



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Posts & Telecommunications Institute of Technology

Cơ sở kỹ thuật thông tin quang

Fundamentals of Optical Communications

Giảng viên: Cao Hồng Sơn
Tel: 0904107272- Mail: kaosonvt1@gmail.com
Bộ môn Tín hiệu và Hệ thống

Học kì II, 2019- 2020

30/03/2022

1



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Posts & Telecommunications Institute of Technology

Chương 3

Bộ phát quang

2



Giới thiệu môn học

Chương 3: Bộ phát quang (8t)

- ❖ Một số vấn đề cơ bản trong vật lí quang bán dẫn
 - ✖ Quá trình phát xạ và hấp thụ
 - ✖ Các vật liệu bán dẫn
 - ✖ Tiếp giáp p-n
 - ✖ Tái hợp không bức xạ
- ❖ Nguồn LED
 - ✖ Cấu tạo và phân loại nguồn LED
 - ✖ Đặc tính của LED
- ❖ Laser laser bán dẫn (LD)
 - ✖ Cấu tạo cơ bản của nguồn laser bán dẫn
 - ✖ Đặc tính của LD
 - ✖ Các nguồn LD đơn mode
- ❖ Điều biến nguồn quang
- ❖ Một số vấn đề trong thiết kế bộ phát quang
 - ✖ Ghép nối nguồn - sợi quang
 - ✖ Mạch kích thích nguồn quang
 - ✖ Ôn định nguồn quang

30/03/2022
Cao Hồng Sơn

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Posts & Telecommunications Institute of Technology

3



Bộ phát quang

- Khái quát chung về nguồn quang
 - ✓ Là phần tử chính của thiết bị phát quang
 - ✓ Nhiệm vụ chính: biến đổi tín hiệu điện (E) → tín hiệu quang (O)
 - ✓ Trong TTQ, sử dụng nguồn quang bán dẫn.
 - ✓ 2 loại nguồn quang: LED, Laser



Bộ phát quang

- Khái quát chung về nguồn quang

Yêu cầu đối với nguồn quang:

- ✓ Kích thước nhỏ gọn
- ✓ Hiệu suất cao, công suất bức xạ lớn
- ✓ Vùng bức xạ hẹp
- ✓ Phổ bức xạ hẹp
- ✓ Bước sóng phù hợp với sợi quang
- ✓ Tuổi thọ cao, độ tin cậy lớn
- ✓ Có thể điều chế trực tiếp tại tốc độ cao



Bộ phát quang

- Khái quát chung về nguồn quang

Đặc tính chất lượng cơ bản của nguồn quang:

- ✓ Bước sóng định
- ✓ Độ rộng phổ
- ✓ Công suất phát
- ✓ Tốc độ điều chế

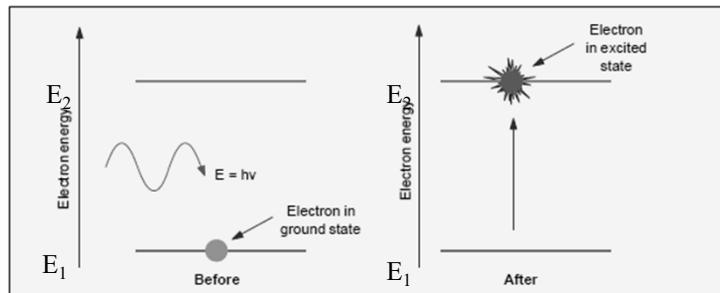
Đánh đổi chi phí/ Hiệu năng
(Cost/Performance trade off)



Một số vấn đề cơ bản

- Nguyên lý biến đổi điện quang

- Dựa trên 3 hiện tượng: hấp thụ, bức xạ tự phát, bức xạ kích thích



Quá trình hấp thụ

$$\text{Điều kiện: } E_{ph} = E_g = E_2 - E_1 \quad (3.1)$$

$$E_{ph} = E = \frac{hc}{\lambda} \quad \lambda[\mu m] = \frac{1,24}{E_g [eV]} \quad (3.2)$$

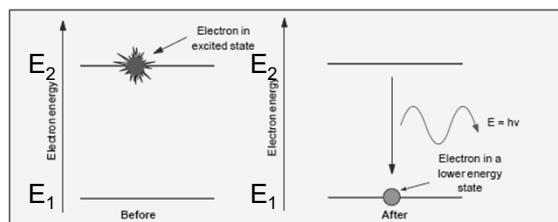
$h=6,63 \times 10^{-34} J.s=4,14 eV.s$; $c=3 \times 10^8 m/s$;



Một số vấn đề cơ bản

- Nguyên lý biến đổi quang điện

- Dựa trên 3 hiện tượng: hấp thụ, bức xạ tự phát, bức xạ kích thích



Quá trình phát xạ tự phát

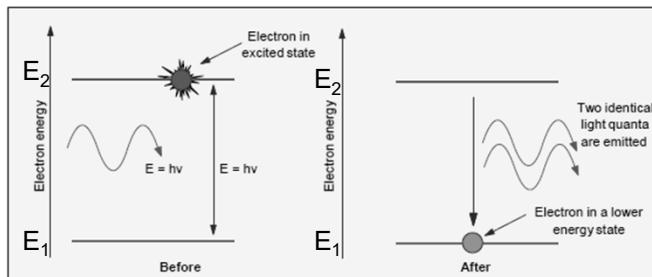
- e chuyển từ $E_2 \rightarrow E_1$ và giải phóng năng lượng $E_g = E_2 - E_1$ dưới dạng photon AS
- Quá trình xảy ra tự nhiên
- Photon phát xạ có hướng, pha, tần số, phân cực là ngẫu nhiên \rightarrow AS không kết hợp
- Bước sóng phát xạ được xác định bởi năng lượng của e đã được giải phóng ($E=h\nu$)



Một số vấn đề cơ bản

- Nguyên lý biến đổi quang điện

- Dựa trên 3 hiện tượng: hấp thụ, bức xạ tự phát, bức xạ kích thích



Quá trình phát xạ kích thích

$$\text{Photon kích thích có } E_{\text{ph}} = E_2 - E_1$$

Photon phát xạ có tần số, pha, phân cực và hướng truyền
cùng với photon kích thích → AS kết hợp



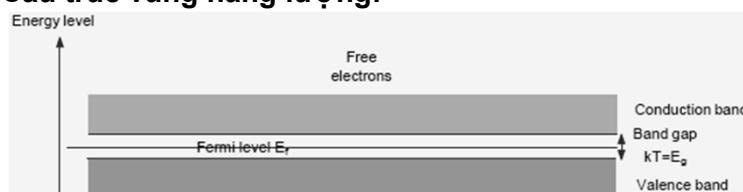
Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

- Chất bán dẫn:**

- Có tính chất nằm giữa chất cách điện và dẫn điện
- Các nguyên tố thuộc **nhóm 4** của bảng tuần hoàn (có 4 điện tử hóa trị lớp ngoài cùng)
- Đặc tính dẫn điện có thể được mô tả bằng các vùng năng lượng: vùng dẫn, vùng cấm, vùng hóa trị.

- Cấu trúc vùng năng lượng:**



$$E_g = 1.1 \text{ eV (Si)}; E_g = 0.67 \text{ eV (Ge)}$$

- Dải cấm hẹp

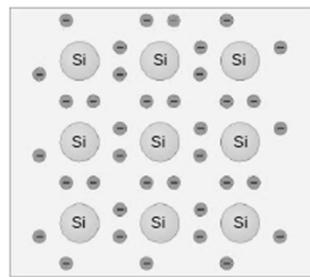


Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

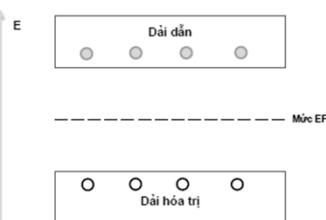
- Các loại bán dẫn: Bán dẫn thuần và bán dẫn pha tạp

Bán dẫn thuần: không pha tạp thêm nguyên tố khác



Bán dẫn thuần

Xung quanh mỗi nguyên tử bán dẫn luôn có 4 nguyên tử kế cận liên kết với nguyên tử đó → **điện tử khó tách rời khỏi hạt nhân và số lượng hạt dẫn không nhiều.**



Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

- Các loại bán dẫn: Bán dẫn thuần và bán dẫn pha tạp

Bán dẫn pha tạp: Pha tạp thêm nguyên tố **Nhóm 3** hoặc **Nhóm 5**

Nhóm 3:
Aluminum (Al)
Gallium (Ga)
Boron (B)
Indium (In)

Nhóm 5:
Phosphorus (P)
Arsenic (As)
Antimony (Sb)
Bismuth (Bi)

Nồng độ pha tạp khoảng 10^{10} - 10^{18} nguyên tử/cm³

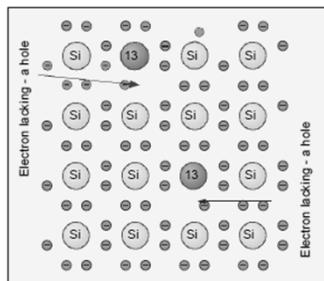


Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

- Các loại bán dẫn: Bán dẫn thuần và bán dẫn pha tạp

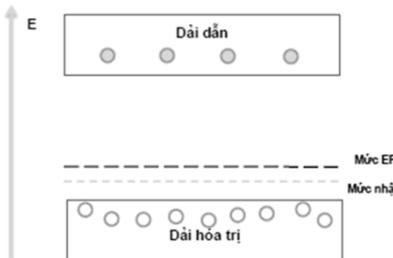
Bán dẫn pha tạp: Pha tạp thêm nguyên tố **Nhóm 3** hoặc **Nhóm 5**



