

SUMBER OPTIK

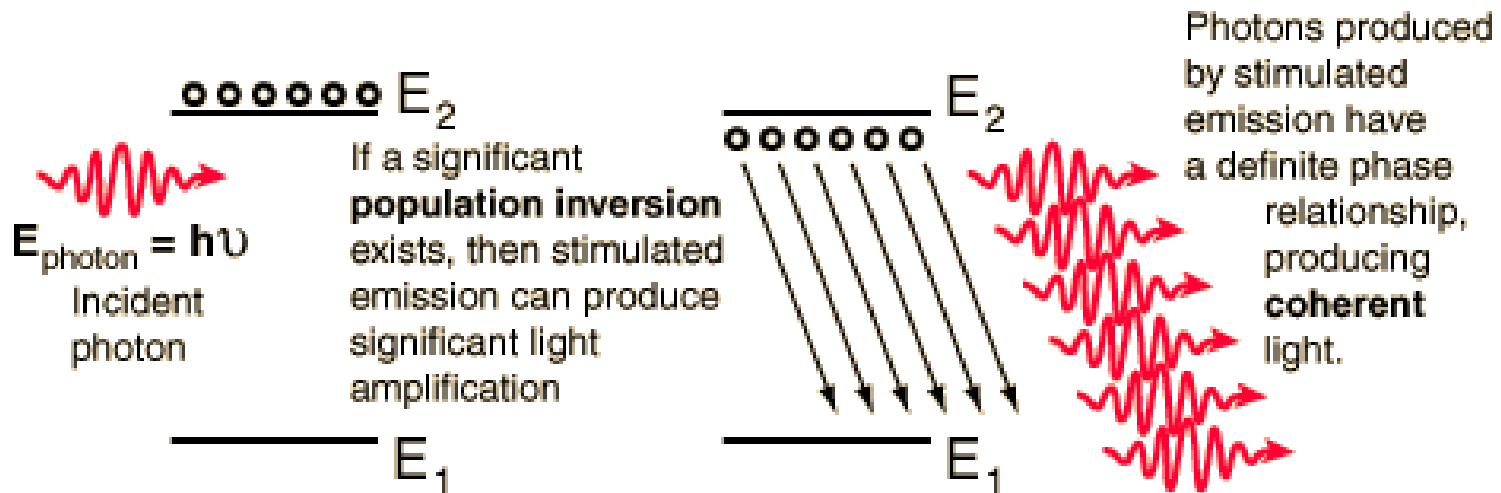
(Laser)

Ref : Keiser

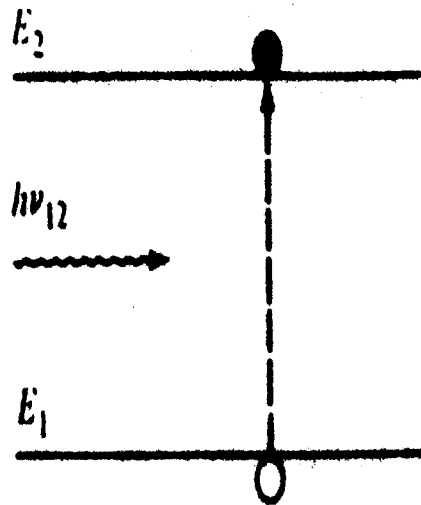
Laser

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

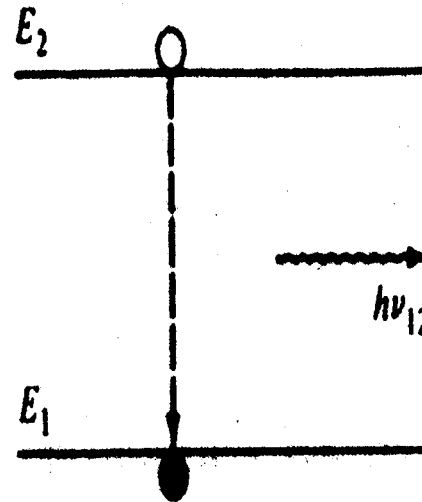
- Ukuran sumber laser dari sebesar butiran garam s/d sebesar ruangan.
- Media lasing bisa berupa gas, cairan atau padat.
- Utk sistem fiber optik yg paling cocok hanya dioda laser semikonduktor.
- Radiasi emisi keluaran sangat monochromatis dan terarah.



Emisi Laser

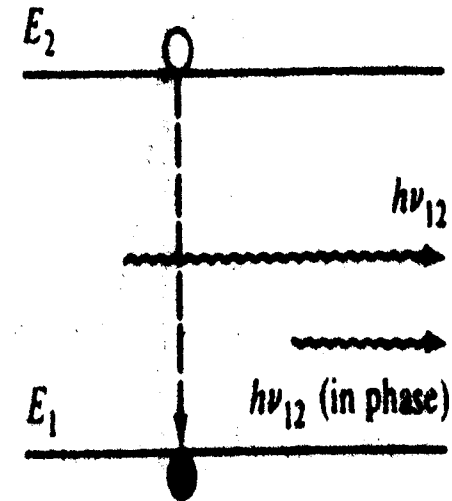


(a) Absorption



(b) Spontaneous emission

Isotropic, random
phase, gaussian



(c) Stimulated emission

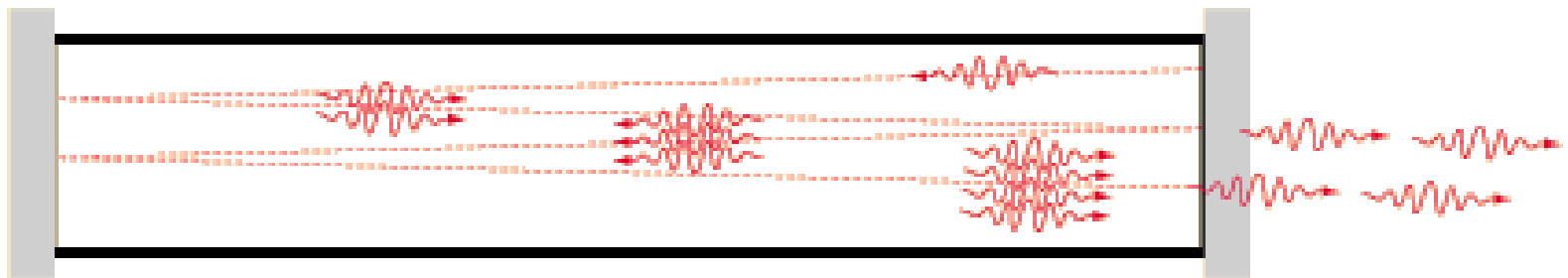
In phase with
incident photon

Proses utama pd Emisi Laser

Mode dioda laser dan kondisi batas

- Radiasi pd dioda laser terjadi dlm ruang resonator Fabry-Perot.
- Ukuran ruang panjang (longitudinal) 250 s/d 500 μm , lebar (lateral) 5 s/d 15 μm tebal (transverse) 0,1 s/d 0,2 μm .
- Dioda laser jenis lain adalah Distributed FeedBack (DFB), tdk perlu permukaan terpisah utk optical feedback, tetapi menggunakan Bragg reflector (grating) atau variasi indeks bias (distributed-feedback corrugation) pd struktur multilayer sepanjang dioda.
- Reflektor dielektrik disisi belakang laser digunakan utk mengurangi loss di ruangan, mengurangi kepadatan arus threshold dan meningkatkan efisiensi kuantum eksternal.

