

## Sợi quang đa mode

Như ta đã biết phần của một sợi quang, mà qua đó ánh sáng di chuyển được gọi là lõi của sợi.

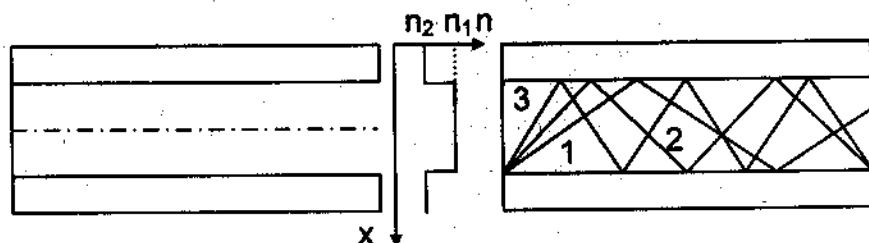
Các tia sáng chỉ có thể đi vào trong lõi, nếu góc của nó nằm trong phạm vi góc tới hạn của sợi. Khi tia sáng đã vào trong lõi, có một số đường đi mà tia sáng có thể theo các đường đi này được gọi là mode. Nếu đường kính của lõi đủ lớn, để có nhiều đường đi, mà tia sáng có thể theo thì sợi quang như vậy được gọi là sợi đa mode. Sợi đơn mode có đường kính đủ nhỏ, sao cho chỉ cho phép tia sáng di chuyển theo một con đường duy nhất bên trong sợi.

Thông thường có 5 phần cấu tạo thành cáp sợi quang. Phần lõi của sợi là phần tử truyền dẫn ánh sáng nằm ở giữa của cáp. Tất cả ánh sáng đều đi qua lõi. Lõi được làm bằng nhựa hoặc thủy tinh. Bao quanh lõi là lớp phủ làm bằng thủy tinh hoặc nhựa nhưng với hệ số chiết suất khúc xạ nhỏ hơn. Cáp quang đa mode tiêu chuẩn là loại được dùng phổ biến trong các LAN. Cáp quang đa mode dùng sợi có đường kính lõi là 62,5 hay 50  $\mu\text{m}$  và lớp phủ có đường kính là 125  $\mu\text{m}$ . Các loại này được gọi là 62,5/125 hay 50/125.

Nguồn sáng sử dụng với sợi đa mode là nguồn phát ra từ diode phát quang (LED) hồng ngoại, hay laser bức xạ bề mặt. LED rẻ hơn và an toàn hơn laser, nhưng LED không thể cho phép truyền ánh sáng đi xa bằng laser. Sợi đa mode có thể truyền tín hiệu đi xa đến 2 km.

Sợi quang đa mode lại chia làm hai loại: Loại có chiết suất thay đổi rõ ràng giữa lõi và lớp phủ thành bậc và loại có chiết suất thay đổi dần từ tâm lõi ra đến biên giới lớp phủ. Chiết suất miền gần tâm lõi là lớn nhất, giảm dần khi càng ra biên.

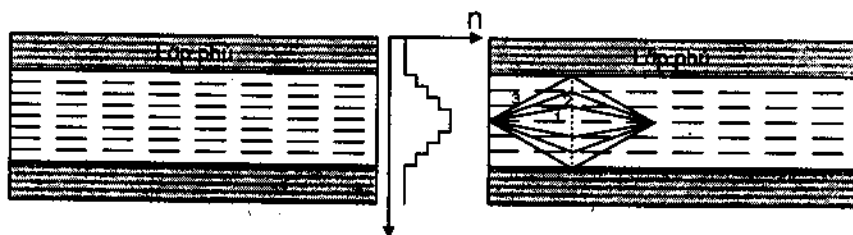
Đối với sợi đa mode có chiết suất nhảy bậc tại biên giữa lõi và lớp phủ:



Hình 3.6a. Sợi quang đa mode có  $n$  nhảy bậc và tia sáng truyền trong nó

Trong trường hợp này các tia sáng 1,2,3 phát ra từ một xung ánh sáng hẹp đi theo 3 đường khác nhau. Đường của tia 1 ít gấp khúc nhất, nên đến đích với độ dài ngắn nhất và đến sớm nhất. Các tia 2 và 3 đi theo đường gấp khúc nhiều hơn, quãng đường đến đích xa hơn, nên đến chậm hơn. Tia 3 sẽ đến đích chậm nhất. Kết quả là từ xung ánh sáng hẹp từ nguồn phát đi, ở đích sẽ nhận được xung có độ rộng lớn hơn và bị biến dạng.

