ΕΝΔΟΓΕΝΕΙΣ ΑΓΩΓΟΙ

• πλήθος ηλεκτρονίων που καταλαμβάνουν ενέργεια στάθμη E: (e/cm³)

$$n(E) = N_S f(E)$$

$$N_S = N_C + N_V \qquad (cm^{-3})$$

↑ πλήθος σταθμών στη ζώνη σθένους

↑ πλήθος σταθμών στη ζώνη αγωγιμότητας

$$f(E) = \frac{1}{1+e^{E-E_F/kT}}$$

• Σε ενδογενή κρύσταλλο η στάθμη Fermi βρίσκεται στο μέσο της απαγορευμένης περιοχής

▷ Συγκέντρωση ηλεκτρονίων στη C.B.

$$n_c(T) = N_S \frac{1}{1+e^{\frac{E_C-E_F}{kT}}}$$

Συγκέντρωση ηλεκτρονίων στη VB

$$n_v(T) = N_S \frac{1}{1+e^{\frac{E_V-E_F}{kT}}}$$

Ισχύει: $N_S = n_c(T) + n_v(T)$

Θέτω $E_V = 0$ $E_C = E_G$

$$N_S = n_c(T) + n_v(T) \Rightarrow N_S = \frac{N_S}{1+e^{E_C-E_F/kT}} + \frac{N_S}{1+e^{-E_F/kT}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 = \frac{1}{1+e^{E_G-E_F/kT}} + \frac{1}{1+e^{-E_F/kT}}$$

$$1-\frac{1}{1+e^{-E_F/kT}}=\frac{1}{1+e^{E_G-E_F/kT}} \Rightarrow \frac{1+e^{-E_F/kT}-1}{1+e^{-E_F/kT}}=\frac{1}{1+e^{E_G-E_F/kT}}$$

$$\Rightarrow \frac{e^{-E_F/kT}}{1+e^{-E_F/kT}}=\frac{1}{1+e^{E_G-E_F/kT}} \Rightarrow e^{-E_F/kT}=\frac{1+e^{-E_F/kT}}{1+e^{E_G-E_F/kT}}$$

$$\Rightarrow e^{-E_F/(kT)}\left(1+e^{E_G-E_F/kT}\right)=1+e^{-E_F/kT}$$

$$\Rightarrow \cancel{e^{-E_F/kT}}+e^{-E_F/kT}\,e^{E_G-E_F/kT}=1+\cancel{e^{-E_F/kT}}$$

$$\Rightarrow e^{E_G/kT}\cdot e^{-E_F/kT}\,e^{-E_F/kT}=1$$

$$\Rightarrow e^{(E_G-2E_F)/kT}=1 \Rightarrow E_G-2E_F=0$$

$$\Rightarrow E_G=2E_F$$

$$\Rightarrow \boxed{E_F=\frac{E_G}{2}}$$

<u>Στον ενδογενή αγωγό</u>

$$np=n_i^2$$

Πράγματι

$$n=p=n_i \Rightarrow n\cdot p=n_i\,n_i \Rightarrow \boxed{np=n_i^2}$$

Στον ενδογενή αγωγό ο αριθμός e στην VB = αριθμός h στη CB

P_1 = πιθανότητα ένα e να μη βρίσκεται στη ζώνη σθένους

P_2 = πιθανότητα στη ζώνη σθένους να υπάρχει οπή

$$P_1 = 1 - f(E_V) \Rightarrow P_1 = 1 - \frac{1}{1+e^{E_V - E_F/kT}} \xrightarrow{E_V=0}$$

$$\Rightarrow P_1 = 1 - \frac{1}{1+e^{-E_F/kT}} \xrightarrow{E_F = E_G/2} \boxed{P_1 = 1 - \frac{1}{1+e^{-E_G/2kT}}}$$

$$P_2 = f(E_G) \Rightarrow P_2 = \frac{1}{1+e^{E_C - E_F/kT}} \xrightarrow{E_C = E_G}$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{1}{1+e^{E_G - E_F/kT}} \xrightarrow{E_F = E_G/2}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_2 = \frac{1}{1+e^{E_G/2kT}}}$$

