

## LỜI NÓI ĐẦU

Từ khi ra đời cho đến nay, cáp sợi quang đã chứng tỏ được những ưu điểm vượt trội so với các phương thức truyền dẫn khác như độ suy hao thấp, cho phép kéo dài trạm lắp, trọng lượng nhẹ, kích thước nhỏ dễ lắp đặt, hoàn toàn cách điện, không bị can nhiễu bởi trường điện từ, vật liệu chế tạo sẵn có trong tự nhiên ( $\text{SiO}_2$ ), giá thành thấp... Chính vì thế hệ thống truyền dẫn thông tin cáp quang hiện nay đang chiếm một tỷ lệ rất lớn ở nước ta.

Đồ án này nhóm em thực hiện nhằm tìm hiểu một cách đầy đủ và rõ ràng về việc thiết kế, triển khai cáp quang cũng như các phần tử trong hệ thống truyền dẫn quang.

Đồ án của chúng em có thể hoàn thành và kết quả thu được này là do sự làm việc tích cực của các thành viên trong nhóm đặc biệt là sự hướng dẫn và chỉ bảo tận tình của các thầy cô trong khoa... và đặc biệt là thầy **Nguyễn Lê Cường** người trực tiếp hướng dẫn nhóm 5 từ lúc bắt đầu làm đồ án đến khi đồ án hoàn thành.

Đồ án được chia làm 4 chương

Chương 1 : Tổng quan về hệ thống thông tin quang

Chương 2 : Các phần tử quang thụ động

Chương 3 : Các phần tử quang tích cực

Chương 4 : Bài toán tính toán một tuyến thông tin quang thực tế

Nhóm 5 chúng em xin chân thành cảm ơn Thầy !

## **MỤC LỤC**

<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG.....</b>	<b>7</b>
1.1.    Giới Thiệu Chung .....	7
1.1.1.    Mô hình hệ thống thông tin quang.....	7
1.1.2.    Nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang.....	8
1.1.3.    Ưu điểm của hệ thống thông tin quang.....	9
1.2.    Phân loại các phần tử quang điện trong thông tin quang.....	9
1.2.1.    Các phần tử thụ động.....	10
1.2.2.    Các phần tử tích cực.....	11
<b>CHƯƠNG 2: CÁC PHẦN TỬ QUANG THU ĐỘNG.....</b>	
12	
2.1.    Cơ sở vật lý chung cho các phần tử thụ động.....	
12	
2.1.1    Sự phân xạ và khúc xạ ánh sáng.....	
12	
2.1.2.    Định luật Snell.....	13
2.1.3.    Phân cực ánh sáng.....	14
2.2.    Sợi quang.....	16
2.2.1.    Cấu trúc sợi quang.....	16
2.2.2.    Phân loại sợi quang.....	16
2.2.2.1.    Sợi đơn mode(SM).....	16

**Quang**

2.2.2.2. Sợi đa mode chiết suất nhảy bậc(MM-SI).....	17
2.2.2.3.Sợi đa mode chiết suất biến đổi (MM - GI).....	18
2.2.3. Các tham số ảnh hưởng tới truyền lan trong sợi quang.....	19
2.2.3.1. Suy hao.....	19
2.2.3.2 Tán sắc.....	21
2.3. Coupler quang .....	25
2.4. Bộ lọc quang.....	26
2.4.1. Chức năng của các bộ lọc.....	26
2.4.2. Đặc điểm, tham số của bộ lọc.....	26
2.4.3 Bộ lọc quang.....	27
2.4.3.2 Bộ lọc cách tử Bragg sợi.....	27
2.4.4. Bộ Isolator và Circulator.....	28
CHƯƠNG 3: CÁC PHẦN TỬ TÍCH CỰC.....	
29	
3.1. Cơ sở vật lý chung của các phần tử tích cực.....	29
3.1.1. Các khái niệm vật lý bán dẫn.....	
3.1.1.1 Lớp tiếp giáp p-n.....	29
3.1.1.2 Các quá trình đặc trưng trong vật lý bán dẫn.....	
31	
3.1.2. Quá trình hấp thụ và phát xạ.....	31

**Quang**

3.1.2.2 Trạng thái đảo mật độ.....	32
3.2. Nguồn quang.....	33
3.2.1. Đèn phát quang.....	33
3.2.1.1 Cấu trúc LED.....	34
3.2.1.2 Nguyên lý hoạt động của LED.....	34
3.2.1.3 Ứng dụng của LED.....	36
3.2.2. Nguồn phát laser (Light Amplification By Stimulate Emission of Radiation )	36
3.2.2.1 Nguyên lý hoạt động.....	36
3.3. Bộ thu quang.....	37
3.3.1. Photodiode PIN.....	38
3.3.1.1 Cấu trúc của PIN.....	38
3.3.1.2 Nguyên lý hoạt động.....	38
3.3.1.3 Đặc tính của PIN.....	40
3.3.2. Photodiode quang thác APD.....	41
3.3.2.1. Cấu trúc của APD.....	41
3.3.2.2. Nguyên lý hoạt động.....	41
3.3.2.3. Đặc trưng của APD.....	42
3.4. Bộ khuếch đại.....	44
3.4.1. Bộ khuếch đại quang bán dẫn.....	44
3.4.1.1 Cấu trúc bộ SOA.....	44
3.4.1.2 Các thông số của bộ khuếch đại SOA.....	45

**Quang**

3.4.2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của bộ EDFA.....	47
3.4.2.2. Đặc tính của bộ EDFA.....	48
3.5. Bộ chuyển đổi bước sóng .....	50
3.5.1. Bộ chuyển đổi bước sóng quang điện.....	50
3.5.2. Bộ chuyển đổi bước sóng dùng cách tử quang.....	50
3.5.3 Bộ chuyển đổi bước sóng dùng bộ trộn song.....	51

**CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ TUYẾN THÔNG TIN QUANG.....**  
52

4.1. Khái quát.....	52
4.2. Thiết kế một tuyến thông tin quang.....	53
4.2.1. Bước 1: Tính cự ly giới hạn bởi công suất.....	54
4.2.2. Bước 2: Cự ly giới hạn do dây thông.....	57
4.2.3 Bài toán cụ thể.....	58

## **CHƯƠNG 1**

### **TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG THÔNG TIN QUANG**

#### **1.1. GIỚI THIỆU CHUNG**

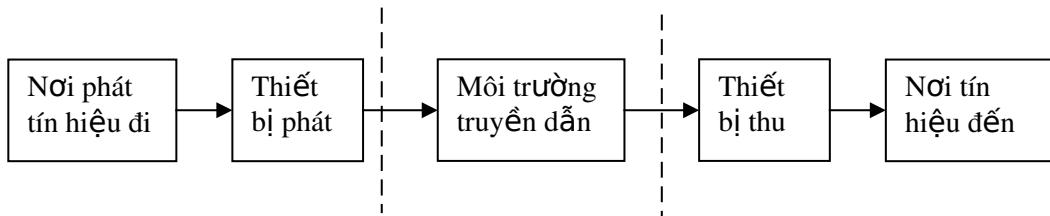
Hệ thống thông tin được hiểu một cách đơn giản là một hệ thống để truyền thông tin từ nơi này đến nơi khác. Khoảng cách giữa các nơi này có thể từ vài trăm mét đến vài trăm kilômét thậm chí hàng trăm ngàn kilômét vượt qua đại dương. Thông tin có thể truyền thông qua các sóng điện với các dải tần số khác nhau. Hệ thống thông tin quang là một hệ thống thông tin bằng ánh sáng và sử dụng các sợi quang để truyền thông tin. Thông tin truyền đi trong hệ thống thông tin quang được thực hiện ở tần số sóng mang cao trong vùng nhìn thấy hoặc vùng hồng ngoại gần của phổ sóng điện tử.

##### **1.1.1. Mô hình hệ thống thông tin quang**

Để truyền thông tin giữa các vùng khác nhau, hệ thống thông tin quang cũng cần phải có mô hình truyền tin cơ bản như chỉ ra trong hình 1.1, và đến nay mô hình chung này vẫn được áp dụng. Trong mô hình này, tín hiệu cần truyền đi sẽ được phát vào môi trường truyền dẫn tương ứng, và ở đầu thu sẽ thu lại tín hiệu cần

## Quang

truyền. Như vậy tín hiệu đã được thông tin từ nơi gửi tín hiệu đi tới nơi nhận tín hiệu đến. Thông tin quang có tổ chức hệ thống cũng như các hệ thống thông tin khác, vì thế mà thành phần cơ bản của hệ thống thông tin quang cũng như mô hình chung, tuy nhiên môi trường truyền dẫn ở đây chính là sợi quang. Do đó sợi quang sẽ thực hiện truyền ánh sáng có mang tín hiệu thông tin từ phía phát tới phía thu.



Hình 1.1 Mô hình truyền thông tin với các thành phần cơ bản.

Một hệ thống thông tin quang bao gồm các thành phần cơ bản: Phần phát quang, sợi quang, và phần thu quang.

Phần phát quang được cấu tạo từ nguồn phát tín hiệu quang và các mạch điện điều khiển. Các mạch điều khiển có thể là bộ điều chế ngoài hay các bộ kích thích tùy thuộc vào các kỹ thuật điều biến. Nguồn phát quang tạo ra sóng mang tần số quang, còn các mạch điều khiển biến đổi tín hiệu thông tin thành dạng tín hiệu phù hợp để điều khiển nguồn sáng theo tín hiệu mang tin. Có hai loại nguồn sáng được sử dụng phổ biến trong thông tin quang là LED (Light Emitting Diode) và LASER (Laser Diode).

Sợi quang là môi trường truyền dẫn trong thông tin quang. So với môi trường truyền dẫn khác như môi trường không khí trong thông tin vô tuyến và môi trường cáp kim loại thì truyền dẫn bằng sợi quang có nhiều ưu điểm nổi bật là: hầu như không chịu ảnh hưởng của môi trường ngoài, băng tần truyền dẫn lớn, và suy hao thấp. Với những ưu điểm đó, cùng với nhiều tiến bộ trong lĩnh vực thông tin quang, sợi quang đã được sử dụng trong các hệ thống truyền đường dài, hệ thống vượt đại dương. Chúng vừa đáp ứng được khoảng cách vừa đáp ứng được dung lượng truyền dẫn cho phép thực hiện các mạng thông tin tốc độ cao. Sợi quang có 3 loại chính là: sợi quang đa mode chiết suất nhảy bậc, sợi đa mode chiết suất biến đổi và sợi quang đơn mode. Tùy thuộc vào hệ thống mà loại sợi quang nào được sử dụng, tuy nhiên hiện nay các hệ thống thường sử dụng sợi đơn mode để truyền dẫn vì ưu điểm của loại sợi này.

Phần thu quang có chức năng để chuyển tín hiệu quang thu được thành tín hiệu băng tần cơ sở ban đầu. Nó bao gồm bộ tách sóng quang và các mạch xử lý điện. Bộ tách sóng quang thường sử dụng các photodiode như PIN và APD. Các mạch xử lý tín hiệu điện này có thể bao gồm các mạch khuếch đại, lọc và mạch tái sinh.

**Quang****1.1.2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống thông tin quang**

Ngay từ thời kỳ khai sinh, hệ thống thông tin đã sử dụng nguyên lý truyền thông tin theo mô hình chung như hình 1.1 ở trên. Nguyên lý này thực hiện việc truyền thông tin từ phía phát qua môi trường sợi quang và cuối cùng đến phía thu. Tại mỗi phần tín hiệu thông tin được biến đổi như sau :

Phía phát : Nguồn tín hiệu thông tin như tiếng nói, hình ảnh, dữ liệu... sau khi được xử lý trở thành tín hiệu điện (có thể ở dạng tương tự hoặc số) sẽ được đưa đến bộ phát quang (cụ thể là nguồn quang). Các tín hiệu điện đưa vào bộ phát quang được điều chế quang theo nhiều phương pháp điều biến khác nhau (điều biến trực tiếp cường độ ánh sáng hay điều biến gián tiếp) để thu được tín hiệu quang. Tín hiệu quang này sẽ được ghép vào sợi quang để truyền đi tới phía thu.

Môi trường sợi quang: Là môi trường truyền dẫn ánh sáng (tín hiệu đã được điều chế quang) từ đầu phát tới đầu thu. Trong quá trình truyền dẫn này, do đặc tính quang học của ánh sáng và sợi quang mà tín hiệu quang bị suy giảm (suy hao và tán sắc). Cụ ly truyền dẫn càng dài thì ánh sáng bị suy giảm càng mạnh, điều này dẫn đến khó khăn khi khôi phục tín hiệu ở phía thu. Do vậy, trên tuyến truyền dẫn thông tin quang, thường có các bộ khuếch đại tín hiệu quang và các trạm lặp nhằm tái tạo lại tín hiệu bị suy giảm trên đường truyền.

Phía thu : Tín hiệu thu được từ môi trường truyền dẫn sẽ được bộ thu quang tiếp nhận. Tại đây, tín hiệu quang sẽ được biến đổi ngược trở lại thành tín hiệu điện như tín hiệu phát ban đầu. Cuối cùng ta thu được tín hiệu cần thông tin.

**1.1.3. Ưu điểm của hệ thống thông tin quang**

Hệ thống thông tin quang sử dụng môi trường truyền dẫn là sợi quang nên hệ thống có những ưu điểm hơn các hệ thống truyền thống sử dụng cáp đồng hay hệ thống thông tin vô tuyến trước đây, đó là :

Dung lượng truyền dẫn lớn : Trong hệ thống thông tin sợi quang, băng tần truyền dẫn của sợi quang là rất lớn (hàng ngàn THz) cho phép phát triển các hệ thống WDM dung lượng lớn. So với truyền dẫn vô tuyến hay truyền dẫn dùng cáp kim loại thì truyền dẫn sợi quang cho dung lượng lớn hơn nhiều.

Suy hao thấp : Suy hao truyền dẫn của sợi quang tương đối nhỏ, đặc biệt là trong vùng cửa sổ 1300nm và 1550nm. Suy hao nhỏ nên sợi quang có thể cho phép truyền dẫn bằng rộng, tốc độ lớn hơn rất nhiều so với cáp kim loại cùng chi phí xây dựng mạng.

## Quang

Không chịu ảnh hưởng của môi trường bên ngoài : Bởi vật liệu của sợi quang cách điện, không chịu ảnh hưởng của các yếu tố như điện từ trường nên không bị nhiễu điện từ...

**Độ tin cậy :** Tín hiệu truyền trong sợi quang hầu như không chịu ảnh hưởng của môi trường bên ngoài, không gây nhiễu ra ngoài cũng như sự xuyên âm giữa các sợi quang. Do đó sợi quang thực tế cho chất lượng truyền dẫn rất tốt với độ tin cậy cao, tính bảo mật cũng cao hơn so với truyền dẫn vô tuyến và cáp kim loại.

**Chi phí thấp :** Vì vật liệu chế tạo sợi quang săn có, đồng thời sợi lại nhẹ hơn cáp kim loại và có thể uốn cong, lắp đặt dễ dàng và ít bị hư hỏng do các yếu tố thiên nhiên tác động (như nắng, mưa...) nên hệ thống có thể tiết kiệm được chi phí xây dựng.

Thông tin sợi quang có nhiều ưu điểm từ sợi quang đem lại tuy nhiên sợi quang cũng tồn tại một số nhược điểm như khỉ chế tạo, hàn nối phức tạp vì sợi quang rất bô, và rất dễ đứt gãy.

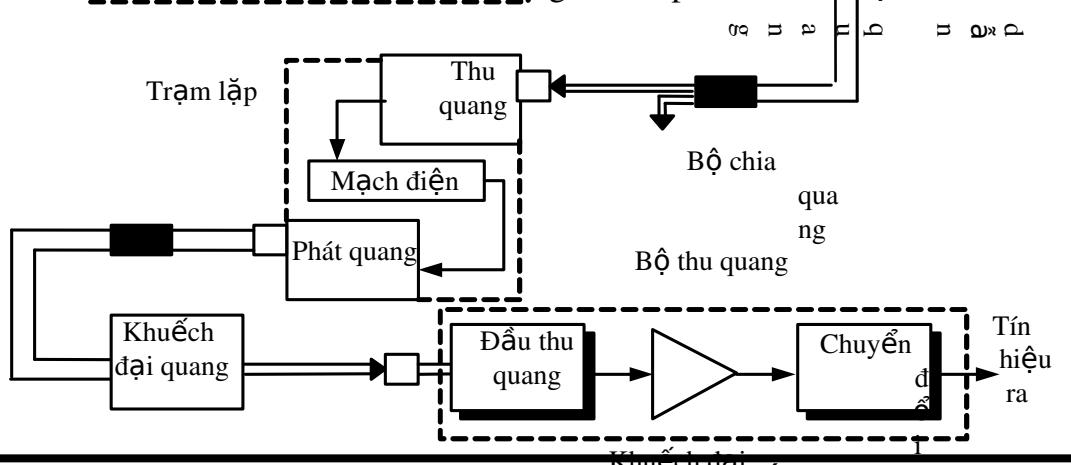
## 1.2. PHÂN LOẠI CÁC PHẦN TỬ QUANG ĐIỆN TRONG THÔNG TIN QUANG

Một hệ thống thông tin quang được cấu thành từ rất nhiều phần tử quang điện khác nhau. Một tuyến thông tin quang có thể bao gồm các phần tử như thể hiện trên hình 1.3.

Các phần tử này có nhiều đặc tính, chức năng, tốc độ hoạt động và vị trí khác nhau. Tùy thuộc vào yêu cầu của hệ thống được sử dụng mà các phần tử này được sử dụng cho chức năng nào hay vị trí nào trên hệ thống.

Bộ phát quang

Để phân loại các phần tử quang điện trong hệ thống thông tin quang ta có nhiều tiêu chí để phân Tín hiệu quang. Dựa vào đặc điểm hoạt động của chúng ta có thể chia thành hai nhóm là các phần tử thu dùng và các phần tử tích cực.



### **1.2.1. Các phần tử thụ động**

Các phần tử thụ động là các phần tử quang hoạt động khi có ch��m s谩ng truyền qua nˇo. Phần tử thụ động hoạt động khong cần nguồn kich thich, nˇi chˇi đon thuần biến đổi các tin hiệu ở trong miền quang mà khong có sự chuyển đổi sang miền điện. Nhˇng đặc điểm này dẫn đến về nguyên lý hoạt động các phần tử thụ động chủ yếu dựa vào cấu trúc quang hình của chính bản thân chúng, và tuân theo các định luật hay các nguyên lý ánh s谩ng. Các phần tử thụ động có nhˇng ưu điểm về cấu trúc, vị trˇ lˇp đặt, và ứng dụng như :

Dễ dàng lắp đặt ở bất kỳ vị trˇ nào trên hệ thống vì khong cần có nguồn cung cấp hoạt động đi kèm theo.

Đơn giản về cấu trúc.

Dễ dàng bảo trì.

An toàn về điện cho người sử dụng.

Tuy vˇy chúng có nhˇng nhược điểm so với phần tử tích cực đó chính là thụ động về cấu hình nên khˇa năng thay đổi, điều chỉnh hoạt động kém, khong linh hoạt. Chất lượng hoạt động của các phần tử thụ động cũng phụ thuộc vào vật liệu và công nghệ chế tạo của bản thân thiết bị như các vấn đề về suy hao hay tán sˇc của các phần tử thụ động. Công nghệ càng phát triển thì khả năng của các phần tử thụ động càng cao.

Các phần tử thụ động trong hệ thống thông tin quang bao gồm :

Sợi quang, cáp quang

Coupler quang

Các bộ lọc quang

**Quang**

Bộ cách ly quang

Bộ bù tán tắc

**1.2.2. Các phần tử tích cực**

Các phần tử tích cực là các phần tử quang điện hoạt động dựa theo tính chất hạt của ánh sáng và cơ sở vật lý bán dẫn. Khi hoạt động, các phần tử tích cực dựa vào kích thích điện ngoài để biến đổi tín hiệu mà nó cần xử lý. Do vậy khác với các phần tử thụ động, để hoạt động được các phần tử cần nguồn kích thích. Điều này dẫn đến yêu cầu của phần tử tích cực phức tạp hơn các phần tử thụ động như : vị trí lắp đặt, cơ chế bảo dưỡng chống quá áp của nguồn, yêu cầu an toàn về điện... Tuy nhiên các phần tử tích cực có thể điều chỉnh hiệu quả hoạt động khi thay đổi nguồn cung cấp.

Các phần tử tích cực bao gồm :

Nguồn quang

Bộ tách quang

Bộ khuếch đại quang

Chuyển đổi bước sóng

**CHƯƠNG 2**  
**CÁC PHẦN TỬ QUANG THỤ ĐỘNG**

## Quang

### 2.1. CƠ SỞ VẬT LÝ CHUNG CHO CÁC PHẦN TỬ THỤ ĐỘNG

Phần tử thụ động chỉ đơn thuần biến đổi các tín hiệu trong miền quang mà không có sự chuyển đổi sang miền điện. Do vậy cơ sở vật lý chung cho các phần tử thụ động là vật lý quang hình.

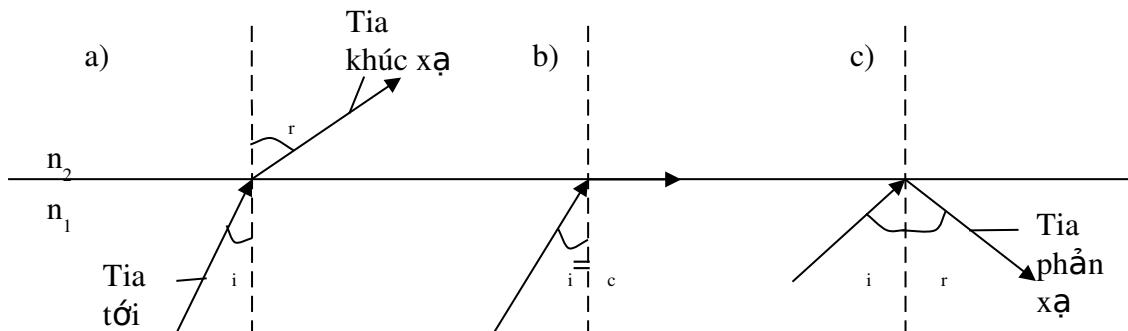
#### 2.1.1 Sự phản xạ và khúc xạ ánh sáng

Hiện tượng khúc xạ và phản xạ ánh sáng được xem xét trong trường hợp có hai môi trường khác nhau về chỉ số chiết suất. Khi ánh sáng đi từ một môi trường trong suốt này đến một môi trường trong suốt khác thì ánh sáng sẽ thay đổi hướng truyền của chúng tại ranh giới phân cách giữa hai môi trường. Như vậy có hai khả năng xảy ra :

Ánh sáng bị đổi hướng quay ngược trở lại

Ánh sáng được phát tiếp vào môi trường trong suốt thứ 2.

