

SUMBER OPTIK

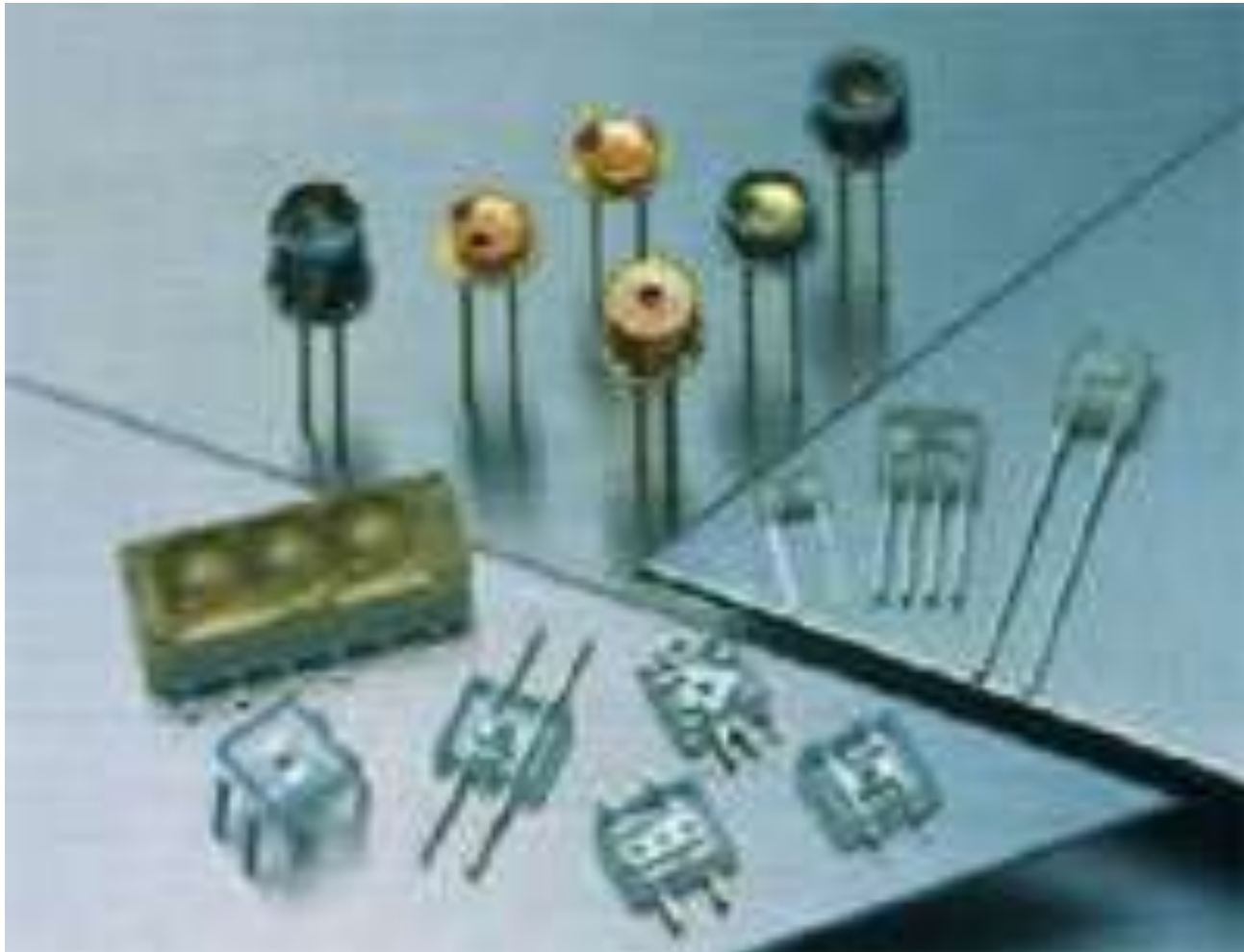
Ref : Keiser

Sumber semikonduktor

- **Sifat diharapkan :**
 - **Small size**
 - **850, 1300, or 1550 nm**
 - **Daya**
 - **Linieritas**
 - **Modulasi sederhana**
 - **Respon frekuensi Modulasi**
 - **Biaya murah**
 - **Reliabilitas tinggi**
- **Panjang gel sumber :**
 - ***Sumber panj gel pendek :***
 - » **500→1,000 nm**
 - » **Binary alloy (e.g., GaP: 600-700 nm)**
 - » **Ternary alloy (e.g., GaAlAs: 800- 900 nm)**
 - ***Sumber panj gel panjang :***
 - » **1200→1600 nm**
 - » **Quaternary alloy (e.g., InGaAsP: 1300-1600 nm)**

Sumber Optik

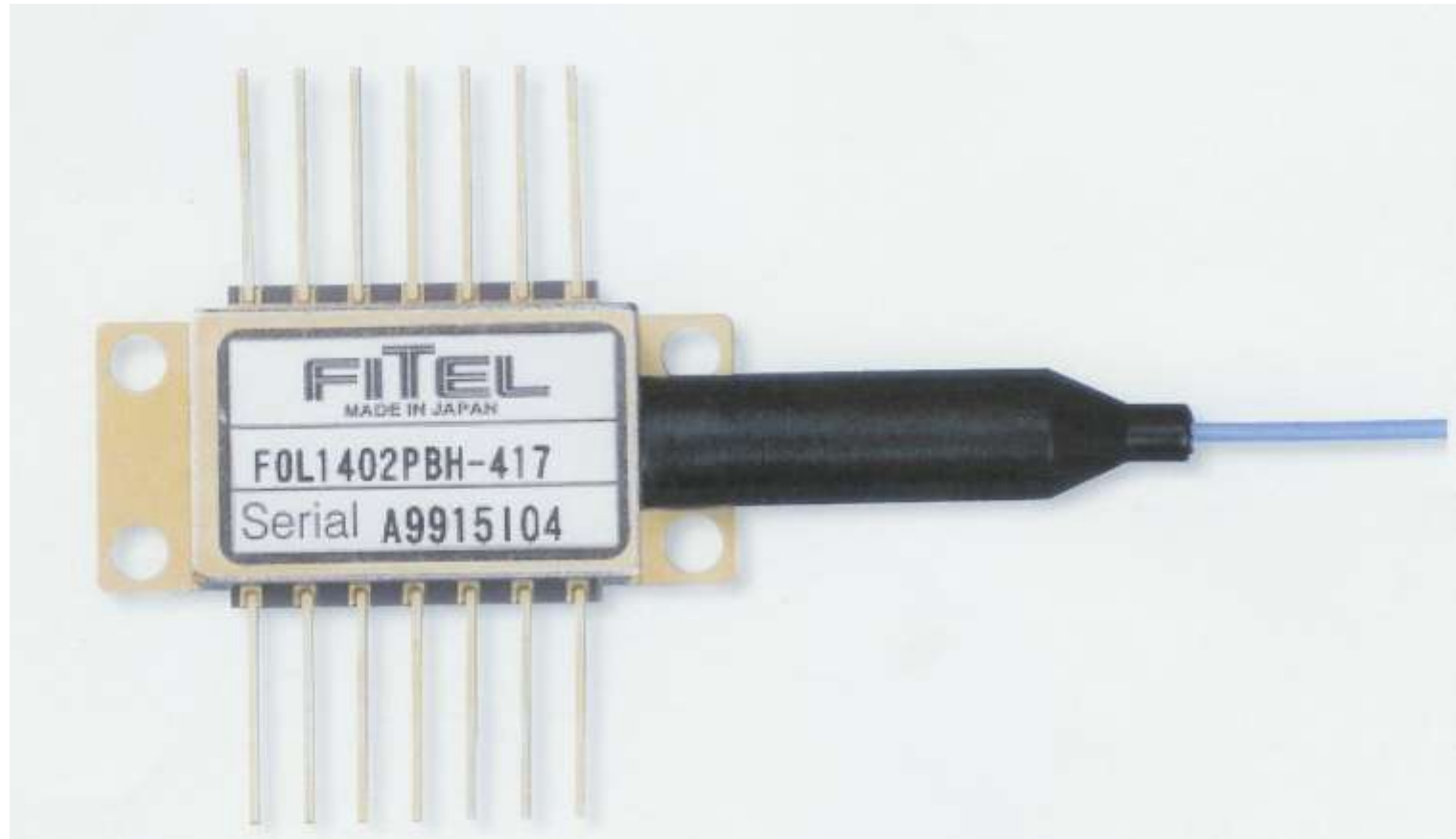
- **Sumber**
 - LED
 - **Semiconductor laser**
- **LED**
 - Biaya murah
 - Daya menengah
 - Hub jarak pendek, lintasan laju bit rendah
- **Laser**
 - Biaya mahal
 - Daya cukup
 - Hub jarak jauh, lintasan laju bit tinggi



LED



Uncooled laser



Cooled laser

SEMIKONDUKTOR

Bahan semikonduktor memiliki sifat konduksi terletak diantara logam dan isolator.