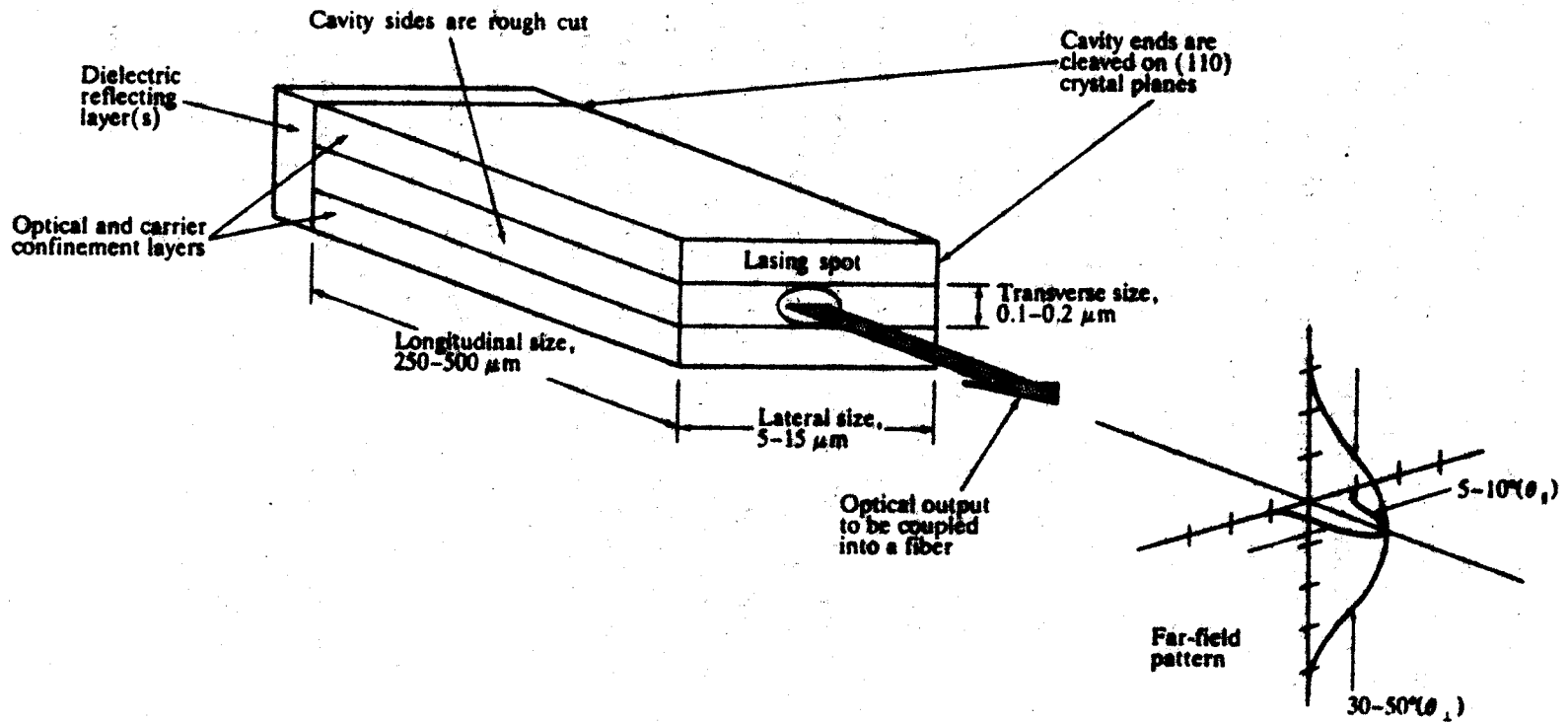
L*ight* A*mplification* by S*timulated* E*mission* of R*adiation*



100% reflective
mirror
for optical feedback

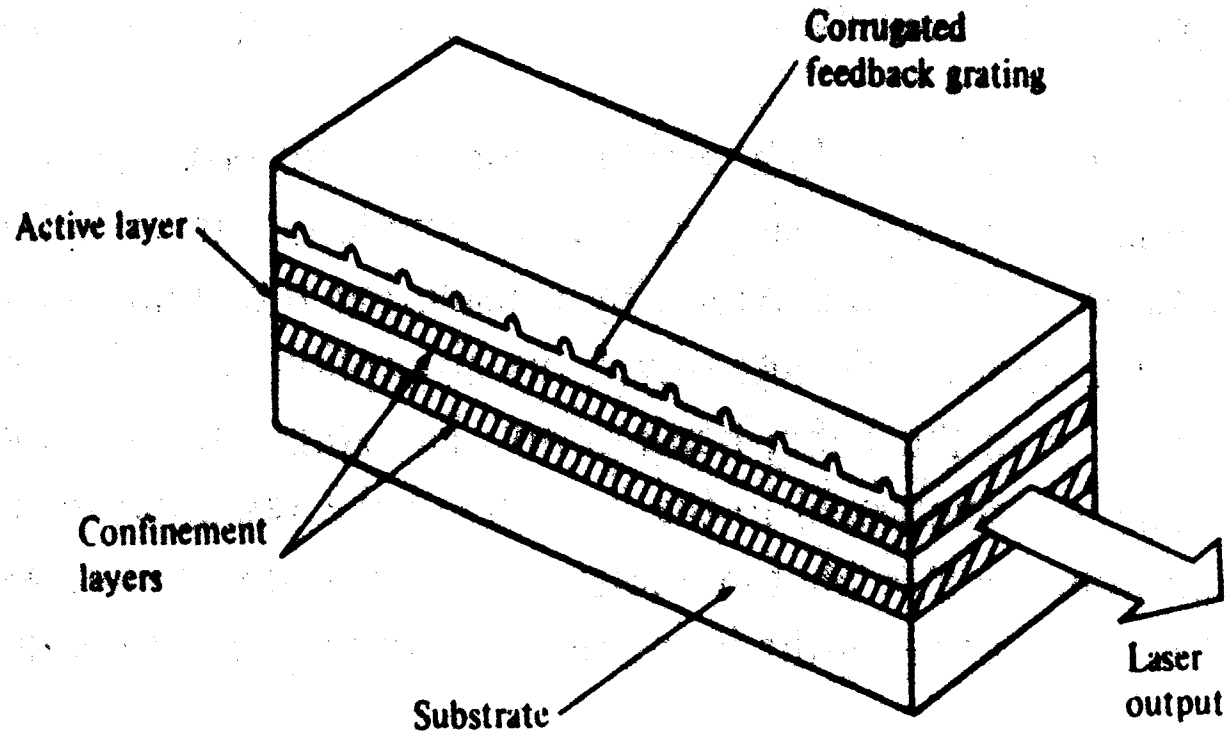
99% reflective
mirror

Ruang resonator



Ruang resonator Fabry-Perot

Struktur dioda laser DFB



The optical feedback is provided by fiber Bragg Gratings
→ Only one wavelength get positive feedback

Mode dioda laser dan kondisi batas

- Radiasi optis dlm ruang resonansi menentukan pola garis medan listrik dan magnet disebut modus dr cavity.
- Modus longitudinal:
 - Berkaitan dng panjang ruangan L
 - Menentukan spektrum frekuensi radiasi optis yg diemisikan
 - $L > \lambda \rightarrow > 1$ modus longitudinal.
- Modus lateral:
 - Terletak pd bidang pn junction
 - Tergantung dinding sisi samping dan lebar ruang
 - Menentukan bentuk profil lateral berkas laser
- Modus transverse :
 - Berkaitan dgn profil berkas dan medan elektromagnet arah tegak lurus bidang pn junction.
- Moda tsb menentukan karakteristik laser spt pola radiasi dan kepadatan arus threshold.

Mode dioda laser dan kondisi batas

Lasing : kondisi dimana memungkinkan terjadinya penguatan cahaya.

Syarat terjadi lasing : ada inversi populasi.

$$\Gamma g_{th} \geq \alpha_t = \bar{\alpha} + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right)$$

g_{th} : penguatan optis lasing-threshold

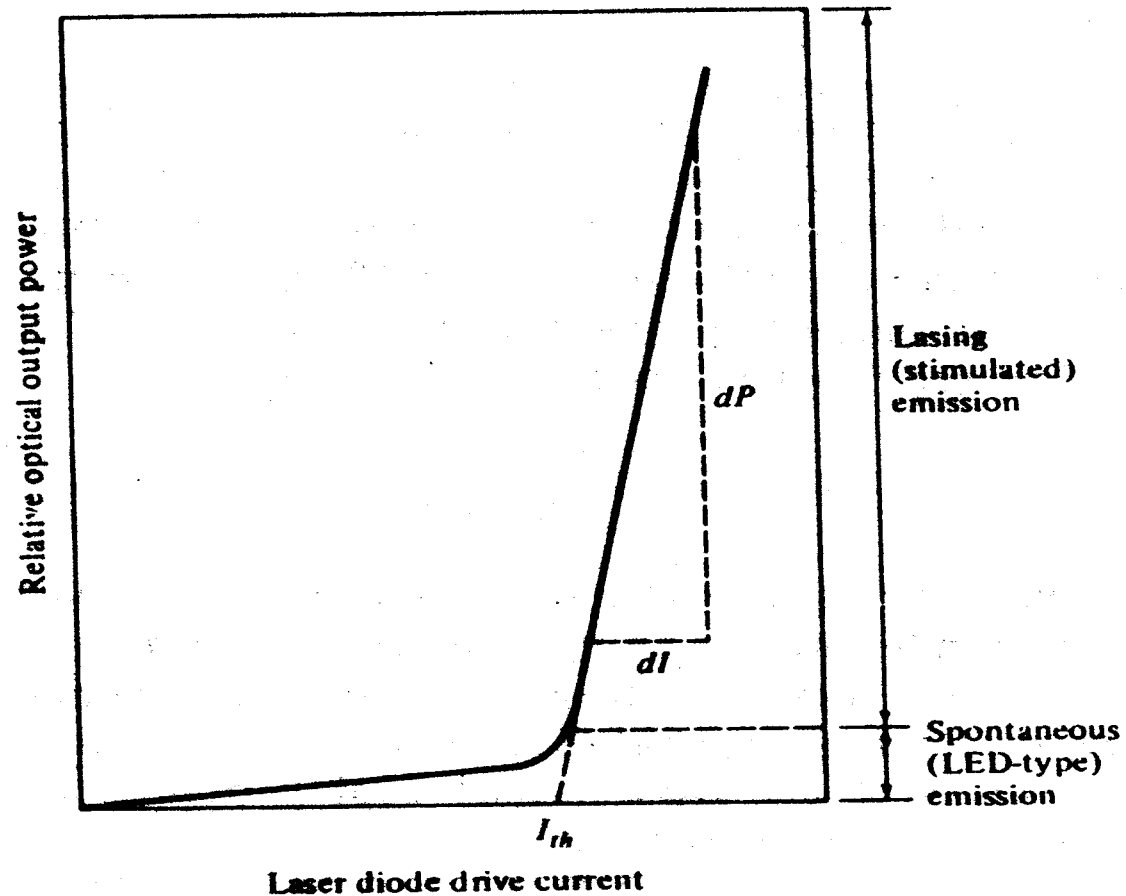
α_t : loss total

$\bar{\alpha}$: koefisien absorpsi efektif bahan pd lintasan optis

R_1, R_2 : Reflektifitas cermin 1, cermin 2

L : panjang ruang resonansi

Γ : faktor optical confinement (bagian daya optis di lapisan aktif)



Arus threshold I_{th} : ekstrapolasi daerah lasing kurva daya thd arus.

