarande gymnasietabell
Betygsgränser:	10, 15 och 20 p för betyg 3, 4 och 5 respektive

---

7. Sätt ett x i ruta sju på tentamensomslaget och skriv till höger om krysset vilket år du blev godkänd (i år eller tidigare år) på strukturbestämningslaborationen.

8. Sätt ett x i ruta åtta på tentamensomslaget om du var med på årets dugga.

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

   a) Åskådliggör kretsprocessen (de tre delprocesserna) i ett pV diagram och ange mycket tydligt vid vilka delprocesser som värme tillförs respektive bortförs gasen.

   b) Hur stor är kvoten mellan den värmemängd som tillförs och den värmemängd som bortförs? (Teckna först ett analytiskt uttryck för kvoten där temperaturerna vid varje intressant delprocess ingår och försök sedan beräkna ett numeriskt värde på kvoten) (4p)

2. Vid en strukturundersökning med neutroner av ett pulverprov med kubisk struktur och där neutronerna hade en hastighet på 1,49 km/s observerades ett antal Braggvinklar i intervallet 0°-90°. På grund av problem med detektorn var en värdebestämning av både den minsta och fjärde minsta Braggvinkeln problematisk. Eventuella större vinklar gick inte alls att komma åt. Däremot gick både den <u>näst minsta</u> och den <u>tredje minsta</u> vinkeln att bestämma och värdena blev 44,1° och 54,7° respektive.
   Om man vet att strukturen är kubisk går det att lösa strukturuppgiften med endast dessa två mätvärden så frågan är:
   Vilken kubisk struktur är det och hur stor är gitterkonstanten?

   (neutronmassan= $1{,}67\cdot 10^{-27}$ kg och tillåtna reflexer: se sista sidan.) (4p)

3. Ett vakuumrör med två elektroder (emitter och kollektor tillverkade av var sin metall med olika utträdesarbete) ansluts i serie med en pikoamperemeter och en variabel spänningskälla.

Om spänningskällan ställs in på U_0= +1,8 V (positiva tecknet innebär att + polen på spänningskällan är förbunden med kollektorn) och emittern belyses med monokromatiskt ljus krävs att ljusvåglängden är mindre än 564 nm för att det skall flyta ström genom amperemetern. Om polariteten kastas om så att U_0= -1,8 V och allt annat lika så krävs det istället en ljusvåglängd som är mindre än 258 nm för att det skall flyta ström genom fotocellen.

a) Hur stor skulle gränsljusvåglängden bli för att få ström genom amperemeter om spänningskällan ställs in på 0 V?

b) Hur stor skulle gränsljusvåglängden för ström genom amperemetern bli i det första fallet, med U_0= +1,8 V, om man hade riktat om ljuset och belyst kollektorn (och inte emittern) med ljus? (i detta fall är strömriktningen genom amperemetern den motsatta jämfört den ursprungliga) (4p)

4. a) Beräkna för ett kiselprov hur sannolikheten att finna en elektron vid botten av ledningsbandet ändras när ett absolut rent prov n- dopas med 1 ppm As. Temperaturen är 300 K. Svara med ett värde på kvoten mellan sannolikheten för det As- dopade och det odopade kiselprovet (rätt storleksordning med en siffras noggrannhet är tillfyllest)

(diverse kiseldata: Bandgapet i kisel är 1,1 eV, elektron- och hål- massan är 26 % respektive 50 % av den vanliga frielektronmassan, vid 300 K är produkten av elektron och håltätheterna $1 \cdot 10^{31}$ m^{-6}, atomtätheten i kisel är $5{,}0 \cdot 10^{28}$ m^{-3}.)

b) Hur stor skulle Hallspänningen på grund av det jordmagnetiska fältet (ungefärligt värde $5 \cdot 10^{-5}$ T) max kunna bli om en ström på 10 mA får genomlöpa en platta med tjockleken 0,1 mm av det n- dopade (1 ppm) kiselprovet? (strömriktningen är vinkelrät mot magnetfältet som är vinkelrätt mot den tunna plattan.) (4p)

5. I en ledningstråd av koppar med tvärsnittsytan 2,0 mm^2 flyter en ström på 2,0 A. Cu har fcc struktur och gitterkonstant 3,61 Å. Antag att varje Cu- atom bidrager med en elektron till en mycket frielektronlik elektrongas.

a) Hur stor är elektronernas drifthastighet?

b) Fermisfären når inte fram till närmsta Brillouinzongräns, men hur nära (uttryckt i $Å^{-1}$) är det?

c) Hur mycket kan detta avstånd påverkas av att det flyter en ström på 2,0 A genom tråden? Ange ett värde i $Å^{-1}$. (4p)

6. I ett mycket lätt och försiktigt p-dopat prov av rumstempererat kisel är håltätheten i valensbandet dubbelt så hög som elektrontätheten i ledningsbandet.

a) Hur stor är koncentrationen av acceptoratomer (uttryck svaret i m^{-3})?

