H1 Dispersion: $E_e(k) = E_{v,max} - 10^{-37}\ k^2\ \text{J}\,\text{m}^2$ (Fel uppgiftsformulering)

En elektron med tillstånd $k_e = 10^9\ m^{-1}$ ligger ej nära Brillouinzongränsen då k_{BZ} typiskt antar värden

$$k_{BZ} = \frac{\pi}{a} \approx \frac{\pi}{10^{-10}} = \pi \cdot 10^{10}\ m^{-1} >> k_e$$

a) $$\frac{1}{m_e^*} = \frac{1}{\hbar^2}\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial k^2} = \frac{1}{\hbar^2}\frac{\partial}{\partial k}\left(-2\cdot 10^{-37} k\right) = \frac{1}{\hbar^2}\left(-2\cdot 10^{-37}\right) = -5,56\cdot 10^{-32}\ kg$$

$$m_h^* = -m_e^* = 5,56\cdot 10^{-32}\ kg = \underline{0,061\ m_e}$$

b) $$\underline{k_h = -k_e = -10^{-9}\ m^{-1}}$$

c) $$v_e = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{1}{\hbar}\frac{\partial \varepsilon}{\partial k} = \left\{ \begin{matrix} \varepsilon_h = -\varepsilon_e \\ k_h = -k_e \end{matrix} \Rightarrow v_h = v_e \right\} = \frac{1}{\hbar}\cdot\left(-2\cdot 10^{-37}\cdot k\right) =$$

$$= -1,90\cdot 10^6\ m/s \Rightarrow \underline{v_h = -1,90\cdot 10^6\ m/s}$$

d) Om nollnivån för energin sätts till $E_{v,max}$ är elektronens energi lika med:

$$E_e(k) = -10^{-37}\ k_e^2$$

$$E_h = -E_e$$

$$\Rightarrow E_h(k) = 10^{-37}\ k_e^2 = 10^{-37}\cdot\left(10^9\right)^2 = 10^{-37+18} = 10^{-19}\ J =$$

$$\underline{= 0,624\ eV}$$

H3 Resistiviteten, ρ, är inversen av konduktiviteten som för en halvledare ges av $\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h$,

där
n - elektronkoncentration
p - hålkoncentration
e - elementarladdning
μ_e - mobilitet för elektroner
μ_h - mobilitet för hål

$$\Rightarrow \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{ne\mu_e + pe\mu_h} = \left\{ \begin{matrix}\text{Antag intrinsisk} \\ \text{halvledare}\end{matrix} \Rightarrow n = p \right\} =$$

$$= \frac{1}{ne(\mu_e+\mu_h)} = \left\{ n = n_0\, e^{\frac{-(E_g-\mu)}{k_BT}} \right\} =$$

$$= \frac{1}{n_0 e(\mu_e+\mu_h)}\, e^{\frac{E_g-\mu}{k_BT}} = \left\{ \mu = \frac{E_g}{2} \text{ när } m_e^* = m_h^* \right\} =$$

$$= \frac{1}{n_0 e(\mu_e+\mu_h)}\, e^{\frac{E_g}{2k_BT}}$$

Resistensen, R ges av $R = \frac{l}{A_{tv}} \cdot \rho$

$$\Rightarrow R = \frac{l}{A_{tv}\, n_0 e(\mu_e+\mu_h)}\, e^{\frac{E_g}{2k_BT}} = A \cdot e^{\frac{E_g}{2k_BT}}$$

$$\Rightarrow \ln R = \ln A + \frac{E_g}{2k_B} \cdot \frac{1}{T}$$

Linjär regression för ln R som funktion av $\frac{1}{T}$ för givna mätdata ger

$$\ln R = -10{,}003 + 3917{,}8 \cdot \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow \frac{E_g}{2k_B} = 3917{,}8 \text{ K} \quad \Rightarrow E_g = 3917{,}8 \cdot 2k_B = 1{,}08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \underline{0{,}675 \text{ eV}}$$

