



BAB VIII

KRISTAL SEMIKONDUKTOR



MATERI :

8.1. Kristal semikonduktor intrinsik.

8.1.1. teknik pengukuran celah energi.

8.1.2. massa efektif

8.1.3. lima alasan hole dianggap sebagai partikel bermuatan positif.

8.1.4. konsentrasi elektron

8.1.5. konsentrasi hole.

8.2. Kristal semikonduktor ekstrinsik.

8.2.1. tingkat energi donor

8.2.2. tingkat energi akseptor

8.2.3. konsentrasi elektron

8.2.4. konsentrasi hole.

INDIKATOR

Mahasiswa harus dapat :

- menjelaskan teknik pengukuran celah energi.
- menjelaskan arti fisis dari massa efektif.
- menjelaskan 5 alasan mengapa hole dapat dianggap sebagai partikel bermuatan positif.
- menghitung konsentrasi elektron/hole dalam semikonduktor intrinsik.
- menentukan tingkat energi atom-atom donor/akseptor
- menghitung konsentrasi elektron/hole dalam semikonduktor ekstrinsik.

JENIS SEMIKONDUKTOR



INTRINSIK

Semikonduktor murni (tanpa pengotor)

Contoh golongan IV A (Si, Ge, Ga)

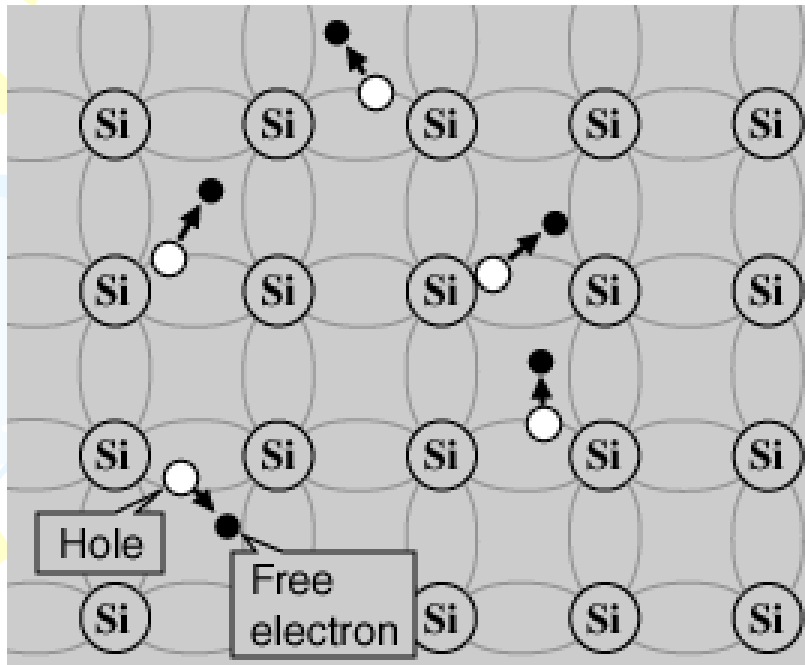
EKSTRINSIK

Semikonduktor tidak murni (karena sudah disisipi atom atom lain)

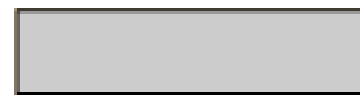
Golongan IIIA dan VA dapat digunakan untuk mengotori semikonduktor murni.