Bán dẫn pha tạp loại p

Thiếu 1e trong liên kết cộng hóa trị

$$10^{10}\text{-}10^{18} \text{ nguyên tử/cm}^3$$



Loại p (pha tạp nhóm 3)

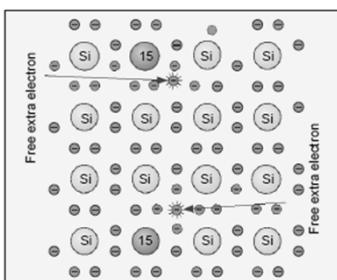


Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

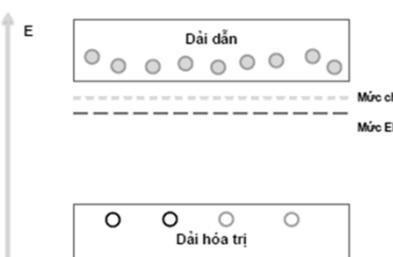
- Các loại bán dẫn: Bán dẫn thuần và bán dẫn pha tạp

Pha tạp thêm nguyên tố **Nhóm 3** hoặc **Nhóm 5**



Bán dẫn pha tạp loại n

Dư 1e trong liên kết cộng hóa trị



Loại n (pha tạp nhóm 5)

$$10^{10}\text{-}10^{18} \text{ nguyên tử/cm}^3$$



Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn

- Yếu tố phù hợp về cấu trúc mạng tinh thể → các lớp bán dẫn phải có độ khác biệt về hằng số tinh thể <0,1%. Sử dụng:

- Hợp chất 3 thành phần:



$$E_g(x) = 1,424 + 1,247x \quad (3.3)$$

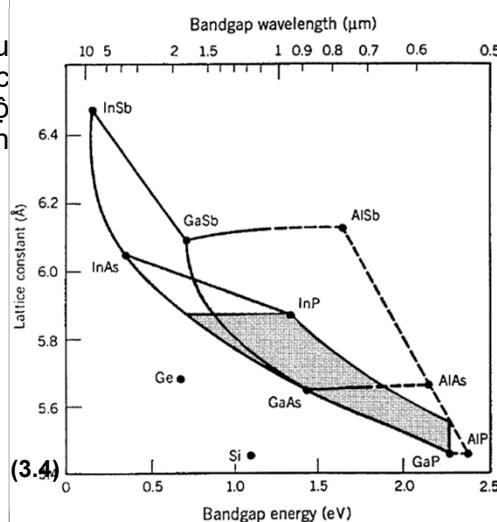
($0 < x < 0.45$)

- Hợp chất 4 thành phần:



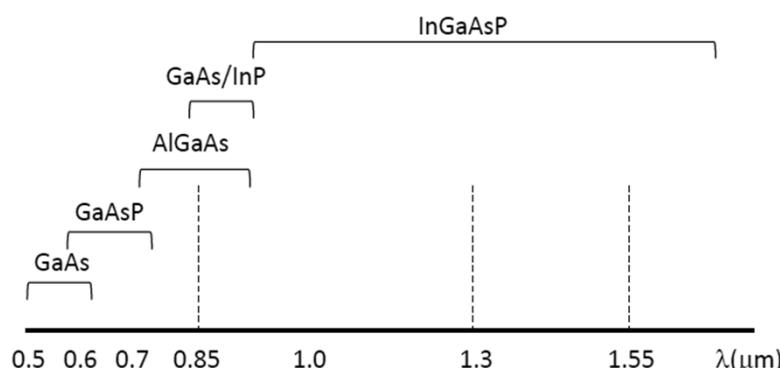
$$E_g(y) = 1,35 - 0,72y + 0,12y^2 \quad (0 \leq y \leq 1), \quad x/y = 0,45$$

Thay đổi x, y → được các nguồn phát có λ khác nhau



Một số vấn đề cơ bản

- Các vật liệu bán dẫn



Giá trị bước sóng tạo ra bằng cách thay đổi tỷ lệ kết hợp các chất (ví dụ: $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$)

$$E_g: 1,42 - 1,61 \text{ eV} \rightarrow \lambda: 0,77 - 0,87 \mu\text{m}; \quad E_g: 0,74 - 1,13 \text{ eV} \rightarrow \lambda: 1,1 - 1,67 \mu\text{m}$$



Một số vấn đề cơ bản

- Bài tập:

3.1- Vật liệu InGaAsP sử dụng để chế tạo nguồn quang LED. Tìm thành phần vật liệu nếu nguồn phát xạ ở của sô bước sóng:

- $\lambda_1=1310$ nm
- $\lambda_2=1550$ nm.

3.2- Cho hai nguồn quang LED $Ga_{1-x}Al_xAs$, nguồn thứ nhất có năng lượng vùng cấm $E_g = 1,54$ [eV] và nguồn thứ hai có $x=0,015$.

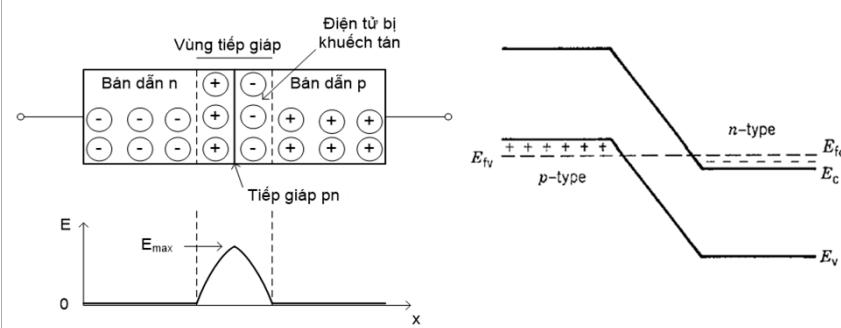
- Tìm thành phần vật liệu và bước sóng phát xạ cho nguồn LED thứ nhất.
- Xác định năng lượng vùng cấm và bước sóng phát xạ của nguồn LED thứ hai.



Một số vấn đề cơ bản

- 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 → Các hạt tải đa số khuyếch tán qua lớp tiếp giáp → Hình thành hàng rào thế
- Trạng thái cân bằng thiết lập → Vùng nghèo (không có hạt tải linh động)

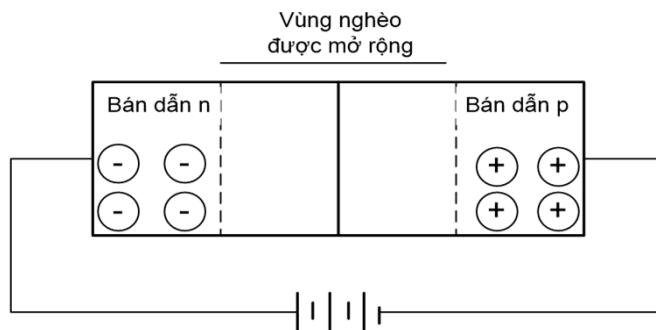




Một số vấn đề cơ bản

- Tiếp giáp p-n

- Khi phân cực ngược: Vùng nghèo được mở rộng, các điện tử và lỗ trống khó gặp nhau để tái hợp phát ra ánh sáng → Sử dụng cho chế tạo photodiode



Một số vấn đề cơ bản

- Tiếp giáp p-n

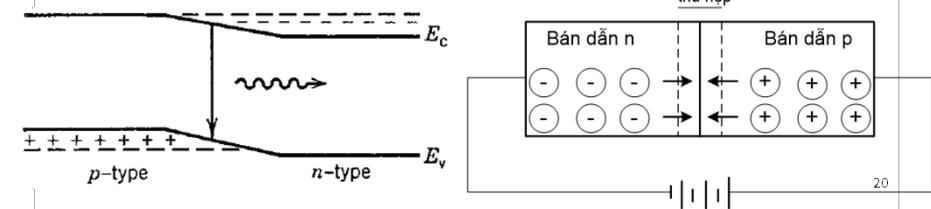
- Khi phân cực thuận: Vùng nghèo hẹp lại, hay hàng rào thế hạ thấp xuống → Các điện tử và các lỗ trống được bơm vào vùng nghèo dễ dàng tái hợp để phát ra ánh sáng

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

$$I = I_s [\exp(qV/k_B T) - 1], \quad (3.5)$$

Với: I_s là dòng bão hòa và phụ thuộc vào hệ số khuếch tán của điện tử và lỗ trống.

