BAB VIII

KRISTAL SEMIKONDUKTOR

TIK : (1) Dapat Membedakan Jenis Semikonduktor

(2) Dapat Menghitung Konsentrasi Elektron dan Konsentrasi Hole Semikonduktor

(3) Dapat Membedakan Antara Elektron dan Hole

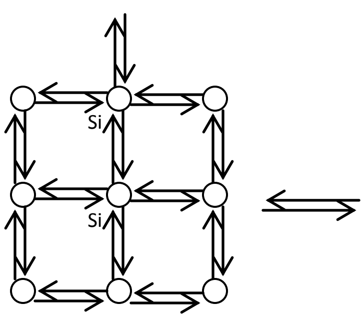
<u>SEMIKONDUKTOR</u>

(1) Intrinsik : Semikonduktor murni (tanpa pengotoran)

Contoh : Gol IV A (Si; Ge)

(2) Ekstrinsik : Semikonduktor tidak murni (karena suda disisipi atom-atom lain)

Gol III A dan V A dapat digunakan untuk mengotori semikonduktor murni



Si memiliki sel primitif berbentuk kubus.

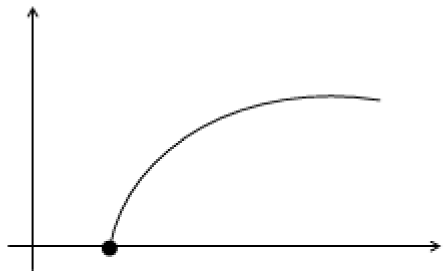
1 buah e yang dipakai bersama

<u>Celah Mengukur Celah Energi (E_g)</u>

(1) Penyerapan Langsung

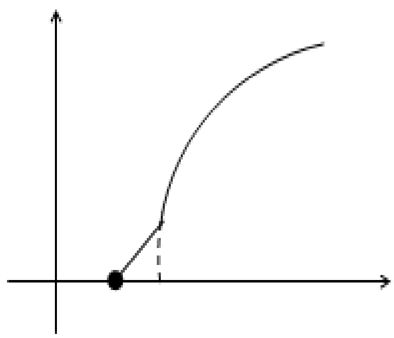
(2) Penyerapan tak Langsung

(1) <u>Penyerapan Langsung</u>



$E = h\upsilon = \hbar\omega = E_g$

(2) Penyerapan Tak Langsung



$\hbar\Omega$ = phonon

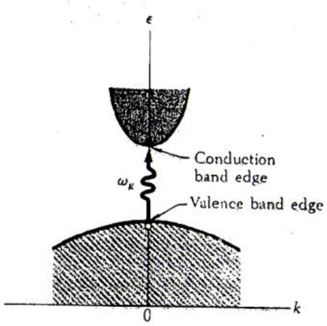
$\hbar\omega$ = Foton

Eg ± $\hbar\Omega = \hbar\omega$

Untuk Eg + $\hbar\Omega = \hbar\omega$ berarti phonon dibangkitkan atau dipancarkan

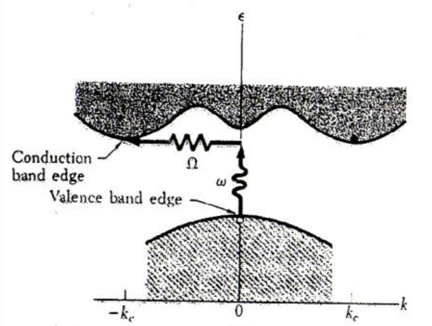
Untuk Eg - $\hbar\Omega = \hbar\omega$ berarti fonon diserap

Penyerapan langsung



(a)

Penyerapan tidak langsung



(b)

Persamaan Gerak Elektron Dalam Pita Energi

Kecepatan kelompok untuk beberapa fungsi gelombang yang di bungkus dalam sebuah paket gelombang dengan vektor gelombang : $\bar{k}$ adalah : $V_g = \dfrac{d\omega}{dk}$

Frekuensi sudut :