Các tia sáng khi qua vùng ranh giới giữa hai môi trường bị thay đổi hướng nhưng có thể tiếp tục đi vào môi trường chiết suất mới thì ta nói tia đó bị khúc xạ. Còn các tia sáng khi qua ranh giới này lại quay ngược trở lại môi trường ban đầu thì ta nói tia đó bị phản xạ. Hình 2.1 mô tả quá trình khúc xạ và phản xạ ánh sáng qua hai môi trường trong suốt với chiết suất môi trường thứ nhất  $n_1$  lớn hơn chiết suất môi trường thứ hai  $n_2$ .



Hình 2.1 Sự khúc xạ và phản xạ ánh sáng của với góc tới khác nhau.

Trong đó :  $i$  là góc tới – góc hợp giữa pháp tuyến của mặt phân cách hai môi trường với tia tới.

$r$  là góc khúc xạ - góc tạo bởi pháp tuyến của mặt phân cách hai môi trường với tia khúc xạ.

Ở hình 2.1, chiết suất  $n_1 > n_2$  cho nên góc tới  $i$  nhỏ hơn góc khúc xạ  $r$  (hình 2.1a). Khi góc tới lớn dần tới một giá trị góc tới  $c$  tạo ra tia khúc xạ nằm song song

**Quang**

với ranh giới phân cách hai môi trường, lúc ấy  $\theta_r$  được gọi là góc tới hạn (như hình 2.1b).

**2.1.2. Định luật Snell**

Định luật Snell phát biểu : “ Tỷ lệ giữa sin góc tới và khúc xạ sẽ luôn là một hằng số. Tia khúc xạ luôn nằm trong cùng mặt phẳng với tia tới và sin góc khúc xạ ( $\theta_r$ ) phụ thuộc vào sin góc tới ( $\theta_i$ ) như sau :

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1} = a \text{ (hằng số).} \quad (2-3)$$

Trong đó :  $n_1, n_2$  là chiết suất của hai môi trường vật liệu mà ánh sáng đi qua.

Khi một tia sáng tới có giá trị góc lớn hơn góc tới hạn thì ánh sáng bị phản xạ hoàn toàn lại môi trường đầu tại mặt phẳng phân cách hai môi trường. Lúc này ta gọi đó là hiện tượng phản xạ toàn phần (Total Internal Reflection). Hình 2.1c minh họa quá trình phản xạ toàn phần - TIR.

Như vậy có thể nêu ra điều kiện để xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần là :

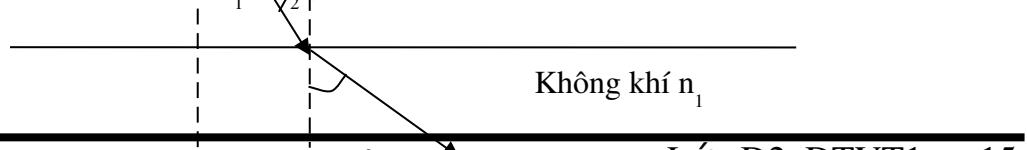
Các tia sáng phải đi từ môi trường có chỉ số chiết suất lớn hơn sang môi trường có chỉ số chiết suất nhỏ hơn.

Góc tới của tia sáng phải lớn hơn góc tới hạn  $\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$ .

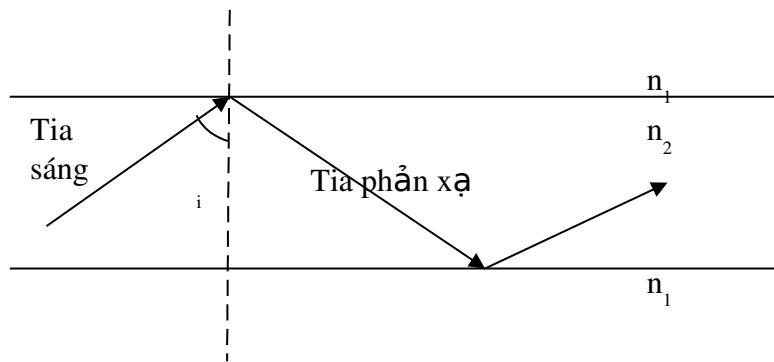
Định luật khúc xạ và phản xạ ánh sáng ở trên là nguyên lý cơ bản áp dụng cho việc truyền tín hiệu ánh sáng trong sợi dẫn quang sử dụng trong thông tin quang. Trong sợi dẫn quang, các tín hiệu ánh sáng kết hợp được lan truyền dựa vào hiện tượng phản xạ toàn phần, điều này có thể giải thích như sau:

Xét ánh sáng truyền qua các môi trường với đường biên song song (ống thủy tinh). Các môi trường này có chiết suất như sau : chiết suất môi trường đầu tiên và môi trường cuối cùng bằng nhau (cùng là không khí -  $n_1$ ), nhưng khác với môi trường trung gian (là thủy tinh -  $n_2 > n_1$ ).

- Khi ánh sáng tới môi trường đầu tiên với một góc tới thích hợp (giả sử  $\theta_i < \theta_c$ ) (như hình 2.2), ánh sáng sẽ khúc xạ từ môi trường đầu tiên vào môi trường thứ 2 với góc khúc xạ  $\theta_2 < \theta_1$ . (vì  $n_1 < n_2$ ). Tia khúc xạ này truyền trong môi trường thứ 2 và tới biên giới giữa môi trường thứ 2 và không khí cuối với một góc tới có giá trị là  $\theta_2 = \theta_1$  (vì biên giới phân cách giữa các môi trường là song song). Lúc đó tia sáng sẽ bị khúc xạ với góc khúc xạ  $\theta_2 = \theta_1$  (tuy nhiên tự có  $n_2 > n_1$ ).



- Khi nguồn sáng đặt trong môi trường thủy tinh thì có một số tia sáng rời khỏi nguồn tới biên giới phân cách giữa thủy tinh và không khí. Nếu góc tới của tia nhỏ hơn góc tới hạn  $\theta_c$  thì nó sẽ bị khúc xạ và đi ra khỏi môi trường thủy tinh. Ngược lại góc tới lớn hơn góc tới hạn thì sẽ có sự phản xạ toàn phần trong môi trường thủy tinh (như hình 2.3). Hơn nữa, các mặt của khối thủy tinh song song với nhau nên các tia sáng tới bề mặt sẽ phản xạ bên trong ống với cùng một góc bằng góc tới. Các tia phản xạ sẽ phản xạ liên tiếp trong thành ống cho đến khi đạt tới điểm cuối của ống. Ta có sự truyền dẫn ánh sáng trong ống thủy tinh.



Hình 2.3 Tia sáng đi trong ống thủy tinh

### 2.1.3. Phân cực ánh sáng

Sự phân cực được định nghĩa thông qua điện trường. Trong mô tả bởi hàm phức, vectơ điện trường này có thể được viết dưới dạng sau :

$$\mathbf{E}(z,t) = \operatorname{Re}[\mathbf{A} e^{j\omega t - jkz}] \quad (2-4)$$

Trong đó  $\mathbf{A}$  là vectơ phức trong mặt phẳng xy.

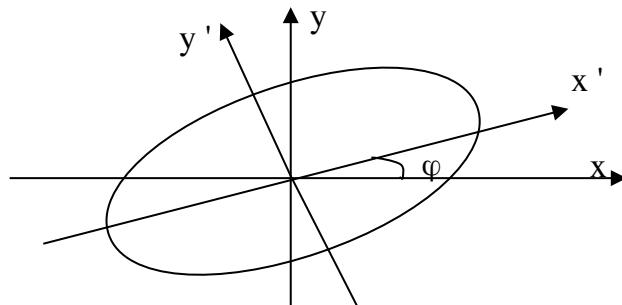
Chúng ta khảo sát hai thành phần  $E_x$  và  $E_y$  như sau :

$$E_x = [A \cos(\omega t - kz + \delta_x)] \text{ và } E_y = [A \cos(\omega t - kz + \delta_y)] \quad (2-5)$$

Đại lượng A có thể biểu thị ở dạng sau :  $A = \bar{x} A_x \exp(j\delta_x) + \bar{y} A_y \exp(j\delta_y)$

**Quang**

Trong đó :  $A_x$  và  $A_y$  là các số thực dương.



Hình 2.5 Phân cực thông thường của ánh sáng theo elip có trục  $x'$  và  $y'$  lệch một góc  $\varphi$ .

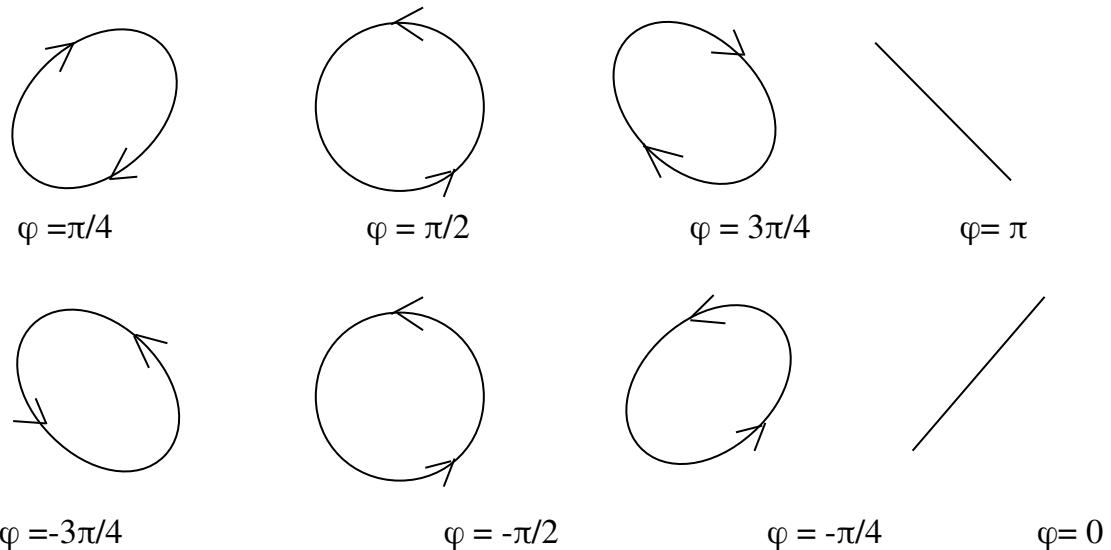
Sau khi biến đổi bằng cách sử dụng tính chất các hàm lượng giác các phương trình 2-4 và 2-5 ta có :

$$\frac{E_x}{A_x} = \frac{E_y}{A_y} = 2 \frac{\cos}{A_x A_y} E_x E_y \quad \sin^2 \quad \text{và} \quad = x - y \quad (2-6)$$

Phương trình này là phương trình elip và có thể kết luận sóng ánh sáng trong trường hợp thông thường là có phân cực elip. Trục của elip thông phải là trục  $x$ ,  $y$  mà lệch đi một góc  $\varphi$  như hình 2.5. Giá trị của góc  $\varphi$  có thể xác định được như sau :

$\operatorname{tg}(2\varphi) = \frac{2A_x A_y}{A_x^2 - A_y^2} \cos \delta$ . Và từ các giá trị khác nhau của  $\delta$  ta có các phân cực khác

nhaу của sóng ánh sáng như hình 2.6. Như trong hình 2.6 các dạng phân cực : tuyến tính, tròn và elip đối với một số sóng truyền khác nhau.



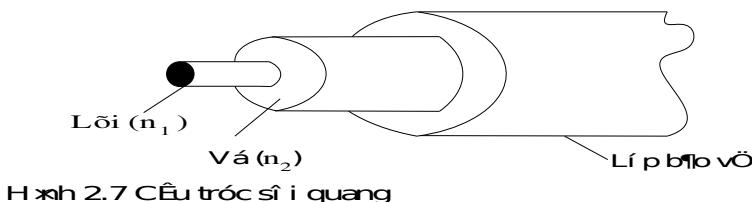
Hình 2.6 Các trạng thái phân cực đối với một số sóng truyền khác nhau

## 2.2. SƠI QUANG

### 2.2.1. Cấu trúc sợi quang

Sợi quang có cấu trúc như một ống dẫn sóng hình trụ bao gồm phần lõi và lớp vỏ bao bọc xung quanh lõi, cả hai đều làm từ vật liệu trong suốt như thủy tinh hoặc chất dẻo. Lớp lõi thường có chiết suất cao hơn lớp vỏ bên ngoài, điều này cung cấp cơ chế hướng quá trình truyền lan ánh sáng vào bên trong lõi.

Ngoài ra để bảo vệ sợi người ta dựng một lớp bao bọc bảo vệ bên ngoài thường làm từ vật liệu polyme (như hình 2.7). Lớp chất dẻo này nhằm ngăn chặn các tác động cơ học và để bọc sợi thành cáp.



Hình 2.7 Cấu trúc sợi quang

Thông thường đường kính lõi sợi quang là rất nhỏ khoảng từ  $10 \div 50 \mu\text{m}$ , còn đường kính vỏ là  $125 \mu\text{m}$ . Do vậy sợi quang có kích thước rất nhỏ. Khi đã bọc các lớp, bảo vệ thì đường kính của sợi mới đạt được từ  $200 \div 900 \mu\text{m}$ .

### 2.2.2. Phân loại sợi quang

Sợi quang có rất nhiều loại khác nhau, tùy thuộc vào việc sử dụng và cách phân loại mà ta có các loại sợi quang khác nhau. Theo sự phân bố chiết suất trong lõi sợi người ta chia sợi quang thành sợi chiết suất nhảy bậc (Step Index) và sợi chiết suất biến đổi (Graded Index). Sợi chiết suất bậc có phân bố chiết suất trong lõi không đổi trong khi sợi chiết suất biến đổi có chiết suất lõi phân bố giảm dần từ trong ra ngoài.

Người ta còn phân sợi quang thành hai loại : sợi đơn mode (Single mode) sợi đa mode (Multi mode). Sợi đa mode là sợi cho phép truyền dẫn nhiều mode trong nó, còn sợi đơn mode là sợi chỉ cho phép một mode truyền dẫn trong nó. (Với mỗi một mode là một mẫu các đường súng trường điện và trường từ được lặp đi lặp lại dọc theo sợi ở các khoảng cách tương đương với bước sóng).

Ngoài ra sợi còn được phân theo vật liệu như sợi thủy tinh và sợi plastic. Hay các loại sợi tiên tiến hiện nay mới sản xuất như sợi duy trì phân cực và sợi dịch tán sắc.

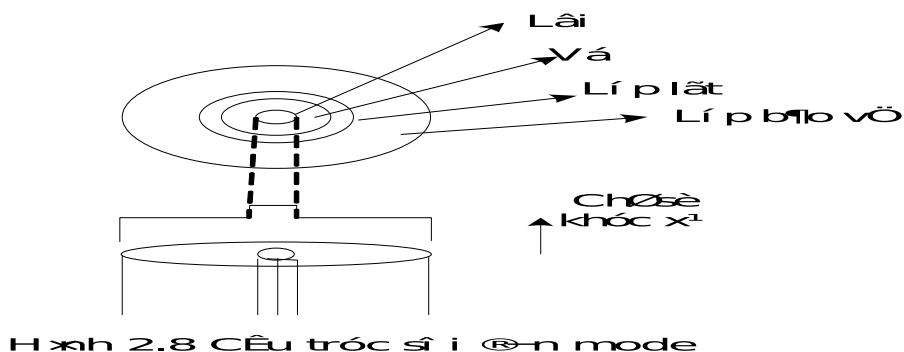
## Quang

Tuy vậy trong thực tế người ta thường xét các loại sợi quang sau : Sợi đa mode chiết suất nhảy bậc (MM-SI), sợi đa mode chiết suất biến đổi (MM-GI) và sợi đơn mode (SM).

### 2.2.2.1. Sợi đơn mode(SM)

Sợi đơn mode là sợi chỉ cho phép truyền dẫn một mode trong nó nhưng khả năng về băng thông của sợi khá lớn (khoảng 40GHz). Sợi quang đơn mode phù hợp đối với hệ thống đường trực tiếp giá thành thấp. Mặc dù giai đoạn đầu, sợi SM mới chỉ sử dụng trong vùng cửa sổ 1300nm, nhưng chúng cũng có thể hoạt động hiệu quả trong vùng cửa sổ 1550nm đối với các hệ thống ghép kênh theo thời gian TDM và ghép kênh theo bước sóng WDM.

Cấu trúc sợi SM như hình 2.8



Hình 2.8 Cấu trúc sợi đơn mode

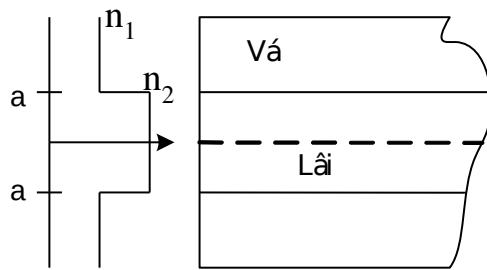
Sợi đơn mode có lõi rất nhỏ thường khoảng từ 8 – 10  $\mu\text{m}$ . Kích thước này thường nhỏ hơn so với bước sóng ánh sáng được sử dụng rất nhiều. Thường thì 20% ánh sáng được truyền vào sợi đơn mode bị khúc xạ ra ngoài vỏ.

Ưu điểm của sợi đơn mode là chỉ ghép một mode nên không có tán sắc mode băng tần của sợi tăng lên. Tuy nhiên, khó ghép ánh sáng vào sợi.

### 2.2.2.2. Sợi đa mode chiết suất nhảy bậc(MM-SI)

Đặc điểm của sợi MM-SI là kích thước lớn, đường kính lõi thường là 50 $\mu\text{m}$ . Sợi thường dùng trong hệ thống truyền dẫn có cự ly ngắn với băng thông sợi khoảng 20MHz.

Cấu trúc mặt cắt chiết suất được mô tả như trong hình 2.9.



Hình 2.9 Cấu trúc sợi i mode nhảy bắc

Trong sợi MM - SI, chiết suất lõi và vỏ tạo thành dạng hình bậc thang. Thông thường, sợi được chế tạo với chiết suất vỏ nhỏ hơn 10% so với chiết suất lõi.

Khẩu độ số (NA) của sợi đặc trưng cho khả năng nhận tia sáng được tính như biểu thức 2-7 :

$$NA = n_1(2\Delta)^{1/2} \quad (2-7)$$

Trong đó :  $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$  là độ chênh lệch chiết suất tương đối giữa lõi và vỏ.

Vì chỉ số chiết suất trong sợi MM-SI là không thay đổi dọc theo sợi nên khẩu độ số của MM-SI cũng là hằng số.

Số lượng mode trong sợi đa mode phụ thuộc vào tần số chuẩn hóa V của sợi như công thức 2-8:

$$M = V^2/2 \text{ với } V = \frac{2 a \cdot NA}{\lambda} \quad (2-8)$$

Ưu điểm của sợi đa mode chiết suất nhảy bậc là chỉ số chiết suất của vỏ và lõi không đổi, do đó tốc độ truyền không đổi. Tuy nhiên do quang đường truyền dẫn của các mode khác nhau nên có thể gây nên hiện tượng tán sắc mode.

### 2.2.2.3. Sợi đa mode chiết suất biến đổi (MM - GI)

Đặc điểm kích thước của sợi cũng giống như sợi MM-SI, tuy nhiên sợi lại có chỉ số chiết suất của lõi thay đổi. Sự biến đổi của chỉ số chiết suất lõi được mô tả như trong công thức 2-9.

$$n_2(r) = \begin{cases} n_2 & 0 \leq r \leq a \\ n_2 \frac{1 - \frac{r}{a}}{1 - \frac{r}{a}} & a < r \leq r_1 \\ n_1 & r_1 < r \end{cases} \quad (2-9)$$

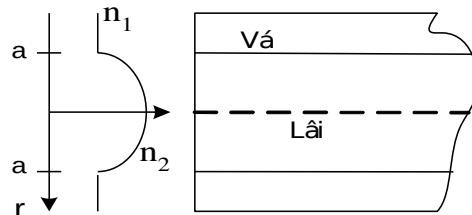
**Quang**

Trong đó :  $\alpha$  là hệ số mặt cắt chiết suất

$n_1$  là chiết suất vỏ

$n_2$  là chiết suất cực đại tại tâm sợi

Ta có mặt cắt chiết suất của sợi được biểu diễn như hình 2.10.



Hình 2.10 Cấu trúc sợi mode nhẵn bóc

Qua hình 2.10, chiết suất lõi giảm dần từ trung tâm lõi ra đến biên giới phân cách giữa lõi và vỏ. Điều này giảm được tán sắc mode do sự chênh lệch đường đi giữa các mode, tăng độ rộng băng tần truyền dẫn. Tuy nhiên ảnh hưởng đến hiệu suất ghép ánh sáng. Vì lúc đó khẩu độ NA cũng là hàm phụ thuộc vào hệ số mặt cắt chiết suất  $\alpha$ .

$$NA = \sqrt{n_2(r) - n_1^2} \quad (\text{xét với } r < a) \quad (2-10)$$

Số lượng mode truyền của sợi MM-GI được tính theo công thức 2-11.

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (2-11)$$

### 2.2.3. Các tham số ảnh hưởng tới truyền lan trong sợi quang

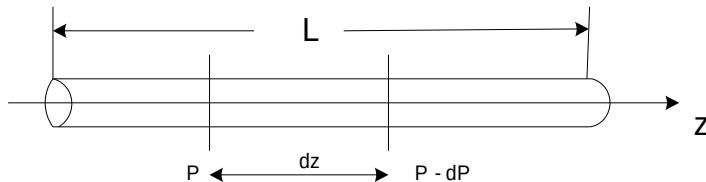
Trong quá trình truyền sóng từ phía phát đến phía thu, tín hiệu có thể bị thay đổi rất nhiều. Do vậy tại phía thu tín hiệu không được như mong muốn. Sự suy giảm về chất lượng tín hiệu do rất nhiều yếu tố gây ra. Một trong những yếu tố quan trọng đó là tham số gây ảnh hưởng tới truyền dẫn trong sợi quang. Ta xét các tham số sau.

