Chương

1

GIỚI THIỆU

**1.1 TỪ QUANG HỌC CỔ ĐIỂN ĐẾN VÙNG CẤM QUANG.**

Trong nghiên cứu khoa học, chúng ta thường phải đối mặt với các vấn đề hóc búa cũng như sự quyến rũ của các ý tưởng đã có khiến chúng ta tập trung quá nhiều vào chúng, và có khuynh hướng xem những thứ, là niềm cảm hứng thật sự cho công việc. Nhiều lúc, vào điểm khởi đầu ta đã xác định được lời giải cho bài toán phụ rồi ta có thể tổng quát hóa để tìm và thu được nghiệm tương ứng. Tình trạng này đã trở nên nhiều hơn khi chúng ta, từ nhiều lý thuyết tổng quát hơn có thể giải quyết các vấn đề mới và không biết trước được, lúc mới nhìn thoáng qua thì rất ít việc để làm với bài toán phụ đầu tiên.

Nếu nhìn vào tiêu đề cuốn sách này – sợi tinh thể quang – ta có thể nhận ra tình trạng tương tự, và chương giới thiệu này sẽ phác họa những điều cơ bản về sợi tinh thể quang.

Chúng ta sẽ bắt đầu từ những ứng dụng phổ biến của ống dẫn sóng quang. Ở đây, rõ ràng là sợi quang và ống dẫn quang tích hợp được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như viễn thông, công nghệ cảm biến, kính quang phổ và y học... Hoạt động của chúng dựa trên việc dẫn ánh sáng dựa vào nguyên lý phản xạ toàn phần trong ống dẫn sóng (ống dẫn thường cấu tạo từ chất điện môi hoặc bán dẫn), có chiết suất lõi cao hơn chiết suất môi trường. Sự phản xạ toàn phần là một nguyên lý vật lý đã được biết đến và lợi dụng một cách có kĩ thuật từ nhiều năm. Tuy nhiên, hiện nay, các nghiên cứu mới trong lĩnh vực vật liệu đã mở ra khả năng định vị và điều khiển ánh sáng trong các khoang và ống dẫn bởi một nguyên lý vật lý mới, gọi là hiệu ứng vùng cấm quang.

Nhìn vào các phát triển công nghệ ngày nay, thật khó để nhận ra rằng hiệu ứng vùng cấm quang lần đầu tiên được mô tả năm 1987 bởi Yablonovitch và John, hai người họ độc lập nghiên cứu việc điều khiển phát tự phát và định vị ánh sáng trong các vật liệu tuần hoàn mới. Cái tên tinh thể quang (hay cấu trúc vùng cấm quang) được đặt ra để mô tả những vật liệu có tính tuần hoàn có khả năng tạo ra khoảng tần số trong đó sóng điện từ dù truyền theo hướng nào cũng bị cấm một cách nghiêm ngặt – và tương ứng với những khoảng tần số bị cấm được gọi là vùng cấm quang. Ý tưởng ban đầu đằng sau việc sử dụng tinh thể quang để điều khiển sự phát tùy ý là nhằm phục hồi tính phát xạ của nguyên tử bị kích thích hoặc tái kết hợp cặp lỗ trống-điện tử trong chất bán dẫn mà để xảy ra được, phải có một số khác không các trạng thái điện từ cho các photon phát ra. Do đó, các chuyển tiếp quang của nguyên tử về nguyên lý bị ngăn chặn trong tinh thể quang, nếu tinh thể được thiết kế có vùng cấm quang chồng lên các tần số chuyển tiếp quang. Khả năng này của tinh thể quang ngăn cấm sự truyền các photon ở những tần số xác định gần giống với đặc tính điện tử của chất bán dẫn, và triển vọng về việc có một vùng cấm quang tương tự như vùng cấm điện tử tạo nên sự quan tâm lớn về tinh thể quang. Sự tương tự giữa tinh thể quang và chất bán dẫn là: trong cả 2 trường hợp, phân phối có tính tuần hoàn của điện thế trong không gian gây ra việc mở rộng các khoảng cấm trong mối liên quan tán sắc giữa photon và sóng điện. Tuy nhiên, vùng cấm điện tử được gây ra bởi điện thế biến đổi một cách tuần hoàn do sự sắp xếp mạng của các nguyên tử tạo thành chất bán dẫn, sự phân bố tuần hoàn của điện môi gây ra vùng cấm để mở trong tinh thể quang. Việc xem xét sự va chạm điện tử khác thường từ việc khai thác vùng cấm điện trong silicon và các chất bán dẫn khác, tác động chủ yếu của các quang tử cũng được dự đoán khi khai thác tinh thể quang.

