



BÀI GIẢNG MÔN

CƠ SỞ TRUYỀN THÔNG SỢI QUANG

Bộ môn:

Thông tin quang - Khoa VT1

Năm biên soạn:

2010

Nội dung

Chương

- 1 Tổng quan về kỹ thuật thông tin quang
- 2 Sợi quang
- 3 **Bộ phát quang**
- 4 Bộ thu quang
- 5 Một số vấn đề trong thiết kế truyền TTQ đơn kênh điểm – điểm

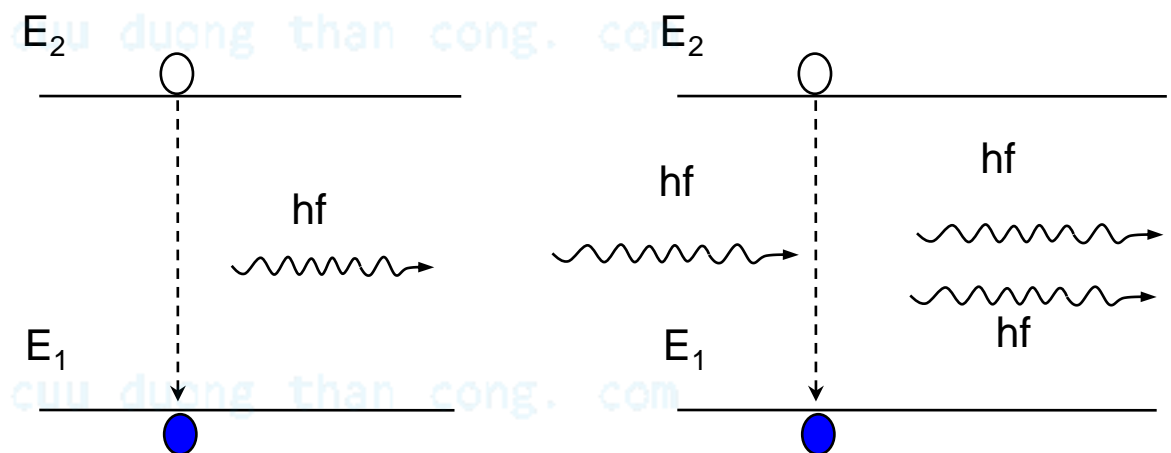
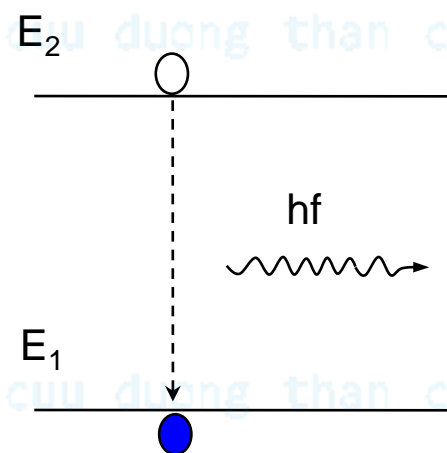
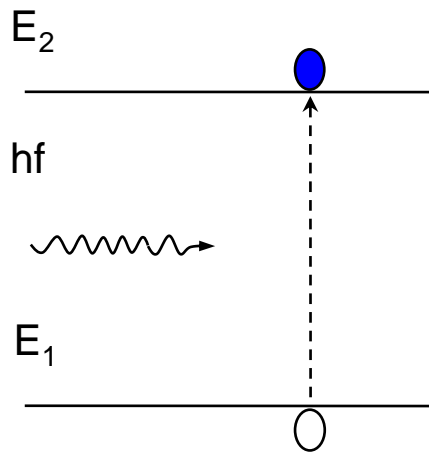
BỘ PHÁT QUANG

- ⊕ **Tiếp giáp dị thể kép**
- ⊕ **LED – Light Emitting Diode**
- ⊕ **Laser diode – LD**
- ⊕ **Các nguồn laser bán dẫn đơn mode**
- ⊕ **Bộ phát quang**

TIẾP GIÁP DỊ THỂ KÉP (1)

❖ Quá trình hấp thụ và phát xạ:

. Xét hệ 2 mức đơn giản: có 3 quá trình cơ bản



a) Quá trình hấp thụ

b) Phát xạ tự phát

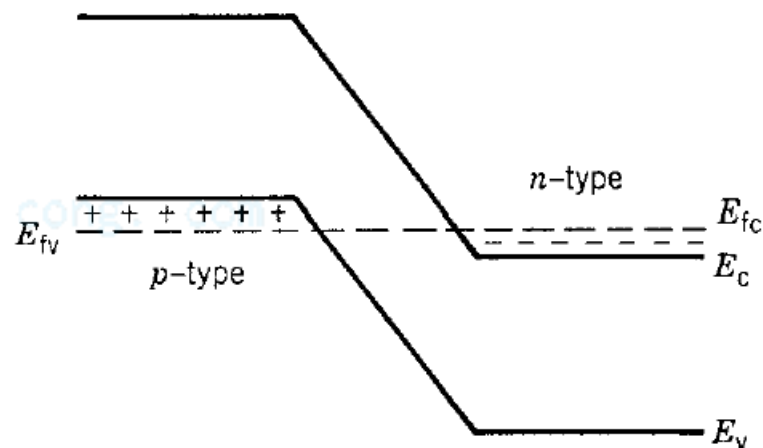
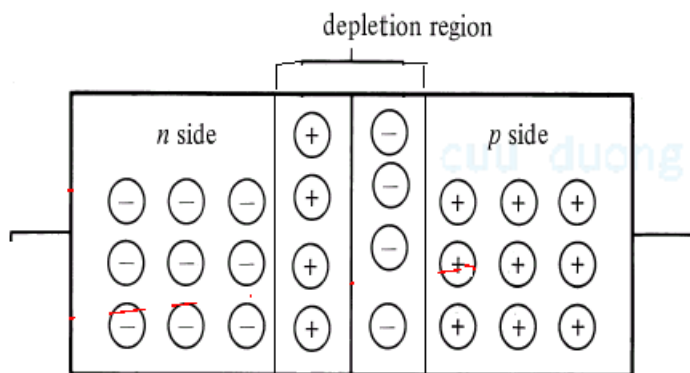
c) Phát xạ kích thích

TIẾP GIÁP DỊ THỂ KÉP (2)

❖ Tiếp giáp P-N:

. Hình thành từ hai loại bán dẫn loại n và bán dẫn loại p: Khi chưa đặt điện áp phân cực \Rightarrow Các hạt tải đa số khuếch tán qua lớp tiếp giáp \Rightarrow Hình thành hàng rào thế

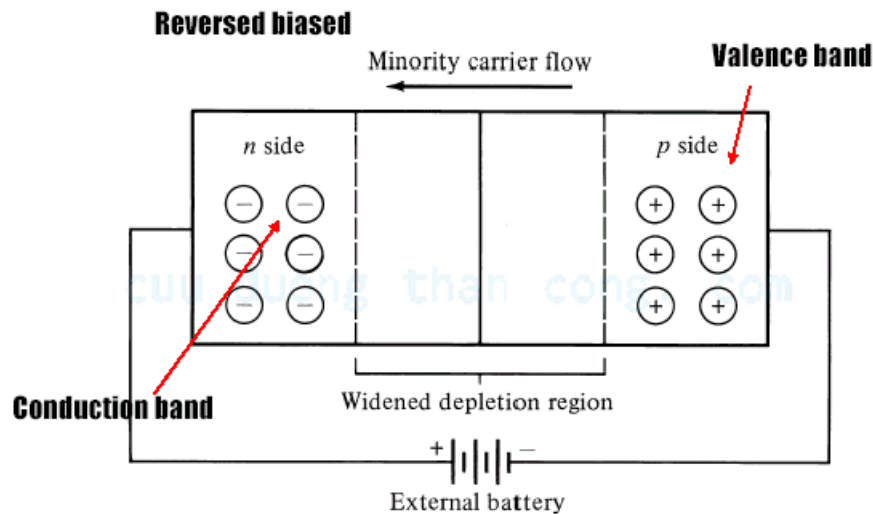
. Trạng thái cân bằng thiết lập \Rightarrow Vùng nghèo (không có hạt tải linh động)



TIẾP GIÁP DỊ THỂ KÉP (3)

❖ Tiếp giáp P-N:

. Phân cực ngược: Vùng nghèo mở rộng ra, các điện tử và các lỗ trống khó gặp nhau để tái hợp phát ra ánh sáng \Rightarrow Sử dụng trong photodiode.