Vùng nghèo bị thu hẹp



20

Một số vấn đề cơ bản

PTIT

- Tiếp giáp p-n dị thể kép

- Cấu trúc p-n đơn: các hạt tải không bị giam hãm → hiệu suất phát xạ kém
 → Sử dụng cấu trúc dị thể kép: gồm 3 lớp cơ bản

- Thêm 1 lớp bán dẫn mỏng ở giữa có E_g nhỏ (lớp tích cực)
- Hai lớp bán dẫn p và n ở hai bên có E_g lớp hơn (các lớp hạn chế)
- Ưu điểm:
 - Giam hãm hạt tải
 - Giam hãm photon

Một số vấn đề cơ bản

PTIT

- Vật liệu chế tạo nguồn quang

Dải cấm trực tiếp
Động lượng của e và h bằng nhau.

$\eta_{int} (\text{GaAs, InP} \sim 0,5) \rightarrow 1$ khi bức xạ kích thích chiếm ưu thế)

Dải cấm gián tiếp
Tái hợp của e-h cần có sự tham gia của phonon

$\eta_{int} (\text{Si, Ge})$ thấp $\sim 10^{-5}$



Một số vấn đề cơ bản

- Quá trình tái hợp

- Bên cạnh tái hợp bức xạ còn có tái hợp không bức xạ

- Tốc độ tái hợp bức xạ: $R_{rr} = R_{sp} + R_{st}$ (3.6)

- Hiệu suất lượng tử nội (xét ah quá trình tái hợp ko phát xạ):

$$\eta_{int} = \frac{R_{rr}}{R_{tot}} = \frac{R_{rr}}{R_{rr} + R_{nr}} \quad \text{Do: } \tau = \frac{N}{R} \rightarrow \eta_{int} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_{rr} + \tau_{nr}} \quad (3.7)$$

trong đó: N- nồng độ hạt mang, $R_{rr} = N/\tau_{rr}$ và $R_{nr} = N/\tau_{nr}$

- Thời gian sống của hạt tải: $\tau_c = \frac{N}{R_{nr} + R_{sp}}$ (3.8)

Khi R_{sp} và R_{nr} tăng phi thuyền theo N thì $\tau_c^{-1} = A_{nr} + BN + CN^2$

Với: A_{nr} - hệ số không phát xạ vì sự tái hợp tại các khuyết tật, B-hệ số tái hợp phát xạ tự phát và C- hệ số Auger



Light Emitting Diode (LED)



Nguồn LED

PTIT

- Cấu trúc LED**
 - Cấu trúc dí thê kép, phân cực thuận
 - Hđ: Dựa trên cơ chế phát xạ tự phát
 - Ánh sáng phát ra là ánh sáng không kết hợp, có độ rộng phổ lớn ($30^\circ \rightarrow 100\text{ nm}$)
 - Độ rộng chùm sáng phát xạ lớn → Hiệu suất ghép nối với sợi quang nhỏ (1-10%)

Nguyên lý hoạt động của LED

Khi có điện trường phân cực thuận: e từ lớp n và h từ lớp p được đưa vào vùng tích cực, tái hợp → phát xạ ánh sáng.

Nguồn LED

PTIT

- Các loại LED**
 - LED phát xạ mặt
 - Có mặt phẳng vùng phát quang (vùng phát xạ ánh sáng) vuông góc với trục sợi.

Surface-emitting LED

. Vùng phát quang hẹp (nhờ sử dụng 1 lớp cách điện để hạn chế vùng dẫn điện của tiếp xúc p → vùng tích cực LED có mật độ dòng điện cao dẫn đến hiệu suất phát quang lớn). As phát xạ có tính đanding hướng với độ rộng chùm tia khoảng 120° .



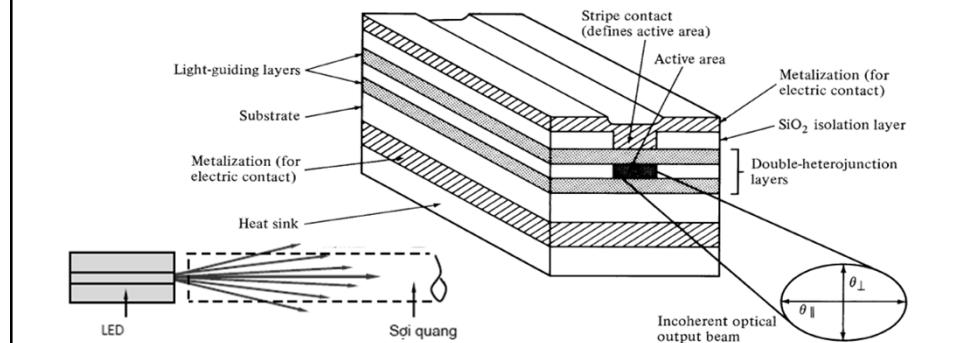
Nguồn LED

- Các loại LED

 - LED phát xạ cạnh

. Có ánh sáng phát xạ ở phía cạnh của LED. Hiệu suất ghép > hơn so với SLED

. Vùng phát xạ hẹp và góc phát xạ nhỏ (As pxá có tính định hướng cao hơn so với SLED): phương ngang $\theta_{\parallel} = 120^{\circ}$, phương đứng $\theta_{\perp} = 25 - 30^{\circ}$.

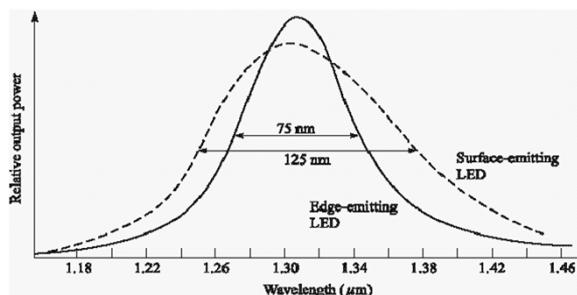


Nguồn LED

- So sánh ELED và SLED

MỘT SỐ ĐẶC TÍNH

Loại LED	Tần số điều chế lớn nhất (MHz)	Công suất ra (mW)	Công suất ghép vào sợi (mW)
SLED	60	< 4	< 0,2
ELED	200	< 7	< 1,0





Nguồn LED

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

➤ **Tham số hiệu năng:** Hiệu suất lượng tử tổng (η_{tot})

$$\eta_{tot} = \frac{P_{ph}}{P_e} = \frac{N_{ph}}{N_e} = \eta_{ext}\eta_{int} \frac{hv}{qV_0} \approx \eta_{ext}\eta_{int} \quad (3.9)$$

Trong đó: P_{ph} - công suất quang phát xạ; N_{ph} - số photon tạo ra

$P_e = V_0 I$ - công suất điện đặt lên LED (V_0 -đ/áp phân cực)

N_e - số điện tử do dòng nuôi cung cấp cho vùng hoạt tính

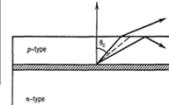
Lưu ý:

+ Hiệu suất lượng tử nội (η_{int}): $\eta_{int} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_{rr} + \tau_{nr}}$

Với: τ_{rr} - (t) tái hợp có phát xạ, τ_{nr} - (t) tái hợp ko p/xạ của các hạt mang

+ Hiệu suất lượng ngoài (η_{ext}): $\eta_{ext} = \frac{1}{n(n+1)^2}$

Với: n là chiết suất của vật liệu bán dẫn vùng tích cực



Nguồn LED

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

➤ **Tham số hiệu năng:** Công suất phát quang (P_{ph})

$$P_{ph} = \eta_{ext} P_{int} = \frac{P_{int}}{n(n+1)^2} \quad (3.10)$$

Trong đó: η_{ext} - Hiệu suất lượng ngoài;

P_{int} - Công suất phát quang bên trong;

n- Chiết suất của vật liệu bán dẫn vùng tích cực

Lưu ý:

+ Công suất phát quang bên trong (P_{int}):

$$P_{int} = \eta_{int} \frac{I}{q} h\nu = \eta_{int} \frac{hcI}{q\lambda} \quad (3.11)$$

Với: I- dòng kích thích chạy qua LED; η_{int} - Hiệu suất lượng nội

$h=6,63 \times 10^{-34} J.s=4,14 \text{ eV.s}$; $q=1,6 \times 10^{-19} C$; $c=3 \times 10^8 m/s$;



Nguồn LED

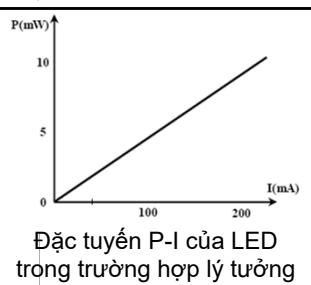
- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

- Đặc tính P/I: Quan hệ giữa dòng bơm vào và công suất phát xạ ra của LED (khả năng chuyển đổi điện – quang)

$$P_{ph} [mW] = \eta_{ext}\eta_{int} \frac{E_{ph}[eV]}{q} I [mA] \quad (3.12)$$

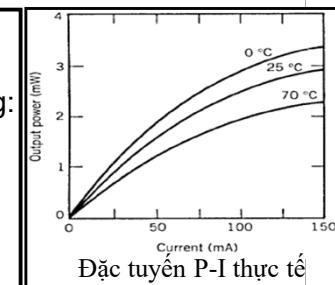
Trong đó: $E_{ph} = h\nu$ - Năng lượng photon; $q=1,6 \times 10^{-19} C$

$h=6,63 \times 10^{-34} J.s=4,14 eV$;