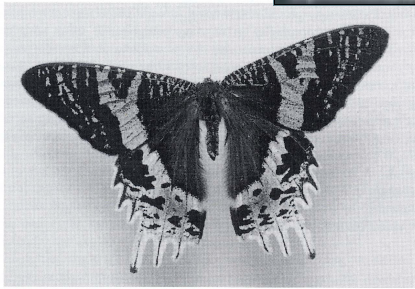
Những nghiên cứu ban đầu về vùng cấm quang không liên quan trực tiếp đến ống dẫn sóng, nhưng liên quan mật thiết đến vấn đề định vị ánh sáng trong các thành phần quang trong tương lai. Có thể nói một cách chính xác rằng hầu hết những nhà nghiên cứu, tình cờ gặp ý tưởng mới về vùng cấm quang từ khoảng cuối những năm 1980 hoặc đầu những năm 1990, trước hết dù những ý tưởng này khá kì lạ, hấp dẫn nhưng không có nhiều ứng dụng thực tế. Một trong những lý do là chế tạo ra tinh thể quang khó hơn nhiều khi so sánh với chất bán dẫn. Lý do chính cho điều này, và có thể là lý do tại sao khái niệm tinh thể quang được nhận ra tương đối muộn trong khoa học – đó là do thiếu các vật liệu thể hiện vùng cấm quang 3 chiều (nghĩa là để truyền dẫn ánh sáng theo hướng tùy ý).

Đề vùng cấm quang 3D xảy ra, có một số yêu cầu, trong đó cấu trúc tuần hoàn phải được thực hiện. Việc thực hiện sự tương phản chiết suất cao, có thể thiết kế cấu trúc tinh thể và kích thước mạng thang bước sóng. Ngược với chất bán dẫn, nơi mà các nguyên tử sắp xếp ngẫu nhiên trong một mạng với kích thước phù hợp với bước sóng của electron, tinh thể quang để hoạt động ở vùng bước sóng có thể nhìn thấy được hoặc vùng hồng ngoại, phải có “nguyên tử quang” nhân tạo được sắp xếp theo một kích cỡ xấp xỉ một micron. Dù kích thước này lớn hơn cả nghìn lần so với kích thước bước sóng điện, nó làm cho việc chế tạo tinh thể quang để sử dụng trong miền quang cũng đã là một thử thách của kĩ thuật. Đối với sự tương tự kỳ lạ giữa chất bán dẫn và tinh thể quang, bởi vậy, nó cần thiết được thêm vào sự khó khăn trong việc sản xuất sợi tinh thể kích cỡ micro, đó là sự khác nhau cơ bản giữa electron và photon. Vì thế, mặc dù tinh thể quang có thể cung cấp các thành phần quang độc đáo, mới lạ, lý tưởng cũng như mở rộng sự phức tạp của các thành phần đã có, ý tưởng về sự chuyển đổi trực tiếp giữa các thành phần điện tử sang công nghệ phiên bản quang sử dụng tinh thể quang, phải được xem xét để được đơn giản hóa. Công nghệ quang nên được xem xét ở những khía cạnh của chính nó như là một lĩnh vực nghiên cứu, một lĩnh vực vẫn có sự quan tâm lớn, và có những nghiên cứu được ứng dụng để chứng minh là một khía cạnh thành công. Một trong những khía cạnh ứng dụng được định hướng như đã đề cập từ trước, là những loại ống dẫn sóng quang mới.