H5

a) Konduktiviteten $\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h = \left\{ \text{Intrinsisk} \Rightarrow n = p \right\} = ne(\mu_e + \mu_h) =$

$$= n_0 \exp\left(-\frac{E_g - \mu}{k_B T}\right) e(\mu_e + \mu_h) = \left\{ \mu = \frac{1}{2}E_g + \frac{3}{4}k_B T \ln\frac{m_h^*}{m_e^*} \right. ,$$

$$\left. n_0 = 2\left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} \right\} =$$

$$= 2\left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g - \left(\frac{1}{2}E_g + \frac{3}{4}k_B T \ln\frac{m_h^*}{m_e^*}\right)}{k_B T}\right) e(\mu_e + \mu_h) =$$

$$= \left\{ \begin{matrix} m_e^* = 0{,}26 m_e & E_g = 1{,}14\,\text{eV} & \mu_e = 0{,}16\,\text{m}^2/\text{Vs} \\ m_h^* = 0{,}50 m_e & & \mu_h = 0{,}05\,\text{m}^2/\text{Vs} \end{matrix} \right\} = \underline{4{,}86 \cdot 10^{-5}\ (\Omega\text{m})^{-1}}$$

b) Fosfor har 5 valenselektroner, en mer än Si.

Tätheten av laddningsbärare från fosfor ges av

$$n_d = n_0 \exp(-E_d/k_B T) = 2\left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} \exp(-E_d/k_B T) = \{E_d = 45\,\text{meV}\} = 5{,}8 \cdot 10^{23}\ \text{m}^{-3}$$

Totala tätheten av laddningsbärare är

$$n = \frac{1}{2}\left(\sqrt{n_d^2 + 4n_d N_d} - n_d\right) = \{N_d = 10^{20}\ \text{m}^{-3}\} = 0{,}998 \cdot 10^{20} \approx \underline{1{,}0 \cdot 10^{20}\ \text{m}^{-3}}$$

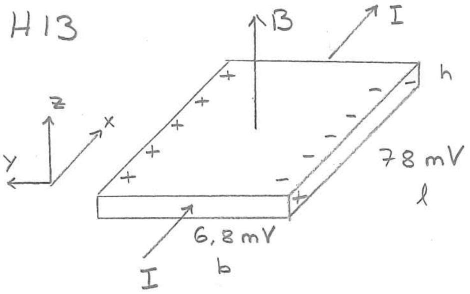
Vid dopning ändras ej produkten $n \cdot p = n_i p_i = n_i^2$

$$\Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} = \left\{ a) \Rightarrow n_i^2 = (1{,}44 \cdot 10^{15})^2 = 2{,}08 \cdot 10^{30} \right\} = \underline{2{,}1 \cdot 10^{10}\ \text{m}^{-3}}$$

c) $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_g - \mu}{k_B T}\right)$

$$\Rightarrow \mu = E_g + k_B T \ln\frac{n}{n_0} = 1{,}395 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = \underline{0{,}87\ \text{eV}}$$

H13



Storlek: $l \times b \times h = 10\,mm \times 4\,mm \times 1\,mm$

Då ingen ström går i y-led måste krafterna från magnetfältet och det elektriska fältet (Hallfältet) vara motriktade.

$$\mathbb{F}_B = q \cdot \mathbb{v} \times \mathbb{B} = \begin{cases} \text{elektron:} & -e(-v_x \cdot \hat{x}) \times (B\hat{z}) = e v_x B(-\hat{y}) \\ \text{hål:} & e \cdot (v_x \hat{x}) \times (B\hat{z}) = e v_x B(-\hat{y}) \end{cases}$$

Kraften från $\mathbb{B}$ ger ett överskott av laddningsbärare i negativ y-riktning. Eftersom $\mathbb{E}_H$ är riktad i negativ y-riktning måste det vara <u>elektroner</u> som ansamlats pga $\mathbb{B}$.

$$R_H = \frac{-E_y}{j_x B_z} = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2} \approx \{n >> p\} \approx -\frac{1}{ne}$$

$$\Rightarrow n = \frac{j_x B_z}{e E_y} = \left\{ j_x = \frac{I_x}{A_{tv}} \right\} = \frac{\frac{I_x}{b \cdot h} B_z}{e \cdot \frac{U_H}{b}} = \underline{9{,}64 \cdot 10^{20}\ m^{-3}}$$

Mobiliteten kan beräknas ur konduktiviteten enligt

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \approx \{n >> p\} \approx ne\mu_e$$

$$\Rightarrow \mu_e = \frac{\sigma}{ne} = \left\{ \sigma = \frac{j_x}{E_x} = \frac{I_x}{b \cdot h} \Big/ \frac{U_x}{l} = \frac{I_x l}{b h U_x} \right\} =$$

$$= \frac{I_x l}{b h U_x \cdot ne} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \cdot 78 \cdot 10^{-3} \cdot ne} = \underline{0{,}31\ m^2/Vs}$$