

## KỸ THUẬT THÔNG TIN QUANG

### Câu 1.1:

Cho biết các ưu điểm cơ bản của hệ thống thông tin quang so với các hệ thống truyền dẫn cáp kim loại?

#### Trả lời:

- + Suy hao truyền dẫn rất nhỏ.
- + Băng tần truyền dẫn rất lớn.
- + Không bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ.
- + Có tính bảo mật tín hiệu thông tin.
- + Có kích thước và trọng lượng nhỏ.
- + Sợi có tính cách điện tốt.
- + Tin cậy và linh hoạt.
- + Sợi được chế tạo từ vật liệu rất sẵn có, giá thành rẻ.

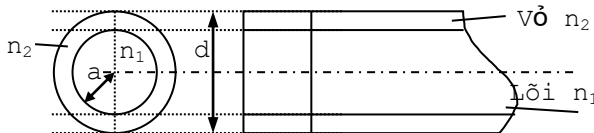
### Câu 2.1:

Trình bày cấu tạo chung và phân loại sợi quang?

#### Trả lời:

**a/ Cấu tạo:** sợi quang có cấu trúc dạng hình trụ, chế tạo từ vật liệu dẫn quang gồm có 2 lớp:

- + **Lớp lõi:** có dạng hình trụ tròn, bán kính  $a$ , chiết suất  $n_1$ .
- + **Lớp vỏ:** có dạng hình ống, đồng tâm với lõi, đường kính  $d$ , bán kính  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ ).



#### **b/ Phân loại:**

- + **Theo chỉ số chiết suất:**
- Sợi có chỉ số chiết suất phân bậc (SI: Step Index).

- Sợi có chỉ số chiết suất thay đổi (GI: Graded Index).

+ **Theo mode truyền trong sợi:**

- Sợi đơn mode (SM: Single Mode).

- Sợi đa mode (MM: Multi Mode).

+ **Theo vật liệu chế tạo sợi quang:**

- Sợi thủy tinh: suy hao bé nhưng dễ gãy, ứng dụng trong viễn thông.

- Sợi chất dẻo: suy hao lớn nhưng dễ uốn, ứng dụng trong y tế.

- Sợi có lõi bằng thủy tinh, vỏ bằng chất dẻo.

### Câu 3.1:

Trình bày các yêu cầu đối với mạch tiền khuếch đại?

#### Trả lời:

+ Phải có khả năng k/đại tín hiệu đầu vào có biên độ nhỏ (do tín hiệu đầu ra của bộ tách sóng quang có giá trị rất nhỏ).

+ Tạp âm gây ra phải nhỏ (do chất lượng của bộ tiền k/đại sẽ quyết định đến chất lượng máy thu).

+ Trở kháng vào của mạch phải lớn (để đảm bảo phối hợp trở kháng với điện trở tải).

+ Băng tần k/đại phải lớn (do tín hiệu truyền trên sợi quang có tốc độ bit rất lớn).

Xuất phát từ các yêu cầu trên nên các mạch tiền k/đại thường được chế tạo từ các Transistor hiệu ứng trường (FET).

### Câu 4.1:

Cho biết khái niệm khẩu độ số của sợi quang, viết công thức tính khẩu độ số của sợi đa mode chiết suất phân bậc (MM-SI)?

#### Trả lời:

**a/ Khái niệm:** Khẩu độ số của sợi quang là đại lượng đặc trưng cho khả năng ghép ánh sáng giữa nguồn quang và sợi quang.

**b/ C/thức tính khẩu độ số của sợi MM-SI:**

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

+ NA càng lớn thì công suất ghép càng lớn.

+ NA không đổi khi bán kính thay đổi.

### Câu 5.1:

Cho biết khái niệm khẩu độ số của sợi quang, viết công thức tính khẩu độ số của sợi đa mode chiết suất graded (MM-GI)?

#### Trả lời:

**a/ Khái niệm:** Khẩu độ số của sợi quang là đại lượng đặc trưng cho khả năng ghép ánh sáng giữa nguồn quang và sợi quang.

**b/ C/thức tính khẩu độ số của sợi MM-GI:**

$$NA = \sqrt{n^2(r) - n_2^2}$$

+ NA phụ thuộc vào bán kính  $r$ .

+ Tại lõi:

$r=0 \rightarrow NA(0)=\max$

$r \text{ tăng} \rightarrow n(r) \text{ giảm} \rightarrow NA \text{ giảm}$

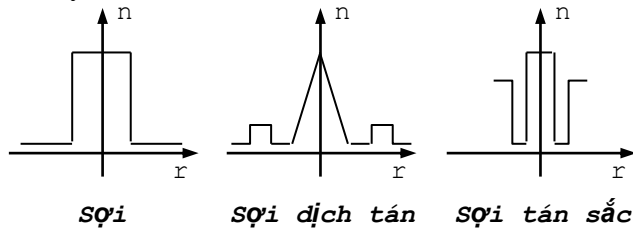
$r=\pm a \rightarrow n(r) = n_2 \rightarrow NA=0$

### Câu 6.1:

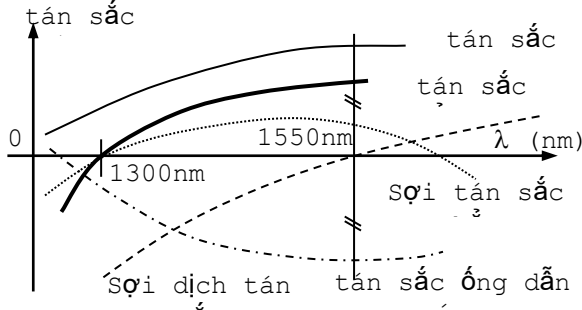
Vẽ mặt cắt chỉ số chiết suất và đường cong tán sắc tổng của sợi đơn mode thông thường, sợi tán sắc dịch chuyển và sợi tán sắc phẳng?

**Trả lời:**

a/ Mặt cắt chỉ số chiết suất:



b/ Đường cong tán sắc tổng:



**Câu 7.1:**

Tính tần số ánh sáng và năng lượng photon tương ứng với bước sóng 1,55μm. Cho hằng số Planck \$h=6,625 \cdot 10^{-34}\$ J.s và vận tốc ánh sáng trong chân không \$c=3 \cdot 10^8\$ m/s?

**Trả lời:**

$$\lambda = 1,55 \mu\text{m} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = ?; E = ?$$

**Bg:**

Tần số ánh sáng:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,55 \cdot 10^{-6}} = 1,94 \cdot 10^{14} \text{ (Hz)}$$

Năng lượng Photon:

$$E = hf = 6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 1,94 \cdot 10^{14} = 12,85 \cdot 10^{-20} \text{ (J)}$$

**Câu 8.1:**

Cho một hệ thống thông tin quang có suy hao sợi quang 1,5 dB/km, chiều dài tuyến là 50km, công suất phía phát là 1mW. Biết rằng sợi quang cứ 5km thì có 1 mối hàn và có 2 connector ở 2 đầu. Suy hao một mối hàn là 0,2dB, suy hao một connector là 0,5dB. Tính công suất nhận được ở phía thu?

**Trả lời:**

$$a = 1,5 \text{ dB/km}$$

$$L = 50 \text{ km}$$

$$l = 5 \text{ km}$$

$$P_T = 1 \text{ mW} = 10 \lg 1 = 0 \text{ dBm}$$

$$a_s = 0,2 \text{ dB/s}$$

$$a_c = 0,5 \text{ dB/c}$$

$$P_R = ?$$

**Bg:**

Ta có suy hao tổng toàn tuyến:

$$A = n_c \cdot a_c + n_s \cdot a_s + L \cdot a \text{ (dB)}$$

Trong đó:

$$\text{Số connector } n_c = 2.$$

$$\text{Số mối hàn } n_s = \left[ \frac{L}{l} - 1 \right] = \left[ \frac{50}{5} - 1 \right] = 9$$

$$\text{Vậy: } A = 2 \times 0,5 + 9 \times 0,2 + 50 \times 1,5 = 77,8 \text{ (dB)}$$

Khi đó, công suất nhận được ở phía thu là:

$$P_R \text{ (dBm)} = P_T \text{ (dBm)} - A \text{ (dB)} = 0 - 77,8 = -77,8 \text{ (dBm)}$$

**Câu 9.1:**

Viết công thức tính số mode lan truyền của một sợi quang chiết suất phân bậc (SI) và sợi quang chiết suất graded (GI). Số mode lan truyền trong sợi quang phụ thuộc vào các tham số nào?

**Trả lời:**

a/ Công thức tính số mode lan truyền trong 1 sợi SI:

$$M_{SI} = \frac{V^2}{2}$$

b/ Công thức tính số mode lan truyền trong 1 sợi GI:

$$M_{GI} = \frac{V^2}{4}$$

c/ Để biết số mode lan truyền trong sợi quang phụ thuộc vào các tham số nào, ta xét:

M phụ thuộc vào V, tham số truyền dẫn V lại phụ thuộc vào bán kính sợi quang a và tham số NA vì:

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot NA}{\lambda}$$

mà khẩu độ số NA lại phụ thuộc vào các chiết suất \$n\_1\$ và \$n\_2\$. Vậy tóm lại, số mode phụ thuộc vào vật liệu chế tạo sợi quang và đường kính sợi quang.

