LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET
Avdelningen för fysik

Tentamen i: FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK 2000-06-03 (MTF064)
Lösningsförslag

---

1. Låt järnatomen ha radien r_0. Vad blir då a för fcc? diagonalen på enhetskubens sidokvadrat $a\sqrt{2}$ men detta är också lika med $4r_0$ (det är dessa atomer som är närmst). I fcc finns 4 gitterpunkter per enhetskub tätheten blir då $n_{\text{fcc}} = \frac{4}{a} = \frac{4\ 2\sqrt{2}}{4^3 r_0^3} = \frac{\sqrt{2}}{8r_0^3}$. Motsvarande räkning för bcc blir $\frac{\sqrt{3}a}{4} = r_0$ detta ger tätheten $n_{\text{bcc}} = \frac{2}{a^3} = \frac{3\sqrt{3}}{2^5 r_0^3}$ vilket ger förhållandet $\frac{n_{\text{fcc}}}{n_{\text{bcc}}} = \frac{4\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} \approx 1.0887$

2. (a) Enligt Debye teori ges C_v för fasta material vid låga temperaturer av $C_v = \frac{12\pi^4}{5} N k_B \left(\frac{T}{\Theta}\right)^3 = AT^3$. Elektronbidraget är linjärt (γT) i temperaturen och $\frac{C_v}{T} = AT^2 + \gamma$. En graf över $\frac{C_v}{T}$ som funktion av T^2 ger en rät linje med lutningskoefficienten $A = 3.00 \cdot 10^{-7} \frac{J}{mol\ K^4}$

   (b) Från lutningen A fås $\Theta^3 = \frac{12\pi^4 N_A k_B}{5A} = 6.4793 \cdot 10^9 K^3$ ($N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ atomer per mol) och detta ger $\Theta = 1.86 \cdot 10^3 K$.

   (c) $\frac{C_v}{T}$ går mot noll eftersom det inte finns något bidrag från elektronerna till C_v. Diamant är en isolator, bandgap, inga elektroner vid ϵ_F.

3. Aluminium i Germanium ger p–doping. Tätheten av störatomer $N_{Al} = 0.0001 \frac{8}{(5.658 \cdot 10^{-10})^3} = 4.4167 \cdot 10^{24} \text{m}^{-3}$. (8:an kommer från 8 Ge atomer per enhetskub.) Hur stort är det intrinsiska bidraget till ? $n_i = p_i = 2\left(\frac{1.3807\ 10^{-23} 300}{2\pi 1.05459^2 10^{-34\cdot 2}}\right)^{3/2} (0.10^2\ 9.10953^2 10^{-31\cdot 2})^{3/4} \cdot e^{-0.9\cdot 1.60219\cdot 10^{-19}/2\cdot 1.3807\ 10^{-23} 300} = 2.188 \cdot 10^{16} \text{m}^{-3} << N_{Al}$ dvs ledning sker enbart med hål från störatomer (Al). $\sigma = eN_{Al}\mu_h = 1.60219\ 10^{-19} 4.4167\ 10^{24}\ 0.19 = 1.3445\ 10^5\ (\Omega m)^{-1}$ ocd då blir $\rho = 7.44\ 10^{-6} \Omega m$.

4. En analys av strukturfaktorn S_{hkl} för diamant ger följande (fcc med bas 000 och $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}$): $S_{hkl} = \sum_i f_i e^{-2\pi i(hx_i + ky_i + lz_i)} = f_C \left(1 + e^{-\frac{\pi}{2} i(h+k+l)}\right)\left(1 + e^{-\pi i(h+k)} + e^{-\pi i(k+l)} + e^{-\pi i(h+l)}\right)$ och $S_{hkl} \neq 0$ om $h + k + l = 4 \cdot$ heltal och $S_{hkl} \neq 0$ om alla h, k, l är udda eller jämna. Följande serie för hkl erhålles. 111, 220, 311, 400, 331... För Braggspridning gäller $2d_{hkl} \sin\theta = \lambda$ där $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$ dvs $d = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$ och $\frac{1}{d^2} \sim h^2 + k^2 + l^2$ vilket ger följande analys

θ	21.4	36.6	44.5	57.5
d	2.0555	1.25791	1.0700	0.88927
$\frac{1}{d^2}$	0.23668	0.63197	0.87378	1.2645
$x = \frac{3}{0.23668}$	3	8.010	11.07	16.028
$h^2 + k^2 + l^2$	3	8	11	16
(hkl)	111	220	311	400

   Detta ger att ämnet har diamantstruktur och enhetskubenskantlängd a blir $d = 2.0555 = \frac{a}{\sqrt{3}}$ vilket ger $a = 3.56$Å.

5. Provet är diamgnetiskt med en paramagnetisk förorening. För Langevin diamagnetism gäller $\chi = \frac{\mu_0 n Z e^2}{6m_e}\langle r^2\rangle$ detta uttryck är temperatur**o**beroende. För paramagnetism gäller $\chi = \frac{\mu_0 n p^2 \mu_B^2}{3k_B T}$ detta uttryck är temperaturberoende. Alltså är χ på följande form $\chi = A\frac{1}{T} + B$, gör en graf över χ som funktion av $\frac{1}{T}$ och dra en rät linje som ansluter till punkterna. Lutningen för linjen är ungefär $A = 1.7875\ 10^{-4}$K och värdet vid $\frac{1}{T} = 0.0$ ger $B = -9.48\ 10^{-6}$. Givet att föroreningen är Mn^{2+} joner med konfiguration $3d^5$. Denna har enligt Hunds regler $S = \frac{5}{2}$ och $L = 0$ och $J = \frac{5}{2}$, därmed blir Landes g faktor $g = 2$ och $p = \sqrt{35} \approx 5.92$. Från lutningen A erhålles nu koncentrationen av Mn^{2+} joner $n = \frac{A3k_B}{\mu_0 p^2 \mu_B^2} = \frac{A3k_B 4m_e^2}{\mu_0 p^2 \mu_B^2 e^2 \hbar^2} = \frac{1.7875\ 10^{-4} 12\ 1.3807\ 10^{-23}(9.10939\ 10^{-31})^2}{4\pi\ 10^{-7} 35(1.6022\ 10^{-19} 1.05457\ 10^{-34})^2} = 1.9572\ 10^{24}\text{m}^{-3} \approx 1.96\ 10^{24}\text{m}^{-3}$. Det diamagnetiska bidraget är $\chi_{dia} = -9.48\ 10^{-6}$.