Grafik daya keluaran optis dan arus pacu dioda laser

Efisiensi kuantum diferensial eksternal

Efisiensi kuantum diferensial eksternal η_{ext} \equiv jumlah photon yg diemisikan setiap rekombinasi pasangan elektron-hole radiatif diatas threshold.

$$\eta_{ext} = \frac{\eta_i (g_{th} - \bar{\alpha})}{g_{th}}$$

η_i : efisiensi kuantum internal, hasil pengukuran pd suhu ruang bernilai antara 0,6 s/d 0,7

Dr percobaan :

$$\eta_{ext} = \frac{q}{E_g} \frac{dP}{dI} = 0,8065 \lambda (\mu m) \frac{dP (mW)}{dI (mA)}$$

Frekuensi resonansi

Kondisi steady state jika :

Amplitudo : $I_{(2L)} = I_{(0)}$

Phasa : $e^{-j2\beta L} = 1 \rightarrow 2\beta L = 2\pi m$

jika $\beta = 2\pi n / \lambda$

maka $m = \frac{L}{\lambda / 2n} = \frac{2Ln}{c} f$

Setiap frekuensi berkaitan dengan modus osilasi.

Tergantung pd struktur laser akan terdapat beberapa frekuensi
→ laser singlemode dan multimode

Relasi antara penguatan dan panj gelombang dpt diasumsikan berbentuk gaussian :

$$g(\lambda) = g_{(0)} e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}}$$

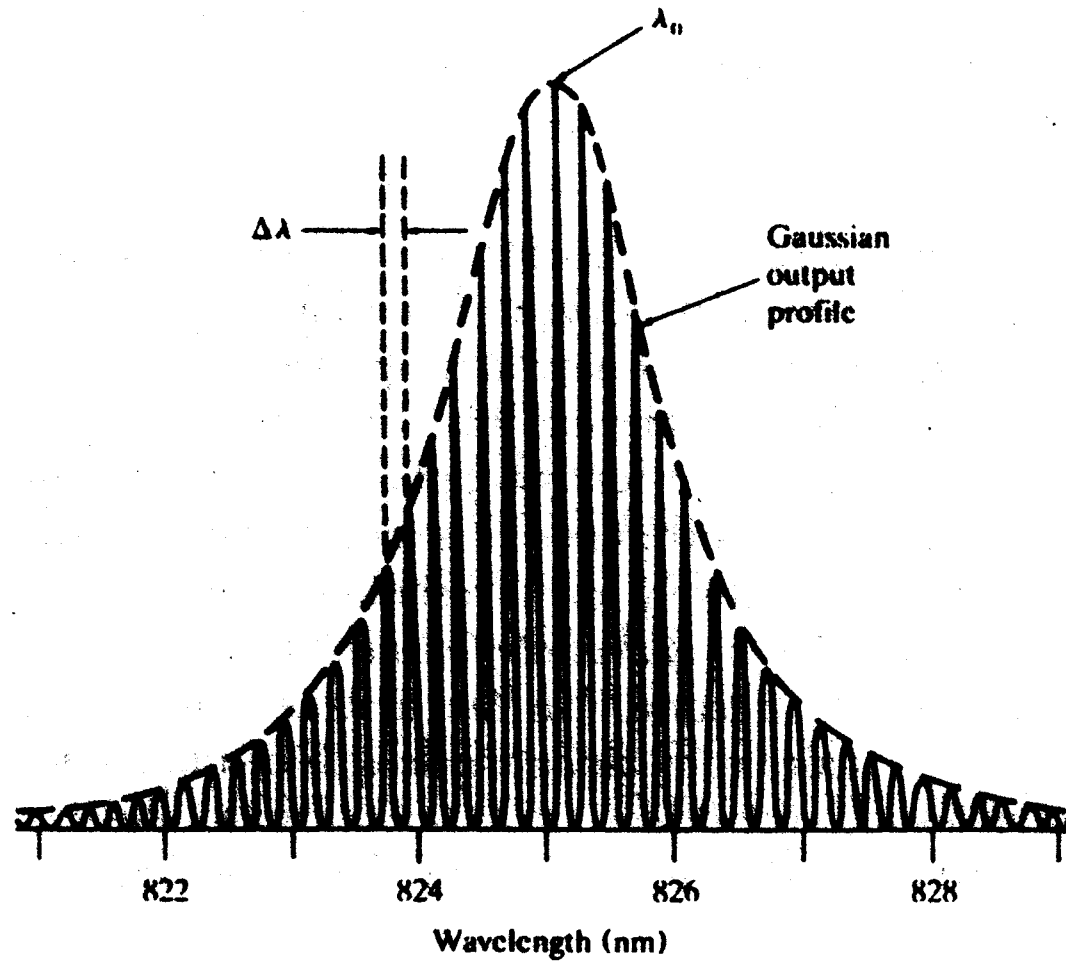
λ_0 : panj gel di pusat spektrum

σ : lebar spektral penguatan

$g_{(0)}$: penguatan maksimum sebanding dgn inversi populasi

Jarak antara 2 frekuensi yg berdekatan : $\Delta f = \frac{c}{2Ln}$

Jarak antara 2 panj gel yg berdekatan : $\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$



Spektrum dioda laser GaAlAs/GaAs

Contoh

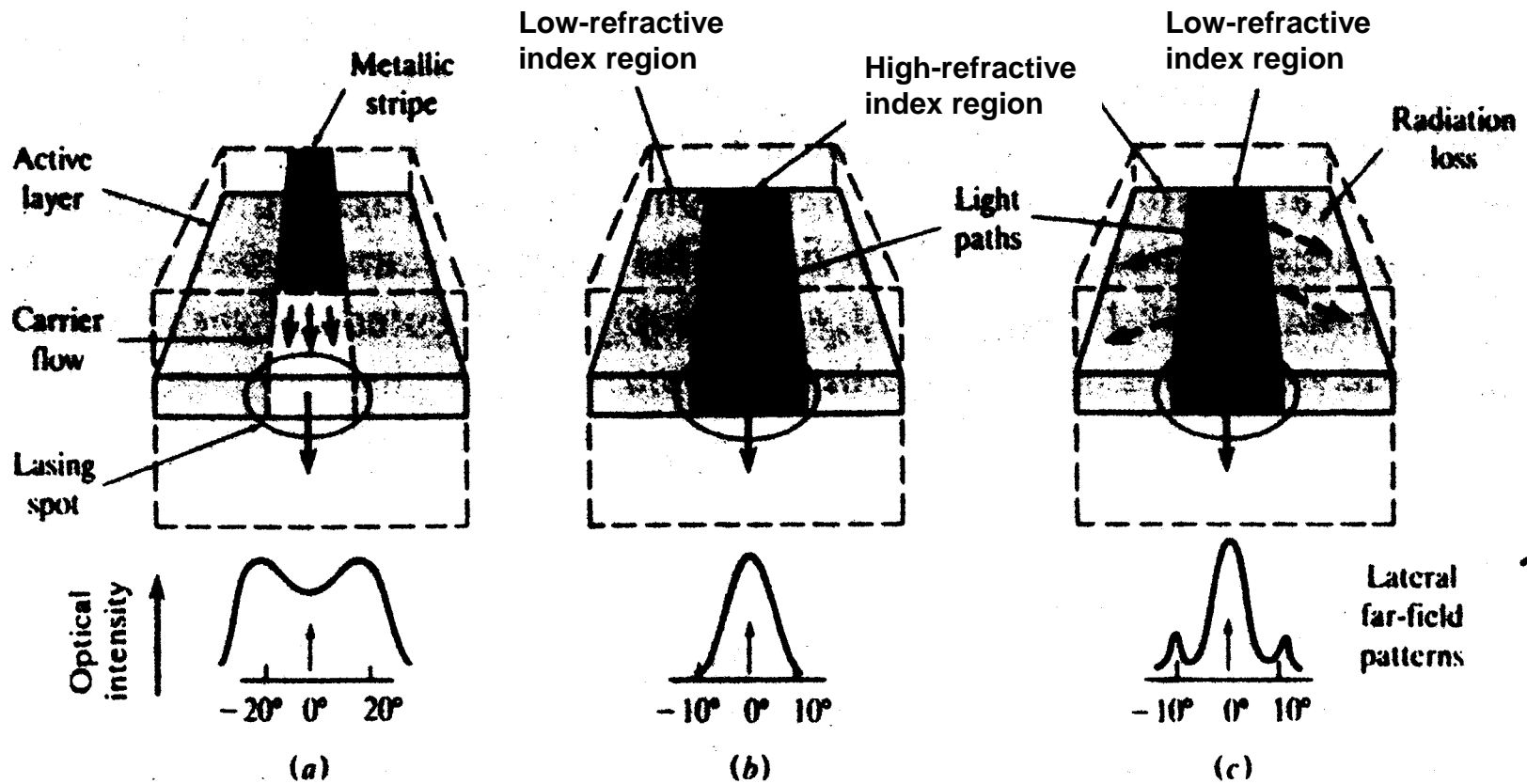
Laser GaAs bekerja pd panj gel 850 nm memiliki resonator dng panjang 500 μm dan indeks bias $n = 3,7$.