Đối với sợi đa mode, có chiết suất, giảm dần từ tâm lõi ra biên: Cấu trúc này được mô tả cụ thể ở hình 3.6b:



**Hình 3.6b.** Lõi có chiết suất thay đổi dần và đường tia sáng giả sử tia 1 tương ứng với mode thấp nhất, phản xạ tại miền gần trục tâm của lõi.

Tia 2 có góc mở lớn hơn, không phản xạ tại lớp trong mà phản xạ tại lớp 2.

Tia 3 có góc mở lớn hơn nữa, sẽ phản xạ tại biên của lõi và lớp phủ.

Ta biết rằng tốc độ lan truyền sóng tỷ lệ nghịch với chiết suất  $n$ .

Tia 1 đi quãng đường ngắn nhất, nhưng truyền trong môi trường chiết suất lớn nhất, tốc độ truyền nhỏ nhất.

Tia 3 đi quãng đường xa nhất nhưng tốc độ truyền lớn nhất.

Nếu biến đổi chiết suất thích hợp thì các tia sẽ đến đích cùng một thời gian mặc dù đi quãng đường khác nhau. Dạng chiết suất thay đổi phân bố theo dạng gần như parabol, có độ lệch thời gian giữa các tia là nhỏ nhất.

Các sợi đa mode có vỏ bọc màu da cam, nhưng đôi khi cũng có màu khác.

### **Sợi đơn mode**

Sợi đơn mode có các thành phần cấu thành giống như sợi đa mode. Vỏ của sợi đơn mode thường có màu vàng.

Khác biệt chủ yếu giữa hai loại sợi đơn và đa mode là sợi đơn mode chỉ cho một mode sáng lan truyền qua lõi có đường kính nhỏ hơn rất nhiều. Lõi

của sợi đơn mode có đường kính là  $9\text{ }\mu\text{m}$  và lớp phủ  $125\mu\text{m}$ , với cấu trúc này được coi là 9/125.

Nguồn sáng sử dụng với sợi đơn mode chủ yếu là laser hồng ngoại. Tia sáng đi vào lõi với góc rất hẹp. Các xung ánh sáng mang dữ liệu trong sợi đơn mode được truyền chủ yếu theo một đường gần thẳng ngay vào giữa lõi. Điều này gia tăng rất nhiều về tốc độ và cự ly thông tin.

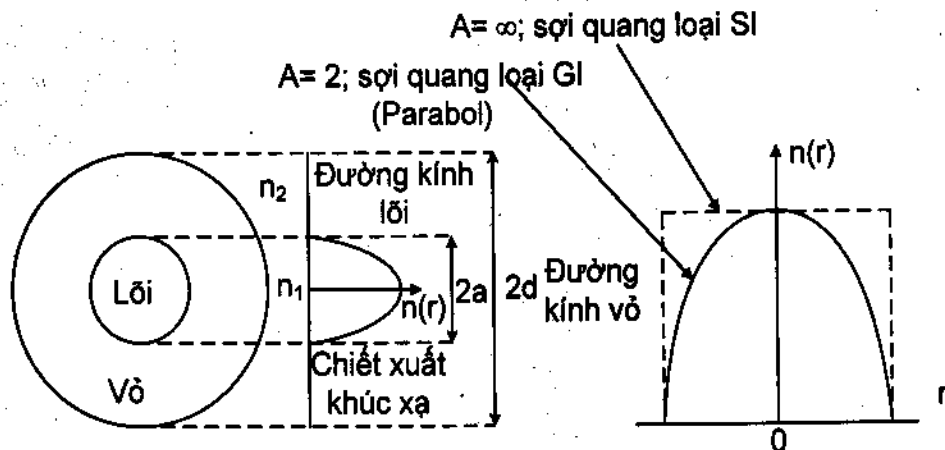
Với kết cấu đặc biệt như vậy, sợi đơn mode có tốc độ truyền số liệu cao và cự ly thông tin lớn hơn nhiều so với sợi đa mode. Sợi đơn mode có thể truyền số liệu xa hàng chục km. Nhưng laser và sợi đơn mode đắt hơn LED và sợi đa mode.

