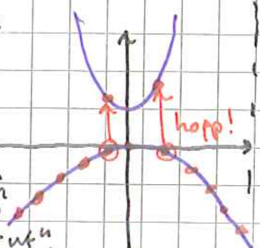
5/2-2013 Tomma platser i VB:

(8) $\hbar \frac{d\bar{k}}{dt} = -e\bar{\mathcal{E}}$



Nära toppen av band: $m_e^* < 0$

$m_e^* \bar{a}_e = -e\bar{\mathcal{E}} \Rightarrow \bar{a}_e = \frac{-e\bar{\mathcal{E}}}{m_e^*} = \frac{e\bar{\mathcal{E}}}{|m_e^*|}$

⊕ ($q = +e$) måste accelerera på samma sätt.

$\bar{a}_h = \frac{e\bar{\mathcal{E}}}{|m_e^*|} = \frac{e\bar{\mathcal{E}}}{m_h^*} \Rightarrow m_h^* > 0$. omvänd massa för den ska göra som elektronen

För ett visst tillstånd: $m_h^* = m_e^*$

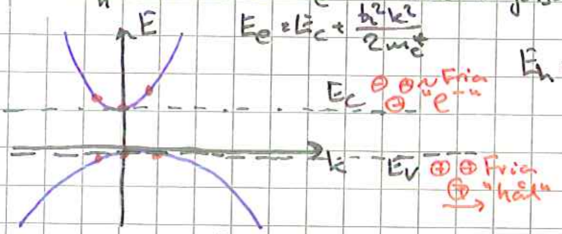
Fyller ut bandet med e^- och kollar hur den fria ⊕ rör sig.

CB: $E(k) = E_c + \frac{\hbar^2(k-k_0)^2}{2m_e^*}$

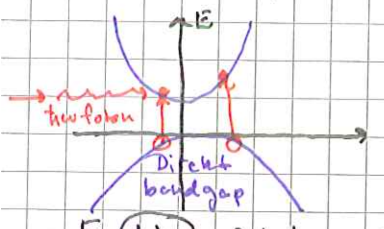
VB: $E(k) = E_v + \frac{\hbar^2(k-k_0)^2}{2m_e^*} = E_v - \frac{\hbar^2(k-k_0)^2}{2m_h^*}$ ($m_e^* < 0$)

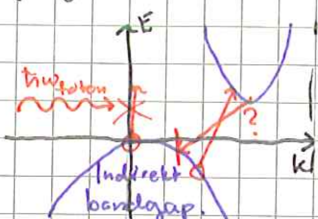
* $m_{e/h}^*$ slås upp i tabeller.

m_h^* för VB > m_e^* för ledningsbandet.



Optiska övergångar





E, $\hbar k$ måste bevaras.

$E^{el}_{efter} = E^{el}_{före} \pm \hbar\omega_{foton}$ | $\hbar k^{el}_{efter} = \hbar k^{el}_{före} \pm \hbar k_{foton}$

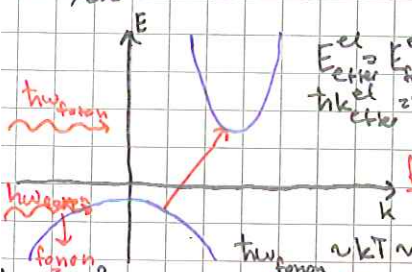
Bandgap i halvledare: $\sim 0{,}5 - 2\,eV \sim \hbar\omega_{foton}$,

$E = \hbar\omega_{foton} = \frac{hc}{\lambda_{foton}}$, $k_{foton} = \frac{2\pi}{\lambda_{foton}} \Rightarrow k_{foton} \leq 10^8\,m^{-1}$

BZ-kanten: $\frac{\pi}{a} \sim \frac{\pi}{0{,}1\,nm} \sim 10^{10}\,m^{-1}$, $k_{foton} \ll \frac{\pi}{a}$

$\Rightarrow k^{el}_{före} \sim k^{el}_{efter}$ (hoppar rakt upp, inte i sidled)

abs/em av enbart en foton: direkta övergångar.