**Câu 10.1:**

Trình bày đặc điểm của cáp quang sử dụng trong nhà và cáp nhảy. Cho ví dụ minh họa cấu trúc của loại cáp này?

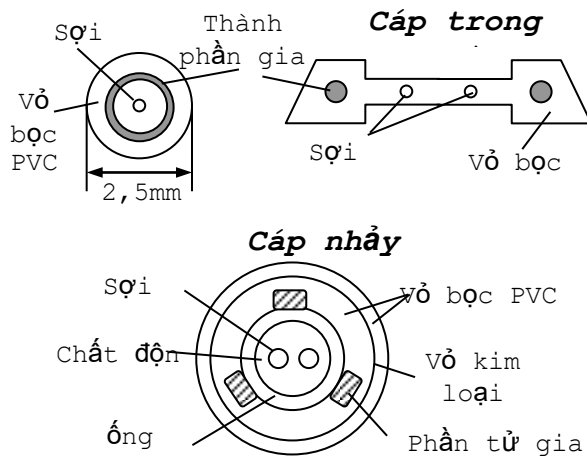
**Trả lời:**

a/ Đặc điểm của cáp quang sử dụng trong nhà và cáp nhảy:

+ Số sợi ít, kích thước nhỏ.

- + Mềm dẻo, dễ uốn cong, có khả năng chống gặm nhấm.
- + Không dẫn lửa, không phát ra khí độc.
- + Sử dụng cấu trúc bọc chặt.

#### b/ Ví dụ minh họa:



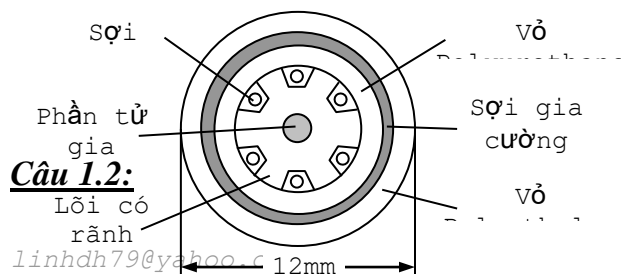
#### Câu 11.1:

Vẽ minh họa cấu trúc một loại cáp quang treo. Cho biết đặc điểm của loại cáp này?

#### Trả lời:

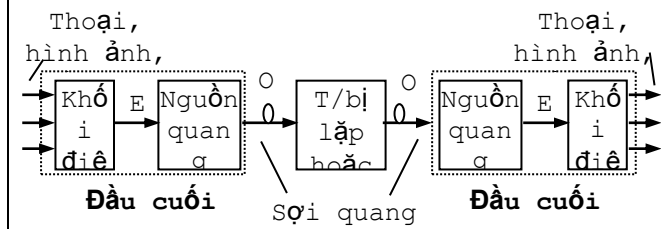
Cáp treo có thể có cấu tạo ôm sát vào thành phần gia cường kim loại hoặc phi kim độc lập (thường dùng cho môi trường có băng tuyết và gió, có cự ly dài), hoặc dưới dạng tự chịu lực (đối với trường hợp chịu ảnh hưởng của ứng suất cơ học và nhiệt độ). Cáp tự chịu lực đòi hỏi có sức bền cao và cần phải ở dạng cấu trúc bọc lỏng để sợi có khoảng tự do lớn hơn.

Dưới đây là hình vẽ minh họa một loại cáp quang treo (loại tự chịu lực):



Vẽ sơ đồ tổng quát và cho biết nguyên lý truyền tín hiệu của hệ thống thông tin quang?

#### Trả lời:



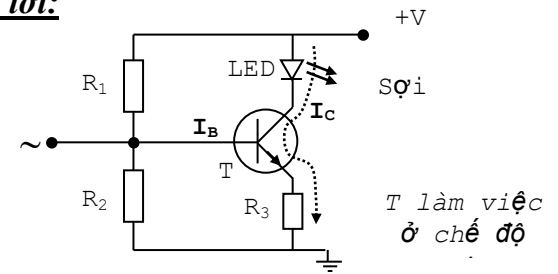
#### Nguyên lý:

- Các loại tín hiệu dịch vụ (thoại, hình ảnh, số liệu) được đưa vào khối điện tử ở phía phát để xử lý trong miền điện nhờ các vi mạch điện tử (chuyển đổi A/D, mã hoá, ghép kênh...)
- Sau khi được xử lý, tín hiệu điện băng tần lớn tốc độ cao được đưa vào để điều chế nguồn quang. Nguồn quang có chức năng chuyển từ tín hiệu điện thành tín hiệu quang. Đầu ra của nguồn quang là tín hiệu quang có mang tin tức được đưa tới sợi quang để truyền về phía thu. Nếu cự ly giữa phát và thu quá xa nhau thì ta có thể sử dụng thiết bị lặp hoặc các bộ k/đại quang trên đường truyền (Thiết bị lặp thực hiện biến đổi O/E, tái tạo tín hiệu điện về biên độ, tần số, dạng tín hiệu rồi biến đổi lại E/O và truyền đi, còn bộ k/đại quang thực hiện k/đại biên độ tín hiệu[cả nhiều] mà không cần thực hiện biến đổi E/O hoặc O/E).
- Tín hiệu từ sợi quang được đưa tới bộ thu quang để chuyển đổi O/E, sau đó đưa sang khối điện tử phía thu để khôi phục lại tín hiệu ban đầu bằng cách chuyển đổi D/A, giải mã, tách kênh...

#### Câu 2.2:

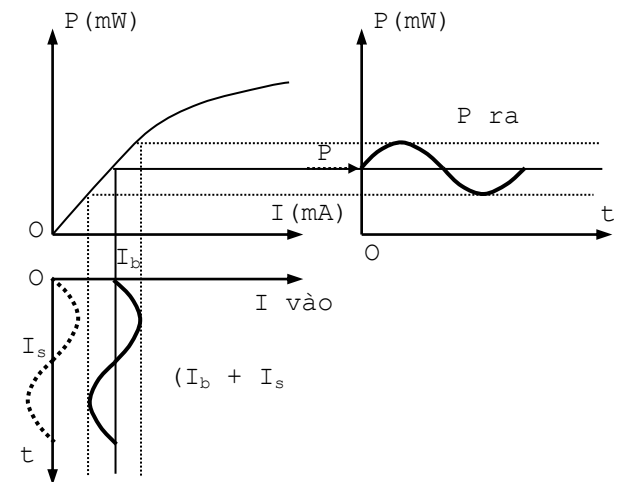
Vẽ sơ đồ và trình bày nguyên lý hoạt động mạch phát dùng LED với tín hiệu đưa vào điều chế là tín hiệu tương tự?

#### Trả lời:



#### Chức năng linh kiện:

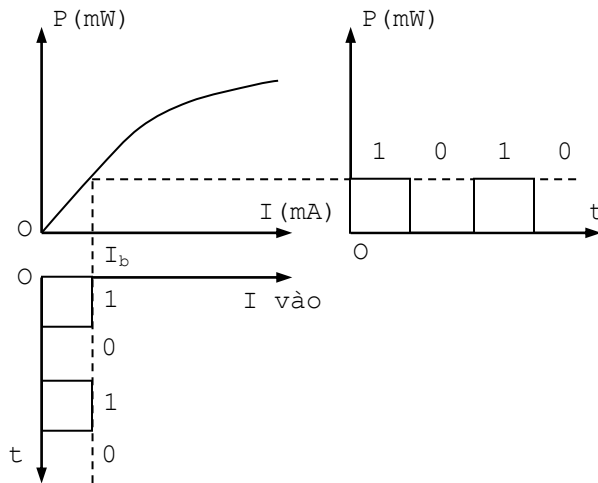
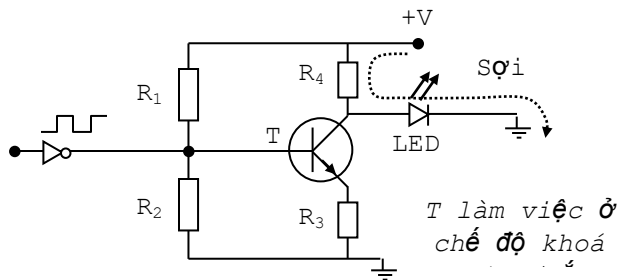
#### Nguyên lý:



#### Câu 3.2:

Vẽ sơ đồ và trình bày nguyên lý hoạt động mạch phát dùng LED với tín hiệu đưa vào điều chế là tín hiệu số?