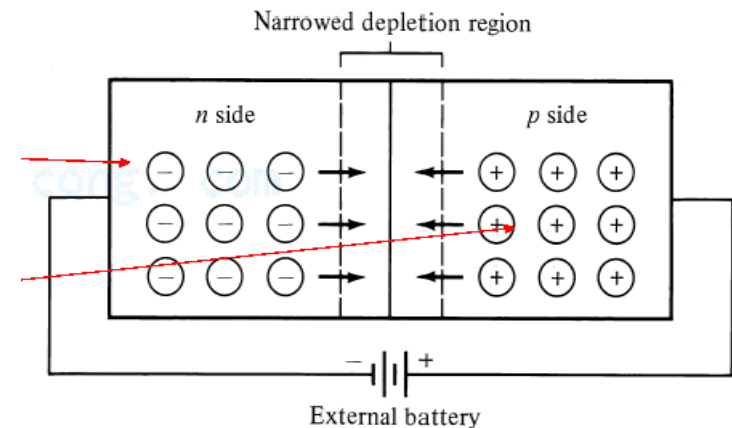
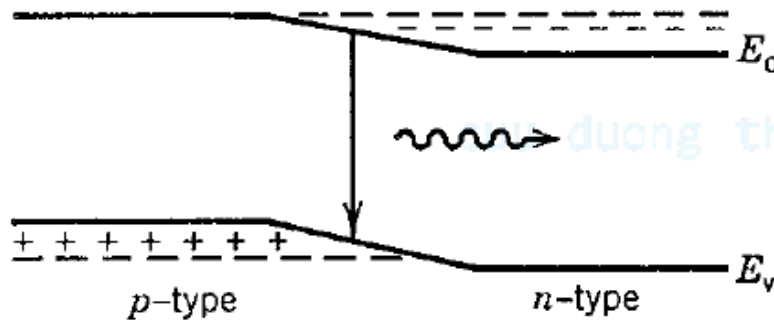
TIẾP GIÁP DỊ THỂ KÉP (4)

❖ Tiếp giáp P-N:

. Phân cực thuận: Vùng nghèo hẹp lại hay hàng rào thế thấp xuống \Rightarrow các điện tử và các lỗ trống được bơm vào vùng nghèo dễ dàng tái hợp phát ra ánh sáng.

. Quan hệ giữa dòng chạy qua tiếp giáp và thế đặt vào:

$$I = I_s [\exp(qV/k_B T) - 1],$$



TIẾP GIÁP DỊ THỂ KÉP (5)

. Cấu trúc đồng thể: các hạt tải không bị giam hãm \Rightarrow hiệu suất phát xạ kém.

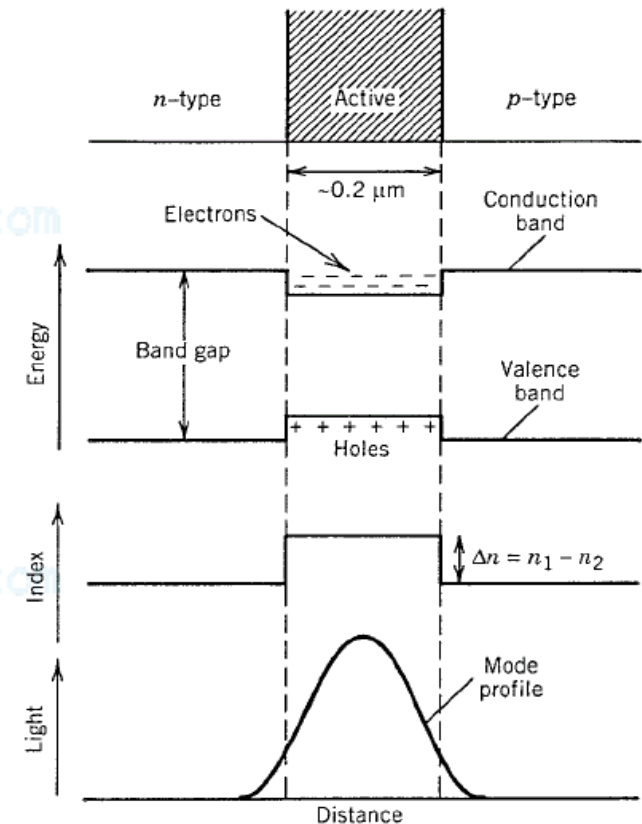
. Cấu trúc dị thể kép: gồm 3 lớp cơ bản

- Lớp bán dẫn mỏng ở giữa có E_g nhỏ (lớp tích cực)

- Hai lớp bán dẫn p và n hai bên có E_g lớn hơn (các lớp hạn chế)

. Ưu điểm:

- Giam hãm hạt tải
- Giam hãm photon



LED (1)

❖ Cấu trúc của LED:

. Cấu trúc dị thể kép

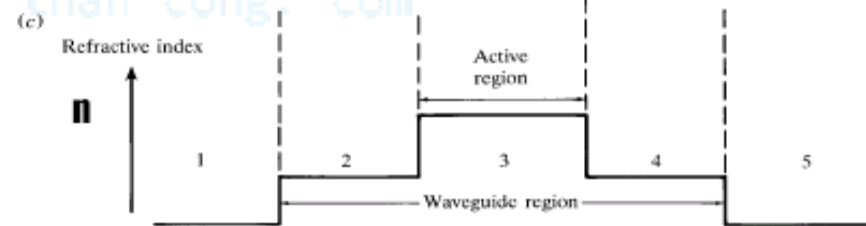
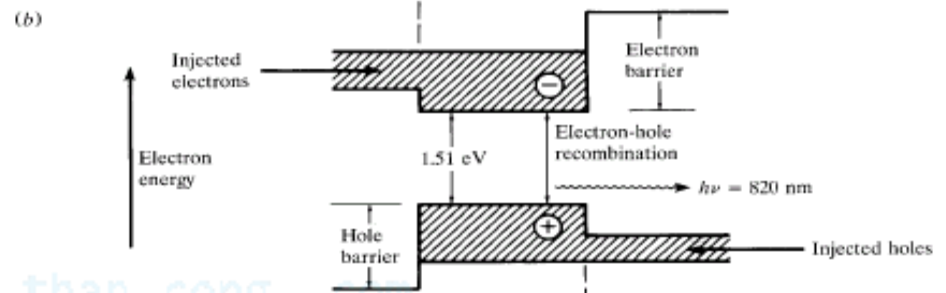
. Dựa trên cơ chế phát xạ tự phát

. ánh sáng phát ra là ánh sáng không kết hợp có độ rộng phổ lớn (30 - 60 nm)

. Độ rộng chùm sáng phát xạ lớn \Rightarrow Hiệu suất ghép nhỏ

(a)

Metal contact	<i>n</i> -type GaAs substrate	<i>n</i> -type Ga _{1-x} Al _x As Light guiding and carrier confinement $\sim 1 \mu\text{m}$	<i>n</i> -type Ga _{1-x} Al _y As Recombination region $\sim 0.3 \mu\text{m}$	<i>p</i> -type Ga _{1-x} Al _y As Light guiding and carrier confinement $\sim 1 \mu\text{m}$	<i>p</i> -type GaAs Metal contact improvement layer $\sim 1 \mu\text{m}$	Metal contact
---------------	-------------------------------	--	---	--	--	---------------

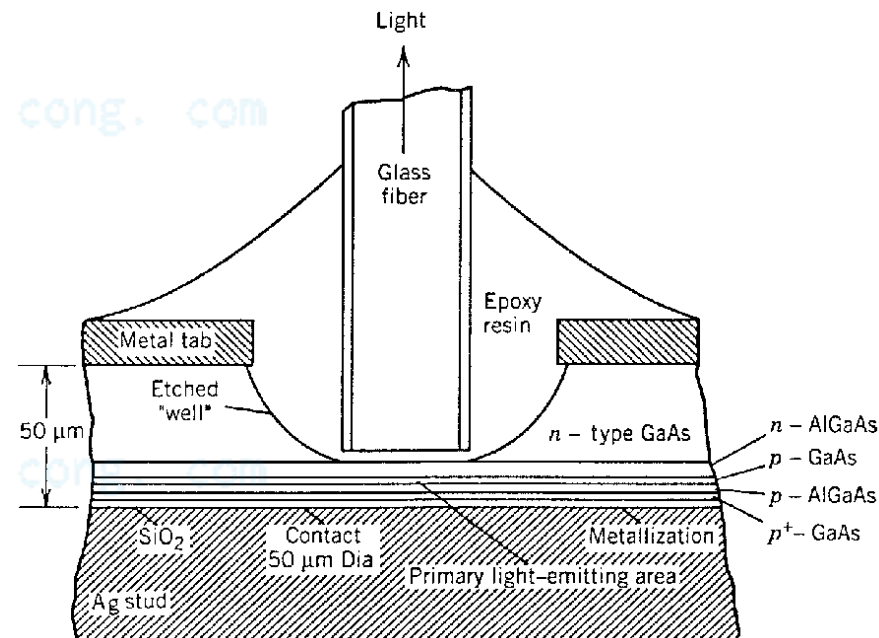
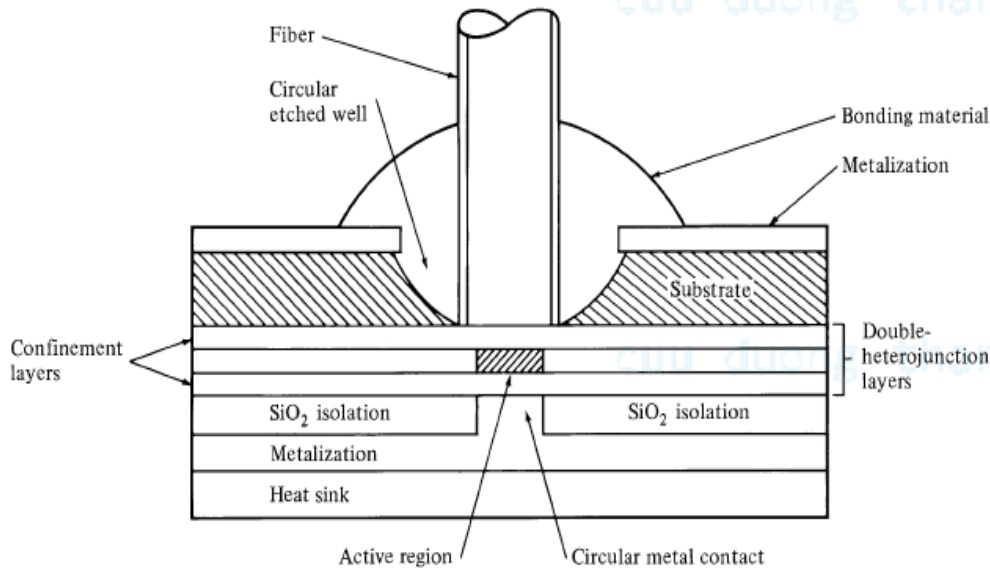