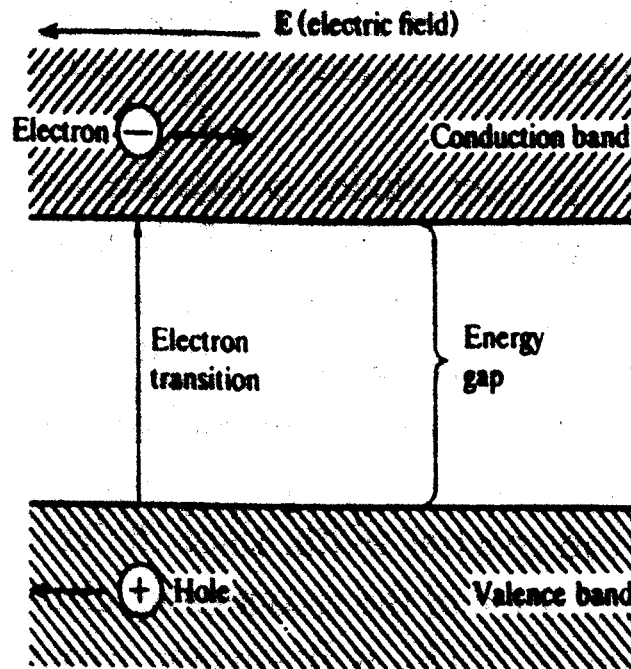
Silikon (Si) terletak di grup IV (memiliki 4 elektron di shell terluar) dr tabel periodik elemen.

Sifat konduksi dpt diinterpretasikan dng bantuan diagram pita energi.

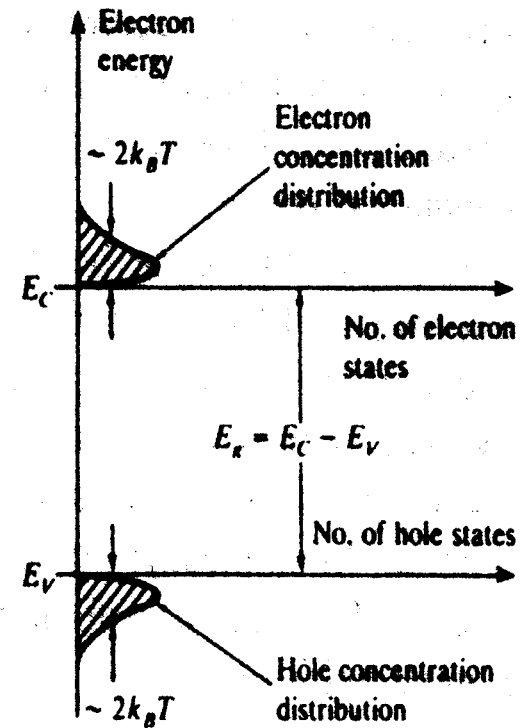
Kristal murni pd suhu rendah pita konduksi tidak ada elektron sama sekali dan pita valensi sangat penuh.

Kedua pita tsb dipisahkan oleh celah energi atau celah pita yg tidak terdapat level energi.

Jika suhu naik, beberapa elektron menyeberang celah energi menuju ke pita konduksi.



(a)



(b)

(a) Eksitasi elektron dr pita valensi ke pita konduksi

(b) Konsentrasi elektron dan hole sama pd semikonduktor intrinsic.

Konsentrasi elektron dan hole dikenal sbg konsentrasi pembawa intrinsik :

$$n = p = n_i = Ke^{\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right)}$$

Dimana :

$$K = 2 \left(\frac{2\pi k_B T}{h^2} \right)^{3/2} (m_e m_h)^{3/4}$$

T : suhu mutlak

k_B : konstanta Boltzman = 1.38×10^{-23} J/°K

m : massa diam elektron = 9.11×10^{-31} Kg

h : Konstanta Planck = 6.626×10^{-34} JS

m_e : massa efektif elektron

m_h : massa efektif hole

Konduksi dpt ditingkatkan dgn doping yi penambahan campuran bahan dr grup V, spt P, As, Sb.

Jika atom bahan tsb menggantikan sebuah atom Si, 4 elektron digunakan utk covalent bonding dan yg ke-5 elektron bebas digunakan utk konduksi.

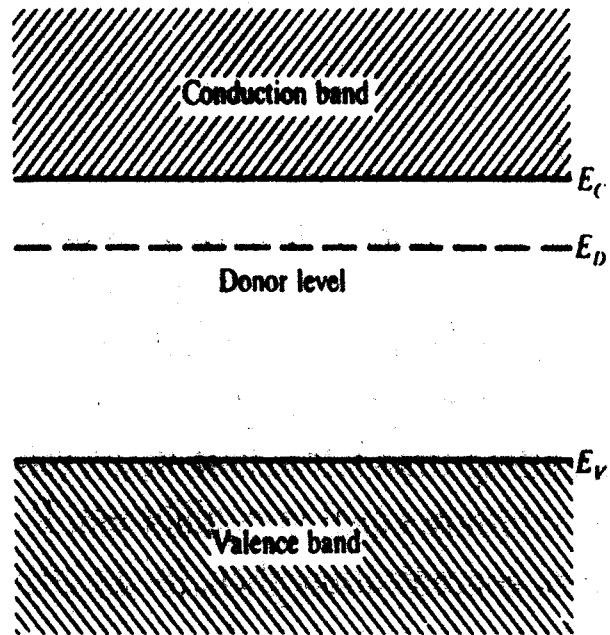
Campuran disebut donor krn dpt memberikan sebuah elektron pd pita konduksi.

Pd bahan tsb arus ditimbulkan oleh elektron (negatip) → bahan n-type.

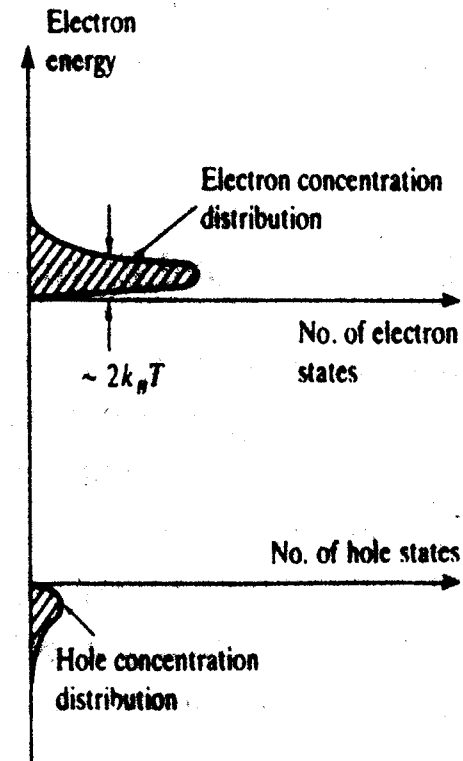
Konduksi juga dpt ditingkatkan dgn penambahan bahan dr grup III, yg memiliki 3 elektron di shell terluar.

3 elektron membentuk covalent bond, shg terbentuk sebuah hole yg bersifat sama dgn elektron donor → konsentrasi hole bebas meningkat di pita valensi.

Bahan tsb disebut akseptor dan bahan p-type krn konduksi dilakukan oleh hole (positip).



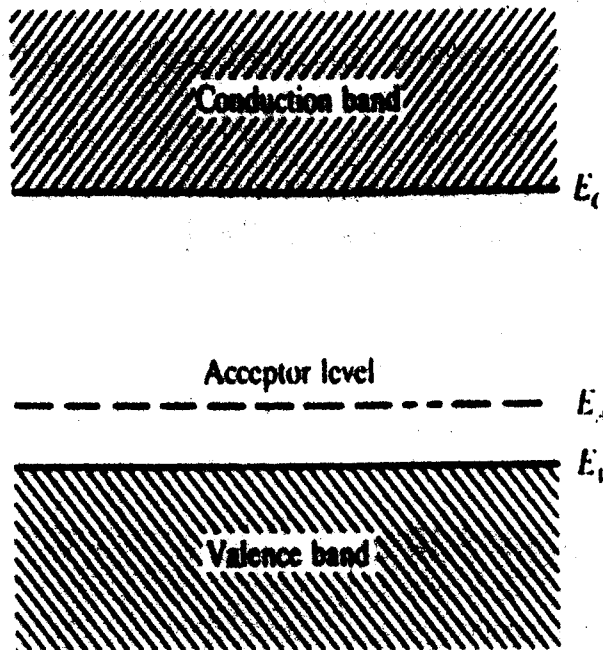
(a)



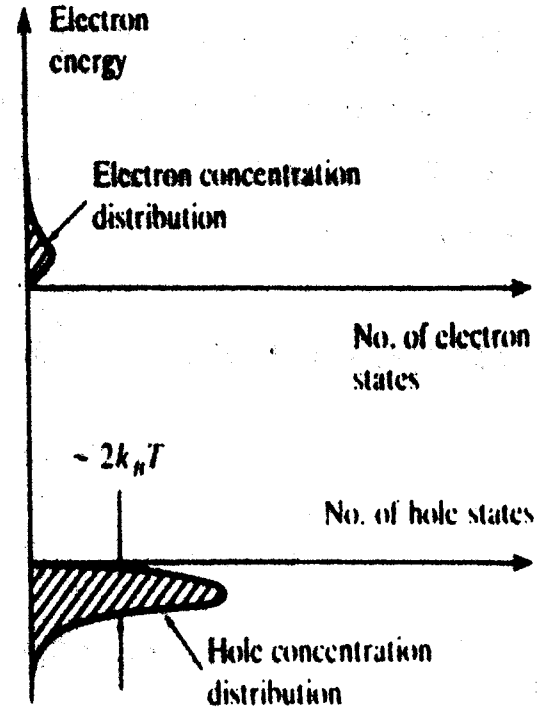
(b)

(a) Donor level bahan tipe n

(b) Ionisasi campuran donor menghasilkan peningkatan distribusi konsentrasi elektron



(a)



(b)

(a) Level akseptor pd bahan tipe-p

(b) Ionisasi campuran akseptor meningkatkan distribusi konsentrasi hole

Bahan intrinsik dan ekstrinsik

Bahan tidak ada campurannya disebut bahan intrinsik.