JENIS SEMIKONDUKTOR

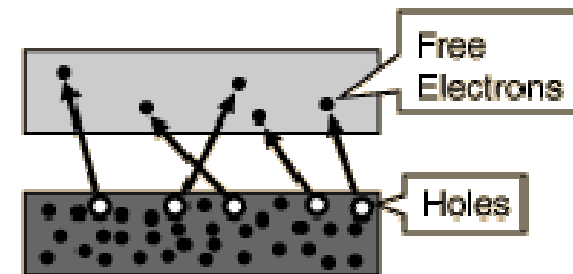
- Semikonduktor intrinsik



Conduction band

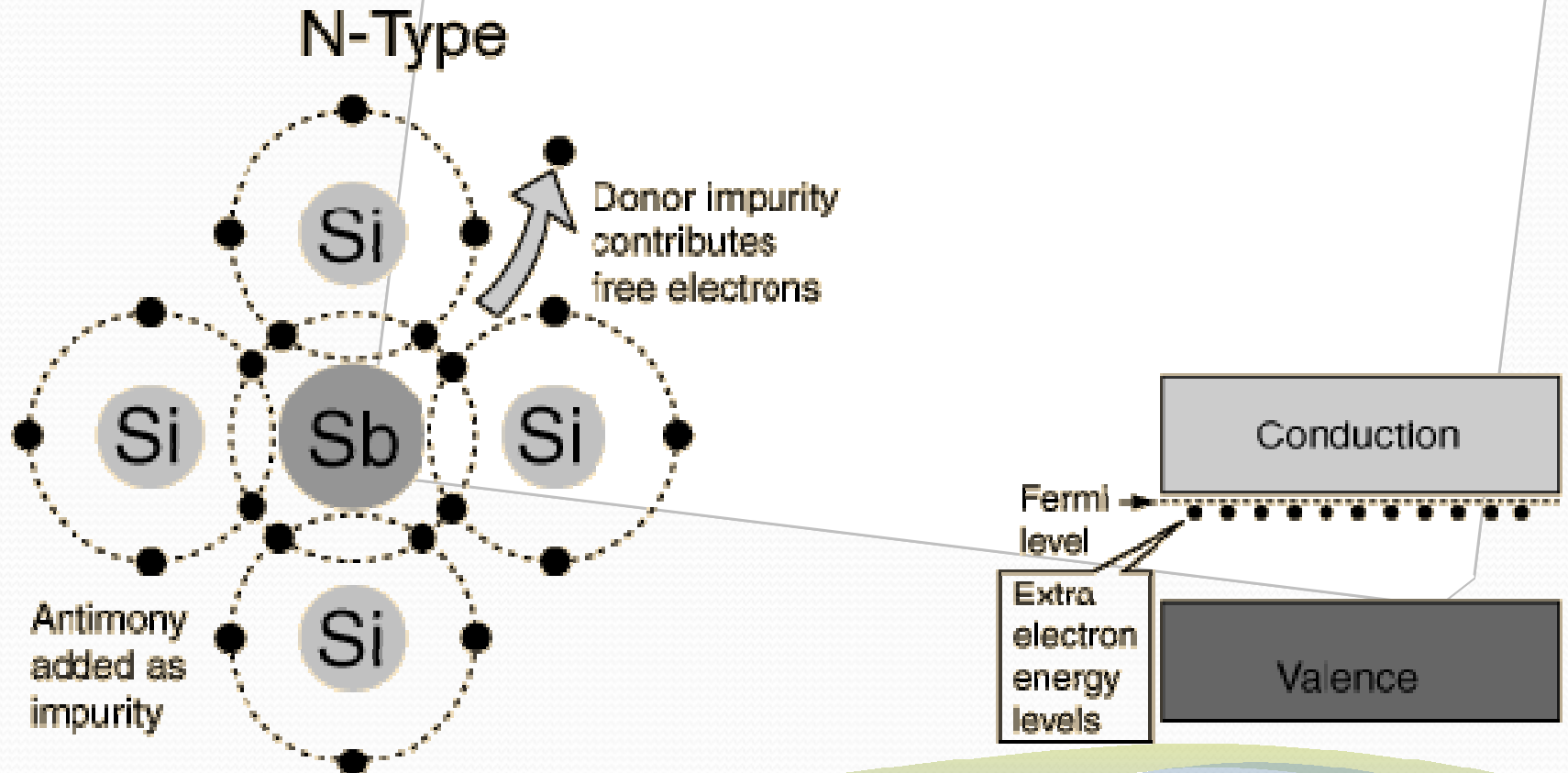


Valence Band

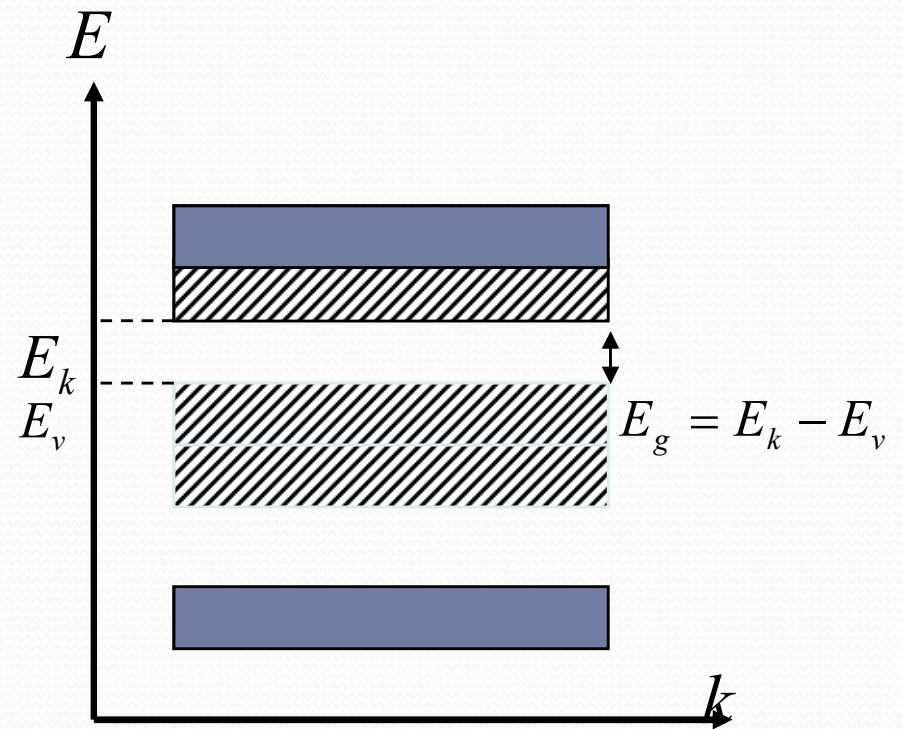
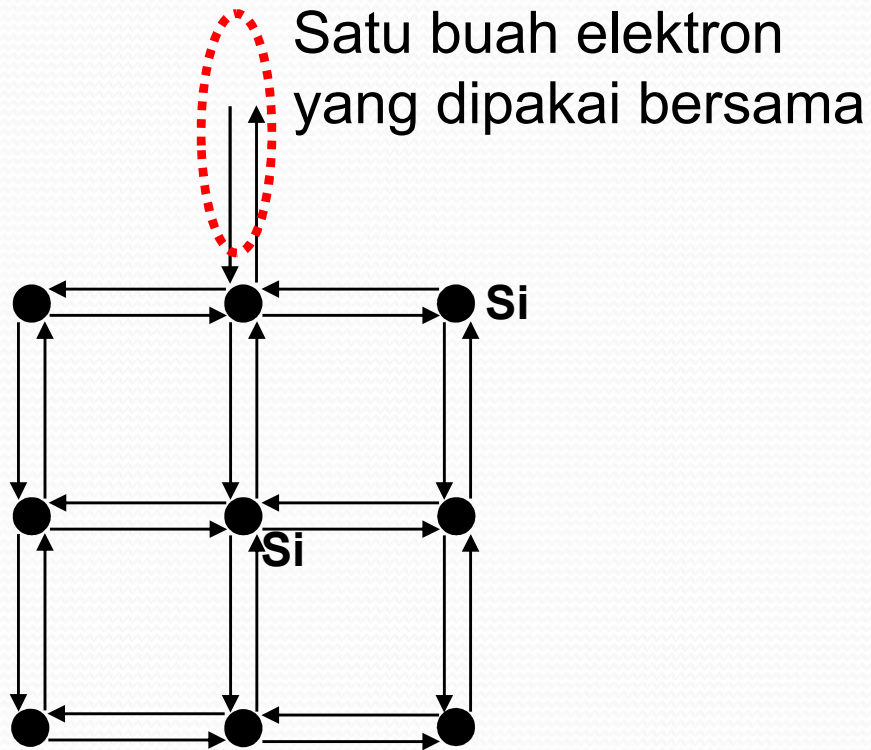