→ Tham số hiệu năng:
Hệ số đáp ứng

$$R_{LED} = P_{ph}/I$$



Nguồn LED

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

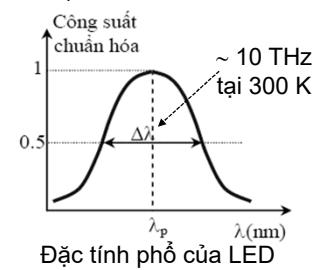
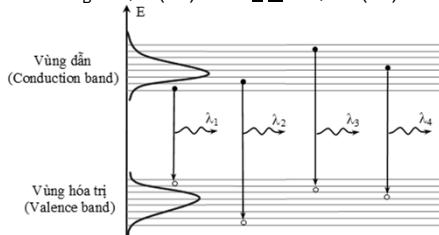
- Đặc tính Phổ: Thể hiện sự phân bố mật độ công suất phát của LED theo λ

- Độ rộng phổ được xác định tại $P = 0,5 P_{\text{đỉnh}}$ (hay giảm 3 dB so với công suất đỉnh)

- CT tính độ rộng phổ: $\Delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda$ (3.13)

(độ rộng phổ FWHM: $\Delta\nu \approx 1,8k_B T/h \rightarrow \lambda_p$ thay đổi theo T^0)

Với: $k_B = 1,38(24).10^{-23} \text{ J/K} = 8,617(15).10^{-5} \text{ eV/K}$





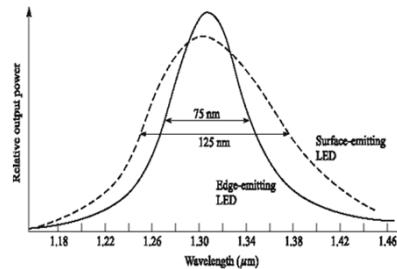
Nguồn LED

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

 - Đặc tính Phổ:

Vật liệu bán dẫn khác nhau có năng lượng dải cấm khác nhau và độ rộng vùng năng lượng khác nhau → Độ rộng phổ và bước sóng hoạt động của LED phụ thuộc vào loại vật liệu chế tạo nguồn quang:

 - LED chế tạo từ **InGaAsP** có $\lambda_0=1,3 \mu\text{m}$ và $\Delta\lambda = 50-60 \text{ nm}$
 - LED chế tạo từ **GaAs** có $\lambda_0=850 \text{ nm}$ và $\Delta\lambda$ hẹp hơn 1,7 lần.
 - Độ rộng phổ của SLED thường rộng hơn ELED



Nguồn LED

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LED

 - Đặc tính Điều chế:

 - Đáp ứng đ/c của LED ∈ đặc tính động của hạt tải và bị giới hạn bởi (t) sống của hạt tải τ_c trong vùng tái hợp.
 - Được xác định bởi phương trình tốc độ đổi với mật độ hạt tải N:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_c} \quad (3.14)$$

Với: N - Mật độ hạt tải; $\tau_c \left(= \frac{N}{R_{nr} + R_{sp}} \right)$ - Thời gian sống của hạt tải

 - Độ rộng băng tần đ/ché 3 dB (f_{3dB} là tần số mà tại đó biên độ giảm đi 3dB hay giảm 1/2 so với biên độ đỉnh): (f_{3dB} của LED: 50÷150 MHz)

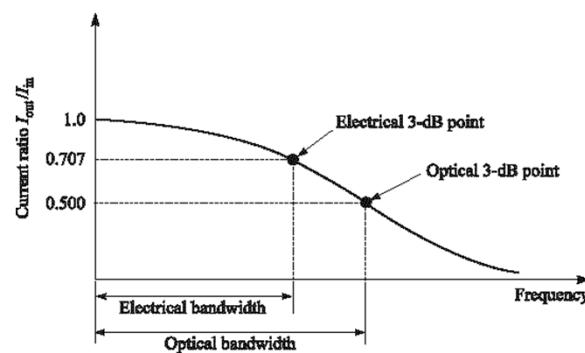
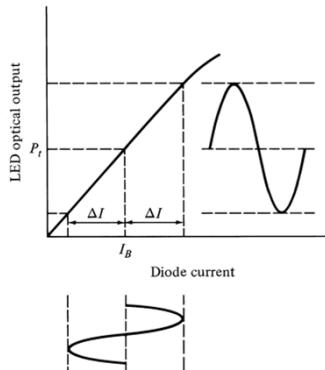
$$f_{3dB} = \sqrt{3}(2\pi\tau_c)^{-1} \quad (3.15)$$



Nguồn LED

- Đặc tính của LED

- Đặc tính điều chế của LED:



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Posts & Telecommunications Institute of Technology

35



Nguồn LED

- Đặc điểm của LED

- Nhược điểm:

- Công suất quang ghép vào sợi thấp (vài μW)
 - Băng tần điều chế hẹp
 - Độ rộng phổ lớn (vài chục $\rightarrow >100 \text{ nm}$)

- Ưu điểm:

- Độ tin cậy cao, Tuổi thọ lớn
 - Công suất nguồn tiêu thụ thấp
 - Cấu trúc đơn giản \rightarrow dễ sản xuất, giá thành thấp
 - Công suất phát xạ ít phụ thuộc vào T°
 - Đặc tính làm việc tuyến tính trên một phạm vi dòng điều khiển khá rộng \rightarrow phù hợp với điều chế tương tự (khó đạt được với laser).



Nguồn LED

- **Ứng dụng của LED**

- Phù hợp với các hệ thống có cự ly ngắn (vài km): mạng nội hạt, mạng truy nhập, LAN, các ứng dụng máy tính, các hệ thống giám sát TV...
- Là loại nguồn phù hợp nhất với các hệ thống có tốc độ khoảng 100 - 200 Mb/s và sợi quang đa mode.
- Có thể dùng kết hợp với sợi đơn mode



Nguồn LED

- **Bài tập:**

3.3- Nguồn LED có cấu trúc dị thể kép InGaAsP phát xạ ánh sáng ở bước sóng trung tâm là 1310nm có thời gian tái hợp phát xạ và không phát xạ lần lượt là 30 và 100ns. Dòng nuôi của LED là 40mA. Xác định công suất bên trong LED.

3.4- Xác định độ rộng băng tần điều biến 3dB của LED khi biết thời gian sống của hạt tải là 3ns.



Laser Diodes (LD)



Nguồn Laser diode

- Cấu trúc cơ bản LD

"LASER" là viết tắt của:

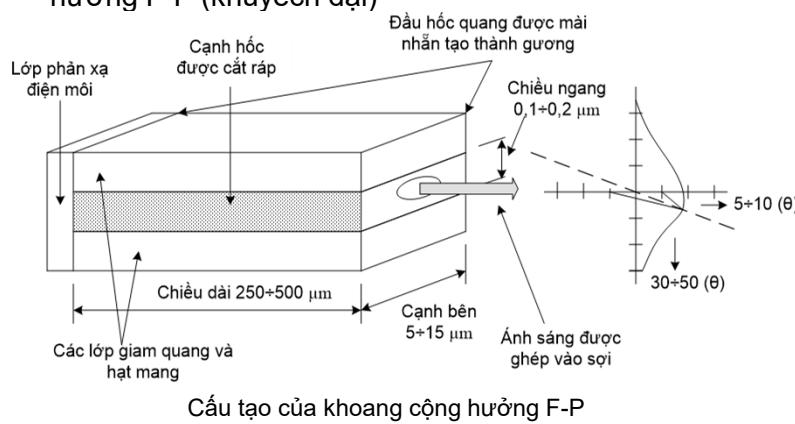
**Light Amplification by
Stimulated Emission of
Radiations.**



Nguồn Laser diode

- Cấu trúc cơ bản LD

- Cấu trúc dí thê kép được phân cực thuận
- Lớp tích cực được cấu trúc dưới dạng một khoang cộng hưởng F-P (khuyếch đại)



Nguồn Laser diode

- Nguyên lý hoạt động cơ bản của LD

➤ Hoạt động chủ yếu dựa trên 2 hiện tượng:

- Phát xạ kích thích
- Hiện tượng cộng hưởng: chỉ có sóng AS thỏa mãn điều kiện về pha của hốc cộng hưởng mới có thể lan truyền và cộng hưởng trong hốc cộng hưởng.