Vibrasi thermal atom kristal → elektron keluar ke pita konduksi

Proses pembangkitan thermal → pasangan elektron-hole

Proses rekombinasi → elektron bebas melepaskan energi turun ke hole bebas di pita valensi.

Kondisi seimbang :

Laju pembangkitan = laju rekombinasi

Bahan intrinsik : $pn = p_0n_0 = n_i^2$

p_0 : konsentrasi hole seimbang

n_0 : konsentrasi elektron seimbang

n_i : kepadatan pembawa bahan intrinsik

Bahan intrinsik dan ekstrinsik

Pemberian sedikit campuran kimia pd kristal menghasilkan semikonduktor ekstrinsik.

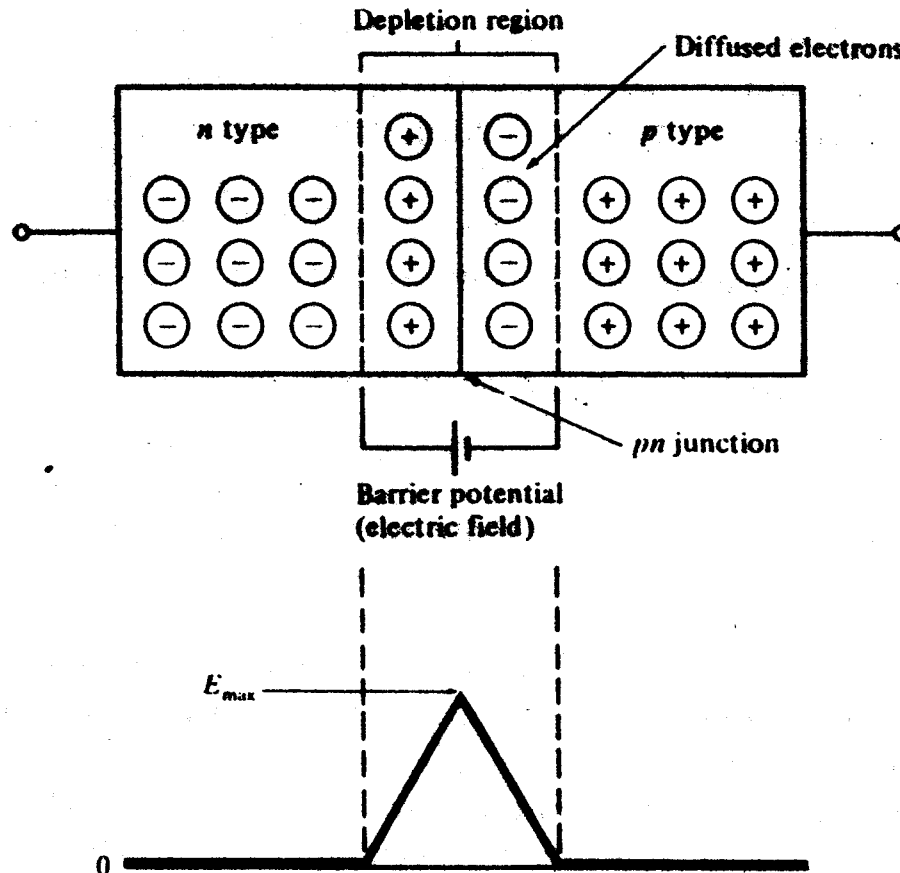
Konduktifitas listrik sebanding dgn konsentrasi pembawa → ada 2 jenis bahan pembawa muatan :

(a) Pembawa mayoritas : elektron pd bahan tipe-n atau hole pd bahan tipe-p.

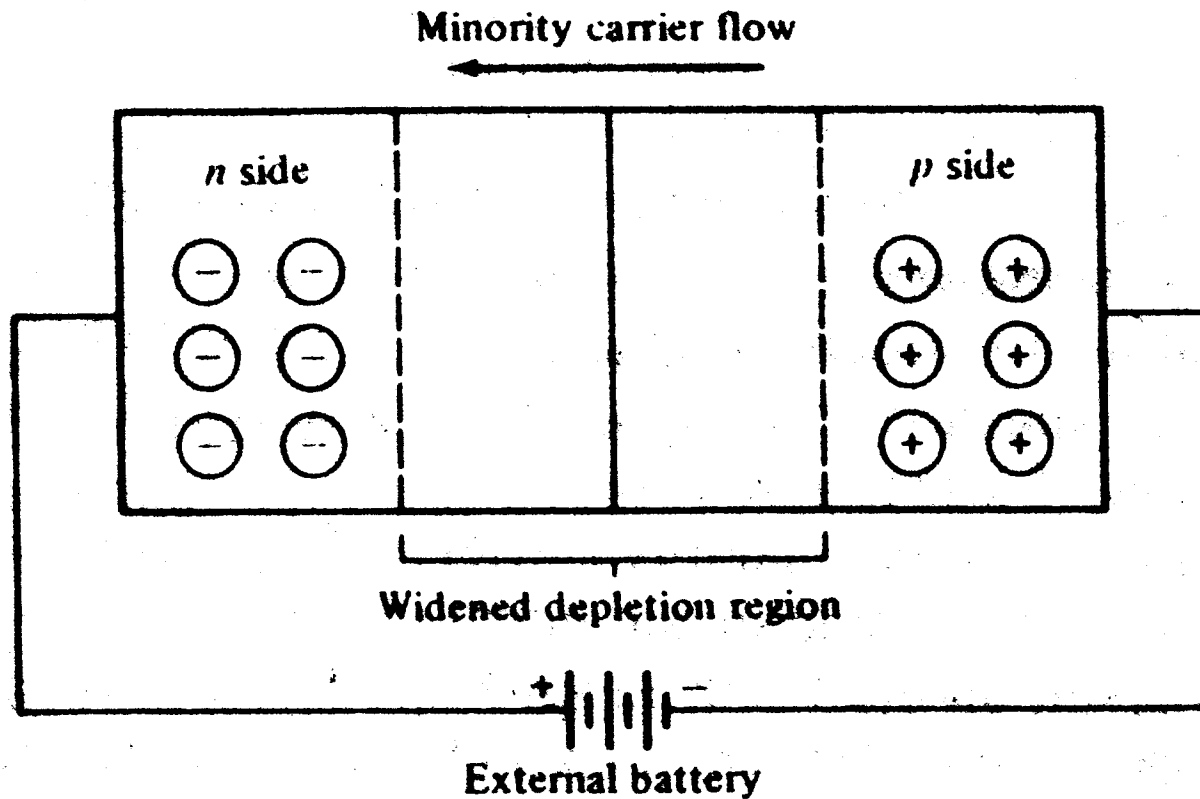
(b) Pembawa minoritas : hole pd bahan tipe-n atau elektron pd bahan tipe-p.

Operasi perangkat semikonduktor secara esensial didasarkan pd injeksi dan ekstraksi pembawa minoritas.