$\omega = \dfrac{E}{\hbar} \longrightarrow$ E = energi

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\, J.s}{2 \times 3{,}24}$$

Maka: $V_g = \dfrac{d}{dk}(\omega) = \dfrac{d}{dk}\left(\dfrac{E}{\hbar}\right) = \dfrac{1}{\hbar}\dfrac{d}{dk}(E)$

Atau $V_g = \dfrac{1}{\hbar}\nabla E(k)$ (1)

Usaha yang dilakukan oleh medan listrik pada elektron adalah:

$\delta E = \vec{F}.\vec{x} = -e\vec{E}.\vec{V}_g .\delta t$ (2)

Dengan : $\overline{E}$ = medan listrik

Juga tahu bahwa δE dapat ditulis :

$$\delta E = \frac{dE}{dk}\delta k$$

Dari persamaan (1) kita dapatkan:

$$\frac{dE}{dk} = V_g \hbar$$

Maka : $\delta E = \hbar V_g \delta_k$ (3)

Dengan membandingkan persamaan (2) dan (3) kita peroleh:

$$\frac{\delta E}{\delta E} = \frac{-eE.V_g \delta t}{\hbar V_{g.} \delta_k}$$

Jadi : $\delta_k = \dfrac{-eE}{\hbar}\delta t$

Atau $\hbar \frac{\vec{\delta}_k}{\delta t} = -eE$

$\overline{F} = \hbar \frac{dk}{dt} \longrightarrow$ merupakan persamaan gerak $\bar{e}$ dalam semikonduktor

Massa Efektif (m^*)

Apabila kita turunan v_g terhadap waktu, maka kita akan memperoleh :

$$\frac{dv_g}{dt} = \hbar^{-1} \frac{d^2 \in}{dkdt} = \hbar^{-1} \left(\frac{d^2 \in}{dk^2} \frac{dk}{dt} \right)$$

Dari persamaan gerak kita tahu bahwa

$dk / dt = F / \hbar$

$$\frac{dv_g}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d^2E}{dk^2} \frac{F}{\hbar}$$

$$\frac{dv_g}{dt} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2E}{dk^2} F \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (4)$$

Ingat ! bahwa $a = \frac{F}{m}$. Oleh karena :

$\frac{dv_g}{dt} = percepatan$ dan F = Gaya

Maka : $\frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2E}{dk^2}$ pada persamaan (4) akan sama dengan $\frac{1}{m^*}$

Dengan m^* sering disebut dengan massa efektif.

$$\therefore \frac{1}{m^*} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2E}{dk^2} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (5)$$

Perbedaan Antara Hole dan Elektron

(1) $\vec{k}_e = -\vec{k}_h$

(2) $E_e(\vec{k}_e) = -E_h(\vec{k}_h)$

(3) $V_h = V_e \rightarrow V = \frac{1}{\hbar}\frac{dE}{dk}$

(4) $m_h^* = -m_e^*$

(5) $\vec{F}_h = -\vec{F}_e$

Konsentrasi elektron (pembawa) dalam semikonduktor murni (intrinsik) terhadap celah energi (E_g)

Distribusi Fermi-Dirac $f(E) = \frac{1}{\left\{e^{(E-\mu)/k_bT+1}\right\}}$

Untuk $(E-\mu) \gg k_bT$ maka :

$$f(E) = \frac{1}{\left\{e^{(E-\mu)/k_bT}\right\}} = e^{(\mu-E)/k_bT}$$

Bila energi sebuah elektron dalam pita konduksi adalah : $E_e = E_k + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$

Dari bab VI kita tahu bahwa : rapat keadaan (density of state) dapat ditulis sebagai berikut

$$D_e(E) = \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2}(energi\ elektron)^{1/2}$$

$$D_e(E) = \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2}(E-E_K)^{1/2}$$

Jumlah elektron dalam pita konduksi adalah :

$$N = \int_{E_g}^{\infty} D_e(\in) f_e(\in)\, d\in = \int_{E_g}^{\infty} \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2}(\in - E_K)^{\frac{1}{2}} e^{(\mu-E)/kBT}\, d\in$$

Maka konsentrasi elektronnya adalah :

