

www.mientayvn.com

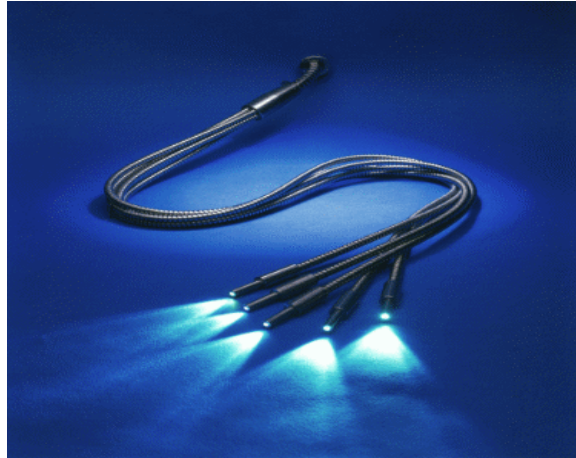
I – GIỚI THIỆU

Ngày nay chúng ta biết sợi quang là tên gọi của những dây làm bằng thủy tinh sử dụng hiện tượng phản xạ toàn phần để truyền thông tin đi với tốc độ ánh sáng. Có ý kiến cho rằng, ánh sáng có thể truyền đi theo dây thủy tinh thốt ra năm 1840 khi hai nhà vật lý là Collodon và Babinet trình diễn một thí nghiệm sử dụng hiện tượng phản xạ toàn phần để truyền những tia sáng đi theo những tia nước cong phun ra từ một vòi nước phun. Người đầu tiên trình diễn thí nghiệm gọi một hình ảnh đi theo một bó sợi quang là một sinh viên y khoa người Đức tên là Lamm khi anh dùng sợi quang để chiếu rồi hình ảnh của một bóng đèn lên trên màn ảnh ..

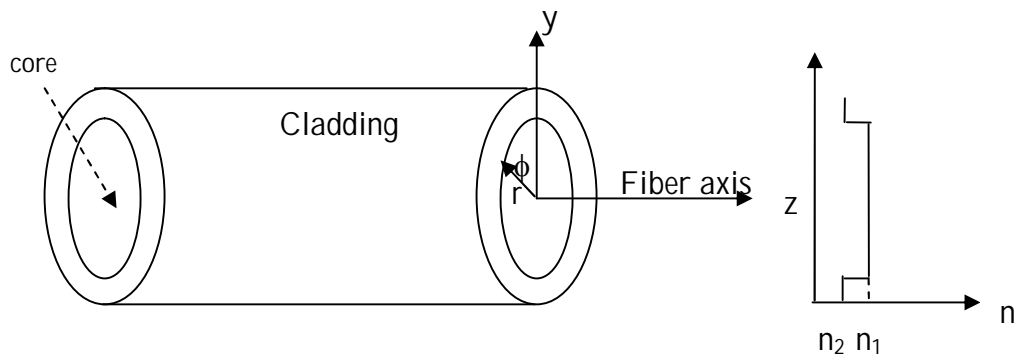
Trong nghiên cứu của mình Lamm đã tiên dụng sợi quang để quan sát và kiểm tra các bộ phận bên trong cơ thể người bệnh mà không cần phải mổ rạch da thốt người bệnh. Sau khi khoa học khám phá ra Laser, các nhà nghiên cứu về sợi quang nước Đức tiến hành chế tạo và công nghệ sợi quang ngày càng trở thành một lĩnh vực công nghệ hiện đại và quan trọng, gắn liền với các ngành công nghệ khác.

Nhìn nghĩa:

Sợi quang là những dây nhỏ và để truyền các ánh sáng nhìn thấy hoặc các tia hồng ngoại.



II – CẤU TẠO SÔI QUANG



Sợi quang gồm 2 phần:

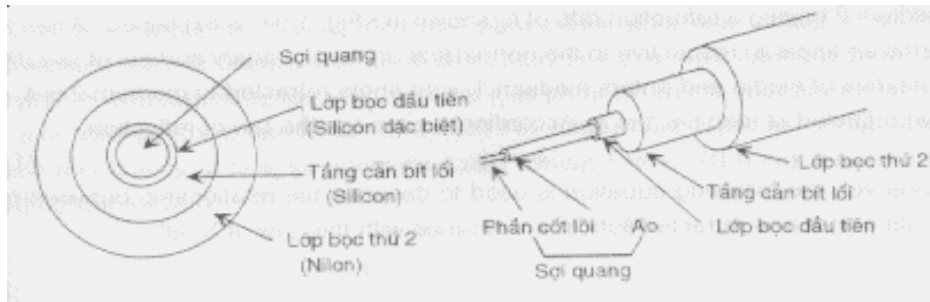
phần lõi (core) có chiết suất n_1

phần vỏ (cladding) có chiết suất $n_2 < n_1$

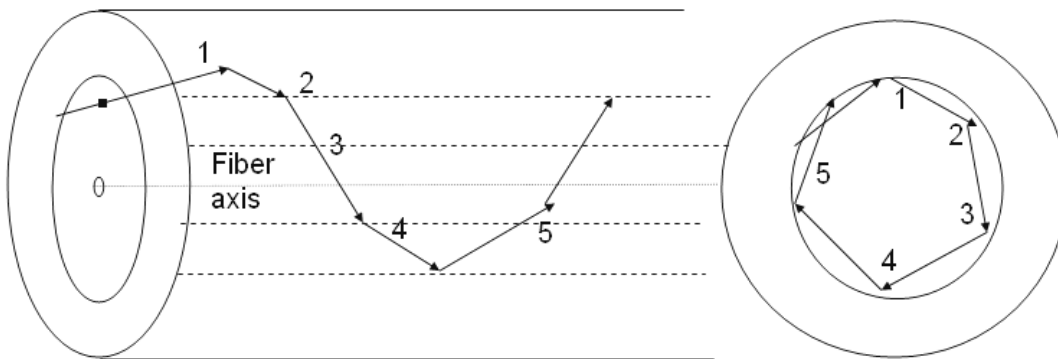
Sợi quang có lõi ôxi hóa và phần bao bọc xung quanh lõi. Nếu ánh sáng có thể phản xạ một cách hoàn toàn trong lõi thì chiết suất của lõi phải lớn hơn chiết suất của vỏ một chút.

Vỏ bao bọc bên ngoài vỏ bảo vệ sợi quang khỏi bị ẩm ướt và ăn mòn, đồng thời chống xuyên âm với các loại sợi ni bên cạnh và làm cho sợi quang dễ xử lý.

Lõi và vỏ có thể làm bằng thủy tinh hay chất dẻo Silica, kim loại, fluor, sợi quang kết tinh.



Chiết suất của lớp lõi có hai dạng: dạng không đổi và dạng có phần bố giảm dần từ trong ra ngoài.

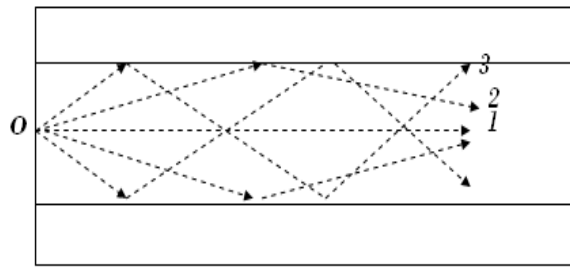


II- PHÂN LOẠI

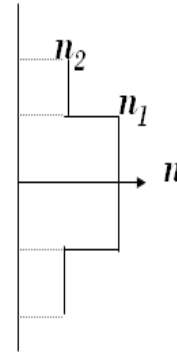
Sợi quang được phân loại theo cấu tạo nghĩa là theo sợi phân bố chiết suất quang học trong lõi nó với chiết suất quang học của lớp vỏ

Ta gọi sợi quang có chiết suất không đổi là sợi quang chiết suất bậc (step - index), còn dạng có chiết suất thay đổi giảm dần từ trong ra ngoài là sợi quang chiết suất liên tục (graded index).

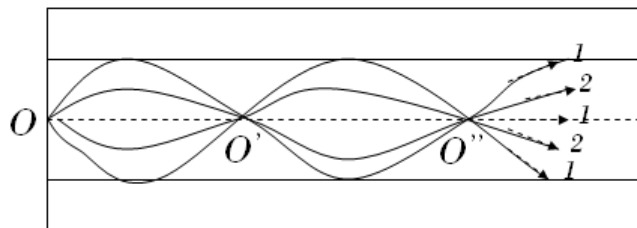
Tùy vào kích thước của lõi, sợi quang chiết suất bậc có thể chỉ dẫn truyền một mode gọi là sợi quang đơn mode. Còn khi nó có thể truyền nhiều mode, nó có kính lõi lớn thì ta gọi là sợi quang chiết suất bậc đa mode.



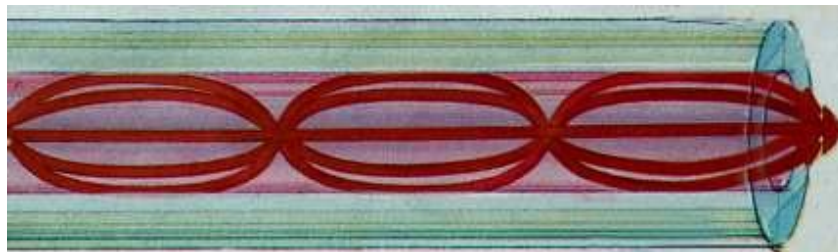
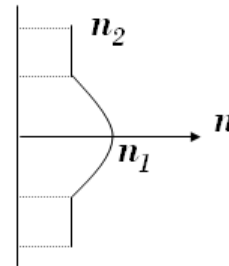
Sợi quang chiết suất bậc đa mode



Nếu với sợi quang chiết suất liên tục, thông dẫn truyền nhiều mode gọi là sợi quang chiết suất liên tục đa mode.