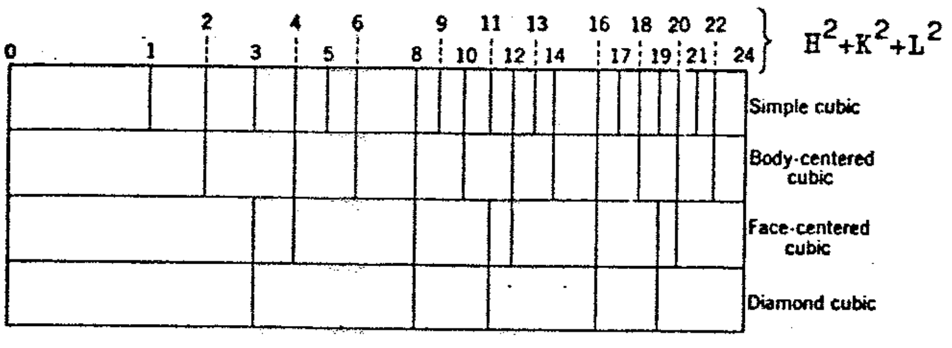
b) Hur stor är den elektriska ledningsförmågan?

c) Hur stor skulle den elektriska ledningsförmågan bli om acceptoratomerna byttes ut mot donatoratomer så att elektrontätheten blir dubbelt så stor som håltätheten?

d) Hur mycket och åt vilket håll skulle Ferminivån flyttas vid en sådan ändring från p- dopat till n- dopat? Svara i eV.

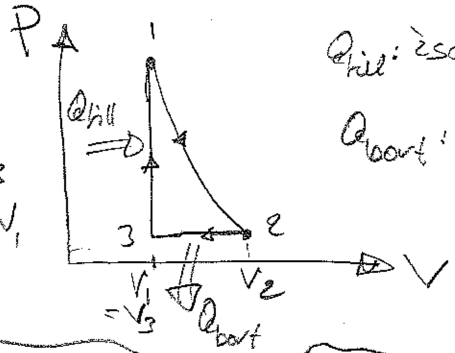
Anm. Vid den aktuella temperaturen gäller att produkten av elektron- och håltätheterna är $9 \cdot 10^{30}$ m^{-6}, mobiliteterna för elektroner och hål är 0,16 m^2/Vs och 0,05 m^2/Vs respektive. Övriga Si- data: se uppgift 4. (4p)

Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer:



Lösn. förslag Fysik 2 (FFY143) 2013-10-21

1.



$V_1 = V_3$

$V_2 = 2V_1$

Q_{till}: isokoren $3 \to 1 = |Q_{31}| = n' C_V (T_1 - T_3)$

Q_{bort}: isobaren $2 \to 3 = |Q_{23}| = n' C_p (T_2 - T_3)$

- $\dfrac{P_2 V_2}{T_2} = \dfrac{P_3 V_3}{T_3} \Rightarrow T_2 = 2T_3$
- $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow T_1 = T_2 \cdot 2^{\gamma-1}$

$$\frac{Q_{till}}{Q_{bort}} = \frac{n' C_V (T_1 - T_3)}{n' C_p (T_2 - T_3)} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{(2T_3 \cdot 2^{\gamma-1} - T_3)}{(2T_3 - T_3)} =$$

$$= \frac{1}{\gamma} \cdot (2^\gamma - 1) \approx \underline{1{,}3}$$

(ty $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1{,}67$, ty enatomig gas.)

---

2. $2 \dfrac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \sin\theta = \lambda$ där $\lambda = \dfrac{h}{m_n \cdot v} = 2{,}66$ Å

$\dfrac{\sin^2\theta}{h^2+k^2+l^2} = \dfrac{\lambda^2}{4a^2} = \text{konst}$

θ_1 olöslig, $\theta_2 = 44{,}1°$, $\theta_3 = 54{,}7°$, övriga olösliga

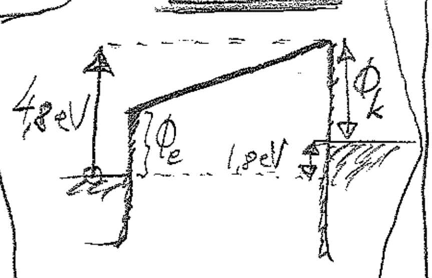
Prova med näst minsta och tredje minsta $h^2+k^2+l^2$-värde för sc bcc fcc diamant

$\Rightarrow$ endast diamantstruktur fungerar: $\dfrac{\sin^2 44{,}1°}{8} = \dfrac{\sin^2 54{,}7°}{11} = 0{,}0605$

$\therefore \dfrac{\lambda}{2a} = \sqrt{0{,}0605} \Rightarrow$ $\underline{a = 5{,}4 \text{ Å} \text{ och diamantstruktur}}$

3.