Berapa jarak frekuensi dan panjang gelombang terdekatnya ?

Jika pada ttk setengah daya $\lambda - \lambda_0 = 2 \text{ nm}$, berapa lebar spektral penguatan σ ?

Struktur dioda laser dan pola radiasi

- Cara membatasi gel optis :
 - Gain-guided, pita elektrode sempit ($< 8 \mu\text{m}$) diletakkan sepanjang dioda
 - Index-guided :
 - Positive-index waveguide, daerah tengah memiliki indeks bias lebih tinggi dibandingkan dgn daerah pinggir → semua cahaya terpandu dipantulkan dibatas dielektrik. Pemilihan indeks bias dan lebar daerah indeks bias tinggi akan dpt mengasilkan laser hanya memiliki modus lateral fundamental.
 - Negative-index waveguide, daerah tengah memiliki indeks bias lebih rendah dibandingkan dgn daerah pinggir → sebagian cahaya dipantulkan dan sebagian dibiaskan keluar shg terjadi loss.



Tiga struktur dasar cara membatasi gelombang optis pd arah lateral.

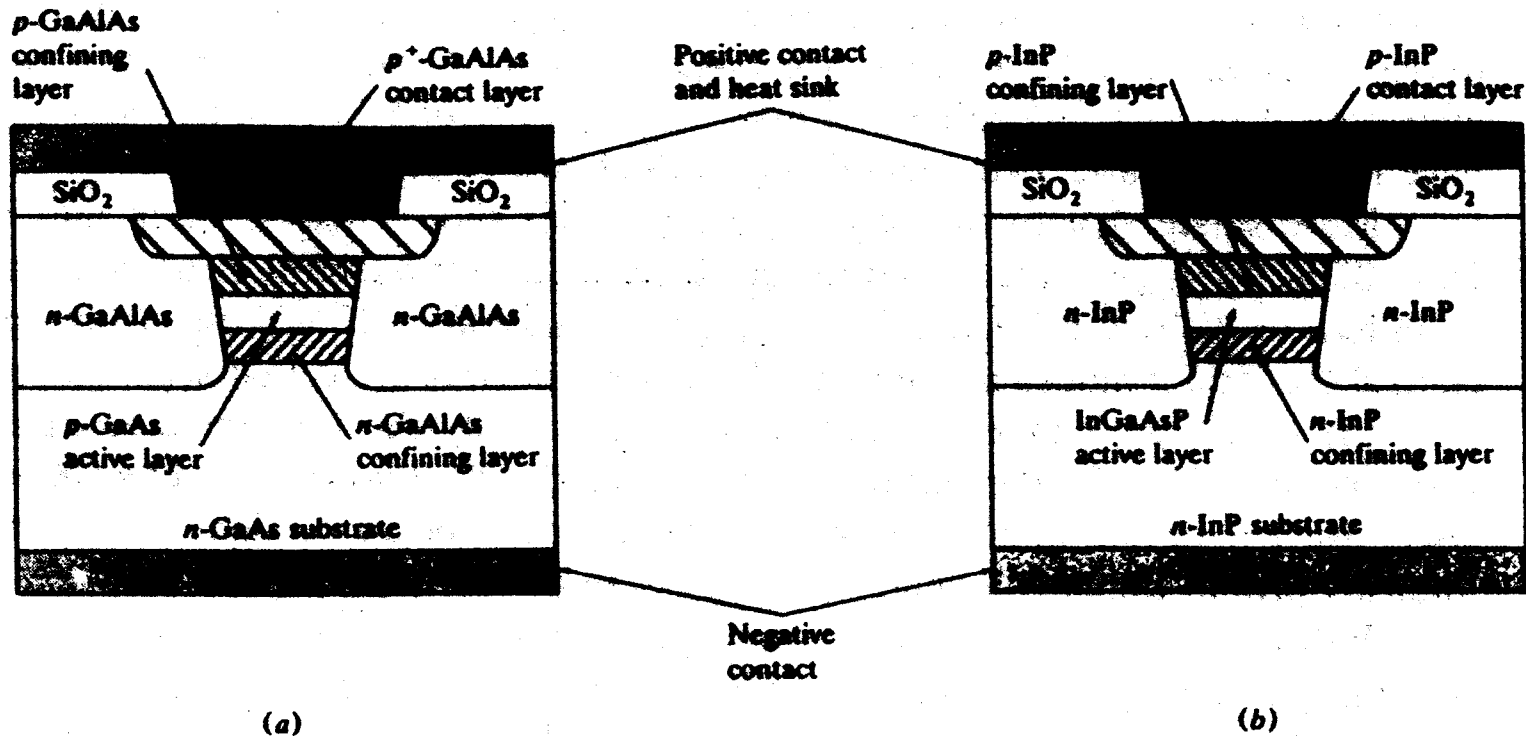
(a) Gain-guided laser.

(b) Pandu gel positif-index.

(c) Pandu gel negatif-index.

- Index-guided, dpt dibuat menggunakan salah satu dr 4 struktur dasar :
 - **Buried Heterostructure (BH)**
 - **Selectively diffused construction**
 - **Varying-thickness structure**
 - **Bent-layer configuration**
- Selain pembatasan gel optis utk mendapatkan daya keluaran optis yg besar dibutuhkan membatasi arus pacu secara ketat pd lapisan aktif sehingga lebih dr 60 % arus berkontribusi pd proses lasing.

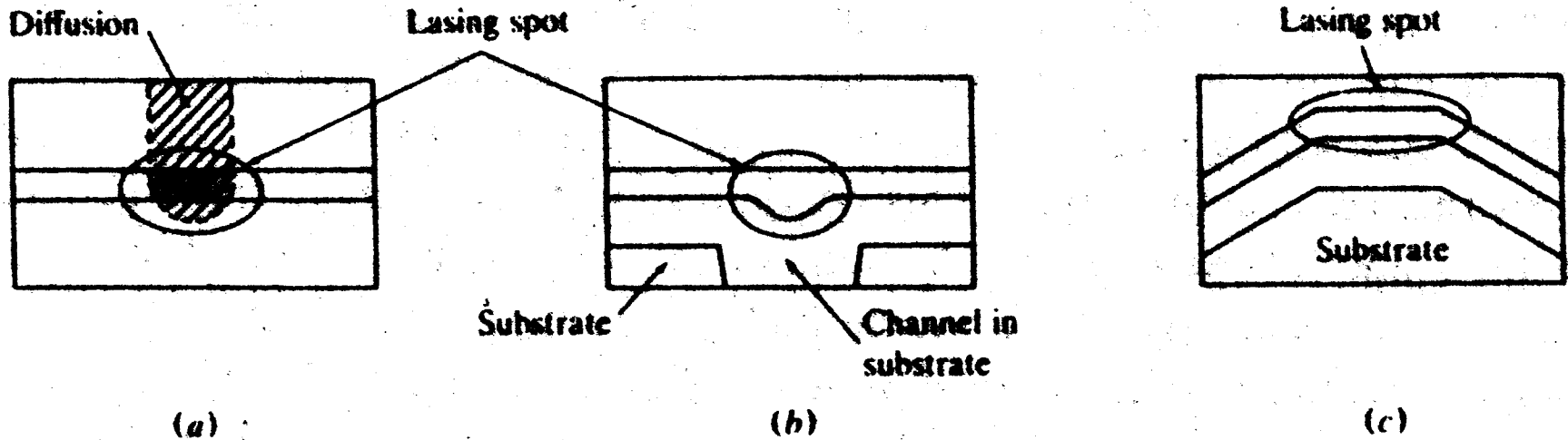
- 4 metode dasar current-confinement, setiap metode menahan arus pd kedua sisi daerah lasing, dgn cara daerah high-resistivity atau tegangan mundur pn junction :
 - Preferential-dopant diffusion :
 - Proton implantation
 - Inner-stripe confinement
 - Regrowth of back-biased pn junction





Dioda laser Buried Heterostructure :

(a) GaAlAs panjang gelombang pendek (800 – 900 nm)