**Trả lời:**



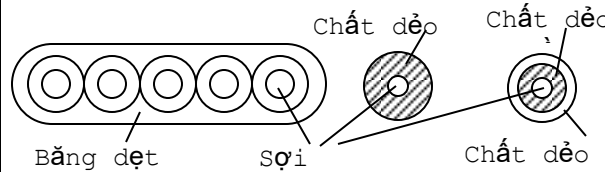
**Câu 4.2:**

Trình bày các biện pháp bọc chặt và bọc lỏng bảo vệ sợi quang?

**Trả lời:**

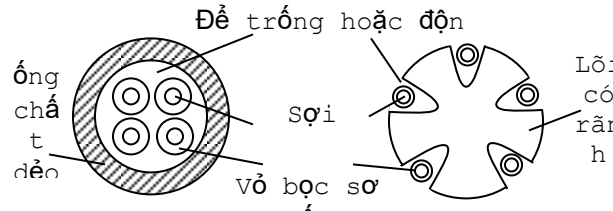
**a/ Bọc chặt sợi:**

Sợi dẫn quang (sau khi được bọc sơ cấp) sẽ được bọc chặt, vỏ bọc chặt (vỏ bọc thứ cấp) cho sợi sẽ làm tăng lực cơ học của sợi và chống lại ứng suất bên trong. Các sợi dẫn quang có thể được bảo vệ riêng bằng các lớp vật liệu chất dẻo đơn hoặc kép.



**b/ Bọc lỏng sợi:**

Sợi có thể được đặt trong cáp sau khi chỉ được bọc sơ cấp một lớp chất dẻo có màu rất mỏng. ở trường hợp này, các sợi được đặt trong ống hoặc các rãnh hình chữ V có trên lõi chất dẻo (lõi có khe). Các ống và rãnh có kích thước lớn hơn nhiều so với sợi dẫn quang để các sợi có thể nằm hoàn toàn tự do trong nó. Kỹ thuật này cho phép bảo vệ sợi tránh được các ứng suất bên trong. Mỗi ống hoặc rãnh có thể chứa 1 hoặc 1 nhóm sợi quang, khoảng trống dư trong ống, rãnh có thể là rỗng hoặc được độn chất jelly.



**Câu 5.2:**

Trình bày cấu tạo và sự lan truyền ánh sáng trong sợi đa mode chiết suất phân bậc (MM-SI) bằng phương pháp quang hình?

**Trả lời:**

**a/ Cấu tạo:**

- + Đường kính lõi:  $2a \approx 50\mu\text{m}$ .
- + Đường kính vỏ:  $d \approx 125\mu\text{m}$ .
- + Chiết suất vỏ:  $n_2 = \text{const}$

Chiết suất lõi thay đổi phụ thuộc vào bán kính r:

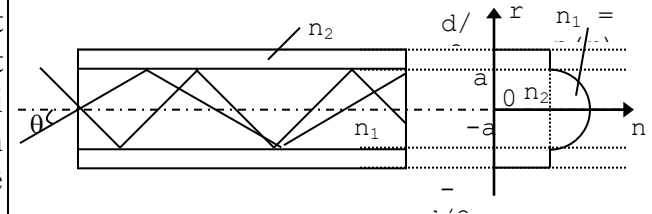
$$n_1 = n(r)$$

Có nhiều dạng hàm khác nhau, tuy nhiên các sợi quang trong viễn thông thường sử dụng hàm bậc 2 (Parabol).

$$r = 0 \rightarrow n_1 \text{ cực đại}$$

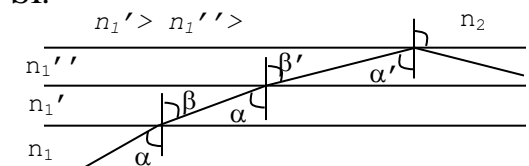
$$r \text{ tăng} \rightarrow n_1 \text{ giảm}$$

$$r = a \rightarrow n_1 = n_2$$



**b/ Sự lan truyền ánh sáng:**

- + ánh sáng lan truyền ở trong lõi sợi MM-GI bao gồm nhiều mode (nhiều tia sáng).
- + Quỹ đạo lan truyền của các tia ánh sáng có dạng hình sóng do chiết suất của lõi thay đổi.
- + Sự chênh lệch thời gian truyền giữa các mode trong sợi MM-GI nhỏ hơn so với sợi MM-SI.



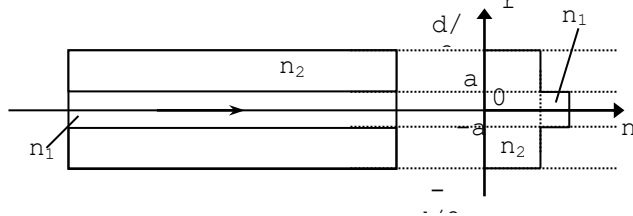
**Câu 6.2:**

Trình bày cấu tạo và sự lan truyền ánh sáng trong sợi đa mode chiết suất graded (MM-GI) bằng phương pháp quang hình?

**Trả lời:**

**a/ Cấu tạo:**

- + Đường kính lõi:  $2a \approx 10\mu\text{m}$ .
- + Đường kính vỏ:  $d \approx 125\mu\text{m}$ .
- + Chiết suất vỏ:  $n_1 = \text{const}$ ,  $n_2 = \text{const}$



**b/ Sự lan truyền ánh sáng:**

- + Chỉ có duy nhất 1 mode lan truyền trong lõi sợi.
- + Nếu xét theo quan điểm sóng thì ánh sáng lan truyền trong sợi đơn mode trong cả lõi và vỏ sợi. Năng lượng lan truyền trong lõi chiếm khoảng 70%, còn lại 30% ở vỏ.

Điều kiện để sợi quang truyền đơn mode là:

$$V \leq 2,405$$

**Câu 7.2:**

Trình bày các đặc tính và tham số cơ bản của LED?

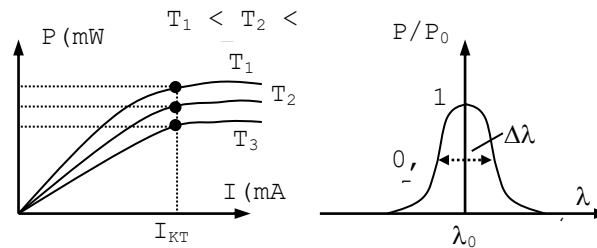
**Trả lời:**

**a/ Đặc tuyến phát xạ:**

- + Đặc tuyến phát xạ ở đoạn đầu có dạng tuyến tính, tức là khi dòng điện kích thích tăng thì công suất phát của LED tăng. Đoạn sau là đoạn bão hòa, khi dòng tăng thì công suất bị bão hòa (không tăng nữa).
- + Khi nhiệt độ làm việc (T) của LED tăng thì công suất phát giảm.

+ Độ dốc của đặc tuyến phát xạ của LED không lớn.

+ Công suất phát của LED nhỏ.



$P_0$  : Công suất phát xạ cực đại ( $\text{max} = 1$ )

**b/ Đặc tuyến phổ:**

- + Phổ phát xạ của LED là phổ đặc, có dạng hình chuông, có công suất phát lớn nhất tại bước sóng làm việc  $\lambda_0$ .
- + Độ rộng phổ  $\Delta\lambda$  được lấy ở mức một nửa công suất,  $\Delta\lambda$  tương đối lớn --> tán sắc nhiều.

**c/ Các tham số khác:**

- +  $\lambda_0$  ở 850nm và 1300nm.
- + Độ rộng chùm sáng LED phát ra lớn --> tính định hướng kém --> hiệu suất ghép ánh sáng giữa LED và sợi quang kém.
- + Ánh sáng LED phát ra là ánh sáng không kết hợp, do đó công suất phát nhỏ.

**Câu 8.2:**

Trình bày các đặc tính và tham số cơ bản của LASER?

**Trả lời:**

**a/ Đặc tuyến phát xạ:**

- Đặc tuyến phát xạ của Laser được chia làm 2 phần:
- + Phần thứ nhất: khi dòng điện kích thích nhỏ hơn dòng ngưỡng, đặc tuyến có độ dốc nhỏ,

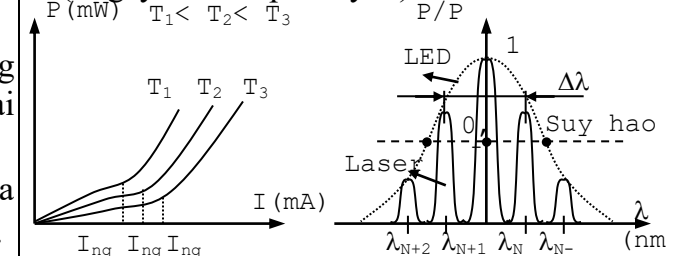
Laser hoạt động tương tự như LED (chưa có đảo mật độ).

+ Phần thứ hai: khi dòng điện kích thích lớn hơn dòng ngưỡng, đặc tuyến có độ dốc lớn, Laser hoạt động ở chế độ k/đại.