$\underline{U = -1{,}8 \text{ V}}$

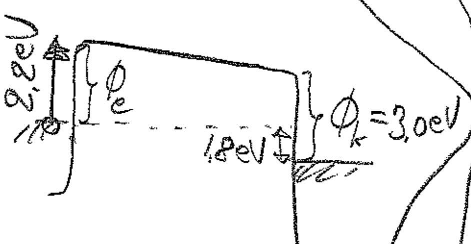


$\dfrac{hc}{258 \text{ nm}} = 4{,}8 \text{ eV}$

$4{,}8 \text{ eV} = 1{,}8 \text{ eV} + \phi_k$

$\Rightarrow \underline{\phi_k = 3{,}0 \text{ eV}}$

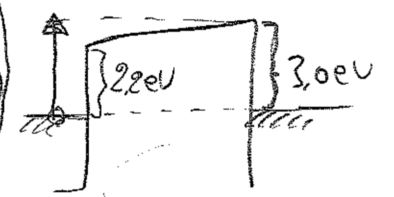
$\underline{U = +1{,}8 \text{ V}}$



$\dfrac{hc}{564 \text{ nm}} = 2{,}2 \text{ eV}$

$\underline{\phi_e = 2{,}2 \text{ eV}}$

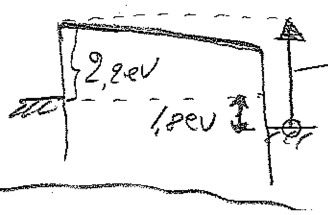
a) $\underline{U = 0 \text{ V}}$



$\dfrac{hc}{\lambda} = 3{,}0 \text{ eV} \Rightarrow \underline{\lambda = 413 \text{ nm}}$

= Svar i a

b) $\underline{U = +1{,}8 \text{ V och emittera från k}}$



$\dfrac{hc}{\lambda} = 1{,}8 \text{ eV} + 2{,}2 \text{ eV}$

$= 4{,}0 \text{ eV}$

$\Rightarrow \lambda = 310 \text{ nm} =$

Svar i b

(4.) a) Slheten för el på nivå med energi $E_g = f(E_g) = \frac{1}{e^{\frac{E_g-\mu}{kT}}+1}$

dopning 1 ppm As i Si vid RT: $N_d = 10^{-6}\cdot 5\cdot 10^{28} = \underline{5\cdot 10^{22}\ m^{-3}}$

$$\begin{cases} n\cdot p = n_i^2 \approx 10^{31}\ m^{-6} \\ n - p = N_d \end{cases} \Rightarrow \underline{n} = \frac{N_d}{2} \underset{(-)}{\pm} \sqrt{\left(\frac{N_d}{2}\right)^2 + n_i^2} \approx \underline{N_d}$$

$n = n_0\, e^{\frac{\mu - E_g}{kT}}$
$\Rightarrow \mu_{dop} = E_g + kT \ln \frac{N_d}{n_0}$
där $n_0 = 2{,}5\cdot 10^{25}\cdot 0{,}86^{3/2} = 0{,}33\cdot 10^{25}\ m^{-3}$

Sökt: $\frac{f_{dopat}(E_g)}{f_{odopat}(E_g)} = \left\{\begin{array}{l}\text{1:an i nämnaren} \\ \text{kan försummas} \\ \text{då } E_g - \mu \gg kT\end{array}\right\} = \frac{e^{\frac{\mu_{dop}-E_g}{kT}}}{e^{\frac{\mu_i - E_g}{kT}}} = \underline{e^{\frac{\mu_{dop}-\mu_i}{kT}}} = \frac{n_{dop}}{n_i}$

$$\left\{ \text{ty} \begin{array}{l} n_{dop} = n_0\, e^{\frac{\mu_{dop}-E_g}{kT}} \\ n_i = n_0\, e^{\frac{\mu_i - E_g}{kT}} \end{array} \Rightarrow \frac{n_{dop}}{n_i} = e^{\frac{\mu_{dop}-\mu_i}{kT}} \right\} = \frac{N_d}{n_i} = \frac{5\cdot 10^{22}}{\sqrt{10^{31}}} \approx 1{,}5\cdot 10^7$$