10

LED (2)

- ❖ Một số loại LED:
 - . LED phát xạ mặt:

Surface-emitting LED

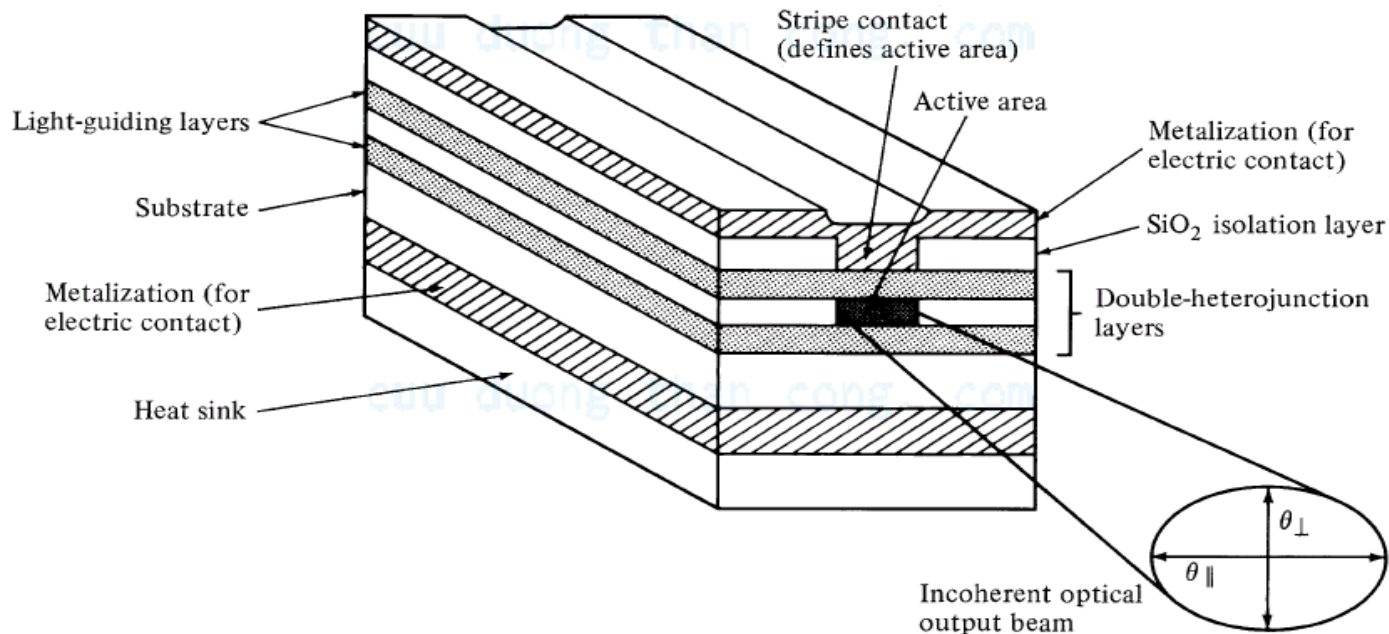


LED (3)

❖ Một số loại LED:

. LED phát xạ cạnh:

Edge-emitting LED



LED (4)

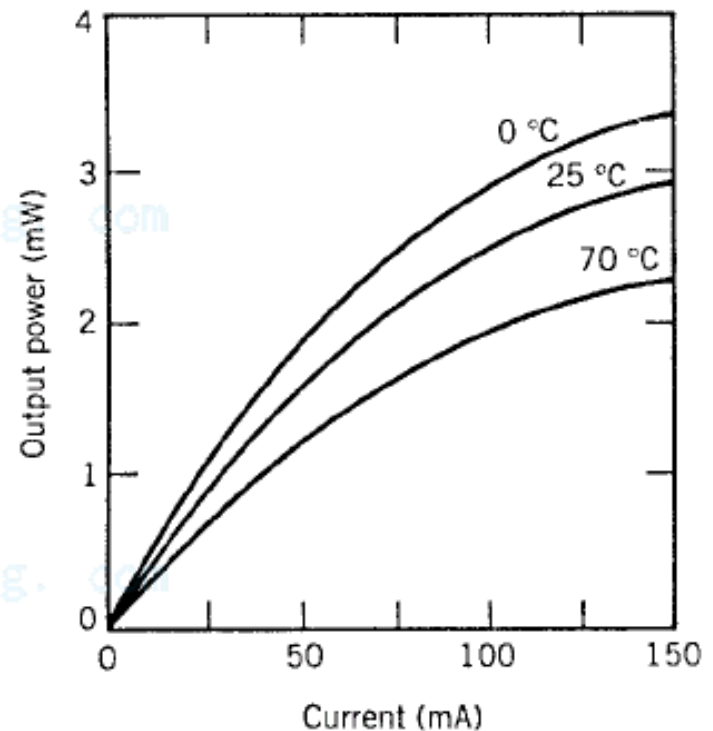
❖ Đặc tính P-I của LED:

. Độ đáp ứng của LED: $R_{LED} = P_e / I$

$$R_{LED} = \eta_{ext} \eta_{int} (\hbar\omega / q). \quad (3.31)$$

. Đường đặc tính P-I tỉ lệ theo I, bão hoà ở dòng bơm cao.

. Nhiệt độ tăng \Rightarrow Độ đáp ứng giảm.

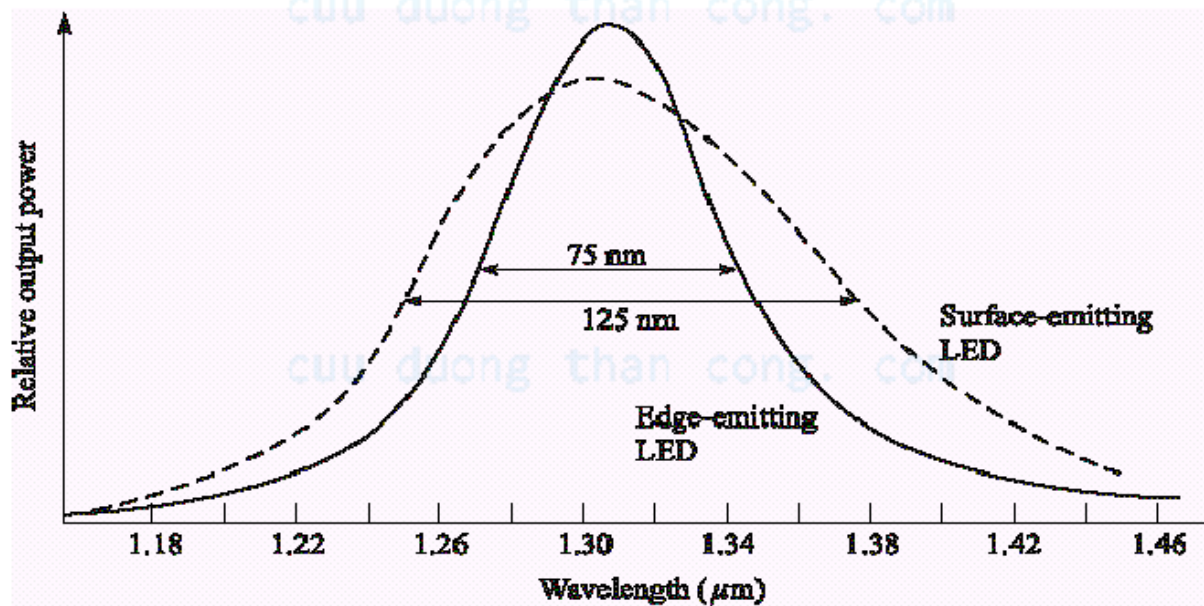


LED (5)

❖ Đặc tính phổ của LED:

. Phổ của LED liên quan đến phổ phát xạ tự phát.