Sợi quang liên tục đa mode



Sợi quang đa mode:

a) Sợi quang đa mode có chiết suất thay đổi từng bậc (multimode step-index fibers): Là sợi quang có chiết suất lõi n_1 giảm một cách nhỏ ngoài tới chiết suất n_2 trong vỏ. Nó thay đổi chiết suất thông rất nhỏ từ 0,001 đến 0,02.

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

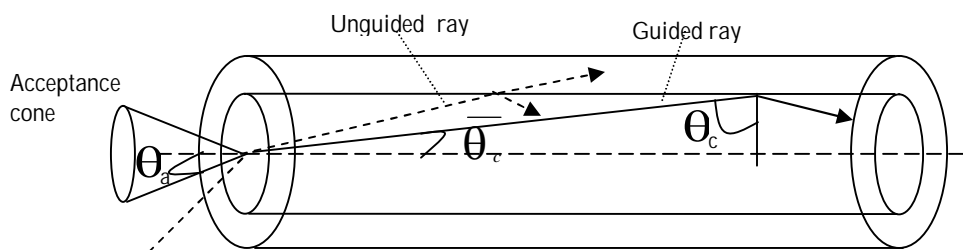
Những tia sáng nào tới với trục của sợi quang một góc lớn hơn góc tới hạn thì sẽ bị phản xạ nội toàn phần tại biên của vỏ và lõi, nhờ đó dẫn đi trong lõi.

$$\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1), \quad \theta_c = \pi/2 - \theta_c = \cos^{-1}(n_2/n_1)$$

Góc θ_c trong sợi tổng tới nhỏ hơn góc θ_a của chùm tia tới từ không khí vào sợi.

$$\sin \theta_a = NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx n_1 (2\Delta)^{1/2}$$

gọi là khẩu độ số (numerical aperture_NA). Trong nội θ_a là góc tới của tia sáng nào cũng sẽ được phản xạ toàn phần giữa lõi và vỏ của sợi quang, nếu là góc tới lớn nhất thì tia khúc xạ vào lõi còn gây nên hiện tượng phản xạ toàn phần ở ranh giới giữa lõi và vỏ



Không sai sợi truyền ánh sáng nên các sợi dùng lý thuyết về sợi dẫn sóng thỏa mãn phương trình Maxwell và nhiều kiến thức tại lõi và vỏ

$$\Delta^2 U + n^2 k_0^2 U = 0$$

$$\text{với } n = n_1 (r < a) \text{ và } n = n_2 (r > a), \quad k_0 = 2\pi / \lambda_0$$

Trong hệ tọa độ trụ phương trình có dạng:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0$$

$$U(r, \theta, z) = u(r) \exp\{-j l \phi\} \exp\{-j \beta z\}$$

$$\text{với } l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

Hệ số lan truyền:

$$\beta \approx n_1 k_0 \left[1 - \frac{q}{M} \Delta \right]$$

với M: số mode

$$q = 0, 1, 2, \dots, M$$

Sóng nào dẫn nếu hệ số lan truyền nhỏ hơn bước sóng trong lõi $\beta < n_1 k_0$ và lớn hơn bước sóng trong vỏ $\beta > n_2 k_0$

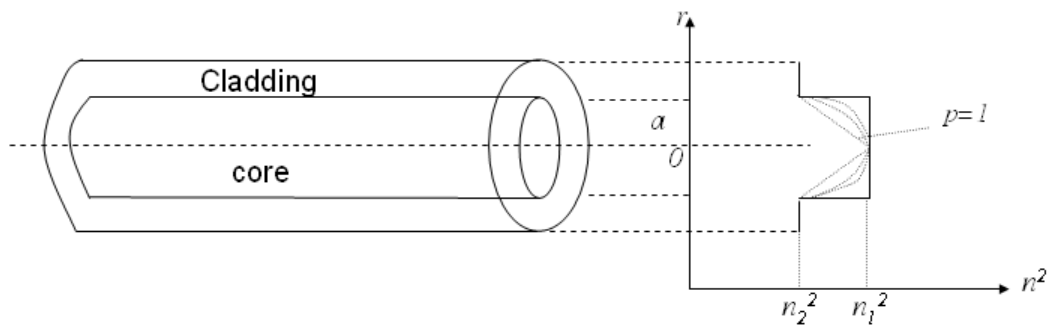
Số mode dẫn M nào đó này trong sợi thông số V