Cáp sợi quang có 5 thành phần cấu thành, bao gồm: lõi, lớp phủ, lớp đệm, vật liệu giữ bền và vỏ cáp bảo vệ. Lõi và lớp phủ đều làm bằng thủy tinh, hoặc nhựa. Xung quanh lớp phủ là vật liệu đệm, thường là nhựa nhằm bảo vệ cho lõi và lớp phủ không bị hư hỏng. Bao quanh lớp đệm là vật liệu bền để tránh sự giãn cáp khi kéo sợi cáp để lắp đặt. Vật liệu bền thường là kevlar. Vỏ bọc ngoài nhằm chống sự trầy xước và các hư hỏng khác.

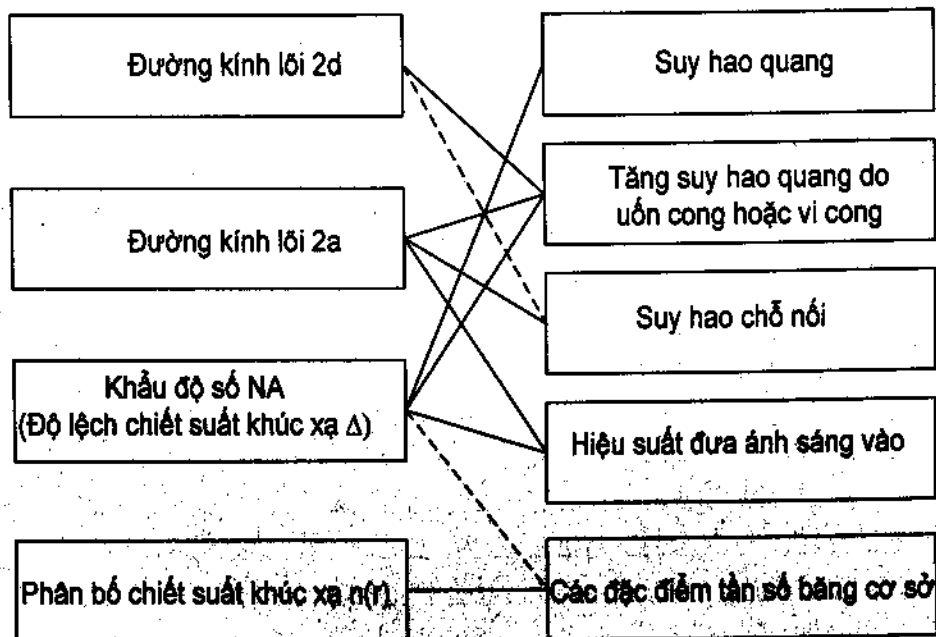
### 3.4.2. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA SỢI QUANG

Các tham số cơ bản để xác định cấu trúc sợi quang là đường kính lõi sợi, đường kính lớp bao (đường kính vỏ) và khẩu độ số (NA) v.v... Chúng được gọi là thông số cấu trúc của sợi quang. Các thông số này ảnh hưởng đến một số đặc tính khác nhau của sợi quang như là suy hao quang, độ rộng băng truyền dẫn, sức bền cơ khí, bộ đầu nối sợi quang, v.v... Thêm vào đó, chúng ta còn có các thông số phụ khác như tỷ số không đồng tâm, tỷ số không tròn. Tuy nó ảnh hưởng ít đến đặc tính truyền dẫn nhưng chúng lại ảnh hưởng lớn đến suy hao hàn nối của sợi quang.