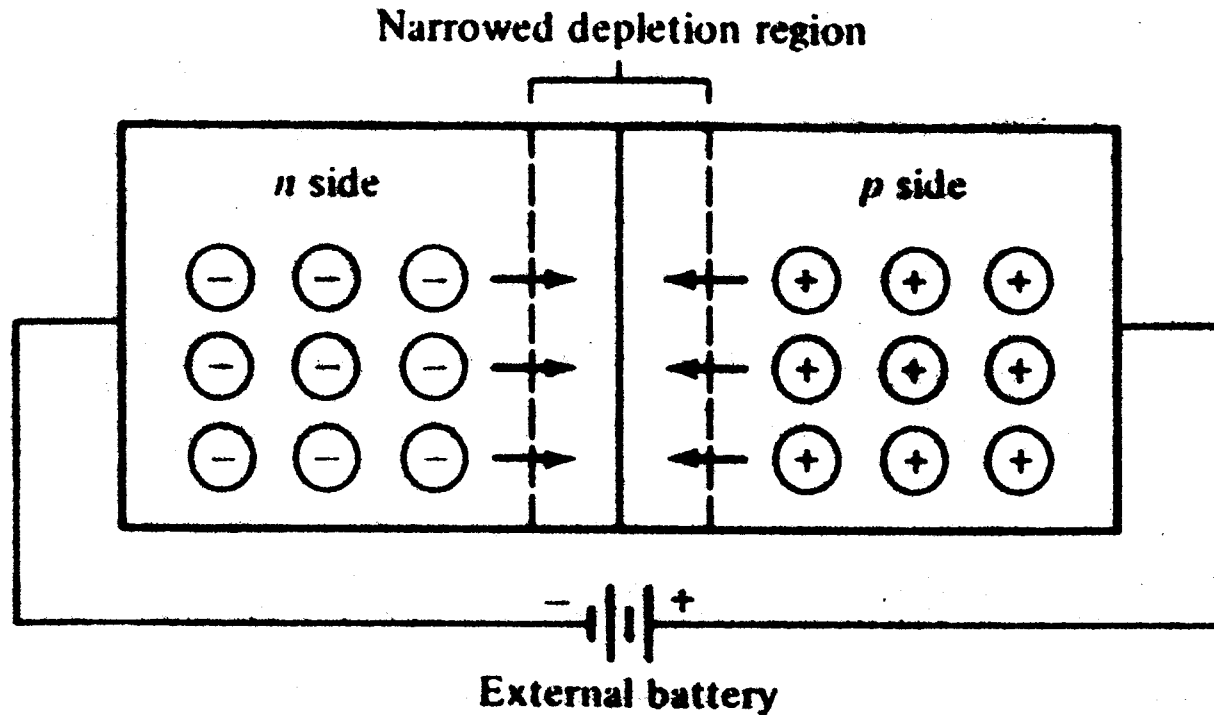
pn junction



Difusi elektron melintasi pn junction menghasilkan potensial barrier di daerah deplesi

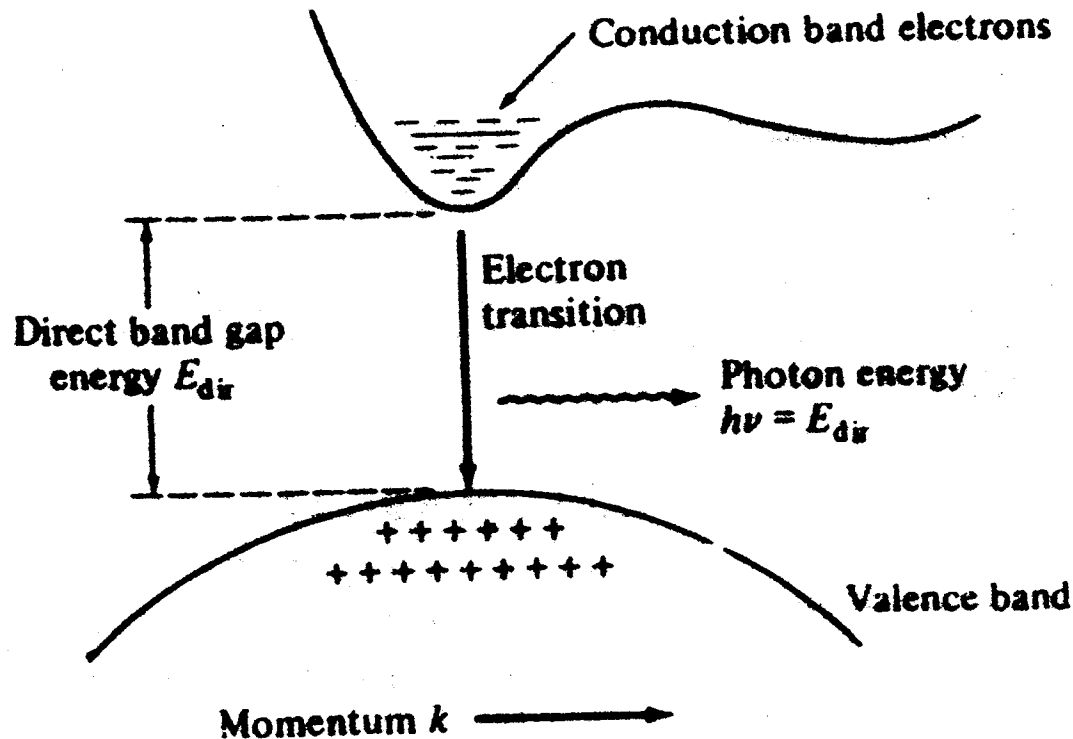


Bias mundur melebarkan daerah deplesi, tetapi memungkinkan pembawa minoritas bergerak bebas.

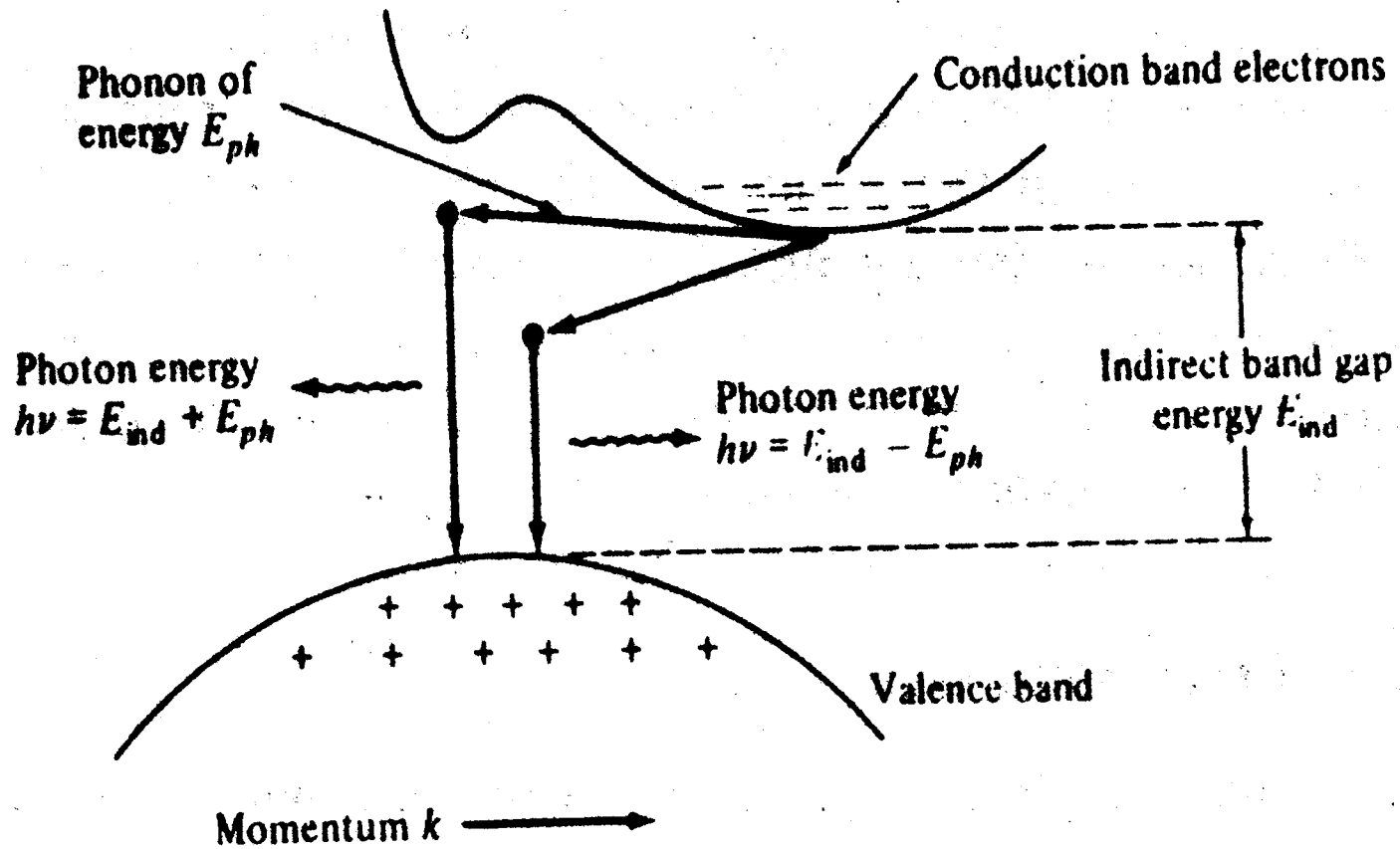


Bias maju mengecilkan potensial barrier memungkinkan pembawa mayoritas berdifusi melintasi junction