$$V = 2\pi \left(\frac{a}{\lambda_0} \right) NA$$

trong đó $\frac{a}{\lambda_0}$ là số góc bán kính lõi và bước sóng λ_0

$$M = \frac{p}{p+2} \frac{V^2}{2}$$

p là tham số (grade profile parameter) xác định hình dạng của profile



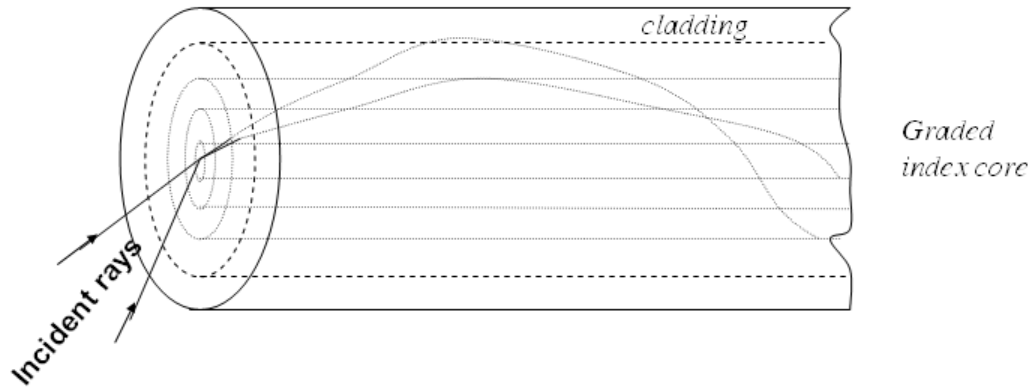
Trong sợi chiết suất thay đổi từng bậc thì $p = \infty$, do đó số mode:

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

Vận tốc nhóm: $v_{\max} \approx c_1 = \frac{c_0}{n_1}$, $v_{\min} \approx c_1 (1 - \Delta) = c_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$

Bán kính lõi hiện hành là 100 – 1500 μm , thích hợp trong các ứng dụng nơi đòi hỏi mất công suất cao.

b) Sợi quang đa mode có chiết suất thay đổi dần dần hay còn gọi là sợi quang liên tục (multimode graded – index fiber)



Loõi của một sợi quang có chiết suất cao nhất ở tâm và giảm dần về phía trục thấp nhất ở viền. Vận tốc pha của ánh sáng rất cõc tiều tại tâm và tăng dần khi bán kính tăng.

Nõo thay nõi chiết suất $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1 \ll 1$.

Tia õi trục (axial) truyền với khoảng cách ngắn nhất với vận tốc pha nhỏ nhất (chiết suất lớn nhất), trái lại những tia xiên (oblique) thì truyền zig-zag õi góc lớn hơn, với khoảng cách dài hơn và vận tốc pha cao hơn do nõi sợi chênh lệch trong vận tốc nhóm và thời gian truyền giảm nõõc cân bằng nhau.

Hệ số lan truyền

$$\beta \approx n_1 k_0 \left[1 - \left(\frac{p}{M} \right)^{p(p+2)} \Delta \right]$$

Trong trường hợp $p = 2$ thì theo công thức $M \approx \frac{p}{p+2} \frac{V^2}{2}$,

$$\text{sõ mode } M \approx \frac{V^2}{4}$$

Sõi quang nõn mode (single mode fibers)

Khi bán kính lõi a và NA của sợi quang có chiết suất bậc nõi như nõi $V < 2.405$ khi nõi chỉ có mode nõn nõõc phép truyền. Sõi quang nõn mode có bán kính lõi nhỏ, khẩu nõõ số nõi và số độ dùng bõõc song nõi dài.

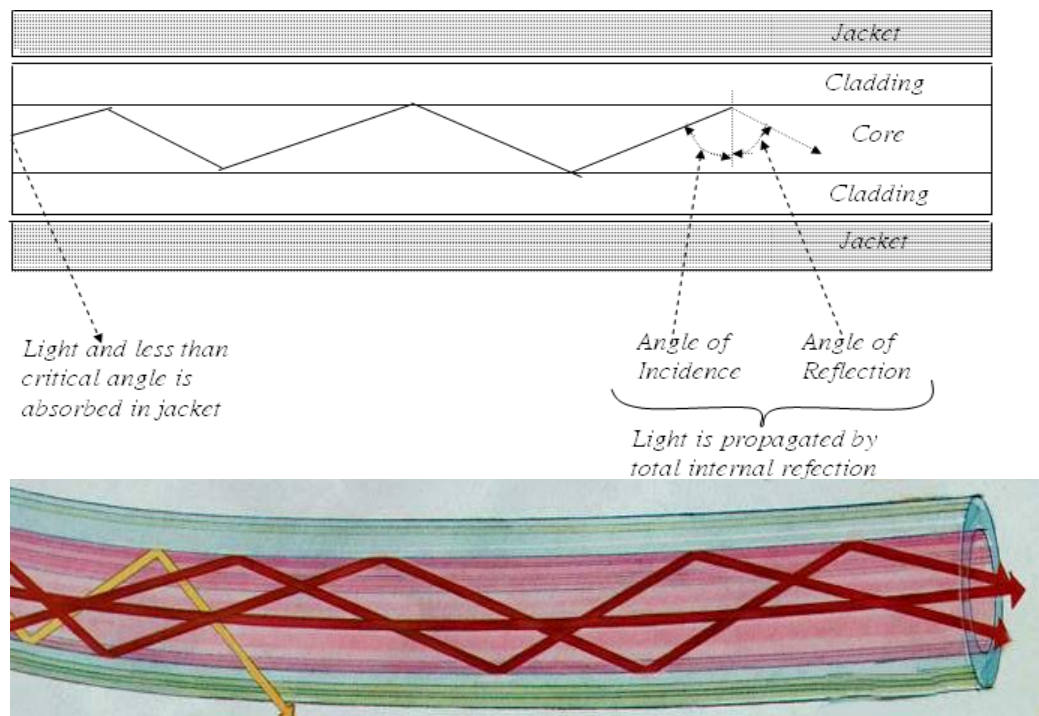
IV – NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG

Xét sợi lan truyền sóng nhỏ sợi lan truyền sóng nên từ đó biểu diễn nhờ lời giải của phương trình Maxwell với các điều kiện biên trên mặt phân cách của linh kiện dẫn sóng.

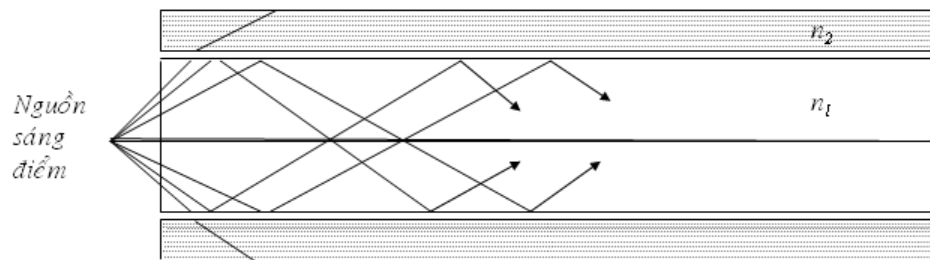
Ở đây ta xét sợi lan truyền ánh sáng theo phương pháp gần đúng như là phương pháp quang học tia (ray optics). Trong phương pháp này, ánh sáng lan truyền theo trục z được xem như tạo nên bởi sợi lan truyền của các sóng bản phẳng theo hướng zig-zag trong mặt phẳng x-y. Nếu ánh sáng truyền đi trong sợi, nó phải thỏa mãn điều kiện phản xạ toàn phần:

$$\theta_c \geq \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

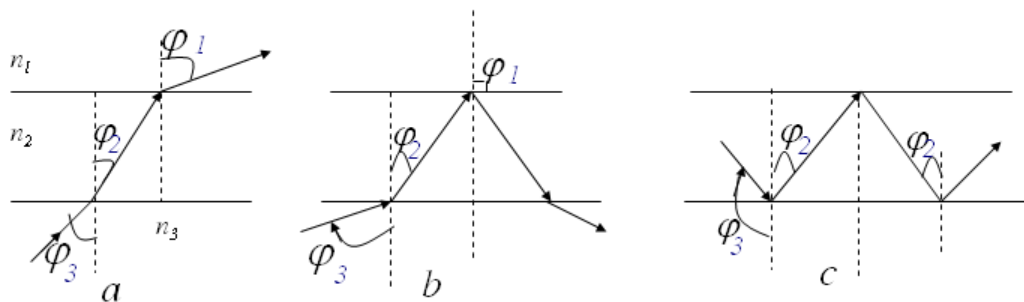
Sợi truyền theo hướng zig-zag trong sợi quang:



Hay một cách khác, một nguồn sáng nhỏ một laser hay một điốt quang (LED) nối liền gần lõi của sợi quang. Nguồn sáng bức xạ một "hình nón" ánh sáng nối liền kết trong lõi của sợi quang.



Trường hợp cụ thể xét tia sáng lan truyền trong một linh kiện dẫn sóng 3 lớp



Hình a ứng với mode bức xạ

Hình b ứng với mode để

Hình c ứng với mode được dẫn truyền

Các góc tới, góc khúc xạ nối liền hình nghĩa giữa tia sáng và pháp tuyến của mặt phân cách tuân theo định luật Snell:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1) \quad ; \quad \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_3} = \frac{n_3}{n_2} \quad (2)$$

Những điều kiện duy trì mode trong thiết bị dẫn sóng:

- Khi φ_3 nhỏ tia sáng sẽ đi xuyên qua cả hai mặt phản xạ, chệch xa đi ra khỏi tổng khúc xạ ở cả hai mặt phản xạ nên Trường hợp này ứng với mode bức xạ (radiation mode).
- Khi φ_3 tăng lên đến cho φ_2 đạt đến góc tới hạn của hiện tượng phản xạ toàn phần bên trong ở mặt phản xạ $n_2 - n_1$ thì tia sáng bị nhốt lại một phần. Trường hợp này ứng với mode nền (substrate mode). Những điều kiện phản xạ toàn phần bên trong là

$$\varphi_2 \geq \arcsin \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \varphi_3 \geq \arcsin \frac{n_1}{n_3} \quad (3)$$