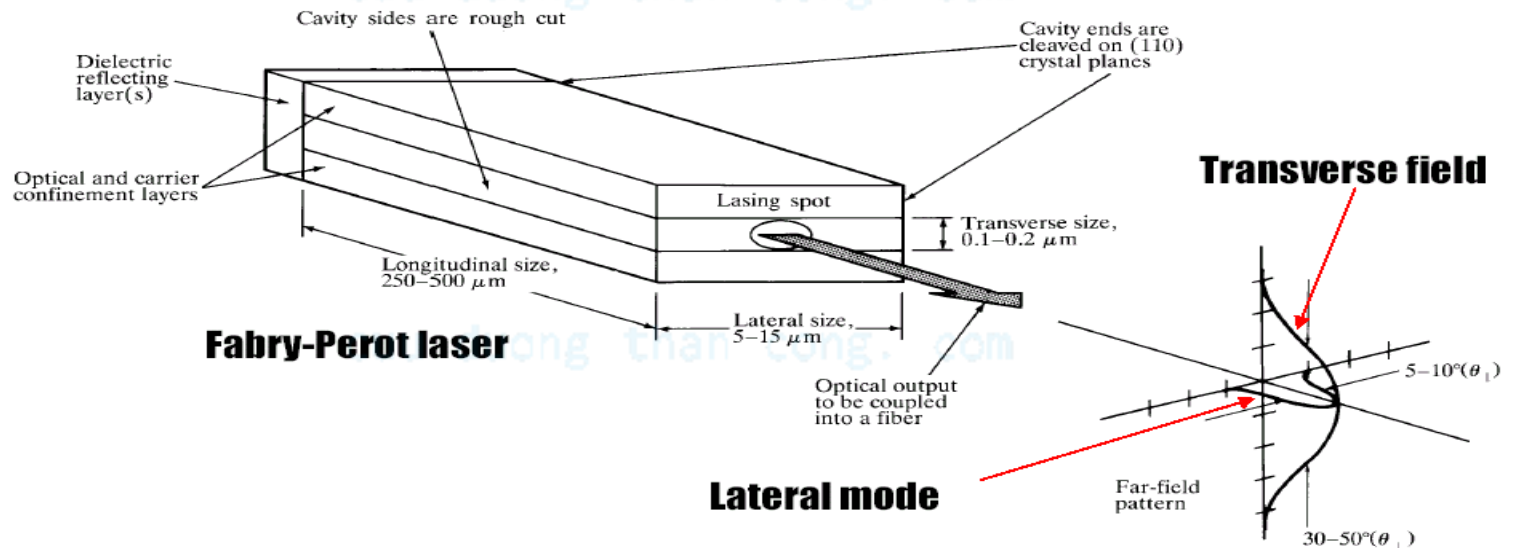
. Độ rộng phổ:
$$\Delta\nu = \Delta\lambda \frac{c}{\lambda^2} \approx 1.8 \frac{k_B T}{h} \quad (3.33)$$



LASER DIODE (LD) (1)

❖ Cấu tạo cơ bản của LD:

- . Laser: Bộ cộng hưởng trong một môi trường tích cực (khuyếch đại)
- . Laser bán dẫn hay LD: cấu trúc dị thể kép



Laser is a cavity, and forms lateral, transverse, and longitudinal modes

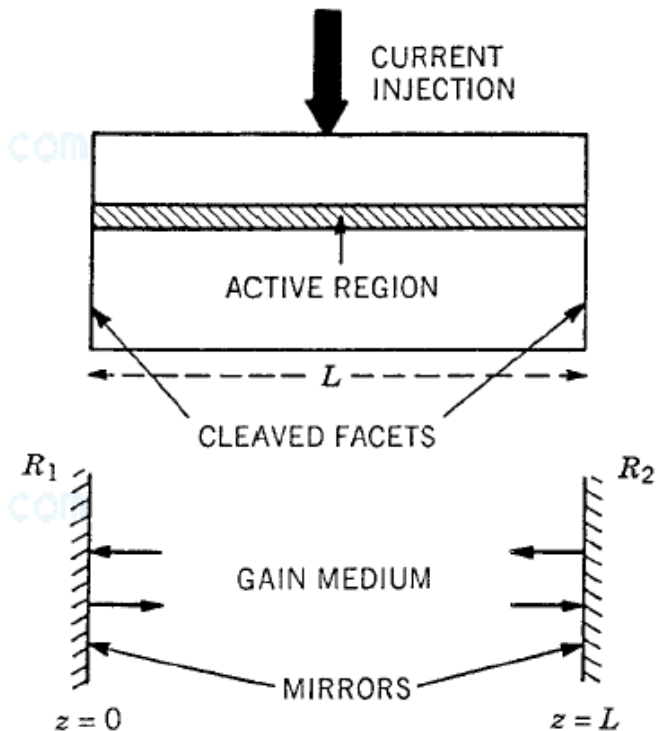
LASER DIODE (LD) (2)

❖ Điều kiện ngưỡng LD:

. Quá trình hồi tiếp quang: thực hiện trong một hộp cộng hưởng hình thành bởi 2 gương phản xạ.

. Độ phản xạ:
$$R_m = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2, \quad (3.43)$$

. Ngưỡng laser: các photon sinh ra từ phát xạ kích thích bổ xung cho các photon bị mất đi do suy hao \Rightarrow khđại quang phải đủ lớn để bù suy hao hộp cộng hưởng \Rightarrow Hoạt động laser chỉ xảy ra khi dòng bơm $>$ dòng ngưỡng.



LASER DIODE (LD) (3)

❖ Điều kiện ngưỡng LD:

. Biên độ tín hiệu quang sau mỗi lộ trình

$$E_0 \exp(gL) \sqrt{R_1 R_2} \exp(-\alpha_{\text{int}} L) \exp(2ikL) = E \quad (3.44)$$

Trong đó: E_0 -biên độ trước lộ trình, L -chiều dài lớp tích cực

α_{int} -suy hao bên trong hộp cộng hưởng, k -số sóng, R -hệ số phản xạ

. Điều kiện để phát xạ laser: (1) biên độ sau mỗi lộ trình phải lớn hơn biên độ ban đầu, (2) pha sau mỗi lộ trình phải không đổi.

. Tại ngưỡng: $E_0 \exp(gL) \sqrt{R_1 R_2} \exp(-\alpha_{\text{int}} L) \exp(2ikL) = E_0. \quad (3.45)$

. Về biên độ: $g = \alpha_{\text{int}} + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) = \alpha_{\text{int}} + \alpha_{\text{mir}} = \alpha_{\text{cav}}, \quad (3.46)$

LASER DIODE (LD) (4)

❖ Điều kiện ngưỡng LD:

. Điều kiện về pha: $2kL = 2m\pi$ or $\nu = \nu_m = mc/2nL$,
m-số nguyên \Rightarrow các tần số của các mode dọc phát xạ laser. (3.47)

. Giả sử phổ kđại dạng Gauss:

$$g(\lambda) = g(0) \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.48)$$

$$m = \frac{L2n}{\lambda} = \frac{2Ln}{c} \nu_m \quad m-1 = \frac{L2n}{\lambda} = \frac{2Ln}{c} \nu_{m-1}$$

$$\Delta\nu = \nu_m - \nu_{m-1} = \frac{c}{2Ln} \quad \text{Frequency difference of two modes} \quad (3.49)$$

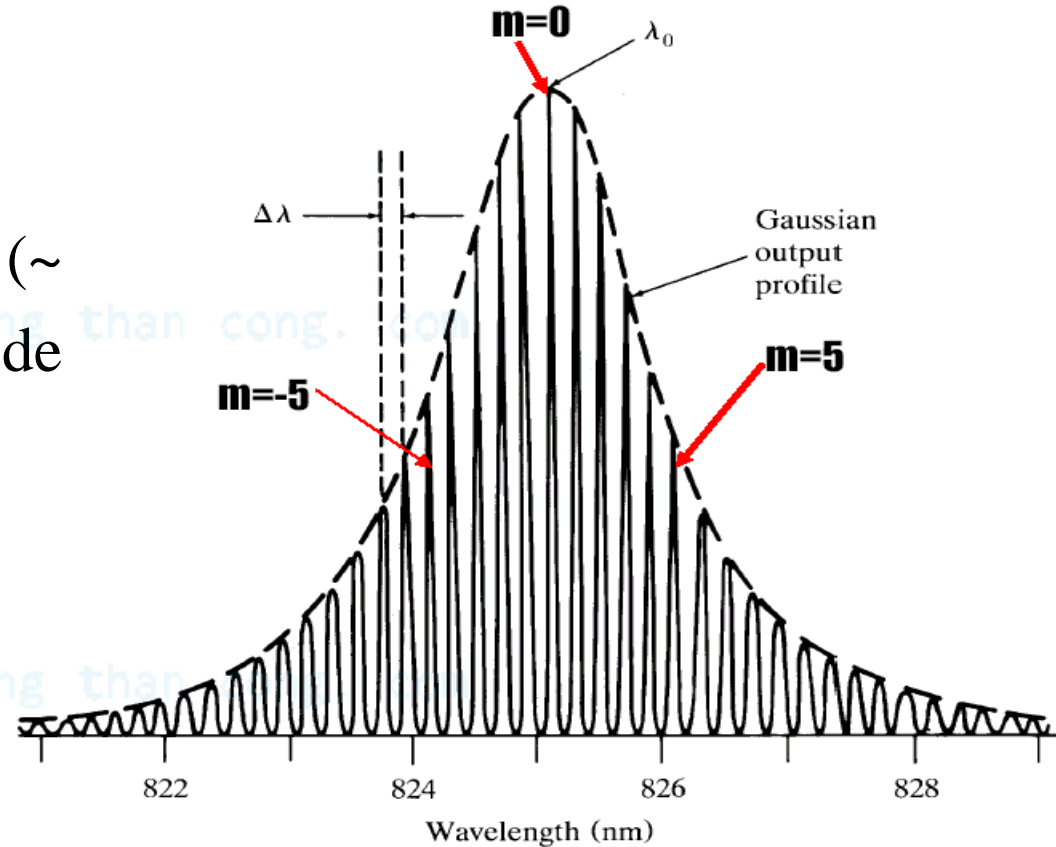
↓

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$$

LASER DIODE (LD) (5)