Có bốn thông số xác định cấu trúc của các loại sợi quang đa mode là đường kính lõi sợi, đường kính lớp vỏ, khẩu độ số (NA) và dạng phân bố chiết suất khúc xạ (xem hình 3.7). Khi quyết định giá trị các thông số này, ta phải chú ý đến các ảnh hưởng của mỗi thông số đến các tính chất của sợi quang như hình 3.8.



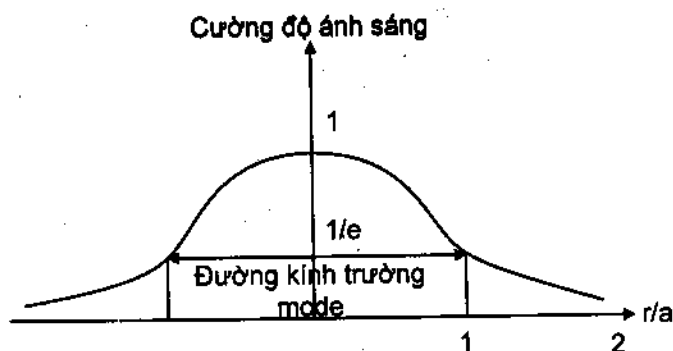
Hình 3.7. Các thông số cấu trúc của sợi đa mode



Hình 3.8. Các đặc trưng của thông số cấu trúc sợi quang

Tương phản với cấu trúc của các sợi quang đa mode được xác định bởi bốn thông số đề cập tới ở trên, cấu trúc của sợi quang đơn mode được xác định bằng ba thông số như sau: thông số trường mode, đường kính lớp vỏ và bước sóng cắt. Lý do để giải thích vì sao chúng ta sử dụng tham số trường mode thay vì đường kính lõi sợi cho thông số cấu trúc sợi quang đơn mode được trình bày dưới đây:

Đường kính trường mode là một đường kính của một diện tích tròn trên một phần rìa cắt ngang của sợi có mật độ ánh sáng  $1/e$  ( $e$  là hệ số logarit tự nhiên bằng 2,71828) đạt giá trị lớn nhất (thường đạt được tại tâm lõi sợi) theo phân bố mật độ ánh sáng như trên hình 3.7.



Hình 3.9. Đường kính trường mode

Vì sợi quang đơn mode có đường kính lõi và chênh lệch chiết suất khúc xạ nhỏ, do vậy việc xác định một cách rõ ràng biên của lớp lõi và vỏ theo phương pháp quang rất khó khăn. Để thuận tiện, chúng ta sử dụng đường kính mode, một thông số bắt nguồn từ phân bố năng lượng ánh sáng.

Các chỉ số \ Loại	Sợi quang chiết suất biến đổi	Sợi quang đơn mode
Bước sóng sử dụng	a) 0.85 $\mu\text{m}$ b) 1.3 $\mu\text{m}$	a) 1.3 $\mu\text{m}$ b) 1.55 $\mu\text{m}$
Đường kính lõi	50 $\mu\text{m} \pm 6\%$	
Đường kính trường mode		9,10 $\mu\text{m} \pm 10\%$
Bước sóng cắt		1,10 - 1,28 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
Đường kính lớp vỏ	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
Tỷ lệ đồng tâm hoặc số đồng tâm	6% hoặc ít hơn	0.5 - 3.0 $\mu\text{m}$
Tỷ lệ không tròn của lõi	6% hoặc ít hơn	
Tỷ lệ không tròn của vỏ	2% hoặc ít hơn	2% hoặc ít hơn
Khẩu độ số (NA)	a) 0.18 - 0.24 $\pm 0.02$ (0.85 $\mu\text{m}$ ) b) 0.15 - 0.30 $\pm 0.02$ (1.3 $\mu\text{m}$ )	

## 3.5. CÁC ĐẶC TÍNH SỢI QUANG

### 3.5.1. SUY HAO CỦA SỢI QUANG

Để xác định tốc độ truyền dẫn và khoảng cách trạm lặp của hệ thống thông tin quang sợi, có hai tham số phải nghiên cứu đó là suy hao quang và độ rộng băng truyền dẫn. Do suy hao quang để xác định suy hao công suất ánh sáng lan truyền trong sợi quang. Nếu suy hao nhỏ hơn thì sẽ cho phép khoảng cách truyền dẫn tín hiệu lớn hơn.