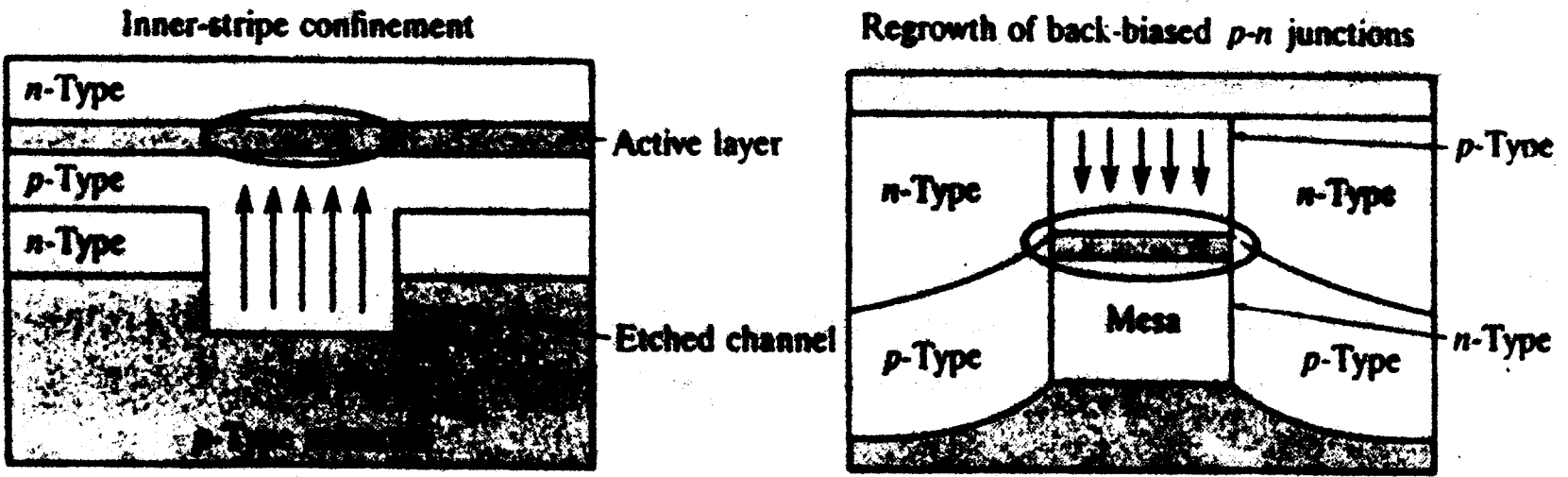
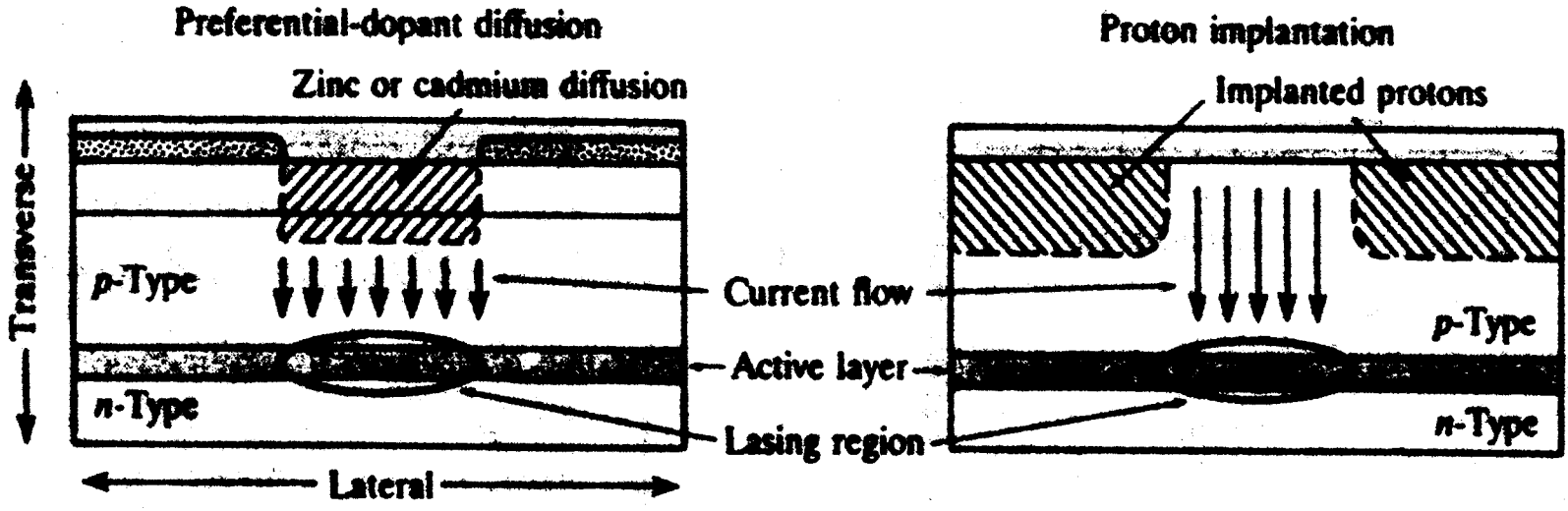
(b) InGaAsP panjang gelombang panjang (1300 – 1600 nm)



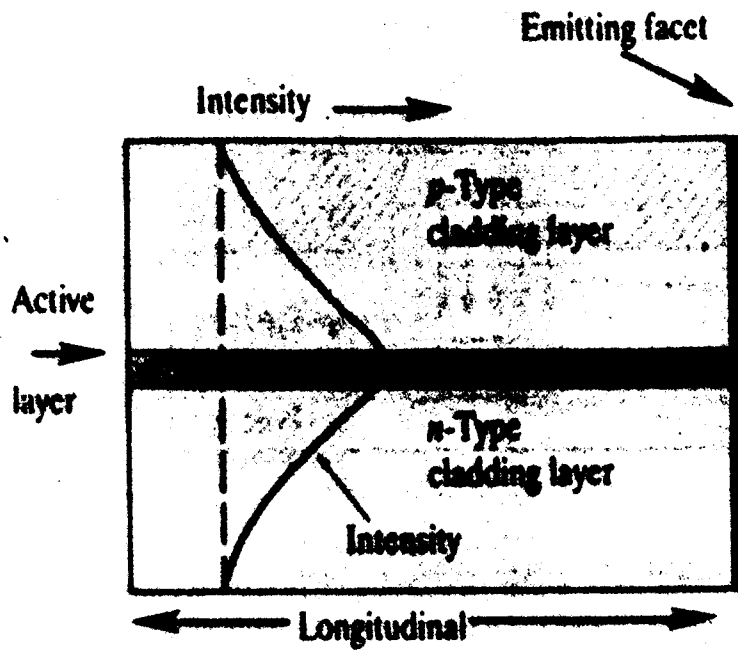
-  High-refractive-index material
-  Low-refractive-index material

Struktur positive-index optical-wave-confining

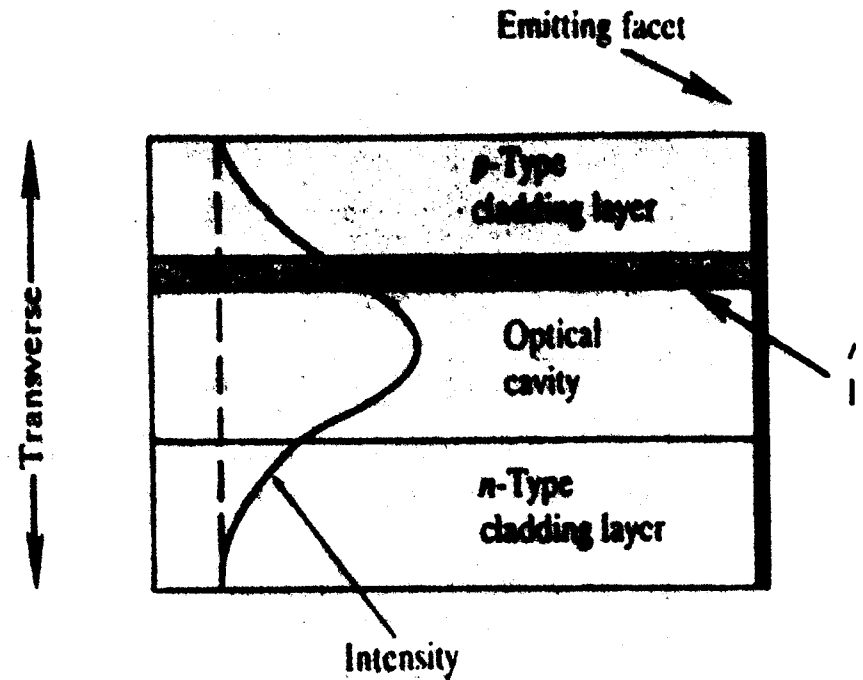
- (a) Selectively diffused
- (b) Varying-thickness
- (c) Bent-layer



Dioda laser current confinement



(a)



(b)