❖ Điều kiện ngưỡng LD:

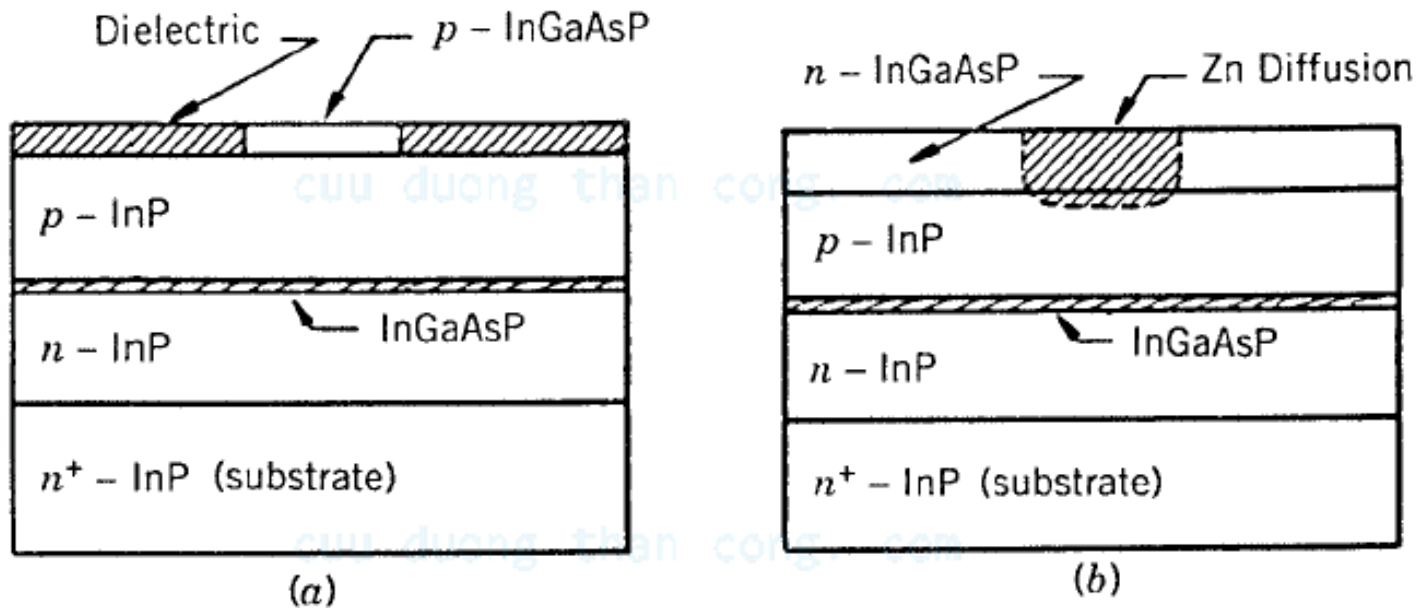
. Do phổ kđại laser đủ rộng (~ 10 THz) \Rightarrow Tồn tại nhiều mode dọc \Rightarrow Laser đa mode



Multimode FP laser spectrum

LASER DIODE (LD) (6)

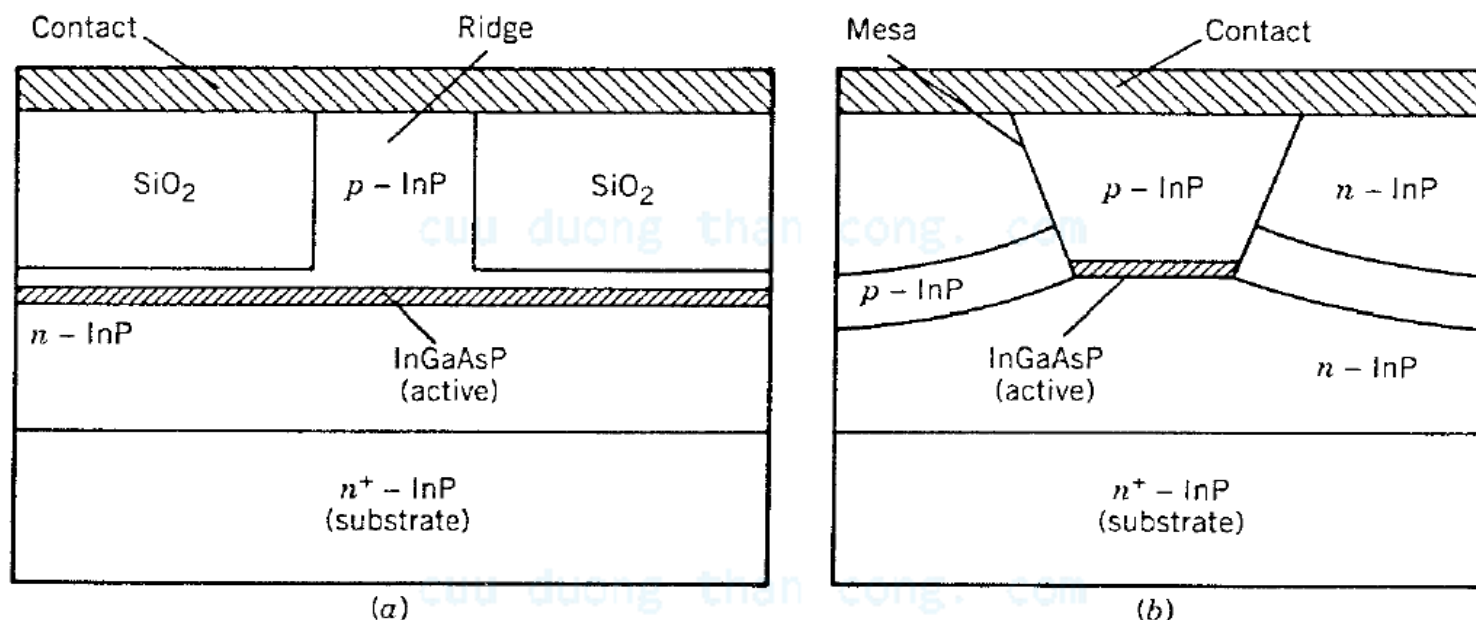
❖ Các cấu trúc của LD:



Cấu trúc LD dẫn sóng khúc xạ đại (a) dải oxide (b) dải tiếp giáp

LASER DIODE (LD) (7)

❖ Các cấu trúc của LD:



Cấu trúc LD dẫn sóng chiết suất (a) dẫn sóng chiết suất yếu (b) dẫn sóng chiết suất mạnh

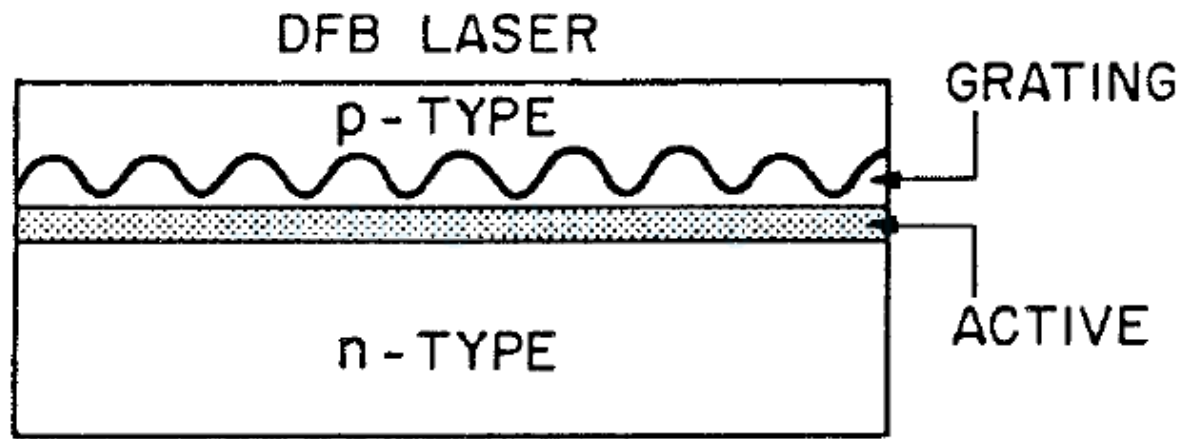
LASER DIODE (LD) (8)

❖ Các cấu trúc của LD:

. Laser phân bố hồi tiếp (DFB): Quá trình hồi tiếp được thực hiện bởi nhiều xạ Bragg ghép cặp các sóng lan truyền theo chiều thuận ngược.

cuuduongthancong.com

Ghép cặp chỉ xảy ra đối với mode thoả mãn điều kiện Bragg:

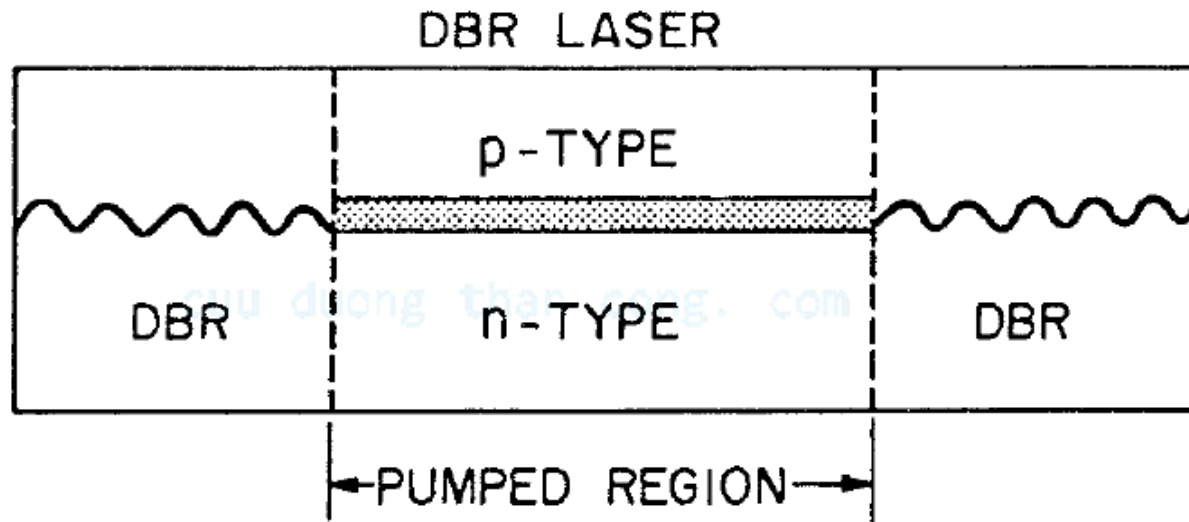


LASER DIODE (LD) (9)

❖ Các cấu trúc của LD:

. Laser bộ phản xạ Bragg phân bố (DFB): Cách tử Bragg hai đầu được sử dụng như gương phản xạ.

Độ phản xạ đạt cực đại tại bước sóng thoả mãn điều kiện Bragg.



LASER DIODE (LD) (10)

❖ Đặc tính của LD:

. Trạng thái tĩnh: Đặc tính P-I

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT

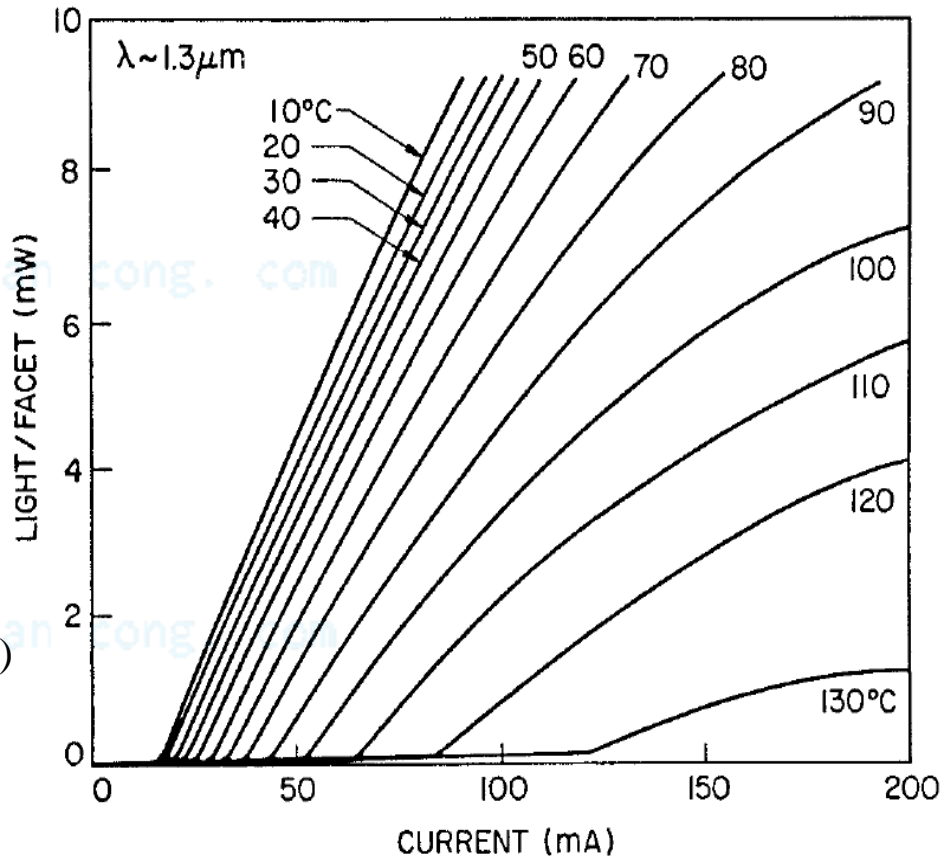
$$I_{th} = I_{th0} e^{T/T_0} \quad (3.74)$$

$$\eta = \eta_0 e^{-T/T'_0} \quad (3.75)$$

Thăng giáng công suất phát xạ
theo nhiệt độ:

$$\frac{P(T + \Delta T)}{P(T)} = e^{-\Delta T/T'_0} \left(1 + \frac{1 - e^{\Delta T/T_0}}{m - 1} \right) \quad (3.76)$$

$$m = \frac{I}{I_{th0} e^{T/T_0}} = \frac{I}{I_{th}} \quad (3.77)$$



LASER DIODE (LD) (11)

❖ **Nhiều của LD:**

. Các nguồn nhiễu chính từ LD:

- Nhiễu vì sự hồi tiếp quang bên ngoài
- Nhiễu liên quan đến dao động hồi phục
- Nhiễu vì nhảy mode
- Nhiễu phân mode
- Nhiễu vì phát xạ tự phát
- Nhiễu vì thăng giáng do nhiệt độ và dòng bơm

. Nhiễu cường độ tương đối RIN:

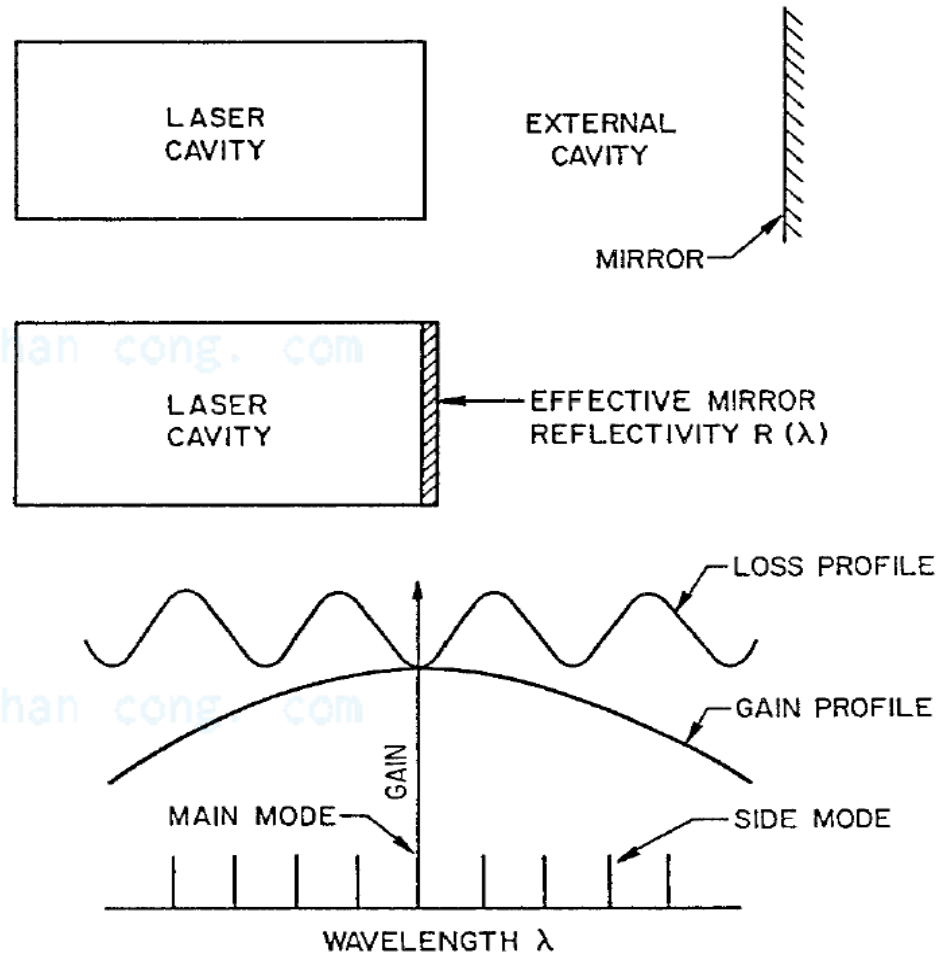
Hai cơ chế sinh nhiễu cơ bản:

- Phát xạ tự phát (chiếm ưu thế)
- Nhiễu nổ (tái hợp điện tử-lỗ trống)

CÁC NGUỒN LD ĐƠN MODE (1)

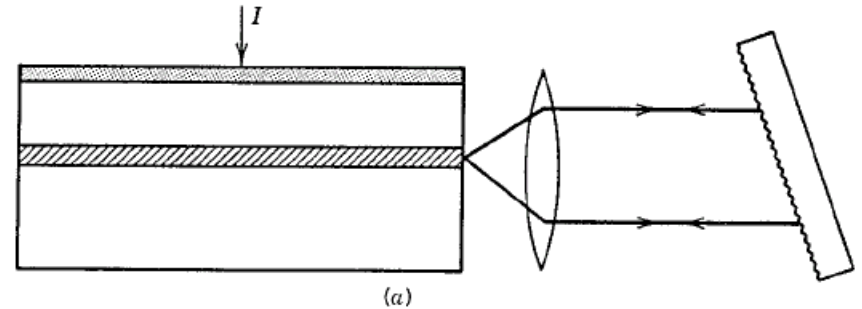
. Laser ghép cặp hộp cộng hưởng:

Sự dịch pha trong hộp cộng hưởng ngoài \Rightarrow ghép cặp chỉ xảy ra đối với hồi tiếp đồng pha cho các mode laser có bước sóng trùng với một trong các mode dọc.