Suy hao quang có thể tạm phân chia thành hai loại, thứ nhất là suy hao thuần túy sợi quang, và thứ hai là các suy hao phụ khi lắp đặt và vận hành hệ thống. Các nguyên nhân gây suy hao được giải thích như sau:

#### *Suy hao hấp thụ:*

Giống như một chiếc rèm đen có thể hấp thụ ánh sáng rất tốt, ánh sáng lan truyền trong sợi quang bị hấp thụ do các vật liệu sợi và được biến đổi thành nhiệt gây nên suy hao quang mà không lọt ánh sáng ra ngoài. Suy hao này gọi là suy hao hấp thụ. Nói chung, suy hao hấp thụ được phân chia thành hai loại, một là do bản thân sợi quang, thứ hai là do có tạp chất trong thủy tinh làm sợi quang.

Trong suy hao thuần túy bản thân vật liệu thủy tinh có suy hao hấp thụ cực tím và suy hao hấp thụ hồng ngoại. Suy hao hấp thụ cực tím có đỉnh hấp thụ ở bước sóng khoảng  $0,1\mu\text{m}$ , trong khi đó hấp thụ hồng ngoại ở khoảng bước sóng  $10\mu\text{m}$ . Do các loại suy hao này giảm rất nhanh tại các bước sóng không phải bước sóng hấp thụ đỉnh, do vậy, suy hao đạt giá trị bé nhất trong dải bước sóng từ  $1,0\mu\text{m}$  đến  $1,6\mu\text{m}$ .

Trong những giai đoạn đầu phát triển sợi quang, những tạp chất gây nên các suy hao là các ion kim loại như ion sắt, đồng v.v... Tuy nhiên, hiện nay kỹ thuật làm giảm suy hao đã có những tiến bộ vượt bậc, bây giờ chủ yếu là ion ( $\text{OH}^-$ ). Chúng ta có thể nói rằng lịch sử phát triển sợi quang với suy hao thấp là sự làm giảm suy hao hấp thụ do ion kim loại và ion hydroxyl gây nên.

#### *Suy hao tán xạ Rayleigh*

Tán xạ Rayleigh là hiện tượng mà ánh sáng bị tán xạ theo các hướng khác nhau khi nó gặp phải một vật nhỏ có kích thước không quá lớn so với bước sóng của ánh sáng. Bầu trời xanh và các đám mây đỏ trên bầu trời lúc hoàng hôn đều do hiện tượng tán xạ Rayleigh gây ra. Hiện tượng

tán xạ ánh sáng được đặt theo tên nhà vật lý đã giải thích hiện tượng này một cách tỷ mỉ.

Để sản xuất sợi quang, từ một lõi thủy tinh tròn có đường kính từ một vài mm đến vài chục mm gọi là phôi (vật liệu mẹ của sợi quang) được nung nóng lên ở nhiệt độ khoảng  $2.000^{\circ}\text{C}$  và được kéo chảy thành sợi. Tại thời điểm này, thủy tinh sợi quang được làm lạnh đột ngột từ nhiệt độ cao xuống nhiệt độ phòng khoảng  $20^{\circ}\text{C}$ . Sự làm lạnh đột ngột này tạo ra sự không đồng đều về mật độ vật liệu tức là sự không đồng đều ở hệ số khúc xạ tạo nên do vật liệu còn có quán tính ở nhiệt độ cao trong sợi quang. Sự duy trì không đồng đều này của chiết suất khúc xạ là nguyên nhân gây nên tán xạ Rayleigh trong sợi quang, là một trong những nguyên nhân suy hao riêng của sợi quang và là một quá trình không thể tránh được. Độ lớn suy hao do tán xạ Rayleigh tỷ lệ nghịch với mũ bốn của bước sóng bởi vậy khi ánh sáng lan truyền có bước sóng dài hơn thì suy hao trở nên nhỏ đi. Ví dụ, suy hao do tán xạ Rayleigh vào khoảng  $1\text{dB/km}$  đối với ánh sáng ở bước sóng  $1\mu\text{m}$ , nhưng khi lan truyền ở bước sóng  $1,6\mu\text{m}$  thì suy hao vào khoảng  $0,1\text{dB/km}$ .