#### 2.2.3.1. Suy hao

##### A. Khái Niêm

Suy hao là thông số có liên quan đến sự thay đổi công suất quang trong quá trình lan truyền. Tham số suy hao có thể được xác định theo định luật Beer :

$$\frac{dP}{dz} = P \quad \text{trong đó} \quad P \quad \text{là hệ số suy hao.} \quad (2-12)$$

**Quang**

Hình 2.11 Cung suât vao ra cua tinh hieu truyen qua sot quang vi i theo L

Biến đổi công thức 2-12 ta có công suất truyền tại khoảng cách L :

$$P(L) = P(0) \exp(-\alpha L) \quad \text{hay} \quad \frac{1}{L} \ln \frac{P(0)}{P(L)} \quad (2-13)$$

Trong đó :  $P(0)$  tương ứng công suất vào đầu sợi  $P_{in}$

$P(L)$  tương ứng công suất ra sợi có chiều dài L ( $P_{out}$ )

Đơn vị của  $\alpha$  là  $m^{-1}$  hoặc  $km^{-1}$

$$\text{Theo đơn vị dB thì ta có : } \alpha_{dB} = \frac{10}{L} \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} - 4,343 \quad (2-14)$$

Trong thông tin quang có khi đơn vị công suất được tính theo đơn vị dBm nên hệ số suy hao có thể tính theo công thức :

$$\alpha_{dB} = \frac{P_{in} - P_{out}}{L}$$

**B.Nguyên nhân và các loại suy hao**

Suy hao trong sợi quang có nhiều nguyên nhân nhưng nguyên nhân cơ bản gây suy hao trong sợi quang là do các suy hao do hấp thụ, do tán xạ và do bị uốn cong sợi.

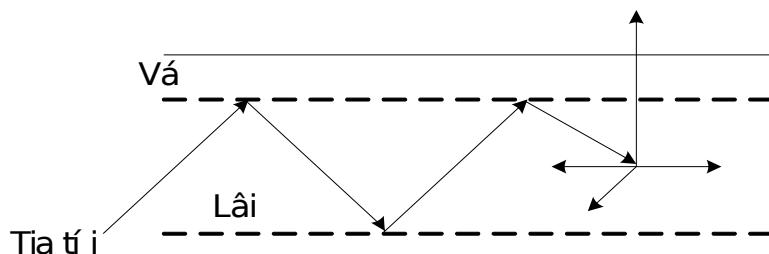
- Suy hao do hấp thụ: Bản chất ánh sáng là các hạt photon, mà sợi quang cũng là vật rắn có cấu trúc mạng tinh thể, nên các ion hay điện tử ở đầu nút mạng có thể hấp thụ photon khi ánh sáng truyền qua sợi quang. Sự hấp thụ này phụ thuộc vào bước sóng và bản chất của vật liệu hấp thụ như các tạp chất trong sợi hay vật liệu chế tạo sợi. Cụ thể, trong quá trình sản xuất sợi quang có rất nhiều tạp chất như các ion kim loại (Fe, Cu, Cr...) hoặc các ion OH<sup>-</sup>. Các ion này gây nên các đỉnh hấp thụ tại bước sóng chính là 2,7 m và các đỉnh sóng phụ như 0,94 m; 1,24 m; 1,39 m... gây ảnh hưởng đến sóng lan truyền trong sợi.

Bên cạnh đó, bản thân vật liệu chính làm nên sợi quang là thủy tinh cũng gây nên các dải hấp thụ là hấp thụ cực tím chỉ ở bước sóng  $\lambda < 0,4$  m và hấp thụ hồng ngoại chỉ ở bước sóng  $\lambda > 7$  m như hình 2.13. Tuy nhiên với công nghệ hiện đại

**Quang**

ngày nay, người ta có thể giảm thiểu được sự hấp thụ bằng cách loại trừ các tạp chất hình thành trong quá trình sản xuất (đặc biệt là iôn OH<sup>-</sup>).

- Suy hao do tán xạ : Tán xạ là kết quả của những khuyết tật hay nhiễu loạn trong sợi và cấu trúc vi mô của sợi. Tán xạ suy ra từ những thay đổi về cấu trúc phân tử và nguyên tử của thủy tinh hay từ những thay đổi về mật độ và thành phần sợi. Những thay đổi này do quá trình sản xuất sợi tạo ra. Nó gây nên sự thay đổi về chiết suất dẫn đến thay đổi sự phản xạ của tia sáng tại những điểm trên lõi sợi mà ta có thể gọi là các tâm tán xạ. Xét hình 2.12 sau :

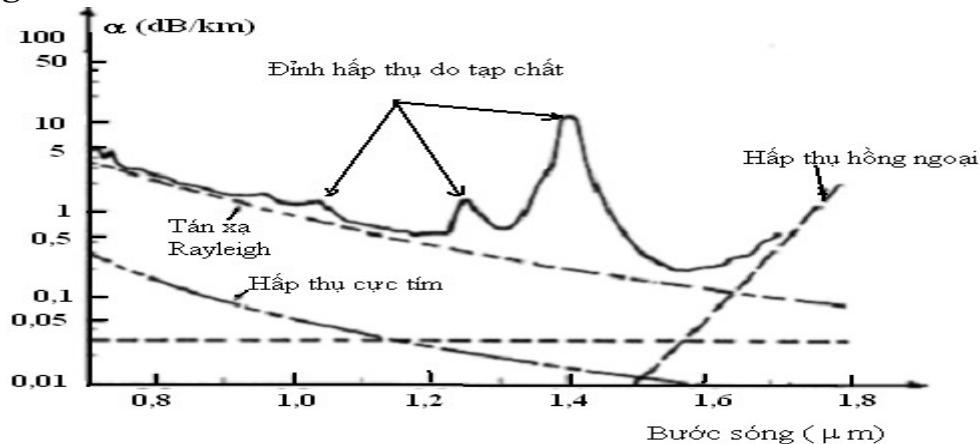


Hình 2.12 Suy tán xạ

Góc lan truyền của tia sáng tới giao diện lõi và vỏ có những thay đổi làm thay đổi tia được khúc xạ theo đường dẫn mới và không xảy ra hiện tượng phản xạ nội toàn phần (TIR), điều này gây giảm lượng ánh sáng được lan truyền dọc theo lõi sợi. Có hai loại tán xạ chính là : Tán xạ Rayleigh và tán xạ Mie, trong đó tán xạ Rayleigh rất quan trọng. Nguyên nhân của nó là do sự không đồng nhất của thủy tinh về thành phần và mật độ. Điều này gây nên sự thăng giáng về chỉ số chiết suất và dẫn đến suy giảm công suất bước sóng theo công thức sau :  $R = C/\lambda^4$  với hằng số C nằm trong dải 0,7 – 0,9 dB/km và phụ thuộc vào cấu trúc sợi. Còn tán xạ Mie là tán xạ xảy ra tại những nơi không đồng nhất, như những điểm có khuyết tật trong cấu trúc sợi hay sự không đồng đều của chỉ số chiết suất và bọt khí tạo ra trong quá trình sản xuất. Tuy nhiên ta có thể coi tán xạ Mie là không đáng kể bằng cách chú trọng tới quá trình sản xuất để giảm thiểu các nguyên nhân gây tán xạ.

Những suy giảm bởi sự tán xạ là một quá trình tuyếng tính, bởi nó không gây ra sự dịch chuyển, bước sóng trước và sau tán xạ không thay đổi.

## Quang



Hình 2.13 Các phô suy hao do hấp thụ và tán xạ trong sợi quang [9].

- Suy hao do uốn cong sợi: Đây là những suy hao do sự uốn cong và thay đổi về bán kính cong của sợi. Có hai loại suy hao do uốn cong là : suy hao do uốn cong cỡ nhỏ và suy hao do uốn cong cỡ lớn. Suy hao do uốn cong cỡ lớn xảy ra khi bán kính cong của sợi giảm. Ban đầu bán kính cong của sợi lớn hơn bán kính sợi. Khi sợi bị uốn cong thì góc lan truyền sẽ thay đổi dẫn đến một số tia sáng không còn đảm bảo điều kiện phản xạ toàn phần và dẫn đến giảm số lượng tia sáng truyền trong lõi sợi. Do đó khi bán kính cong giảm thì mức suy hao sẽ tăng. Bán kính cong cho phép là  $R_c = a/NA$ . Trong thực tế yêu cầu bán kính cong phải lớn hơn bán kính cong cho phép để suy hao không vượt quá 0,1dB.

Suy hao do uốn cong cỡ nhỏ là do các uốn cong có bán kính cong nhỏ theo trực sợi xuất hiện do trong quá trình cài đặt, đo kiểm hay thiết lập có các lực tác động lên sợi quang làm sợi bị méo dạng và thay đổi các góc lan truyền của các tia sáng. Ánh sáng sẽ bị mất mát ra ngoài vỏ sợi. Ngoài ra nó còn gây ra quá trình ghép cặp mode.

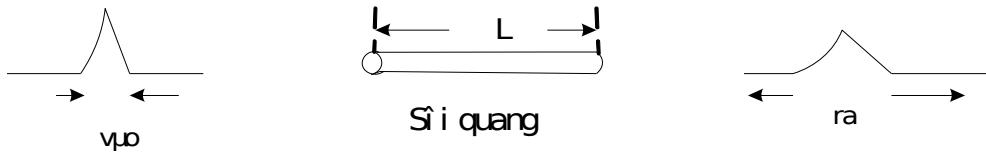
### 2.2.3.2 Tán sắc

#### A.Khai niêm

Tán sắc trong thông tin quang xét về mặt thời gian là sự dãn rộng xung ánh sáng khi lan truyền trong sợi quang như hình 2.14.

Hệ số tán sắc được xác định theo công thức :

$$D = \frac{T}{L} \text{ (ps/nm.km)} \quad \text{trong đó } \Delta T = \sqrt{\tau_{ra}^2 - \tau_{vao}^2} \text{ (ps/nm)}$$

**Quang**

Hình 2.14 Sơ đồ sáu

Tán sắc có thể được giải thích bởi ánh sáng truyền trong sợi quang có thể coi là tập hợp của nhiều thành phần ví dụ có thể coi là các thành phần trong biến đổi Fourier của nó hay tổng các mode truyền. Các thành phần này có tần số khác nhau zmode truyền dẫn với vận tốc nhóm là tốc độ mà tại đó năng lượng ở trong mode riêng biệt lan truyền dọc theo sợi. Ta có :

$$\text{Vận tốc nhóm : } v_g = \frac{d}{d} \quad \text{và độ trễ nhóm là : } \frac{1}{v_g} = \frac{1}{c} \frac{d}{dK} \quad (2-15)$$

Trong đó :  $\beta$  là hệ số lan truyền có giá trị  $\beta = n\omega/c$

$K$  là hệ số sóng có giá trị  $K = \omega/c$ .

**B. Nguyên nhân và các loại tán sắc**

Có bốn nguyên nhân chính gây ra tán sắc và cũng là các loại tán sắc chủ yếu đó là : Tán sắc vật liệu, tán sắc ống dẫn súng, tán sắc mode và tán sắc phân cực mode.

- Tán sắc mode: Nguyên nhân chính là do trong sợi có nhiều mode truyền dẫn, các mode lại có tốc độ truyền dẫn khác nhau, nên thời gian truyền dẫn trong sợi cũng khác nhau, và xảy ra hiện tượng tán sắc. Loại tán sắc này chỉ xảy ra trong sợi đa mode. Tán sắc mode phụ thuộc vào kích thước sợi cụ thể là bán kính lõi sợi đa mode. Tia kinh truyền trong các sợi đa mode (chiết suất nhảy bậc và biến đổi) sẽ đi theo các đường khác nhau với quãng đường khác nhau. Góc truyền lan của tia càng dốc thì tia đi càng chậm. Do đó có những tia thời gian truyền là  $T_{min}$  và có những tia thời gian truyền là  $T_{max}$ . Ta có hệ số tán sắc mode:

$$D_m = \frac{n_1}{L} \frac{n_1}{c} \quad (2-16)$$

Giữa hai sợi đa mode chiết suất nhảy bậc và chiết suất biến đổi thì sợi chiết suất biến đổi có độ méo tín hiệu ít hơn. Do chiết suất lõi trong sợi MM-GI giảm dần từ trục sợi ra phía vỏ, nên các tia sáng có đường đi gần ranh giới tiếp giáp vỏ - lõi sẽ truyền với vận tốc nhanh hơn các tia gần trục sợi cho nên cân bằng được thời gian truyền.

- Tán sắc vật liệu: Nguyên nhân của loại tán sắc này là do tán sắc bên trong. Nó là sự dẫn xung tín hiệu ánh sáng xảy ra ở trong một mode. Trong sợi có sự thay đổi về chiết suất do vật liệu tạo ra. Từ đó có sự khác biệt về tốc độ của các thành

**Quang**

phân phô (bước sóng) khác nhau chạy trong mode vì vận tốc của các bước sóng phụ thuộc vào chiết suất theo phương trình :

$$v = \frac{c}{n(\lambda)} \quad (2-17)$$

Do vậy mà có sự chênh lệch lan truyền của các thành phần bước sóng khác nhau dẫn đến tán sắc. Ta có hệ số tán sắc vật liệu :

$$D_M = \frac{1}{c} \frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda^2} \quad (2-18)$$

Với chiết suất phụ thuộc vào bước sóng theo công thức Sell Miner :

$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{M-1} \frac{i-i}{2}}{\sum_{i=1}^M \frac{i-i}{2}}$$

Trong đó :  $\beta_i, \omega_i$  là cường độ và tần số cộng hưởng tương ứng.

M là tham số phụ thuộc vào vật liệu (ví dụ M<sub>thủy tinh</sub> = 3).

- Tán sắc ống dẫn súng : Cũng như tán sắc vật liệu, tán sắc ống dẫn sóng là do sự tán sắc bên trong mode. Ánh sáng truyền trong sợi không phải là đơn sắc, nó chiếm một độ rộng phổ  $\Delta\lambda$  nào đó. Vì hằng số lan truyền  $\beta$  là hàm của đại lượng  $a/\lambda$  do đó nó phụ thuộc vào phổ (bước sóng) ánh sáng và kích thước của lõi sợi. Mặt khác theo công thức 2-18, độ trễ nhóm  $\xi$  chịu ảnh hưởng của hệ số lan truyền  $\beta$ . Do vậy vận tốc nhóm của các thành phần phổ là khác nhau (Ở đây chưa xét đến sự thay đổi vận tốc do sự thay đổi chiết suất). Điều này dẫn đến sự chênh lệch về thời gian truyền dẫn và vì vậy có hiện tượng tán sắc.

Từ các phương trình của độ trễ nhóm ta xác định được hệ số tán sắc ống dẫn sóng.

$$D_w = \frac{n_1}{C} [V \frac{d^2(Vb)}{dV^2}] \quad (2-19)$$

Với tần số chuẩn hóa được tính gần đúng theo công thức :  $V = K_0 a n_1 \sqrt{2}$  (2-20)

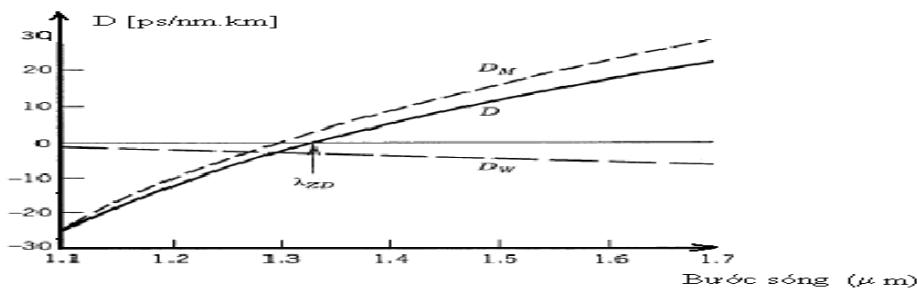
Trong sợi đa mode tán sắc ống dẫn sóng tương đối nhỏ so với tán sắc vật liệu vì vậy có thể bỏ qua được.

Tán sắc tổng trong sợi sẽ bao gồm cả ba loại tán sắc :  $D = D_w + D_m + D_M$

Ta có hình 2.15 biểu diễn các tán sắc trong dải bước sóng 1,1 - 1,7 m của sợi đơn mode. Bước sóng  $\lambda_{ZD}$  là bước sóng tại đó tán sắc tổng có giá trị 0. Rõ ràng tán

**Quang**

sắc ống dẫn sóng luôn âm, còn tán sắc vật liệu thì bắt đầu dương tại bước sóng  $\lambda = 1.33$  m.



Hình 2.15 Các hệ số tán sắc trong sợi đơn mode[9]

- Tán sắc phân cực mode (PMD) :

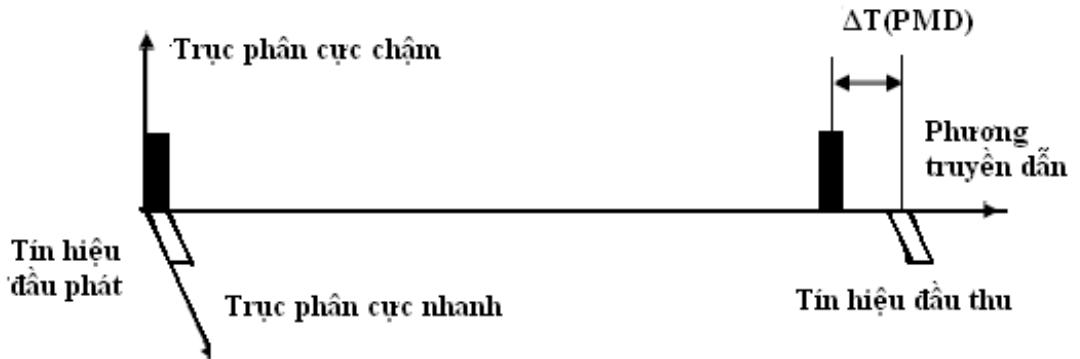
Tán sắc phân cực mode (Polarization Mode Dispersion) là một đặc tính cơ bản của sợi quang và các thành phần sợi quang đơn mode. Trong đó năng lượng tín hiệu tại bước sóng đã cho được chuyển vào hai mode phân cực trực giao có vận tốc lan truyền khác nhau. Điều này dẫn đến dãn xung của tín hiệu tổng hợp đầu thu và gây chấn động phổ và lỗi bớt đối với các hệ thống truyền dẫn tốc độ cao. Khi có nguồn phát quang mạnh, sự dãn xung thường liên quan đến hiệu ứng lưỡng chiết. Bán kính của sợi quang dọc theo các trục x, y không đồng đều, chiết suất các mode phân cực theo trục x, y bị thay đổi và sinh ra hiệu ứng lưỡng chiết. Khi xung đầu vào kích thích cả hai thành phần phân cực, xung đó sẽ dãn rộng ở đầu ra của sợi vì hai thành phần sẽ phân tán dọc do vận tốc nhóm khác nhau. Hiện tượng này gọi là PMD. Lưỡng chiết có thể tính toán thông qua sự chênh lệch giá trị chiết suất hiệu dụng của hai thành phần phân cực mode :

$$\Delta = \bar{n}_x - \bar{n}_y K_0 \quad |_{x=y} \quad (2-21)$$

Trong đó :  $\bar{n}_x, \bar{n}_y$  là chiết suất hiệu dụng của mỗi mode phân cực

$x, y$  là hằng số lan truyền của mỗi mode phân cực

Đối với một xung quang thì năng lượng chia ra thành hai phần : một phần mang bởi trạng thái phân cực trực nhanh và một phần mang bởi trạng thái phân cực chậm như hình 2.16.



Hình 2.16 Hiệu tương tán sắc do phân cực.

Sự dãn xung có thể được xác định từ độ chênh lệch thời gian  $\Delta T$  giữa hai thành phần phân cực mode trực giao khi xung được truyền. Đối với sợi dài  $L$  thì  $\Delta T$  được xác định theo công thức 2-22:

$$\Delta T = \left| \frac{L}{v_{gx}} - \frac{L}{v_{gy}} \right| = L \cdot |x - y| \quad (2-22)$$

Bíểu thức 2-22 không thể dùng trực tiếp để tính tham số PMD do tính ghép ngẫu nhiên giữa hai mode được sinh ra từ sự xáo trộn ngẫu nhiên của lưỡng chiết. Thực tế PMD được xác định bởi giá trị căn trung bình bình phương RMS của  $\Delta T$ . Giá trị trung bình của biến ngẫu nhiên này là :

$$\langle T^2 \rangle = \frac{1}{2} h^2 \exp \left( -\frac{2L}{h} \right)$$

Trong đó :  $h$  là độ dài hiệu chỉnh có giá trị tiêu biếu nằm trong khoảng 1- 10 m.

Ta có hàm mật độ xác suất PMD như sau :

$$P(\Delta T) = \frac{2}{\sqrt{2}} \frac{T^2}{h^3} \exp \left( -\frac{T^2}{2h^2} \right) \quad (2-23)$$

Như vậy kết hợp với phương trình 2-22 giá trị trung bình của độ trễ  $\Delta T$  liên quan đến tán sắc phân cực mode như sau :

$$\langle T \rangle = \sqrt{\frac{8}{\sqrt{2}} \frac{D_{PMD}}{h} \sqrt{L}}$$

Trong đó :  $D_{PMD}$  là số tán sắc phân cực mode với các giá trị tiêu biếu nằm trong khoảng  $0,1 - 1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .

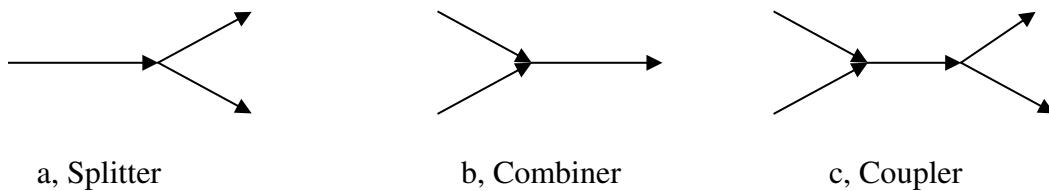
## Quang

Từ đây ta thấy độ dãn xung trong PMD tương đối nhỏ so với các hiệu Ứng vận tốc nhóm. Tuy nhiên do phụ thuộc vào chiều dài sợi nên PMD có thể ảnh hưởng đến các hệ thống truyền dẫn cự ly xa.

### 2.3. COUPLER QUANG

Coupler là các thiết bị quang thụ động đơn giản, được sử dụng để tách hoặc ghép tín hiệu ánh sáng đầu vào hay đầu ra sợi. Một coupler bao gồm n cổng vào và m cổng ra. Coupler 1 x n được gọi là bộ tách (splitter), còn coupler n x 1 được gọi là bộ kết hợp (combiner); có khi coupler kết hợp cả hai chức năng ghép và tách với n cổng vào và m cổng ra.

Đơn giản nhất là coupler 1x2, 2x1 và 2x2 như ở hình 2.17a, b,c



Hình 2.17 Coupler 1x2, 2x1 và 2x2.