➤ Vai trò của khoang cộng hưởng F-P:

- Tạo hồi tiếp dương của các photon
- Chọn lọc bước sóng

➤ Điều kiện để có phát xạ kích thích:

- (1) Phải tạo **nghịch đảo mật độ** (nồng độ e- ở t/thái kích thích > nhiều so với nồng độ e- ở t/thái nền) → phải phun một lượng lớn các e, h vào vùng hoạt tính (dòng bơm đủ lớn: $I > I_{th}$)

- (2) Phải có quá trình **hồi tiếp photon dương**



Nguồn Laser diode

- Điều kiện ngưỡng của hoạt động LD

- Tín hiệu quang có biên độ ban đầu E_0 và số sóng $k = n\omega/c$ thay đổi sau một lô trình ($2L$):

$$E(z + 2L) = E(z)\sqrt{R_1 R_2} \exp(gL) \exp(-\alpha_{int}L) \exp(2ikL)$$

- Điều kiện phát xạ laser:

. Sau mỗi lô trình:

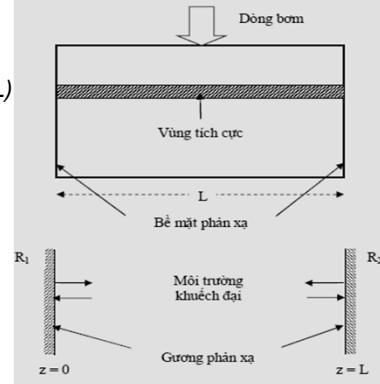
- (1) Biên độ tín hiệu phải tăng lên ($E(2L) \geq E_0$)
- (2) Pha của tín hiệu phải không đổi

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \sqrt{R_1 R_2} \exp(g - \alpha_{int})L \geq 1 \\ \exp(2ikL) = 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

. Tại ngưỡng: $E(z + 2L) = E(z) \Rightarrow g = g_{th}$

$$(3.16) \rightarrow g_{th} = \alpha_{int} + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} = \alpha_{int} + \alpha_{mir} = \alpha_{cav} \quad (3.18)$$

$$(3.17) \rightarrow 2kL = 2m\pi \text{ hay } v_m = \frac{m.c}{2n.L} \text{ với } m \in \mathbb{Z} \quad (3.19)$$



Với: g - Hsố KĐ trong buồng công hưởng
 α_{int} - Suy hao trong lớp tích cực
 α_{mir} - Suy hao tại 2 gương phản xạ
 α_{cav} - Suy hao buồng công hưởng

. Điều kiện KĐ: $g > \alpha_{int}$



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ **Tham số hiệu năng:** Công suất phát quang (P_{ph})

$$P_{ph} = \frac{h\nu}{2q} \frac{\eta_{int} \alpha_{mir}}{\alpha_{mir} + \alpha_{int}} (I - I_{th}) \quad (3.20)$$

Trong đó: $h=6,63 \times 10^{-34} J.s=4,14 \text{ eV.s};$

$q=1,6 \times 10^{-19} C;$

α_{int} - Suy hao trong lớp tích cực

α_{mir} - Suy hao tại hai gương phản xạ

η_{int} - Hiệu suất lượng nội;

$$\eta_{int} = \frac{\tau_{nr}}{\tau_{rr} + \tau_{nr}} \quad \text{Với: } \tau_{rr} - (\text{t}) \text{ tái hợp có phát xạ,} \\ \tau_{nr} - (\text{t}) \text{ tái hợp ko p/xạ của hạt mang}$$

đối với laser $\eta_{int} \approx 100\%$



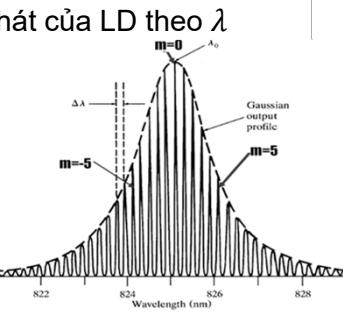
Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

- Đặc tính Phổ: phân bố mật độ c/s phát của LD theo λ
- Phổ của LD F-P (đa mode): dạng phổ vạch (nhiều mode dọc phát xạ, tại đó điều kiện pha được thỏa mãn).
- Đường bao phổ phát xạ \in vào phổ khuyếch đại của vùng tích cực (gần đúng bằng hàm Gauss) \rightarrow độ rộng phổ FWHM của LD được xác định bởi độ rộng phổ khuyếch đại.
- Tần số phát xạ thứ m:

$$\nu_m = \frac{mc}{2Ln}$$

(3.21)



- Khoảng cách giữa các mode phát xạ:

$$\Delta f = \nu_{m+1} - \nu_m = \frac{c}{2Ln} \implies \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$$

(3.22)



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

- Đặc tính Phổ: phân bố mật độ c/s phát của LD theo λ
- Phổ của LD đơn mode: x/đ bởi độ rộng của mode phát xạ (độ rộng đường phổ)

$$\Delta\nu = \frac{R_{sp}(1 + \beta_c^2)}{4\pi\bar{P}}$$

(3.23)

Trong đó: R_{sp} - Tốc độ phát xạ tự phát, \bar{P} - Công suất phát xạ trung bình của LD, β_c - Hệ số tăng cường độ rộng đường phổ.

Thực tế, độ rộng phổ của các LD F-P khoảng 2-4 nm. độ rộng đường phổ của các LD đơn mode khoảng 1 – 10 MHz



Nguồn Laser diode

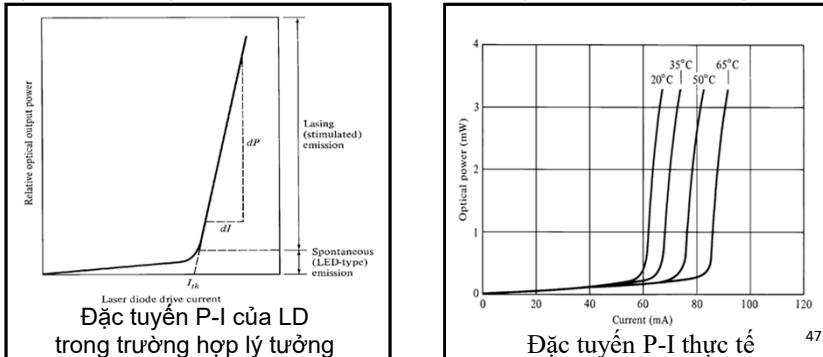
- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ Đặc tính P/I: Mô tả tính chất phát xạ của LD cho thấy mức dòng ngưỡng cho hoạt động laser. (Pt 3.20)

Dòng ngưỡng tăng theo hàm mũ khi nhiệt độ tăng:

$$I_{th}(T) = I_0 \exp(T/T_0) \quad (3.24)$$

I_0 - Hằng số và T_0 - Nhiệt độ đặc trưng (LD InGaAsP $T_0 = 50-70K$, LD GaAs $T_0 > 120K$)



47



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ Đặc tính P/I:

- Độ dốc đường đặc tính P-I (Khi $I > I_{th}$):

$$\frac{dP_{ph}}{dI} = \frac{hv}{2q} \eta_d \quad (3.25)$$

trong đó: $\eta_d = \frac{\eta_{int} \alpha_{mir}}{\alpha_{mir} + \alpha_{int}}$ - hiệu suất lượng tử vi sai

- Hiệu suất lượng tử ngoài:

$$\eta_{ext} = \frac{\text{tốc độ phát xạ photon}}{\text{tốc độ bорм điện tử}} = \frac{2P_{ph}/hv}{I/q} = \frac{2q}{hv} \frac{P_{ph}}{I} \quad (3.26)$$

Từ pt (3.20) & pt (3.26): $\Rightarrow \eta_{ext} = \eta_d (1 - I_{th}/I)$ (3.27)

- Hiệu suất lượng tử tổng: $\eta_{tot} = \frac{2P_{ph}}{IV_0} = \frac{hv}{qV_0} \eta_{ext} \approx \frac{E_g}{qV_0} \eta_{ext}$ (3.28)



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ Phương trình tốc độ: Mô tả đầy đủ các đặc tính của laser, xác định tương tác của các photon và các hạt mang trong vùng tích cực.

- Hệ phương trình tốc độ:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_c}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N_c}{\tau_c} - GN_{ph} \\ \end{array} \right. \quad (3.29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_{ph}}{dt} = GN_{ph} + R_{sp} - \frac{N_{ph}}{\tau_{ph}} \\ \end{array} \right. \quad (3.30)$$

pt (3.29): Mô tả sự thay đổi theo thời gian của nồng độ e (ở trạng thái kích thích) trong vùng tích cực.

pt (3.30): Mô tả sự thay đổi theo thời gian của nồng độ photon trong vùng tích cực.

49



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ Phương trình tốc độ: Hệ pt: $\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_c}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N_c}{\tau_c} - GN_{ph} \\ \end{array} \right. \quad (3.29)$

trong đó:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_{ph}}{dt} = GN_{ph} + R_{sp} - \frac{N_{ph}}{\tau_{ph}} \\ \end{array} \right. \quad (3.20)$$

N_c - mật độ điện tử; N_{ph} - mật độ photon

I - cường độ dòng bơm; V - thể tích vùng tích cực; $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ - đtích e-
 τ_c - thời gian sống của hạt tải; $\tau_{ph} = v_g \alpha_{cav} = v_g (\alpha_{mir} + \alpha_{int})$ - thời gian sống
 của photon; α_{cav} -hệ số suy hao khoang cộng hưởng; v_g -vận tốc nhóm;

$R_{sp} = Gn_{sp} = \gamma N_c / \tau_c$ - tốc độ phát xạ tự phát;

$G = \Gamma v_g g_m = G_N (N_c - N_T)$ -tốc độ phát xạ kích thích thực ($G_N = \Gamma v_g \sigma_g$)

n_{sp} -hệ số phát xạ tự phát (LD có $n_{sp} \approx 2$); Γ -hệ số giam hãm photon; g_m -hệ
 số KĐ của vật liệu tại mode phát xạ của laser; γ -tỷ lệ tái hợp bức xạ tự phát;
 σ_g -độ KĐ vi sai (LD InGaAsP: $\sigma_g = 2-3 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2}$); N_T -mật độ hạt tải (e-) khi
 độ KĐ của laser= 0 (LD InGaAsP: $N_T = 1 \div 1,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$);

50



Nguồn Laser diode

- Các tham số, đặc tính cơ bản của LD

➤ Phương trình tốc độ:

(1) Trạng thái tĩnh của LD: được xác định khi nồng độ e và photon trong vùng tích cực không thay đổi theo thời gian ($d/dt=0$).