Vì độ lớn của tán xạ Rayleigh tỷ lệ thuận với nhiệt độ nung nóng sợi khi kéo sợi, do vậy nếu giảm nhiệt độ khi kéo thì tán xạ Rayleigh sẽ trở nên nhỏ hơn. Ví dụ, sợi quang thủy tinh fluoride có thể kéo được ở nhiệt độ thấp vào khoảng  $700^{\circ}\text{C}$ , do vậy tán xạ Rayleigh có thể giảm xuống  $1/3$  so với thủy tinh thạch anh thông thường. Hơn nữa, các sợi thủy tinh fluoride có dải hấp thụ hồng ngoại dịch chuyển về phía bước sóng dài hơn. Ưu thế này cùng với suy hao tán xạ Rayleigh thấp sẽ cho ta một sợi quang suy hao siêu thấp  $10^{-3}\text{dB/km}$ .

### ***Suy hao tán xạ do cấu trúc sợi quang không đồng nhất gây ra***

Các sợi quang thực tế không thể có tiết diện mặt cắt ngang tròn lý tưởng và cấu trúc hình trụ đều dọc suốt vỏ và lõi sợi.

Nói chung, tại bề mặt biên giữa lõi và vỏ sợi đôi chỗ có sự gồ ghề và không nhẵn. Những chỗ gồ ghề như vậy trên bề mặt biên gây nên ánh sáng tán xạ và một vài chỗ phát xạ ánh sáng ra ngoài. Những chỗ không bằng phẳng này gây nên suy hao quang, nó làm tăng suy hao quang bởi vì có các phản xạ bất bình thường đối với ánh sáng lan truyền. Loại suy hao này, người ta gọi chung là suy hao tán xạ do cấu trúc không đồng nhất của sợi quang.

### ***Suy hao bức xạ gây nên do bị uốn cong***

Các suy hao bức xạ gây nên do bị uốn cong là các suy hao sinh ra khi sợi bị uốn cong. Với một sợi quang bị uốn cong, các tia ánh sáng có các góc tới vượt quá góc giới hạn bị phát xạ ra ngoài vỏ gây nên suy hao. Bởi vậy, trong việc thiết kế các hệ thống thông tin sợi quang phải chú ý đến việc giữ bán kính cong sao cho lớn hơn một giới hạn cho phép xác định, ví dụ như là 40mm.

### ***Suy hao vi cong***

Khi sợi quang chịu những lực nén không đồng nhất thì trục của sợi quang bị uốn cong đi một lượng nhỏ (vào khoảng vài  $\mu\text{m}$ ), làm tăng suy hao sợi quang. Suy hao này gọi là suy hao cong vi lượng. Trong việc thiết kế cấu trúc sợi quang, người ta chú ý đến sản xuất cấu trúc của sợi để bảo vệ sợi chống lại các áp lực bên ngoài (ví dụ như các lớp vỏ đệm).

### ***Suy hao hàn nối***

Việc hàn nối sợi quang tương tự như việc nối các đoạn ống dẫn nước và ống dẫn gas trong thành phố sao cho nước và khí gas chạy qua các đoạn ống này không bị rò rỉ ra ngoài. Khi hàn nối các sợi quang, chúng phải được nối các đầu sợi với nhau chuẩn trực.