- Khi dòng kích thích tăng thì công suất đầu ra cũng tăng.

- Khi nhiệt độ làm việc tăng thì công suất phát giảm và dòng ngưỡng tăng.

- Đặc tuyến của Laser không tuyến tính --> không thích hợp cho điều chế tín hiệu tương tự (vì gây ra méo phi tuyến).



**b/ Đặc tuyến phổ:**

- Laser Fabry-Perot là Laser đa mode có độ rộng phổ  $\Delta\lambda$  hẹp hơn so với LED.

-  $\Delta\lambda$  phụ thuộc vào số mode, số mode càng lớn thì  $\Delta\lambda$  càng lớn.

- Phổ phát xạ của Laser là phổ vạch.

**c/ Các tham số khác:**

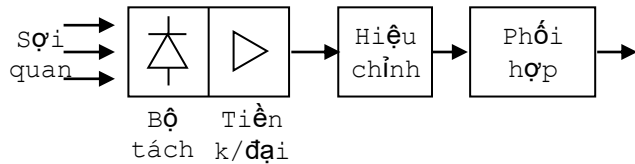
- + Công suất phát của Laser lớn hơn so với LED.
- + Độ rộng phổ hẹp hơn.
- + Độ rộng chùm sáng hẹp hơn --> hiệu suất ghép giữa Laser và sợi quang cao hơn.
- + Bước sóng làm việc thường là  $1300 \div 1500\text{nm}$ .

### Câu 9.2:

Vẽ sơ đồ khối và cho biết nguyên lý hoạt động của máy thu tín hiệu quang tách sóng trực tiếp?

#### Trả lời:

##### **a/ Sơ đồ khối:**



##### **b/ Nguyên lý hoạt động:**

- **Bộ tách sóng quang:** chuyển đổi tín hiệu quang thu được từ sợi quang thành tín hiệu điện (dòng tách quang).

Trong viễn thông, ta thường sử dụng 2 bộ tách sóng quang là : Photodiode PIN và Photodiode thác.

- **Bộ tiền k/đại:** k/đại tín hiệu sau khi tách sóng.

Thường được chế tạo từ các Transistor hiệu ứng trường FET.

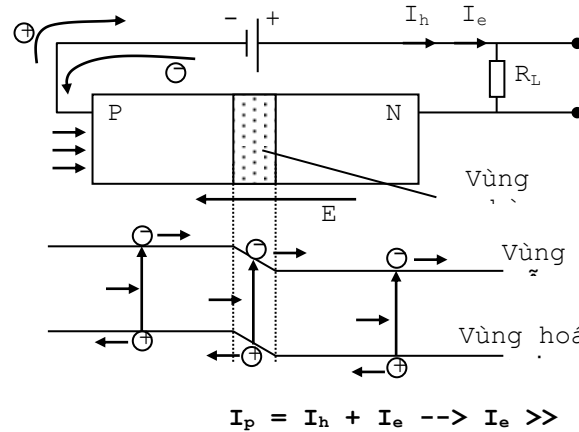
- **Mạch hiệu chỉnh:** để giảm méo tín hiệu. Đối với tín hiệu số, nó có tác dụng sửa méo xung, giảm nhiễu sự giao nhau giữa các xung.

- **Mạch phối hợp đầu ra:** đưa ra tín hiệu có mức và dạng phù hợp với các tầng phía sau. Đối với tín hiệu tương tự, đây là mạch phối hợp trở kháng; đối với tín hiệu số, đây là mạch làm nhiệm vụ quyết định tín hiệu 0 hay 1 dựa trên cơ sở biên độ tín hiệu.

### Câu 10.2:

Trình bày nguyên lý chuyển đổi quang điện của tiếp giáp P-N?

#### Trả lời:



+ Khi chưa có ánh sáng chiếu vào, trong mạch chỉ có dòng điện rò có giá trị rất bé, trong trường hợp này gọi là dòng tối ( $I_d$ ).

+ Khi có ánh sáng chiếu vào lớp P, ánh sáng sẽ đi qua P, qua vùng nghèo tới vùng N. Trong quá trình lan truyền, các photon ánh sáng sẽ bị hấp thụ, sinh ra các cặp điện tử và lỗ trống.

+ Các điện tử và lỗ trống sinh ra trong vùng P và vùng N nhanh chóng bị tái hợp và biến mất, không tham gia tạo thành dòng điện.

+ Các điện tử và lỗ trống sinh ra trong vùng nghèo thì điện tử chuyển động về phía bán dẫn N, sau đó đi ra mạch ngoài rồi sang phía P và tạo thành dòng điện ( $I_e$ ), còn lỗ trống thì chuyển động theo chiều ngược lại và tạo thành dòng điện  $I_h$ .

Trong mạch, dòng tách quang:

$$I_p = I_e + I_h$$

-->  $U_{ra} = I.R_L$  ( $I$ :  $I_d$  hoặc  $I_p$ ).

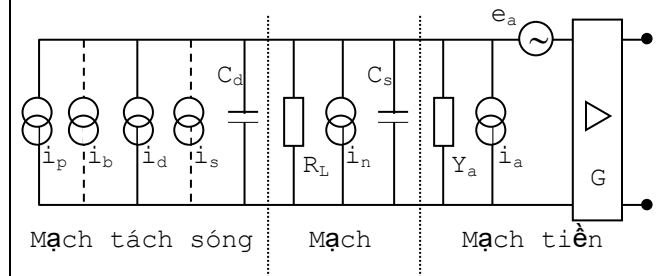
\* Hạn chế của tiếp giáp PN là do kích thước vùng nghèo nhỏ nên hiệu suất chuyển đổi O/E nhỏ.

### Câu 11.2:

Vẽ sơ đồ mạch điện tạp âm tương đương của photodiode và mạch tiền khuếch đại, giải thích các ký hiệu trong sơ đồ?

#### Trả lời:

**a/ Sơ đồ mạch điện tương đương của máy thu tín hiệu quang tách sóng trực tiếp:**



##### **b/ Các ký hiệu:**

$i_p$  : nguồn dòng tín hiệu.

$i_d$  : nguồn dòng tối.

$C_d$  : điện dung của PD.

$R_L$  : Điện trở tải.

$e_a$  : nguồn nhiễu điện áp của mạch tiền k/đại.

$G$  : k/đại lý tưởng (không có nhiễu).

$i_s$  : nguồn nhiễu nổ (shot-noise).

$i_b$  : nguồn nhiễu do ánh sáng nền.

$i_n$  : nguồn nhiễu nhiệt do  $R_L$  gây ra.

$C_s$  : điện dung ký sinh.

$Y_a$  : dẫn nạp của mạch tiền k/đại.

$i_a$  : nguồn dòng nhiễu của mạch tiền k/đại.

### Câu 12.2:

Viết công thức tính tỷ số bit lỗi (BER) của hệ thống thông tin quang IM-DD và cho biết tỷ lệ lỗi bit phụ thuộc vào các tham số nào?

**Trả lời:**

- Công thức tính BER và giải thích các đại lượng.

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{S_D}{\sigma_{D0} + \sigma_{D1}} \right)$$

Trong đó:

$S_D$  dòng tín hiệu

$\sigma_0$  dòng nhiễu tương đương khi bit "0" được phát

$\sigma_1$  dòng nhiễu tương đương khi bit "1" được phát

Hàm bù lỗi

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2) dt$$

- Giải thích BER phụ thuộc vào các đại lượng:  
+ Công suất tín hiệu thu và hiệu suất lượng tử do:

$$S_D = \begin{cases} \left( \frac{\eta e}{hf} \right) P_s & \text{với PIN} \\ \left( \frac{\eta e}{hf} \right) M P_s & \text{với APD} \end{cases}$$

+ Các loại nhiễu: nhiễu lượng tử ( $i_s$ ), nhiễu dòng tối ( $i_d$ ), nhiễu do ánh sáng nền ( $i_b$ ), nhiễu nhiệt ( $i_c$ )

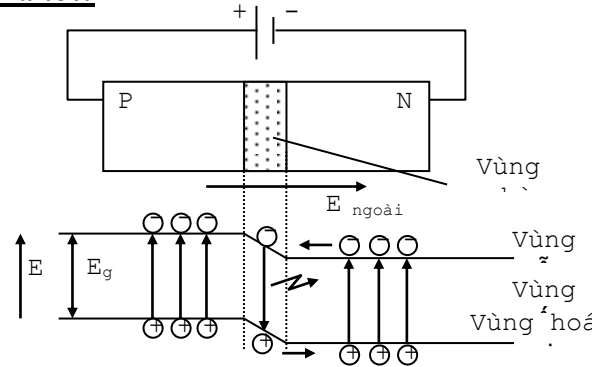
$$\sigma_{D0}^2 = \overline{i_b^2} + \overline{i_d^2} + \overline{i_c^2}$$

$$\sigma_{D1}^2 = \overline{i_s^2} + \overline{i_b^2} + \overline{i_d^2} + \overline{i_c^2}$$

**Câu 13.2:**

Trình bày nguyên lý phát xạ ánh sáng của tiếp giáp P-N?

**Trả lời:**



**Nguyên lý:**

+ Dưới tác dụng của điện trường bên ngoài, điện tử nhảy từ vùng hoá trị lên vùng dẫn.

+ Các điện tử ở bán dẫn N sẽ chuyển động ngược chiều điện trường và đi vào vùng nghèo. Tại đây, khi điện tử hết thời gian sống ở trạng thái mức năng lượng cao, nó sẽ nhảy về vùng hoá trị (mức năng lượng thấp) và phát ra các photon ánh sáng có bước sóng:

$$\lambda = \frac{h.c}{E_g}$$

( $E_g$  : năng lượng vùng cấm của vật liệu bán dẫn)

**Câu 14.2:**

Trình bày đặc điểm của cáp quang kéo trong cống và cáp chôn trực tiếp. Cho ví dụ minh họa cấu trúc của loại cáp này?

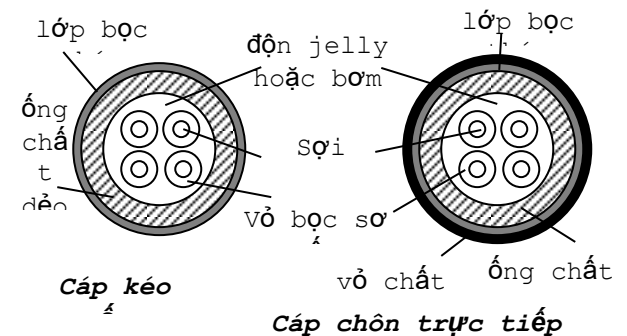
**Trả lời:**

**a/ Đặc điểm:**

+ **Cáp quang kéo cống:** phải chịu được lực kéo và xoắn, có trọng lực nhẹ để dễ đặt và phải rất mềm dẻo để vượt qua các chướng ngại trong khi lắp đặt. Loại cáp này cũng phải chịu được ẩm và nước vì trong cống cáp và bể cáp thường hay đọng nước. Vì vậy, trong cấu trúc của cáp thường có chất độn jelly và thành phần chống ẩm bằng kim loại. Nếu không thì cần phải có hệ thống bơm hơi cho cáp. Đôi khi cũng sử dụng lớp bọc thép để chống găm nhám và côn trùng. Có tất cả các dạng cấu trúc bọc chặt, bọc lỏng trong ống, bọc lỏng bằng khe dưới dạng băng hoặc bó sợi...

+ **Cáp chôn trực tiếp:** tương tự như trên nhưng phải có lớp vỏ bọc kim loại tốt để tránh sự phá huỷ do đào bới hoặc các tác động khác trong đất. Vỏ bọc thép bên ngoài gồm các sợi thép hoặc băng thép. Vỏ bọc ngoài lớp thép này là vỏ chất dẻo.

**b/ Ví dụ minh họa:**



### Câu 15.2:

Trình bày đặc điểm của cáp quang ngập nước và thả biển. Cho ví dụ minh họa cấu trúc của loại cáp này?

#### Trả lời:

**a/ Cáp ngập nước:** được sử dụng để thả qua sông hoặc khu vực có nước ngập cạn, đồng lầy..., vì vậy loại cáp này cần phải đáp ứng các yêu cầu khắt khe, bao gồm:

+ Tính chống ẩm và chống thấm nước tại các vùng có áp suất đặc biệt lớn.

+ Có khả năng chống sự dẫn nước dọc theo cáp.

+ Có khả năng chịu được sự kéo khi lắp đặt và sửa chữa cáp.

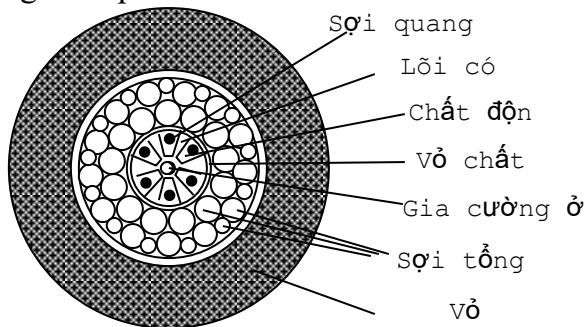
+ Chống lại được các áp lực thống kê.

+ Có khả năng hàn nối sửa chữa dễ dàng.

+ Có cấu trúc tương thích với cáp đặt trên đất liền.

+ Cần phải lưu ý tới ảnh hưởng của Hydro (do có cả lớp kim loại).

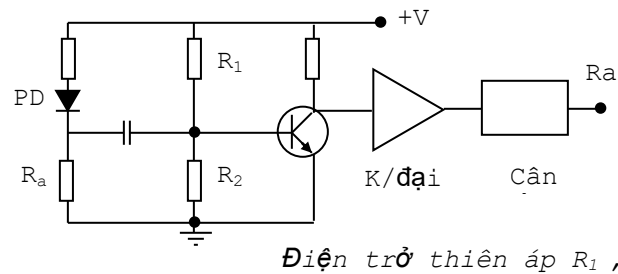
**b/ Cáp thả biển:** có cấu trúc rất phức tạp, có thể xem đây là loại cáp đặc chủng vì nó đòi hỏi nhiều yêu cầu còn khắt khe hơn loại cáp ngập nước ở trên nhiều lần. Ngoài các yếu tố trên, cáp thả biển còn phải chịu tác động đặc biệt khác như khả năng thâm nhập của nước biển, sự phá hoại của các động vật dưới biển, sự cọ xát của tàu thuyền... Có 2 loại: cáp thả nông và cáp thả sâu.



### Câu 16.2:

Vẽ một mạch tiền khuếch đại dùng transistor lưỡng cực, trình bày đặc điểm và nguyên lý hoạt động?

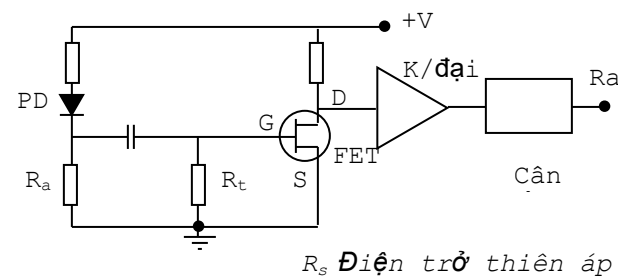
#### Trả lời:



### Câu 17.2:

Vẽ một mạch tiền khuếch đại dùng FET, trình bày đặc điểm và nguyên lý hoạt động?

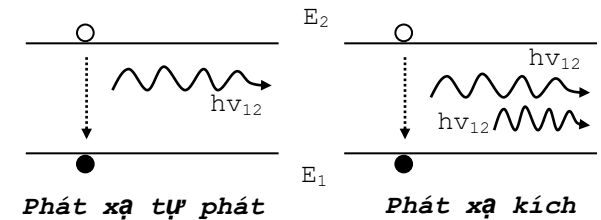
#### Trả lời:



### Câu 1.3:

Trình bày cơ chế phát xạ ánh sáng (phát xạ tự phát, phát xạ kích thích) của hệ hai mức năng lượng. Thế nào là ánh sáng không kết hợp và ánh sáng kết hợp?

#### Trả lời:

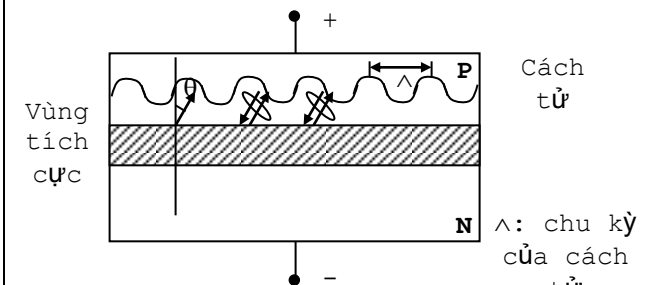


### Câu 2.3:

Vẽ cấu trúc và cho biết nguyên lý hoạt động của LASER phản hồi phân tán (DFB)?

#### Trả lời:

Laser phản hồi phân tán (DFB: Distribution Feedback) có cấu trúc như hình vẽ. Lớp cách tử Bragg được hình thành bằng cách thay đổi chiết suất của bán dẫn P theo 1 chu kỳ  $\Lambda$ . Tác dụng của cách tử là nhằm tạo ra sự giao thoa giữa 2 sóng lan truyền ngược chiều nhau.



#### **Nguyên lý hoạt động:**

Các photon ánh sáng được tạo ra trong vùng tích cực với cơ chế tương tự như các loại nguồn quang LED và Laser Fabry-Perot. Sau khi được tạo ra, các photon ánh sáng này sẽ



đập vào các cách tử và phản xạ trở lại, sóng tới và sóng phản xạ sẽ được giao thoa với nhau, có bước sóng bị triệt tiêu và có bước sóng được k/đại.

Điều kiện k/đại:

$$\lambda_B = \frac{2 \cdot \Lambda \cdot n_{eff}}{m}$$

$\lambda_B$  : bước sóng được k/đại

$n_{eff}$  : chiết suất hiệu dụng ( $n_{eff} = n \cdot \sin\theta$ )

m: bậc của cách tử (số nguyên)

$$m=1 \rightarrow \lambda_B \text{ bậc } 1 = 2 \cdot \Lambda \cdot n_{eff}$$

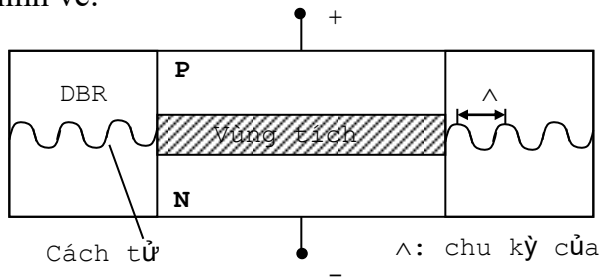
Nhờ hiện tượng phản hồi phân tán mà Laser DFB có thể nén các mode bên và chọn lọc tần số.

### Câu 3.3:

Vẽ cấu trúc và cho biết nguyên lý hoạt động của LASER phản xạ Bragg phân tán (DBR)?

### Trả lời:

Laser phản xạ Bragg phân tán (DBR: Distribution Bragg Reflection) có cấu trúc như hình vẽ:



### Nguyên lý hoạt động:

Các photon ánh sáng được tạo ra trong vùng tích cực với cơ chế tương tự như các loại nguồn quang LED và Laser Fabry-Perot. Hai cách tử phản xạ Bragg phân tán có chiều dài hạn chế được đặt ở 2 đầu để đóng vai trò như 2 gương phản xạ thay thế cho khoang cộng

hưởng Fabry-Perot. Chỉ những bước sóng thỏa mãn điều kiện:

$$\lambda_B = \frac{2 \cdot \Lambda \cdot n_{eff}}{m}$$

thì mới được k/đại.

$\lambda_B$  : bước sóng được k/đại

$n_{eff}$  : chiết suất hiệu dụng ( $n_{eff} = n \cdot \sin\theta$ )

m: bậc của cách tử (số nguyên)

$$m=1 \rightarrow \lambda_B \text{ bậc } 1 = 2 \cdot \Lambda \cdot n_{eff}$$

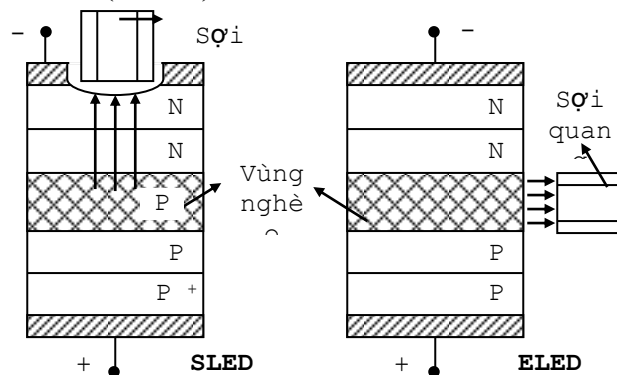
Trong vùng tích cực sinh ra nhiều mode nhưng chỉ có 1 bước sóng được phản xạ trở lại và được k/đại. Các mode gần bước sóng  $\lambda_B$  sẽ bị suy giảm và cho ta Laser đơn mode.

### Câu 4.3:

So sánh LED phát xạ mặt (SLED) và LED phát xạ cạnh (ELED) về cấu trúc và đặc tính?

### Trả lời:

Như ta đã biết, LED có 2 loại cấu trúc được sử dụng cho các hệ thống thông tin quang là cấu trúc phát xạ mặt (SLED) và cấu trúc phát xạ cạnh (ELED).



### So sánh:

#### a/ Giống nhau:

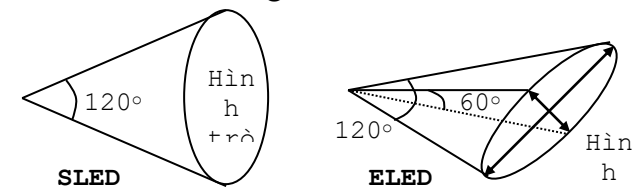
+ Đều có cấu trúc tinh thể kép.

+ Ánh sáng được tạo ra từ vùng nghèo.

### b/ Khác nhau:

+ Với SLED, mặt phẳng của vùng phát ra ánh sáng vuông góc với trục của sợi dẫn quang (tức là có ánh sáng phát ra trên bề mặt của bán dẫn loại P và loại N), vùng tích cực thường có dạng phiên tròn, mẫu phát chủ yếu là đẳng hướng với độ rộng chùm phát khoảng  $120^\circ$  (lớn hơn so với ELED), hiệu suất ghép nhỏ, công suất phát nhỏ và giảm dần theo hàm  $\cos\theta$  với  $\theta$  là góc hợp bởi hướng quan sát và pháp tuyến của bề mặt ( $\theta = 60^\circ$  thì công suất giảm còn 1 nửa).

+ Với ELED, ánh sáng phát ra từ vùng nghèo theo hướng mặt bên của LED, vùng tích cực có dạng Elip, cấu trúc của nó hình thành một kênh dẫn sóng để hướng sự phát xạ ánh sáng về phía lõi sợi, do vậy nó có tính định hướng tốt hơn. Độ rộng chùm sáng của ELED nhỏ nên hiệu suất ghép lớn hơn, công suất phát và tần số điều chế cũng lớn hơn so với SLED.



### Câu 5.3:

Trình bày cấu tạo và nguyên lý phát quang của LED cấu trúc dị thể kép?

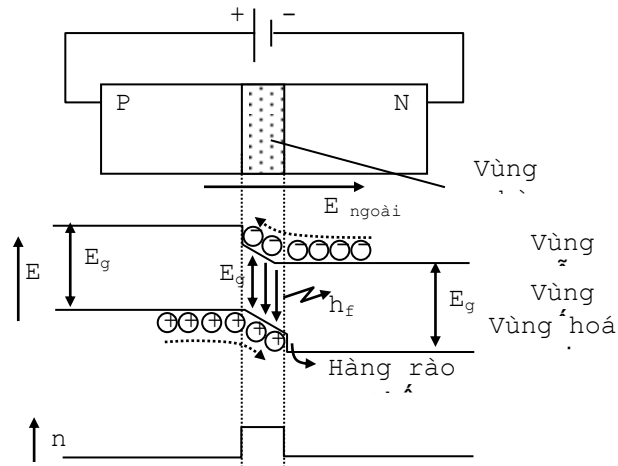
### Trả lời:

Dị thể được tạo từ các vật liệu bán dẫn có năng lượng vùng cấm khác nhau. Dị thể kép bao gồm nhiều dị thể.

Hình vẽ dưới là LED có cấu trúc dị thể kép được cấu tạo từ 3 lớp bán dẫn (loại P, vùng

nghèo và loại N). Vùng nghèo được chế tạo từ bán dẫn có năng lượng vùng cấm nhỏ hơn so với năng lượng vùng cấm của bán dẫn P và bán dẫn N để giam hãm điện tử và lỗ trống trong vùng nghèo, khi đó số lượng photon ánh sáng tạo ra sẽ lớn hơn. Chiết suất của vật liệu chế tạo ra vùng nghèo lớn hơn chiết suất bán dẫn P và bán dẫn N để nhằm mục đích định hướng ánh sáng về phía sợi quang.

#### Nguyên lý hoạt động:



#### Câu 6.3:

Trình bày cấu tạo và nguyên lý tách sóng quang của photodiode PIN (PIN-PD)?

#### Trả lời:

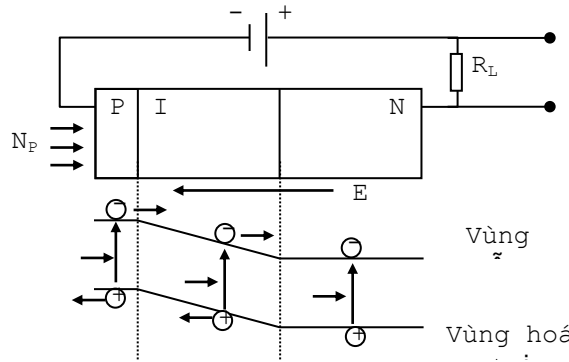
##### a/ Cấu tạo:

Photodiode PIN có cấu tạo gồm 3 lớp:

- + Lớp bán dẫn P: mỏng, trên bề mặt được phủ 1 lớp chống phản xạ ánh sáng.
- + Lớp I: là lớp bán dẫn thuần, có chiều dài đủ lớn.
- + Lớp bán dẫn N.

$R_L$  là điện trở tải, photodiode được phân cực ngược.

##### b/ Nguyên lý hoạt động:



#### Câu 1.4:

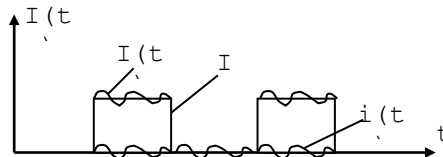
Trình bày các loại nhiễu trong máy thu tín hiệu quang tách sóng trực tiếp?

#### Trả lời:

Trong máy thu tín hiệu quang, nhiễu nỏ và nhiễu nhiệt là 2 nguyên nhân chính gây ra sự thăng giáng dòng điện, ngay cả khi công suất tín hiệu thu được không đổi.

$$I(t) = \bar{I} + i(t)$$

$\bar{I}$  : giá trị trung bình của  $I$   
 $i(t)$  :  $i$  nhiễu



##### a/ Nhiễu nỏ:

- Dòng điện trong máy thu tín hiệu quang là dòng các điện tử được tạo ra tại các thời điểm ngẫu nhiên.

Với  $P_{in} = \text{const}$ , ta có:

$$I(t) = I_P + i_s(t)$$

$I(t)$ : dòng điện trong máy thu

$I_P$ : dòng trung bình ( $I_P = R \cdot P_{in}$ )

$i_s(t)$ : dòng thăng giáng do nhiễu nỏ gây ra.

Nhận xét:

- +  $i_s(t)$  là 1 quá trình ngẫu nhiên
- + Dòng nhiễu trung bình bình phương:

$$\bar{i}_s^2 = 2e \cdot I_P \cdot B$$

$B$ : băng tần nhiễu hiệu dụng

$e$ : điện tích của điện tử

- Nhiễu nỏ được chia làm 3 loại:

+ *Nhiều lượng tử*: là nhiễu nỏ do chính dòng tách quang gây ra.

$$\bar{i}_s^2 = \begin{cases} 2e \cdot I_P \cdot B & \text{với PIN-PD} \\ 2e \cdot M^{2+x} \cdot I_P \cdot B & \text{với APD} \end{cases} = \begin{cases} 2e \cdot \frac{\eta \cdot e}{h \cdot f} \cdot P_{in} \cdot B \\ 2e \cdot \frac{\eta \cdot e}{h \cdot f} \cdot M^{2+x} \cdot P_{in} \cdot B \end{cases}$$

+ *Nhiều dòng tối*: là nhiễu do dòng rò của PD gây ra.

$$\bar{i}_d^2 = \begin{cases} 2e \cdot I_d \cdot B & \text{với PIN-PD} \\ 2e \cdot M^{2+x} \cdot I_d \cdot B & \text{với APD} \end{cases}$$

+ *Nhiều do ánh sáng nền*: là do công suất ánh sáng nền gây ra.

$$\bar{i}_b^2 = \begin{cases} 2e \cdot \frac{\eta \cdot e}{h \cdot f} \cdot P_B \cdot B & \text{với PIN-PD} \\ 2e \cdot \frac{\eta \cdot e}{h \cdot f} \cdot M^{2+x} \cdot P_B \cdot B & \text{với APD} \end{cases}$$

Trong đó:  $P_B$ : công suất ánh sáng nền

$M$ : hệ số bội của APD.

$x$ : hệ số tạp âm của APD ( $0 \leq x \leq 1$ )

##### b/ Nhiễu nhiệt:

Nguyên nhân: tại 1 nhiệt độ nhất định, điện tử chuyển động ngẫu nhiên trong vật dẫn. Nếu vật dẫn là 1 điện trở thì sự chuyển động ngẫu nhiên của điện tử sẽ làm cho giá trị của điện trở thay đổi và làm cho dòng điện chạy qua điện trở bị thăng giáng.

$$i_n^2 = \frac{4k.T.B}{R_L}$$

k: Hằng số Boltzman

T: Nhiệt độ tuyệt đối

$R_L$ : điện trở tải

B: độ rộng băng tần

- Nhiều nhiệt khi có tín hiệu đến cả mạch tiền k/đại có giá trị như sau:

$$i_n^2 = \frac{4k.T.B}{R_L} . F$$

với F là hệ số nhiễu do mạch tiền k/đại gây ra.

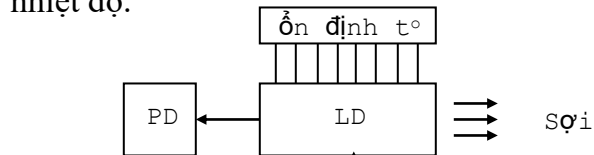
#### Câu 2.4:

Vẽ sơ đồ khối mạch phát dùng LASER có ổn định công suất và ổn định nhiệt độ, trình bày nguyên lý hoạt động của mạch?

#### Trả lời:

Do Laser rất nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ nên các mạch phát dùng Laser phải luôn luôn gắn liền với các mạch ổn định công suất và ổn định nhiệt độ.

Hình vẽ dưới đây là sơ đồ khối mạch phát dùng LASER có ổn định công suất và ổn định nhiệt độ.



#### Nguyên lý hoạt động:

Tín hiệu đầu vào được đưa qua mạch AGC có khả năng tự động điều chỉnh hệ số k/đại, đảm bảo cho mạch AGC có dòng  $I_s$  là dòng tín hiệu, dòng này cộng với dòng  $I_p$  từ mạch thiên áp sẽ được cung cấp cho Laser. Nếu tín hiệu đầu

vào là bit 0 thì công suất đầu ra của LD là  $P_b$  (c/s ánh sáng nền) rất nhỏ. Còn nếu tín hiệu đầu vào là bit 1 thì công suất đầu ra của LD đạt giá trị cực đại (hình vẽ dưới).

a/ Ổn định công suất: ánh sáng phát ra từ Laser phần lớn được đưa vào sợi quang, một phần nhỏ thông thường được lấy từ gương phụ của Laser và đưa tới bộ tách quang PD để chuyển từ quang thành điện. Dòng điện này sẽ được sử dụng làm cơ sở để giám sát và ổn định công suất phát của Laser.

+ Nếu  $P_{ra} \uparrow \rightarrow I_p \uparrow \rightarrow$  mạch ổn định giảm dòng  $I_b$  hoặc điều khiển mạch AGC để giảm hệ số k/đại ( $I_s$ )  $\rightarrow P_{ra} \downarrow$ .

+ Ngược lại, nếu  $P_{ra} \downarrow \rightarrow I_p \downarrow \rightarrow$  mạch ổn định tăng dòng  $I_b$  hoặc điều khiển mạch AGC để tăng hệ số k/đại ( $I_s$ )  $\rightarrow P_{ra} \uparrow$ .

b/ Ổn định nhiệt độ: Trong khối LD có 1 điện trở nhiệt và 1 bộ phận làm mát. Khi nhiệt độ Laser thay đổi sẽ làm cho điện trở nhiệt có giá trị thay đổi, điện trở nhiệt được gắn liền với 1 mạch điện sẽ làm cho dòng điện thay đổi. Dòng điện này được đưa vào 1 bộ so sánh và cho ra dòng điện giám sát. Nhiệm vụ của mạch ổn định nhiệt độ là căn cứ vào giá trị của dòng điện giám sát để điều khiển bộ phận làm mát ổn định nhiệt độ của Laser.

#### Câu 3.4:

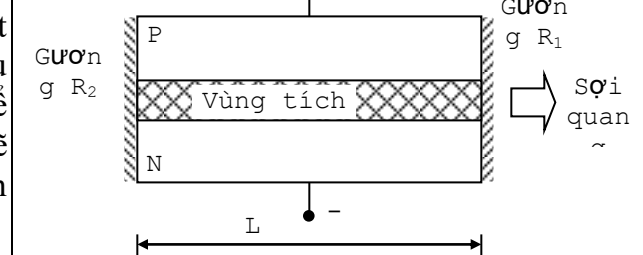
Vẽ cấu trúc một LASER bán dẫn Fabry-Perot đơn giản, trình bày yêu cầu hoạt động của LASER này?

#### Trả lời:

a/ Cấu trúc:

+ Laser này được phân cực thuận.

+ 2 mặt bên của Laser được mài nhẵn để tạo thành 2 gương phản xạ không hoàn toàn, 2 gương này tạo thành 1 quang cộng hưởng có chiều dài L.



#### b/ Nguyên lý hoạt động:

- Tạo môi trường đảo mật độ:

$N_1$ : mật độ điện tử ở vùng hoá trị

$N_2$ : mật độ điện tử ở vùng dẫn

(Ở trạng thái bình thường,  $N_1 > N_2$ )

Để tạo ra trạng thái đảo mật độ ( $N_2 > N_1$ ), ta phải tăng dòng thiên áp cho Laser vượt giá trị ngưỡng để các điện tử nhảy từ vùng hoá trị lên vùng dẫn.

- Phát xạ kích thích:

Các photon ánh sáng ban đầu được tạo ra nhờ quá trình phát xạ tự phát do điện tử và lỗ trống tái kết hợp ở trong vùng tích cực.