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{dN_c}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N_c}{\tau_c} - G_N(N_c - N_T)N_{ph} = 0 \\ \frac{dN_{ph}}{dt} = G_N(N_c - N_T)N_{ph} + R_{sp} - \frac{N_{ph}}{\tau_{ph}} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} (3.31) \\ (3.32) \end{array}$$

- Trước khi phát xạ Laser: $N_{ph} \approx 0$

$$\Rightarrow \frac{I}{qV} - \frac{N_c}{\tau_c} = 0 \Rightarrow N_c = \frac{I}{qV}\tau_c \quad (3.33) \quad I tăng \rightarrow N_c tăng$$

51



Nguồn Laser diode

- Đặc tính của LD

➤ Nhiều: tín hiệu quang phát ra không ổn định về công suất, độ đồng pha, bước sóng trung tâm

- Các nguồn nhiễu chính từ LD:

- Nhiều lượng tử: tạo ra do sự ngẫu nhiên và rời rạc trong quá trình phát xạ photon → công suất quang phát ra không ổn định.
- Nhiều vì sự hồi tiếp quang bên ngoài
- Nhiều liên quan đến dao động hồi phục
- Nhiều vì nhảy mode (hiện tượng dịch tần)
- Nhiều do cạnh tranh mode
- Nhiều vì thăng giáng do nhiệt độ và dòng bơm
- Nhiều cường độ tương đối RIN: Có 2 cơ chế sinh nhiễu cơ bản:
 - ✓ Phát xạ tự phát (chiếm ưu thế)
 - ✓ Nhiễu nổ (tái hợp điện tử - lỗ trống)



Nguồn Laser diode

- Một số cấu trúc LD

Cấu trúc phải đảm bảo giam hãm dòng bơm (hạt tải) và photon. Giam hãm tốt → giảm dòng ngưỡng → Giảm độ trễ bắt → tăng độ rộng băng tần điều chế; Nhiệt sinh ra ít hơn

Phương pháp giam hãm dòng bơm: làm cho dòng điện chỉ chảy qua vùng tích cực. Phương pháp sử dụng:

- Điện cực dải hẹp
- Tạo kẽm dẫn bằng cách khuếch tán chất pha tạp
- Tăng điện trở suất bằng phương pháp bắn phá proton
- Tạo rào cản bằng lớp tiếp giáp p-n phân cực ngược

Phương pháp giam hãm photon: giam hãm cả theo chiều đứng và theo chiều ngang.

- Theo chiều đứng: sử dụng cấu trúc dí thê kép
- Theo chiều ngang:
 - + Ông dẫn sóng khuếch đại
 - + Ông dẫn sóng chiết suất

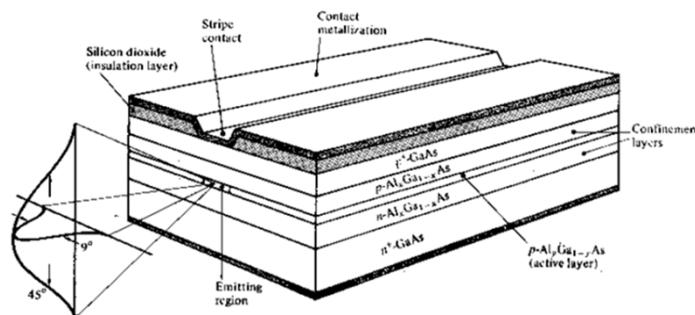


Nguồn Laser diode

- Một số cấu trúc LD thực tế

➤ Laser dẫn sóng khuếch đại

- Sử dụng 1 dọc tiếp xúc hẹp (bề rộng $<5\mu\text{m}$) chạy dọc theo chiều dài của laser
- Sọc tiếp xúc được tạo ra bằng cách tạo ra vùng trở kháng cao ở 2 bên sọc → phần lớn dòng đưa vào laser tập trung ở sọc tiếp xúc → giới hạn vùng tích cực.



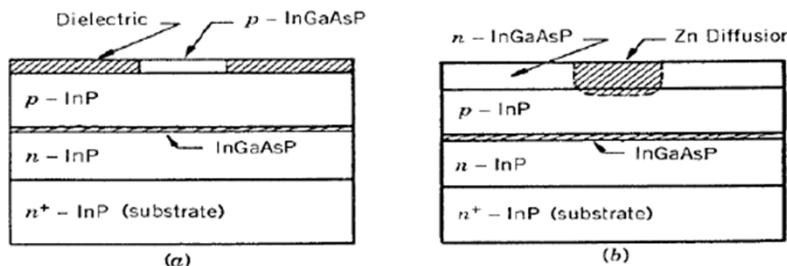


Nguồn Laser diode

- Một số cấu trúc LD thực tế

➢ Laser dẫn sóng khuếch đại

- Sử dụng lớp điện môi ở 2 bên đèn tập trung dòng đi vào bán dẫn p.
- Sử dụng kỹ thuật khuếch tán các ion Zn²⁺ hoặc Ca²⁺ để biến bán dẫn loại n thành bán dẫn loại p



Nguồn Laser diode

- Một số cấu trúc LD thực tế

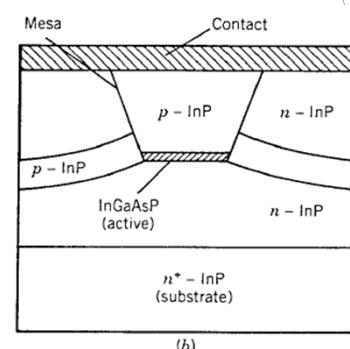
➢ Laser dẫn sóng chiết xuất

Hạn chế của laser dẫn sóng khuếch đại:

Chỉ tạo ra sự thay đổi nhỏ về chiết suất → hình thành ống dẫn sóng yếu & ống dẫn sóng này thay đổi theo mật độ e,h được đưa vào →

- Laser phát không ổn định, đặc tuyến P-I không tuyến tính
- I_{th} lớn (~100-150 mA)
- Hiệu suất ghép AS vào sợi chưa cao → phù hợp với sợi đa mode hơn sợi đơn mode

Khắc phục: thay đổi chiết suất để tạo ra ống dẫn sóng 1 cách có chủ định → Laser dẫn sóng chiết suất



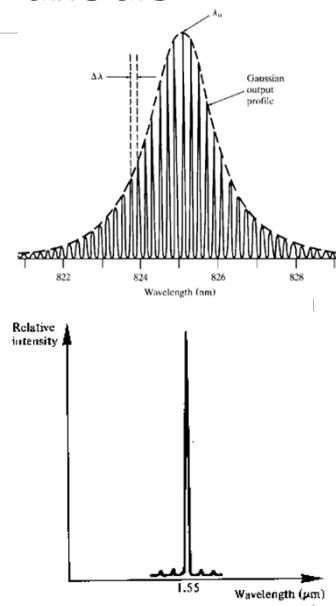
Cấu trúc laser dẫn sóng chiết suất ($\Delta n=0,1$)
 $I_{th} \sim 15-20 \text{ mA}$



Nguồn Laser diode

- LD đơn mode:
- Phổ của laser có nhiều đỉnh tương ứng với các mode dọc
- Khoảng cách giữa các đỉnh: $\Delta f = f_m + 1 - f_m = c/(2nL)$ (cỡ vài phần chục nm)
- Laser đơn mode: chỉ có 1 mode dọc và 1 mode ngang
- Giảm L để tăng $\Delta f \rightarrow$ chỉ còn 1 mode trong đường bao KĐ: khó thực hiện

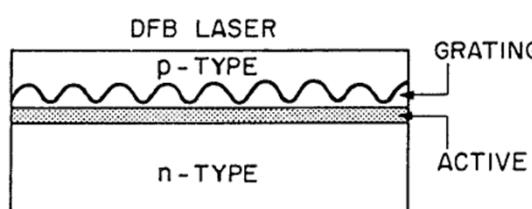
Dùng các cấu trúc khác:
Laser DFB và DBR



Nguồn Laser diode

- LD đơn mode:
 - Laser DFB
- DFB: Distributed FeedBack - Laser phản hồi phân bố
- Cách tử Bragg được đặt ngay sát và dọc theo vùng tích cực.
- Chỉ có bước sóng thỏa mãn điều kiện phản xạ Bragg mới được phản xạ lại và cộng hưởng:

$$\lambda_B = 2 \cdot \Lambda \cdot n_{\text{eff}}$$



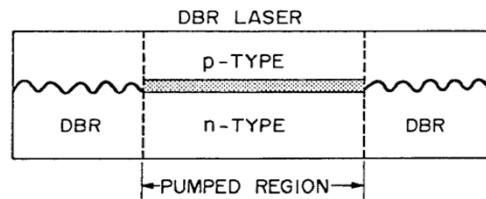


Nguồn Laser diode

- LD đơn mode:

➤ Laser DBR:

- DBR: Distributed Bragg Reflector -
- Cách tử Bragg đặt ở 2 đầu vùng tích cực
- Chỉ có bước sóng thỏa mãn điều kiện phản xạ Bragg mới được phản xạ lại và cộng hưởng:



DFB dễ chế tạo hơn DBR (vì không yêu cầu ghép công suất giữa vùng tích cực và vùng thụ động)

DFB ổn định nhiệt độ hơn so với DBR (DBR có hiện tượng chuyển công suất giữa các mode khi To thay đổi)

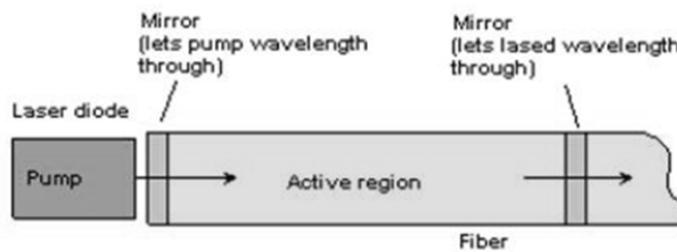


Nguồn Laser diode

- LD đơn mode:

➤ Laser quang sợi:

- Cấu tạo trực tiếp trên sợi quang
- Khoang cộng hưởng chính là sợi quang được pha tạp thêm các nguyên tố đất hiếm như Erbium, Neodymium, Dyspromium, Praseodymium, Thulium
- Hoạt động theo nguyên tắc của EDFA





Nguồn Laser diode

- Đặc điểm của LD

➤ Nhược điểm:

- Giá thành đắt hơn nhiều so với LED (Do phải có các bộ phận điều khiển nhiệt độ và điều khiển công suất).
- Điều chế biến độ sử dụng tín hiệu tương tự là khó đối với hầu hết các loại laser vì phần lớn các loại laser có công suất ra nhin chung không tuyến tính với công suất tín hiệu vào.

➤ Ưu điểm:

- Độ rộng phổ hẹp
- Thời gian đáp ứng nhanh. Có thể điều chế trực tiếp tại tần số cao (đến 25 GHz)
- Công suất phát tương đối lớn. Laser bán dẫn có thể đạt tới công suất 100 mW.
- Ánh sáng phát ra là kết hợp → được tạo ra là chùm tia song song ⇒ hiệu suất ghép ánh sáng vào sợi lớn (có thể đạt tới 50% to 80%).



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

✓ Để truyền thông tin qua hệ thống thông tin quang, phải điều chế đặc tính AS theo thông tin tín hiệu

✓ Các đặc tính của AS ở đây có thể là: cường độ, tần số, pha hoặc phân cực AS.

✓ Phân loại:

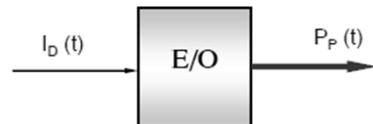
- Điều biến trực tiếp
- Điều biến ngoài



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

➤ Điều biến trực tiếp:



Thường sử dụng phương pháp điều chế cường độ (IM-Impulse Modulation): điều khiển cường độ ánh sáng biến đổi theo tín hiệu truyền dẫn.

Nhược điểm: có hiện tượng chirp, đặc biệt khi dòng kích thích lớn ($>100\text{mA}$). Chirp ít ảnh hưởng đến hệ thống đơn kênh, ảnh hưởng nhiều đến hệ thống đa kênh (dùng với tốc độ $\leq 2,5 \text{ Gb/s}$)

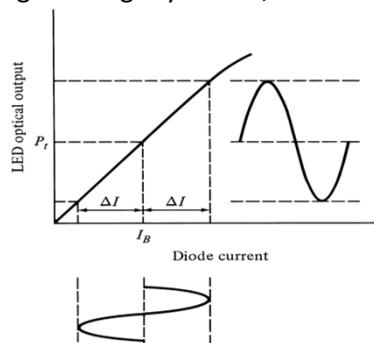


Điều biến nguồn quang

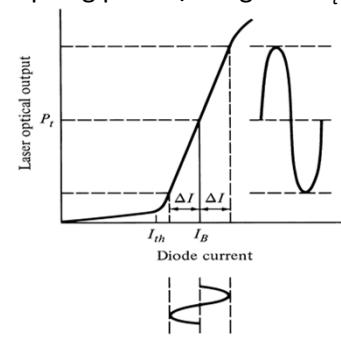
- Các phương thức điều chế:

➤ Điều biến trực tiếp analog:

Để t/h quang không bị méo \rightarrow dòng phân cực nằm ở vùng tuyến tính của đặc tuyến P-I. Khi không có t/h vào, I_b của nguồn quang ở giữa vùng tuyến tính, đảm bảo nguồn quang phát xạ công suất P_t



Điều biến analog đối với LED



Điều biến analog đối với LASER

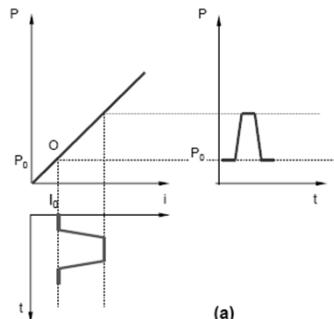


Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

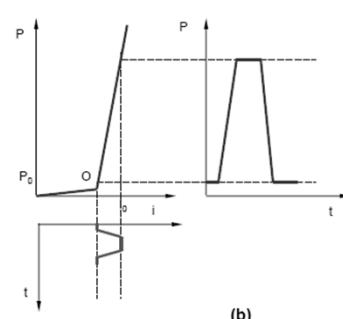
➢ Điều biến trực tiếp digital:

Yếu cầu tuyến tính của đặc tính điều chế là không còn quan trọng, các yêu cầu khác cần quan tâm là *tốc độ điều biến*, *tỉ lệ phân biệt* (tỉ số giữa công suất bit 1 và công suất bit 0) và *chirp tần*.



(a)

Điều biến digital đối với LED



(b)

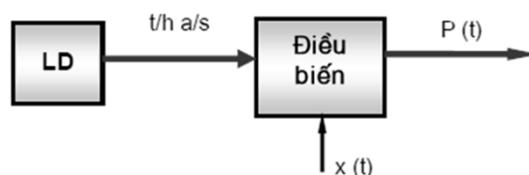
Điều biến digital đối với LASER



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

➢ Điều biến ngoài:



- Thường sử dụng với laser
- Nguồn quang phát liên tục. Tín hiệu $x(t)$ được điều biến vào tín hiệu quang thông quang bộ điều chế ngoài (có thể điều chế pha, tần số,...)



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

➢ Điều biến ngoài:

Ưu điểm của điều chế ngoài:

- Băng thông điều chế: do bộ điều chế ngoài quyết định → không bị hạn chế bởi dao động tắt dần của laser
- Không xảy ra hiện tượng chirp → AS phát ra là liên tục có tần số và độ rộng phổ ổn định)
- Không bị giới hạn công suất quang (đặc tính điều chế do bộ điều chế ngoài quyết định)



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

➢ Điều biến ngoài:

Các loại bộ điều chế ngoài:

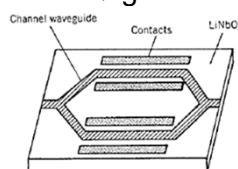
(1)- Bộ đ/c điện-quang (EOM-ElectroOptical Modulator)

Bộ đ/c MZM (Mach-Zehnder Modulator):

- Chế tạo bằng vật liệu LiNbO₃
- Đặc tính của LiNbO₃: n phụ thuộc điện áp phân cực
- Tín hiệu điện vào thay đổi → chiết suất thay đổi → pha của tín hiệu di chuyển trên 2 nhánh khác nhau → giao thoa (cộng hưởng hoặc triệt tiêu).