- Khi φ_3 tiếp tục tăng lên đến φ_2 đạt đến góc tới hạn của hiện tượng phản xạ toàn phần ở mặt phản xạ $n_2 - n_3$ thì tia sáng bị nhốt lại hoàn toàn ứng với mode truyền dẫn (guided mode). Trong trường hợp này, góc tới hạn φ_2 được xác định bởi những điều kiện:

$$\varphi_2 \geq \arcsin \frac{n_3}{n_2} \quad (4)$$

Từ (2) và (4) ta có

$$\varphi_3 \geq \arcsin(1) = 90^\circ \Rightarrow \varphi_3 \geq 90^\circ \quad (5)$$

Một mode với hệ số lan truyền theo trục z là β_m và hệ số lan truyền theo trục x là h , có thể biểu diễn bằng một sóng bên phải lan truyền theo phương làm thành góc $\theta_m = \arctg \frac{h}{\beta_m}$ với trục z, có hệ số lan truyền kn_2

như hình vẽ

Từ hình bên ta thấy:

$$\sin \varphi_2 = \frac{\beta}{kn_2}$$

Cường tổng tối nhỏ thì nếu $kn_1 < \beta < kn_3$ thì θ_m

có thể duy trì mode nền. Khi nào $kn_3 \leq \beta$ thì mỗi β_m có thể duy trì mode truyền dẫn. Những điều kiện này tổng cộng:

$$\sin \varphi_2 = \frac{\beta}{kn_2} \geq \frac{kn_3}{kn_2} = \frac{n_3}{n_2}$$

Những điều kiện để các mode dẫn truyền sợi quang:

Ở đây coi sợi chùng chất các sóng tới và sóng phản xạ tới mặt phản xạ khi chúng lan truyền theo tia zig-zag. Nếu tránh sợi tiết diện ngang lớn độ sóng giao thoa của các sóng lệch pha, khi chúng lan truyền trong lĩnh kiến dẫn sóng thì cần thời gian nhiều kiến sau: nó lệch pha tổng cộng giữa hai niệm trên mặt sóng sau hai lần lan truyền và phản xạ qua lại trên mặt phản xạ n_1-n_2 và mặt phản xạ n_2-n_3 phải bằng một số nguyên lần 2π . Đây mới coi là kiến giao thoa. Tất nhiên kiến phản xạ toàn phần cũng phải mới thời gian ngay từ ban đầu.

V- NÓI TAIN SẮC

Cấu tạo của sợi quang con quyết định giá trị của một thông số quan trọng của nó là khẩu độ số NA, khẩu độ số này trông cho sợi ghép nối hiệu quả giữa nguồn Laser và sợi quang, nhưng nếu NA quá lớn sẽ làm tăng hiện tượng nhiễu loạn cho sợi truyền tín hiệu một cách trung thực, nó là hiện tượng tán sắc, do đó cần chọn giá trị nó chính xác nhất để đạt được. Trong trường hợp xung ánh sáng vào một đầu sợi quang và ra khỏi sợi là một xung yếu hơn và mở rộng hơn thì ta gọi hiện tượng này là sợi phân tán xung hay sợi mở rộng xung, hiện tượng này do các nguyên nhân:

a) Nói tain sắc mode (Modal dispersion)

Ánh sáng có nhiều mode, những mode khác nhau phản xạ những góc khác nhau, những mode truyền phức tạp hơn sẽ mất thời gian lâu hơn và nó hồi một đường truyền rộng hơn mode đơn giản (mode cơ bản). Bán kính lõi càng lớn thì những mode truyền khác nhau càng nhiều và hiện tượng Modal dispersion càng thể hiện rõ giá trị phân tán của sợi quang đơn mode.

Nguồn gốc của hiện tượng tán sắc giữa các mode trong sợi quang chính là khác nhau về năng lượng của một xung quang (trong tín hiệu như phân) mới mang bởi nhiều mode sóng lan truyền theo những quang lộ zig-zag có chiều dài khác nhau những cùng vận tốc.

Nếu khác phức tạp sợi dùng những lõi có bán kính nhỏ hơn nếu có thể không tất cả trở nên những mode cơ bản, gọi nó là sợi quang đơn mode, do đó loại trở nên mở rộng xung do hiện tượng modal dispersion và mở rộng dài thông cao hơn nhiều so với sợi đa mode nghĩa là những xung có thời gian truyền gần nhau hơn và chùng lặp lại nhau.