Bộ chia quang 1x2 như trên hình 2.17 a) có tỉ lệ công suất đầu ra được gọi là tỉ lệ chia quang  $\alpha$  và có thể điều khiển được. Giá trị  $\alpha$  này biểu thị tỉ lệ chia quang dưới dạng dB sẽ cho chúng ta suy hao do chia quang. Bộ chia quang hai cổng với tỉ lệ chia quang 50:50 là rất phổ biến, kết quả là suy hao do chia quang sẽ là 3 dB cho mỗi cổng ra.

Các bộ coupler được dùng để tách một phần công suất từ luồng ánh sáng có thể được thiết kế với các giá trị  $\alpha$  rất gần với 1, thường là từ 0.90 tới 0.95. Khi đó chúng được gọi là bộ rẽ và thường dùng cho các mục đích giám sát hoặc các mục đích khác.

Nguyên lý hoạt động của coupler có thể xét thông qua nguyên lý chung của coupler 2x2.

### 2.4. BỘ LỌC QUANG

#### 2.4.1. Chức năng của các bộ lọc

Việc ghép và lọc là một phần quan trọng của truyền dẫn quang. Không có thiết bị này không thể thực hiện bất kỳ sự chuyển mạch cũng như truyền một tín hiệu trong cùng một sợi quang tại cùng một thời điểm. Bộ lọc quang là phần tử thụ động hoạt động dựa trên các nguyên lý truyền sóng không cần có sự tác động từ các phần tử bên ngoài. Chức năng của bộ lọc là lọc tín hiệu khác nhau được truyền

## Quang

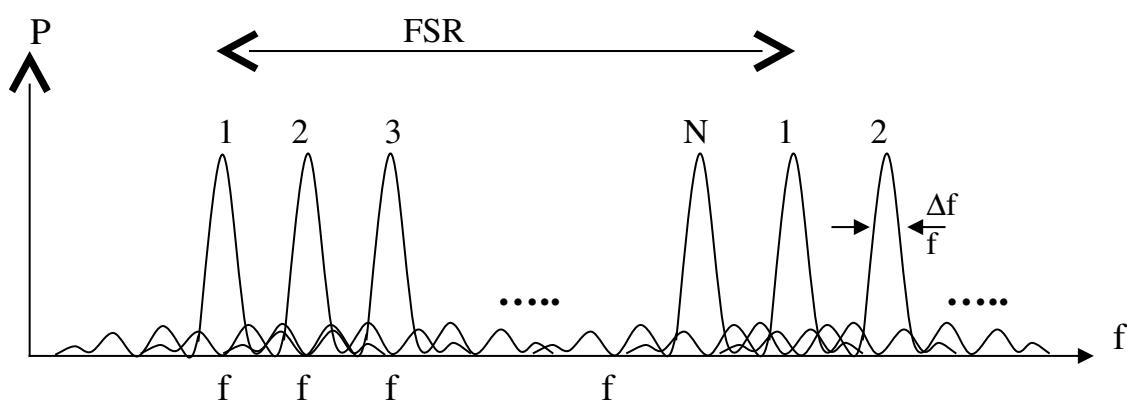
trong cùng một sợi, trước tiên phải tách riêng các bước sóng khác nhau khỏi tín hiệu tổng. Có rất nhiều cách để thực hiện việc tách các bước sóng quang, nhưng về nguyên lý chúng đều dựa trên quan điểm : các bước sóng sẽ bị trễ pha so với bước sóng khác khi chúng được hướng qua các đường dẫn khác nhau. Tùy thuộc vào cách nguyên lý hoạt động của từng thiết bị mà ta có hai nhóm các bộ lọc khác nhau như : Bộ lọc cố định và bộ lọc điều khiển được. Bộ lọc quang cố định là các bộ lọc về nguyên lý nó loại bỏ tất cả các bước sóng, chỉ cho phép giữ lại một bước sóng cố định đã được xác định trước. Bộ lọc điều chỉnh được là các bộ lọc có thể thay đổi bước sóng mà chúng cho qua tùy theo yêu cầu.

### 2.4.2. Đặc điểm, tham số của bộ lọc

Hai đặc điểm quan trọng của bộ lọc cần được nhắc đến là dải phổ tự do (FSR-Free Spectral Range) và khả năng phân biệt của bộ lọc hay độ mịn (F - Finesess).

#### A. Độ mịn của bộ lọc F

Độ mịn của bộ lọc được đo bằng độ rộng của hàm truyền đạt. Nó là tỷ số giữa dải phổ tự do với độ rộng kênh.  $F = \frac{FSR}{f}$



Hình 2.20 FSR và F của bộ lọc với N kênh khác nhau.

Trong đó độ rộng kênh ( $\Delta f$ ) được định nghĩa là độ rộng 3dB hay độ rộng phổ nửa công suất của bộ lọc.  $\Delta f$  đặc trưng cho độ hẹp của đỉnh hàm truyền đạt.

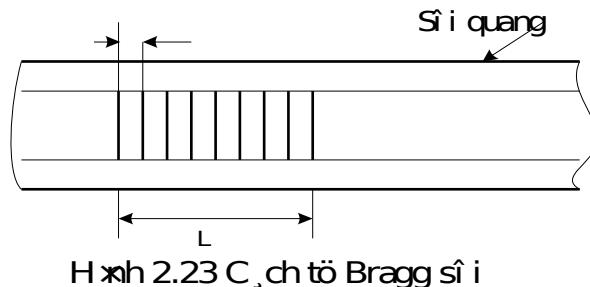
Số lượng kênh của một bộ lọc quang bị giới hạn bởi dải phổ tự do và độ mịn. Tất cả các kênh phải nằm gọn trong FSR. Nếu giá trị F cao, hàm truyền đạt (đỉnh băng thông) sẽ hẹp và dẫn đến là có nhiều kênh được chứa trong dải phổ tự do hơn. Khi độ mịn thấp, các kênh cần phải được dãn cách nhau thêm một khoảng để tránh xuyên âm. Do đó số lượng kênh trong dải phổ tự do cũng giảm đi.

## Quang

### 2.4.3 Bộ lọc quang

#### 2.4.3.2 Bộ lọc cách tử Bragg sợi

Cách tử Bragg sợi là mảnh biến điệu của sợi quang mà trong đó chiết suất của lõi sợi thay đổi theo một chu kỳ dọc theo lõi sợi quang.



Cách tử Bragg hoạt động theo nguyên tắc : Khi chiếu một chùm ánh sáng đa sắc qua cách tử, nó cho phép phản xạ duy nhất một bước sóng thỏa mãn điều kiện phản xạ Bragg được phản xạ trở lại nguồn và cho đi qua tất cả các bước sóng khác. Từ điều kiện phản xạ Bragg ta có :

$$2Ln = m\lambda \quad (2-34)$$

Trong đó :  $n$  là chiết suất lõi sợi quang.

Tại các bước sóng không thỏa mãn điều kiện trên thì ánh sáng không bị ảnh hưởng và được truyền qua cách tử đến đầu thu.

Bộ lọc cách tử Bragg có suy hao xen thấp, đặc tính phổ có dạng bộ lọc băng thông (BPF) với khả năng đạt được khoảng cách giữa các kênh là 50 GHz. Hai tham số quan trọng nhất của một bộ lọc cách tử Bragg là hệ số phản xạ và độ rộng phổ. Thường độ rộng phổ vào khoảng 0,1 nm trong khi đó hệ số phản xạ có thể đạt hơn 99 %. Ưu điểm của chúng là đơn giản về cấu tạo và sử dụng, đồng thời lại có hệ số suy hao xen thấp. Còn về nhược điểm là có chỉ số chiết suất phụ thuộc vào nhiệt độ.

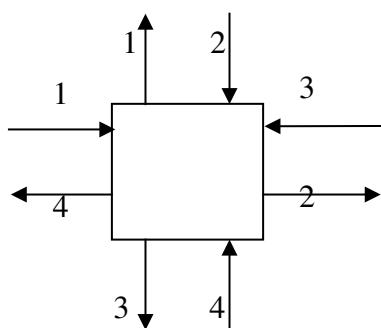
Cách tử Bragg có thể được sử dụng như một bộ ghép hay tách khi kết hợp với các bộ coupler quang. Như hình 2.24 ta có hai cách tử Bragg kết hợp cùng hai coupler quang 3dB.

Khi đưa chùm tia sáng đa sắc có bước sóng là  $\lambda_1, \lambda_2, \dots$  vào cổng 1, chia ánh sáng qua coupler 3dB thứ nhất được chia thành hai luồng đến hai cách tử. Giả sử bước sóng  $\lambda_1$  thỏa mãn điều kiện phản xạ Bragg thì ánh sáng có bước sóng  $\lambda_1$  sẽ bị phản xạ bởi cách tử và tại cổng ra 4 ta đã tách được bước sóng  $\lambda_1$ .

**Quang****2.4.4 Bộ Isolator và Circulator**

Isolator là thiết bị cho phép truyền dẫn chỉ theo một hướng và không cho truyền dẫn theo hướng nào khác nữa. Nó hoạt động dựa theo nguyên lý phân cực để ngăn cách tín hiệu. Bằng cách sử dụng các bộ này thì các phản xạ từ các bộ khuếch đại hay laser có thể được cách ly khỏi tín hiệu.

Circulator là một thiết bị tương tự Isolator, nhưng nó có nhiều cổng. Hình 2.27 mô tả một Circulator với 4 cổng vào và 4 cổng ra. Tín hiệu từ mỗi cổng được hướng tới một cổng ra và bị ngăn tại các cổng còn lại.



Hình 2.24 Circulator 4 cổng ra và 4 cổng vào

Ứng dụng của bộ cách ly này có thể là dùng trong các module tách ghép kênh quang. Tín hiệu tại đầu ra mỗi bộ phát ở một bước sóng riêng, những tia sáng này được ghép lại và truyền vào sợi quang. Thiết bị thực hiện chức năng này gọi là bộ ghép kênh quang (Multiplexer hay MUX). Ngược lại, ở phía thu có một thiết bị tách tín hiệu quang thu được thành các kênh quang có bước sóng khác nhau để đưa đến mỗi bộ thu quang riêng biệt.

## **CHƯƠNG 3**

### **CÁC PHẦN TỬ TÍCH CỰC**

#### **3.1. CƠ SỞ VẬT LÝ CHUNG CỦA CÁC PHẦN TỬ TÍCH**

Khác với các phần tử thụ động, cơ sở vật lý chung cho các phần tử tích cực là vật lý bán dẫn. Tuy nhiên do tín hiệu xử lý của các phần tử này là ánh sáng nên các kiến thức vật lý về ánh sáng (như đã nêu ở chương 1) cũng được sử dụng trong phần tử tích cực.

## Quang

Khi hoạt động, các phần tử này cần phải có nguồn kích thích. Các nguồn này luôn đi kèm theo nhu cầu của các phần tử tích cực cũng phức tạp hơn phần tử thụ động. Vị trí đặt thiết bị, các vấn đề về bảo dưỡng, an toàn về điện cũng cần được quan tâm. Ta xét đến cơ sở vật lý chung cho các phần tử tích cực này.

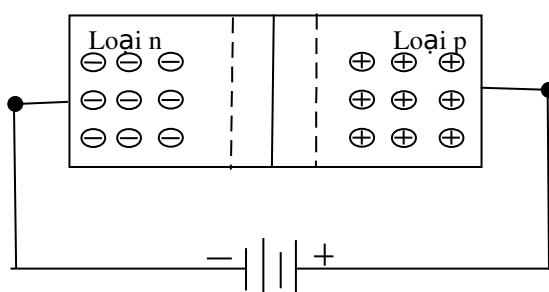
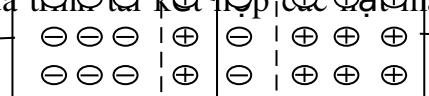
### 3.1.1. Các khái niệm vật lý bán dẫn

Vật lý bán dẫn là cơ sở hoạt động cho rất nhiều linh kiện điện tử trong đó có các phần tử tích cực hoạt động trong hệ thống thông tin quang.

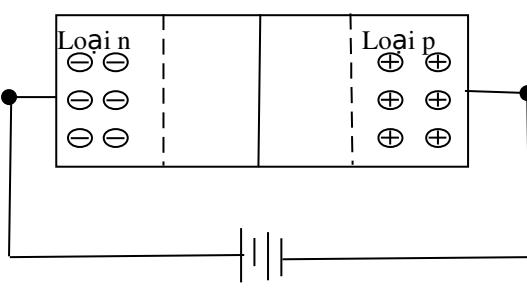
#### 3.1.1.1 Lớp tiếp giáp p-n

Bản thân các vật liệu pha tạp loại p hay n chỉ như là những chất dẫn điện tốt hơn so với bán dẫn thuần. Tuy nhiên khi ta sử dụng kết hợp hai loại vật liệu này thì sẽ có được những đặc tính hết sức đáng chú ý. Một vật liệu loại p được ghép với vật liệu loại n sẽ cho ta một lớp tiếp xúc được gọi là tiếp giáp p-n. Khi tiếp giáp p – n được tạo ra, các hạt mang đa số sẽ khuếch tán qua nó : Lỗ trống bên p khuếch tán sang bên n, điện tử bên n khuếch tán sang bên p. Kết quả là tạo ra một điện trường tiếp xúc  $E_{tx}$  đặt ngang tiếp giáp p – n. Chính điện trường này sẽ ngăn cản các chuyển động của các điện tích khi tình trạng cân bằng đã được thiết lập. Lúc này, vùng tiếp giáp không có các hạt mang di động. Vùng này gọi là vùng nghèo hay vùng điện tích không gian.

Khi cấp một điện áp cho tiếp giáp này, cực dương nguồn nối với vật liệu n, cực âm nối với vật liệu p thì tiếp giáp này được gọi là phân cực ngược. (Như hình 3.2b). Nếu phân cực ngược cho tiếp giáp p – n, vùng nghèo sẽ bị mở rộng ra về cả hai phía. Điều này càng cản trở các hạt mang đa số tràn qua tiếp giáp. Tuy nhiên vẫn có một số lượng nhỏ hạt mang thiểu số tràn qua tiếp giáp tại điều kiện nhiệt độ và điện áp bình thường. Còn khi phân cực thuận cho tiếp giáp (cực âm nối với vật liệu n, còn cực dương nối với vật liệu p như hình 3.2c) thì các điện tử vùng <sup>Tiếp giáp</sup> <sub>vùng nghèo</sub> ~~hóa~~ ~~p~~ ~~lai~~ ~~được~~ khuếch tán qua tiếp giáp. Lúc này việc kết hợp các ~~hạt mang thiểu số tăng lên~~ ~~Các hạt mang~~ ~~Tiếp giáp~~ ~~se~~ tái hợp với hạt mang đa số. Quá trình tái kết hợp ~~hỗn~~ ~~đã~~ ~~mang~~ ~~dư~~ ~~ra~~ chính là cơ chế để phát ra ánh sáng.

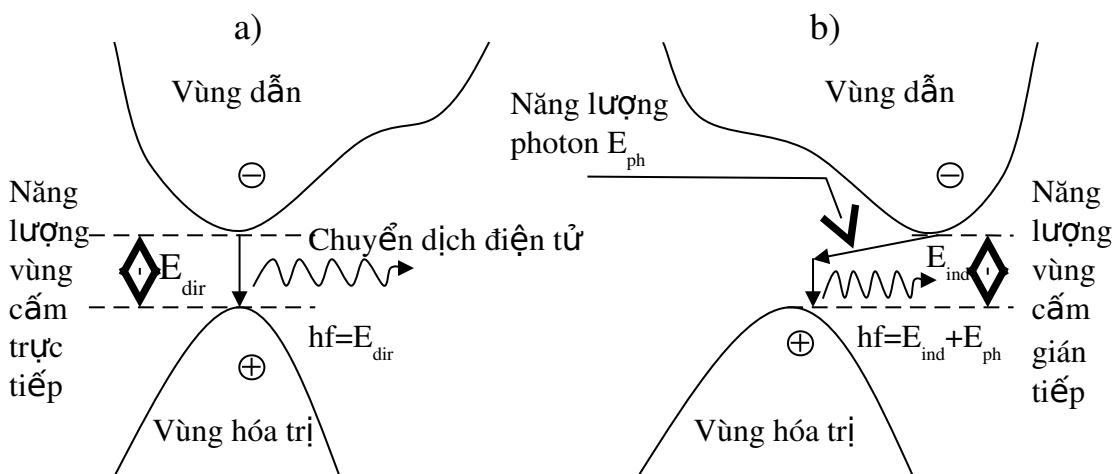


Nhóm 5 b) Phân cực ngược



c) Phân cực

Các chất bán dẫn thường được phân ra thành vật liệu có giải cấm trực tiếp và vật liệu có giải cấm gián tiếp tùy thuộc dạng của dải cấm (như hình 3.3).



Hình 3.3 Sơ đồ minh họa sự phát photon với vật liệu dải cấm trực tiếp (a) và gián tiếp (b)

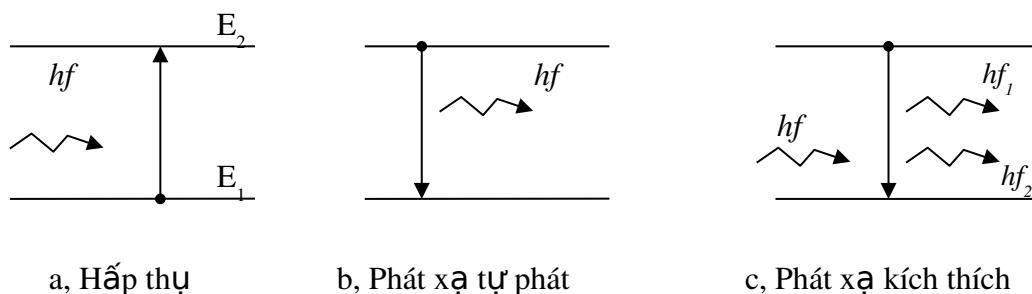
Xét quá trình tái hợp của lỗ trống và điện tử kèm theo sự phát xạ photon, người ta thấy quá trình tái kết hợp dễ xảy ra nhất và đơn giản nhất khi mà lỗ trống và điện tử có cùng động lượng. Trong trường hợp này ta có vật liệu giải cấm trực tiếp. Còn trong trường hợp vật liệu có dải cấm gián tiếp, các mức năng lượng nhỏ nhất ở vùng dẫn và các mức năng lượng nhỏ nhất ở vùng hóa lại xảy ra ở các giá trị động lượng khác nhau. Như vậy việc tái kết hợp ở đây cần phải có phần tử thứ ba để duy trì động lượng bởi vì động lượng photon là rất nhỏ.

## Quang

## 3.1.2. Các quá trình đặc trưng trong vật lý bán dẫn

## 3.1.2.1. Quá trình hấp thụ và phát xạ

Trong vật liệu, ở điều kiện bình thường có xảy ra các quá trình tương tác giữa vật chất và môi trường xung quanh, và tạo ra các hiện tượng phát xạ, bức xạ hay hấp thụ... Để phân tích các quá trình phát xạ và hấp thụ ta xét một hệ có hai mức năng lượng  $E_1$  và  $E_2$  với  $E_2 > E_1$  như hình 3.4 sau. Trong đó  $E_1$  là trạng thái cơ sở, còn  $E_2$  là trạng thái kích thích.



Hình 3.4 Sơ đồ quá trình hấp thụ, phát xạ và phát xạ kích thích

Khi photon có năng lượng  $hf = E_2 - E_1$  đi vào vật chất, điện tử sẽ hấp thụ và chuyển lên mức kích thích  $E_2$ . Đây là quá trình hấp thụ ánh sáng. Các điện tử ở mức kích thích  $E_2$ , đây là trạng thái không bền nên nó nhanh chóng chuyển về mức cơ sở  $E_1$  và lúc đó sẽ phát ra một photon có năng lượng là  $hf = E_2 - E_1$ . Ta có quá trình phát xạ tự phát. Photon được tạo ra tự phát thì có hướng ngẫu nhiên và không có liên hệ về pha, tức là ánh sáng không kết hợp. Còn phát xạ cưỡng bức xảy ra khi có một photon có năng lượng phù hợp tương tác với nguyên tử ở trạng thái kích thích và phát xạ ra các photon giống hệt nhau về năng lượng và pha. Ta có các phương trình tốc độ đặc trưng cho các quá trình này như sau :

$$\text{Tốc độ phát xạ tự phát : } R_{\text{spon}} = A \cdot N_2$$

$$\text{Tốc độ phát xạ kích thích : } R_{\text{stim}} = B \cdot N_2 \cdot \rho$$

$$\text{Tốc độ hấp thụ : } R_{\text{abs}} = C \cdot N_1 \cdot \rho$$

Trong đó :  $N_1, N_2$  là mật độ nguyên tử tại mức  $E_1$  và  $E_2$ ,

$\rho$  là mật độ phô năng lượng chiếu xạ.

Ở điều kiện cân bằng nhiệt thì mật độ phô năng lượng chiếu xạ phân bố theo thống kê Boltzman như sau :

$$\frac{N_2}{N_1} \propto \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right) \propto \exp\left(-\frac{hf}{k_B T}\right) \quad (3-2)$$

**Quang**

Trong đó : T là nhiệt độ tuyệt đối của hệ nguyên tử.