JENIS SEMIKONDUKTOR

- Semikonduktor ekstrinsik



Sel primitif **silikon** berbentuk kubus

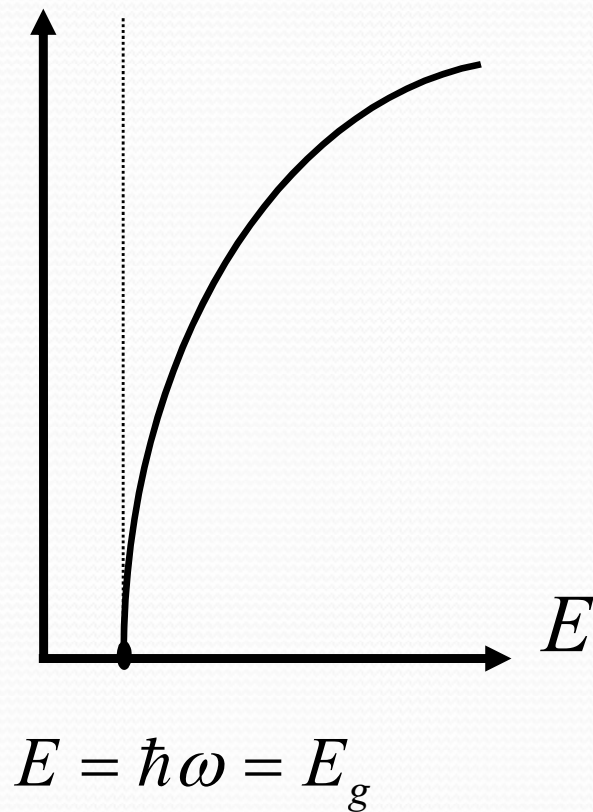


Cara Mengukur Celah Energi

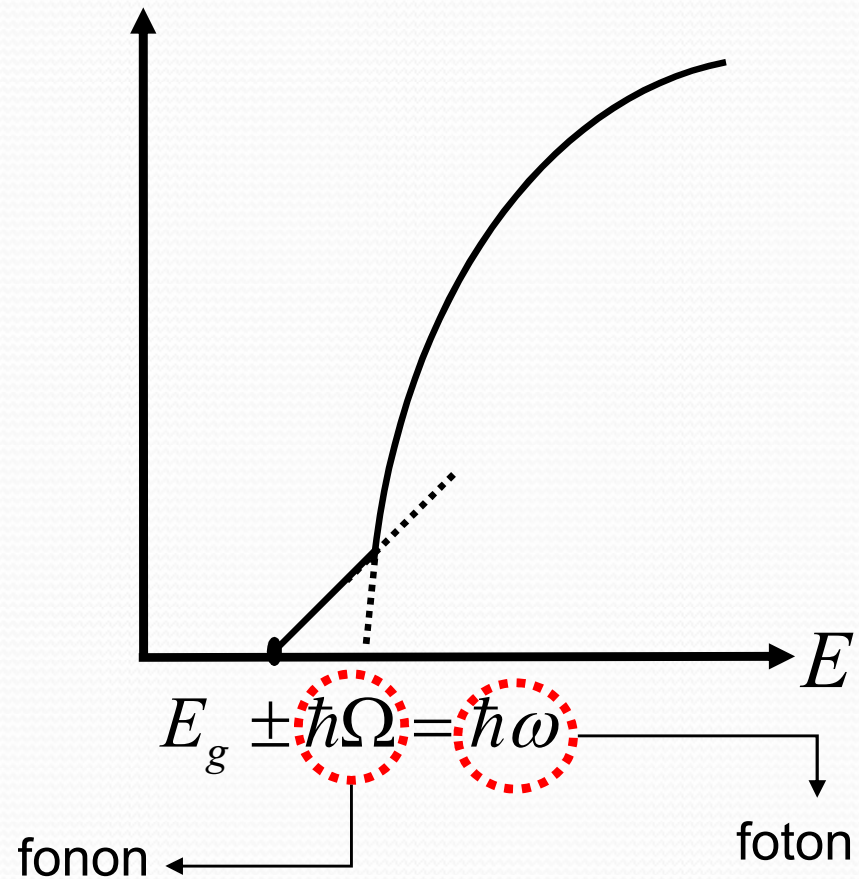
- Penyerapan langsung

- Penyerapan tak langsung

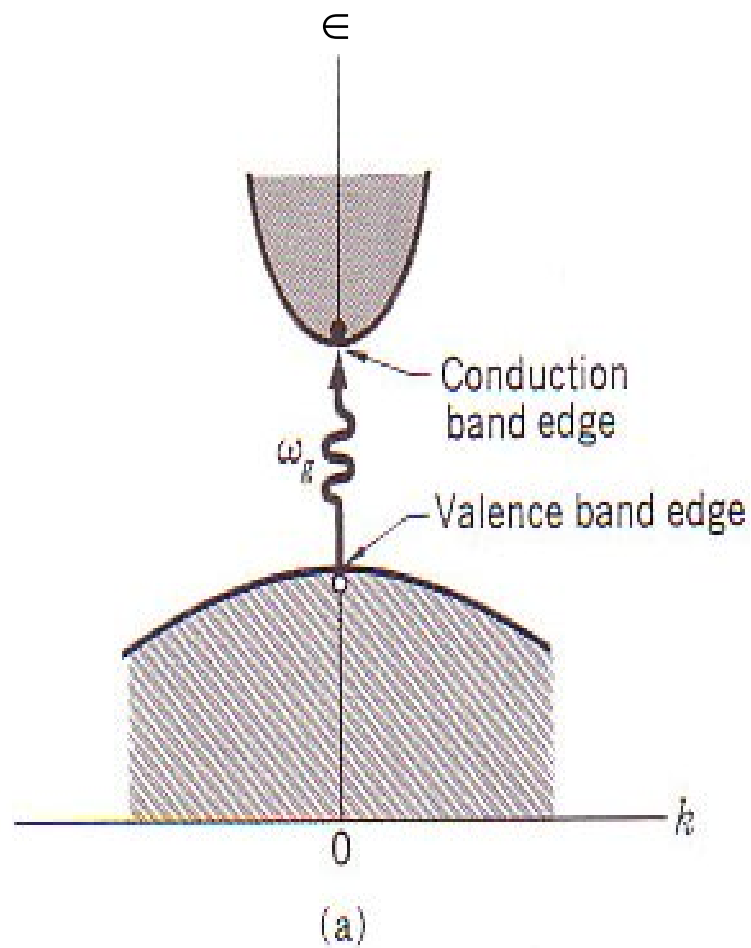
Penyerapan



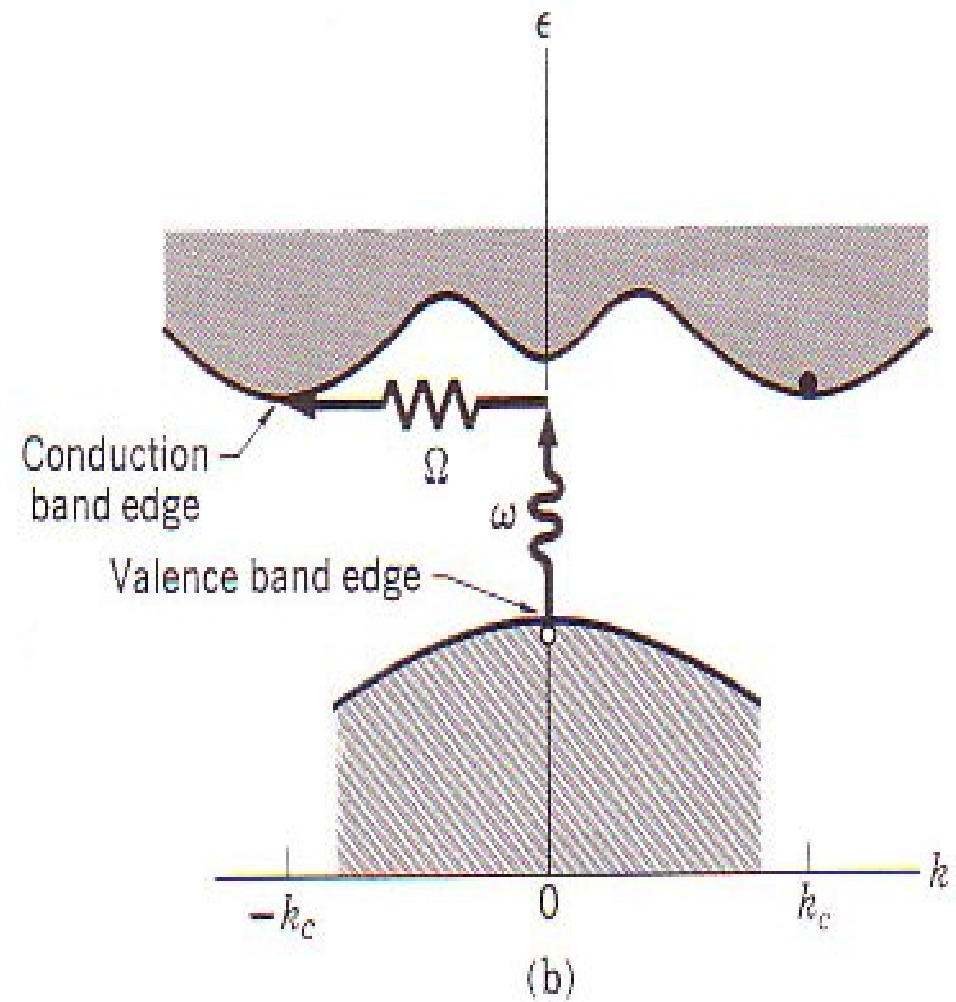
Penyerapan



•Penyerapan langsung



•Penyerapan tak langsung



PERSAMAAN GERAK ELEKTRON DALAM SEBUAH PITA ENERGI

KECEPATAN KELOMPOK UNTUK BEBERAPA FUNGSI GELOMBANG

$$V_g = \frac{d\omega}{dk}$$

Frekuensi sudut

$$\omega = \frac{E}{\hbar}$$

E = energi

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ js}}{2,314}$$

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

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

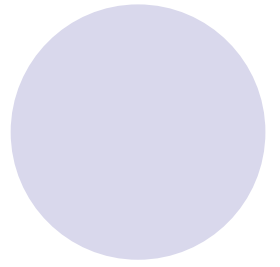
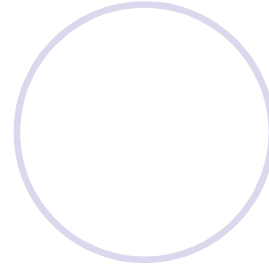
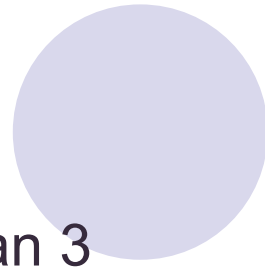
Usaha yang dilakukan oleh medan listrik pada elektron :

$$\delta E = \vec{F} \cdot \vec{x} = -e\vec{E} \cdot \vec{V}_g \cdot \delta t$$

Kita ketahui bahwa
$$\delta E = \frac{dE}{dk} \delta k$$

Maka persamaan (1) menjadi