1.2 NHỮNG VI CẤU TRÚC TRONG TỰ NHIÊN

Mặc dù rất khó để tìm ra những ví dụ đã đề cập trước đây về cấu trúc vùng cấm 3D trong tự nhiên, tuy nhiên, chúng ta không nên quên các cấu trúc mà hầu hết trong chúng ta thực sự quen thuộc – ít nhất là những tinh thể quang 2D, từ những ví dụ khác nhau. Một trong những ví dụ cổ điển nhất là các chấm màu trên cánh bướm (hình 1.1). Tuy nhiên như đã đề cập trong phần đầu tiên của chương này, việc quan sát cấu trúc có tính tuần hoàn cao (với chu kì tiến gần đến bước sóng của ánh sáng nhìn thấy được), nó dường như một nguồn cảm hứng cho các nhà khoa học. Việc lựa chọn bước sóng phổ biến, bước sóng mà hầu hết chúng ta quen thuộc bằng cách nhìn một con bướm di chuyển cánh của nó và cho phép các điểm thay đổi màu sắc, ví đụ, từ xanh dương sang xanh lá cây, là một sự quan tâm rõ ràng trong nghiên cứu quang hiện đại. Tuy nhiên, mặc dù ứng dụng rõ ràng trong tự nhiên, nó mới được xây dựng thành lý thuyết dùng trong các nghiên cứu quang dựa trên ảnh hưởng của vùng cấm quang. Nguyên tắc của cấu trúc tuần hoàn 1D được khám phá một cách rộng rãi trong quang học trong nhiều năm, bởi vì các ngăn Bragg và các cách tử quang học được sử dụng cho lớp vỏ quang, vật phản xạ bước sóng và nhiễu xạ có lựa chọn trong nhiều năm...

Vùng cấm quang được tìm thấy trong nhiều nơi khác nhau trong tự nhiên hơn là chỉ trong cánh bướm, và trong các tài liệu xuất bản gần đây có đề cập đến cấu trúc màu của tinh thể quang miêu tả những ví dụ thú vị như chuột biển và những con bọ cánh cứng đầy màu sắc.



Hình 1.1. Ví dụ về vùng cấm quang trong tự nhiên. Bức ảnh của 1 con bướm thuộc loài Madagascar Boisdiural.

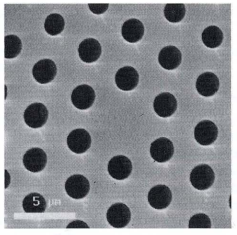
1.3. TINH THỂ QUANG VÀ VÙNG CẤM TRONG SỢI QUANG

Ống dẫn sóng tinh thể quang được khám phá ngày nay cho cả những ứng dụng phẳng và sợi. Trong khi ống dẫn sóng tinh thể quang phẳng có tiềm năng cung cấp độ suy hao thấp với mức uốn cong 900, và có thể là chìa khóa cho những thành phần quang tích hợp lớn, sợi tinh thể quang yêu cầu chỉ số lõi – vỏ thông thường và giới hạn, bộc lộ những tính chất và tiềm năng mới, ví dụ, sự phát laser công suất cao, vị trí phổ trong cửa sổ phát và tốc độ phát. Một sự kiện quan trọng trong công nghệ tinh thể quang phẳng, ống dẫn sóng uốn cong lớn gần đây được chứng minh bởi Lin. Tuy nhiên, kết quả này thu được ở bước sóng milimet và mặc dù những tính chất của tinh thể quang có thể tỉ lệ với những chế độ bước sóng khác nhau bằng tỉ lệ với kích thước của tinh thể, một số vấn đề cho việc hoạt động ở bước sóng quang liên quan tới sự giảm các suy hao tán xạ cao kết quả của kéo dài chiều dọc của cấu trúc tinh thể quang phẳng. Vấn đề của suy hao tán xạ dọc được thay đổi trong thí nghiệm bởi Lin bằng việc kẹp tinh thể quang phẳng giữa hai tấm kim loại. Trong khi quá trình này có thể thực hiện được ở bước sóng millimet, và vẫn có một phần vấn đề không giải quyết được để cung cấp sự giam giữ mạnh theo chiều dọc trong các tinh thể quang phẳng hoạt động ở bước sóng quang.