$N_1, N_2$  không phụ thuộc thời gian trong trạng thái cân bằng nhiệt, nghĩa là tốc độ chuyển dời lên xuống của nguyên tử phải bằng nhau. Do đó :

$$A.N_2 + B.N_2.\rho = C. N_1.\rho \quad (3-3)$$

Từ công thức 3-2 và 3-3 ta có mật độ phổ năng lượng được tính như sau :

$$\frac{A/B}{C/B \exp(hf/k_B T) - 1} \quad (3-4)$$

Theo công thức Plank mật độ phổ năng lượng chiếu xạ phải bằng mật độ phổ

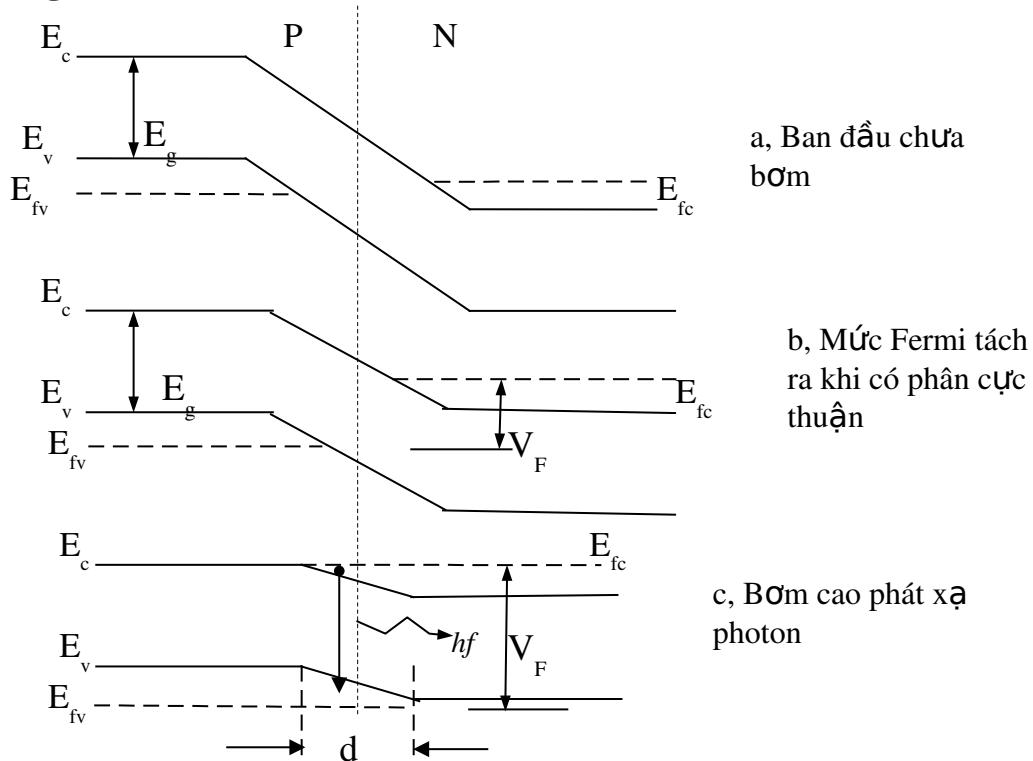
phát xạ vật đen tuyệt đối :

$$\frac{\frac{8 \pi f^3}{c^3}}{\exp(hf/k_B T) - 1}$$

Như vậy :  $A = \frac{8 \pi hf^3}{c^3} B$  và  $C=B$  (với A, B là hệ số Anhxtanh).

**3.1.2.2 Trạng thái đảo mật độ**

Ánh sáng có thể phát ra từ vật liệu bán dẫn là kết quả của quá trình tái hợp điện tử và lỗ trống (e-h). Trong điều kiện cân bằng nhiệt, tỷ lệ phát xạ kích thích rất nhỏ so với phát xạ tự phát, tức là nồng độ e – h sinh ra do kích thích rất thấp. Để có phát xạ kích thích ta phải thực hiện tăng số lượng lớn các điện tử và lỗ trống trong vùng dẫn và vùng hóa trị. Ta xét một tiếp giáp p – n với hai loại vật liệu bán dẫn loại n và p pha tạp cao đến mức suy biến. Mức Fermi bên bán dẫn loại n nằm vào bên trong vùng dẫn và mức Fermi trong bán dẫn p nằm vào bên trong vùng hóa trị. Tại cân bằng nhiệt mức Fermi hai bên bán dẫn loại n và p nằm trùng nhau, lúc này không có quá trình bơm hạt tải (hình 3.5a). Khi phân cực thuận đủ lớn, các mức Fermi ở hai miền tách ra, lúc này thì các điện tử bên bán dẫn loại n và lỗ trống bên bán dẫn p được bơm điện tích không gian (hình 3.5b). Khi điện thế đặt vào tiếp giáp p-n tăng đủ lớn để quá trình bơm này đạt đến mức cao thì trong miền điện tích không gian có độ rộng là d sẽ có một số lượng lớn các điện tử nằm trên vùng dẫn và một số lượng lớn lỗ trống nằm dưới vùng hóa trị. Trạng thái này gọi là đảo mật độ.

**Quang**

Hình 3.5 Giản đồ năng lượng của tiếp giáp p-n với bán dẫn suy biến

Như vậy điều kiện để có trạng thái đảo mật độ là bán dẫn ở hai miền p và n phải pha tạp mạnh để các mức Fermi nằm vào bên trong vùng dẫn và vùng hóa trị. Thế phân cực thuần phải đủ lớn để điện tử và lỗ trống có thể bơm vào vùng dẫn và vùng hóa trị. Hiệu hai mức Fermi ở hai vùng bán dẫn loại n và p lớn hơn năng lượng vùng cấm, nghĩa là :  $E_{fc} - E_{fv} > E_g$ .

Trên đây là các cơ sở vật lý bán dẫn để phân tích cơ chế hoạt động của các phân tử tích cực trong thông tin quang được đề cập trong các phần tiếp theo.

### 3.2. NGUỒN QUANG

Vai trò của các bộ phát quang là biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang và đưa tín hiệu quang này vào sợi quang để truyền tới phía thu. Linh kiện chính trong bộ phát quang là nguồn phát quang. Trong hệ thống thông tin quang các nguồn quang được sử dụng là diode phát quang (LED) và laser bán dẫn (Laser Diode – LD). Cơ sở vật lý của các nguồn quang bán dẫn này như đã nêu ở trên. Chúng có nhiều ưu điểm như : kích thước nhỏ, hiệu suất chuyển đổi quang điện rất cao, có vùng bước sóng phát quang thích hợp với sợi quang và có thể điều biến trực tiếp bằng dòng bơm với tần số khá cao.

**Quang****3.2.1. Đèn LED.**

LED (Light Emitted Diode) là một loại nguồn phát quang phù hợp cho các hệ thống thông tin quang có tốc độ bớt không quá 200Mb/s sử dụng sợi dẫn quang đa mode. Tuy nhiên hiện nay trong phòng thí nghiệm người ta có thể sử dụng cả ở tốc độ bớt tới 556 Mb/s do có sự cải tiến công nghệ cao.

**3.2.1.1 Cấu trúc LED**

Có hai loại cấu trúc LED được sử dụng rộng rãi là cấu trúc giáp thuần nhất và cấu trúc tiếp giáp dị thể. Trong quá trình nghiên cứu và thực nghiệm, cấu trúc dị thể kép mang lại hiệu quả hơn và được ứng dụng nhiều hơn. Đặc điểm của cấu trúc dị thể kép là có hai lớp bán dẫn khác nhau ở mỗi bên của vùng bán dẫn tích cực, đây cũng chính là cấu trúc để khai triển nghiên cứu LASER. Với cấu trúc dị thể ta có, hai loại đó là cấu trúc phát xạ mặt và phát xạ cạnh.

**A. Cấu trúc LED phát xạ mặt**

LED phát xạ mặt có mặt phẳng của vùng phát ra ánh sáng vuông góc với trục của sợi dẫn quang (hình 3.6a). Vùng tích cực thường có dạng phiến tròn, đường kính khoảng 50 $\mu$ m và độ dày khoảng 25 $\mu$ m. Mẫu phát chủ yếu là đẳng hướng với độ rộng chung phát khoảng 120°. Mẫu phát đẳng hướng này gọi là mẫu Lambertian. Khi quan sát từ bất kỳ hướng nào thì độ rộng nguồn phát cũng ngang bằng nhau nhưng công suất lại giảm theo hàm cos $\beta$  với  $\beta$  là góc hợp giữa hướng quan sát với pháp tuyến của bề mặt. Công suất giảm 50% so với đỉnh khi  $\beta = 60$ .

**B. Cấu trúc LED phát xạ cạnh**

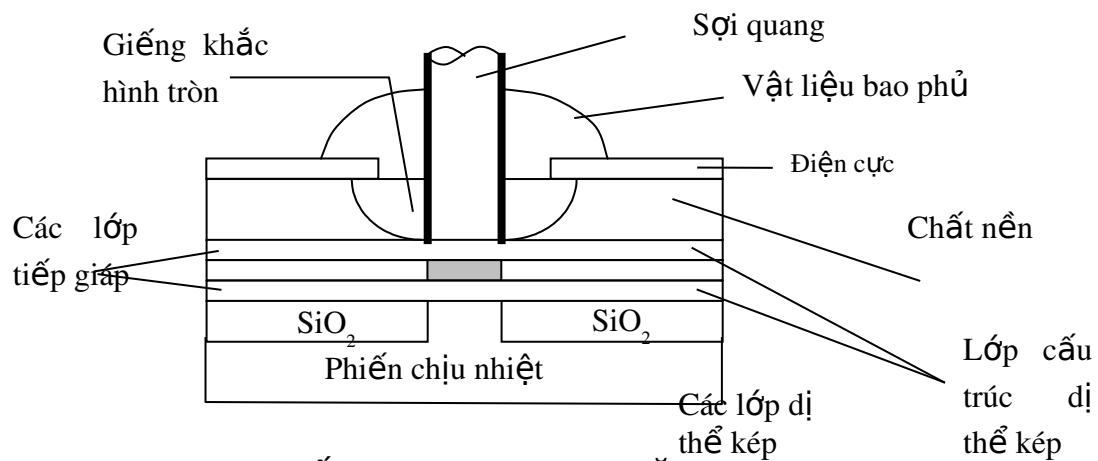
LED phát xạ cạnh có cấu trúc gồm một vùng tiếp giáp tích cực có vai trò là nguồn phát ánh sáng không kết hợp, và hai lớp dẫn đều có chiết suất thấp hơn chỉ số chiết suất của vùng tích cực nhưng lại cao hơn chiết suất của các vùng vật liệu bao quanh (hình 3.6b). Cấu trúc này hình thành một kênh dẫn sóng để hướng sự phát xạ về phía lõi sợi. Để tương hợp được với lõi sợi dẫn quang có đường kính nhỏ (cỡ 50- 100 $\mu$ m), các dải tiếp xúc đối với LED phát xạ cạnh phải rộng từ 50 $\mu$ m đến 70 $\mu$ m. Độ dài của các vùng tích cực thường là từ 100 $\mu$ m đến 150 $\mu$ m. Mẫu phát xạ cạnh có định hướng tốt hơn so với LED phát xạ mặt.

**3.2.1.2 Nguyên lý hoạt động của LED**

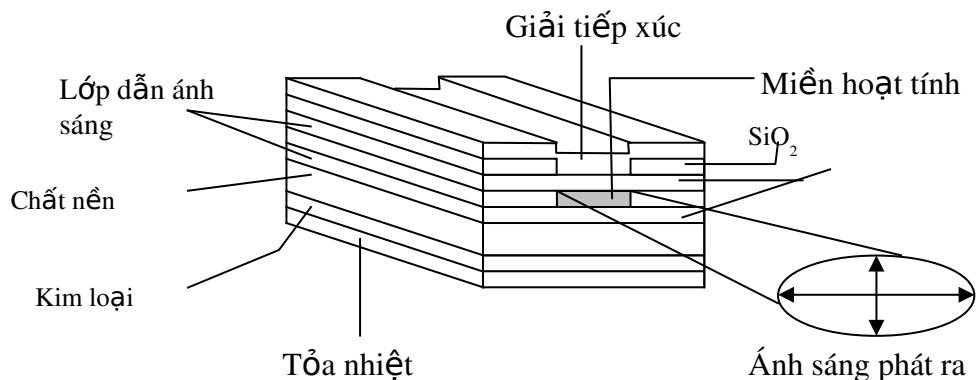
Nguyên lý làm việc của LED dựa vào hiệu ứng phát sáng khi có hiện tượng tái hợp các điện tử và lỗ trống ở vùng tiếp giáp p-n. Do vậy, LED sẽ phát sáng nếu được phân cực thuận. Khi được phân cực thuận các hạt mang đa số sẽ khuếch tán ồ ạt qua tiếp giáp p-n : điện tử khuếch tán từ phía n sang phía p và ngược lại, lỗ trống

### Quang

khuếch tán từ phía p sang phía n, chúng gắp nhau và tái hợp phát sinh ánh sáng. Với cấu trúc dị thể kép, cả hai loại hạt dẫn và trường ánh sáng được giam giữ tại trung tâm của lớp tích cực (hình 3.7). Sự khác nhau về độ rộng vùng cấm của các lớp kẽ cạn đã giam giữ các hạt điện tích ở bên trong lớp tích cực. Đồng thời, sự khác nhau về chiết suất của các lớp kẽ cạn này đã giam giữ trường quang và các hạt dẫn này làm tăng độ bức xạ và hiệu suất cao.



Hình 3.6a Cấu trúc LED phát xạ mặt

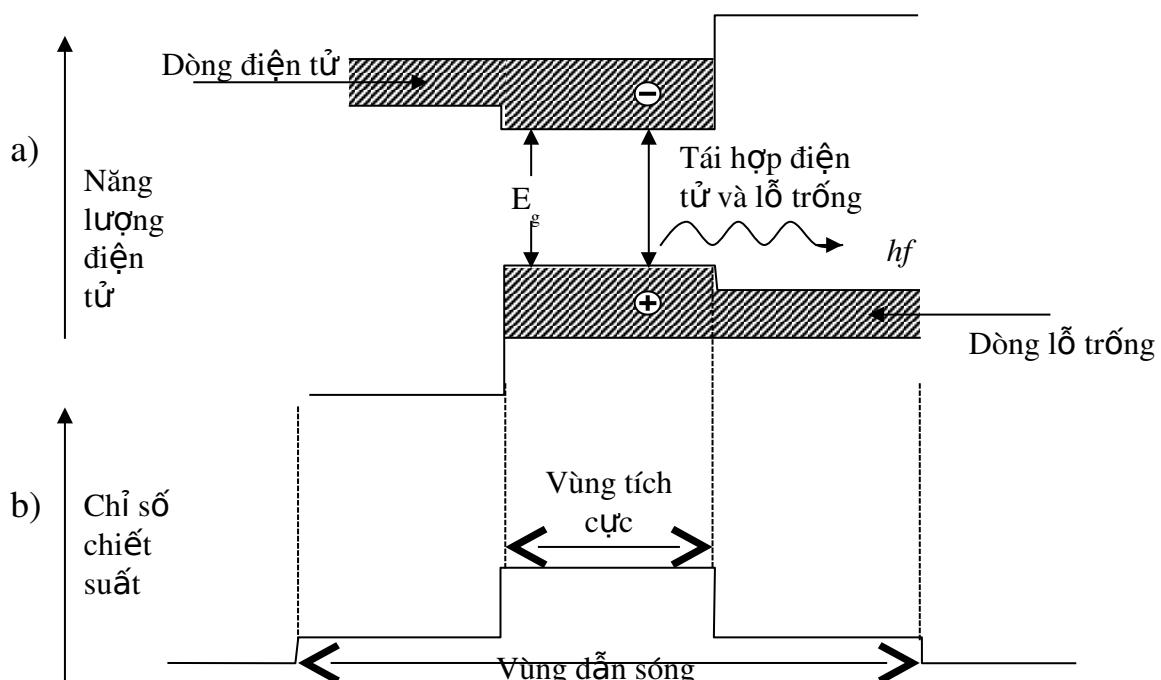


Hình 3.6b Cấu trúc LED phát xạ cạnh

Để một chất bán dẫn phát sáng thì sự cân bằng nhiệt phải bị phá vỡ. Tốc độ tái hợp trong quá trình tái hợp có bức xạ tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn p và nồng độ lỗ trống trong bán dẫn n. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Để tăng tốc độ tái hợp – tức là tăng số photon bức xạ ra – thì cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn. Nồng độ hạt dẫn thiểu số được

**Quang**

bơm vào các phần bán dẫn tỷ lệ với cường độ dòng điện của LED, do đó cường độ phát quang của LED tỷ lệ với cường độ dòng điện qua diode.



Hình 3.7 Cấu trúc diode kép – hiệu suất phát xạ cao nhờ chênh lệch: a) độ rộng vùng cấm và b) chênh lệch chiết suất

**3.2.1.3. Ứng dụng của LED**

Thường thì ánh sáng phát xạ của LED là ánh sáng không kết hợp và là ánh sáng tự phát. Do đó công suất phát xạ của LED thấp, độ rộng phổ rộng và hiệu ứng lượng tử thấp. Nó thường chỉ được áp dụng cho các mạng có khoảng cách ngắn như mạng LAN. Tuy nhiên do công suất đầu ra của nó ít phụ thuộc vào nhiệt độ và

**Quang**

có chế tạo đơn giản, độ ổn định cao, LED vẫn được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền tốc độ thấp.

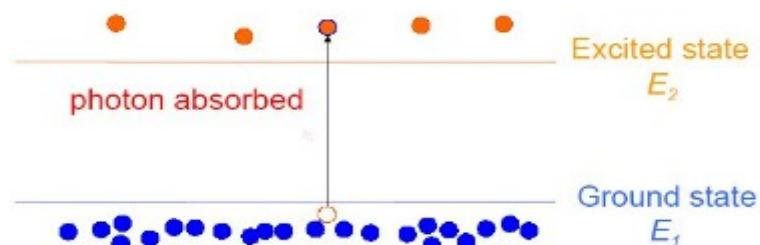
### 3.2.2. Nguồn phát laser (Light Amplification By Stimulate Emission of Radiation )

- Có độ rỗng phổi hẹp
- Bước song ổn định
- Được sử dụng với sợi đơn mode
- Cho phép sử dụng với hệ truyền dẫn tốc độ cao và cự ly dài.

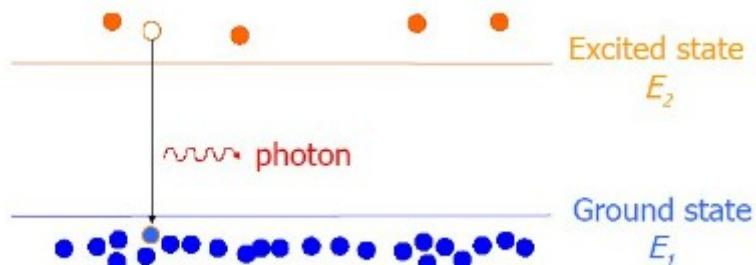
#### 3.2.2.1 Nguyên lý hoạt động

Là kết quả của 3 quá trình : hấp thụ proton , bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.

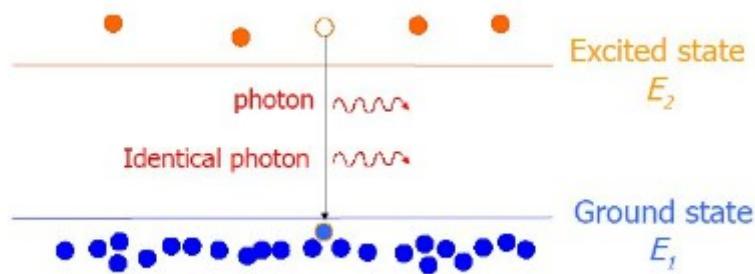
- Hấp thu: khi proton có năng lượng lớn hơn  $E_2 - E_1$  có thể bị hấp thụ bởi các điện tử tại mức nền và chuyển tới mức kích thích.



- Bức xạ tự phát: điện tử ở trạng thái kích thích có thể bị chuyển về trạng thái nền và phát ra proton có năng lượng  $h\nu = E_2 - E_1$



- Bức xạ kích thích: nếu proton có năng lượng  $h\nu$  tác động vào hệ thống trong khi điện tử đang ở trạng thái kích thích thì điện tử sẽ bị rơi xuống trạng thái nền và phát ra proton có hướng cùng hướng của proton tới.



### 3.3. BỘ THU QUANG

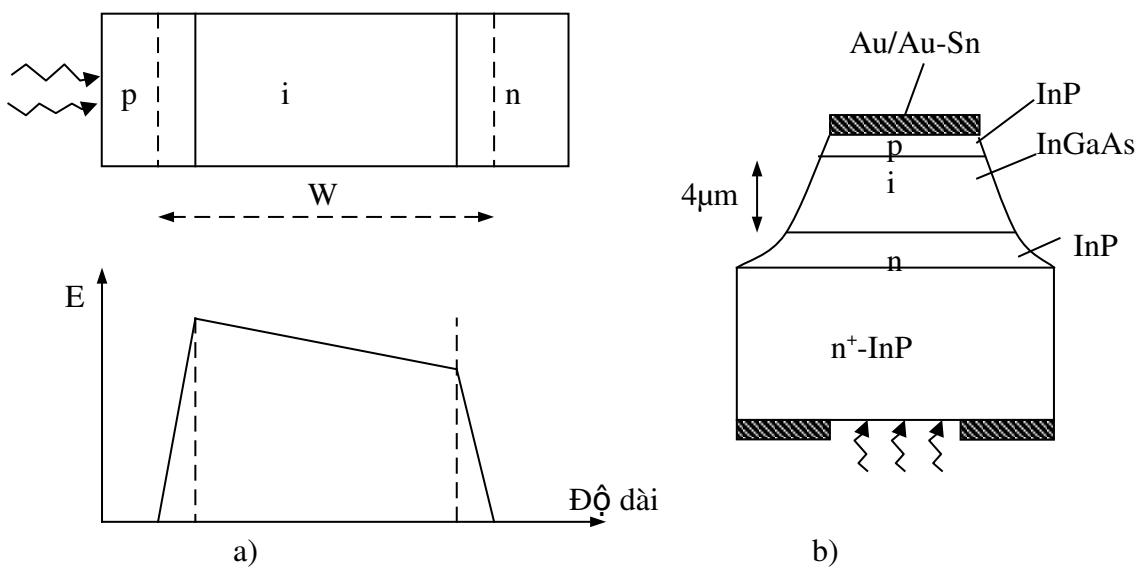
Bộ thu quang là phần chịu trách nhiệm chuyển đổi tín hiệu quang thu được từ môi trường truyền dẫn sang tín hiệu điện và phục hồi các số liệu đã truyền qua hệ thống thông tin quang này. Linh kiện chủ yếu để thực hiện chức năng chuyển đổi quang điện trong bộ thu quang là các bộ tách quang còn được gọi là detector. Hai bộ tách quang thường được sử dụng trong thông tin quang là photodiode loại PIN và APD.

#### 3.3.1. Photodiode PIN

Đây là bộ tách sóng quang thông dụng nhất được sử dụng. Đặc điểm của các Photodiode PIN là có thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao. Nó không có khả năng khuếch đại dòng quang điện nhưng nó lại tránh được sự khuếch đại nhiễu.

##### 3.3.1.1. Cấu trúc của PIN

Cấu trúc cơ bản của Photodiode PIN là bao gồm một lớp tiếp giáp p-n và cách giữa hai lớp bán dẫn này là nột lớp bán dẫn yếu loại N tự kích hoạt nội tại hay còn gọi là lớp tự dẫn i. Lớp p thường rất mỏng để hấp thụ hết các photon vàp lớp bán dẫn i. Lúc này độ rộng của vùng nghèo (W) được tăng vì chiều dài của lớp bán dẫn i (i càng dày thì W càng lớn).Thêm vào đó để tránh gây tổn hao ánh sáng vào thì trên bề mặt của vùng nghèo có phủ thêm một lớp chống phản xạ. Cấu trúc này được mô tả trong hình 3.27 sau.