Svar i a): ca $1\cdot 10^7$ ggr mer sannolikt för n-dopat jfr. odopat.

b) $U_{Hall} = \frac{i B}{d}\cdot\frac{1}{n\cdot e} = \frac{0{,}01\cdot 5\cdot 10^{-5}}{0{,}1\cdot 10^{-3}}\cdot\frac{1}{5\cdot 10^{22}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}\ V = \underline{0{,}6\ \mu V} = \text{Svar i b}$

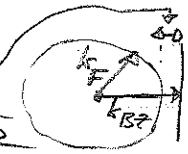
(5.) a) $j = \frac{i}{A} = n e v_d$ där $n = \frac{N_e}{V} = \frac{4\cdot 1}{a^3}$ (ty 4 atomer/cell och 1 el/atom) $= 8{,}5\cdot 10^{28}\ m^{-3}$

$\therefore v_d = \frac{i}{A\cdot n e} = \frac{2{,}0}{2\cdot 10^{-6}\cdot 8{,}5\cdot 10^{28}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}\ m/s = \underline{7{,}4\cdot 10^{-5}\ m/s} = \text{Svar i a}$

b) närmsta B-zongräns på avst. $\frac{1}{2} G_{111} = \frac{1}{2}\cdot\frac{2\pi}{a}\sqrt{1^2+1^2+1^2} = \frac{\sqrt{3}\,\pi}{a}$ (G_{111} kortaste G-vektor för fcc)

Fermisfärens radie $k_F = (3\pi^2 n)^{1/3} = \left(3\pi^2 \frac{4}{a^3}\right)^{1/3} = (12\pi^2)^{1/3}\cdot\frac{1}{a}$

$k_{BZ} - k_F = \left[\sqrt{3}\,\pi - (12\pi^2)^{1/3}\right]\cdot\frac{1}{a} = [5{,}44 - 4{,}91]\cdot\frac{1}{3{,}61\ Å} = \underline{0{,}15\ Å^{-1}}$ Svar i b



c) med ström o drifthast v_d är en förskjutn. av Fermisfären med δk relaterad. de Broglie: $m v_d = \hbar\, \delta_k$

$\Rightarrow \delta k = \frac{m v_d}{\hbar} = 0{,}64\ m^{-1} = \underline{0{,}64\cdot 10^{-10}\ Å^{-1}}$ dvs. en obetydlighet jfr. $k_{BZ} - k_F$ ovan.

(6.) $n = n_0\, e^{\frac{\mu - E_g}{kT}}$

$p = p_0\, e^{-\mu/kT}$

$n\cdot p = n_i^2 = n_0 p_0 e^{-E_g/kT}$

$\sigma = n e \mu_e + p e \mu_p$

p-dop: $p - n = N_a^-$ där $N_a^- \approx N_a$ vid rumstemp.

$\mu_e = 0{,}16\ m^2/Vs$
$\mu_h = 0{,}05\ m^2/Vs$

Här: $\begin{cases} p = 2n \\ n\cdot p = n_i^2 = 9\cdot 10^{30}\ m^{-6} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p = 2n \\ 2n^2 = n_i^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p = \sqrt{2}\, n_i = 4{,}2\cdot 10^{15}\ m^{-3} \\ n = \frac{1}{\sqrt{2}} n_i = 2{,}1\cdot 10^{15}\ m^{-3} \end{cases}$

a) $N_a = p - n = \underline{2{,}1\cdot 10^{15}\ m^{-3}}$

b) $\sigma_{p\text{-}dop} = n e \mu_e + p e \mu_h = (2{,}1\cdot 10^{15}\cdot 0{,}16 + 4{,}2\cdot 10^{15}\cdot 0{,}05)\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} = \underline{8{,}7\cdot 10^{-5}\ (\Omega m)^{-1}}$

c) Om $N_d = 2{,}1\cdot 10^{15}\ m^{-3} \Rightarrow$ värdena på n och p kastas om

$\Rightarrow \sigma_{n\text{-}dop} = (4{,}2\cdot 10^{15}\cdot 0{,}16 + 2{,}1\cdot 10^{15}\cdot 0{,}05)\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} = \underline{1{,}2\cdot 10^{-4}\ (\Omega m)^{-1}}$

d) $\mu_{n\text{-}dop} - \mu_{p\text{-}dop} = \left(E_g + kT \ln \frac{n_1}{n_0}\right) - \left(E_g + kT \ln \frac{n_2}{n_0}\right) = kT \ln \frac{n_1}{n_2} =$

$= kT \ln \frac{\sqrt{2}\, n_i}{\frac{1}{\sqrt{2}} n_i} = kT \ln 2 = \underline{18\ meV}$. Förflyttas uppåt 18 meV