Tương phản với cấu trúc phẳng, ống dẫn sóng tinh thể quang bị giới hạn chiều dọc có thể dễ dàng chế tạo trong những mẫu sợi sử dụng kĩ thuật chế tạo sợi truyền thống chỉ với chút ít thay đổi. Điều này làm cho sợi quang xuất hiện hầu hết trong các công nghệ ngày nay cho việc khám phá tinh thể quang hoạt động ở bước sóng quang.

Trong hình 1.2, một ví dụ của cấu trúc vỏ có tính tuần hoàn cao bao quanh một lõi thủy tinh đặc của sợi tinh thể quang được đưa ra. Chúng ta chú ý rằng những lỗ không khí phân bố trong không gian như nhau trong lớp vỏ, hầu hết có đường kính giống hệt nhau.

Chúng ta sẽ mô tả chi tiết hơn trong quyển sách này, cấu trúc sợi được chỉ ra trong hình 1.2, không hoạt động dựa trên ảnh hưởng vùng cấm quang, mà theo lý thuyết phản xạ toàn phần. Trong cấu trúc này bán kính của lõi không khí xấp xỉ 2μm.



Hình 1.2. Sợi tinh thể quang bao gồm 1 lõi thủy tinh đặc và lớp vỏ bao gồm các lỗ không khí sắp xếp tuần hoàn trong chất liệu thủy tinh cơ bản.

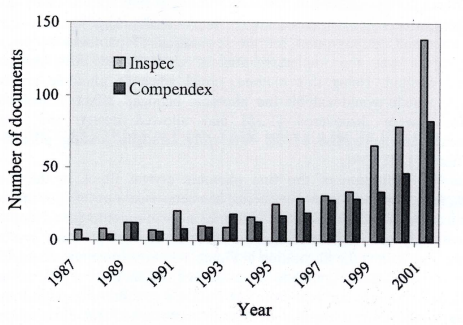
1.4. SỰ PHÁT TRIỂN CỦA LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU

Sợi quang trong đó các lỗ không khí xuất hiện trong vùng vỏ và kéo dài theo hướng trục của sợi được biết đến từ những ngày đầu ống dẫn sóng silica được nghiên cứu. Công việc này chứng minh được những sợi có suy hao thấp được chế tạo hoàn toàn từ silica.

Do sự phát triển công nghệ của sợi silica pha tạp - đầu tiên trong lĩnh vực thông tin quang - được gọi là “single-material” (hay chính xác hơn là “air-silica”) sợi đã không được phát triển thêm qua một vài năm. Tuy nhiên, năm 1996, Russell và đồng nghiệp đã chứng minh được sợi có vỏ tinh thể quang.

Bằng nghiên cứu của Russell và cộng sự, lĩnh vực sợi tinh thể quang được khám phá và được hiểu cơ bản là sợi silica vi cấu trúc với một mạng tuần hoàn của vài trăm lỗ không khí chạy dọc theo chiều dài sợi. Mục đích ban đầu của Russell là tìm hiểu việc sợi có thể dẫn ánh sáng sử dụng ảnh hưởng của vùng cấm quang. Sợi đầu tiên được chế tạo có các lỗ khí sắp xếp theo cấu trúc lục giác ở vùng vỏ và khuyết một lỗ khí ở lõi sợi. Sợi có cấu trúc khá đơn giản và chúng tương đối dễ để kết hợp ánh sáng cũng như dẫn ánh sáng một cách hiệu quả. Tuy nhiên, người ta sớm nhận ra rằng sự hoạt động của sợi không dựa trên hiệu ứng vùng cấm quang, mà dựa trên sự thay đổi index-guiding (dẫn sóng do chênh lệch chiết suất) mà vùng lõi có chiết suất cao hơn vùng vỏ. Quá trình chế tạo sợi index-guiding nhanh hơn sợi bandgap-guiding (dẫn sóng theo nguyên lý dải cấm). Cấu trúc vỏ tinh thể quang với các lỗ không khí lớn vừa đủ ở những kích thước được yêu cầu. Yếu tố giới hạn thứ hai là sự khuyết thiếu của công cụ số chính xác. Bản chất phức tạp của cấu trúc vỏ của sợi tinh thể quang không cho phép sử dụng trực tiếp các phương pháp của lý thuyết sợi truyền thống.