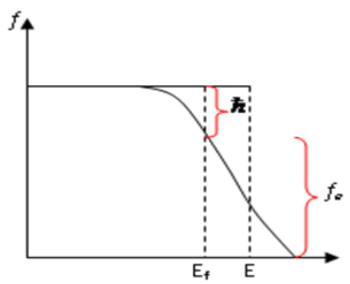
$$n_e = \int_{E_g}^{\infty} \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} (\in - E_K)^{\frac{1}{2}} e^{(\mu - E)/k_BT} d\in$$

$$n_e = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} e^{\mu/k_BT} \int_{E_g}^{\infty} (\in - E_K)^{\frac{1}{2}} e^{-E/k_BT} d\in$$

$$n_e = 2\left(\frac{m_e k_b T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} e^{(\mu - E_K)/k_bT} \qquad \text{.................................... (6)}$$

Pers (6) merupakan persamaan yang menyatakan konsentrasi dalam pita konsuksi tetapi belum merupakan fungsi E_g.

Untuk menjadikan persamaan 6 sebagai fungsi E_g terlebih dahulu kita hitung konsentrasi hole dalam pita valensi.



Distribusi Fermi-Dirac untuk hole adalah :

$f_h + f_e = 1$

$f_h = 1 - f_e$

$$f_h = 1 - \frac{1}{e^{(\in - \mu)/K_BT} + 1}$$

$$f_h = \frac{e^{(\in - \mu)/K_BT} + 1}{e^{(\in - \mu)/K_BT}} - \frac{1}{e^{(\in - \mu)/K_BT} + 1}$$

$$f_h = \frac{e^{(\in - \mu)/K_BT}}{e^{(\in - \mu)/K_BT} + 1} = \frac{1}{1 + \dfrac{1}{e^{(\in - \mu)/K_BT}}}$$

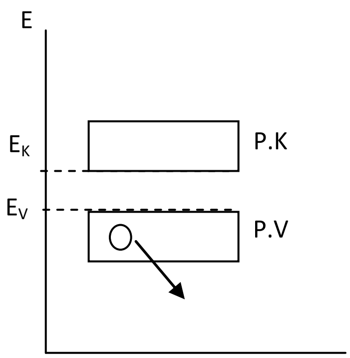
$$f_h = \frac{1}{1 + e^{(\mu - E)/K_BT}}$$

Untuk $(\epsilon - \mu) >> k_B T$, maka: $f_h = e^{(\in - \mu)/K_BT}$

Rapat keadaan untuk hole adalah :

$$D_e(E) = \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} (energi\ hole)^{1/2}$$

$$D_e(E) = \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} (E_V - E)^{1/2}$$



Konsentrasi hole adalah :

$$n_p = \int_{-\infty}^{E_V} \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} (E_V - \in)^{\frac{1}{2}} e^{(E-\mu)/k_BT} d\in$$

$$n_p = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} e^{-\mu/k_BT} \int_{-\infty}^{E_V} (\in - E_K)^{\frac{1}{2}} e^{E/k_BT} d\in$$

$$n_p = 2\left(\frac{m_h k_b T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} e^{(E_V - \mu)/k_bT}$$

Konsentrasi hole

Untuk semikonduktor intrinsik : $n_e = n_p$

$$n_e \bullet n_p = 2\left(\frac{m_e k_b T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} e^{(\mu - E_K)/k_b T} \bullet 2\left(\frac{m_h k_b T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} e^{(E_V - \mu)/k_b T}$$

$$n_e \bullet n_p = 4\left(\frac{k_b T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3} (m_e \bullet m_h)^{3/2} e^{-(E_K - E_V)/k_b T}$$

$$n_e \bullet n_p = Ce^{-E_g / k_b T}$$

Jika $n_e = n_p \longrightarrow$ maka :

$$n_e \bullet n_p = n_e^2 = n_p^2 = Ce^{-E_g / k_b T}$$

maka $n_e = n_p = \sqrt{Ce^{-E_g / k_b T}}$

$$\therefore n_e = n_h = 2\left(\frac{K_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} (m_e . m_h)^{3/4} e^{-Eg/2K_B T}$$