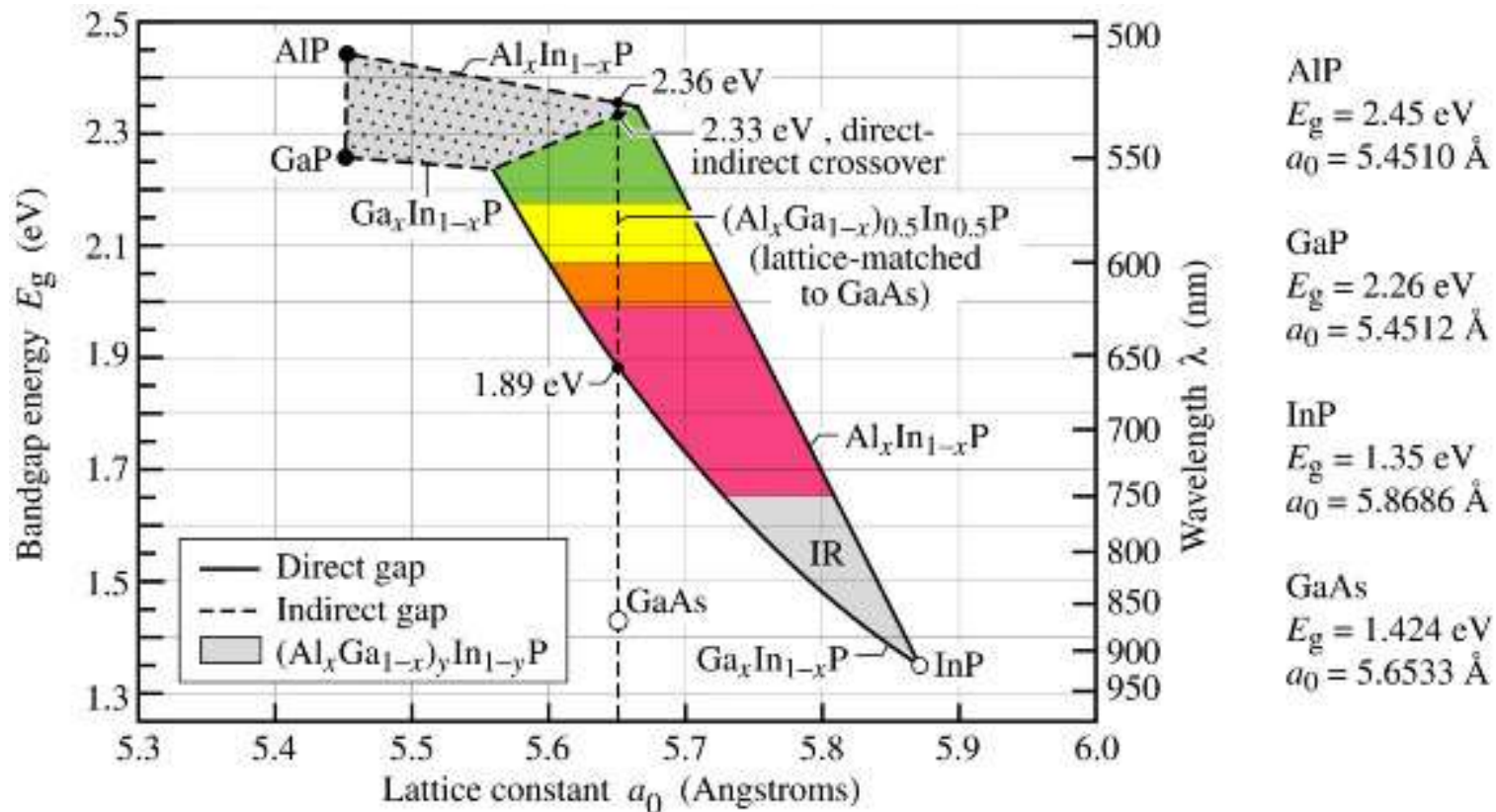
Direct dan indirect band gap



Rekombinasi elektron dan emisi photon yg berkaitan pd suatu bahan direct-band-gap (elektron dan hole memiliki nilai momentum sama)



Rekombinasi elektron pd suatu bahan indirect-band-gap (elektron dan hole memiliki nilai momentum berbeda) membutuhkan energi E_{ph} dan momentum k_{ph}



Bandgap energy and corresponding wavelength versus lattice constant of $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ at 300K. The dashed vertical line shows $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ lattice matched to GaAs (adopted from Chen *et al.* 1997).

LED

Pembangkitan Cahaya

- **Forward-bias *pn* junction**
 - Doping lebih banyak drpd dioda elektronik
 - Tambahan fitur utk menahan pembawa muatan dan medan cahaya
- **Pembangkitan cahaya**
 - *Rekombinasi radiatif* elektron dan hole
 - **Rekombinasi radiatif dan nonradiatif**
 - » Efisiensi meningkat dgn membanjiri wilayah pembangkitan cahaya dgn ...
 - Pembawa muatan kerapatan tinggi dan...
 - Cahaya berdaya tinggi

Pembangkitan Cahaya

- **Forward-biased *pn* junction**
 - Hole diinjeksi ke material n
 - Elektron ke material p
- **Carrier rekombinasi dng mayoritas**
 - carrier dekat junction
- **Energi dilepas \approx material bandgap**
- **energi E_g**
 - jika radiatip, $f \approx E_g / h$
- **Transisi Radiatip**
 - **Emisi *Spontan* :**
 - » Tdk koheren
 - » Polarisasi Random
 - » Arah Random
 - » Menambah noise pd sinyal
 - **Emisi *terstimulasi* :**
 - » Koheren (sama fasa, polarisasi, frekuensi dan arah)
- **Silikon dan germanium radiator tidak efisien**
 - Digunakan campuran semikonduktor

Double hetero structure GaAlAs

$x > y \rightarrow$ batasi pembawa & pandu optis

(a)

Metal contact	n-type GaAs substrate	n-type $Ga_{1-x}Al_xAs$ Light guiding and carrier confinement $\sim 1 \mu m$	n-type $Ga_{1-y}Al_yAs$ Recombination region $\sim 0.3 \mu m$	p-type $Ga_{1-x}Al_xAs$ Light guiding and carrier confinement $\sim 1 \mu m$	p-type GaAs Metal contact improvement layer $\sim 1 \mu m$	Metal contact
---------------	-----------------------	--	---	--	--	---------------

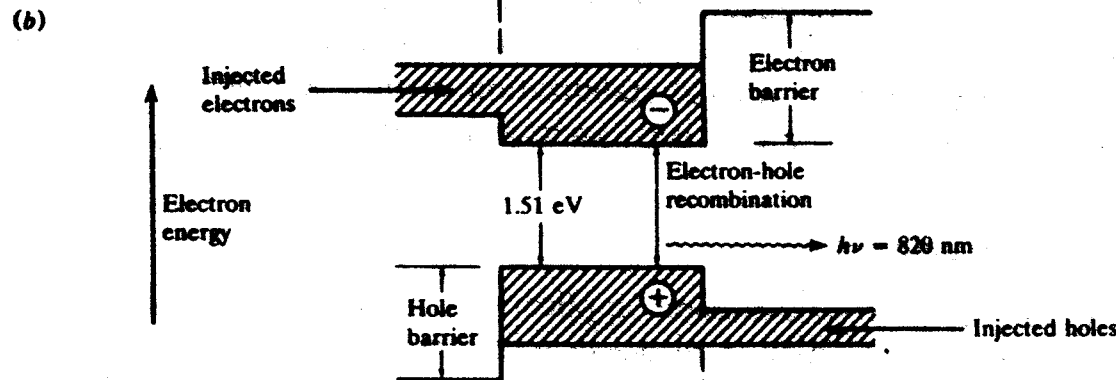
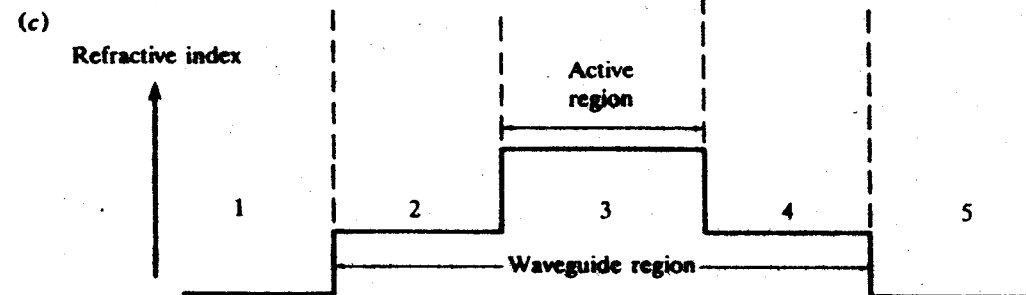