Điểm ngoặt quan trọng cho sự thực hiện sợi bandgap-guiding là sự thực hiện chính xác, phương pháp full-vector. Sử dụng phương pháp này, cấu trúc tinh thể silica-không khí cho thấy tác động của vùng cấm quang ở kích thước thực, đã được khám phá và cho phép thiết kế, và chứng minh bằng thực nghiệm trên sợi tinh thể quang bandgap-guiding đúng nghĩa đầu tiên.



Hình 1.3. Số lượng tài liệu đã được xuất bản/năm (bao gồm các bài báo đăng trên các tạp chí, bằng sáng chế...) được đăng kí tại các cơ sở dữ liệu tương tứng “Inspec” hoặc “Compendex”. Dựa trên các từ khóa “Crystal fiber, Microstructured fiber, Bandgap fiber or Holey fibers”.

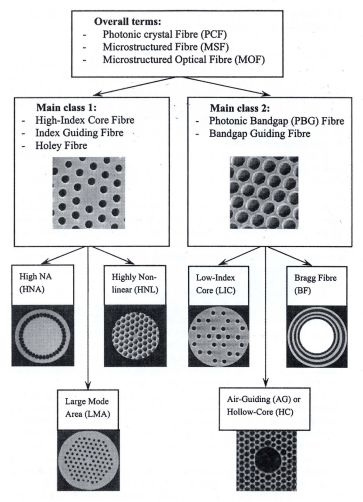
Kể từ khi các sợi tinh thể quang được sản xuất lần đầu tiên vào giữa những năm 1990, chúng đã thu hút được sự quan tâm không chỉ từ cộng đồng mà còn từ phía các nhà công nghiệp. Để có thể thấy được điều này, ta có thể quan sát hình 1.3. Biểu đồ minh họa số lượng tài liệu được xuất bản từ năm 1987 đến năm 2001. Mặc dù vậy, do hạn chế của các thuật ngữ tìm kiếm, các số liệu có thể không bao gồm tất cả các bài báo hoặc bằng sáng chế đã được công bố hay xuất bản.

1.5. CÁC LỚP KHÁC NHAU CỦA SỢI QUANG VI CẤU TRÚC

Trong phần này, chúng ta sẽ giới thiệu một số cái tên và thuật ngữ đã được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực nghiên cứu được mô trả trong cuốn sách này. Lưu ý rằng, vì lĩnh vực này vẫn còn tương đối non trẻ, và được nghiên cứu bởi các nhóm nghiên cứu khác nhau nên những thuật ngữ họ dùng cũng khác nhau. Chúng ta sẽ cố gắng đề cập đến những thuật ngữ phổ biến nhất.

Nếu ta quan sát hình 1.4, tất cả thuật ngữ sử dụng cho lĩnh vực được chỉ ra ở phía trên. Những từ được sử dụng nhiều nhất là *sợi tinh thể quang* (Photonic Crystal Fibers - PCF), *sợi vi cấu trúc* (Microstructured Fibers - MSF), hoặc *sợi quang vi cấu trúc* (Microstructured Optical Fibers - MOF). Tuy nhiên, trong quyển sách này, ta sẽ sử dụng thuật ngữ “sợi tinh thể quang” để mô tả sợi với cấu trúc có chiết suất tương phản cao trong lớp vỏ (thỉnh thoảng ngay cả trong lõi), được sử dụng để định dạng tính chất ống dẫn sóng trong sợi.