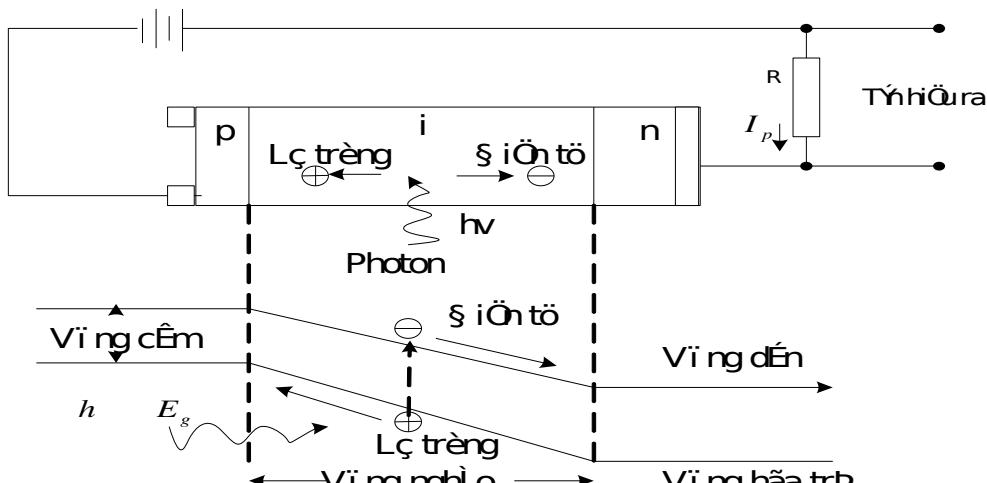
Hình 3.27 Cấu trúc PIN với phân bố trường dạng hình xiên(a) và  
cấu trúc PIN sử dụng vật liệu InGaAs (b).

### 3.3.1.2. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của Photodiode PIN dựa trên hiệu Ứng quang điện. Khi chiếu một photon có năng lượng lớn hơn năng lượng vùng cấm vào bề mặt bán dẫn của Photodiode thì quá trình hấp thụ photon xảy ra. Khi hấp thụ một photon, một điện tử được kích thích từ trạng hóa trị lên vùng dẫn để lại một trong trạng hóa trị một lỗ trống, ta nói photon đã tạo ra một cặp điện tử và lỗ trống (như hình 3.28).

Các cặp điện tử - lỗ trống này được sinh ra trong vùng nghèo. Khi có điện trường đặt vào linh kiện, sẽ có sự chuyển rời các điện tích về hai cực (điện tử về phía n và lỗ trống hút về phía p như hình 3.28) tạo ra dòng điện ở mạch ngoài, dòng điện này được gọi là dòng quang điện. Bình thường một photon chỉ có thể tạo ra một cặp điện tử - lỗ trống, với giả thiết hiệu suất lượng tử bằng 1, nghĩa là với một lượng photon xác định chỉ có thể tạo ra một dòng điện xác định. Tuy nhiên trong thực tế không được như vậy vì ánh sáng còn bị tổn hao do nhiều yếu tố trong đó có yếu tố phản xạ bề mặt.

## Quang



Hình 3.28 Sơ đồ vĩ ng nồng lõi ng cña PIN

Ta có công thức bức xạ quang bị hấp thụ trong vật liệu bán dẫn tuân theo hàm mũ sau :

$$P(x) = P_{in} (1 - e^{-\alpha(\lambda)x}) \quad (3-8)$$

Trong đó :  $P(x)$  là công suất quang được hấp thụ ở cự ly  $x$

$P_{in}$  là công suất quang tới

$\alpha(\lambda)$  là hệ số hấp thụ tại bước sóng  $\lambda$ .

Như vậy khả năng thâm nhập của ánh sáng vào lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì vậy, lớp bán dẫn p không được quá dày. Miền i càng dày thì hiệu suất lượng tử càng lớn, vì xác suất tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống tăng lên theo độ dày của miền này và do đó các photon có nhiều khả năng tiếp xúc với các nguyên tử hơn. Tuy nhiên, nếu độ dài miền i cao thì thời gian trôi của các hạt này dài hơn, xung ánh sáng đưa vào cũng phải tăng lên tương ứng với thời gian trôi tăng. Điều này khiến cho độ đáp ứng và băng tần điều biến bị hạn chế. Do đó, độ rộng của miền i không được quá lớn vì như thế tốc độ bớt sẽ bị giảm đi. Ta phải chọn độ dài miền i đủ rộng để đảm bảo điều kiện nhất định là hấp thụ hết photon trong vùng nghèo và không ảnh hưởng thời gian trôi.

Thường hay chọn :  $\frac{1}{W} = \frac{2}{\alpha}$  Với  $\alpha$  tùy thuộc vào vật liệu.

Khi bước sóng ánh sáng tăng thì khả năng đi qua bán dẫn cũng tăng lên, ánh sáng có thể đi qua bán dẫn mà không tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống. Do đó vật liệu bán dẫn phải được sử dụng ở bước sóng tối hạn. Bước sóng này được tính dựa vào độ rộng vùng cấm  $E_g$  theo công thức sau :

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} = \frac{1,24}{E_g (eV)}$$

**Quang**

Tóm lại PIN hoạt động dựa trên nguyên lý hấp thụ ánh sáng để biến đổi tín hiệu quang thu vào thành dòng tín hiệu điện. Các thông số biến đổi của chức năng này được phân tích ở phần tiếp theo sau đây.

**3.3.1.3 Đặc tính của PIN**

Đặc tính của Photodiode thường được đặc trưng bởi hệ số đáp ứng (còn gọi là độ nhạy của nguồn thu) và hiệu suất lượng tử  $\eta$ .

**A. Hiệu suất lượng tử**

Hiệu suất lượng tử được định nghĩa là xác suất để một photon rơi vào bề mặt linh kiện bị hấp thụ làm sinh ra một cặp điện tử và lỗ trống góp phần vào dòng điện mạch ngoài. Khi có nhiều photon đến bề mặt bán dẫn thì hiệu suất lượng tử là tỷ số của thông lượng các cặp điện tử và lỗ trống sinh ra góp phần tạo ra dòng quang điện ở mạch ngoài trên thông lượng của photon tới. Như vậy, hiệu suất lượng tử của PIN là tỷ số giữa số lượng hạt tải chạy trong mạch và số photon đi vào được bề mặt PIN trong cùng một đơn vị thời gian.

$$\frac{I_p/e}{P_{in}/h} \quad \text{với } h \text{ là độ đáp ứng của PIN} \quad (3-9)$$

Theo công thức 3-8 thì hiệu suất lượng tử phụ thuộc vào bước sóng. Khi ta xét đến phần ánh sáng bị phản xạ tại bề mặt tiếp xúc bán dẫn thì công suất truyền qua cửa ánh sáng chỉ còn là :  $P = P_{in} \cdot e^{-w}$  (1-R) với R là hệ số phản xạ của bề mặt bán dẫn. Lúc đó hiệu suất lượng tử của PIN sẽ được tính như sau :

$$\eta = (1 - R) [1 - \exp(-\alpha d)] \quad (3-10)$$

Thành phần d (độ dày vùng tự dẫn) công thức cho thấy rằng Photodiode PIN có hiệu suất lượng tử càng lớn khi kích thước vùng i càng lớn.

**B. Độ nhạy của PIN**

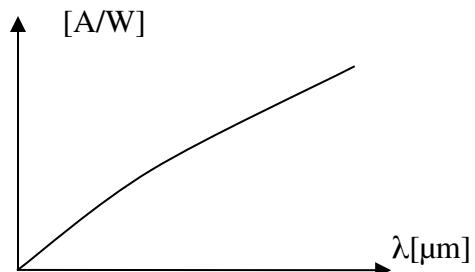
Khi hiện tượng hấp thụ ánh sáng xảy ra ở PIN thì có một dòng quang điện được sinh ở mạch ngoài. Dòng này tỷ lệ với công suất đi vào PIN, và được xác định theo công thức sau :  $I_p = . P_{in}$

Trong đó là độ nhạy của PIN. Theo công thức 3-9 ta suy ra :

$$\frac{e}{h} \quad \frac{.e}{h.c} \quad \frac{1}{1,24} \text{ [A/W]}$$

## Quang

Như vậy độ nhạy PIN tỷ lệ với bước sóng, với một hiệu suất lượng tử là hằng số thì độ nhạy PIN tăng tuyến tính theo bước sóng. Ta có hình 3.29 mô tả sự phụ thuộc của độ nhạy vào bước sóng.



Hình 3.29 Sự phụ thuộc của độ nhạy vào bước sóng.

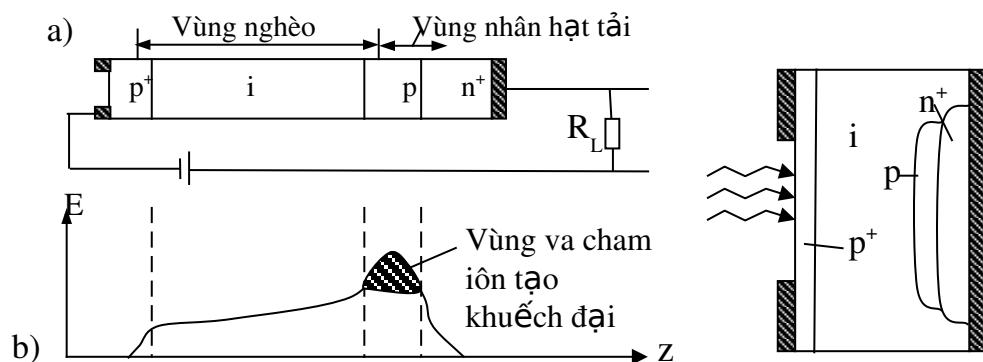
Mặt khác, hiệu suất lượng tử của PIN phụ thuộc vào một độ dày W của vùng trôi và hệ số hấp thụ  $\alpha$  của vật liệu bán dẫn tạo ra PIN. Do đó, độ nhạy của PIN cũng phụ thuộc vào hệ số hấp thụ của vật liệu bán dẫn hay phụ thuộc vào vật liệu bán dẫn lựa chọn để làm PIN.

### 3.3.2. Photodiode quang thác APD

Photodiode APD là loại Photodiode không chỉ có khả năng chuyển đổi quang điện như PIN mà còn có khả năng hoạt động với cơ chế khuếch đại bên trong, tức là dòng quang điện do APD tạo ra có khả năng được khuếch đại lên nhiều lần do một số cơ chế nhân hạt tải.

#### 3.3.2.1. Cấu trúc của APD

Về cơ bản, cấu trúc APD giống như cấu trúc của PIN nhưng APD bao gồm 4 lớp :  $p^+ - i - p - n^+$ . Bán dẫn  $p^+$ ,  $n^+$  là các bán dẫn pha tạp mạnh. Vùng nhân hạt tải của APD được hình thành do bán dẫn  $p - n^+$



Hình 3.30 Cấu trúc APD và phân bố năng lượng.

### 3.3.2.2. Nguyên lý hoạt động

APD cũng dựa vào hiện tượng hấp thụ như các Photodiode khác để tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống. Bên cạnh đó, APD còn hoạt động dựa trên nguyên lý khuếch đại dòng.

Ban đầu, khi các photon được chiếu vào bề mặt APD, chúng được hấp thụ và sản sinh ra một cặp điện tử và lỗ trống. Đặt một điện áp ngược vào APD như hình 3.30a, ta thấy có hiện tượng khuếch đại xảy ra khi điện áp này đạt đến một giá trị đủ lớn để gây hiệu ứng “thác lũ” : Các hạt mang trong vùng nhân p- n<sup>+</sup> có điện trường rất mạnh, điện trường này khiến cho chúng tăng năng lượng dần dần đến khi đạt được trạng thái iôn hóa, chúng được tăng tốc, va chạm vào các nguyên tử trong vùng nhân tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống mới. Các hạt mang điện mới này lại tiếp tục được tăng tốc, va chạm và tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống mới. Vì thế các hạt mang cứ tiếp tục nhân lên và dòng quang điện phát ra ngoài được khuếch đại mà ta gọi là hiệu ứng “thác lũ”. Ta có thể xét quá trình này thông qua các biểu thức toán học sau đây. Tốc độ sinh ra hạt tải thứ cấp được đặc trưng bởi các hệ số iôn hóa α<sub>e</sub> và α<sub>h</sub> [cm<sup>-1</sup>]. Đại lượng này cho biết số lượng hạt tải mới được sinh ra hay số lượng hạt tải dịch đi trong 1cm chiều dài. Lúc đó quá trình khuếch đại dòng của APD thể hiện qua phương trình tốc độ sau :

$$\frac{di_e}{dx} = \alpha_e \cdot i_e + \alpha_h \cdot i_h \quad \text{và} \quad \frac{di_h}{dx} = \alpha_e \cdot i_e + \alpha_h \cdot i_h$$

Trong đó : i<sub>e</sub>, i<sub>h</sub> là dòng điện tử - e và lỗ trống - h (tức là cả điện tử và lỗ trống đều tham gia vào quá trình nhân hạt tải) và dòng tổng là : I = i<sub>e</sub> + i<sub>h</sub>.

Nếu coi dòng tổng không đổi, ta có :  $\frac{di_e}{dx} = (\alpha_e - \alpha_h) i_e + \alpha_h \cdot I$

Xét trường hợp khả năng iôn hóa của điện tử lớn hơn của năng iôn hóa của lỗ trống ta có : α<sub>e</sub>>α<sub>h</sub>. Coi như dòng điện tử chiếm chủ yếu, và chỉ có điện tử di qua được vùng biên đến vùng bán dẫn n, thì i<sub>h</sub>(d) = 0    i<sub>e</sub>(d)=I. Ta có hệ số khuếch đại dòng (hay hệ số nhân M) được định nghĩa là tỷ lệ giữa dòng đã được khuếch đại và dòng khi chưa được khuếch đại. Như vậy :

$$M = \frac{i_e(d)}{i_e(0)} \quad \text{với } d \text{ là độ dày của vùng nhân hạt tải.}$$

Kết hợp với phương trình tốc độ ta có :

$$M = \frac{1}{\exp[-(1 - k_A) \frac{k_A}{e} d]} \quad \text{với } k_A = \frac{h}{e} \quad (3-11)$$

## Quang

Như vậy, APD đã thực hiện biến đổi dòng tín hiệu quang vào thành dòng tín hiệu điện ra, đồng thời khuếch đại dòng ra với một hệ số khuếch đại là M như công thức 3-11.

### 3.3.2.3. Đặc trưng của APD

Cũng như PIN, APD có các đặc trưng của một Photodiode, tuy nhiên vì APD có khả năng khuếch đại so với PIN nên các tham số đặc trưng của nó có thêm hệ số nhân M.

Độ nhạy của APD được xác định theo công thức sau :

$$APD = \frac{e}{h} \cdot M$$

Trong đó là độ nhạy của PIN.

Như vậy độ nhạy của APD cũng phụ thuộc vào bước sóng như PIN đồng thời cũng phụ thuộc vào hệ số khuếch đại. Thực chất cơ chế khuếch đại là một quá trình thống kê, nó phụ thuộc vào hệ số iôn hóa của các nguyên tử khác nhau.

Theo công thức 3-10, thì thấy rằng M rất nhạy cảm với các hệ số  $\alpha_e$ , và  $\alpha_h$ . Xét đối với các trường hợp khác nhau sau :

+ Khi  $\alpha_h = 0$  (quá trình nhân hạt tải chủ yếu chỉ do điện tử) thì  $k_A = 0$ .

Lúc đó :  $M = \exp(\alpha_e \cdot d)$

+ Khi  $\alpha_e = \alpha_h$  tương tự ta có :  $k_A = 1$ . Lúc đó ta có :

$$M = \lim_{\alpha_e \rightarrow \infty} \frac{1 - k_A}{\exp[-(1 - k_A) \frac{e}{h} d]} = \frac{1}{1 - \frac{e}{h} d}$$

Các vật liệu khác nhau thì hệ số iôn hóa điện tử và lõi trống khác nhau. Khi  $\alpha_e \cdot d \rightarrow 1$  thì  $M \rightarrow \infty$ , nên APD thường chọn  $\alpha_e \gg \alpha_h$  hoặc  $\alpha_h \gg \alpha_e$ . để quá trình nhân hạt tải chỉ bởi một loại hạt.

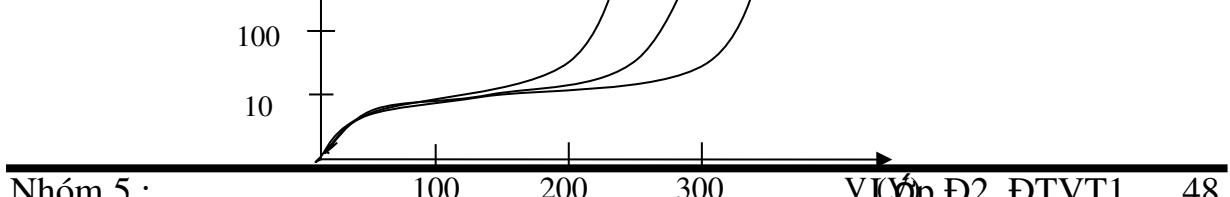
Bên cạnh đó M là một hàm phụ thuộc vào tần số :

$$M(\omega) = M_0 [1 + (\omega \tau_e M_0)^2]^{-1/2}$$

Trong đó :  $M_0$  là giá trị M tại  $\omega = 0$

$\tau_e$  là thời gian chuyển tiếp hiệu dụng

M còn là  $\frac{M}{V_b}$  (V) phụ thuộc vào nhiệt độ. Như mô tả trong hình 3.31 thì M tăng khi  $V_b$  tăng và đặc tuyến này tùy thuộc vào các nhiệt độ khác nhau.



### 3.4 BỘ khuếch đại

Như đã đề cập trong phần trước, khoảng cách truyền dẫn của bất kỳ hệ thống thông tin quang sợi nào cũng bị hạn chế bởi các suy hao hay tán sắc. Trong các hệ thống thông tin quang đường dài các mất mát quang này được khắc phục bằng các trạm lặp, trong đó tín hiệu quang suy giảm được biến đổi thành tín hiệu điện và được đưa vào bộ phát lại để phục hồi tín hiệu quang rồi tiếp tục truyền đi. Tuy nhiên khi sử dụng các hệ thống thông tin quang ghép theo bước sóng WDM thì các thiết bị lặp này lại gây ra khó khăn, vì đòi hỏi kỹ thuật và vật liệu phức tạp, tốn kém hơn.

Từ năm 1980, vấn đề khuếch đại quang trực tiếp bằng các linh kiện quang đã được nghiên cứu và trong những năm 1990 các hệ thống đường trực thông tin quang đã sử dụng các bộ khuếch đại quang trực tiếp một cách rộng rãi. Trong năm 1996, các bộ khuếch đại quang đã được sử dụng trong các tuyến cáp biển xuyên đại dương. Đến nay có nhiều bộ khuếch đại quang đã được nghiên cứu và ứng dụng như : khuếch đại quang Laser bán dẫn, các bộ khuếch đại quang pha tần đất hiếm, các bộ khuếch đại Raman sợi, và các bộ khuếch đại Brillouin sợi. Trong đó, hai bộ khuếch đại được sử dụng rộng rãi nhất là : khuếch đại quang bán dẫn (SOA) và khuếch đại quang sợi pha tần đất hiếm Er (EDFA) và lần lượt được xét trong phần này.

#### 3.4.1. Bộ khuếch đại quang bán dẫn.

Các bộ khuếch đại quang bán dẫn hoạt động chủ yếu dựa trên nguyên lý của Laser bán dẫn, nguyên lý khuếch đại được sử dụng trước khi xảy ra ngưỡng phát xạ Laser.

##### 3.4.1.1. Cấu trúc bộ SOA

Cấu trúc bộ SOA dựa trên cấu trúc của Laser bán dẫn thông thường, có độ rộng vùng tích cực  $W$ , độ dày  $d$  và chiều dài  $L$ , chỉ số chiết suất là  $n$ . Hình 3.35 mô tả một

**Quang**

bộ khuếch đại bán dẫn , tính phản xạ bể mặt đầu vào và ra được ký hiệu tương ứng là  $R_1$  và  $R_2$ .

Có hai loại khuếch đại quang bán dẫn đó là khuếch đại sóng chạy (Travelling Wave -TWA) và khuếch đại quang Fabry- Perot (FPA).

Bộ khuếch đại quang bán dẫn TWA là các Laser bán dẫn không có hộp cộng hưởng. Bộ này khuếch đại có hướng về phía trước mà không có phản hồi tín hiệu. Còn bộ khuếch đại quang FPA sử dụng các cạnh tinh thể là gương phản xạ trong bộ cộng hưởng (với  $R = 32\%$ ), khi dòng bom Laser bán dẫn ở dưới ngưỡng phát, nó sẽ hoạt động như một bộ khuếch đại, tuy nhiên các thành phần phản xạ trên ngưỡng vẫn tham gia vào quá trình khuếch đại.

### 3.4.1.2. Các thông số của bộ khuếch đại SOA

Các thông số trong các linh kiện khuếch đại bán dẫn bao gồm : hệ số khuếch đại, tệp âm và hiệu ứng nhạy phân cực.

a, Hệ số khuếch đại

Hệ số khuếch đại trong bộ khuếch đại quang bán dẫn được thể hiện thông qua công thức :  $G = P_{ra}/P_{vào}$ . Tùy thuộc vào bộ khuếch đại AW hay FP mà ta có hệ số khuếch đại khác nhau tuy nhiên một hệ số chung được xét cho các bộ SOA này là hệ số khuếch đại bão hòa (hay hệ số tăng ích bão hòa). Tăng ích (khuếch đại) đindh giả thiết sẽ tăng dần theo mật độ hạt tải như sau:

$$g(N) = (\frac{g}{V})(N - N_0) \quad (3-12)$$

Trong đó :  $\frac{g}{V}$  là yếu tố chẵn

$\frac{g}{V}$  là tăng ích vi phân

V là thể tích vùng hoạt tính

**Quang**

$N_0$  là giá trị của mật độ hạt tản cần thiết để môi trường trở nên trong suốt với bước sóng.