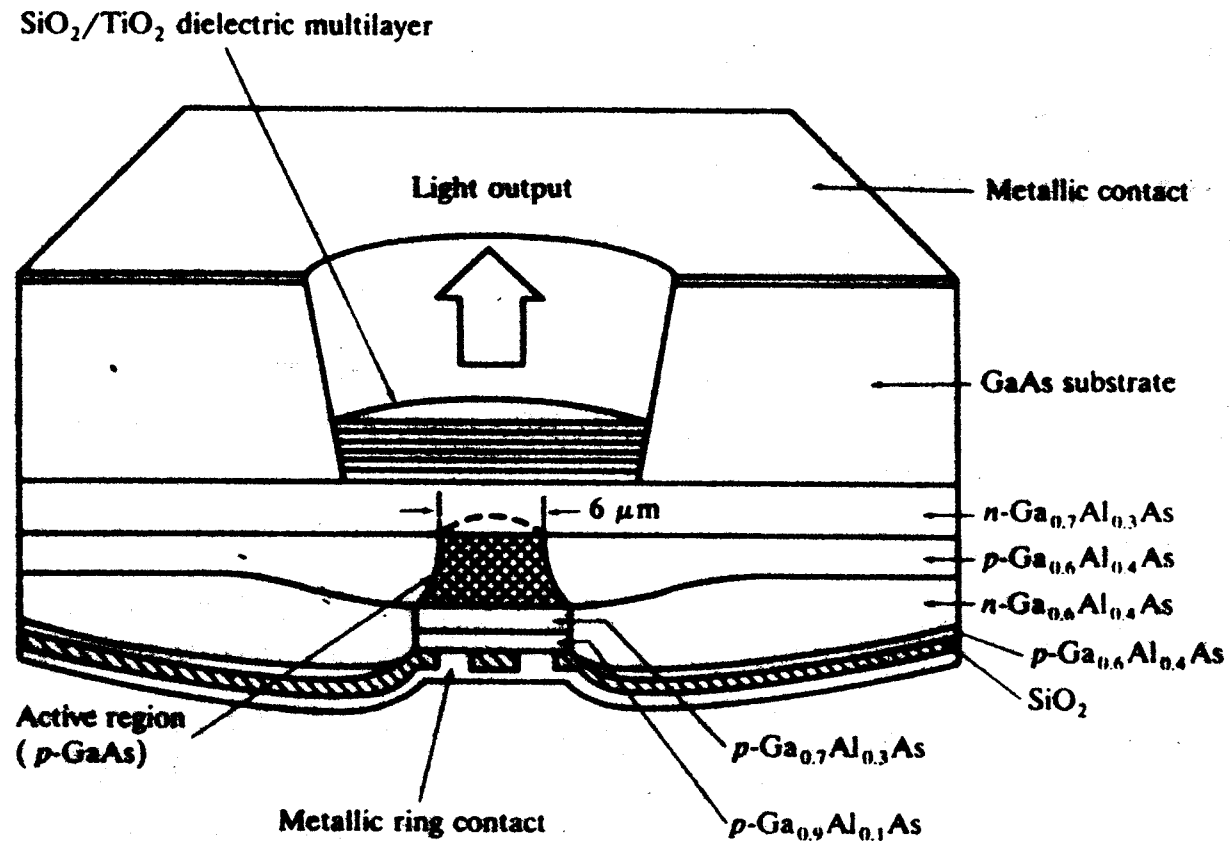
Utk mendapatkan daya keluaran besar dpt juga dilakukan dgn :

(a) Thin-active-layer (TAL)

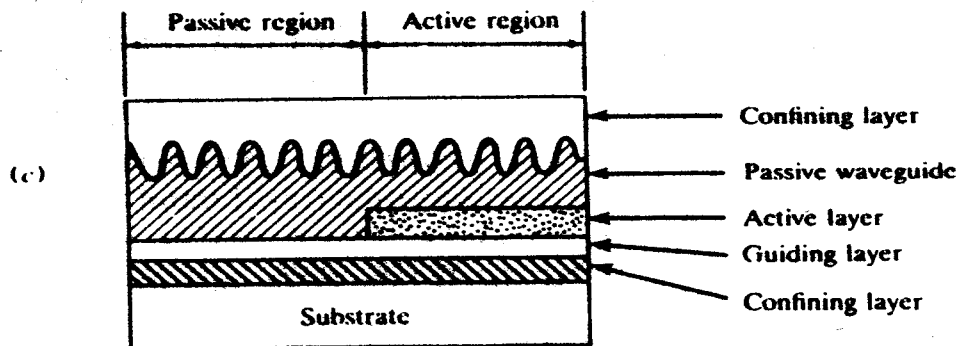
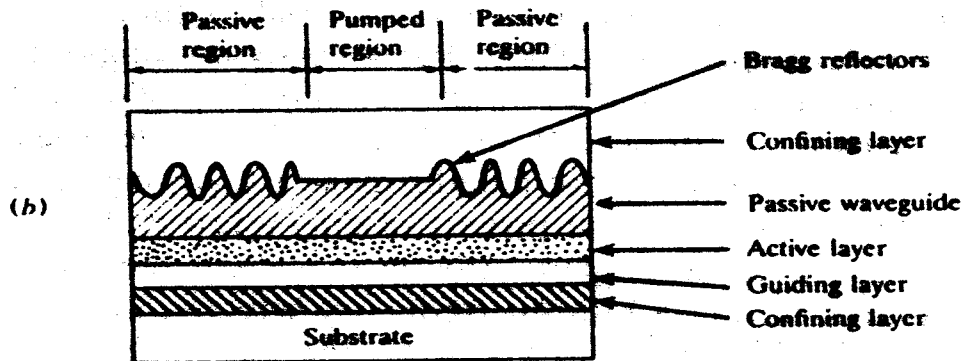
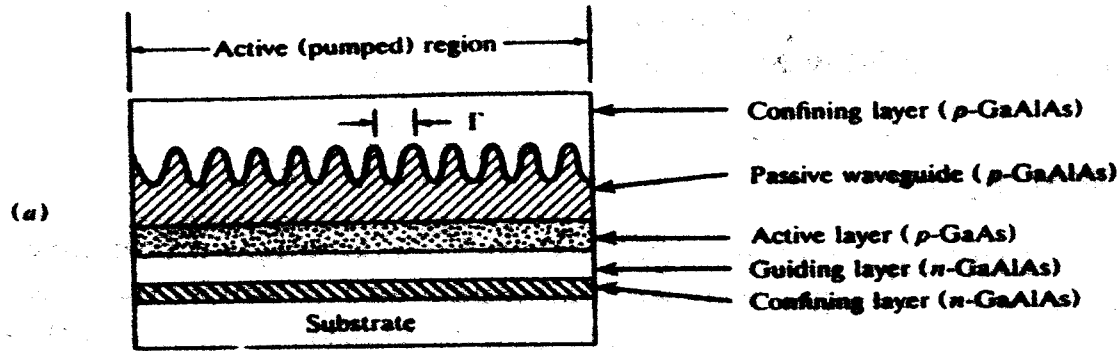
(b) Large optical cavity (LOC)

Single-mode laser

- Single mode laser, memiliki modus longitudinal tunggal dan modus transverse tunggal.
- Utk mendapatkan laser modus longitudinal tunggal :
 - **Mengurangi panjang ruang lasing L shg jarak frekuensi Δf lebih besar lebar garis transisi laser.**
 - Misalnya ruang Fabry-Perot $L = 250 \mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$, pd $\lambda = 1300 \text{ nm}$. Jika L menjadi $25 \mu\text{m}$, maka $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$. Tetapi membuat panjang tsb sulit dilakukan.
 - **Laser emisi permukaan (SEL)**
 - **Struktur yg memiliki built-in frequency selective resonator.**



Struktur laser emisi permukaan GaAlAs



3 jenis struktur laser menggunakan built-in frequency-selective resonator grating :