Bất kì sợi PCF hoặc vi cấu trúc nào cũng có thể được xếp vào một trong hai lớp chính, được đặt tên ứng theo nguyên lý dẫn quang trong sợi: nguyên lý phản xạ toàn phần (TIR) hoặc dẫn sóng theo hiệu ứng vùng cấm quang. Những sợi thuộc lớp chính đầu tiên, như đã được chỉ ra ở hình 1.4, thường được gọi là sợi lõi chiết suất cao (HIC), sợi Index-Guiding (IG) hoặc sợi Holey Fibres (HF). Trong lớp chính thứ hai, những sợi thường được gọi là sợi PBG hoặc sợi Bandgap-Guiding (BG).



Hình 1.4. Sơ đồ cho thấy hầu hết những thuật ngữ được sử dụng trong những cấu trúc điểm hình cho lớp chính và những lớp phụ của sợi tinh thể quang.

Bây giờ chúng ta có thể chia hai lớp chính thành các lớp nhỏ hơn, mà chủ yếu được xác định bởi kích thước của cấu trúc và những đặc điểm đặc biệt của chúng. Đối với những sợi index-guiding, có 3 lớp con: *sợi có khẩu độ số lớn* (High-numerical­aperture - RNA) có phần trung tâm được bao quanh bởi một vòng các lỗ khí tương đối lớn, *sợi có diện tích mode lớn* (Large-Mode-Area - LMA) có các tham số kích thước tương đối lớn và tương phản chiết suất hiệu dụng nhỏ để mở rộng theo chiều ngang của trường quang, cuối cùng là *sợi có tính phi tuyến cao* (Highly-Non-Linear - RNL) có kích thước lõi rất nhỏ để giam giữ mode chặt chẽ.

Những sợi quang dẫn quang theo nguyên lý vùng cấm quang có thể được phân thành các lớp con như Low-Index-Core (LIC), Air-Guiding (AG) hoặc Hollow-Core (HC) và thêm vào đó sợi đối xứng quay Bragg có thể được thêm vào, mặt dù sau này cấu trúc vòng của nó hơi khác so với những sợi có lỗ khí được phân bố trong vỏ. Sợi LIC là ống dẫn sóng, dẫn ánh sáng bằng hiệu ứng vùng cấm quang, và do đó giới hạn ánh sáng ở trung tâm sợi. Mặc dù chiết suất của vùng lõi thấp hơn của vùng vỏ, phần lớn công suất quang là truyền trong vật liệu có chiết suất cao (hầu hết là silica). Trái ngược với điều này, sợi air-guiding cung cấp một vùng cấm, cho phép phần lớn công suất quang ở lỗ trung tâm của cấu trúc sợi.

1.6. TỔ CHỨC CỦA CUỐN SÁCH

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Mô tả cơ bản về ống dẫn sóng tinh thể quang. Trong chương này, có một phần quan trọng dành cho các thuộc tính mới của hiệu ứng vùng cấm quang, và được hoàn thành mặc dù thực tế, nhiều sợi tinh thể quang ngày nay không hoạt động dựa trên hiệu ứng này mà dựa trên nguyên lý phản xạ toàn phần sửa đổi (Modified Total Internal Reflection), gần gũi hơn với nguyên tắc hoạt động của các sợi quang tiêu chuẩn. Tuy nhiên, do ảnh hưởng tương đối mới của hiệu ứng vùng cấm quang, chúng ta sẽ tập trung vấn đề này trong chương 2, mô tả sự phát triển từ ống dẫn sóng tinh thể quang 1D tới 3D. Chúng ta cũng sẽ đề cập đến vấn đề thiết kế cấu trúc hiệu quả cho việc tạo ra vùng cấm quang và tinh thể quang silica-không khí được đưa ra như là bước đầu tiên hướng tới công nghệ PCF dựa trên silica.