Hệ số khuếch đại giảm khi yếu tố chấn tính đến sự dãn nở của các mode dẫn sóng vượt ra khỏi vùng tăng ích. Mật độ hạt tản  $N$  thay đổi theo dòng bơm  $I$ . ta có công thức cho tốc độ thay đổi  $N$  là :

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{q} - \frac{N}{c} - \frac{g(N - N_0)}{m} P \quad (3-13)$$

Trong đó :  $P$  là công suất quang tín hiệu tới

$m$  là điện tích điện của mode dẫn sóng

$c$  là thời gian sống của hạt tản

Khi chấn sáng tới là liên tục hoặc là xung với độ rộng lớn hơn  $c$ , trạng thái dừng của  $N$  có thể xác định khi  $dN/dt = 0$ . Thay vào công thức 3-12 ta tính được  $N$ . Thay giá trị  $N$  ở trạng thái dừng vào công thức 3-11 Ta có :

$$g = \frac{g_o}{1 - \frac{P/P_s}{P_s}} \quad (3-14)$$

Trong đó :  $g_o = (\gamma_g/V)(I_c/q - N_0)$

$P_s = h \cdot m / (\gamma_g c)$  là công suất bão hòa của bộ khuếch đại.

Từ công thức ta thấy tăng ích bão hòa của SOA giống như hệ hai mức, lúc đó ta có công suất ra bão hòa của bộ khuếch đại là :

$$P_{ra}^s = \frac{G_o(\ln 2)}{G_o - 2} P_s$$

Giá trị của công suất ra bão hòa trong các bộ khuếch đại quang bán dẫn hiện nay thường là 5-10 mW.

**B. Tạp âm của SOA**

Tạp âm của SOA được định nghĩa là tỷ lệ giữa tỷ số tín hiệu trên tạp âm của tín hiệu vào và tín hiệu ra và được ký hiệu là  $F_n$ . Hệ số tạp âm này của SOA lớn hơn 3dB và phụ thuộc nhiều vào thông số, đặc biệt là yếu tố phát xạ ngẫu nhiên:

$$n_{sp} = \frac{N}{N - N_0}$$

## Quang

Sự mất mát quang nội như hấp thụ quang do hạt tải tự do và tán xạ sẽ đóng góp thêm tạp âm vào hình ảnh nhiễu thông qua hệ số tăng ích  $g - \alpha_{int}$ . Do đó ta có tạp âm bộ khuếch đại được tính như sau :

$$F_n = 2 \frac{N}{N - N_0} \frac{g}{g_{int}}$$

Thực tế giá trị thông thường của  $F_n$  trong bộ SOA nằm trong khoảng 5-7dB.

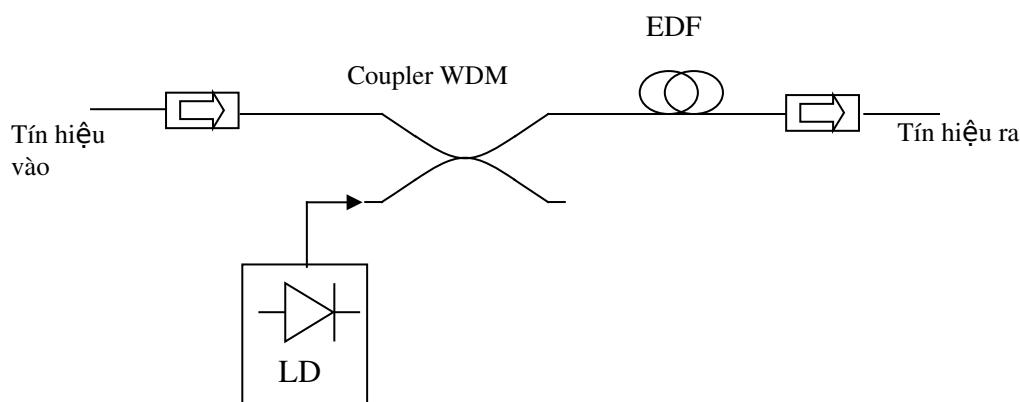
## C. Hiệu ứng nhạy phân cực

Hệ số khuếch đại  $G$  đối với các mode TE và TM là khác nhau ( 5-6dB) do  $G$  và  $\alpha$  khác nhau với các mode phân cực trực giao. Hiệu ứng trên dẫn tới hệ số khuếch đại phụ thuộc vào trạng thái phân cực của chمام sáng tới. Hiệu ứng này không có lợi cho các hệ thống thông tin quang.

Có rất nhiều phương án để làm giảm hiệu ứng nhạy phân cực của bộ khuếch đại SOA và phương án khả thi trong công nghệ chế tạo là độ dày và độ rộng của vùng hoạt tính phải tương thích. Thí dụ độ chênh lệch tăng ích giữa các mode TE và TM là 1,3dB khi độ dày của lớp hoạt tính là 0,26μm và độ dày là 0,4μm.

### 3.4.2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của bộ EDFA

Bộ khuếch đại quang sợi EDFA được cấu trúc bởi một đoạn quang sợi pha tạp Erbium cùng các thành phần cần thiết khác. Các thành phần này gồm các thành phần thiết bị ghép thu động WDM, bộ cách ly quang Isolator, Laser bơm... Ta có thể mô tả một bộ EDFA thực tế như hình 3.35. Đây là cấu hình bơm xuôi của bộ EDFA.

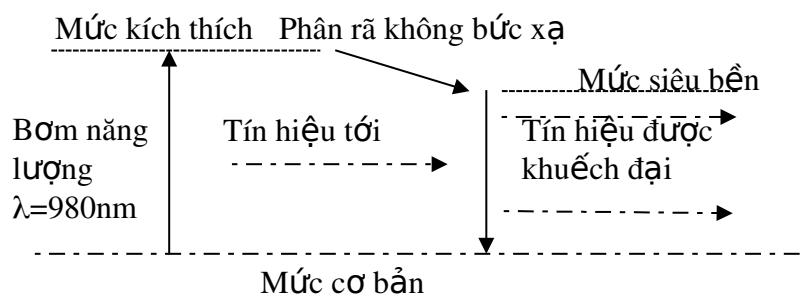


Hình 3.36 Cấu trúc điển hình của bộ khuếch đại quang sợi EDFA.

## Quang

Thành phần chính của bộ khuếch đại quang sợi EDFA là một đoạn sợi quang pha tệp Erbium, có chiều dài từ vài mét đến vài chục mét. Sợi này được xem là sợi tích cực vì chúng có khả năng khuếch đại hoặc tái tạo tín hiệu khi có kích thích phù hợp. Đoạn lõi sợi là thủy tinh  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  pha trộn đất hiếm Erbium với nồng độ 100 -2000 ppm. Các sợi EDFA thường có lõi nhỏ hơn và khẩu độ số NA cao hơn so với sợi tiêu chuẩn. Các iôn Erbium tập trung ở phần trung tâm của lõi. Ngoài sự pha tệp Erbium trong vùng lõi, cấu trúc đoạn sợi quang pha tệp là hoàn toàn giống với cấu trúc của sợi đơn mode. Lớp vỏ thủy tinh có chỉ số chiết suất thấp hơn được bao quanh lõi để hoàn thiện cấu trúc dẫn sóng. Đường kính ngoài của lớp vỏ này là 125 $\mu\text{m}$ .

Nguyên lý hoạt động của EDFA dựa vào đặc tính của nguyên tố Erbium- một nguyên tố có tính năng quang tích cực.



Hình 3.37 Giản đồ năng lượng của Erbium

Các iôn Erbium được bơm tới một mức năng lượng phía trên do sự hấp thụ ánh sáng từ một nguồn bơm, chẳng hạn như ở bước sóng 980nm. Sự chuyển dịch của điện tử từ mức năng lượng cao này xuống mức năng lượng cơ bản phát ra một photon, photon này được bức xạ có thể là do hiện tượng bức xạ tự phát hay bức xạ kích thích. Các photon tín hiệu trong EDFA kích thích sự “tái định cư” ở trạng thái kích thích và khuếch đại tín hiệu. Thời gian sống của điện tử ở mức năng lượng cao vào khoảng 14ms, đảm bảo rằng nhiều bức xạ gây ra do quá trình bức xạ tự phát thay bằng các bức xạ kích thích do các nguyên tử Erbium.

Sự hấp thụ ánh sáng bơm kích thích các iôn Erbium mà chúng tích trữ năng lượng sẽ xảy ra cho đến khi một cách lý tưởng là có một photon tín hiệu kích thích sự chuyển đổi nó thành một iôn tín hiệu khác. Ánh sáng bơm được truyền dọc theo sợi có pha Erbium và bị hấp thụ khi các iôn Erbium được đưa đến trạng thái kích thích. Do đó khi tín hiệu được truyền vào bộ EDFA, nó kích thích sự phát xạ của ánh sáng từ các iôn ở trạng thái kích thích, và khuếch đại công suất tín hiệu ở đầu ra.

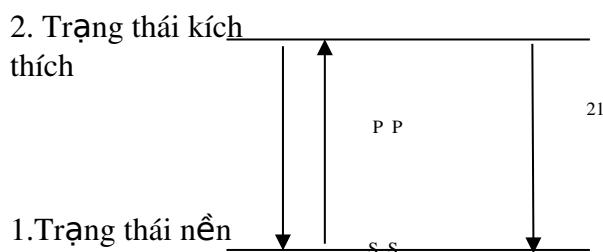
Quang

### 3.4.2.2. Đặc tính của bộ EDFA

Bộ EDFA cũng có những thông số như một bộ khuếch đại như các thông số về độ khuếch đại, tần số, độ nhạy phân cực. Sau đây lần lượt xét các thông số đặc tính này.

#### A. Hệ số khuếch đại

Hệ số khuếch đại công suất ra và nhiễu khuếch đại là các đặc tính quan trọng nhất của EDFA trong việc dựng nó trong hệ thống thông tin quang. Hệ số khuếch đại là tỷ số giữa công suất tín hiệu ra và công suất tín hiệu vào ở bước sóng 1530nm và 1550nm mà tại đó EDFA có khả năng khuếch đại cao nhất. Hệ số này của EDFA phụ thuộc nhiều vào thông số của linh kiện như: nồng độ iôn  $\text{Er}^{+3}$ , độ dài khuếch đại, bán kính lõi sợi và bán kính pha tapers, công suất bơm ... Để xác định hệ số khuếch đại này ta xét mô hình 2 mức năng lượng của EDFA (bở qua mức trung gian)



Hình 3.38 Giản đồ năng lượng

Gọi mật độ hạt ở mức năng lượng 1, 2, lần lượt là  $N_1, N_2$ . Ta có phương trình tốc độ được viết như sau :

$$\frac{N_2}{t} = W_p N_1 - W_s (N_2 - N_1) \quad \frac{N_2}{T_1} \quad \text{và } N_1 = N_t - N_2 \quad (3-15)$$

Trong đó :  $N_t$  là mật độ của nguyên tử

$T_1$  là thời gian sống ở mức kích thích

$W_p, W_s$  là tốc độ chuyển đổi của sóng bơm và sóng tín hiệu.

Ta có :  $W_p = P_p / a_p \cdot h_p$  và  $W_s = P_s / a_s \cdot h_s$  (3-16)

Với  $a_p, a_s$  là tiết diện chuyển đổi của tần số bơm và tín hiệu tại tần số bơm  $f_p$  và tần số tín hiệu  $f_s$

$a_p, a_s$  là diện tích tiết diện cả mode bơm và mode tín hiệu

$P_p$  và  $P_s$  là công suất bơm và công suất tín hiệu.

## Quang

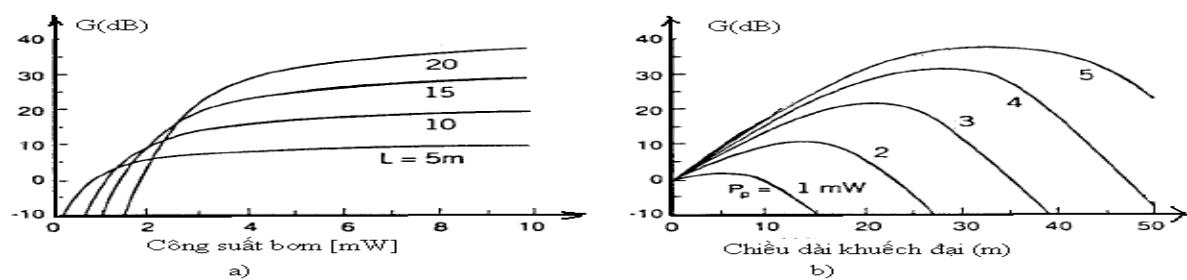
Từ việc giải các phương trình 3-15 và 3-16 ta xác định được công suất bão hòa:

$$P_p^{sat} = \frac{a_p h_p}{p T_1} \quad \text{và} \quad P_s^{sat} = \frac{a_p h_s}{s T_1}.$$

Công suất bơm phụ thuộc và công suất tín hiệu thay đổi dọc theo độ dài bộ khuếch đại bởi hấp thụ, phát xạ cưỡng bức và phát xạ ngẫu nhiên. Nếu coi thành phần tham gia của phát xạ ngẫu nhiên rất nhỏ, có thể bỏ qua, thì ta có thể xác định được giá trị tăng của công suất tín hiệu được khuếch đại trong EDFA. Hệ số khuếch đại còn phụ thuộc vào độ dài bộ khuếch đại  $L$  khi ta có dòng bơm cố định, khi độ dài  $L$  lớn hơn giá trị tối ưu của dòng bơm, đoạn sợi pha tạp thừa sẽ không được bơm đủ và trong bộ khuếch đại sẽ xảy ra hiện tượng hấp thụ tín hiệu đã được khuếch đại ở trước. Ta có biểu đồ hệ số khuếch đại phụ thuộc vào công suất bơm và chiều dài khuếch đại như hình 3.38.

### B. Tạp âm của bộ khuếch đại

Tạp âm trong bộ khuếch đại quang sợi được đánh giá thông qua các hệ số tạp âm  $F_n = 2n_{sp}$  đã được phân tích ở trên. Yếu tố phát xạ ngẫu nhiên  $n_{sp}$  luôn lớn hơn 1 vì vậy  $F_n$  luôn lớn hơn 3dB. Vì hệ số phát xạ ngẫu nhiên là thành phần phụ thuộc vào mật độ hạt tải  $N_1$  và  $N_2$  nên  $F_n$  cũng như hệ số khuếch đại, nó cũng phụ thuộc vào công suất dòng bơm, công suất tín hiệu và chiều dài khuếch đại. Thực nghiệm cho thấy: với  $F_n = 3,2$  dB của bộ khuếch đại EDFA thì có độ dài 30m và bơm với công suất 11mW ở bước sóng 980nm.



Hình 3.38 Hệ số khuếch đại với hàm công suất bơm (a) và chiều dài khuếch đại (b) của bộ EDFA ở bước sóng 1480nm

### 3.5. Bộ chuyển đổi bước sóng

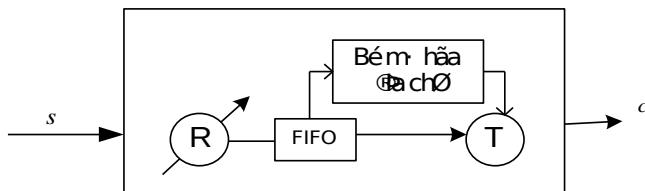
Bộ chuyển đổi bước sóng được sử dụng nhằm chuyển bước sóng của một tín hiệu vào thành một bước sóng khác. Chúng có thể được sử dụng như một phần của chuyển mạch, bộ nối chéo hay một bộ lặp 3R. Các bộ lặp 3R là thiết bị có khả năng tái sinh biên độ tín hiệu trong miền tần số cũng như miền thời gian.

Bộ chuyển đổi bước sóng có thể là thiết bị quang điện (không phổ biến) hoặc có thể là thiết bị dựa trên cơ sở cách tử quang hoặc bộ trộn sóng.

## Quang

### 3.5.1. Bộ chuyển đổi bước sóng quang điện

Trong bộ chuyển đổi bước sóng quang điện, tín hiệu quang đầu tiên được chuyển sang miền điện thông qua sử dụng Photodetector (ký hiệu R). Luồng bốt điện được lưu lại trong một bộ đếm theo nguyên lý FIFO. Sau đó tín hiệu điện này được hướng vào một Laser điều chỉnh (ký hiệu T) để điều khiển bước sóng mong muốn ở đầu ra. Hình 3.39 mô tả bộ chuyển đổi bước sóng quang điện.



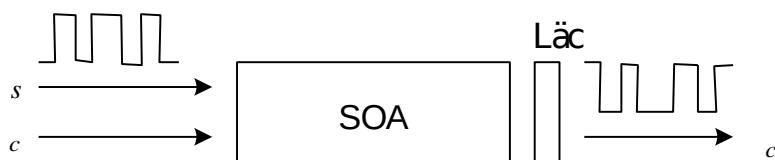
Hình 3.39 Bé chuyÓn ®e b- í c säng quang ®Ön

Nhược điểm của bộ này là ảnh hưởng đến tính trong suốt của tín hiệu. Ngoài ra nó còn yêu cầu tín hiệu phải có dạng và tốc độ bốt cố định.

### 3.5.2. Bộ chuyển đổi bước sóng dụng cách tử quang

Hai khả năng ứng dụng cách tử quang cho bộ chuyển đổi bước sóng là : Khả năng điều chế độ lợi chéo (cross-gain converter- XGC) và điều chế pha chéo (cross phase converter - XPC).

XGC sử dụng độ lợi của các bộ khuếch đại bán dẫn SOA theo công suất đầu vào. Tín hiệu dò công suất thấp với bước sóng mong muốn được gửi tới bộ SOA. Vì tín hiệu dò có độ lợi thấp hơn so với tín hiệu đầu vào nên nó sẽ đạt được độ lợi cao khi tín hiệu đầu vào có trạng thái 1 (độ lợi thấp). Ngược lại tín hiệu dò sẽ có độ lợi thấp khi tín hiệu đầu vào có trạng thái 0 (độ lợi cao). Hình 3.40 chỉ ra nguyên lý của XGC.



Hình 3.40 Nguyên lý cña XGC

XPC sử dụng pha của tín hiệu dò để thay đổi cơ ban tín hiệu vào. Sau đó chuyển sang điều chế mật độ bằng việc sử dụng giao thoa kẽ. Phương pháp này có ưu điểm hơn XGC vì nó chỉ cần cung cấp công suất thấp.Thêm vào đó, nó không bị ảnh hưởng nhiều nếu méo xung.

**Quang**

### **3.5.3 Bộ chuyển đổi bước sóng dụng bộ trộn sóng**

Ý tưởng của bộ này là tạo một tín hiệu mong muốn bằng việc sử dụng các tín hiệu dò với các bước sóng mà khi đi cùng với tín hiệu vào có thể định dạng được tín hiệu ở đầu ra với bước sóng mong muốn.

Ưu điểm của bộ trộn sóng là giữ được tính trong suốt của tín hiệu. Tuy nhiên nó lại tạo thêm tín hiệu ở đầu ra, do đó muốn thu được tín hiệu mong muốn thì phải lọc.

## CHƯƠNG 4 THIẾT KẾ TUYẾN THÔNG TIN QUANG

### 4.1 KHÁI QUÁT

#### Trình tự thiết kế tuyến

- Chọn tuyến
- Chọn cáp quang
- Tính toán chiều dài cực đại cho phép của thiết bị
- Kiểm tra suy hao

Mạng viễn thông công cộng thường được chia làm 3 phần:

Mạng đường trực (Trunk network)

Mạng trung kế (Junction network)

Mạng thuê bao (Subscriber network)

Sợi quang hiện nay được sử dụng trong mạng đường trực và trung kế. Trong tương lai tiến tới sử dụng sợi quang trong mạng thuê bao, nghĩa là tới tận người sử dụng.

Ngoài ra sợi quang còn được dùng trong các mạng khác như:

Mạng riêng của các công ty đường sắt, điện lực, ...

Mạng truyền số liệu, mạng LAN.

Mạng truyền hình.

Kỹ thuật thông tin quang đã và đang phát triển với tốc độ rất nhanh. Cho đến nay đã có nhiều thế hệ hệ thống quang được sử dụng. Chúng khác nhau về loại sợi quang, bước sóng hoạt động, loại linh kiện thu phát quang. Khi thiết kế một hệ thống thông tin quang người ta cố gắng chọn các phần tử trong cùng một thế hệ để giảm chi phí cho việc đầu tư về thiết bị đo, phương tiện lắp đặt, thiết bị và cáp dữ trữ, huấn luyện người sử dụng... Khi cần chọn lựa các phần tử trong cùng một hệ thống thông tin quang cần cân nhắc giữa yêu cầu truyền dẫn của hệ thống và đặc tính của các phần tử. Cơ sở của việc chọn lựa được tóm tắt như sau:

Sợi quang: sợi đơn mode (SM) có khả năng truyền dẫn tốt hơn sợi đa mode (MM) cả về độ suy hao lẫn dải thông. Ngày nay sự chênh lệch về giá thành giữa sợi đơn mode và sợi đa mode không đáng kể. Việc hàn nối, đo thử sợi đơn mode cũng không còn là vấn đề khó khăn nên sợi quang đơn mode đang được dùng rộng rãi. Chỉ những tuyến cự ly gần và dung lượng thấp người ta mới nghĩ đến việc dùng sợi đa mode.

## Quang

Bước sóng: giá thành của các phần tử hoạt động ở bước sóng 850nm là thấp nhất. Nhưng độ suy hao của sợi quang ở bước sóng này quá cao và các photo diốt sử dụng cho bước sóng 850nm thường chế tạo bằng silicon không thể thu được ở bước sóng dài (1300nm và 1550nm).

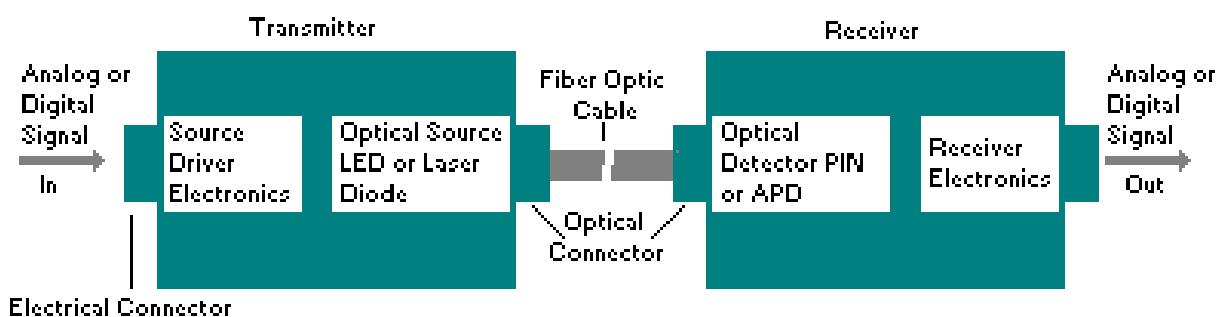
Bước sóng 1300nm đang được sử dụng phổ biến vì ở đó độ tán sắc của sợi là thấp nhất. Khi cần cự ly tiếp vận dài người ta chọn bước sóng 1550nm do độ suy hao ở bước sóng này thấp nhất. Đặc biệt nếu dựng sợi đơn mode dịch tán sắc (SMDS) thì độ tán sắc ở bước sóng 1550nm cũng rất nhỏ.