Nếu lõi của hai sợi không được gắn với nhau hoàn toàn và đồng nhất thì một phần của ánh sáng đi ra khỏi sợi này sẽ không vào sợi kia hoàn toàn và bị phát xạ ra ngoài gây nên suy hao. Nguyên nhân chính của suy hao này là việc không giống đồng trục hay sợi, do vậy tạo nên suy hao rất lớn. Nếu có một khe hở nhỏ tồn tại tại chỗ nối thì chính khe này tạo nên suy hao phản xạ. Nếu độ lớn của phản xạ này lớn thì người ta gọi là phản xạ Fresnel.

### ***Suy hao ghép nối sợi quang giữa sợi và các linh kiện thu phát quang***

Điều kiện để ghép ánh sáng từ linh kiện phát quang vào sợi quang được xác định bằng khẩu độ số NA như đã giải thích ở phần trên. Khi so sánh về đặc điểm của LD và LED thì chúng có độ rộng chùm sáng khác nhau, khi ghép nối vào sợi quang thì laser có các đặc điểm về suy hao tốt hơn ngay cả khi sử dụng thấu kính để tập trung chùm sáng. Ngoài ra, loại sợi SM và GI cũng có những đặc điểm khác nhau về suy hao ghép nối bởi vì chúng có những đường kính lõi khác nhau.

Trong ghép nối giữa sợi quang với linh kiện thu quang thì các loại sợi có NA lớn, loại GI thì có suy hao lớn hơn so với loại sợi SM vì chùm sáng của loại sợi này bị trải rộng ra. Tuy nhiên, sự khác nhau về suy hao do nguyên nhân chùm sáng mở rộng thì nhỏ hơn rất nhiều so với suy hao ghép bản thân nó.



### 3.5.2. TÁN SẮC ÁNH SÁNG VÀ ĐỘ RỘNG BĂNG TRUYỀN DẪN CỦA SỢI QUANG

#### *Tán sắc mode*

Trong các sợi quang đa mode, tốc độ lan truyền ánh sáng của các mode là khác nhau. Ví dụ, khi một xung ánh sáng được đưa vào sợi quang đa mode thì xung tại đầu ra có độ rộng lớn hơn độ rộng xung lối vào. Nguyên nhân gây ra hiện tượng này là do xung ánh sáng vào mặc dù chỉ có một bước sóng đơn nhưng lan truyền với một vài mode khác nhau với các tốc độ lan truyền khác nhau. Hiện tượng này gọi là tán sắc mode, nó làm khoảng trống thời gian giữa các xung cạnh nhau trở nên ngắn hơn so với sợi nguyên bản của nó.

Trong các sợi quang đa mode, độ rộng băng truyền dẫn của nó bị giới hạn chủ yếu bằng tán sắc mode. Ngay cả trong các sợi quang chiết suất biến đổi mà ở sợi quang này có phân bố chiết suất khúc xạ theo hình parabol cho phép giảm tán xạ mode thấp nhất thì độ chính xác, hình dạng nhìn nghiêng của phân bố chiết suất bị giới hạn. Bởi vậy, nếu muốn có hệ truyền dẫn dung lượng truyền dẫn lớn thì cần phải có các đặc tính băng truyền dẫn rộng, sử dụng sợi đơn mode, việc sử dụng loại sợi này loại bỏ được tán sắc mode do hạn chế số lượng mode truyền thống xuống chỉ còn một mode.

#### *Tán sắc bước sóng*

Trong một môi trường đồng nhất, chiết suất khúc xạ của nó biến đổi theo bước sóng, kết quả là tốc độ truyền dẫn biến đổi cùng với bước sóng. Sự phụ thuộc chiết suất khúc xạ vào bước sóng được hiểu như là tán sắc ánh sáng qua một lăng kính hoặc bầy sắc cầu vồng sau khi mưa. Nói một cách chính xác thì ánh sáng sử dụng trong thông tin quang sợi không phải là ánh sáng hoàn toàn đơn sắc duy chỉ có các bước sóng được phân bố ở đây trong một dải hẹp.