Chương 3: mô tả về 11 lý thuyết và phương pháp toán khác nhau được áp dụng cho việc phân tích sợi tinh thể quang. Mốc tham chiếu được lấy theo cách tiếp cận rất đơn giản: phương pháp chiết suất hiệu dụng, sau đó phương pháp hàm vị trí (Localised Basic Function) được đưa ra. Kết quả đạt được dựa trên phương pháp sóng phẳng đầy đủ (full-vector Plane-Wave) bởi vì những tính chất tổng quát của phương pháp này rất hữu dụng trong việc cung cấp hiểu biết cơ sở về các vấn đề mấu chốt trong việc mô hình sợi PCF. Một phương pháp khác được trình bày là phương pháp Biorthonormal-Basic. Sau đó, hai phương pháp được ứng dụng gần đây, nhằm mục đích dự đoán suy hao sợi, được mô tả cụ thể như phương pháp đa cực và phương pháp khai triển Fourier. Tiếp theo là một số phương pháp số cổ điển được trình bày, bao gồm phương pháp sai phân hữu hạn, phần tử hữu hạn và truyền chùm tia. Cuối cùng, một phương pháp vô cùng hiệu quả gần đây, phương pháp chỉ số chiết suất trung bình tương đương được đưa ra, và chương này sẽ miêu tả ngắn gọn các ưu nhược điểm của các phương pháp đã đưa ra.

Chương 4: các vấn đề cơ bản của việc chế tạo sợi tinh thể quang. Bao gồm quá trình tạo phôi, kéo sợi cũng như mô tả những sợi vi cấu trúc trong những chất liệu mới...chalcogenides, polymers và thủy tinh có nhiệt độ nóng chảy thấp.

Chương 5: mô tả các vấn đề cơ bản của loại sợi tinh thể quang được sử dụng rộng rãi, cụ thể là sợi có chiết suất lõi cao. Chương này bao gồm sự mô tả về những tính chất dẫn sóng cơ bản ví dụ như tần số cắt, tán sắc, khả năng giam giữ mode... và trình bày sự cần thiết của cấu trúc vỏ tuần hoàn hay ko tuần hoàn.

Chương 6: tập trung vào lớp sợi dẫn sóng theo hiệu ứng vùng cấm. Ta sẽ tham khảo quá trình chứng minh vùng cấm quang ở bước sóng quang. Hơn nữa, khái niệm về sợi air-guiding sẽ được thảo luận và xem xét lại, và ta sẽ trình bày các khả năng cung cấp sợi PBG có tương phản chiết suất thấp.

Chương 7: mô tả một số ứng dụng quan trọng nhất của sợi tinh thể quang được biết đến tại thời điểm hiện tại, và đặc biệt lưu ý tới những lĩnh vực ứng dụng đang phát triển với một tốc độ rất cao, bởi vì sợi tinh thể quang thường được cung cấp mới hoàn toàn và có khả năng thay thể các sợi quang tiêu chuẩn. Do đó, một nhiệm vụ khó khăn là tạo ra một mô tả cập nhật về số lượng ứng dụng được xuất bản mỗi tuần. Do đó, lựa chọn của chúng ta là những lĩnh vực ứng dụng quan trọng nhất và trình bày chúng ở một mức độ mà hi vọng có thể cung cấp một cái nhìn tổng quan cho người đọc. Những ứng dụng được chọn là: sợi PCF có diện tích mode lớn, sợi PCF có tính phi tuyến cao (thể hiện thiết kế lõi rất nhỏ). Sợi PCF có tính lưỡng chiết cao (tăng cường tính chất phân cực) và sợi PCF có khẩu độ số lớn cho thấy khả năng phát trong những laser sợi công suất cao và các bộ khuếch đại. Ngoài ra các vấn đề như ghép nối và mối nối các sợi tinh thể cũng được đề cập trong chương này.