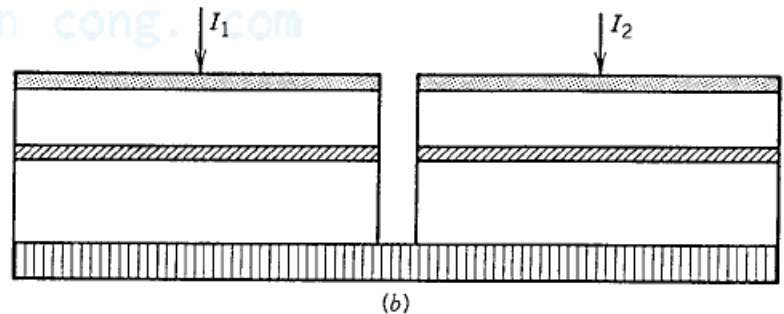


CÁC NGUỒN LD ĐƠN MODE (2)

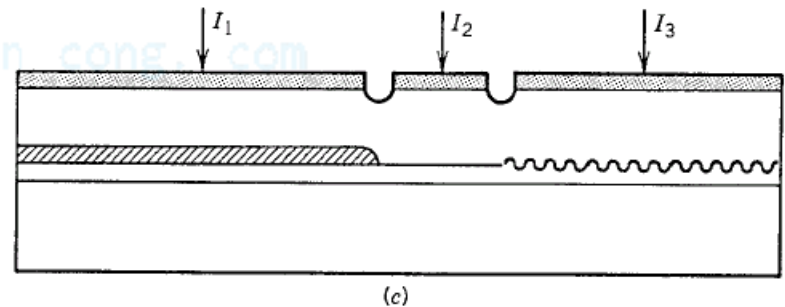
. Laser hộp cộng hưởng ngoài



. Laser hộp cộng hưởng phân chia ghép cặp.

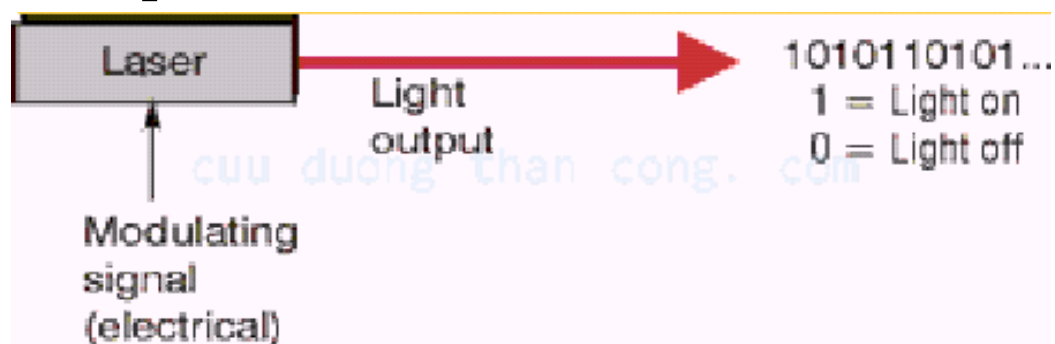


. Laser DBR nhiều phần.

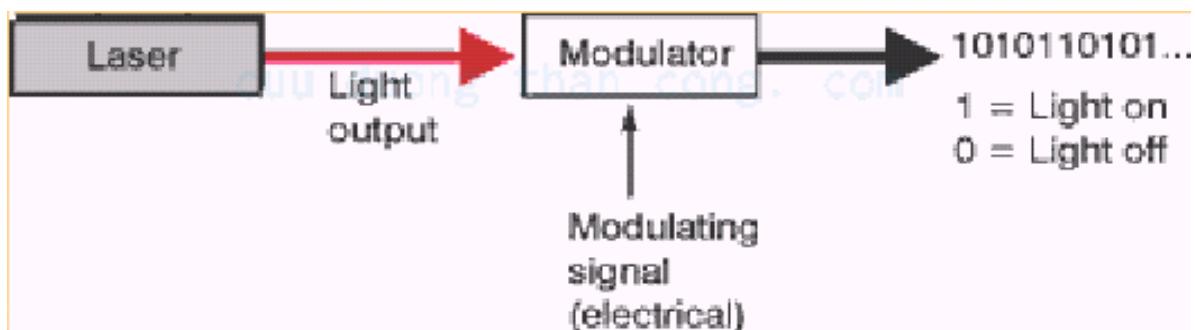


BỘ PHÁT QUANG (1)

- ❖ Giới thiệu: Có 2 loại bộ phát quang
 - . Điều biến trực tiếp: LED or LD



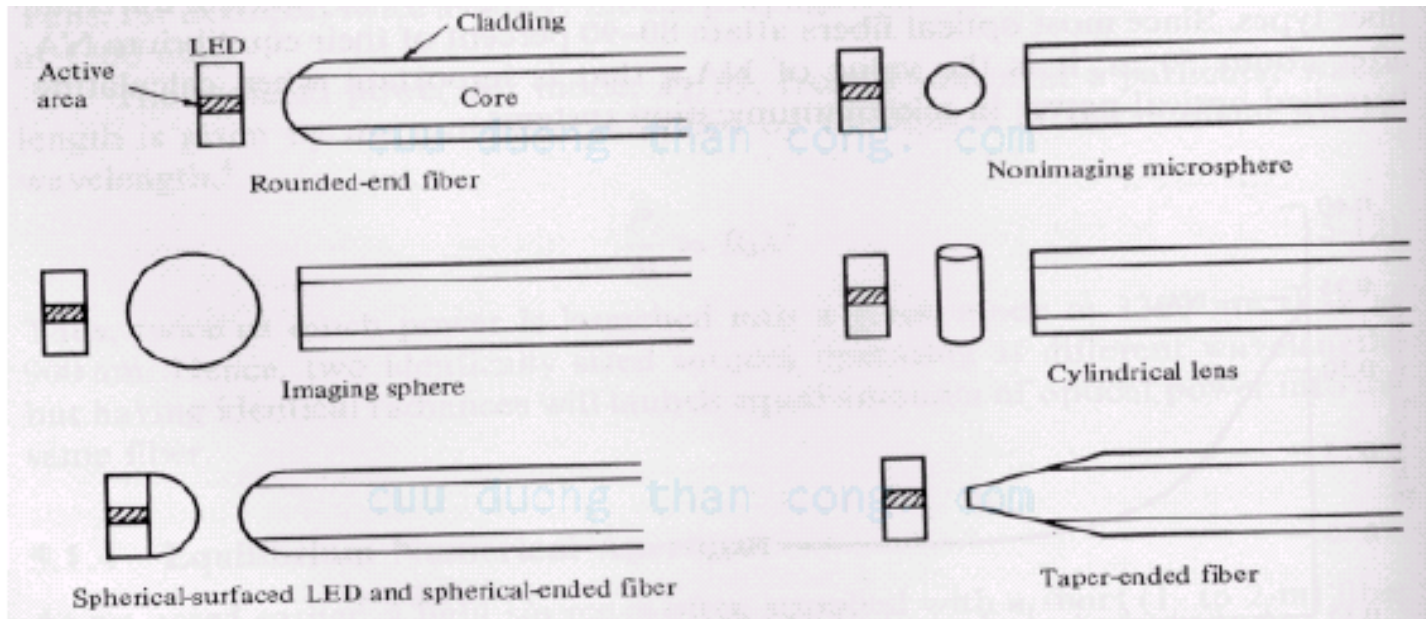
- . Điều biến ngoài: LD + Bộ điều chế ngoài



BỘ PHÁT QUANG (2)

❖ Ghép nối nguồn quang và sợi:

. Đối với LED: Sử dụng vi thấu kính: $\sim 1 - 10 \%$

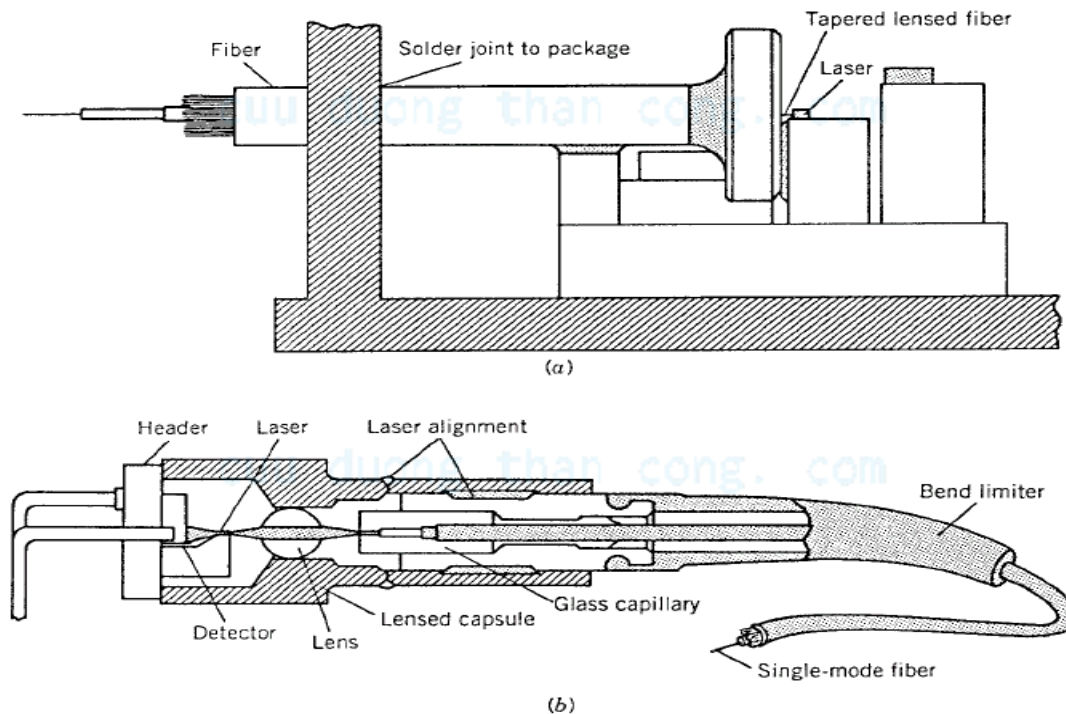


. Đối với SLED: $\sim 1 \%$, ELED: $\sim 10 \%$

BỘ PHÁT QUANG (3)

❖ Ghép nối nguồn quang và sợi:

. Đối với LD: Sử dụng vi thấu kính: $\sim 40 - 90 \%$



BỘ PHÁT QUANG (4)

❖ Mạch phát điều biến cường độ:

. Mạch kích thích sử dụng LED:

- Đối với tín hiệu tương tự: Sử dụng transistor lưỡng cực, LED kết nối với cực c hoặc e với một điện trở hạn chế dòng. Tín hiệu điều biến đưa vào cực b.

Dòng điều biến: $i(t) = I_b + I_m \cdot \cos \omega t \Rightarrow P = P_b + P_m \cdot \cos \omega t$

(3.118)

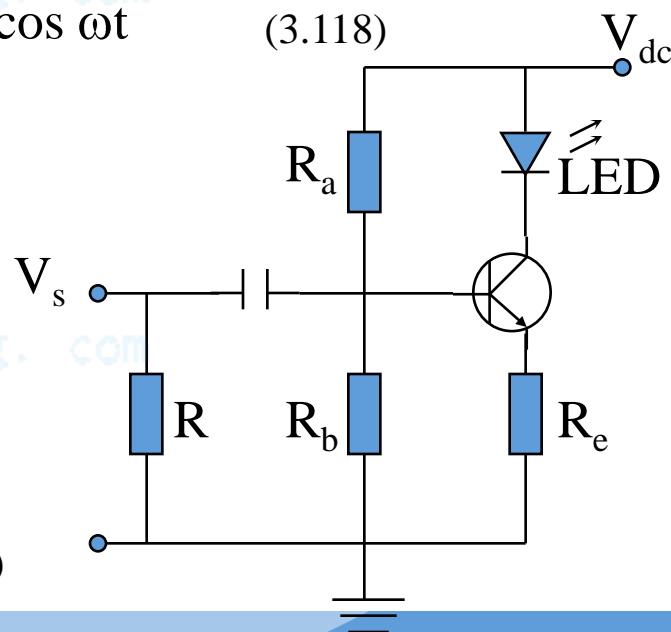
$m = I_m/I_b$ - độ sâu điều biến (3.119)

$\Rightarrow m' = P_m/P_b$ - độ sâu điều biến quang

Theo mạch:
$$I_b = \frac{\beta(V_1 - V_0)}{R_1 + (1 + \beta)R_e} \quad (3.120)$$

Trong đó:
$$R_1 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b} \quad V_1 = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{dc}$$

Dòng chạy qua LED: $V_{dc} = i_c R_e + v_{CE} + v_d \quad (3.121)$

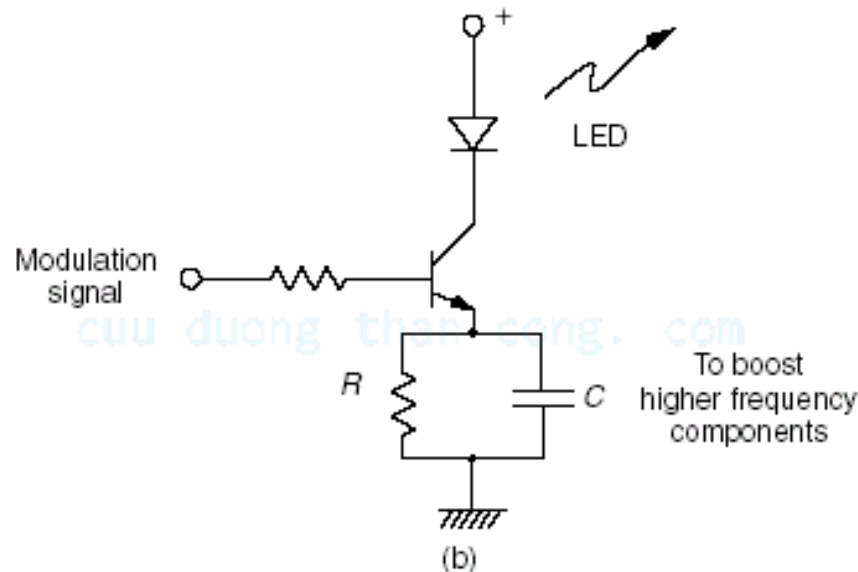


BỘ PHÁT QUANG (5)

❖ Mạch phát điều biến cường độ:

. Mạch kích thích sử dụng LED:

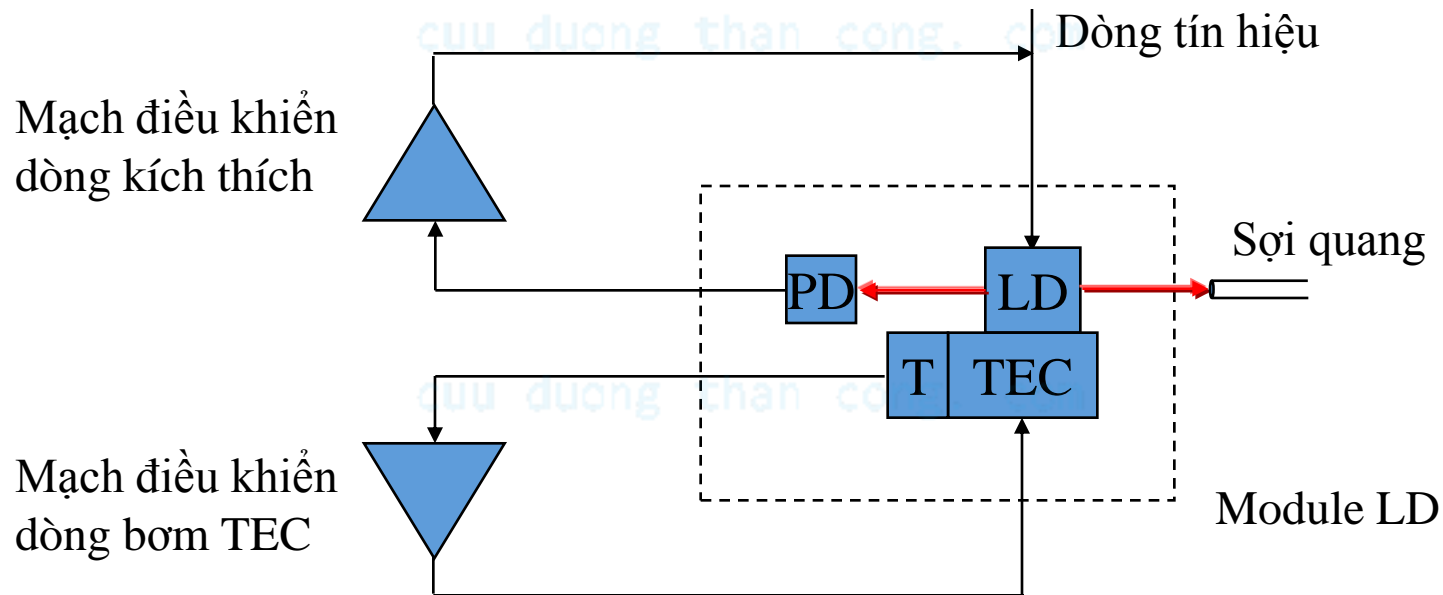
- Đối với tín hiệu số: Không cần phân cực. sử dụng transistor lưỡng cực, LED có thể được mắc nối tiếp hoặc song song. Tụ C để tăng tốc độ điều biến.



BỘ PHÁT QUANG (6)

❖ Mạch phát điều biến cường độ:

. Mạch kích thích sử dụng LD: Khác với LED, các mạch kích thích LD cần có mạch vòng điều khiển ổn định công suất phát quang.



BỘ PHÁT QUANG (7)

- ❖ Mạch phát điều biến cường độ:
 - . Mạch kích thích sử dụng LD:

