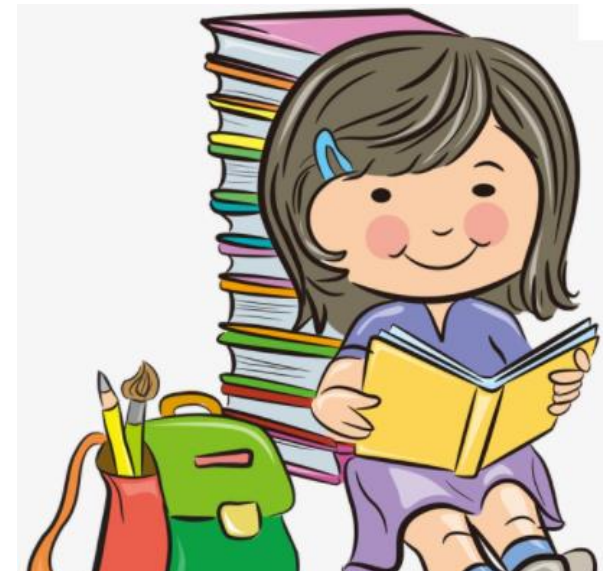


# CHƯƠNG 4

## Thông tin quang

### **Nội dung chính:**

- I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang*
- II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình*
- III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang*
- IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang*
- V. Ghép kênh quang theo bước sóng*
- VI. Khuếch đại quang*
- VII. Mạng truyền tải quang*



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

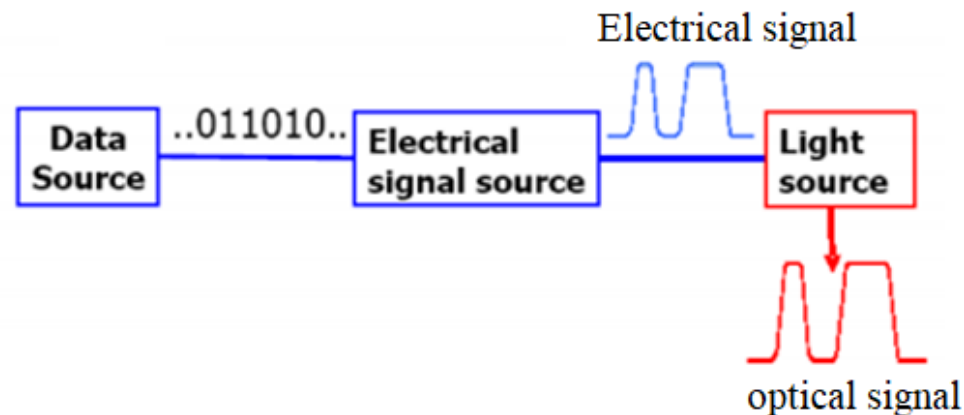
## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

❖ **Khái niệm**: Hệ thống thông tin quang là hệ thống thông tin bằng sóng ánh sáng và sử dụng các sợi quang để thông tin.

❑ Hệ thống truyền thông điện



❑ Hệ thống truyền thông quang



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

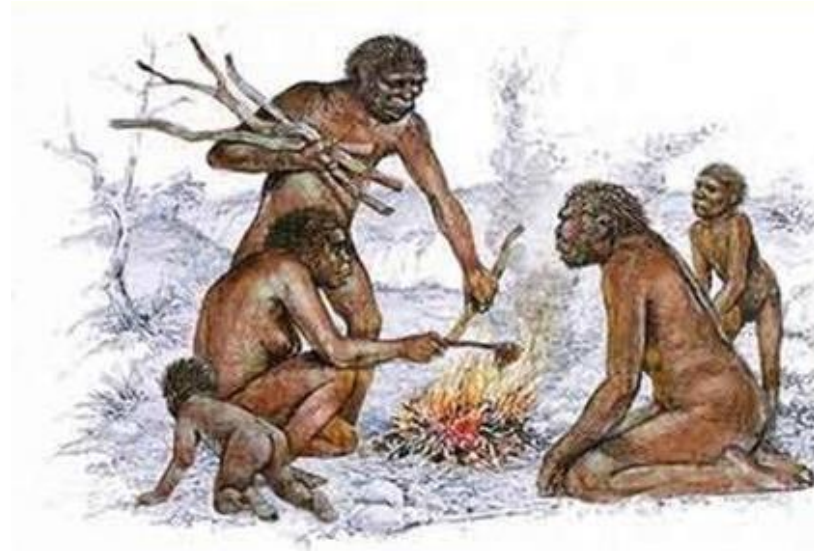
## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Lịch sử phát triển:

- Thông tin quang sơ khai của người cổ xưa.



Ngọn hải đăng



Lửa

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Lịch sử phát triển

- Năm 1960 phát minh ra Laser cơ sở cho hệ thống thông tin quang hiện đại ra đời.
- Năm 1966 Kao và Hockman phát minh ra sợi quang đầu tiên có suy hao rất lớn (1000 dB/km).
- Năm 1970 Kapron chế tạo sợi quang có suy hao 20dB/km. Sau đó với sự cố gắng không ngừng các sợi quang có suy hao nhỏ lần lượt ra đời.
- Năm 1980 chế tạo sợi đơn mode có suy hao là 0,14dB/km công tác tại bước sóng  $\lambda = 1550nm$
- Năm 1988 sợi quang và thông tin quang được đưa vào ứng dụng.

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Lịch sử phát triển

#### Việt nam

- Năm 1990: Sử dụng thông tin quang trên tuyến đường trục Bắc – Nam sử dụng công nghệ PDH, tốc độ 34Mb/s.
- Năm 1995: Sử dụng công nghệ SDH, tốc độ 2,5Gb/s.
- Năm 2003: Công nghệ SDH, tốc độ 20Gb/s.
- + Tuyến 1: Chạy dọc quốc lộ 1A từ Hà Nội đến Hồ Chí Minh gồm 25 trạm xen rẽ và 15 trạm lặp.
- + Tuyến 2: Chạy trên đường dây 500kv từ Hòa Bình đến Phú Lâm gồm hai trạm đầu cuối, 13 trạm lặp.

Cả hai tuyến đều sử dụng sợi đơn mode theo kiến nghị G625 của CCITT, bước sóng 1550nm, suy hao  $< 0,28dB/km$  do Nothem telecom (Canada).

Đến nay cáp quang được triển khai rộng rãi: Các mạng liên tỉnh, mạng nội hạt, tận nhà (FTTH).

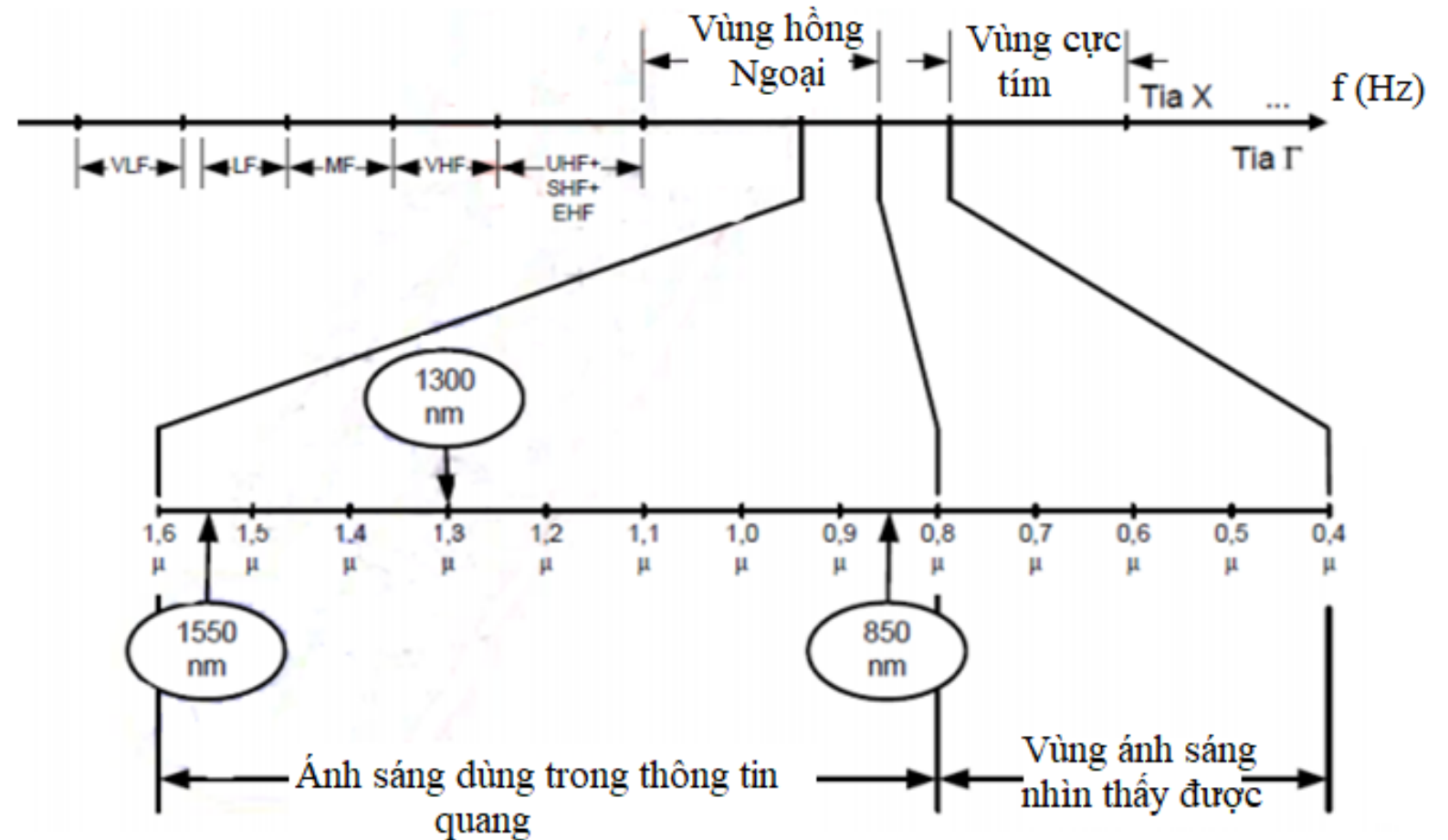
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Bảng tần sử dụng cho thông tin quang

Vùng phổ quang trải dài từ gần 400nm đến 1600nm

Hiện nay các hệ thống thông tin quang làm việc tại vùng bước sóng 1300nm và 1550nm.



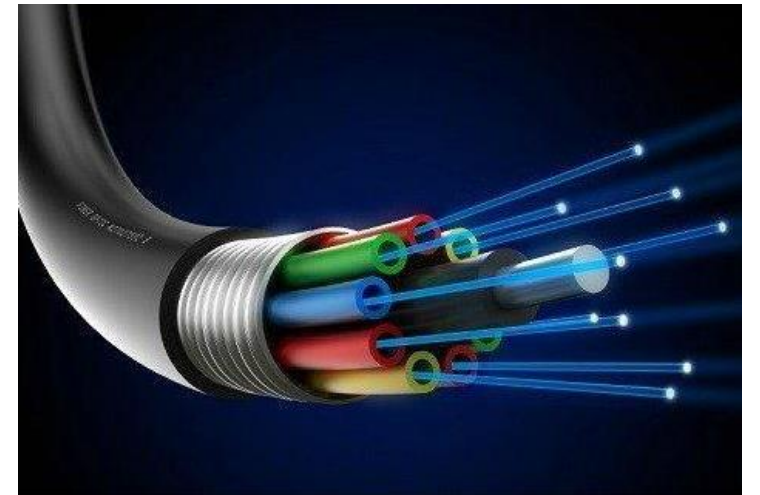
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Đặc điểm của hệ thống thông tin quang

#### Ưu điểm

- Băng tần truyền dẫn rất lớn: Cho phép phát triển các hệ thống WDM dung lượng lớn.
- Suy hao truyền dẫn rất nhỏ: Suy hao truyền dẫn sợi quang nhỏ hơn rất nhiều so với cáp đồng, đặc biệt nhỏ ở vùng bước sóng 1300nm (0,5dB/km) và 1550nm (0,2 – 0,25dB/km).
- Tốc độ truyền dẫn cao với tốc độ ánh sáng  $3 \cdot 10^8 m/s$
- An toàn thông tin: Rất khó để lấy cắp tín hiệu trên đường truyền cáp.





# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Đặc điểm của hệ thống thông tin quang

#### Ưu điểm

- Độ tin cậy cao: Tín hiệu truyền trong sợi quang không bị bức xạ ra ngoài gây rò rỉ thông tin, hầu như không chịu ảnh hưởng của môi trường, can nhiễu bên ngoài.

$$\text{BER} = 10^{-9} \div 10^{-11}$$

- Chi phí thấp:

- Do sợi làm từ vật liệu có sẵn
- Kích thước nhỏ trọng lượng nhẹ
- Băng thông lớn, suy hao nhỏ → giảm sự phức tạp và công kênh cho hệ thống.





# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## I. Giới thiệu chung về hệ thống thông tin quang

### ❖ Đặc điểm của hệ thống thông tin quang

#### Nhược điểm

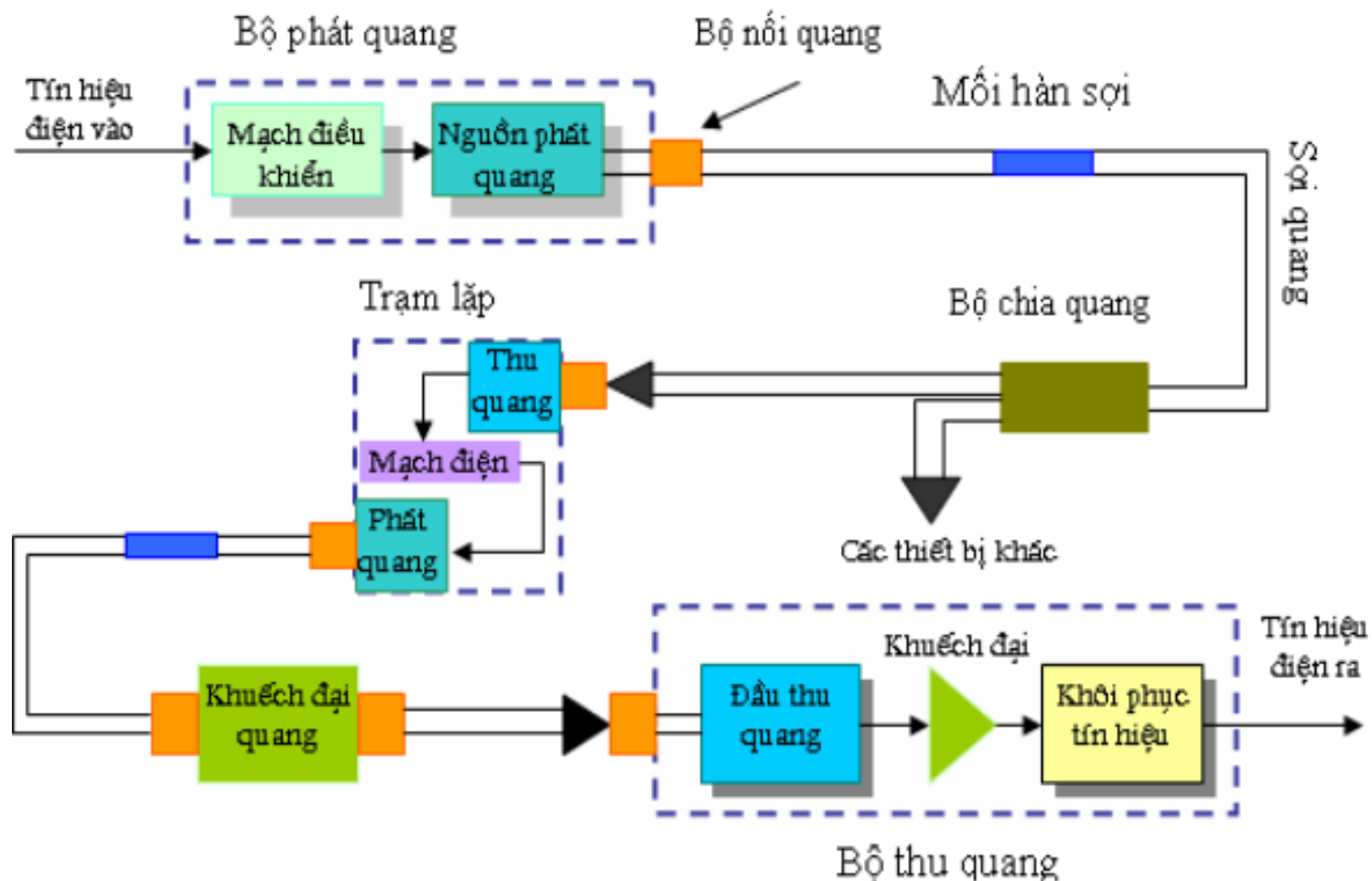
- Công nghệ chế tạo khó khăn, việc hàn nối phức tạp.
- Dễ đứt gãy, gây khó khăn trong việc thi công ở địa hình phức tạp như đồi núi, đại dương...



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình

### 1. Sơ đồ



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

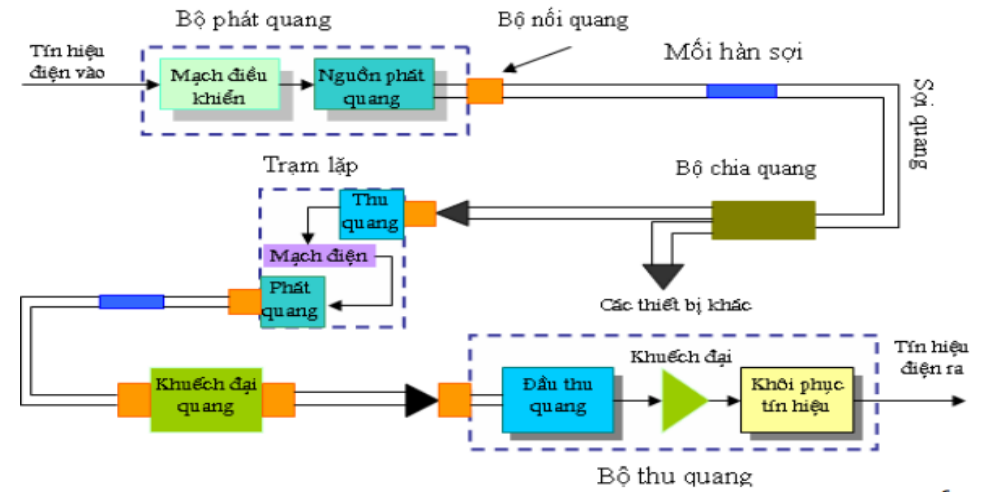
## II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình

### 2. Các thành phần

#### Bộ phát quang

- Bao gồm mạch điều khiển và nguồn phát quang.
- Các nguồn phát quang bán dẫn thường sử dụng có thể là diode phát quang LED, hay laser bán dẫn LD.

- Chức năng: Thực hiện chuyển đổi tín hiệu điện đầu vào (có thể tương tự hoặc số) thành tín hiệu quang tương ứng. Và phát tín hiệu quang này vào trong sợi quang để thực hiện truyền dẫn.
- Tham số quan trọng của bộ phát quang là công suất phát quang vì nó góp phần xác định suy hao sợi quang hoặc quỹ công suất cho phép trên tuyến là bao nhiêu.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình

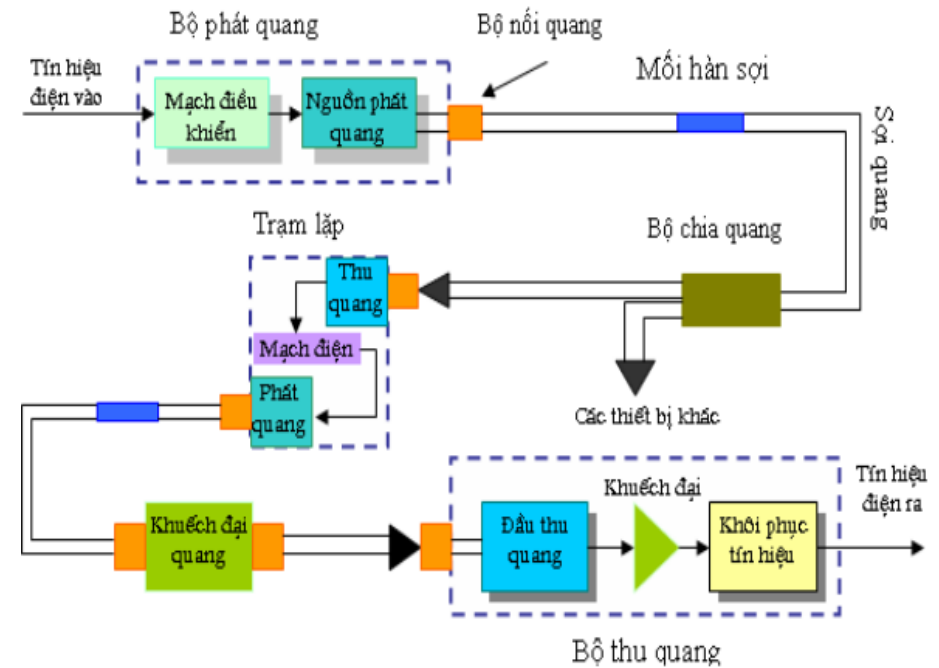
### 2. Các thành phần

#### Sợi quang

- Nó là môi trường để truyền dẫn tín hiệu quang
- Tham số quan trọng nhất là độ suy hao sợi quang theo bước sóng vì nó quyết định độ dài của tuyến thông tin. Hiện có ba vùng bước sóng mà tại đó

độ suy hao sợi quang là thấp nhất: 850nm, 1300nm, 1550nm.

- Sợi quang và các lớp vỏ bọc tạo thành cáp sợi quang.
- Cáp sợi quang có thể treo ngoài trời, chôn trực tiếp dưới đất, đặt dưới biển...



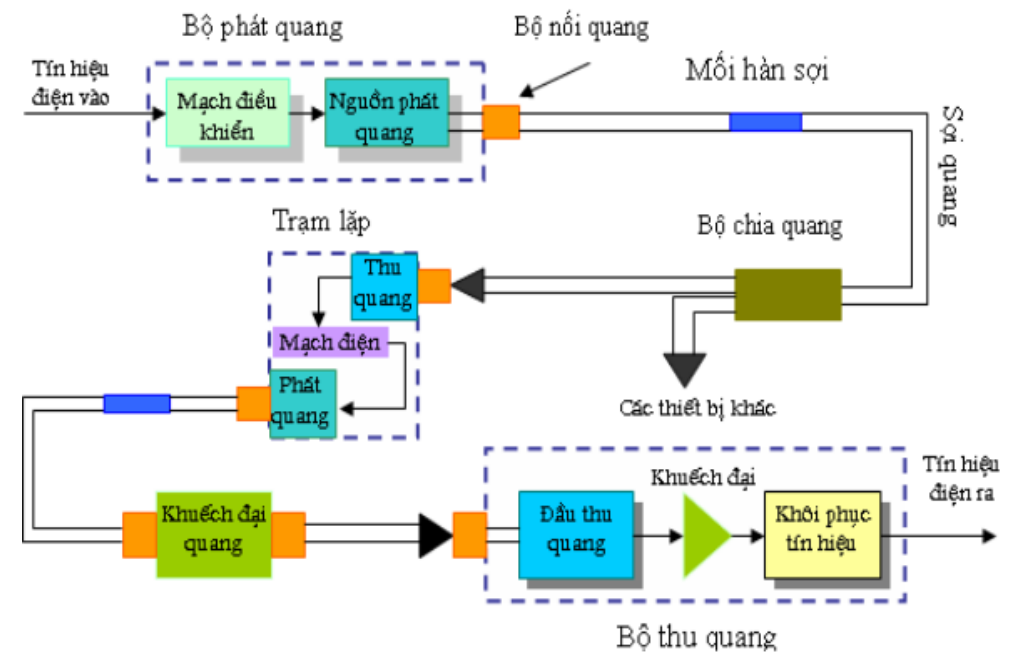
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình

### 2. Các thành phần

#### Bộ thu quang

- Gồm đầu thu quang (tách sóng quang), mạch Khuếch đại tín hiệu và khôi phục tín hiệu.
- Các bộ tách sóng quang sử dụng có thể là các Photodiode PIN, hay Photodiode thác APD
- Chức năng: Tiếp nhận ánh sáng và tách lấy tín hiệu từ hướng phát tới sau đó biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện.
- Độ nhạy thu quang: Công suất quang nhỏ nhất có thể thu được ở một tốc độ truyền dẫn nào đó ứng với một tỷ lệ lỗi bit BER hay tỷ số tín trên tạp SNR của hệ thống.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

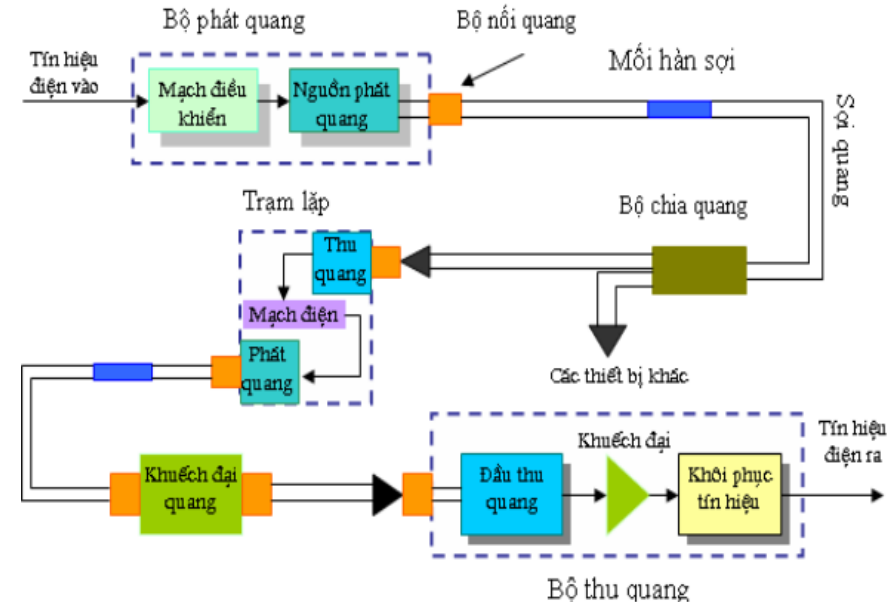
## II. Cấu trúc hệ thống thông tin quang điển hình

### 2. Các thành phần

#### Bộ nối quang

Dùng để ghép tín hiệu từ nguồn phát quang vào sợi quang với hiệu suất cao nhất.

Mỗi hàn quang: Nối dài sợi quang.



Trạm lặp: Khôi phục tín hiệu quang, bù đắp tổn hao khi truyền trên kênh truyền.

Khoảng cách giữa các trạm lặp: 60-80Km

Ngoài ra hệ thống còn có các bộ chia quang, bộ khuếch đại quang, ghép xen...

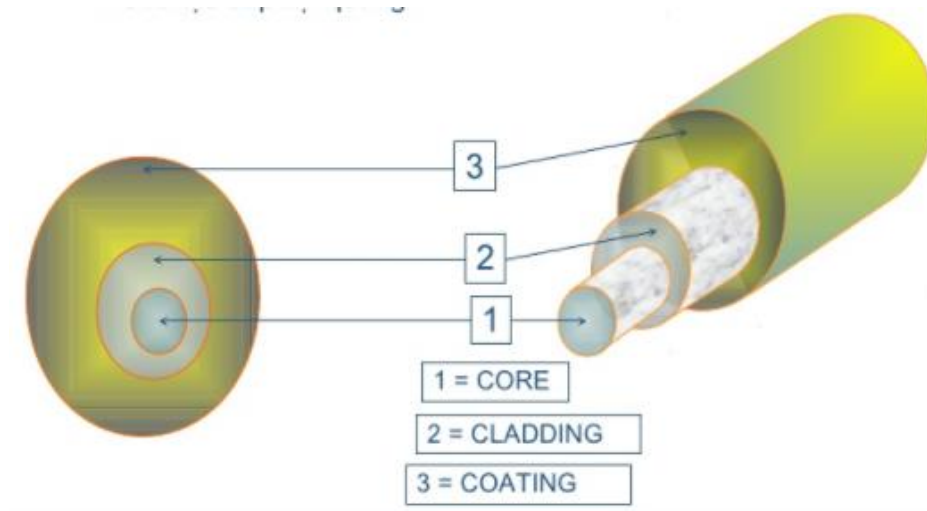
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Cấu trúc sợi quang

- Sợi quang có cấu trúc như một ống dẫn sóng hoạt động ở tần số quang.
- Có dạng hình trụ bình thường và có chức năng dẫn sóng ánh sáng lan truyền theo hướng song song với trục của nó.
- Để đảm bảo sự lan truyền ánh sáng trong sợi, cấu trúc sợi quang gồm ba lớp chính:
  - Lớp lõi
  - Lớp vỏ phản xạ (lớp vỏ)
  - Lớp vỏ bảo vệ (lớp bọc đệm)





# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Cấu trúc sợi quang

##### Lớp lõi:

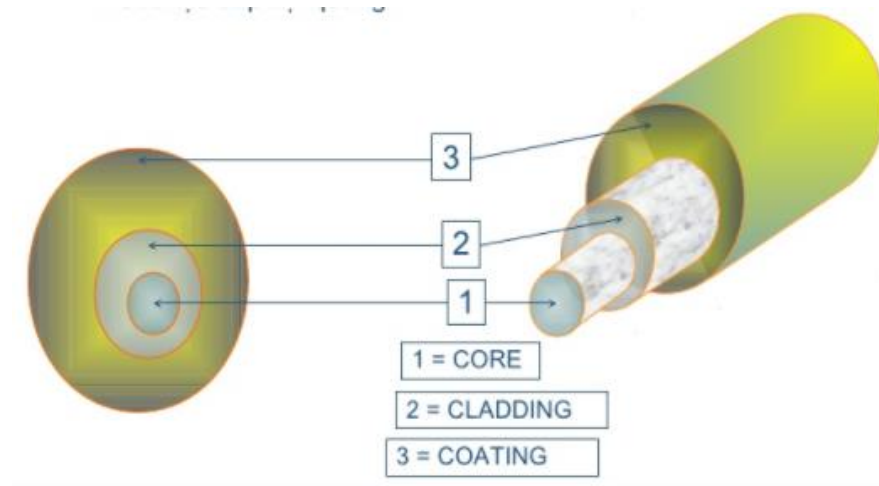
- + Chiết suất  $n_1$
- + Có hình trụ, làm bằng thủy tinh
- + Ánh sáng lan truyền trong lõi

##### Lớp vỏ phản xạ:

- + Bao quanh lõi dạng hình ống đồng tâm, có chiết suất  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ )
- + Có thể làm bằng thủy tinh hoặc chất dẻo trong suốt.
- + Giảm suy hao tán xạ và hấp thụ tại bề mặt lõi, cải thiện đặc tính dẫn sóng của sợi quang.

##### Lớp vỏ bảo vệ:

- + Bao quanh lớp vỏ, có chiết suất  $n_3$
- + Được làm bằng chất dẻo
- + Gia cường thêm cho độ bền sợi quang, tạo điều kiện để bọc sợi thành cáp quang.



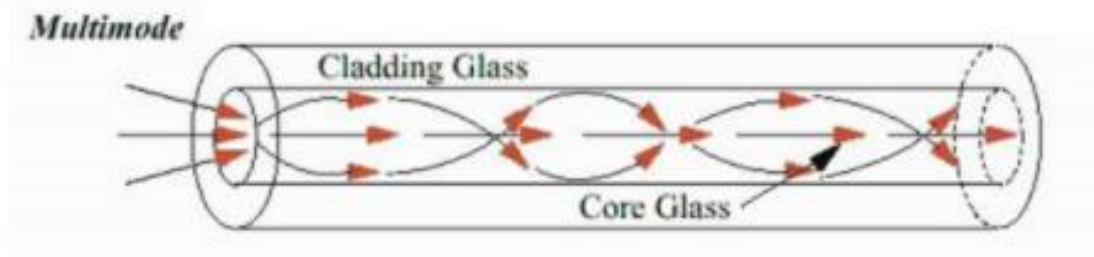
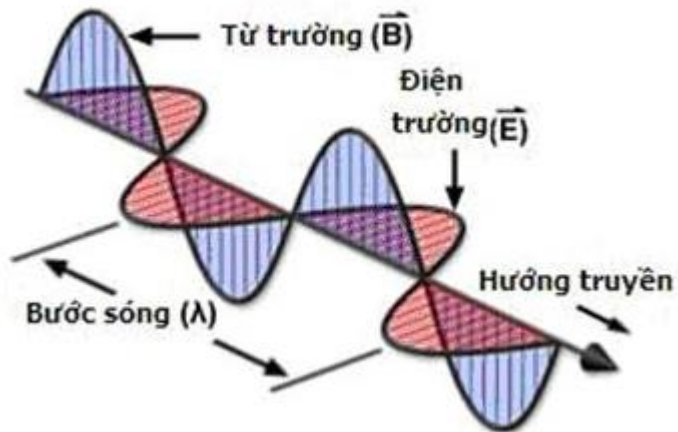
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Mode sợi quang

- Sự lan truyền của ánh sáng dọc theo sợi được mô tả dưới dạng các sóng điện từ được gọi là các mode trong sợi.
- Mỗi mode truyền dẫn là một mẫu các đường trường điện và trường từ được lặp đi lặp lại dọc theo sợi ở các khoảng cách tương đương bước sóng.



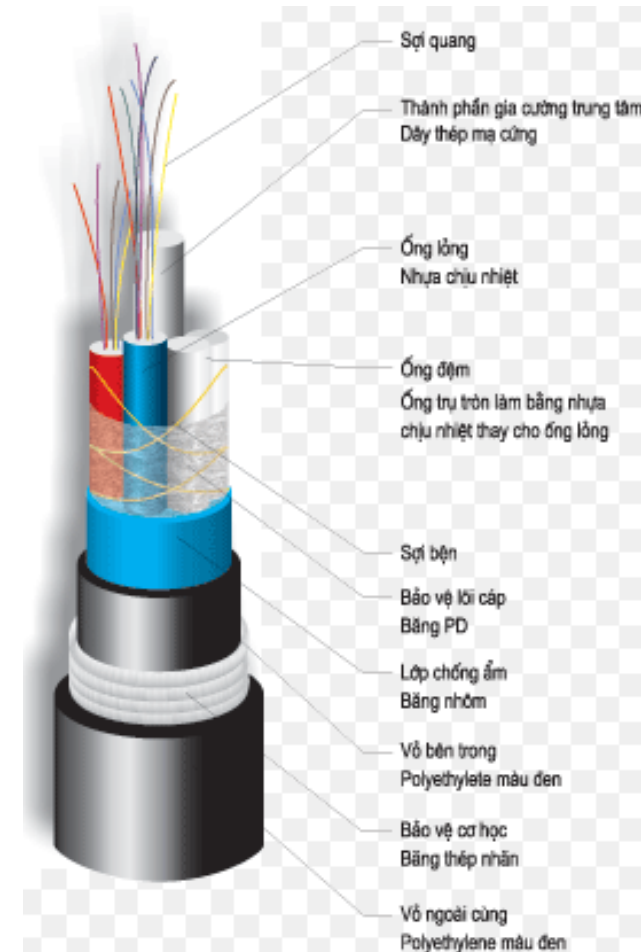
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Vật liệu chế tạo sợi quang

- Vật liệu chế tạo sợi phải thỏa các điều kiện:
  - Đảm bảo các sợi dẫn quang dài, mảnh và mềm dẻo.
  - Thật trong suốt tại các bước sóng hoạt động
- Do vậy vật liệu chế tạo sợi quang :
  - Thủy tinh
  - Chất dẻo trong suốt



Cáp quang treo đơn mode (12 lõi)

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Phân loại sợi quang

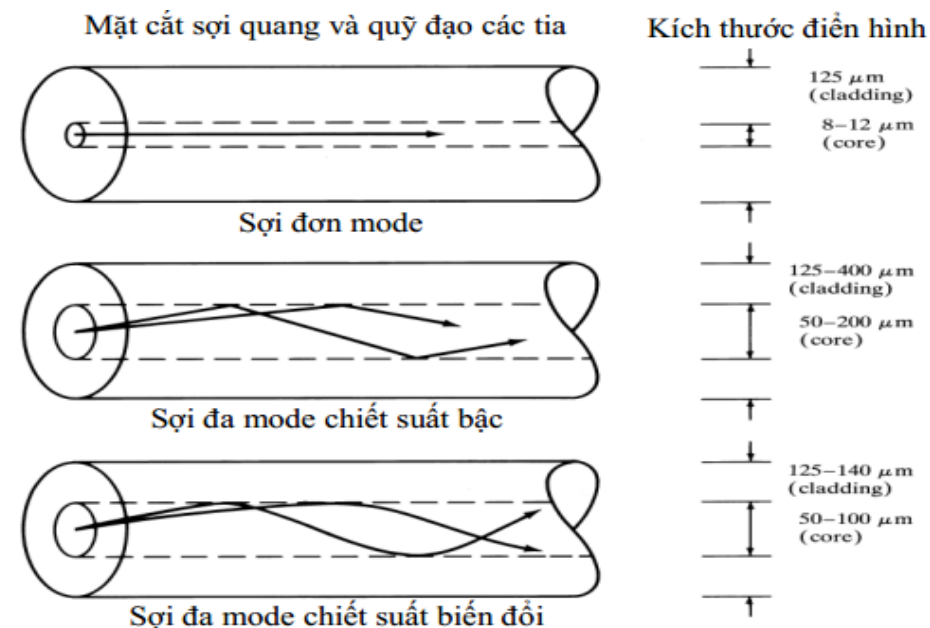
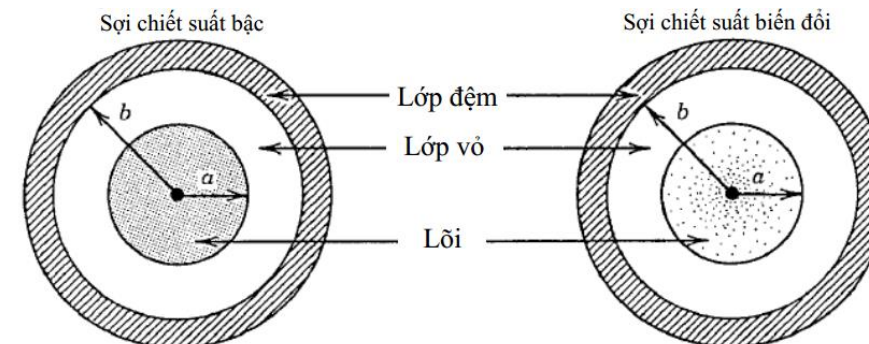
Dựa vào biến đổi chỉ số chiết suất trong lõi

- Sợi chiết suất bậc SI (Step Index)
- Sợi chiết suất biến đổi GI (Graded Index)

Dựa theo số lượng mode truyền

- Sợi đơn mode
- Sợi đa mode

➤ *Có ba loại sợi chính thường sử dụng trong viễn thông:*



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

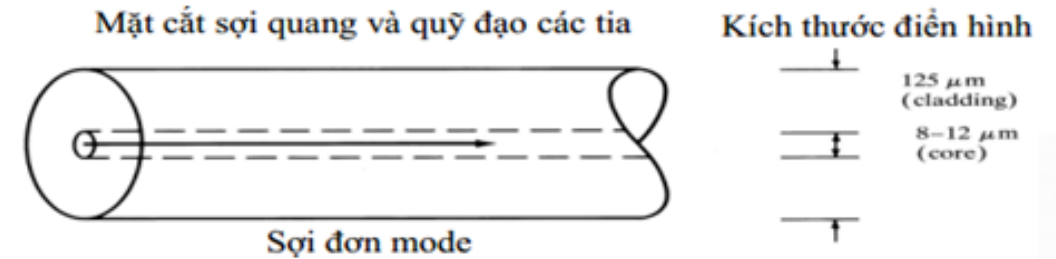
## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Sợi quang

#### ❖ Phân loại sợi quang

##### Sợi đơn mode (SM – Single Mode):

- Chiết suất lõi:  $n_1 = 1,46$ ;  $d = 2a = 8 \div 12\mu m$ ,
- Chiết suất vỏ:  $n_2 < n_1$ ,  $D = 2b = 125\mu m$ ,  $a, b$  là bán kính lõi.
- Độ chênh lệch chiết suất tương đối:  $\Delta = 0,2\% - 1\% = (n_1 - n_2)/n_1$
- Hệ số suy hao:
  - +  $\alpha < 0,5dB/km$  với bước sóng 1300nm
  - +  $\alpha < 0,3dB/km$  với bước sóng 1550nm
- Hệ số tán sắc:  $D < 20ps/nm.km$  với bước sóng 1550nm



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

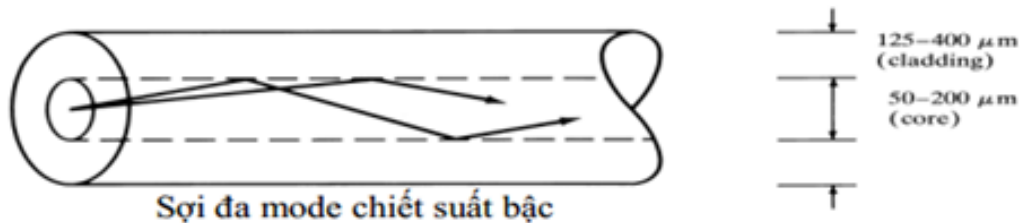
### Sợi quang

#### ❖ Phân loại sợi quang

##### Sợi đa mode chiết suất bậc

- Chiết suất không đổi trên toàn bộ mặt cắt của lõi sợi.
- $n_1 = 1,46$ ,  $d = 2a = 50 \div 200 \mu m$
- $n_2 < n_1$ ,  $D = 2b = 125 \div 400 \mu m$
- Độ chênh lệch tỷ số chiết suất tương đối:

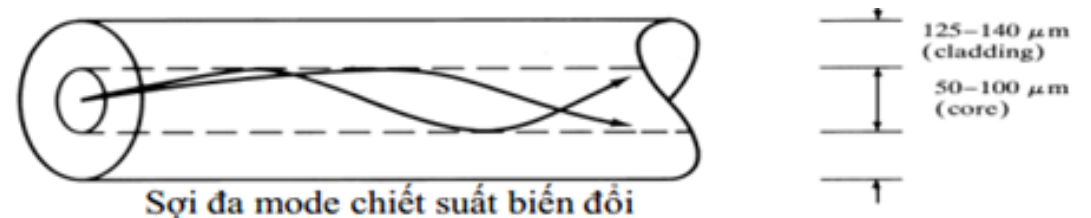
$$\Delta = 1\% - 3\% = (n_1 - n_2)/n_1$$



##### Sợi đa mode chiết suất biến đổi

- Chỉ số chiết suất giảm dần từ tâm ra tới tiếp giáp giữa lõi và vỏ.
- $n_1 = 1,46$ ,  $d = 2a = 50 \div 100 \mu m$
- $n_2 < n_1$ ,  $D = 2b = 125 \div 140 \mu m$
- Độ chênh lệch tỷ số chiết suất tương đối:

$$\Delta = 1\% - 3\% = (n_1 - n_2)/n_1$$



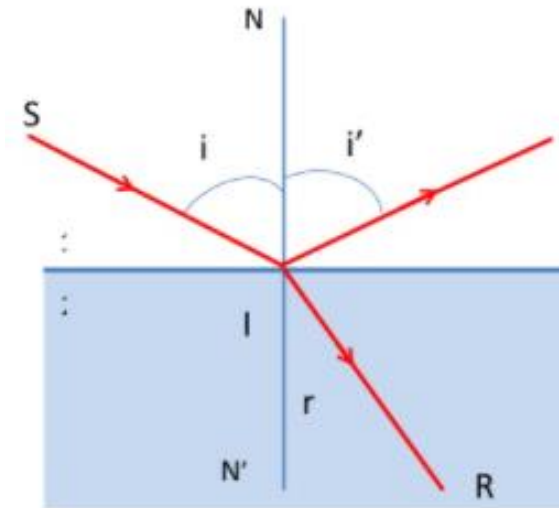
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi dẫn quang dựa vào các định luật:

- Định luật truyền thẳng ánh sáng.
- Định luật phản xạ ánh sáng
- Định luật khúc xạ ánh sáng
- Định luật Snell
- Định luật phản xạ ánh sáng toàn phần



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Công thức của định luật khúc xạ:

$n_1$ : chiết suất của môi trường (1)

$n_2$ : chiết suất của môi trường (2)

$i$ : góc tới ;  $r$ : góc khúc xạ

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

#### Xét với sợi quang đa mode chiết suất bậc

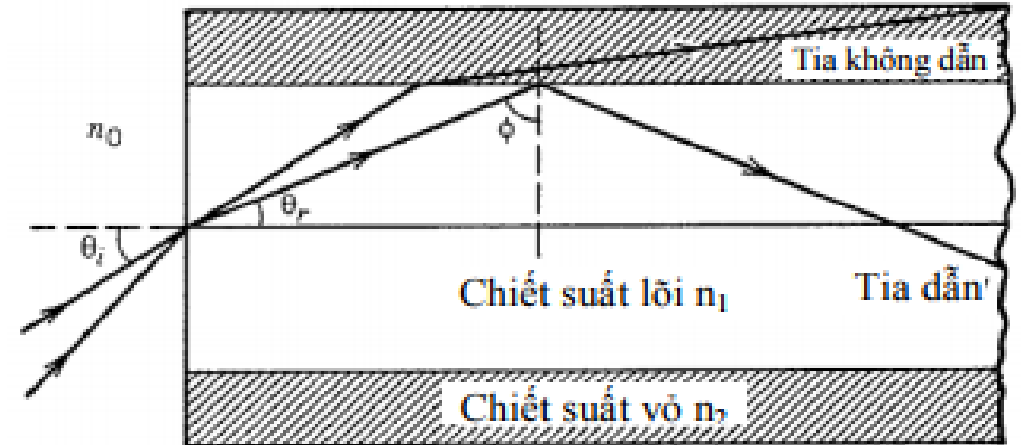
- Với sợi đa mode tồn tại đường đi của nhiều tia sáng trong lõi sợi.
- Các tia đi vào sợi dẫn quang từ môi trường có chiết suất  $n_0$  với góc tới  $\theta_i$  sẽ bị khúc xạ vào lõi sợi và tạo một góc  $\theta_r$  với trục lõi sợi.

Theo định luật Snell:  $n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r$

- Các tia sáng đến mặt phân cách lớp lõi và lớp vỏ và tạo một góc  $\phi$  thỏa  $\phi \geq \phi_c$  ( $\sin \phi_c = n_2/n_1$ )

Sẽ bị phản xạ toàn phần tại mặt phân cách giữa lớp lõi và lớp vỏ và sẽ đi qua trục lõi sợi sau mỗi lần phản xạ.

- Tia sáng sẽ đi từ đầu sợi đến cuối sợi theo hình ziczac.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

- Góc vào (góc tiếp nhận) lớn nhất của tia sáng đi vào sợi quang để xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần tại mặt phân cách lớp lõi và lớp vỏ:

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \cos \phi_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- Khẩu độ số (độ mở)  $NA$  của sợi đa mode chiết suất bậc:

$$NA = \sin \theta_i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta}$$

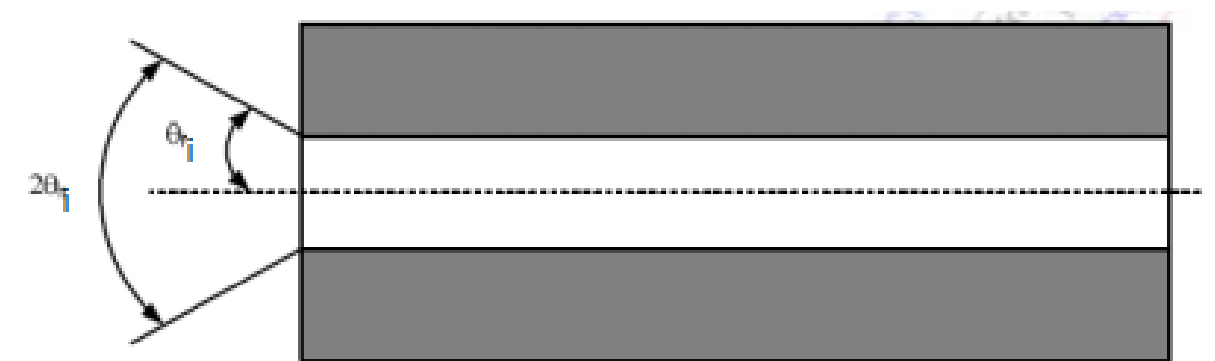
$\Delta$ : Độ chênh lệch tương đối

+  $NA$  là góc vào lớn nhất của tia sáng vào sợi dẫn quang.

+ Cho phép tính toán hiệu quả quá trình ghép nguồn phát quang vào sợi dẫn quang.

+ Có giá trị nằm trong khoảng 0,14 đến 0,5.

+ Góc đón ánh sáng:  $2\theta_i$ .



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

Một số giá trị khẩu độ số đối với sợi đa mode ứng với kích thước sợi khác nhau:

Đường kính lõi sợi $\mu m$	Đường kính vỏ phản xạ $\mu m$	Khẩu độ số
50	125	0,19 – 0,25
62,5	125	0,27 – 0,31
85	125	0,25 – 0,30
100	140	0,25 – 0,30

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

Một số tham số liên quan đến NA đối với sợi đa mode chiết suất bậc

- Tần số chuẩn hóa V

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \times NA = \frac{2\pi a}{\lambda} \times \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- Số lượng mode truyền trong lõi sợi

$$N \approx \frac{V^2}{2}$$

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Nguyên lý truyền dẫn ánh sáng trong sợi quang

Đối với sợi đa mode chiết suất biến đổi

- Chỉ số chiết suất:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^2 \right]^{1/2} & 0 \leq r \leq a \\ n_2 & a < r < b \end{cases}$$

*r là khoảng cách bán kính tính từ trục sợi*

- Khẩu độ số:

$$NA(r) = \begin{cases} [n^2(r) - n_2^2]^{1/2} & 0 \leq r \leq a \\ 0 & a < r < b \end{cases}$$

- Số lượng mode truyền trong lõi

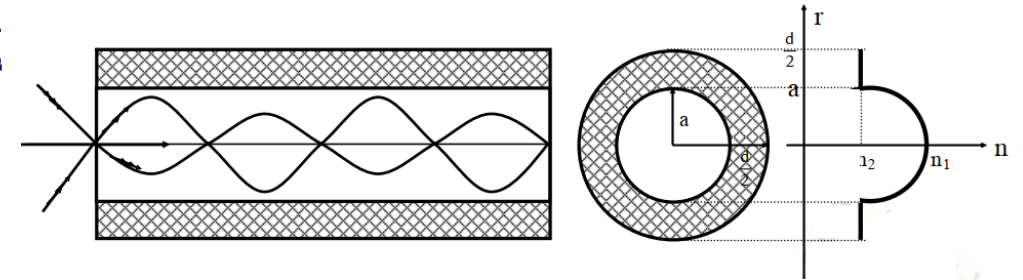
$$N \approx \frac{V^2}{4}$$

Đối với sợi đơn mode

- Tần số chuẩn hóa:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \times NA = \frac{2\pi a}{\lambda} \times \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

*(V < 2,405)*



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## Bài tập ví dụ

Cho sợi quang đa mode chiết suất bậc:

- a) Có  $n_1 = 1,485$  và  $n_2 = 1,455$ . Tính NA và góc đón ánh sáng của sợi quang.
- b) Cho  $a = 50\mu m$ ,  $n_1 = 1,48$ ,  $\Delta = 0,02$ . Tìm NA và V, N?
- c) Cho  $NA = 0.25$ ,  $n_2 = 1,40$  tính  $n_1$ , tính số lượng mode truyền trong sợi.

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Suy hao

- Là sự suy giảm năng lượng ánh sáng khi truyền qua sợi quang. Là tham số quan trọng trong thiết kế hệ thống.

- Hệ số suy hao:

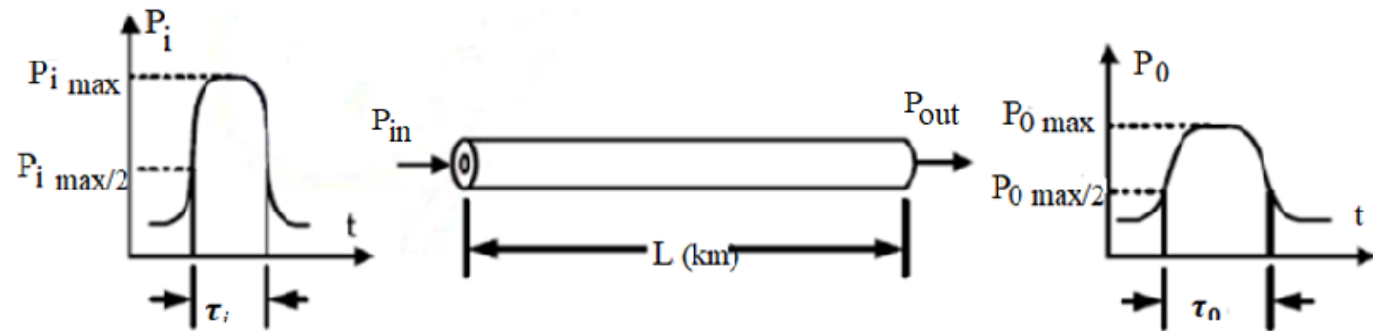
$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) [\text{dB/km}]$$

Trong đó:

$L(\text{km})$ : Độ dài sợi quang

$P_{in}$ : Công suất vào đầu sợi

$P_{out}$ : Công suất lấy ra cuối sợi





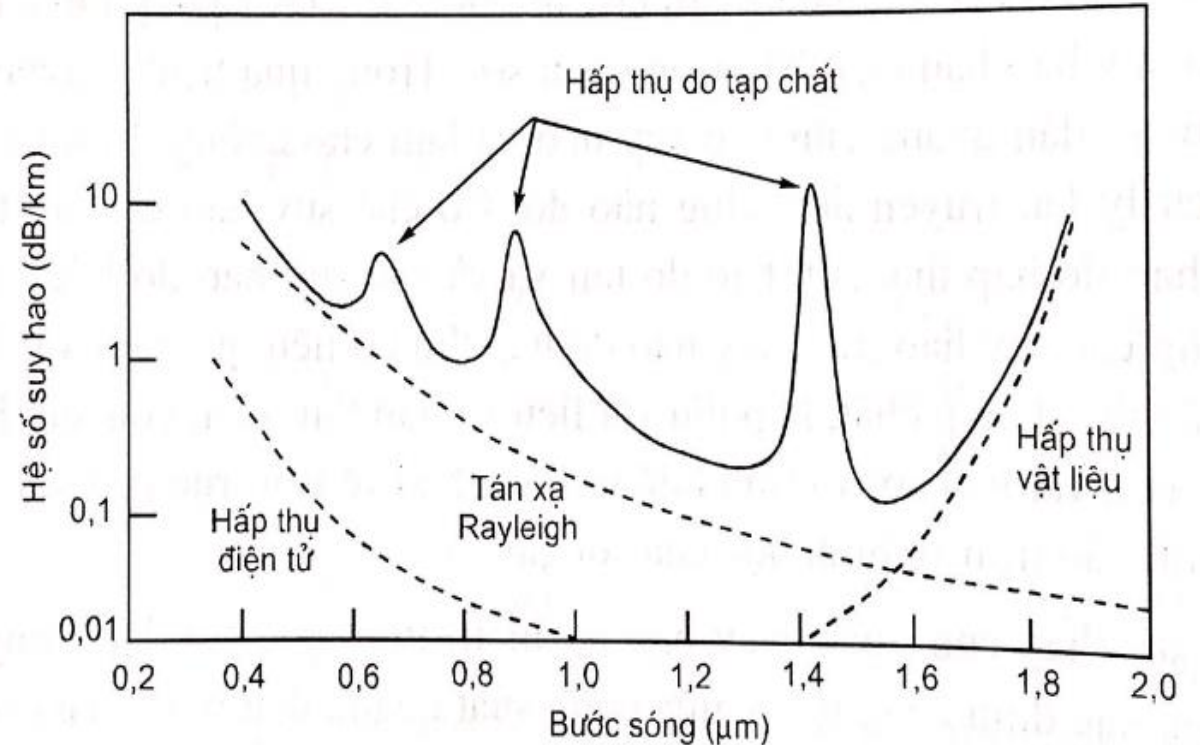
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Nguyên nhân gây suy hao

- Suy hao do hấp thụ
  - + Hấp thụ tạp chất: Fe, Cu,  $H_2O$ ,...
  - + Hấp thụ vật liệu: Hấp thụ ánh sáng có bước sóng dài.
  - + Hấp thụ điện tử: Trong vùng cực tím ánh sáng bị hấp thụ do các photon kích thích điện tử của nguyên tử lên mức năng lượng cao hơn.



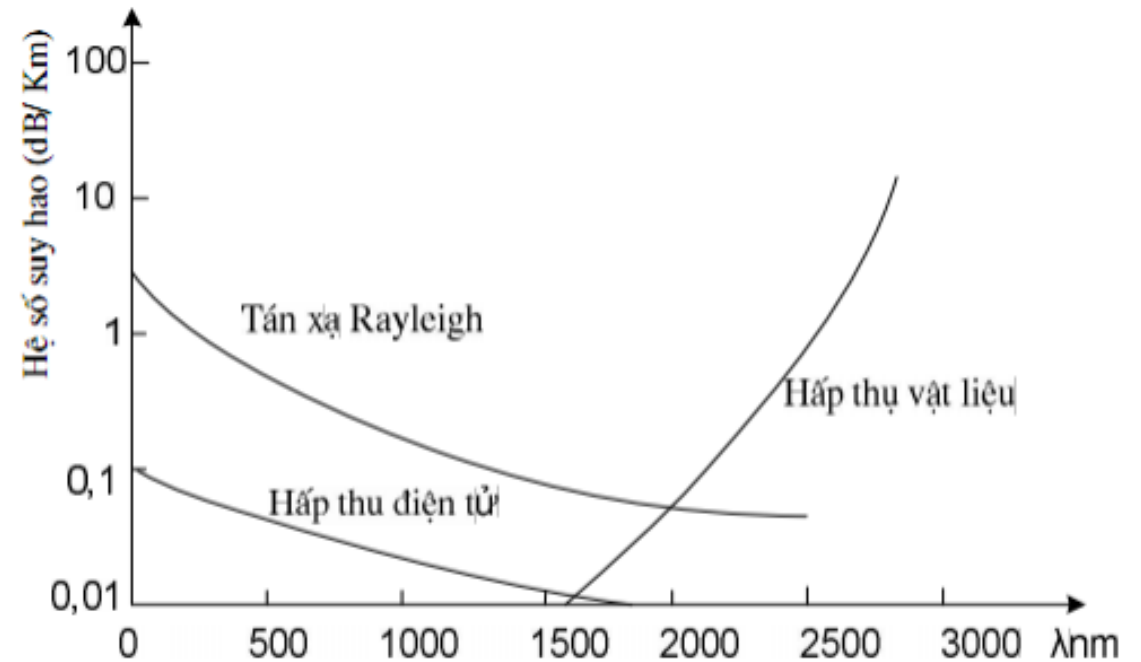
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Nguyên nhân gây suy hao

- Suy hao do tán xạ
- + Do vật liệu chế tạo sợi và tính không hoàn hảo về cấu trúc của sợi, các khiếm khuyết trong quá trình chế tạo sợi.
- + Tán xạ Rayleigh: Là tán xạ xảy ra do sự thay đổi chiết suất trong cấu trúc lõi sợi.



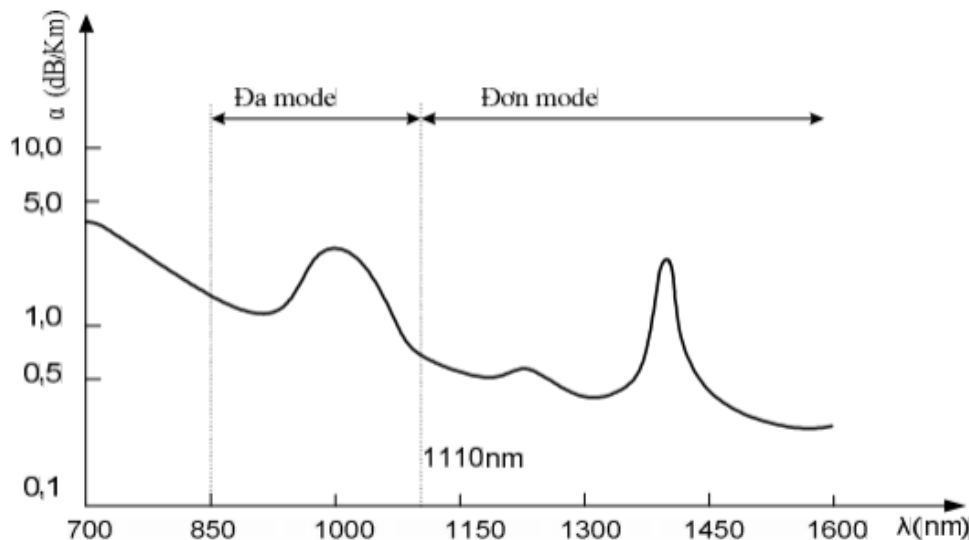
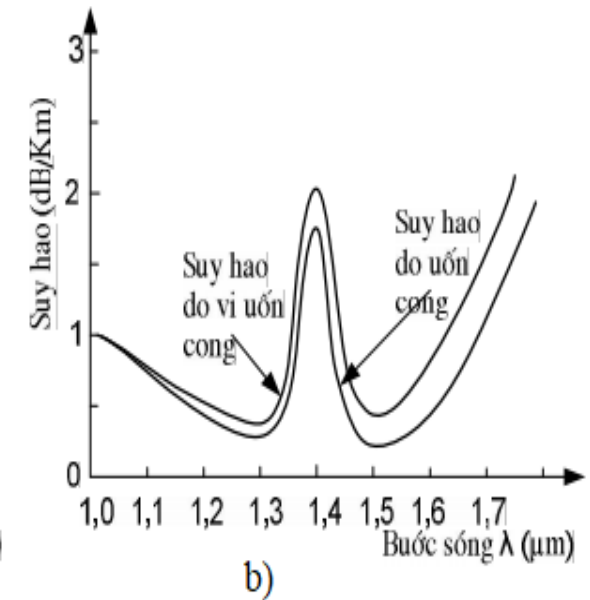
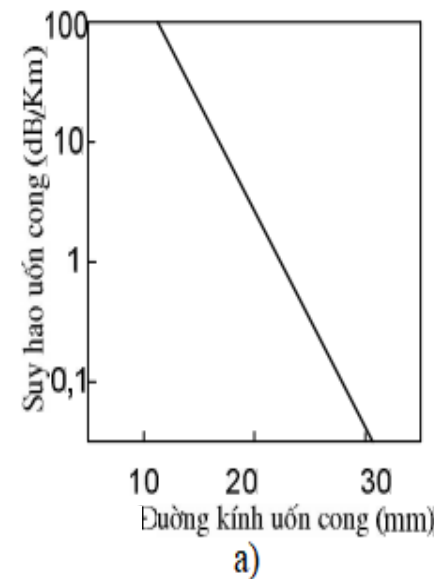
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Nguyên nhân gây suy hao

- Suy hao do uốn cong
- + Uốn cong vĩ mô: Xảy ra do quá trình chế tạo cáp quang
- + Uốn cong vĩ mô: Xảy ra trong quá trình sử dụng cáp



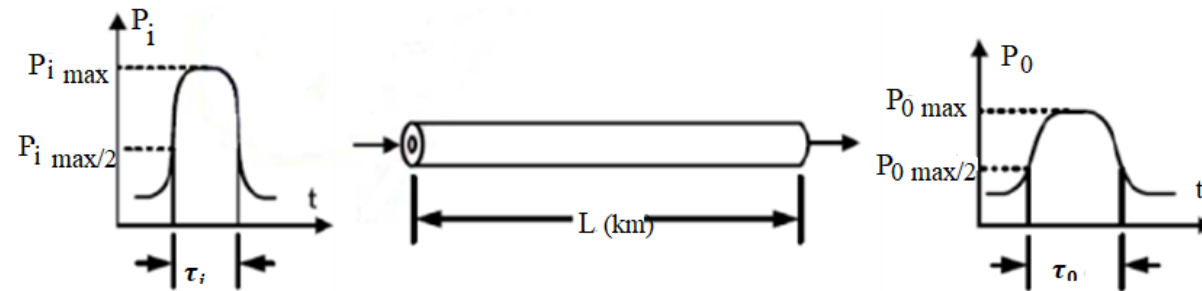
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Tán sắc

- Là sự giãn xung ánh sáng khi truyền trong sợi quang.



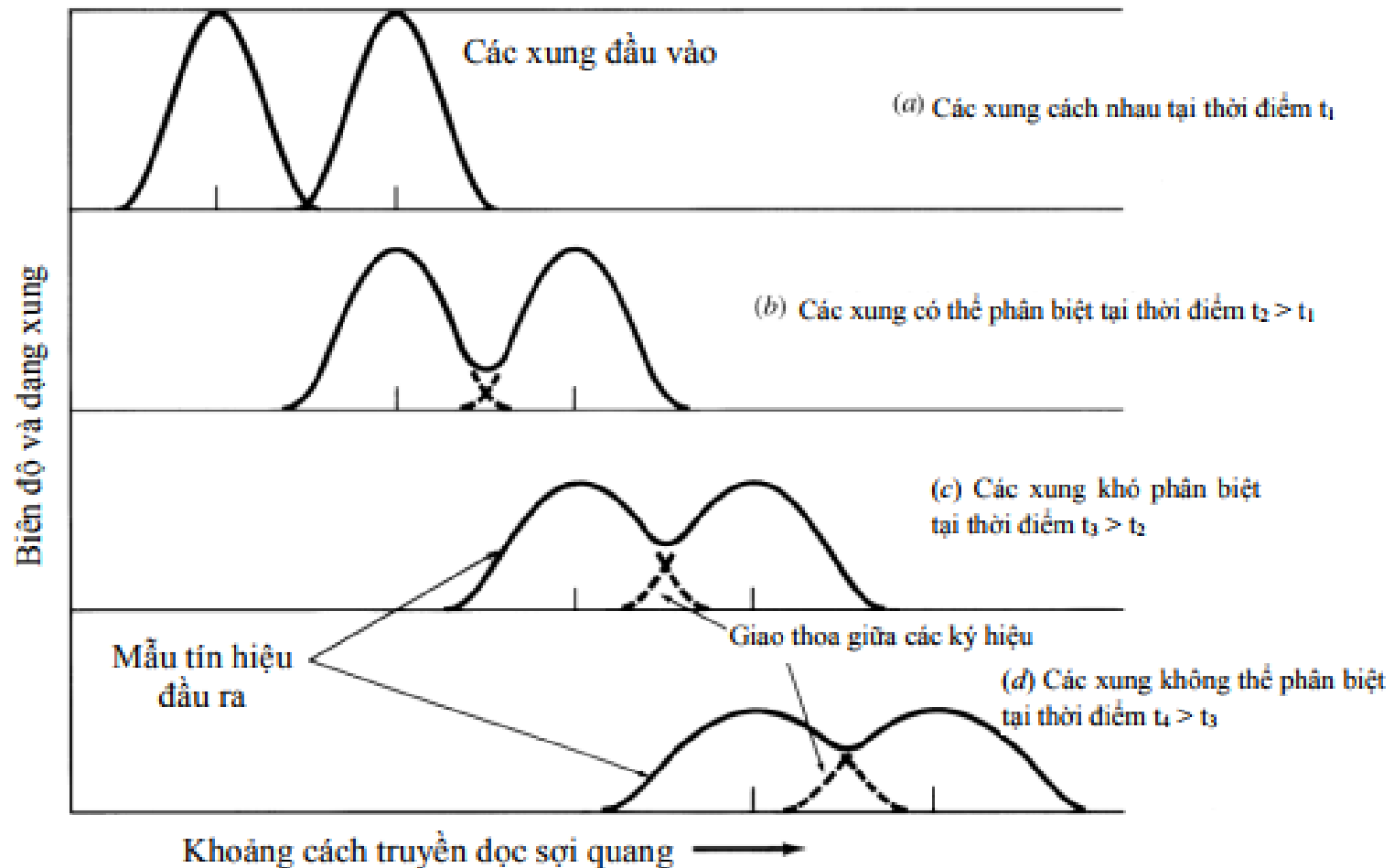
- Tính tán sắc:  $D_t = \sqrt{\tau_o^2 - \tau_i^2}$  [s]
- $\tau_i, \tau_o$  là độ rộng xung vào và xung ra đơn vị là giây

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Ảnh hưởng của tán sắc



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

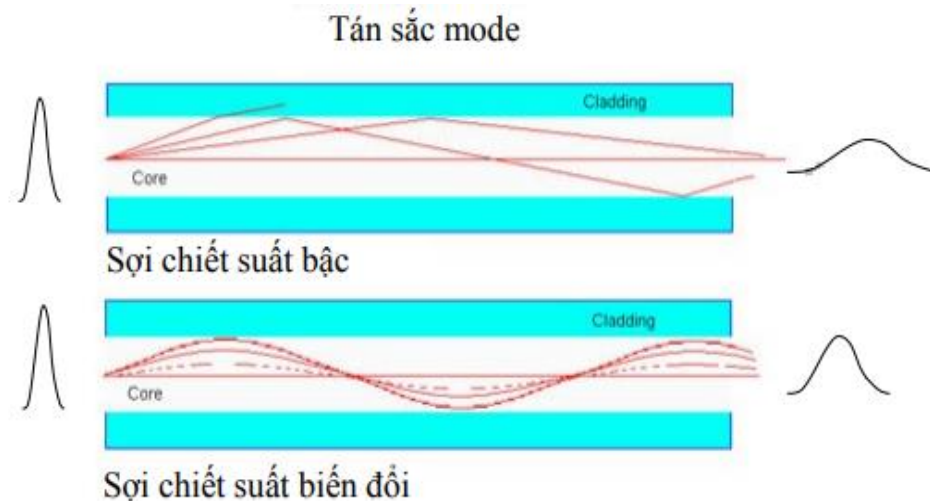
### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Nguyên nhân gây tán sắc

- Tán sắc mode

+ Xảy ra với sợi đa mode.

+ Quãng đường đi của các mode là khác nhau nên các mode tới đầu cuối sợi quang tại các thời điểm khác nhau gây ra tán sắc mode.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Các đặc tính truyền dẫn của sợi quang

#### Nguyên nhân gây tán sắc

- Tán sắc vật liệu
  - + Do ánh sáng truyền trong sợi quang không đơn sắc (gồm nhiều bước sóng), Mỗi bước sóng khác nhau dẫn đến tốc độ khác nhau → Thời gian truyền đến cuối sợi khác nhau
- Tán sắc dẫn sóng
  - + Do phân bố năng lượng ánh sáng trong sợi phụ thuộc vào bước sóng gây ra tán sắc.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Cáp sợi quang

- Để đưa sợi quang vào sử dụng trong môi trường thực tế, các sợi quang phải được kết hợp lại thành cáp với các cấu trúc phù hợp với môi trường lắp đặt.
- Cấu trúc cáp sợi quang:
  - + Lõi cáp
  - + Thành phần gia cường
  - + Vỏ cáp

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

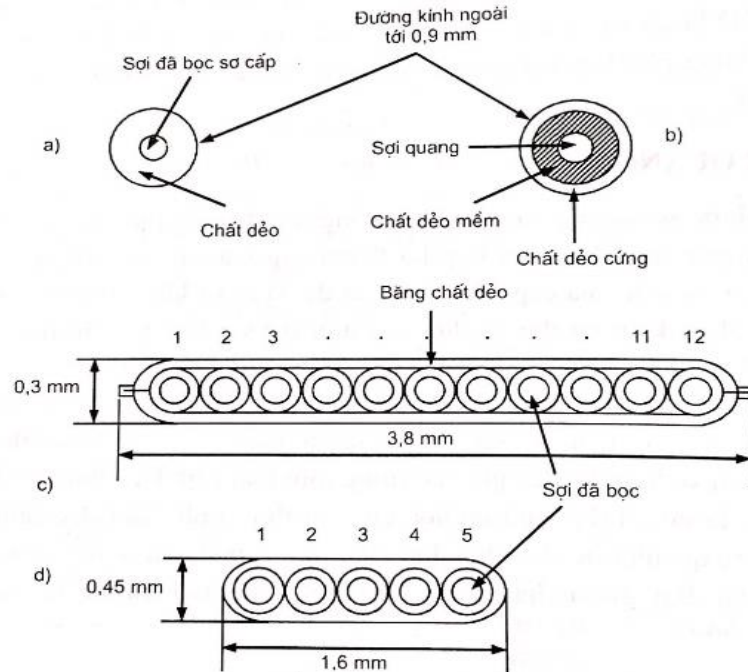
## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

### Cáp sợi quang

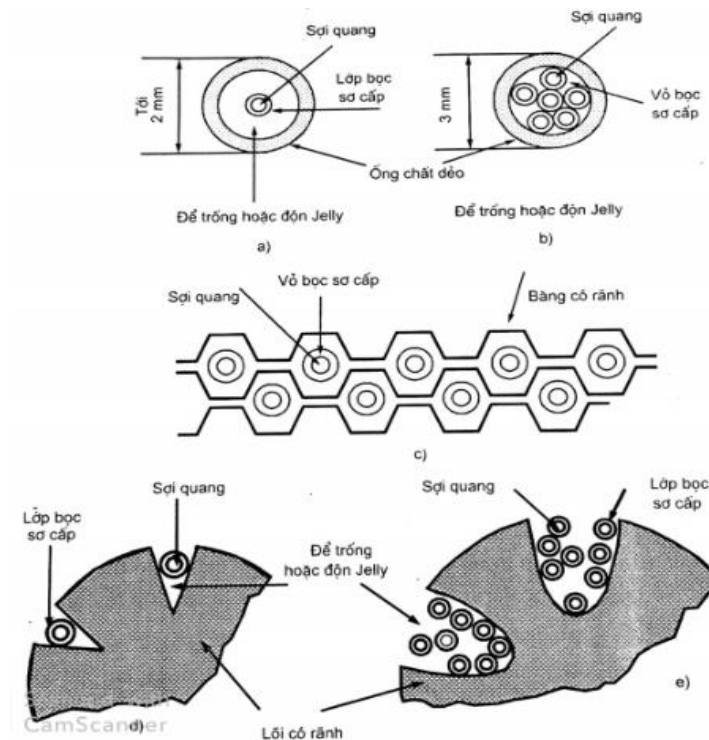
#### Lõi cáp

- Trước khi tiến hành bọc cáp, sợi quang được bọc bằng một lớp bọc đệm (lớp vỏ bảo vệ) là lớp bọc sơ cấp. Đây là bước sau cùng để hoàn thiện sợi quang.
- Sau đó được bọc một lớp thứ cấp để tránh suy hao và tăng cường bảo vệ sợi bằng cách bọc chặt hay bọc lỏng.

#### Bọc chặt



#### Bọc lỏng



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## III. Sợi quang và nguyên lý truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang

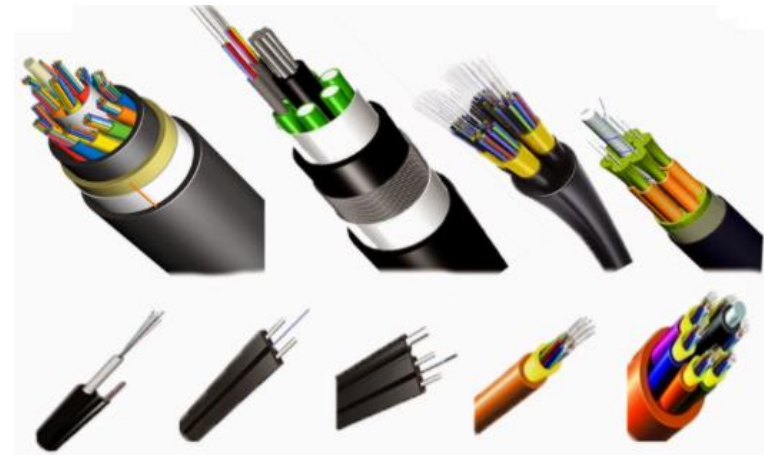
### Cáp sợi quang

#### Thành phần gia cường:

- Là thành phần tạo cho cáp có lực cơ học cần thiết.
- Được đặt giữa tâm cáp, phân bố ở các lớp ngoài đồng tâm với cáp.
- Vật liệu: Thép, các vật liệu phi kim (sợi dẻo pha thủy tinh, sợi aramid).

#### Vỏ cáp:

- Bảo vệ cáp, quyết định tuổi thọ của cáp.
- Vật liệu: Polyvinicloxit PVC, Polyethylen



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

- Bộ phát quang bao gồm mạch điều khiển và nguồn phát quang.
- Chức năng:
  - Chuyển đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang.
  - Ghép tín hiệu quang từ nguồn quang vào sợi dẫn quang.



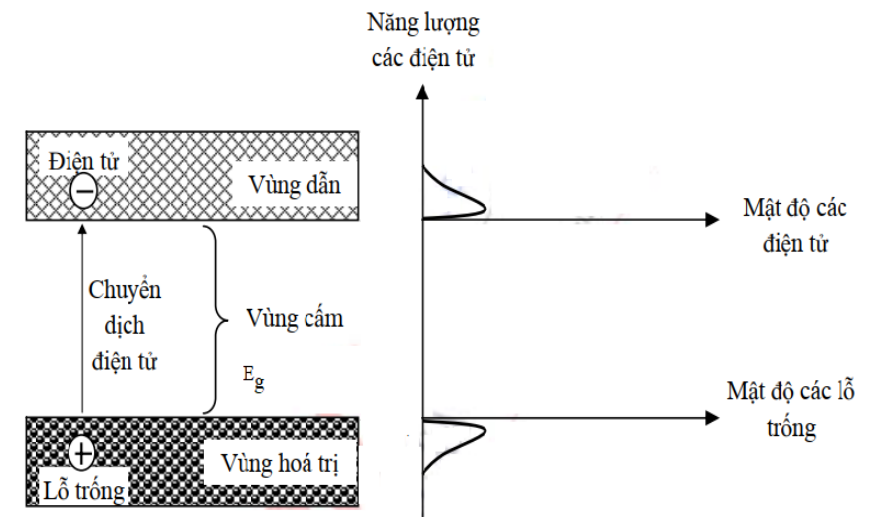
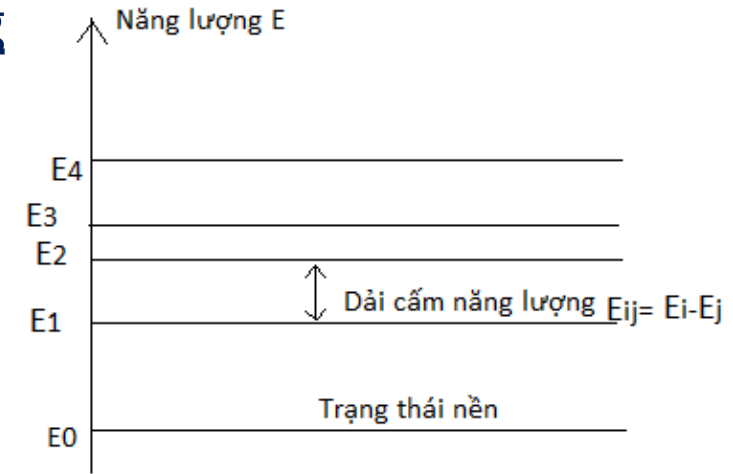
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

#### Vùng năng lượng của bán dẫn

- Vật chất được cấu tạo từ các nguyên tử, mỗi nguyên tử gồm một hạt nhân (mang điện tích dương) được bao quanh là các điện tử electron (mang điện tích âm).
- Các điện tử này quay quanh hạt nhân với quỹ đạo ổn định và cũng mang một năng lượng nhất định ( $E_1, E_2 \dots$ ).
- Các chất bán dẫn:
  - + Để điện tử dịch chuyển từ vùng hóa trị có mức năng lượng thấp lên vùng dẫn có mức năng lượng cao cần phải kích thích cho điện tử một năng lượng  $E_g$
  - + Khi điện tử dịch chuyển từ mức năng lượng cao (vùng dẫn) xuống mức năng lượng thấp (vùng hóa trị) thì điện tử sẽ giải phóng một năng lượng đúng bằng  $E_g$



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

#### Nguyên lý chuyển đổi quang điện

- Ánh sáng bao gồm nhiều hạt Photon.

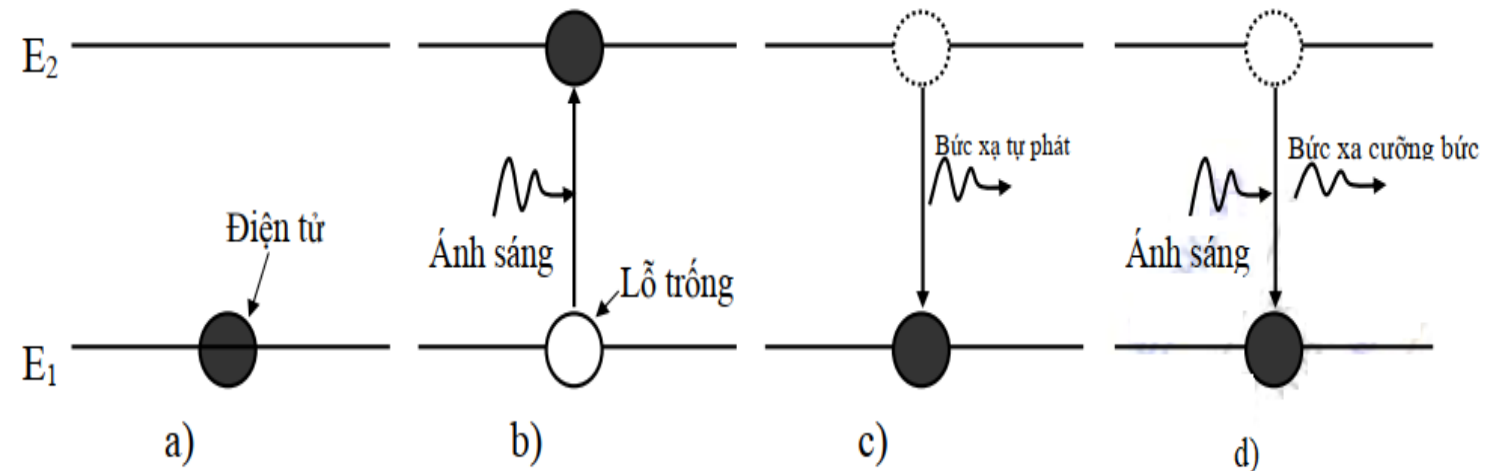
- Năng lượng mỗi hạt:  $E = hf$

*h là hằng số Plank, f là tần số của photon ánh sáng*

- Nguyên lý chuyển đổi quang điện dựa vào hiện tượng hấp thụ ánh sáng và phát xạ của chất bán dẫn:

+ Phát xạ tự phát (LED)

+ Phát xạ kích thích  
(LASER)



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

#### Nguồn phát quang

- Chức năng: Chuyển đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang.
- Yêu cầu của nguồn quang
  - Công suất phát xạ phải lớn.
  - Thời gian đáp ứng nhanh, là khoảng thời gian trễ giữa xung tín hiệu điều khiển được áp vào cho đến thời điểm phát xạ ánh sáng.
  - Hiệu suất lượng tử cao
  - Độ rộng phổ hẹp để giảm tán sắc trong sợi quang.
  - Kích thước tương ứng với lõi sợi quang để có thể ghép ánh sáng vào trong sợi quang.
  - Có tính kinh tế cao (độ tin cậy cao, giá thành thấp) để cạnh tranh với các kỹ thuật truyền dẫn khác.



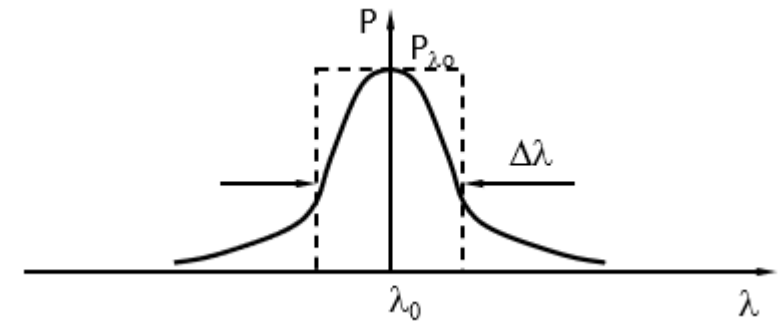
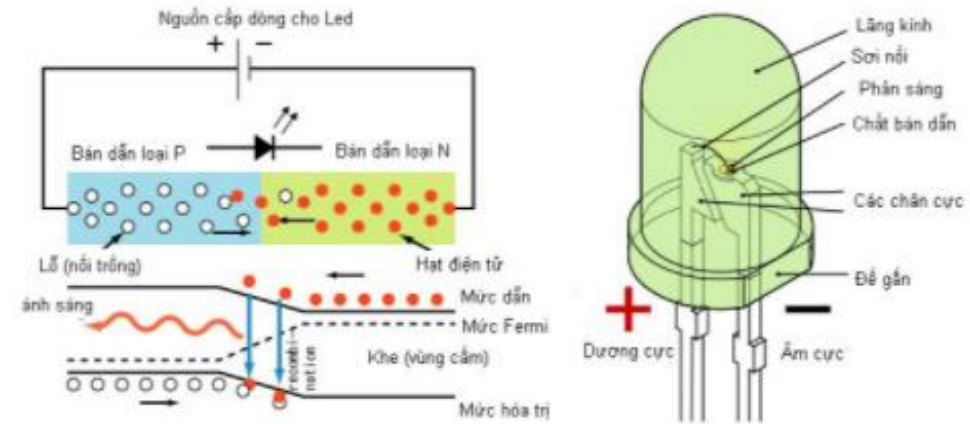
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

#### Nguồn phát quang LED

- Cấu trúc đơn giản.
- Công suất phát tương đối thấp từ 1-3mw
- Hiệu suất ghép quang: Không vượt quá 15%
- Độ rộng phổ khá rộng: Là khoảng bước sóng ánh sáng do LED phát ra trong đó công suất quang không nhỏ hơn  $\frac{1}{2}$  mức công suất đỉnh.
- Ứng dụng:
  - + Phù hợp cho sợi đa mode, tốc độ không quá 200Mb/s.
  - + Dùng cho sợi đơn mode cho các mạng nội hạt và tuyến có cự ly ngắn, giá thành rẻ.





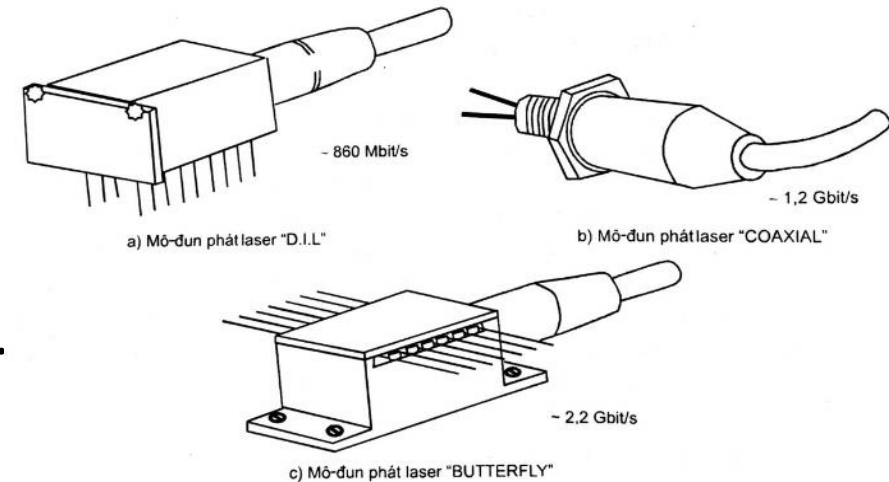
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị phát quang

#### Nguồn phát quang LASER

- Cấu trúc phức tạp hơn LED.
- Công suất quang: 1-10mw, Laser đời mới 50mw.
- Hiệu suất ghép quang: Có thể lên đến 90%.
- Độ rộng phổ hẹp: 1-4nm.
- Ứng dụng:
  - + Các mạng truyền dẫn lớn, cự ly xa, tốc độ cao, chất lượng yêu cầu khắt khe.
  - + Dùng cho viễn thông đường trục Việt Nam.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

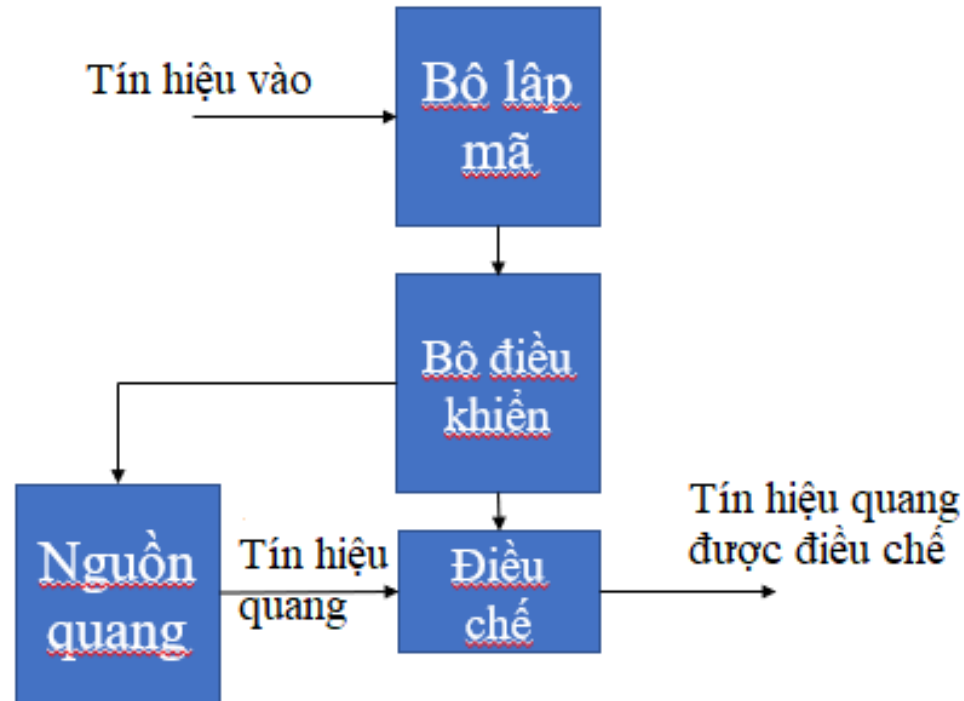
### Thiết bị phát quang

#### Máy phát tín hiệu quang

- Máy phát tín hiệu quang điều chế trực tiếp



- Máy phát tín hiệu quang điều chế ngoài



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị thu quang

- Bao gồm:
  - Bộ tách sóng quang
  - Bộ khuếch đại điện
  - Các mạch xử lý
- Chức năng:
  - Chuyển đổi tín hiệu ánh sáng thu được thành tín hiệu điện.
  - Khôi phục tín hiệu thu được.

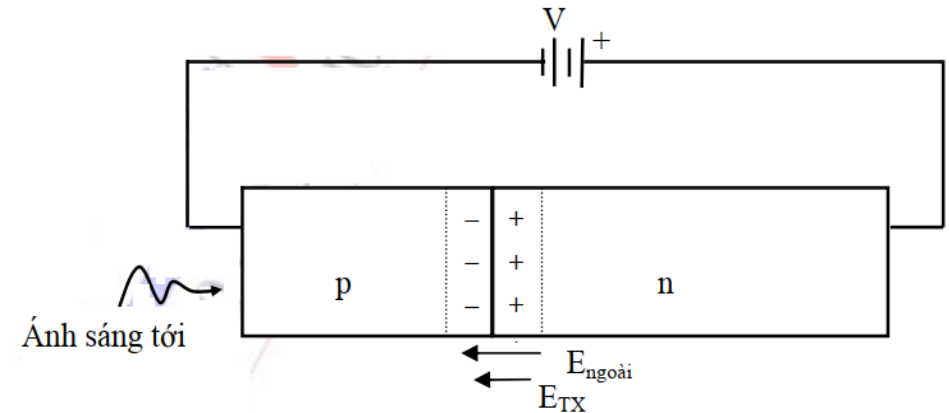
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị thu quang

#### Bộ tách sóng quang

- Sử dụng bộ tách sóng photo diode PIN hoặc photo diode thác quang APD
- Nguyên tắc tách sóng quang của PIN và APD
  - Dựa vào mặt tiếp giáp p – n phân cực ngược.
  - Khi chưa có ánh sáng chiếu vào diode tách quang, trong lớp bán dẫn chưa có dòng điện. Do chưa có điện tử và lỗ trống.
  - Khi ánh sáng chiếu vào diode tách quang thì bán dẫn sẽ hấp thụ các photon. Hấp thụ photon sẽ làm Điện tử nhảy lên dải dẫn và để lại trong dải hóa trị các lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống dịch chuyển tạo nên dòng quang điện.



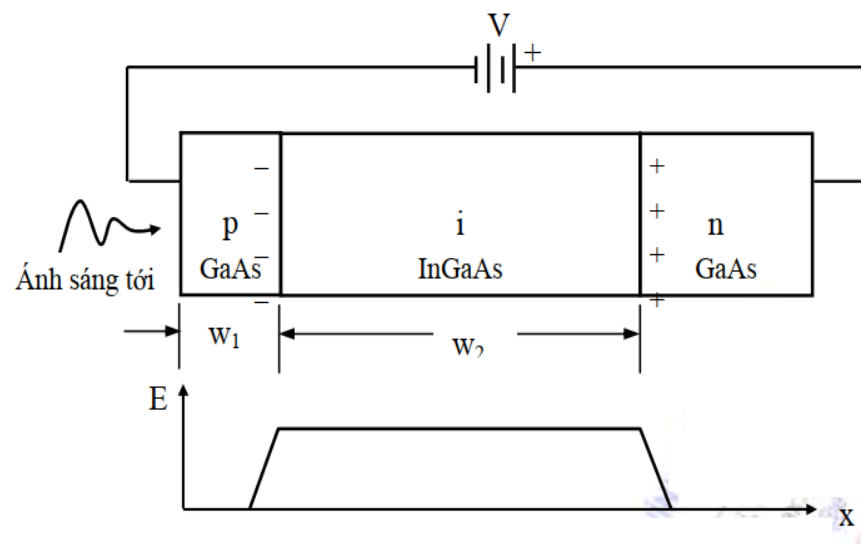
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị thu quang

#### Bộ tách sóng quang PIN

##### - Cấu tạo

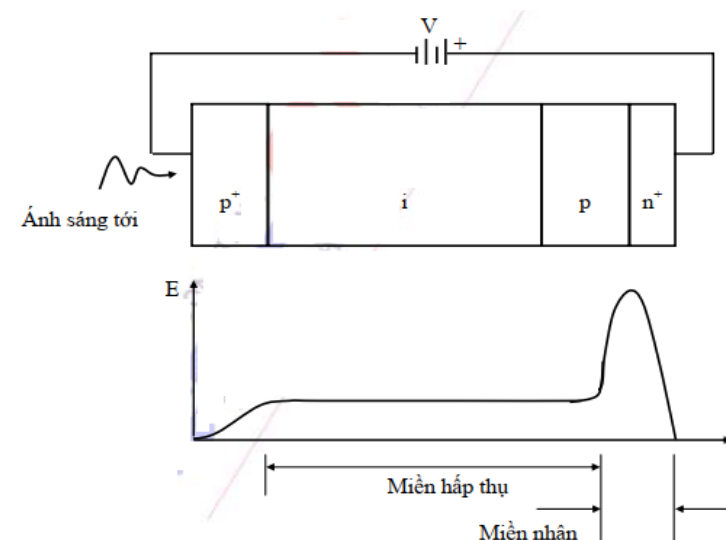


##### - Đặc điểm:

- + Chống nhiễu tốt
- + Độ nhạy không cao

#### Bộ tách sóng quang thác APD

##### - Cấu tạo:



##### - Đặc điểm:

- + Độ nhạy máy thu cao
- + Khuếch đại cả nhiễu

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị thu quang

#### Các tham số của diode tách quang

- Hiệu suất lượng tử: Là tỷ số giữa số lượng điện tử được tạo ra và số lượng photon hấp thụ của chất bán dẫn.

$$\eta = \frac{n_e}{n_{ph}} \times 100\%$$

*Trong đó:  $n_e$  là số lượng điện tử được tạo ra,  $n_{ph}$  là số photon hấp thụ.*

- Độ nhạy: Là mức công suất thu ánh sáng nhỏ nhất mà bộ thu quang thu được trong giới hạn BER cho phép.
- Đáp ứng: Là tỷ số giữa dòng quang điện sinh ra và công suất quang tác động vào chất bán dẫn.

$$R = \frac{I_{ph}}{P_{opt}}$$

*Trong đó,  $R$  là đáp ứng (A/W),  $I_{ph}$  là dòng quang điện (A),  $P_{opt}$  là công suất quang (W).*

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## IV. Thiết bị phát quang và thiết bị thu quang

### Thiết bị thu quang

#### Sơ đồ khối máy thu quang điển hình trong hệ thống truyền dẫn số

- Tách sóng quang: Chuyển tín hiệu ánh sáng thành tín hiệu điện.

- Khuếch đại: Biến dòng tách quang thành tín hiệu điện áp với công suất đủ lớn.

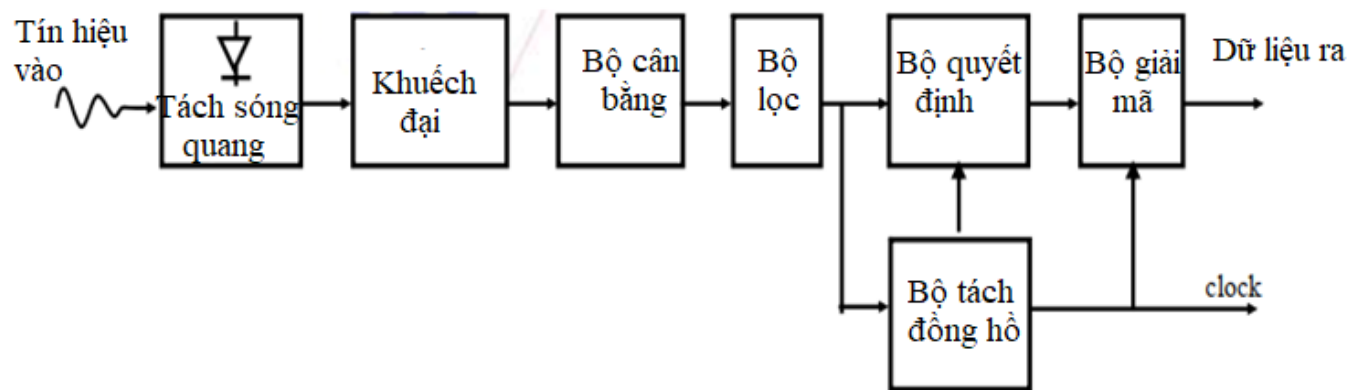
- Bộ cân bằng: Điều chỉnh hàm truyền đạt của bộ khuếch đại.

- Bộ lọc: Giới hạn băng tần của máy thu trong phạm vi yêu cầu đối với phổ tín hiệu.

- Bộ tách đồng hồ: Tách xung đồng hồ từ chuỗi dữ liệu số chung

- Bộ quyết định: Tái tạo lại tín hiệu số.

- Bộ giải mã: Chuyển đổi tín hiệu số đơn cực thành mã đường lưỡng cực tương ứng.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

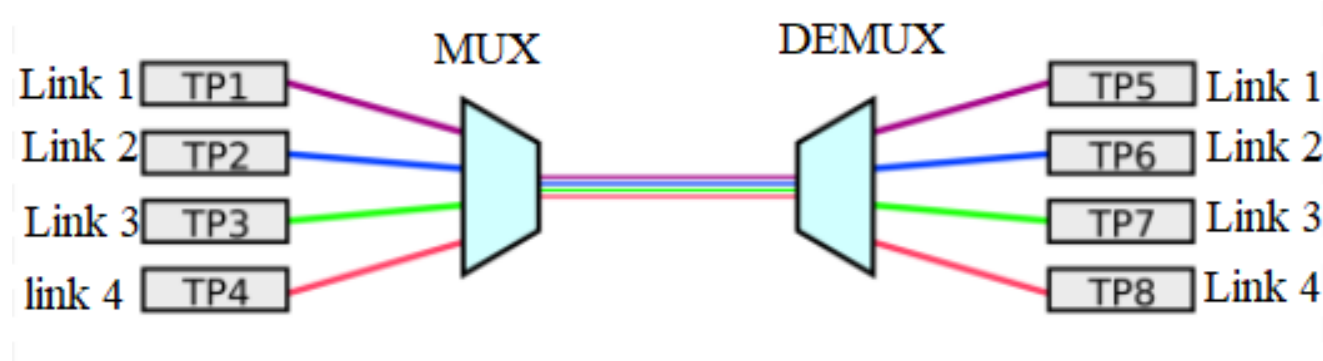
## V. Ghép kênh quang theo bước sóng (WDM)

### Khái niệm

Ghép kênh quang theo bước sóng (WDM- Wavelength Division Multiplexing) là công nghệ mà trong một sợi quang truyền đồng thời nhiều bước sóng tín hiệu quang. Bên phát, nhiều tín hiệu quang có bước sóng khác nhau được ghép lại với nhau và truyền trên cùng một sợi quang. Ở đầu thu tín hiệu ghép kênh được tách kênh và khôi phục lại tín hiệu ban đầu.

### Mục đích

- Tăng dung lượng kênh truyền.
- Xây dựng các tuyến truyền dẫn tốc độ cao mà hệ thống ghép kênh điện không thể đáp ứng được.

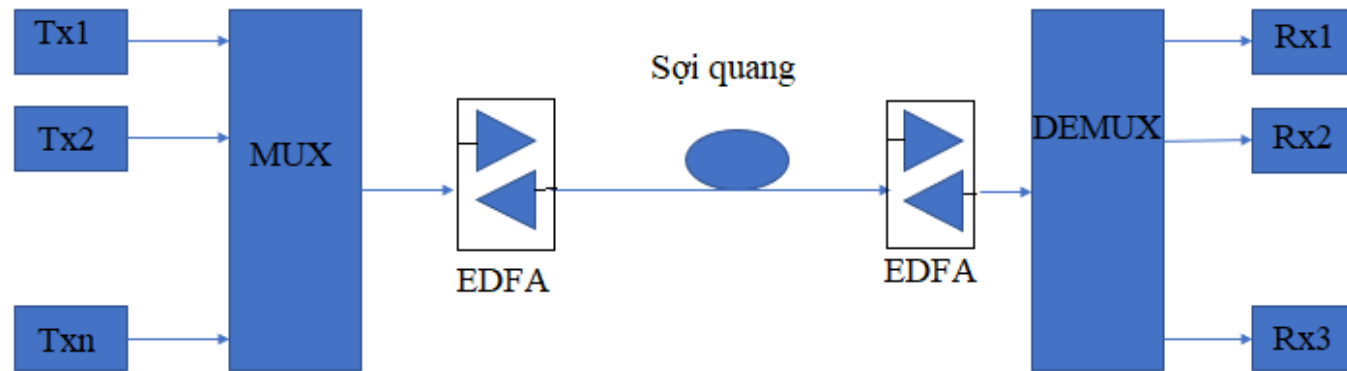




# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## V. Ghép kênh quang theo bước sóng (WDM)

### Nguyên lý ghép kênh quan theo bước sóng



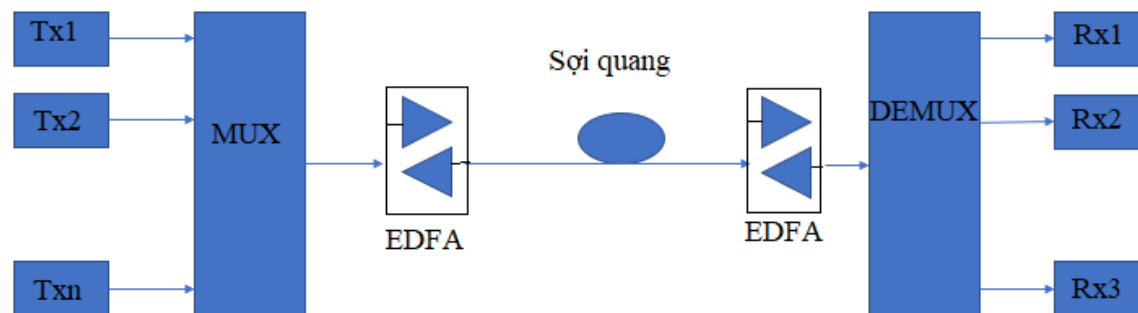
#### ■ Phía phát:

- + Sử dụng các nguồn phát quang Laser. Tín hiệu quang phát ra từ các nguồn quang sẽ có các bước sóng khác nhau.
- + Mux: Thực hiện ghép tín hiệu quang từ các nguồn quang khác nhau thành luồng tín hiệu ánh sáng tổng hợp để truyền qua sợi quang.
- + EDFA: Khuếch đại tín hiệu quang (Khuếch đại công suất)

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## V. Ghép kênh quang theo bước sóng (WDM)

### Nguyên lý ghép kênh quan theo bước sóng



- Sợi quang: Truyền dẫn tín hiệu trên sợi quang. Chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố: Suy hao, tán sắc...

- Phía thu:

- + EDFA: Khuếch đại tín hiệu (Tiền khuếch đại).

- + DEMUX: Phân tách luồng ánh sáng tổng hợp thành các ánh sáng riêng lẻ tại đầu ra.

- + Bộ thu quang: Sử dụng các bộ tách sóng PIN, APD để thu được luồng tín hiệu ban đầu.

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## V. Ghép kênh quang theo bước sóng (WDM)

### Phân loại hệ thống WDM

#### - Hệ thống ghép bước sóng đơn hướng

Chỉ truyền theo một chiều trên sợi quang.

Sử dụng các bộ MUX và

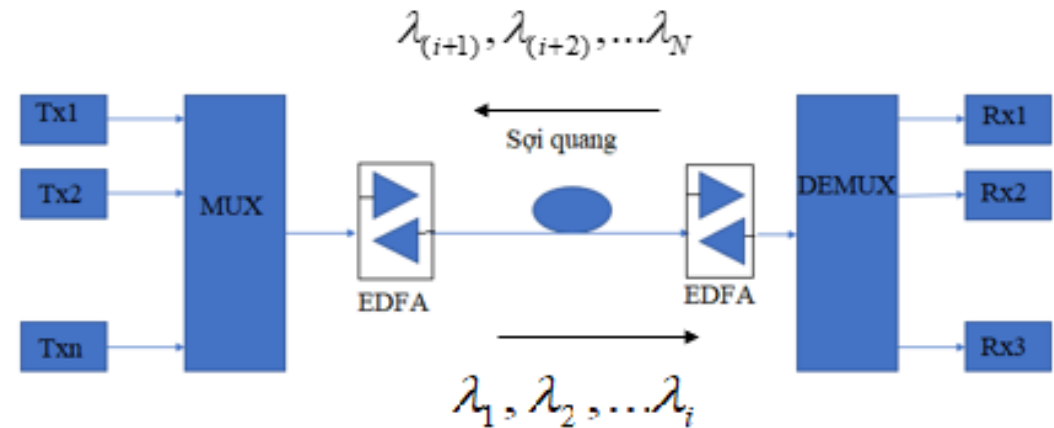
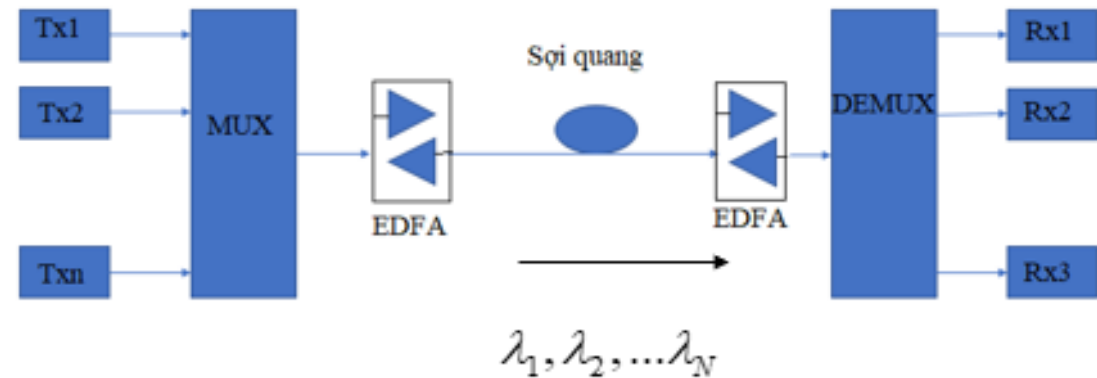
DEMUX. Do vậy khi truyền thông tin giữa hai điểm ta cần hai sợi quang.

#### - Hệ thống ghép bước sóng hai hướng

Cho phép truyền hai chiều trên sợi quang,

sử dụng bộ ghép và giải ghép hỗn hợp.

Chỉ cần một sợi quang cho việc truyền thông tin giữa hai điểm.

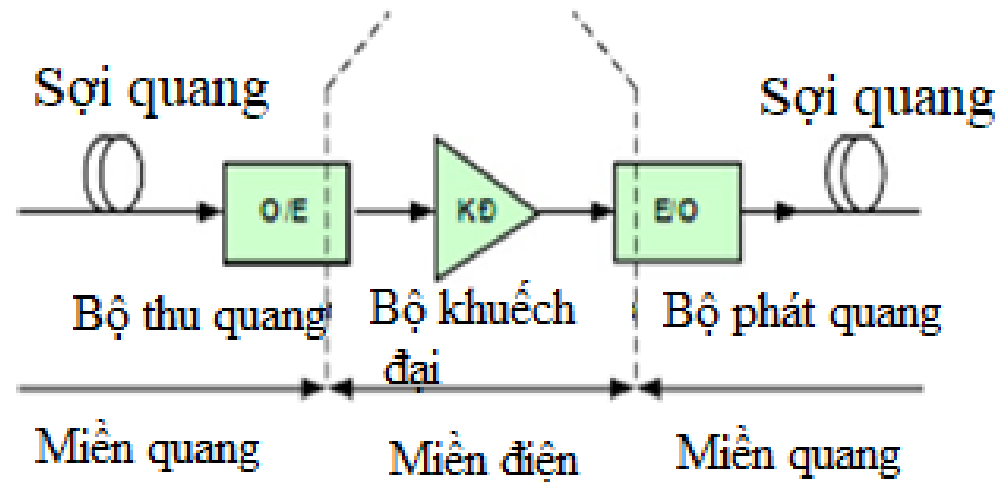


# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VI. Khuếch đại công suất quang

### Trạm lặp quang điện

- Quá trình khuếch đại thực hiện qua nhiều bước
- Tín hiệu được khuếch đại trong miền điện.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VI. Khuếch đại công suất quang

### Khuếch đại quang EDFA

- EDFA là bộ khuếch đại quang học dựa trên cáp sợi pha tạp Erbium, làm khuếch đại tín hiệu quang mà không cần chuyển đổi tín hiệu thành dạng điện.

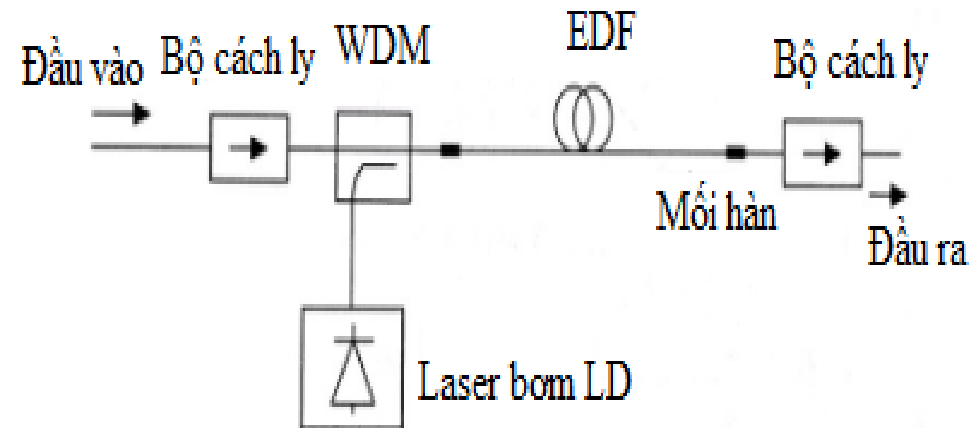
- Cấu trúc EDFA

- Một đoạn sợi quang pha tạp  
Chất  $Er^{+3}$  (10-50m)

- Couper: Ghép nguồn Laser  
bơm với tín hiệu quang tới

- Bộ cách ly (Isolator): Chống phản xạ tín hiệu, cho phép truyền đơn hướng.

- Laser bơm: Hoạt động ở bước sóng 1300nm, 1550nm.



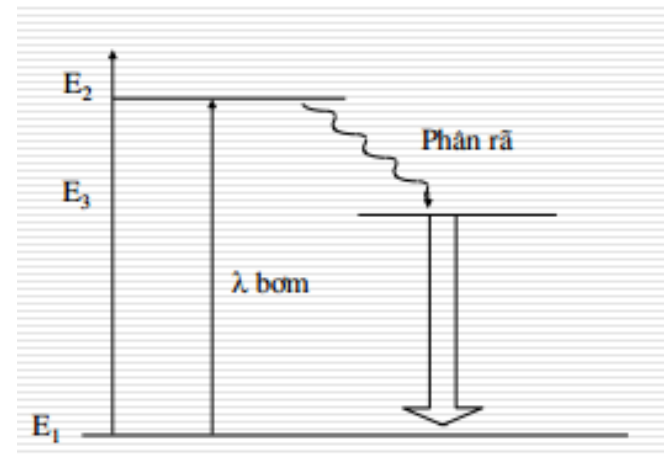
# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VI. Khuếch đại công suất quang

### Khuếch đại quang EDFA

Nguyên lý hoạt động: Tuân theo nguyên lý bức xạ ba mức

- Khi một nguồn bơm photon có bước sóng trong vùng 1550 nm được bơm vào lõi sợi đặc biệt này, các ion  $Er^{3+}$  sẽ hấp thụ các photon đó.
- Điện tử của nó sẽ chuyển mức năng lượng cơ bản từ  $E_1$  lên mức kích thích  $E_2$ .
- Điện tử này sẽ chuyển xuống mức năng lượng  $E_3$  theo cơ chế phân rã không bức xạ ( $E_3$  mức năng lượng siêu bền).
- Tín hiệu quang tới đầu vào sợi sẽ đến gặp các ion Erbium đã được kích thích và được phân bố dọc theo lõi sợi. Quá trình bức xạ kích thích sẽ tạo ra các photon phụ có pha và hướng quang như tín hiệu tới do vậy mà ta thu được cường độ ánh sáng tín hiệu tại đầu ra EDF lớn hơn đầu vào EDF.



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VI. Khuếch đại công suất quang

### Khuếch đại quang EDFA

#### Ứng dụng

- Khuếch đại công suất BA: Booster Amplifier

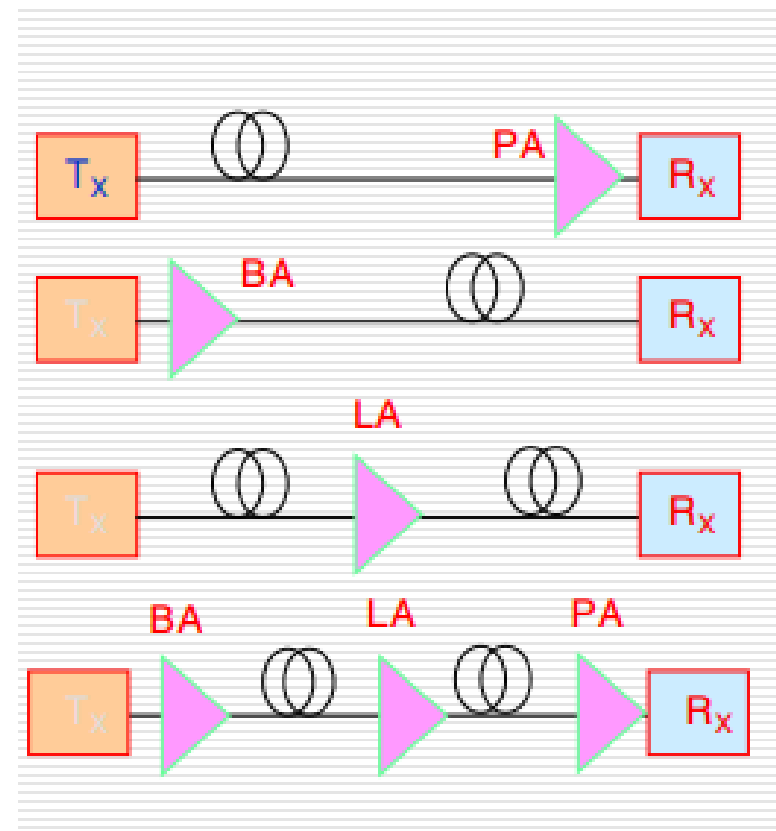
→ Khuếch đại công suất quang → tăng khoảng cách truyền

- Tiền khuếch đại PA: Pre- Amplifier

→ Giảm yêu cầu đối với độ nhạy máy thu

- Khuếch đại trên tuyến LA: Line Amplifier

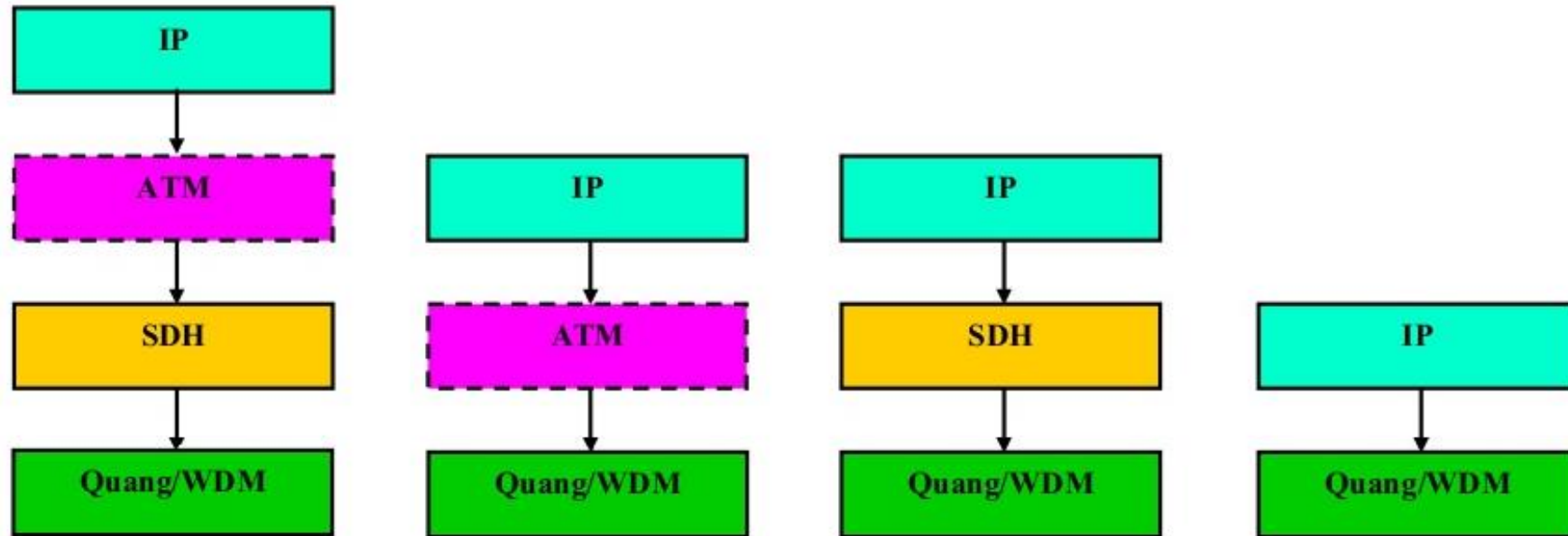
→ Bù mất mát công suất quang do suy hao



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VII. Mạng truyền tải quang

Các mô hình truyền tải IP/quang WDM



- Giảm rào đầu giao thức
- Đơn giản hóa công việc quản lý

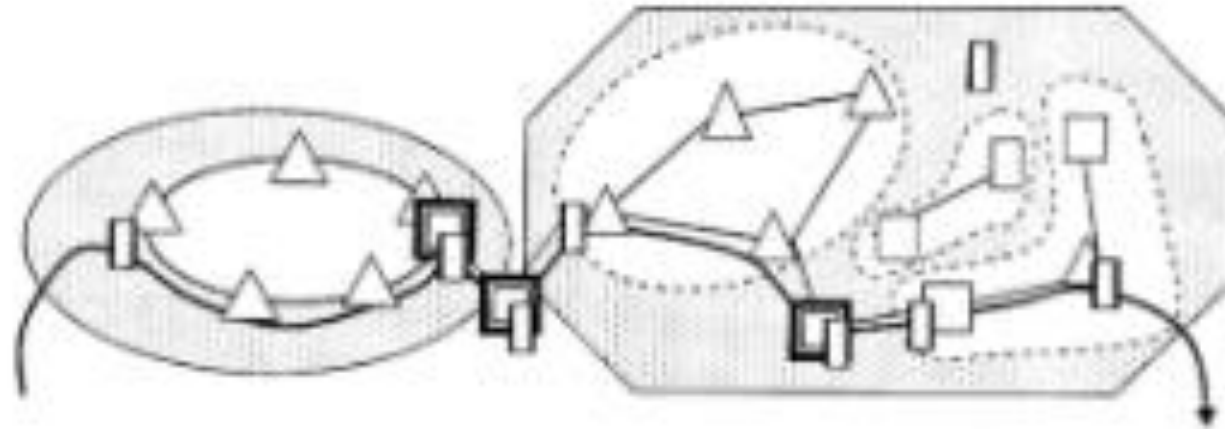
Hướng tới mạng truyền tải quang thế hệ mới: NGN



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VII. Mạng truyền tải quang

### Cấu trúc mạng truyền tải quang thực tế



Vùng mạng phụ



Thiết bị ghép xen rẽ OADM



Thiết bị truyền dẫn quang



Thiết bị OXC



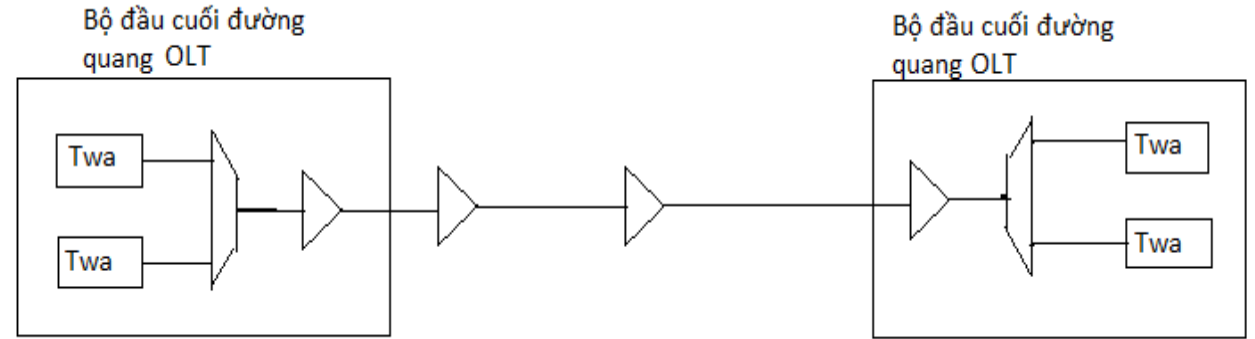
Thiết bị xử lý quang - điện

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VII. Mạng truyền tải quang

### Cấu trúc điểm - điểm

- Cấu trúc:
  - + Thiết bị đầu cuối
  - + Bộ khuếch đại
- Ưu điểm:
  - + Dùng cho tuyến truyền dẫn khoảng cách xa, tốc độ cao, tính toàn vẹn tín hiệu và độ tin cậy cao.



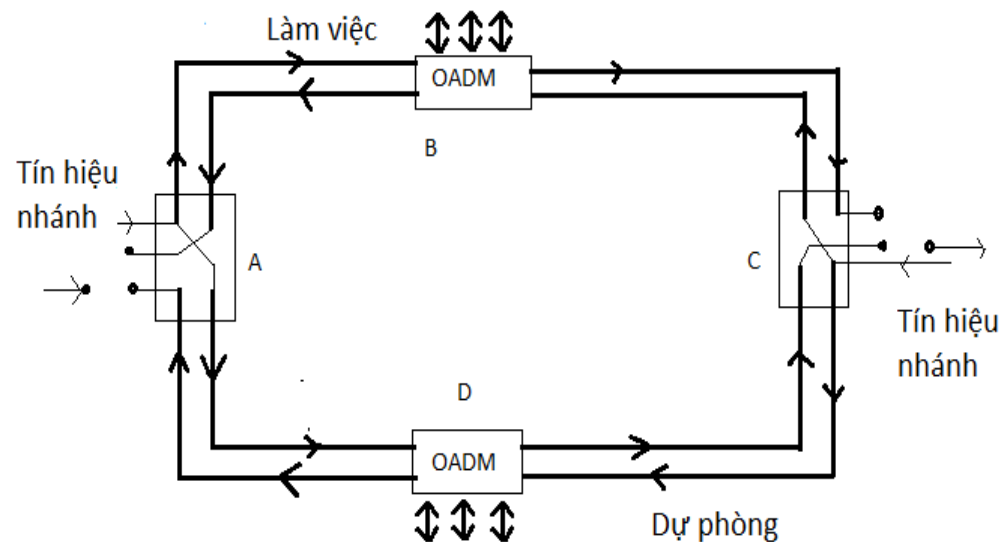
- Nhược điểm:
  - Không có trạm xen rẽ để cho phép người dùng có thể tách/ghép một lưu lượng những bước sóng cần thiết mà không ảnh hưởng tới lưu lượng các bước sóng còn lại.
- Khắc phục nhược điểm này ta sử dụng mạng đa điểm – đa điểm.
  - Được sử dụng nhiều cho các tuyến truyền dẫn cáp quang biển

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VII. Mạng truyền tải quang

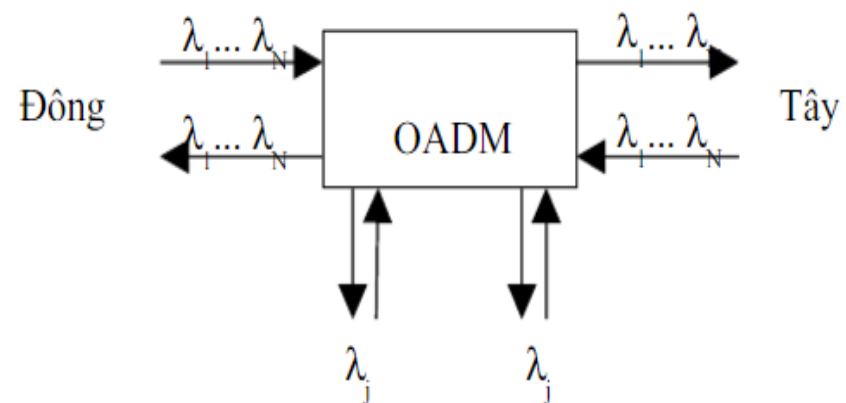
### Cấu trúc ring

- Cấu trúc:
- + Đơn giản
- + Có cơ chế bảo vệ luồng



- + Sử dụng thiết bị OADM (Thiết bị ghép xen rẽ quang theo bước sóng)

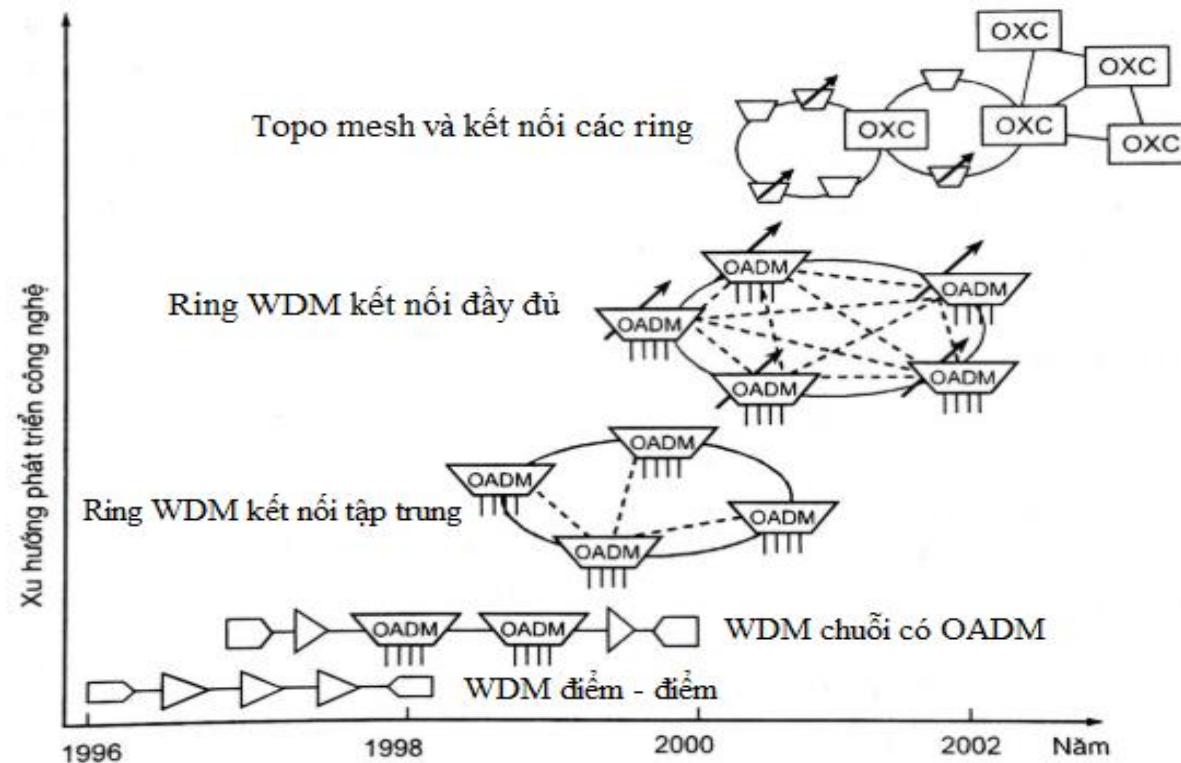
→ cho phép ghép xen rẽ kênh tại điểm bất kỳ



# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VII. Mạng truyền tải quang

### Xu hướng phát triển cấu trúc mạng quang



➤ *Hướng đến các mạng NGN*

# CHƯƠNG 4 Thông tin quang

## VIII. Tính toán tuyến thông tin quang

Xét với tuyến quang: Bộ phát quang, sợi quang, bộ thu quang

Quỹ công suất  $C_T$

$$C_T = P_t - P_r = 2l_c + \alpha_f \cdot L + l_{sp} + M_s$$

Trong đó,  $P_t$  là công suất quang trung bình tại đầu ra bộ phát quang.

$P_r$  là công suất trung bình nhỏ nhất đòi hỏi bởi máy thu được gọi là độ nhạy máy thu.

$l_c$  là suy hao bộ nối quang tính bằng dB.

$\alpha_f$  là hệ số suy hao sợi tính bằng dB/km

$L$  là độ dài sợi quang trên tuyến nó là cự ly truyền dẫn

$l_{sp}$  tổng suy hao các mối hàn tính bằng dB

$M_s$  là dự phòng hệ thống là lượng công suất quang xác định thêm vào hệ thống để bù vào sự mất mát công suất có thể xảy