$$\frac{dE}{dk} = V_g \hbar \longrightarrow \delta E = \hbar V_g \delta k$$



Bila kita bandingkan persamaan 2 dan 3

$$\frac{\delta E}{\delta E} = \frac{-e\vec{E}V_g \delta t}{\hbar V_g \delta k}$$

maka $\delta k = -\frac{eE}{\hbar} \delta t$ atau $\hbar \frac{\vec{\delta k}}{\delta t} = \hbar \frac{\vec{dk}}{\vec{dt}} = -eE$

Jadi

$$\vec{F} = \hbar \frac{\vec{dk}}{\vec{dt}} \longrightarrow \text{Persamaan gerak elektron}$$

Massa Effectif (m^*)

Turunkan persamaan V_g terhadap waktu (t)

$$\frac{d}{dt}(V_g) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\hbar} \frac{d\epsilon}{dk} \right) = \frac{d^2 \epsilon}{\hbar dk dt}$$

$$\frac{d}{dt}(V_g) = (\hbar^{-1}) \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} \frac{dk}{dt}$$

dari persamaan gerak kita ketahui bahwa ,

$$\frac{d\vec{k}}{dt} = \frac{\vec{F}}{\hbar}$$

Maka bila di substitusi kepersamaan menjadi,

$$\frac{d}{dt} (V_{g-}) = \hbar^{-1} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} \frac{\vec{F}}{\hbar} \quad \text{atau} \quad \frac{d}{dt} (V_{g-}) = \hbar^{-2} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} \vec{F}$$