(a) DFB

(b) DBR

(c) DR

FIGURE 4.18

Panjang gelombang Bragg :

$$\lambda_B = \frac{2n_e \Lambda}{k}$$

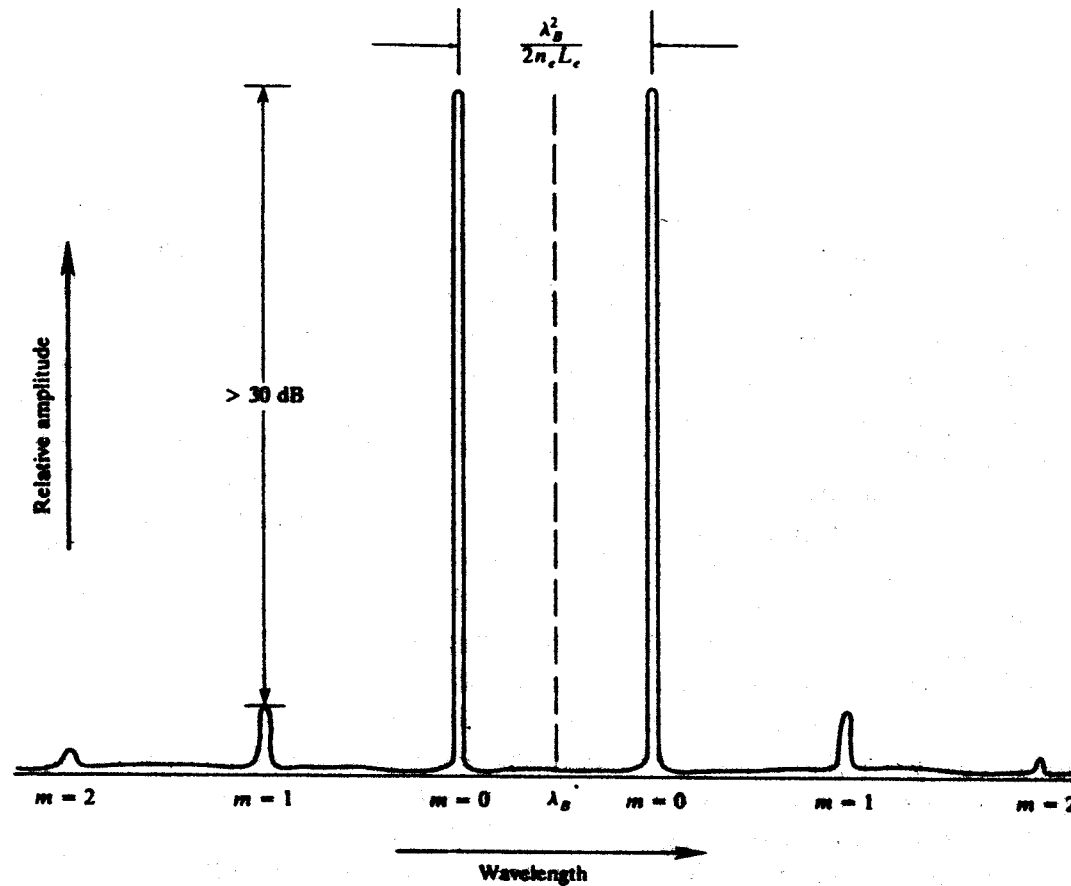
Λ : perioda gel

n_e : indeks bias efektif modulus

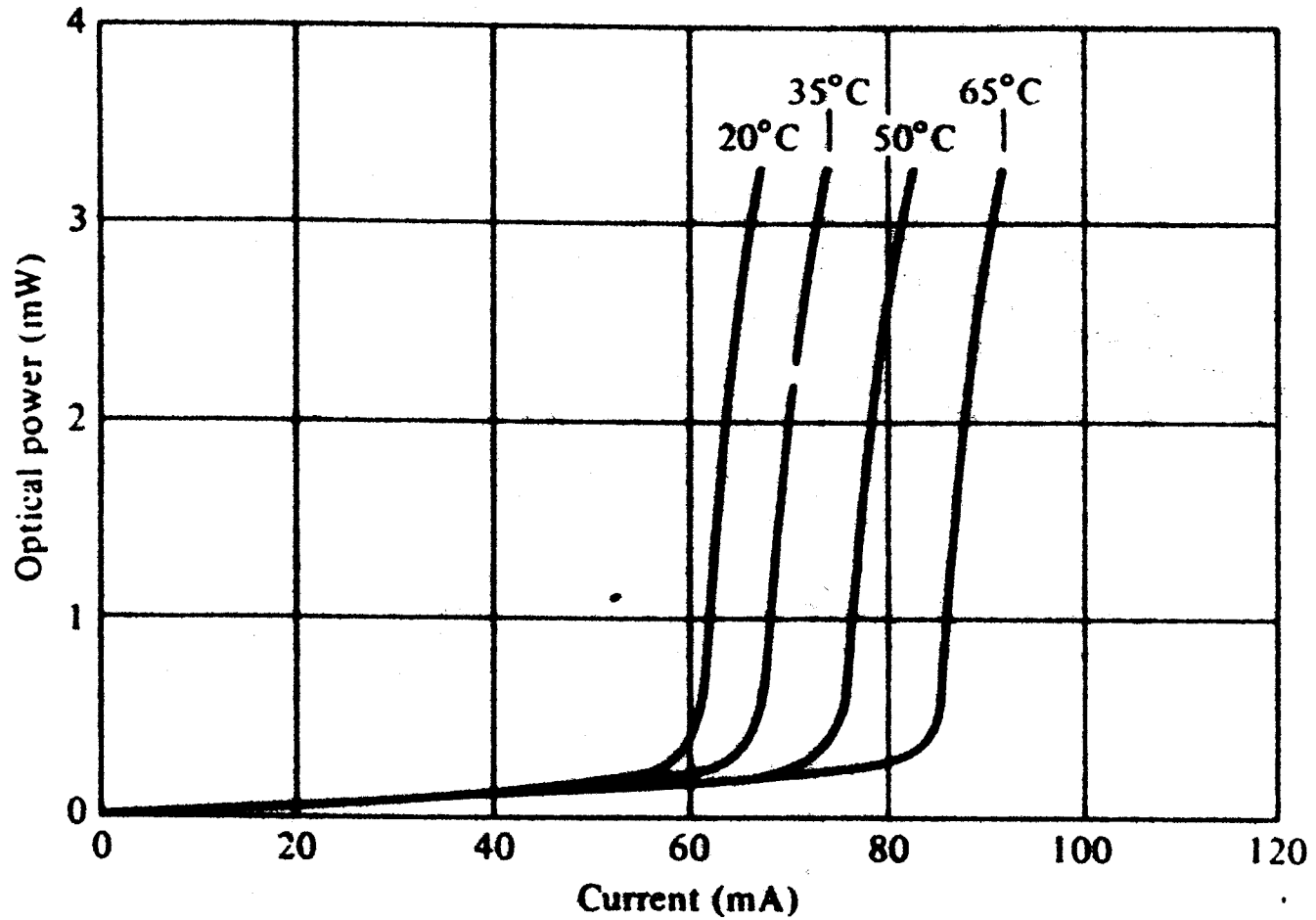
k : orde grating

Modus longitudinal dipisahkan simetris sekitar λ_B :

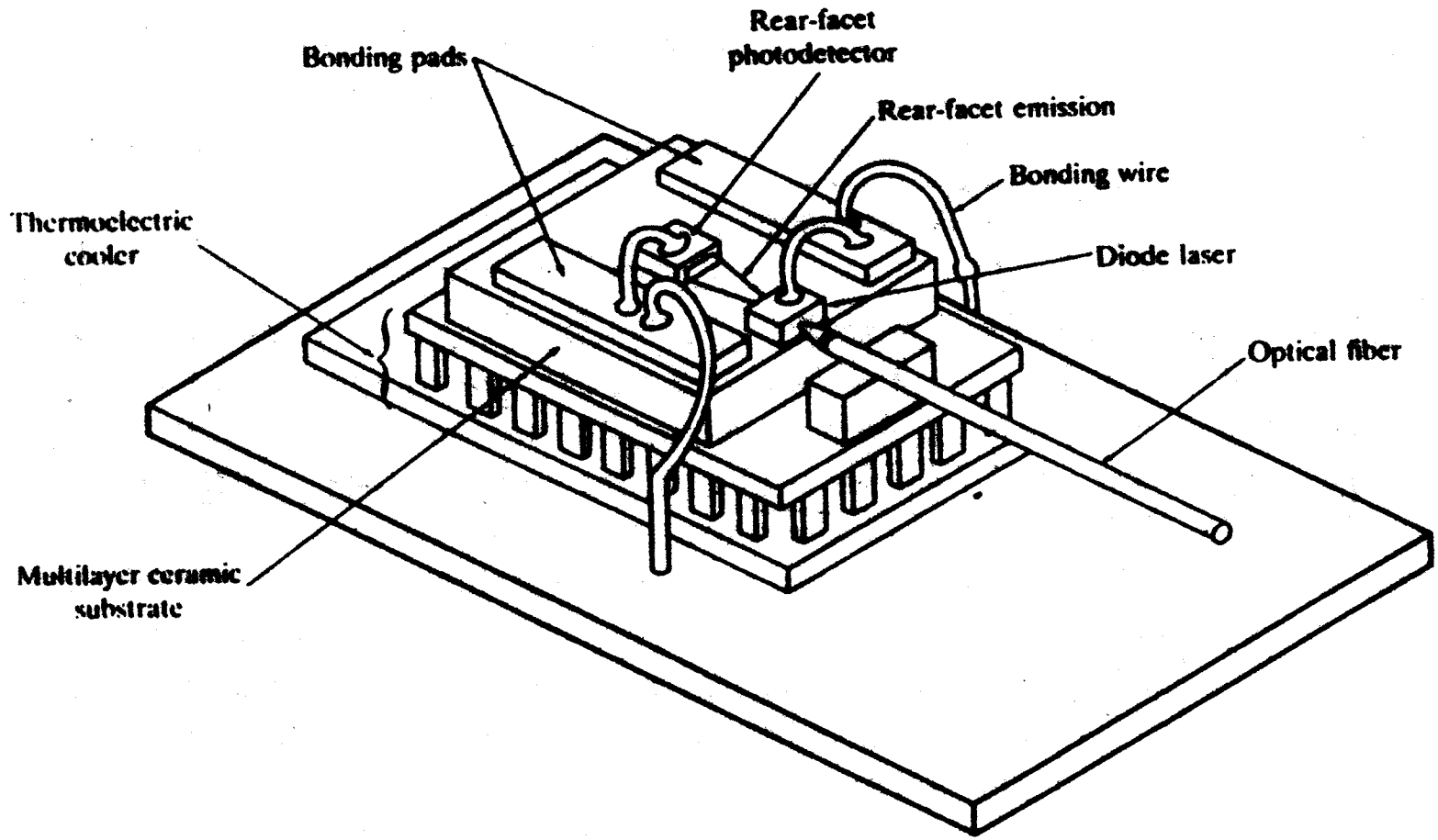
$$\lambda = \lambda_B \pm \frac{\lambda_B^2}{2n_e L_e} \left(m + \frac{1}{2} \right)$$