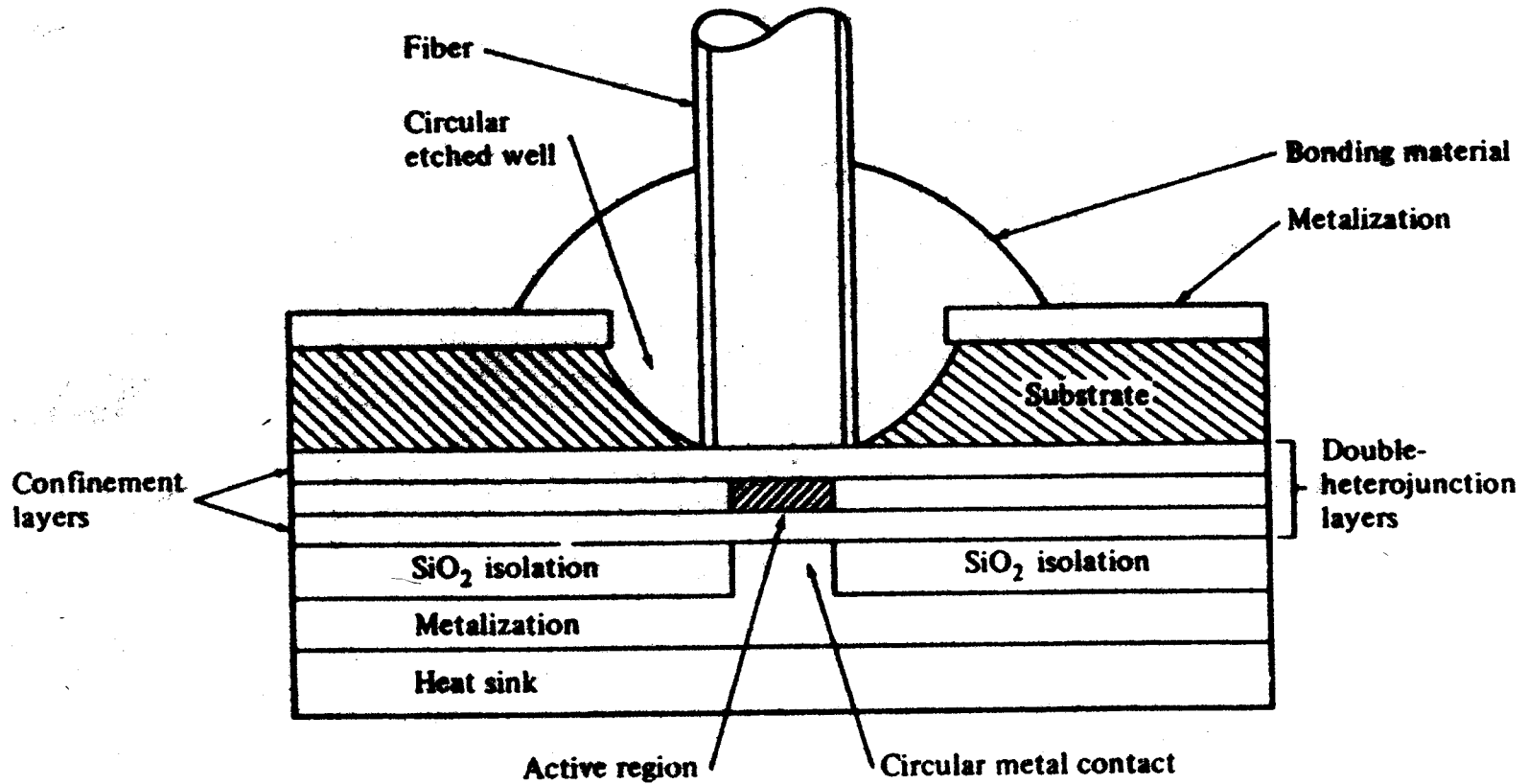
Diagram pita energi



Variasi indeks bias

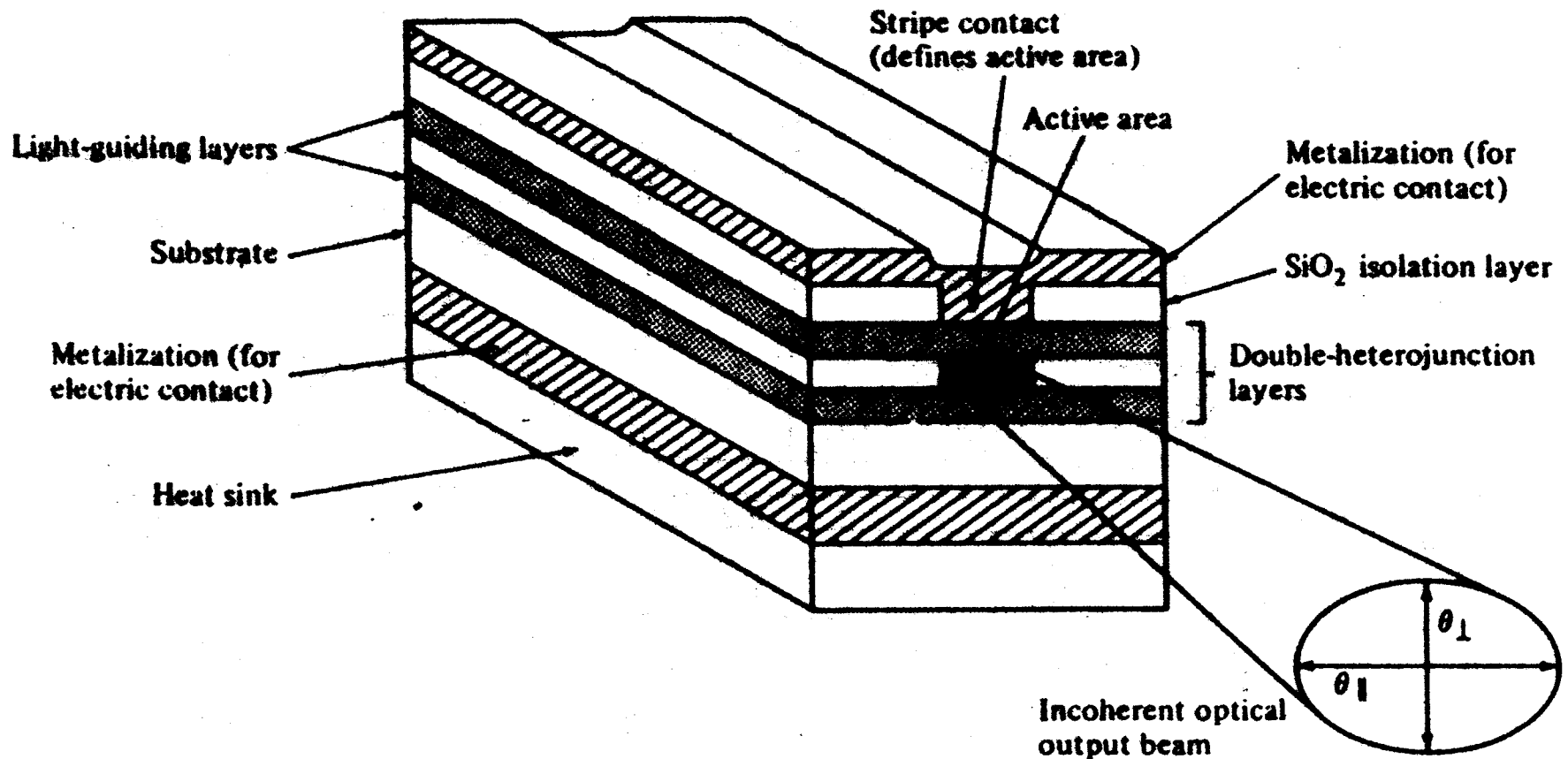
Konfigurasi

- **2 konfigurasi dasar :**
 - Emisi permukaan/depan atau Burrus
 - Emisi ujung
- **Emisi permukaan :**
 - bidang daerah aktif pengemisi cahaya diorientasikan tegak lurus sumbu fiber.
 - Suatu sumur di-etsa/etched pd bahan substrat device, dimana fiber ditanam utk menerima cahaya.
 - Daerah lingkaran aktif berdiameter 50 μm dan tebal s/d 2,5 μm .
 - Pola emisi isotropik secara esensial (lambertian) dng pola daya $\cos \theta$ shg HPBW 120°.