Karena : $\frac{d}{dt} (V_g) = \text{percepatan}$

$F = \text{gaya}$

maka $\hbar^{-2} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} = \frac{1}{m^*}$

Dengan m^* adalah massa efektif

Perbedaan Antara Hole dan Elektron

1. $\vec{K}_e = -\vec{K}_h$

2. $\epsilon_h(K_h) = -\epsilon_e(K_e)$

3. $V_h = V_e$

$$V = \hbar^{-1} \frac{d\epsilon}{dk}$$

4. $m_h^* = -m_e^*$

5. $\hbar \frac{d\vec{K}_h}{dt} = \vec{F}_h = e \left(\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{V}_h \times \vec{B} \right)$

$$\hbar \frac{d\vec{K}_e}{dt} = \vec{F}_e = -e \left(\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{V}_e \times \vec{B} \right)$$

$$\vec{F}_h = -\vec{F}_e$$

Konsentrasi Elektron (pembawa) dalam semikonduktor murni (instrinsik) terhadap: celah energi (E_g)

Syarat dari Distribusi Fermi Dirac adalah:

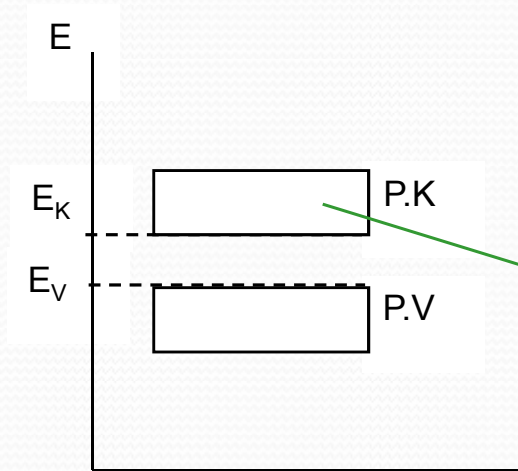
- Partikelnya tak terbedakan
- Berlaku eksklusif Pauli
- Jumlah partikel N tidak boleh terlalu besar dari harga degenerasi (g) di setiap tingkat.

Distribusi Fermi Dirac :
$$f(E) = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1}$$

Untuk $\epsilon - \mu \gg K_B T \longrightarrow f(E) \approx \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T}} = e^{-(\epsilon - \mu)/K_B T}$

$$f(E) = e^{(\mu - \epsilon)/K_B T}$$

Bila energi sebuah elektron dalam pita konduksi adalah:



$$\epsilon_e = \epsilon_K + \frac{\hbar^2 K^2}{2m_e}$$

Elektron dengan energi kinetik sebesar:

$$\frac{\hbar^2 K^2}{2m_e}$$

Rapat Keadaan Untuk Elektron

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

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

Jumlah elektron dalam pita konduksi adalah:

$$N = \int_{\epsilon_k}^{\tilde{\epsilon}} D_e(\epsilon) f_e(\epsilon) d\epsilon \quad \text{dimana} \quad f_e(\epsilon) \cong e^{(\mu-\epsilon)/k_B T}$$

$$N = \int_{\epsilon_k}^{\tilde{\epsilon}} \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2} \right)^{3/2} (\epsilon - \epsilon_k)^{1/2} e^{(\mu-\epsilon)/k_B T} d\epsilon$$

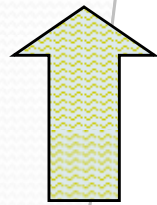
Konsentrasi elektron adalah $n_e = \frac{N}{V}$

$$n_e = \int_{\epsilon_k}^{\tilde{\epsilon}} \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2} \right)^{3/2} (\epsilon - \epsilon_k)^{1/2} e^{(\mu-\epsilon)/k_B T} d\epsilon$$

$$n_e = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2} \right)^{3/2} e^{\mu/k_B T} \int_{\epsilon_k}^{\tilde{\epsilon}} (\epsilon - \epsilon_k)^{1/2} e^{-\epsilon/k_B T} d\epsilon$$

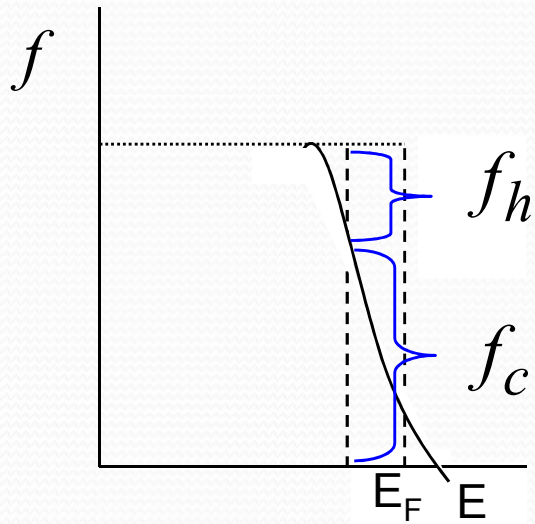
$$n_e = 2 \left(\frac{m_e k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{(\mu-\epsilon_k)/k_B T}$$

$$n_e = 2 \left(\frac{m_e k_B T}{2 \pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{(\mu - \epsilon_k) / k_B T}$$