Vì lý do đó, ánh sáng có phân bố tốc độ lan truyền khác nhau vì sự khác nhau của các thành phần bước sóng ánh sáng (bước sóng dài hơn thì chiết suất khúc xạ đối với nó sẽ nhỏ đi, kết quả là có tốc độ lan truyền lớn hơn). Đây là một yếu tố giới hạn độ rộng băng truyền dẫn giống như tán xạ mode ta đã bàn tới trước đây và yếu tố này được gọi là tán sắc vật liệu.

Khi chiết suất khúc xạ giữa lớp lõi và vỏ của sợi quang khác nhau chút ít thì hiện tượng phản xạ toàn phần tại bề mặt biên không hoàn toàn giống như trên bề mặt của gương mà còn có thêm những phản thấm thấu ánh sáng

qua lớp vỏ. Thêm vào đó, mức độ thẩm thấu biến đổi theo bước sóng, kết quả là độ dài đường lan truyền thay đổi theo bước sóng. Tán sắc gây ra do hiện tượng này gọi là tán xạ cấu trúc. Trong lĩnh vực thông tin quang sợi, tán sắc vật liệu và tán sắc cấu trúc được gọi chung là tán sắc bước sóng.

Nói chung, độ lớn của tán sắc được tóm tắt theo mối tương quan dưới đây:

Tán sắc mode >> Tán sắc vật liệu > Tán sắc cấu trúc

Bởi vậy, trong trường hợp các sợi quang đa mode, độ rộng băng truyền dẫn bị giới hạn hầu như chỉ do nguyên nhân tán sắc mode, tán sắc bước sóng chỉ có một giá trị rất nhỏ. Nói cách khác, trong trường hợp sợi quang đơn mode thì tán sắc bước sóng lại là nguyên nhân chính gây nên hạn chế độ rộng băng của sợi. Bởi vậy, đối với sợi quang đơn mode thì bước sóng được sử dụng để hoạt động phải được chọn sao cho ảnh hưởng của tán sắc vật liệu có thể bỏ qua được, cũng bằng cách đó tán sắc cấu trúc có thể giảm đi (tán sắc màu bằng 0) bằng cách tạo nên các cấu trúc khác nhau trong việc thiết kế sợi quang.

### **Độ rộng băng truyền dẫn**

Trong lĩnh vực thông tin sợi quang hiện nay, từ “độ rộng băng truyền dẫn” được sử dụng như là một mức độ để chỉ tần số điều chế tín hiệu ánh sáng cao nhất có thể truyền dẫn được và nó được biểu hiện về số lượng là 6dB độ rộng băng của tần số băng cơ sở của sợi quang.

Giả thiết rằng một xung có dạng sóng lý tưởng độ rộng băng 0 (được gọi là xung kim) được đưa vào sợi quang, sau khi lan truyền qua một khoảng cách nhất định thì xung thu được bị giãn ra một độ rộng nhất định do tán sắc ánh sáng. Nếu xung bị mở rộng thì chiều cao của xung sẽ giảm, mặc dù ta giả thiết rằng không có ánh sáng phát xạ ra ngoài trong toàn tuyến truyền dẫn, điều đó có nghĩa là năng lượng được bảo toàn.

Việc kiểm tra dạng xung tại đầu ra (được gọi là dạng đáp ứng xung), theo cách này có nghĩa là kiểm tra các đặc tính tán sắc của sợi quang. Ứng dụng nguyên lý này trong miền tần số cho ta một khái niệm về đặc trưng tần số băng cơ sở. Các đặc trưng tần số băng tần cơ sở là các đặc tính đáp ứng tần số của tỷ số biên độ vào và ra, ở lối vào là tín hiệu điện có dạng sóng hình sin để điều chế tín hiệu quang gửi vào một đầu vào của đoạn truyền dẫn quang, và lối ra là tín hiệu điện được giải điều chế từ tín hiệu quang thu được tại đầu ra của phần truyền dẫn quang.