Khi các photon ánh sáng này chuyển động, nó sẽ kích thích các điện tử ở dải dẫn để trở về dải hoá trị và sinh ra các photon ánh sáng mới có cùng pha, cùng hướng, cùng tần số với photon ánh sáng ban đầu.

- Phản hồi dương của khung cộng hưởng (k/đại ánh sáng):

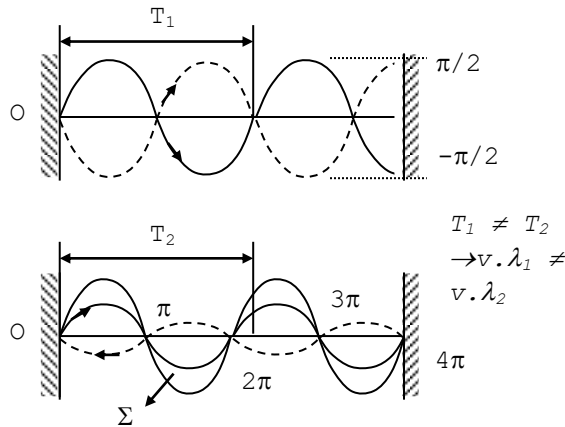
Các photon ánh sáng chuyển động gặp 2 gương phản xạ không hoàn toàn sẽ có 1 phần năng lượng đi ra ngoài, phần còn lại sẽ phản xạ trở lại và sinh ra nhiều photon ánh sáng

mới nhờ quá trình phát xạ kích thích. Kết quả, số lượng photon ánh sáng sẽ tăng lên rất lớn.

• Theo quan điểm sóng, quang cộng hưởng Fabry-Perot chỉ k/đại ánh sáng tại 1 số các bước sóng, những bước sóng còn lại sẽ bị triệt tiêu trong quang cộng hưởng.

Điều kiện đề k/đại:

$$L = N \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (N \text{ nguyên}) \quad \text{hay } \lambda = \frac{2L}{N}$$



#### Câu 4.4:

Khái niệm suy hao trong sợi quang, cho biết các nguyên nhân gây suy hao và vẽ đặc tính suy hao?

#### Trả lời:

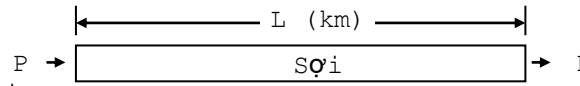
##### **a/ Khái niệm:**

Suy hao là hiện tượng công suất ánh sáng giảm dần khi ánh sáng lan truyền trong sợi quang.

$$A = -10 \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (dB)$$

Suy hao trên 1 km:

$$a = -\frac{10}{L} \cdot \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{A}{L} \quad (dB/km)$$



#### **b/ Các nguyên nhân gây suy hao:**

- Do hấp thụ:

+ Do vật liệu chế tạo sợi quang ( $\text{SiO}_2$ ) hấp thụ ánh sáng và chuyển hoá thành nhiệt năng.

+ Do các tạp chất ở bên trong sợi quang còn sót lại trong quá trình chế tạo, bao gồm các ion kim loại (Fe, Cu...) và đặc biệt là ion nước ( $\text{OH}^-$ ), các ion này gây ra các đỉnh suy hao tại các bước sóng 1400nm, 1100nm và 750nm.

+ Do các điện tử hấp thụ ánh sáng để nhảy từ mức năng lượng thấp lên mức năng lượng cao.

- Do tán xạ: chủ yếu do tán xạ Rayleigh

+ Tán xạ Rayleigh do các khiếm khuyết rất nhỏ trong quá trình chế tạo sợi gây ra.

+ Tán xạ Raman.

- Do khi đường kính lõi thay đổi hoặc sợi quang bị uốn cong.

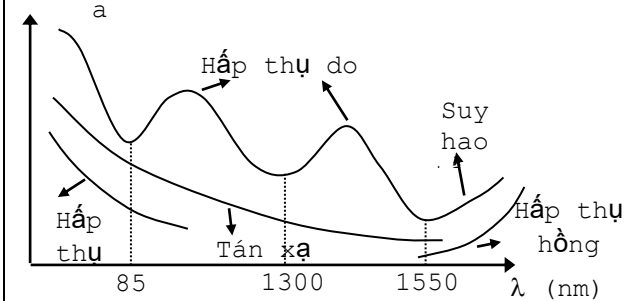
#### **c/ Đặc tuyến suy hao:**

Trên đặc tuyến suy hao, ta nhận thấy có 3 vùng bước sóng có suy hao thấp là tại 850nm, 1300nm và 1550nm, đây còn được gọi là 3 cửa sổ suy hao thấp. Các hệ thống thông tin quang thường sử dụng bước sóng tại 3 vùng này.

1550nm suy hao nhỏ --> dùng cho liên tỉnh.

1300nm suy hao vừa --> dùng cho nội tỉnh.

850nm suy hao lớn --> dùng trong ngành công nghiệp điện tử phục vụ sinh hoạt của con người (VD: đầu đọc CD...).



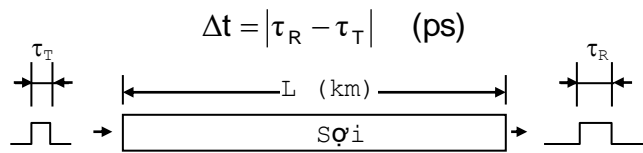
#### Câu 5.4:

Khái niệm tán sắc trong sợi quang, cho biết các nguyên nhân gây tán sắc và ảnh hưởng của tán sắc?

#### Trả lời:

##### **a/ Khái niệm:**

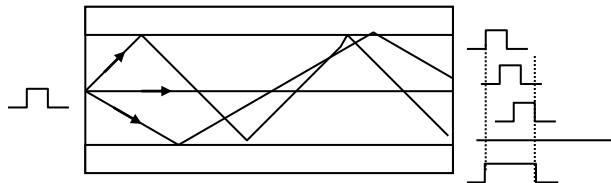
Tán sắc là hiện tượng làm cho độ rộng xung ánh sáng bị thay đổi khi ánh sáng lan truyền trong sợi quang.



### b/ Các nguyên nhân gây ra tán sắc:

#### - Tán sắc mode:

Các xung ánh sáng lan truyền trong sợi quang có năng lượng được mang đi nhờ nhiều mode khác nhau, do các mode này có thời gian lan truyền khác nhau nên tới đầu thu tại các thời điểm khác nhau và làm cho xung ánh sáng bị giãn rộng. Tán sắc này chỉ tồn tại trong sợi đa mode.



#### - Tán sắc vật liệu:

Do chiết suất của vật liệu chế tạo ra sợi quang thay đổi phụ thuộc vào bước sóng:

$$n_1 = n(\lambda)$$

hơn nữa nguồn quang lại phát ra nhiều bước sóng, các bước sóng khác nhau sẽ có vận tốc lan truyền trong sợi quang là khác nhau:

$$v(\lambda) = \frac{c}{n(\lambda)}$$

chúng sẽ đến đầu thu tại các thời điểm khác nhau và gây ra hiện tượng giãn xung. Tán sắc loại này tồn tại ở tất cả các loại sợi quang.

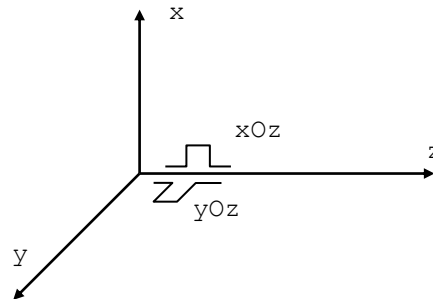
#### - Tán sắc ống dẫn sóng:

Chỉ tồn tại ở trong sợi đơn mode do đường kính lõi của sợi đơn mode rất nhỏ nên năng lượng ánh sáng lan truyền ở cả lõi và ở ngoài vỏ. Sợi đơn mode có chiết suất vỏ  $n_2$  nhỏ hơn chiết suất lõi  $n_1$ , do đó thành phần lan truyền

ngoài vỏ sẽ đi nhanh hơn thành phần ánh sáng lan truyền trong lõi. Hiện tượng này cũng gây ra giãn xung ánh sáng.

#### - Tán sắc mode phân cực:

Xét trong sợi đơn mode, ánh sáng lan truyền dưới dạng các mode phân cực trên 2 mặt phẳng vuông góc với nhau ( $xOz$  và  $yOz$ : với  $z$  là hướng truyền dẫn). Nếu sợi quang được chế tạo 1 cách hoàn hảo (nghĩa là chiết suất trên 2 mặt phẳng  $n_{xOz} = n_{yOz}$ ) thì sẽ không xảy ra tán sắc.



### c/ Ảnh hưởng của tán sắc:

Tán sắc làm giãn xung gây ra sự chồng lấn giữa các xung làm hạn chế tốc độ bit và cự ly truyền dẫn.