- Merupakan persamaan yang menyatakan konsentrasi elektron dalam pita konduksi, 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



$$f_h = 1 - f_e$$

$$f_h = 1 - \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1}$$

$$f_h = \frac{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1} - \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1}$$

$$f_h = \frac{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T}}{e^{(\epsilon - \mu)/K_B T} + 1}$$

$$f_h = \frac{1}{1 + \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu) / K_B T}}}$$

$$f_h = \frac{1}{1 + e^{(\mu - \epsilon) / K_B T}}$$

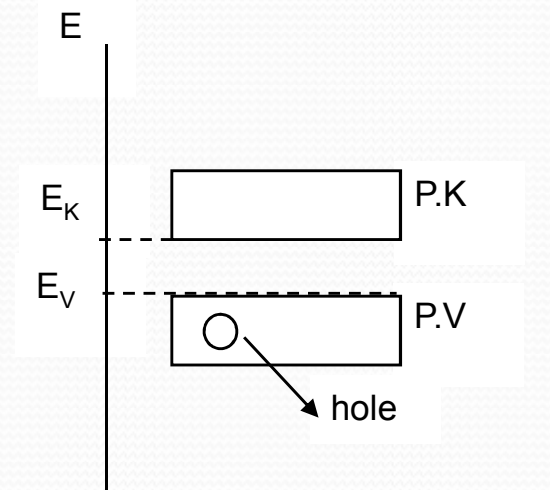
Untuk: $(\mu - \epsilon) \ll K_B T \longrightarrow$

$$f_h = e^{(\epsilon - \mu) / K_B T}$$

Rapat Keadaan Untuk Hole

$$D_h(\epsilon) = \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{2mh}{\hbar^2} \right)^{3/2} (\text{Energi hole})^{1/2}$$

$$D_h(\epsilon) = \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{2mh}{\hbar^2} \right)^{3/2} (E_V - \epsilon)^{1/2}$$



Dengan cara yang sama pada elektron, maka Jumlah hole dalam pita valensi

$$N = \int_{-\infty}^{\epsilon_v} D_h(\epsilon) f_h(\epsilon) d\epsilon$$

Konsentrasi hole adalah $n_p = \frac{N}{V}$

$$n_h = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_h}{\hbar^2} \right)^{3/2} e^{-\mu/k_B T} \int_{-\infty}^{\epsilon_v} (\epsilon_v - \epsilon)^{1/2} e^{\epsilon/k_B T} d\epsilon$$

Dengan cara yang sama untuk konsentrasi elektron, maka

$$n_h = 2 \left(\frac{m_h k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{(\epsilon_v - \mu)/k_B T}$$

Untuk semikonduktor intrinsik :

$$n_e = n_p$$

$$n_e \cdot n_p = 2 \left(\frac{m_e k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{(\mu - \epsilon_k)/k_B T} 2 \left(\frac{m_h k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{(\epsilon_v - \mu)/k_B T}$$

$$n_e \cdot n_p = 4 \left(\frac{k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^3 (m_e \cdot m_h)^{3/2} e^{(\mu - \epsilon_k)/k_B T} e^{(\epsilon_v - \mu)/k_B T}$$

c

$$n_e \cdot n_p = c e^{-(\epsilon_k - \epsilon_v)/k_B T} = c e^{-E_g/k_B T}$$

Jika $n_e = n_p$ maka

$$n_e \cdot n_p = n_e^2 = n_p^2 = c e^{-(\epsilon_k - \epsilon_v) / k_B T} = c e^{-E_g / k_B T}$$

Dan $n_e = n_p = \sqrt{c e^{-E_g / k_B T}}$

Jadi:

$$n_e = n_p = 2 \left(\frac{k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/4} (m_e \cdot m_h)^{3/4} e^{-E_g / 2k_B T}$$

Aplikasi Dan Pengembangan Bahan Semikonduktor

- **Transistor**

Transistor adalah semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, pemotong (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal

- **Dioda**

Dioda berfungsi membatasi arah pergerakan muatan listrik, dioda hanya mengijinkan arus searah untuk mengalir ke satu arah saja dan menghalangi aliran ke arah yang berlawanan.