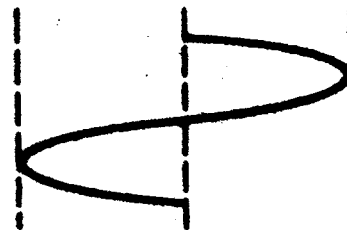
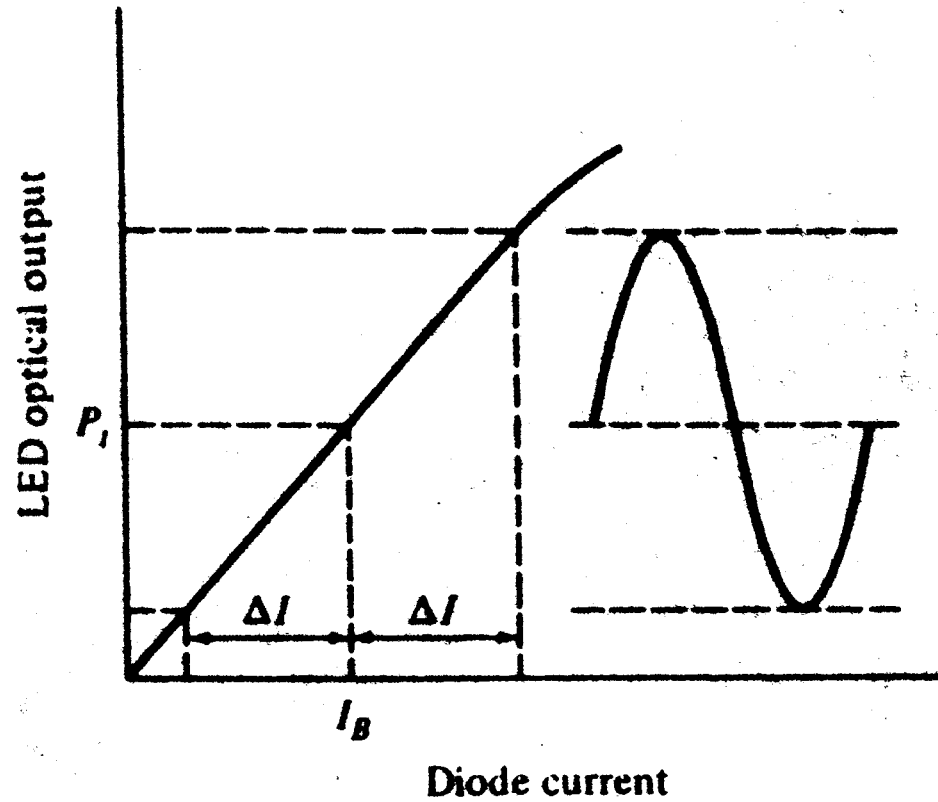
Spektrum keluaran terdistribusi sekitar λ_B dr dioda laser DFB



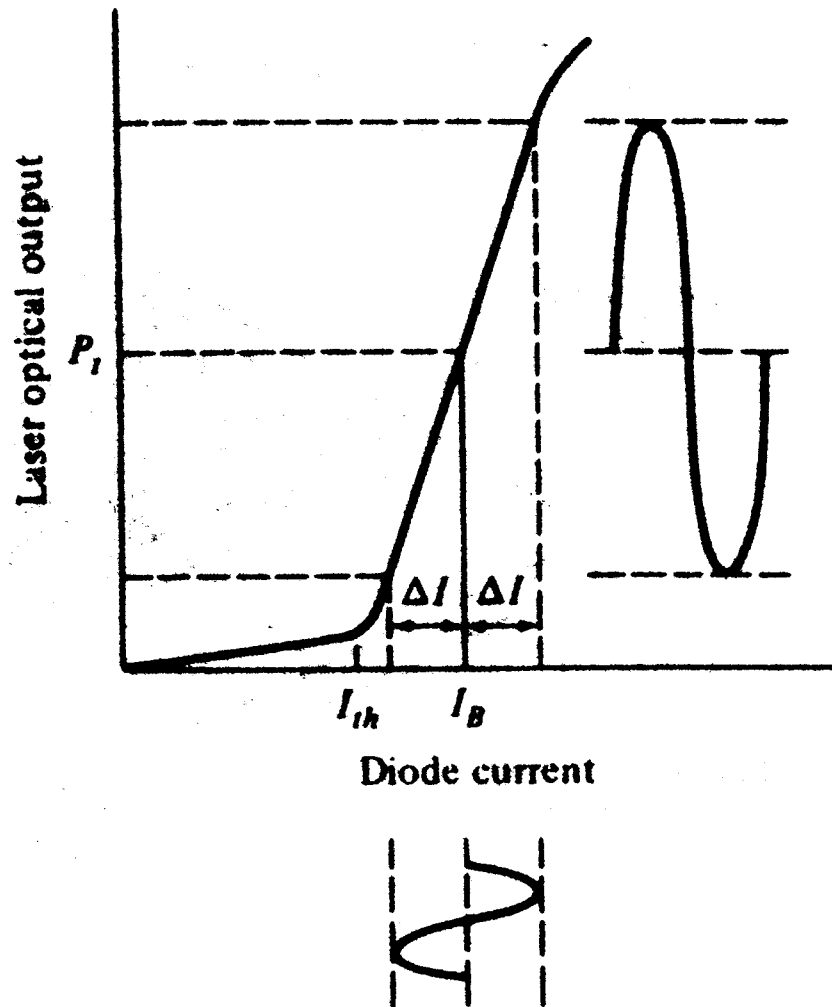
Sifat daya keluaran optis pd ketergantungan suhu



Konstruksi pemancar dioda laser menggunakan thermoelectric cooler utk stabilisasi.

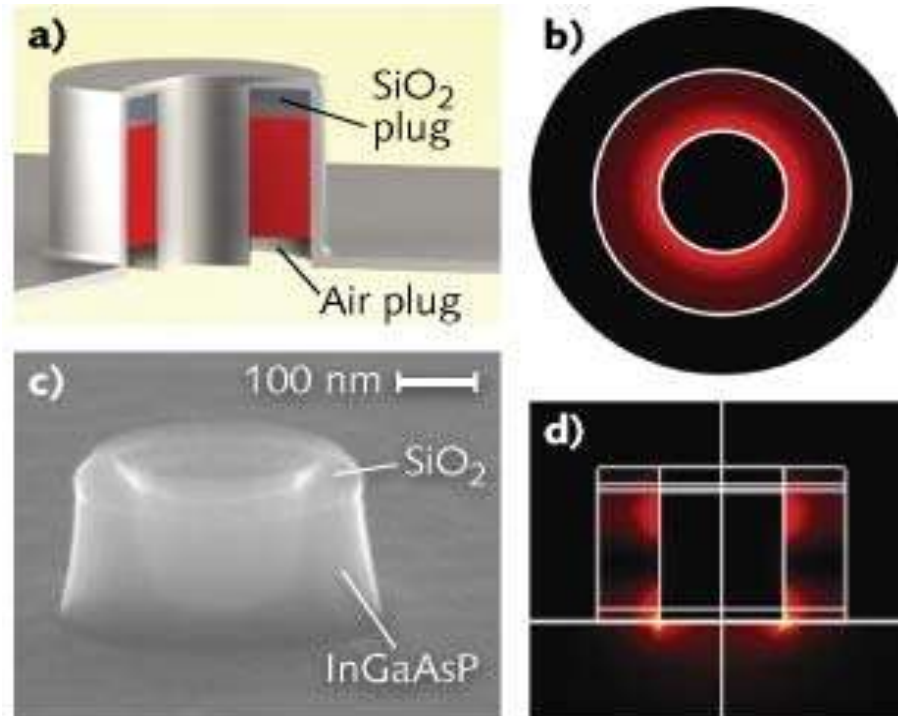


Ttk bias dan wilayah modulasi amplitudo pd aplikasi analog LED



Ttk bias dan wilayah modulasi amplitudo pd aplikasi analog Laser

Coaxial nanolaser



Diagrams reveal the construction (a) and mode structure (b and d) within the coaxial nanolasers; a scanning-electron micrograph shows the actual nanolaser (c).
(Courtesy of M. Khajavikhan)