Trong sợi quang ña mode, chiết suất bậc, sợi tain sắc chuiyeu laodo tain sắc mode, khi ánh sáng truyền trong một khoảng cách L trong sợi quang thì ñoicòithời gian trêtraí rộng trên khoảng thời gian laa :

$$2\sigma_T = \frac{L}{c_1}(1 - \Delta) - \frac{L}{c_1} \quad (1)$$

$$\text{Ket quả là còimột xung với ñoãrông laa} \quad \sigma_T \approx \frac{L}{2c_1} \Delta \quad (2)$$

Hieñ tồing tain sắc mode trong sợi quang ña mode chiết suất lieñ tuc t hì ñhoi hõn do mode sòing còiquang loãdai sẽ chuyẽn ñoing với vañ toac cao hõn các mode còiquang loãngãñ.

$$\sigma_T \approx \frac{L}{4c_1} \Delta^2 \quad (3)$$

Ñoãrông dãi thõng:

$$\sigma_f = \frac{1}{2\pi\sigma_T} \quad (4)$$

Ñoãrông dãi thõng ño loõng khañnaing mang ñoõlieu của một sợi quang (ví dui một sợi quang còì ñoãrông dãi thõng laa 400 MHz – km còitheãtruyẽn 400 MHz òikhoang cách 1km hoac còitheãtruyẽn 20 MHz òikhoang cách 20 km). Do mõi rông tín hieñ xung ma lam cho các xung

chãp nhau, do ñoiphãi lam rông khoảng cách giõa các xung, nghĩa la toac ñoãtruyẽn phãi giảm xuống, còinghĩa la ñoãrông dãi thõng giảm xuống. Muõn tăng σ_f thì phãi giảm Δ , sẽ lam giảm khañ ñoãsoác của sợi quang va viec giảm Δ xuống ñoõi 1% sẽ ra khoi khañ ve cõing ngheã Ñeã giảm sõi tain sắc giõa các mode, naing cao ñoãrông dãi thõng thì cheãtao sợi quang lieñ tuc ña mode.

b) Ñoãtain sắc truyẽn sõing (Waveguide dispersion) va ñoãtain sắc vañ lieñ (Material dispersion)

Sõi mõi rông xung xuất hieñ do xung nguồn (xung ñaui tieñ) còimột ñoãrông phoãxãc ñinh va vañ toac ñhoim phui thuoc va ñoõic sõing, hieñ õing

này gọi là Waveguide dispersion và Material dispersion, trong đó hiệu ứng Material dispersion thường lớn hơn Waveguide dispersion.

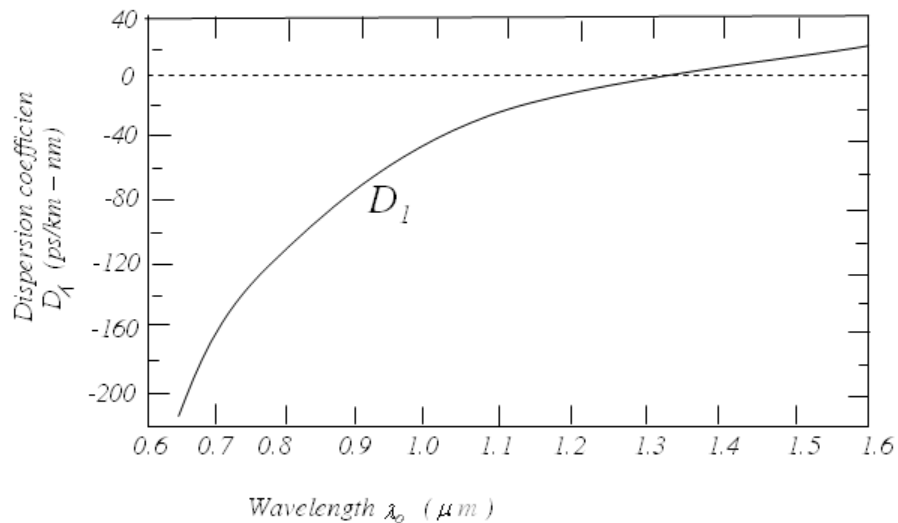
- **Nhiệt sắc truyền sóng:** những bước sóng khác nhau truyền với vận tốc khác nhau, giải pháp là sử dụng nguồn sáng là LED hoặc Laser nhiệt độ cao các tia sáng truyền trong sợi nếu có bước sóng gần nhau.

$$\sigma_T = |D_\lambda| \sigma_\lambda L \quad (5)$$

với σ_λ là độ rộng phổ của nguồn

$$D_\lambda \text{ là hệ số khuếch tán } D_\lambda = -\frac{\lambda_0}{c_0} \frac{d^2 n}{d\lambda_0^2} \quad (6)$$

Tại bước sóng $\lambda_0 = 1.312 \mu m$, $D_\lambda = 0$, tại sắc biến mất.



- **Nhiệt sắc vật liệu:** là kết quả của sự phụ thuộc của vận tốc nhóm của mỗi mode với tần số của bản kính lõi và bước sóng.