Linh kiện phát quang: có hai khả năng để chọn lựa là LED và laze, LED hoạt động ổn định hơn và giá thành rẻ hơn nên được chọn dùng cho những hệ thống mà sự hạn chế về công suất phát và bề rộng phổ của nó không ảnh hưởng đến hệ thống. Laze được chọn dùng trong những tuyến có cự ly dài và tốc độ truyền dẫn cao. Laze cũng có nhiều loại với những đặc tính khác nhau và dĩ nhiên giá thành cũng khác nhau.

Linh kiện thu quang: có thể chọn PIN và APD. PIN hoạt động ổn định hơn nhưng bị hạn chế về độ nhạy và tốc độ làm việc. Ngày nay người ta thường chọn APD hoặc PIN kết hợp với FET.

Các hệ thống truyền dẫn số ở Việt nam xây dựng theo hệ thống ghép kênh của Châu Âu. Một kênh thoại tiêu chuẩn có phổ giới hạn từ 0.3 đến 3.4kHz được chuyển sang dạng số có tốc độ 64kbit/s.

## 4.2. THIẾT KẾ MỘT TUYẾN THÔNG TIN QUANG



Sơ đồ tuyến thông tin quang đơn giản

Một tuyến truyền dẫn quang có thể hiểu đơn giản là một đường truyền quang giữa hai điểm, gồm một bộ phát, một cáp quang và một bộ thu. Bộ phát biến đổi các tín hiệu điện thành ánh sáng. Ánh sáng được đưa vào cáp quang để truyền tới bộ thu. Bộ thu lại biến đổi tín hiệu ánh sáng ngược lại thành tín hiệu điện. Lượng ánh sáng được đưa vào cáp quang được hiểu là công suất ghép nối của bộ thu. Với các cáp quang có kích thước khác nhau, lượng ánh sáng đưa vào cũng khác nhau. Cáp càng lớn thì ánh sáng đưa vào càng được nhiều. Cáp có hai loại chuẩn,

**Quang**

đơn mốt (thường dùng trong đường truyền dài, hay viễn thông) và đa mốt (dùng trong thông tin cự ly gần dưới 4.8 km). Bộ thu nhận tín hiệu ánh sáng từ cáp quang tới và biến đổi thành tín hiệu điện tiêu chuẩn. Sự chênh lệch lượng ánh sáng đưa vào cáp quang và lượng ánh sáng cần cho bộ thu được gọi là quỹ công suất tuyế. Việc tính toán một tuyến truyền dẫn quang có thể được tiến hành theo nhiều hướng khác nhau tùy yêu cầu đặt ra, chẳng hạn:

- Tính cự ly tối đa của đoạn tiếp vận khi biết tốc độ bit cần truyền dẫn và đặc tính của các phần tử trong tuyến.
- Tính giới hạn đặc tính của các phần tử khi biết tốc độ và cự ly cần truyền.

Hướng thứ nhất được thực hiện khi cần xác định vị trí và số lượng các trạm tiếp vận trên các tuyến dài. Hướng thứ hai dùng để chọn loại sợi quang, thiết bị thu phát quang khi đã biết cự ly thông tin.

Cự ly tối đa của đoạn tiếp vận phải được lưu ý cả về quỹ công suất lẫn dải thông vì chỉ cần một trong hai bị giới hạn thì thông tin giữa hai trạm cũng không thực hiện được. Nếu quỹ công suất bị giới hạn thì công suất của tín hiệu quang đến đầu thu dưới mức ngưỡng của máy thu. Còn nếu dải thông bị giới hạn (do tần số cao) thì tín hiệu quang đến đầu thu bị méo dạng, các xung bị nới rộng quá mức giới hạn nên không còn nhận được xung “1” hoặc xung “0”.

Thông thường người ta tính cự ly tối đa giới hạn bởi quỹ công suất rồi nghiêm lại xem dải thông ở cự ly đó có đủ rộng cho tín hiệu cần truyền không. Nếu dải thông của đoạn tính được rộng hơn dải thông của tín hiệu cần truyền thì cự ly giới hạn bởi quỹ công suất được chọn. Ngược lại phải giảm cự ly để dải thông của tuyến đủ rộng cho tín hiệu cần truyền.

**4.2.1. Bước 1: Tính cự ly giới hạn bởi công suất****Các thông số cần biết:**

Công suất phát của nguồn quang:

Công suất bộ phát phải được định nghĩa là công suất ánh sáng đưa vào một cáp quang cho trước. Khi vùng tích cực của cáp quang giảm, lượng công suất đưa vào cũng giảm. Ngoài kích thước của cáp quang, còn một thông số quan trọng nữa của cáp quang là góc nhận ánh sáng, thường được định nghĩa là NA (khẩu độ số) của cáp. NA là hàm sin của góc nhận ánh sáng của cáp quang. NA giảm khi vùng tích cực giảm, do đó làm giảm góc nhận ánh sáng.

Nếu sợi cáp càng nhỏ và góc nhận ánh sáng càng nhỏ thì lượng ánh sáng đi vào cáp quang để truyền đi tới đầu kia của tuyến cũng nhỏ. Bảng 1 cho ta kết quả lý thuyết các tỉ số khi sử dụng các cáp với đường kính khác nhau.

**Quang**

**Bảng 1:** Bảng hệ số ghép ánh sáng từ một LED vào các cáp quang có đường kính khác nhau (tỉ số/ dBm)

Công suất này phụ thuộc:

- + Loại nguồn quang: LED, laser.
- + Tốc độ bit hoạt động
- + Đường kính lõi sợi quang (liên quan đến hệ số ghép ánh sáng)

Độ nhạy của máy thu quang:

Thường tính ở mức lỗi BER =  $10^{-9}$ , độ nhạy của bộ thu quang biểu diễn theo đơn vị dBm (tương đương với 1mW) và mW giống như công suất của bộ phát. Trong hầu hết các trường hợp, bộ thu được thiết kế với một độ nhạy nhất định và không dễ thay đổi được. Khi thiết kế bộ thu quang, người ta tính đến tốc độ và độ nhạy. Thời gian đáp ứng của bộ thu càng nhanh thì độ nhạy càng kém. Độ nhạy phụ thuộc:

- + Loại linh kiện thu quang
- + Tốc độ bit
- + Bước sóng hoạt động

Các yếu tố suy hao:

- + Suy hao trung bình của sợi quang: phụ thuộc loại sợi và bước sóng hoạt động. Thông số này tính được bằng cách nhân chỉ số suy hao  $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$  của sợi quang với chiều dài sợi. Người ta thường gọi các suy hao xảy ra trong khoảng 100m đầu sợi quang nối với LED là suy hao tức thời. Với các đoạn sợi quang ngắn hơn thì suy hao trên mỗi kilômét lớn hơn thông số mà nhà sản xuất đưa ra.
- + Suy hao của các mối hàn (splice) và của các khớp nối (connector): phụ thuộc loại và số lượng khớp nối được dùng. Tối thiểu phải có 2 khớp nối cho hai đầu sợi. Suy hao trung bình của mỗi khớp nối là 0.5 dB. Các suy hao này có thể tính được dễ dàng bằng cách nhân giá trị suy hao đo được hoặc thông số do nhà sản xuất cung cấp với số lần xuất hiện các linh kiện này trên tuyến. Với số lượng linh kiện nhỏ, sử dụng chỉ số suy hao cao nhất cho mỗi linh kiện. Với số lượng linh kiện lớn, sử dụng chỉ số suy hao trung bình cho mỗi linh kiện.
- + Suy hao của cáp nội dài: có thể bỏ qua nếu chiều dài cáp trong dài ngắn.

Suy hao dự phòng:

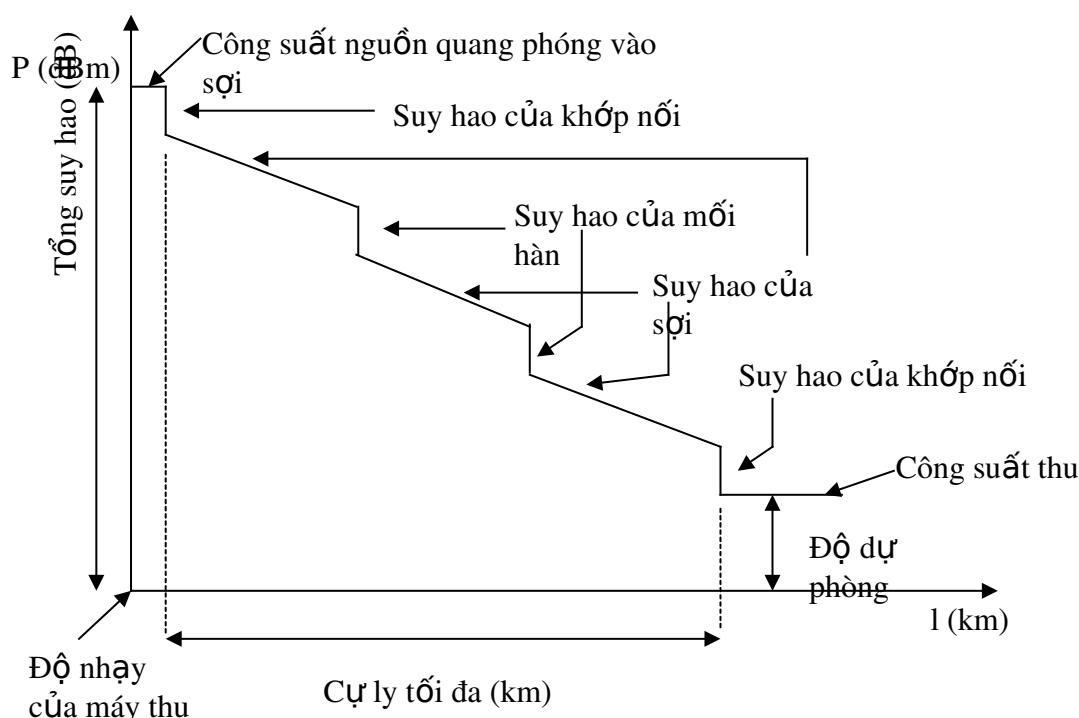
- + Dự phòng cho cáp: suy hao của cáp có thể tăng lên theo thời gian sử dụng do nhiệt độ thay đổi, sự tấn công của độ ẩm, sự xuất hiện các

## Quang

mỗi hàn phụ khi sửa chữa. Thông thường nên đặt suy hao dự phòng cho cáp khoảng 0.2 đến 0.3 dB/km.

- + Dự phòng cho thiết bị: Công suất phát của nguồn quang giảm dần theo thời gian sử dụng. Độ nhạy của máy thu cũng kém dần. Các mạch điện của thiết bị cũng có thể bị lão hóa. Do đó cần đặt suy hao dự phòng cho thiết bị từ 3 đến 5dB. Đôi khi độ dự phòng đã được tính trong công suất phát và độ nhạy máy thu.

Sự phân bố suy hao trên tuyến được biểu diễn trên hình vẽ:



**Hình: Phân bố suy hao trên một tuyến thông tin quang**

### Cách tính:

Tính quỹ công suất tổng quát:

Gọi  $P_S$ : công suất phông của nguồn quang tại điểm S (dBm)

$P_R$ : độ nhạy của máy thu tại điểm R (dBm)

$L_m$ : suy hao dự phòng cho thiết bị (dB)

$L_c$ : suy hao của các khớp nối (dB)

Quỹ công suất của tuyến là:  $P_b$  (dB) =  $P_S - P_R - L_m - L_c$

Tính suy hao của cáp:

Gọi  $L_f$ : độ suy hao trung bình của sợi quang (dB/km)

$L_f$ : suy hao trung bình của mối hàn trên mỗi km (dB/km)

Có thể lấy giá trị gần đúng:

$$\frac{\text{suy hao trung bình mci mèi hìn (dB)}}{\text{chiều dài cáp (km)}}$$

**Quang**

$m$ : suy hao dự phòng cho cáp (dB/km)

Suy hao trung bình của cáp là:  $L_c$  (dB/km) =  $f - s - m$

Khoảng cách tối đa của đoạn tiếp vận:

$$\text{Khoảng cách tiếp vận}(km) = \frac{\text{Quy cung suy hao trung binh cua canh}(dB)}{\text{Suy hao trung binh cua canh}(km)}$$

$$L(km) = \frac{P_b}{c} + \frac{P_s}{f} + \frac{P_R}{s} + \frac{L_m}{m} + L_c$$

**Bảng giá trị suy hao trung bình**

Các giá trị suy hao trung bình trên tuyến thông tin quang					
Bước sóng và mốt	Kích thước sợi	Suy hao trên sợi (dB/km)	Suy hao tại mối hàn (dB/mối)	Suy hao tại khớp nối (dB/đầu nối)	Băng thông (MHz x km)
850nm / NM	62.5/125	3dB	0.1dB	1.0dB	160
1300nm / NM	62.5/125	1dB	0.1dB	1.0dB	500
850nm / NM	50/125	3dB	0.1dB	1.0dB	400
1300nm / NM	50/125	1dB	0.1dB	1.0dB	500
1310nm / SM	9/125	0.3dB	0.1dB	1.0dB	vô cùng
1550nm / SM	9/125	0.2dB	0.1dB	1.0dB	vô cùng

**4.2.2. Bước 2: Cụ ly giới hạn do dài thông****Các thông số cần biết:**

Tốc độ bit cần truyền: 8 – 34 – 140- 565 Mbit/s

Loại mã đường dây được sử dụng: khi dùng mã 1B2B thì tốc độ bit tăng đôi, khi dùng mã 5B6B thì tốc độ bit tăng 6/5 lần.

Độ tán sắc mode (nếu dùng sợi đa mode). Thông thường độ tán sắc mode được cho dưới dạng dài thông giới hạn bởi tác sắc mode, đơn vị GHz/km.

Độ tán sắc sắc thể: thường chỉ tính tán sắc chất liệu và bỏ qua tán sắc dẫn sóng.

**Quang**

**Độ rộng phổ** của nguồn quang

**Cách tính:**

Dải thông và độ tán sắc của tuyến tỷ lệ nghịch với nhau theo biểu thức:  $B = \frac{0.44}{D_t}$

Trong đó  $B$  là dải thông, đơn vị GHz

$D_t$  là độ tán sắc, đơn vị ns

Do đó thay vì so sánh dải thông của tuyến với dải thông của tín hiệu cần truyền người ta so sánh độ tán sắc tổng cộng của tuyến với độ tán sắc tối đa cho phép của tín hiệu.

Tính độ tán sắc của tuyến:

$$D_t = \sqrt{D_{mod}^2 + D_{chr}^2}$$

trong đó:  $D_t$ : tán sắc tổng cộng

$D_{mod}$ : tán sắc mode, được tính theo công thức:  $D_{mod} = \frac{0.44}{B_L(GHz.km)} \cdot L(km)$

$B_L$ : dải thông giới hạn bởi tán sắc mode

$L$ : cự ly giới hạn bởi quỹ công suất

$D_{chr}$ : tán sắc sắc thể

$$D_{chr} = D_{mat} + D_{wg} \quad D_{wg} \ll D_{mat}$$

$$D_{chr} = D_{mat} = d_{mat} \quad L$$

$D_{mat}$ : tán sắc chất liệu của tuyến (ns)

$D_{wg}$ : tán sắc ống dẫn súng (ns)

$d_{mat}$ : tán sắc chất liệu đơn vị (ns/nm.km)

: độ rộng phổ của nguồn quang (nm)

Tính độ tán sắc tối đa cho phép:

Độ tán sắc tối đa cho phép phụ thuộc vào tốc độ bit thực tế của chuỗi xung trên đường dây, phụ thuộc vào cấp ghép kênh và loại mã đường dây được sử dụng.

Độ tán sắc tối đa được tính theo công thức:

$$D_{max} = \frac{1}{4Br(Gbit/s)}$$

$Br$ : tốc độ bit thực sự trên đường dây quang.

$Br =$  tốc độ bit hệ số tăng bit của mã đường dây.

So sánh độ tán sắc của tuyến với độ tán sắc tối đa:

Nếu  $D_t > D_{max}$ : dải thông không bị giới hạn

Nếu  $D_t < D_{max}$ : dải thông bị giới hạn

Trường hợp sau phải giảm cự ly của đoạn tiếp vận sao cho  $D_t = D_{max}$ .

Sợi đơn mode chỉ có tán sắc sắc thể nên:  $D_t = D_{chr} = d_{mat} = L$

**Quang**

Do độ tán sắc của sợi đơn mode rất nhỏ, đặc biệt khi dùng ở bước sóng 1300nm, nên dải thông của sợi đơn mode rất rộng. Trong nhiều trường hợp người ta không cần tính đến bước 2 đối với sợi đơn mode.

**4.2.3 Bài toán cụ thể**

Xét tuyến truyền dẫn quang (đường trực Hà Nội ---- Hà Nam). Biết khoảng cách tuyến là 80km. Dụng sợi đơn mode chiết suất nhảy bậc (SI) để truyền tốc độ 140Mbit/s với mã đường dây 5B6B và thông số của các phần tử như sau:

Công suất phát của nguồn quang (Laser):  $P_s = -0.5\text{dB}$

Độ nhạy của máy thu quang:  $P_r = -44\text{dB}$

Suy hao của mỗi connector:  $L_c = 0.5\text{ dB}$ ; mỗi đầu dùng 2 connector.

Suy hao trung bình của sợi:  $f = 0.4\text{ dB/km}$  (ở bước sóng 1300nm)

Suy hao mỗi mối hàn:  $s = 0.1\text{ dB}$ , mỗi cuộn cáp dài 2km

Tán sắc chất liệu:  $d_{mat} = 3\text{ps/nm.km}$  (ở bước sóng 1300nm)

Độ rộng phổ của nguồn quang:  $= 3\text{nm}$ .

Suy hao dự phòng cho thiết bị:  $L_m = 3\text{dB}$

Suy hao dự phòng cho cáp:  $m = 0.25\text{dB/km}$ .

**CÁCH TÍNH**

Cự ly tối đa của đoạn tiếp vận được tính như sau:

Bước 1: Cự ly giới hạn quỹ công suất:

- Quỹ công suất:

$$P_b = P_s - P_r - L_m - L_c$$

$$P_b = -0.5\text{dB} - (-44\text{dB}) - 3\text{dB} - 4 \times 0.5\text{dB}$$

$$P_b = 38.5\text{dB}$$

- Suy hao trung bình của cáp:

$$c = f + s + m$$

$$c = 0.4 + 0.1/2 + 0.25$$

$$c = 0.7\text{dB/km}$$

Cự ly giới hạn bởi quỹ công suất:

$$L = \frac{P_b}{c} = \frac{38.5\text{dB}}{0.7\text{dB/km}}$$

$$L = 55\text{km}$$

Bước 2:

- Độ tán sắc tổng cộng:

$$D_t = \sqrt{D_{mod}^2 + D_{chr}^2} - D_{chr}$$

**Quang**

$$D_t = D_{chr} = d_{mat} \cdot L$$

$$= 3\text{ps/nm.km} \times 3\text{nm} \times 55\text{km}$$

$$= 0.5\text{ns}$$

- Độ tán sắc tối đa cho phép:

$$D_{max} = \frac{1}{4Br} = \frac{1}{4 \cdot 140 \cdot 10^3 \text{ Gbit/s}} = \frac{6}{5} \text{ ns}$$

$$D_{max} = 1.5\text{ns}$$

- So sánh độ tán sắc:

$D_t < D_{max}$ : nên dài thông không bị giới hạn

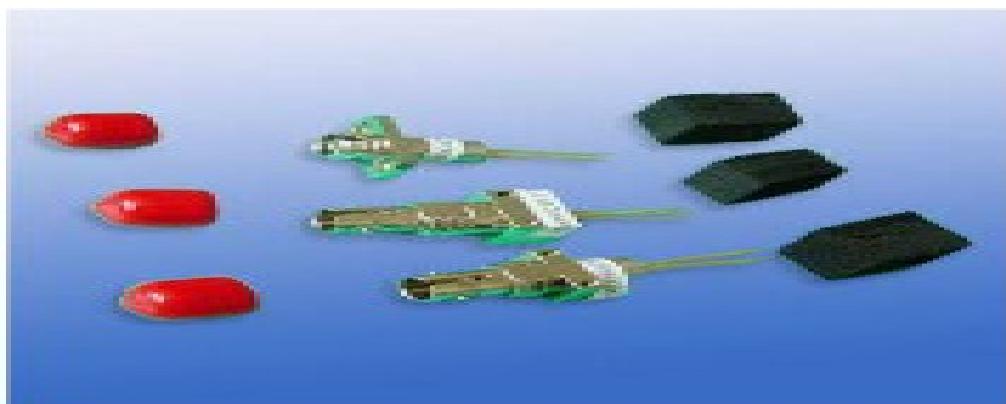
Như vậy cự ly tối đa của đoạn tiếp vận là:  $L = 55\text{km}$ .

Như vậy đảm bảo chất lượng của tin hiệu cũng như băng thông, tốc độ truyền dẫn thì ta phải đặt một trạm lặp trên tuyến.

### Tùy tính toán trên ta chọn thiết bị cụ thể cho tuyến quang.

**Ta chọn sợi quang** : là sợi đơn mode SI,  $d_{mat} = 3\text{ps/nm.km}$  suy hao trung bình của sợi là  $0.4 \text{ dB/Km}$  vì Sợi đơn mode là sợi chỉ cho phép truyền dẫn một mode trong nó nhưng khả năng về băng thông của sợi khá lớn (khoảng  $40\text{GHz}$ ). Sợi quang đơn mode phù hợp đối với hệ thống đường trực với giá thành thấp. Sợi đơn mode là chỉ ghép một mode nên không có tán sắc mode băng tần của sợi tăng lên.

Thiết bị phát quang là: nguồn laser (light Amplification by stimulated Emission of radiation) vì nguồn phát có độ rộng hẹp, bước sóng phát ổn định, sử dụng với sợi đơn mode, sử dụng trong hệ truyền dẫn tốc độ cao.



Thiết bị thu quang là: sử dụng thiết bị thu quang APD có độ nhạy máy thu là  $P_r = -44 \text{ dB}$ .



## **CHƯƠNG 5**

### **KẾT LUẬN**

Đồ án viễn thông đã trình bày những nét cơ bản nhất về mạng thông tin quang, và việc thiết kế tuyến thông tin quang. Nhưng trong quá trình làm đồ án chúng em còn có phần bỡ ngỡ nên việc hoàn thành đồ án còn nhiều thiếu sót. Chúng em rất mong có được những ý kiến đánh giá, góp ý của thầy và các bạn để đồ án thêm hoàn thiện.