LED emisi permukaan

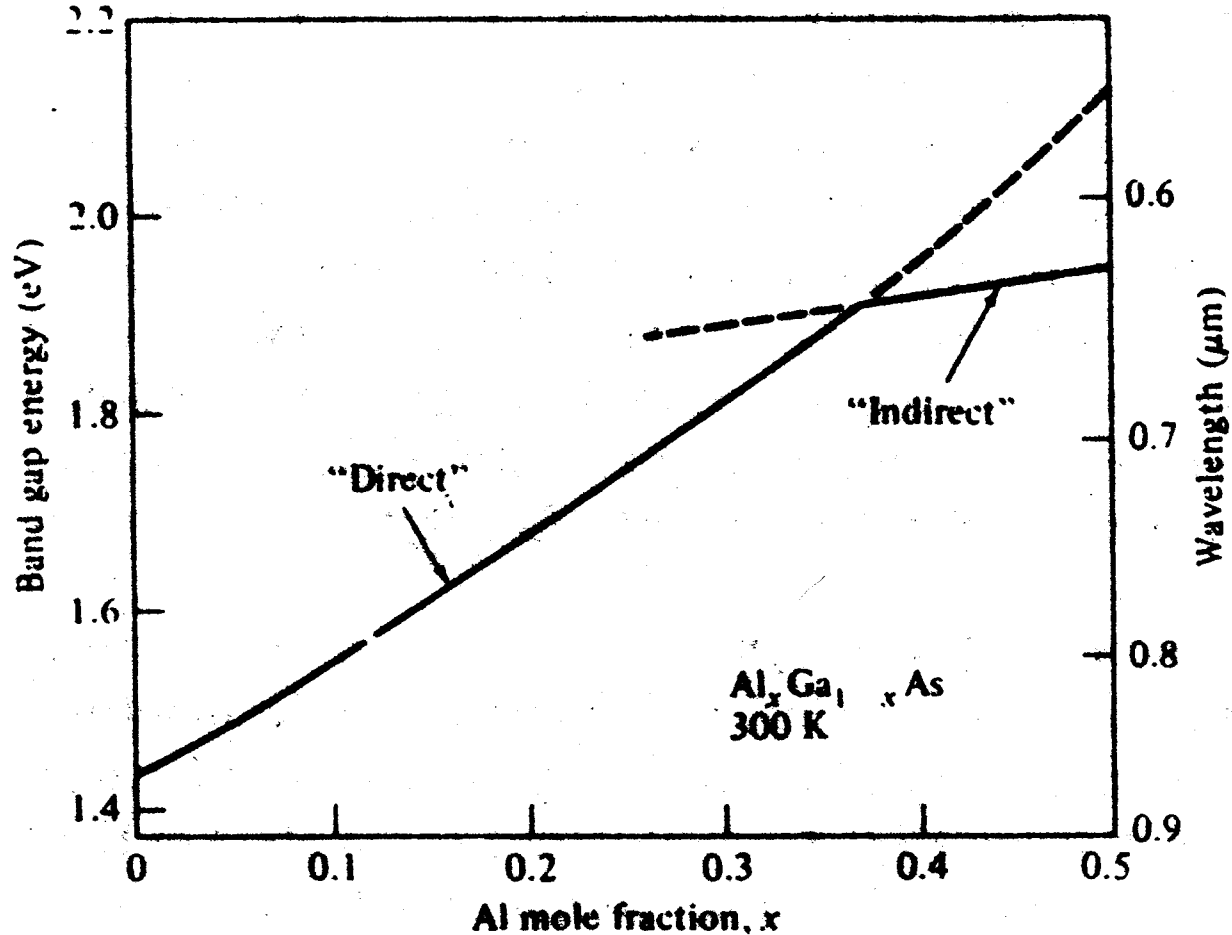
- Emisi Ujung :
 - Terdiri dr daerah junction aktif mrpk sumber inkoheren dan dua lapisan pemandu.
 - Lapisan pemandu memiliki indeks bias lebih rendah dr daerah aktif tetapi lebih besar dr bahan sekitarnya.
 - Struktur tsb membentuk pandu gel yg mengarahkan rdiasi optik ke inti fiber.
 - Pita penyambung lebar 50 s/d 70 μm agar sesuai dgn ukuran fiber 50 s/d 100 μm .
 - Pola emisi lebih terarah dibanding emisi permukaan.
 - Pd bidang sejajar dgn junction pola emisi lambertian, pd arah tegak lurus junction memiliki HPBW 25 s/d 35° cocok dgn ketebalan pandu gel.



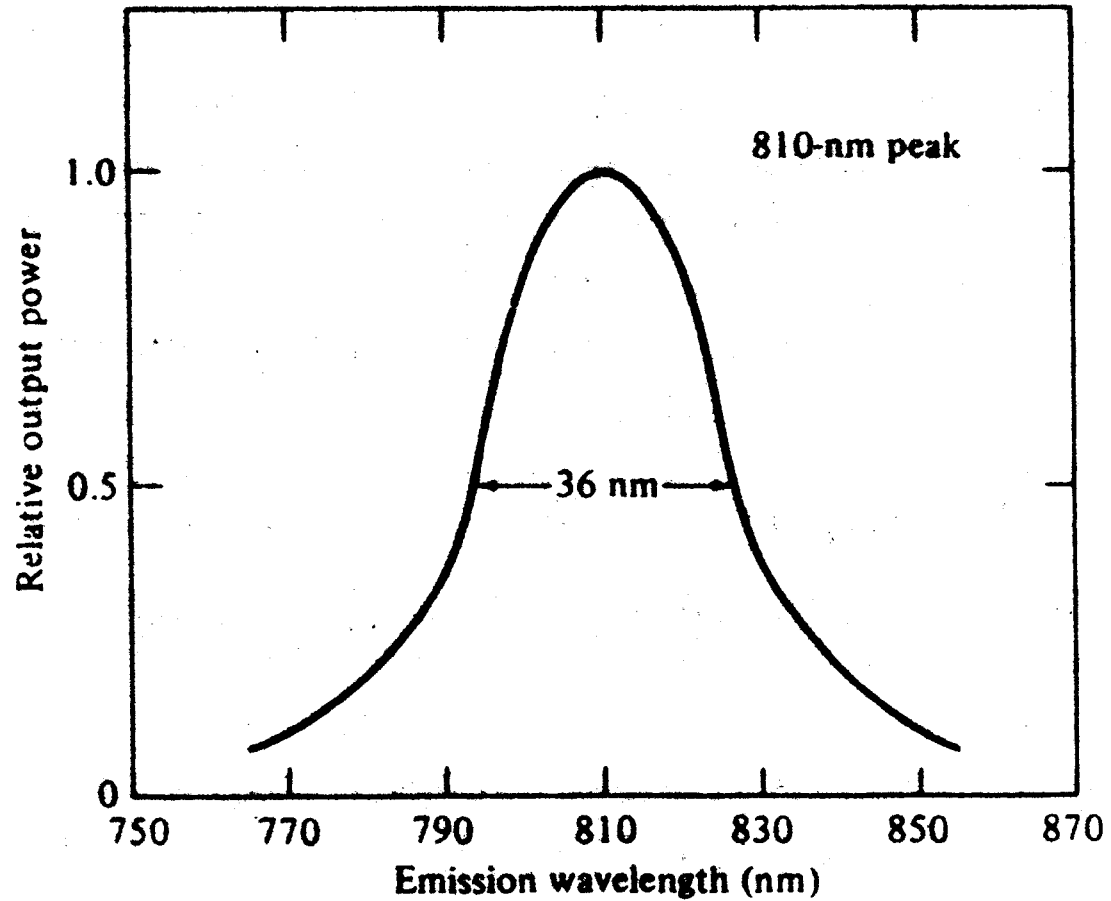
LED emisi ujung

Panjang gelombang dan material

- **Wavelength and *bandgap energy* E_g of material**
- **Panj gel (dan bandgap energy) juga fungsi dr suhu, bertambah ~ 0.6 nm/C**
- **$\lambda = hc/E_g$**
- **$\lambda[\mu\text{m}] = 1,24/E_g [\text{eV}]$**
- **Typical wavelengths**
 - **GaP LED**
 - » 665 nm
 - » Jarak pendek, sistem murah.
 - **$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ LED dan laser**
 - » 800 \rightarrow 930 nm
 - » Sistem fiber awal
 - **$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ LEDs and lasers**
 - » 1300 nm (akhir '80an, awal '90an, FDDI data links)
 - » 1550 nm (pertengahan '90an - sekarang)



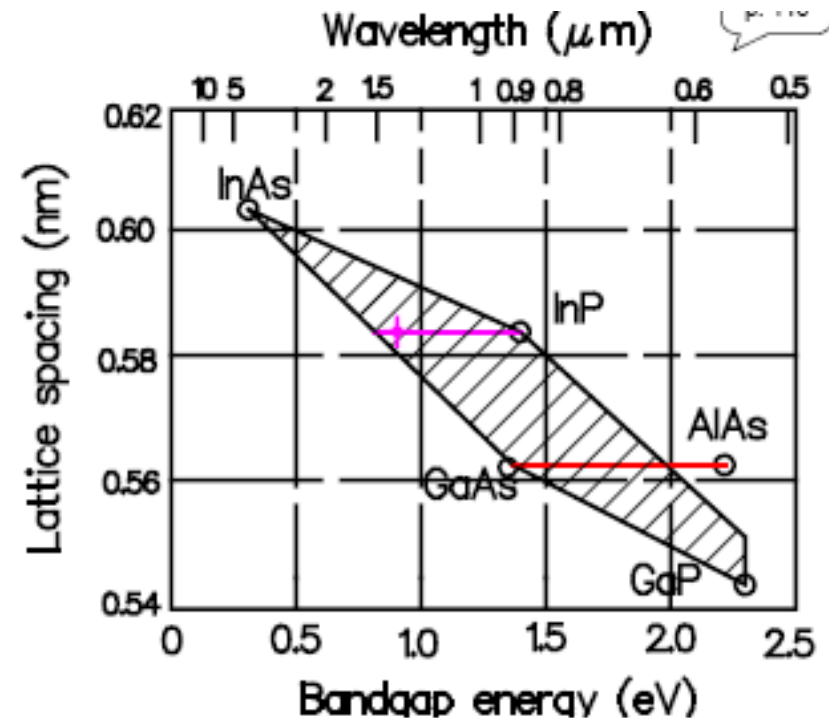
Energi band-gap dan panjang gelombang keluaran sbg fungsi bagian molekul Al pd $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ pd suhu ruang.