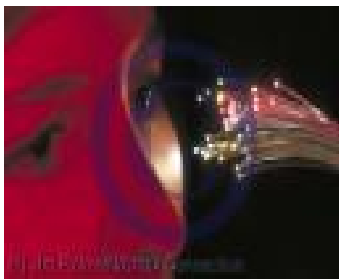
$$\sigma_T = |D_w| \sigma_\lambda L \quad (7)$$

$$D_w = - \frac{w}{\lambda_0} \frac{d}{dw} \left(\frac{1}{v} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi c_0} \right) V^2 \frac{d^2 \beta}{dV^2} \quad (8)$$

VI - ỒNG DƯỜNG

Lĩnh vực ồng dưỡnđ ãau tiên của sôi quang laser học và coi thể noi chung ãau ãau và tay các bác sĩ y khoa một công cụ coi tính chất cách mắnđ ãau hiệ ãu hình ảnh, chẩn ãouin và chữa bệnh. Những sôi quang mềm mại và ãouibei coi thể luòn sâu và ãu nhiều bộ phận bên trong cơ thể con người mà bác sĩ không thể thâm nhập bằng các phương pháp khác. Các bác sĩ coi thể hõ ồng một nguồn sáng tối một bộ sôi quang và quan sát ảnh sáng phản xạ từ các cơ quan nội tạng, các mạch máu của người bệnh ãau tìm hiểu những chi tiết ãou nhất tại ãau. Bằng cách phối hợp với những kỹ thuật chẩn ãouin khác, các sôi quang coi thể giúp phân tích thành phần của máu, ãu ãou tốc ãou ãou chuyể ãu của máu, tính ãouic áp suất máu và áp suất thẩm thấu của màng tế bào, kiểm tra ãouic nồng ãou toàn tại của các ãouic tại các hormon và các loại thuốc chữa bệnh bên trong cơ thể người.

Sôi quang cứng ãouic dụng trong phẫu thuật và chữa bệnh bằng Laser.



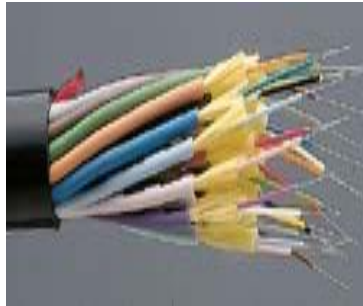
Ngành thông tin liên lạc coi ãou ãouic ồng dưỡnđ nhiều nhất. Các hệ thống bên trong mạng máy tính sử dụng các sôi cáp quang ãau ãu nhanh thời gian chuyể ãu thông tin dụng cho việc vận hành và sắp xếp các tệp tin. Ánh sáng truyền ãu trong sôi cáp quang coi thể võ ãou qua hàng trăm km trước khi một ãuic áp bổ sung cần thiết phải ãouic ãou và ãu tín hiệu, và ãou

là một cái tiện vô cùng rất có ý nghĩa so với hệ thống quy ước truyền tin như đồng niên.

Truyền thông tin như ánh sáng theo cáp quang không tốn hao hoặc tốn hao rất ít vì nhiệt so với dùng các mạch điện, do đó không cần nên hệ thống làm nguội công kênh. Dung ánh sáng cũng không bị hiện tượng giao thoa sóng nên làm mất tín hiệu nhỏ thông xảy ra trong truyền thông tin bằng điện.

Sợi cáp quang rất mềm, dễ uốn cong còn dây đồng thì rất cứng khi bị uốn. Ngoài ra cáp sợi quang còn giải thành rất nhiều dây đồng nhiều lần. Quan trọng hơn là sợi quang còn thể mang nhiều thông tin hơn dây đồng. Một sợi cáp quang kèm theo sợi giúp nối của laser nên biến đổi chuyển đổi các cuộc gọi nên thoải mái và các chương trình truyền hình.

Trong cáp sợi quang thông tin được chuyển thành xung ánh sáng, xung này được truyền nên một khoảng cách nào đó như sợi quang, sau đó được chuyển thành thông tin.



Một số hình ảnh về việc sử dụng sợi quang



VII - ỒU ÑIỀM VẢNHỒIỀ ÑIỀM

Ồu ñiỀm

An toản trong truyỀn tin.

Trảnh nghe trỏm

Toản hao nhỏi

Đải thỏng rỏng

Khải nảng phỏic hỏp cao

Kỏch thỏic nhỏi vả trỏng lỏng nhỏi

Giải vả liỀu chẻ tảo sỏi quang rẻi

Nhỏic ñiỀm

Toản hao do cỏ cấu bao gỏm

- Do uốn cong sỏi quang
- Do khớp nối
- Do hàn nối

Toản hao do vả liỀu:

- Hỏp thủi bỏic xỏi hỏng ngoải
- Tải xỏi cũa bỏic xỏi ñiỀn tỏi tải xỏi truyỀn tỏnh vả phi truyỀn .

-----/-----