$$P_1 = 1 - \frac{1}{1+e^{-E_G/2kT}} = \frac{1+e^{-E_G/2kT}}{1+e^{-E_G/2kT}} - \frac{1}{1+e^{-E_G/2kT}}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{e^{-E_G/2kT}}{\quad}$$

$$\boxed{P_2 = \frac{1}{1+e^{E_G/2kT}}}$$

$$P_1 \stackrel{!}{=} P_2 \Rightarrow \frac{e^{-E_G/2kT}}{1+e^{-E_G/2kT}} = \frac{1}{1+e^{E_G/kT}}$$

$$\Rightarrow e^{-E_G/2kT}\left(1+e^{E_G/2kT}\right) = 1+e^{-E_G/2kT}$$

$$\Rightarrow \cancel{e^{-E_G/kT}} + e^{-E_G/2kT}\, e^{E_G/2kT} = 1 + \cancel{e^{-E_G/2kT}}$$

$$\Rightarrow e^{-E_G/2kT}\, e^{E_G/2kT} = 1$$

$$\Rightarrow 1 = 1 \checkmark$$

ΕΞΩΓΕΝΗΣ ΑΓΩΓΟΙ

Ημιαγωγοί τύπου n

Το άτομο του δότη, μετά την απόδοση ενός e, γίνεται θετικό ιόντα.

N_D^+ η συγκέντρωση (cm^{-3}) θετικών ιόντων

p συγκέντρωση οπών

$$n = N_D^+ + p$$

διότι τα e^- είναι όσα τα άτομα του δότη N_D^+ + όσες οπές είχει στη ζώνη σθένους

$$N_D^+ >> p \Rightarrow n \simeq N_D^+$$

Αλλά

$$np = n_i^2 \Rightarrow N_D^+ p = n_i^2$$

$$\Rightarrow \boxed{p = \frac{n_i^2}{N_D^+}}$$

$N_D^+ \Rightarrow$ η συγκέντρωση οπών πέφτει

$\Rightarrow$ Φορείς πλειονότητας είναι τα e^-

$\Rightarrow$ Η αγωγιμότητα οφείλεται στα e σε ημιαγωγό τύπου n.

$$\boxed{\sigma = n_i \left(q\mu_e + p\mu_p \right)}$$

$$\begin{array}{c} n = N_D \\ \Longrightarrow \\ np = n_i^2 \end{array} \quad \sigma = N_D \cdot q\mu_e + n_i^2 \mid \cdot \mu_h$$

$$\xRightarrow{N_D \gg n_i} \quad \boxed{\sigma = N_D q \mu_e}$$

$$\sigma = q n \mu_e + q p \mu_h$$

$p = N_A$

$\Longrightarrow$

$$\sigma = q \mu_e \left(\frac{n_i^2}{N_A} \right) + q N_A \mu_h$$

$np = n_i^2$

$\rightarrow n = \frac{n_i^2}{p}$

$$\Longrightarrow \boxed{\sigma \simeq q N_A \mu_h}$$

Σχέση $n_i(T)$

$$n_c(T) = N_S \frac{1}{1 + e^{E_c - E_F / kT}} \xRightarrow[E_F = E_G/2]{E_c = E_G} n_c(T) = N_S \frac{1}{1 + e^{E_G - E_G/2 / kT}}$$

$$\Rightarrow n_c(T) = N_S \frac{1}{1 + e^{E_G/2/kT}} \Rightarrow n_c(T) = N_S \frac{1}{1 + e^{E_G/2kT}}$$

$$n_i(T) \equiv n_c(T) \Rightarrow \boxed{n_c(T) = N_S \frac{1}{1 + e^{E_G/2kT}}}$$

$$\xRightarrow{T \gg 0^\circ K} n_c(T) \simeq N_S \frac{1}{e^{E_G/2kT}}$$

$$\Rightarrow \boxed{n_i(T) \simeq N_S \, e^{-E_G/2kT}}$$

Αυριβεστερα

$$\boxed{n_i(T) = A \, T^{3/2} e^{-E_G/2kT}}$$