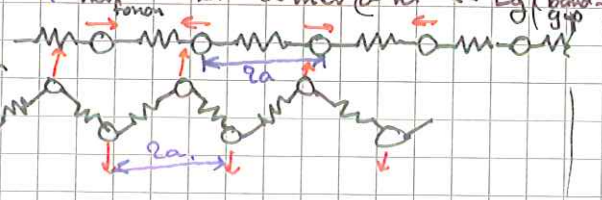
$E^{el}_{efter} = E^{el}_{före} \pm \hbar\omega_{foton} \pm \hbar\omega_{fonon}$

$\hbar k^{el}_{efter} = \hbar k^{el}_{före} \pm \hbar\omega_{foton} \pm \hbar\omega_{fonon}$

fonon? – Vibrationskvanta

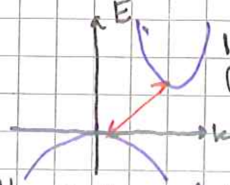
$\hbar\omega_{fonon} \sim kT \sim 25\,meV$ @ kT $\ll E_g$ (band-gap)

$k_{fonon} = \frac{2\pi}{\lambda_{fonon}}$



$(k_{fonon})_{max} \sim \frac{2\pi}{2a} \sim \frac{\pi}{a} \sim$ BZ-kanter

E_{fonon} liten $\ll E_g$ k_{fonon} kan vara $\sim \frac{\pi}{a}$



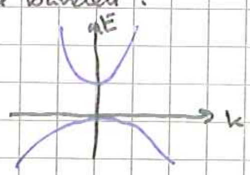
Indirekta övergångar långsamma (elektron tar upp foton och fonon) Ljusemission ineffektiv.

Hur många laddningsbärare i banden?

e^- i CB: elektronkonc. n.

hål i VB: hålkonc. p.

$E_e = E_c + \underbrace{\frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*}}_{E_{kin}}$



återanvända Z(E)

$n = \int_{E_c}^{\infty} Z_c(E) \cdot F_e(E)\,dE$

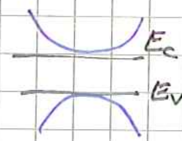
$p = \int_{-\infty}^{E_v} Z_h(E)(1 - F_e(E))\,dE = \int_{-\infty}^{E_v} Z_h(E) \cdot F_h(E)\,dE$

Chans för hål: $1 -$ (chans för el).

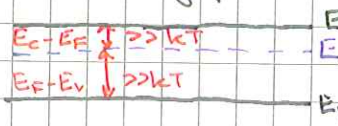
$Z(E) = 4\pi\left(\frac{2m}{h^2}\right)^{3/2}\sqrt{E}$

CB: $\sqrt{E} \to \sqrt{E - E_c}$ $m \to m_e^*$

VB: $\sqrt{E} \to \sqrt{E_v - E}$ $m \to m_h^*$



E_F i bandgapet:



$F_e(E)$ för $E > E_c$ $F_e(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1} \to e^{-(E-E_F)/kT}$

$F_e(E) \ll 1$ (kap 4: klassisk gräns).

$1 - F_e(E)$, $E < E_v \ldots \to e^{(E-E_F)/kT} \Rightarrow F_h(E) \ll 1$.

$n = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT}$ ← effektiv tillståndstäthet.

$\approx \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2}\right)^{3/2}$.

$p = N_v e^{-(E_F - E_v)/kT}$

N_c: ersätt m_e^* med m_h^*

$n \cdot p = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT} \cdot N_v e^{-(E_F - E_v)/kT} = N_c N_v e^{-(E_c - E_v)/kT} = N_c N_v e^{-E_g/kT}$ Massverkans lag.

Specialfall: $n = p = \sqrt{N_c N_v}\, e^{-E_g/2kT}$

$n = p = n_i$ → intrinsisk laddningsbärarkonc.

$n = p$: $N_c e^{-(E_c - E_F)/kT} = N_v e^{-(E_F - E_v)/kT}$

$\Rightarrow E_F = E_{F_i} = E_v + \frac{E_c - E_v}{2} + \frac{3}{4} kT \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right) \to \boxed{30}$

~~$n = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT}$~~