Spektrum pola emisi LED $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ dgn $x = 0,008$

Material sumber

- Hambatan panj gel dan lattice spacing
 - Lattice spacing:
 - » Atomic spacing lapisan
 - » Harus sama saat lapisan dibuat (toleransi of 0.1%)
- Garis horisontal hanya pd diagram
 - Paling banyak perangkat panjang gel panjang dibuat pd substrat InP
 - » Garis horisontal ditarik ke kiri dr ttk InP
 - Panj gel pendek
 - » $Ga_{1-x}Al_xAs$ garis horisontal



Lattice Spacing Hukum Vegard

- Bahan yang terdiri dari empat jenis bahan/unsur berbeda (ikatan quartener) dengan komposisi $A_{1-x}B_xC_yD_{1-y}$,
 - A dan B adalah unsur dari golongan IIIA (Al, In, atau Ga)
 - C dan D adalah unsur dari golongan VA (As, P, atau Sb)

Besarnya lattice spacing :

$$a(x, y) = xy a(BC) + x(1 - y)a(BD) + (1 - x)ya(AC) + (1 - x)(1 - y)a(AD)$$

$a(KL)$: nilai *lattice spacing* dari ikatan biner antara atom K dan L.

- bahan semikonduktor $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$, jika $a(\text{GaAs}) = 5,6536 \text{ \AA}$, $a(\text{InAs}) = 6,0590 \text{ \AA}$, $a(\text{GaP}) = 5,4512 \text{ \AA}$, $a(\text{InP}) = 5,8696 \text{ \AA}$

persamaan untuk menghitung nilai *lattice spacing* nya menjadi seperti berikut:

$$a(x, y) = 0,1894y - 0,4184x + 0,0130xy + 5,8696 \text{ \AA}$$

Material sumber

Hubungan fundamental quantum-mechanical :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

atau

$$\lambda(\mu m) = \frac{1,240}{E_g(eV)}$$

Utk campuran tiga bahan AlGaAs, besarnya E_g (eV) besarnya :

$$E_g = 1,424 + 1,266x + 0,266x^2$$

Utk campuran empat bahan $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$, besarnya E_g (eV) besarnya :

$$E_g = 1,35 - 0,72y + 0,12y^2$$

$$y \cong 2,20x$$

Contoh

Bahan Sumber $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ dng $x = 0,07$

Berapa E_g dan λ ?

Bahan Sumber $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$, dengan $x = 0,26$

Berapa E_g dan λ ?

Efisiensi kuantum internal

- Ekses elektron di bahan p-type dan hole di bahan n-type terjadi di semikonduktor sumber cahaya karena injeksi pembawa di kontak device.
- Kepadatan ekses elektron Δn sama dgn ekses hole Δp , krn pembawa diinjeksikan terbentuk dan berekombinasi dlm pasangan utk keperluan netralitas muatan kristal.
- Jika injeksi pembawa berhenti \rightarrow kepadatan pembawa kembali ke nilai keseimbangan.
- Kepadatan ekses pembawa :

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-t/\tau}$$

Δn_0 : kepadatan ekses elektron diinjeksikan awal

- Ekses pembawa dpt berekombinasi secara radiatif maupun non radiatif.
- Pd rekombinasi radiatif akan menghasilkan emisi photon.
- Jika elektron-hole berekombinasi nonradiatif → melepaskan energi dlm bentuk panas (vibrasi lattice).
- Efisiensi kuantum internal : bagian pasangan elektron-hole yg berekombinasi radiatif.
- Efisiensi kuantum internal :

$$\eta_o = \frac{R_r}{R_r + R_{nr}}$$

R_r : laju rekombinasi radiatif per satuan volume

R_{nr} : laju rekombinasi nonradiatif

Utk penurunan eksponensial ekses pembawa, lifetime rekombinasi radiatif :

$$\tau_r = \frac{\Delta n}{R_r}$$

Lifetime rekombinasi non radiatif :

$$\tau_{nr} = \frac{\Delta n}{R_{nr}}$$

Efisiensi kuantum internal :

$$\eta_o = \frac{1}{1 + (\tau_r / \tau_{nr})} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_r + \tau_{nr}}$$

Lifetime rekombinasi bulk τ :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}}$$

Tanggapan transien

- Asumsi dasar pendekatan tanggapan transien :
 - Kapasitansi muatan ruang junction C_s bervariasi lebih lambat krn arus dibanding dng kapasitansi difusi $C_d \rightarrow$ dipandang konstan.
 - Harga C_s antara 350 s/d 1000 pF utk arus menengah sampai besar.
- Berdasar asumsi tsb, rise time sampai tdk setengah arus (juga tdk setengah daya) LED :

$$t_{1/2} = \frac{C_s}{\beta I_P} \ln \frac{I_P}{I_S} + \tau \ln 2$$

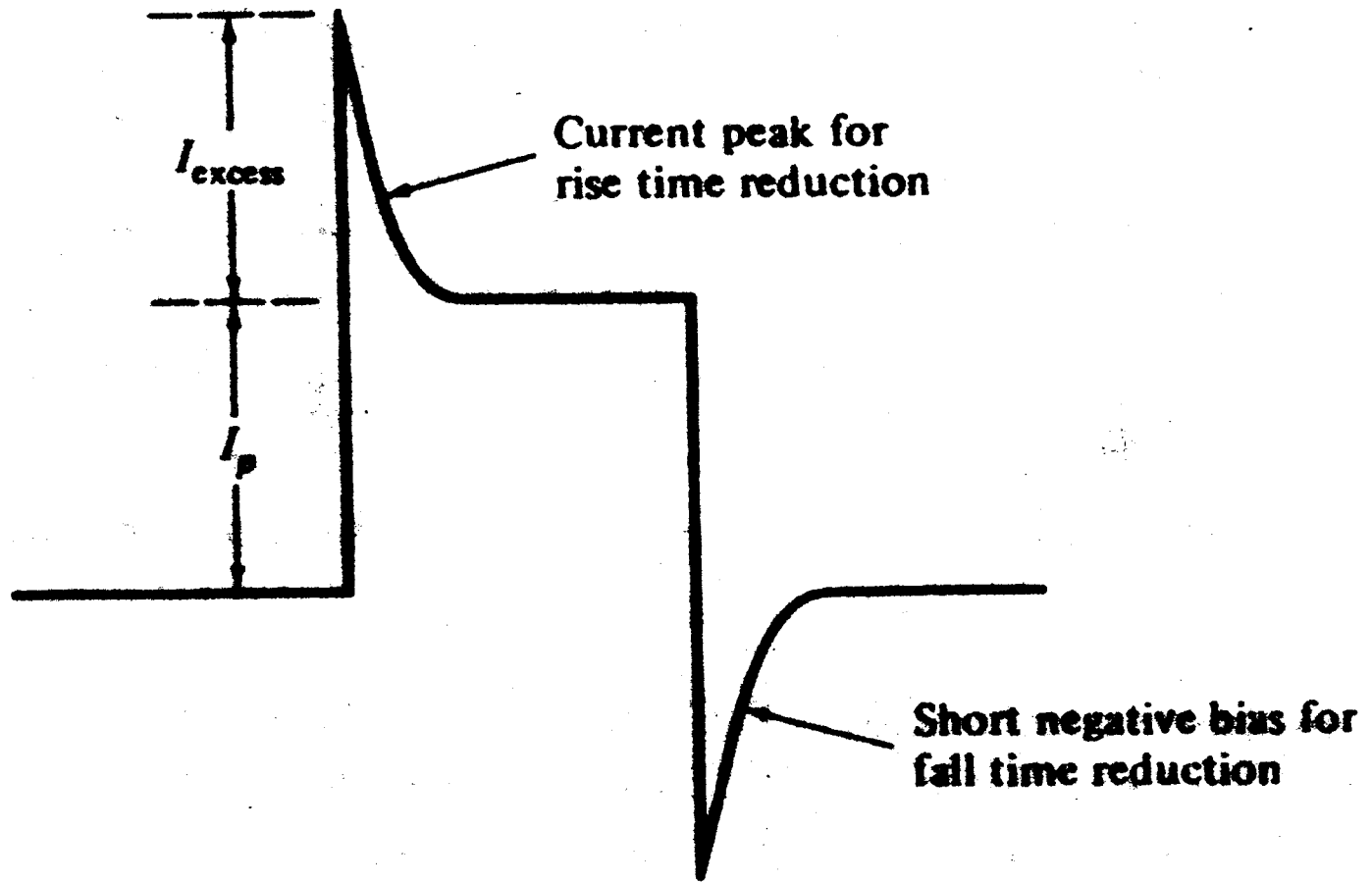
- Rise time 10 s/d 90 % :

$$t_{10-90} = \left(\frac{C_s}{\beta I_P} + \tau \right) \ln 9 \quad \beta = \frac{q}{2k_B T}$$

I_P : amplitudo fungsi tangga arus utk memacu LED

I_S : arus saturasi dioda

τ : lifetime pembawa minoritas



Bentuk gelombang arus