Hạn chế của MZM:

- + Suy hao xen lớn (5 dB)
- + Yêu cầu điện áp điều chế cao (10V)
- + Không thể tích hợp với laser trong cùng 1 chirp





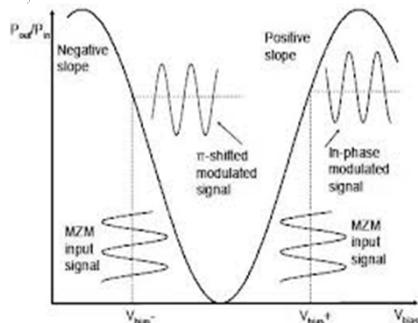
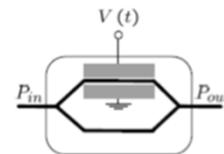
Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

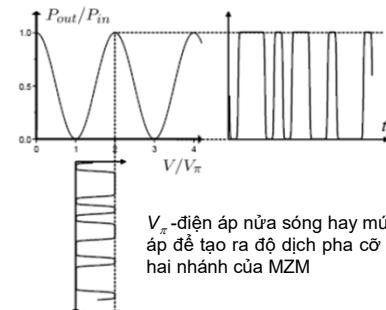
➢ Điều biến ngoài:

Các loại bộ điều chế ngoài:

(1)- Bộ đ/c điện-quang MZM (Mach-Zehnder Modulator):



(a) Quá trình điều chế tín hiệu analog



(b) Quá trình điều chế tín hiệu digital

V_π - điện áp nửa sóng hay mức điện áp để tạo ra độ dịch pha cỡ π giữa hai nhánh của MZM



Điều biến nguồn quang

- Các phương thức điều chế:

➢ Điều biến ngoài:

Các loại bộ điều chế ngoài:

(2)- Bộ đ/c hấp thụ điện (EAM-ElectroAbsortion Modulator):

- Cấu tạo là ống dẫn sóng làm bằng chất bán dẫn

- Hoạt động:

+ khi không có điện áp điều chế, AS truyền qua (λ_c của ống dẫn sóng < λ của AS tới)

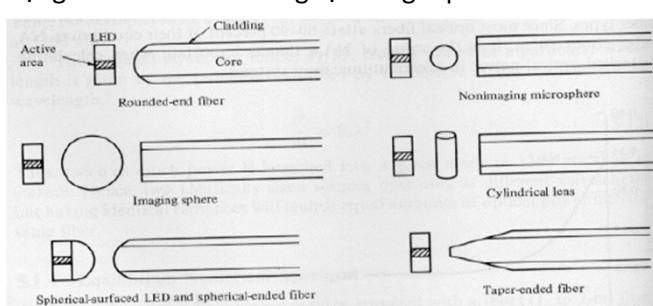
+ Khi có điện áp điều chế, E_g của ống dẫn sóng giảm) $\rightarrow \lambda_c$ tăng \rightarrow AS bị hấp thụ



Thiết kế bộ phát quang

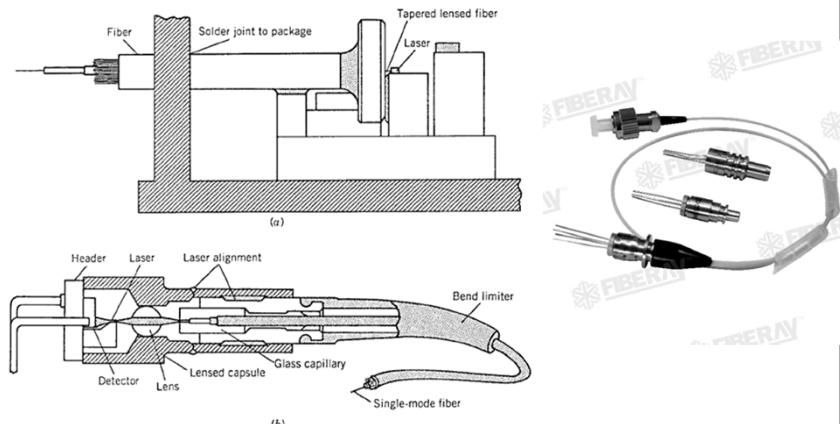
- Ghép nối nguồn quang – sợi
 - Đổi với LED: ($SLED \sim 1\%$; $ELED \sim 10\%$)

- Để tránh hiện tượng phản xạ tại chỗ ghép nối, miền ghép nối phải có chiết suất bằng chiết suất lõi sợi
- Có thể mài đầu sợi quang thành 1 thấu kính lồi để hướng các tia sáng vào lõi sợi
- Hoặc sử dụng 1 thấu kính lồi riêng tại chỗ ghép



Thiết kế bộ phát quang

- Ghép nối nguồn quang – sợi
 - Đổi với LD: (~ 40 – 90 %)
- Nâng cao hiệu suất ghép bằng vi thấu kính:





Thiết kế bộ phát quang

- Mạch kích thích nguồn quang

➤ Mạch kích thích sử dụng LED:

• Đối với tín hiệu analog:

Sử dụng transistor lưỡng cực, LED được kết nối với cực c hoặc cực e với một điện trở hạn chế dòng. Tín hiệu điều biến đưa vào cực b

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

$$m = I_m/I_b - \text{độ sâu điều biến}$$

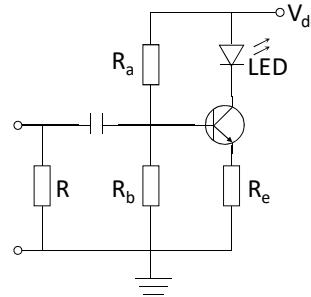
$$\Rightarrow m' = P_m/P_b - \text{độ sâu điều biến quang}$$

• Theo mạch:

$$I_b = \frac{\beta(V_1 - V_0)}{R_1 + (1+\beta)R_e}$$

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

$$V_{dc} = i_c R_e + v_{CE} + v_d$$



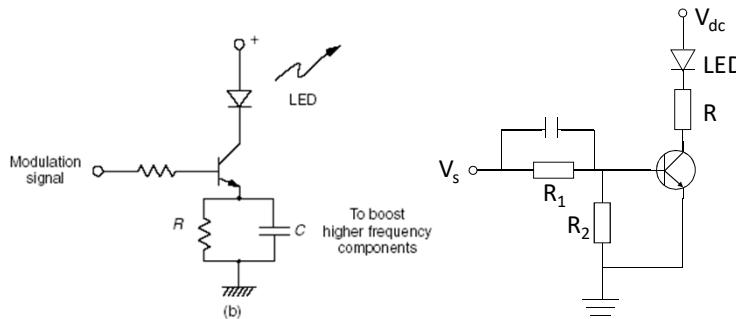
Thiết kế bộ phát quang

- Mạch kích thích nguồn quang

- 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





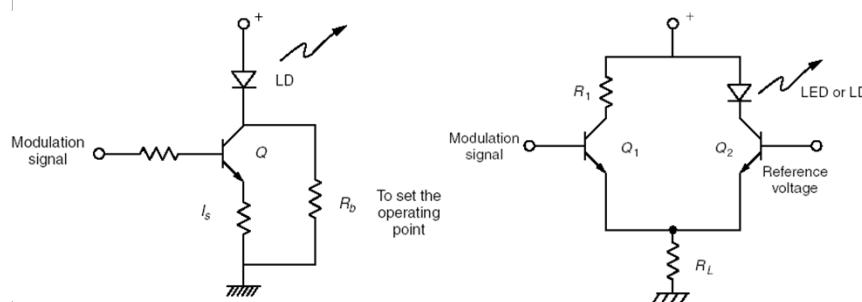
Thiết kế bộ phát quang

- Mạch kích thích nguồn quang

- Mạch kích thích sử dụng LD:

Giống của LED, tuy nhiên phải đảm bảo $I_b > I_{th}$ kẽ cả cho tín hiệu analog và tín hiệu số

Có thể sử dụng MESFET thay cho transistor lưỡng cực

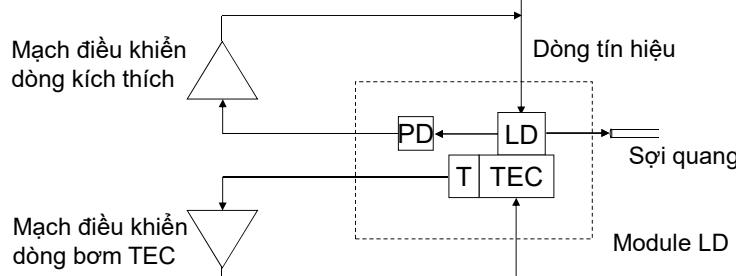


Thiết kế bộ phát quang

- Mạch kích thích nguồn quang

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

- ✓ Điều khiển dòng (I_b): Mạch ổn định công suất tạo ra sự thay đổi dòng định thiên I_b theo sự thay đổi công suất phát của laser \rightarrow ổn định công suất phát của laser
- ✓ Điều khiển nhiệt độ: TEC(Thermoelectric Cooler) - Làm mát bằng hiệu ứng nhiệt-điện (T^o của TEC thay đổi khi dòng nuôi TEC thay đổi).



Thiết kế bộ phát quang

PTIT

- Mạch kích thích nguồn quang
 - Mạch kích thích sử dụng LD:
- Mạch điều chế: sử dụng khuếch đại vi sai Q1, Q2
- Q4 kết hợp với mạch hồi tiếp sử dụng KĐTT ổn định P_{LD}

Bài tập chương 3

PTIT

- Bài tập:

1- Vùng tích cực của laser InGaAsP 1,3 μm dài 250 μm . Tìm độ khuếch đại vùng tích cực cần thiết cho laser đạt tới ngưỡng. Giả sử rằng vùng tích cực có suy hao bên trong là 30 cm^{-1} , chiết suất tại mode phát xạ là 3,3 và hệ số giam hãm là 0,4.

2- Một laser InGaAsP dài 250x5x0,1 μm có suy hao bên trong là 40 cm^{-1} . Nó hoạt động đơn mode với chiết suất tại mode phát xạ là 3,3 và chiết suất nhóm lớp tích cực là 3,4. Hãy tính thời gian sống của photon. Giá trị ngưỡng mật độ hạt tải là bao nhiêu? Giả sử rằng hệ số khuếch đại biến đổi tuyến tính theo N_T với $G_N = 6 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{s}^{-1}$ và $N_T = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Posts & Telecommunications Institute of Technology

78