- **Sel Surya**

Sel surya adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah-besar dioda p-n junction , di mana, dalam cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna

- **Mikroprosesor**

Mikroprosesor (disingkat μP atau uP) adalah sebuah sentral procesing unit (CPU) elektronik komputer yang terbuat dari transistor mini dan sirkuit lainnya di atas sebuah sirkuit integrasi semikonduktor

Aplikasi Dan Pengembangan Bahan Semikonduktor

Untuk mendapatkan alat-alat semikonduktor yang bermutu tinggi, hal yang terpenting adalah mendapatkan kemurnian dan kesempurnaan dari kristal tunggal dari semikonduktor yang dipergunakan dalam pembuatan alat-alat tersebut.

Aplikasi bahan semikonduktor :

1. Transistor
2. Dioda
3. Sel surya
4. Mikroprosesor

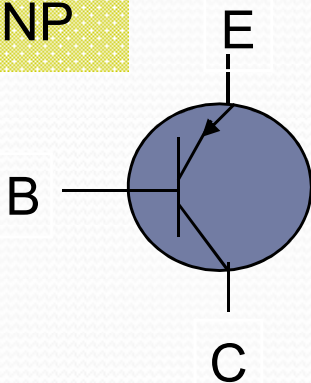
1. TRANSISTOR

APA ITU
TRANSISTOR?

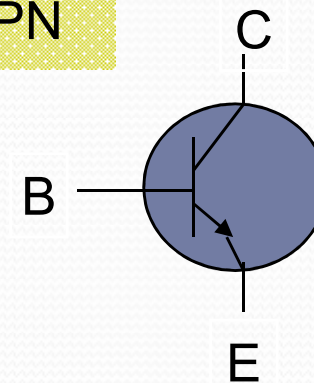
Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, pemotong (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau fungsi lainnya

Jenis-jenis transistor

PNP



NPN



Secara umum, transistor dapat dibedakan berdasarkan banyak kategori:

Materi semikonduktor : Germanium, Silikon, Gallium Arsenide.

Kemasan fisik : Through Hole Metal, Through Hole Plastic, Surface Mount, IC, dan lain-lain.

Tipe : UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, MESFET, HEMT, dan lain-lain.

Polaritas : NPN atau N-channel, PNP atau P-channel.

Maximum kapasitas daya : Low Power, Medium Power, High Power.

Maximum frekuensi kerja : Low, Medium, atau High Frequency, RF transistor, Microwave, dan lain-lain.

Aplikasi : Amplifier, Saklar, General Purpose, Audio, Tegangan Tinggi, dan lain-lain.

2. DIODA

APA ITU DIODA

Sebuah dioda berfungsi sebagai versi elektronik dari katup searah. Dengan membatasi arah pergerakan muatan listrik, dioda hanya mengizinkan arus listrik untuk mengalir ke satu arah saja dan menghalangi aliran ke arah lain.

Jenis-jenis dioda :

1. Dioda Cahaya



Sensor



2. Dioda Zener



Dioda Zener memiliki sifat yang sama dengan dioda biasa, kecuali bahwa alat ini sengaja dibuat untuk dipakai dengan tegangan rusak yang dikurangi, disebut tegangan Zene

3. Dioda Foto



Dioda foto adalah komponen elektronik dan juga salah satu jenis fotodetektor. Hubungan p-n dari diode ini dibuat sensitive terhadap cahaya.

4. Dioda Laser

Dioda laser adalah sejenis laser di mana media aktifnya sebuah semikonduktor persimpangan p-n yang mirip dengan yang terdapat pada dioda pemancar cahaya. Dioda laser kadang juga disingkat LD atau ILD.

Contoh alat elektronik dari aplikasi dioda laser



3. Sel Surya

APA ITU
SEL SURYA

Sel surya atau sel photovoltaic, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda p-n junction, di mana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna.

Contoh alat elektronik dari aplikasi sel surya



4. MIKROPOSESOR

APA ITU
MIKROPOSESOR

Sebuah mikroprosesor (disingkat μP) adalah sebuah central processing unit (CPU) elektronik computer yang terbuat dari transistor mini dan sirkuit lainnya di atas sebuah sirkuit terintegrasi semikonduktor.

Contoh alat elektronik dari aplikasi mikroprosesor



MATERI :

8.1. Kristal semikonduktor intrinsik.

8.1.1. teknik pengukuran celah energi.

8.1.2. massa efektif

8.1.3. lima alasan hole dianggap sebagai partikel bermuatan positif.

8.1.4. konsentrasi elektron

8.1.5. konsentrasi hole.

8.2. Kristal semikonduktor ekstrinsik.

8.2.1. tingkat energi donor

8.2.2. tingkat energi akseptor

8.2.3. konsentrasi elektron

8.2.4. konsentrasi hole.

INDIKATOR

Mahasiswa harus dapat :

- menjelaskan teknik pengukuran celah energi.
- menjelaskan arti fisis dari massa efektif.
- menjelaskan 5 alasan mengapa hole dapat dianggap sebagai partikel bermuatan positif.
- menghitung konsentrasi elektron/hole dalam semikonduktor intrinsik.
- menentukan tingkat energi atom-atom donor/akseptor
- menghitung konsentrasi elektron/hole dalam semikonduktor ekstrinsik.