

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HẰNG SỐ MẠNG VÀ ĐƯỜNG KÍNH LỖ KHÍ LÊN ĐỘ MÁT MÁT TRONG SỢI TINH THỂ QUANG TỬ LÀM TỪ SILICA TINH KHIẾT VỚI LỖ ĐƯỢC BƠM ĐẦY BỞI CHẤT LỎNG TETRACHLOROETHYLENE

Trần Hồng Thắm¹, Nguyễn Trà My¹, Nguyễn Thị Dung², Nguyễn Thị Huệ², Lê Văn Hiệu²

TÓM TẮT

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số cấu trúc lên độ mát mát trong sợi tinh thể quang tử bằng phương pháp mô phỏng kết hợp với phương pháp tính toán số. Sợi tinh thể quang tử được làm từ thủy tinh tinh khiết silica với lỗ khí trung tâm được bơm đầy bởi chất lỏng tetrachloroethylene (C_2Cl_4) được sử dụng để nghiên cứu. Kết quả chỉ ra rằng độ mát mát phụ thuộc rất lớn vào hằng số mạng và đường kính lỗ khí trong lớp vỏ. Khi tăng đường kính lỗ khí hoặc giảm hằng số mạng trong lớp vỏ của sợi tinh thể quang tử thì độ mát mát tăng lên. Kết quả này có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế các cấu trúc của sợi tinh thể quang tử. Bằng việc tối ưu hóa các tham số cấu trúc như hằng số mạng hay đường kính lỗ khí, chúng ta có thể thiết kế và chế tạo được các cấu trúc sợi tinh thể quang tử với độ mát mát thấp, đây là vấn đề đặc biệt quan trọng với các ứng dụng trong các lĩnh vực truyền dẫn thông tin.

Từ khóa: *Quang phi tuyến, sợi tinh thể quang tử, độ mát mát, chất lỏng.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, lĩnh vực sợi tinh thể quang tử (Photonic crystal fiber-PCF) thu hút được rất nhiều sự chú ý của các nhà khoa học trên thế giới, bởi những tính chất đặc biệt của nó mà sợi quang cổ điển không có được như: thu được chế độ đơn mode [1], lưỡng chiết cao [2], tính phi tuyến tính cao [3], khả năng điều chỉnh các đặc tính tán sắc để đạt được tán sắc phẳng hoặc tán sắc cực phẳng [4]. Trong sợi tinh thể quang tử, ánh sáng có thể lan truyền bằng hai phương thức cơ bản chủ yếu khác nhau. Đối với sợi lõi đặc có chiết suất vùng lõi lớn hơn chiết suất vùng vỏ, ánh sáng lan truyền theo cơ chế khúc xạ và phản xạ toàn phần [5]. Trường hợp còn lại với sợi tinh thể quang tử lõi rỗng, chiết suất của vùng lõi nhỏ hơn chiết suất ở vùng vỏ vì vậy ánh sáng lan truyền theo cơ chế giam giữ Band Gap [5]. Với sự linh động trong việc sắp xếp lỗ khí xung quanh lõi chạy dọc theo chiều dài của nó, PCF cho phép thay đổi các đặc tính tán sắc, đặc tính mát mát cũng như các đặc tính phi tuyến bằng cách thay đổi độ lớn các tham số cấu trúc như hằng số mạng A (khoảng cách giữa hai lỗ khí liên tiếp), đường kính lỗ khí (d), hình dạng lỗ khí và hệ số lấp

¹ Sinh viên lớp K23-DHSP Vật lý CLC, Trường Đại học Hồng Đức

² Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Hồng Đức; Email: levanhieu@hdu.edu.vn

đầy tuyến tính (f) [6]. Ngoài ra, cũng nhờ sự linh động trong cách sắp xếp các lỗ khí này, cơ chế lan truyền trong sợi cũng có thể thay đổi được. Với những ưu điểm vượt trội trong thiết kế và chế tạo, sợi tinh thể quang tử được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như truyền dẫn thông tin, kỹ thuật y sinh hay các thiết bị cảm biến [7][8].

Một trong những ứng dụng quan trọng khác của sợi tinh thể quang tử là tạo ra các nguồn sáng phổ phát siêu liên tục (supercontinuum generation) được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như chụp cắt lớp kết hợp quang học được sử dụng trong y học, đo lường tần số, quang phổ học [8][9]. Trong lĩnh vực này, cách tiếp cận điển hình là sử dụng sợi được làm từ thủy tinh và các sợi thủy tinh mềm chiết suất cao [10-12]. Thủy tinh tinh khiết silica có độ hấp thụ nhỏ trong vùng ánh sáng nhìn thấy đến vùng gần hồng ngoại, vì vậy sử dụng sợi loại này có nhiều ưu điểm trong vùng ánh sáng này [10]. Trong khi đó, với các thủy tinh mềm như chalcogenide [11] hay lead-bismuth-galate [12]... thường có độ trong suốt lớn với vùng bước sóng dài hơn và độ phi tuyến lớn hơn so với thủy tinh silica. Vì vậy sử dụng các sợi được làm từ thủy tinh mềm rất phù hợp trong vùng bước sóng hồng ngoại giữa. Tuy nhiên, việc sử dụng các loại sợi được làm từ thủy tinh mềm thường đòi hỏi hệ thống máy bơm phức tạp cũng như công suất lớn bởi vì các loại sợi này thường có bước sóng tán sắc bằng không lớn và nằm trong vùng hồng ngoại giữa [11]. Gần đây, các nhà nghiên cứu đã đề xuất một phương pháp mới để sợi tinh thể quang tử đạt được độ phi tuyến tính cao đó là sử dụng lõi rỗng được bơm đầy chất lỏng có độ phi tuyến cao. Với các chất lỏng như carbon disulfide (CS_2) [13], carbon tetrachloride (CCl_4) [14] thường có độ trong suốt lớn và có độ phi tuyến cao, vì vậy rất phù hợp khi sử dụng làm môi trường lan truyền. Trong trường hợp này, các hiệu ứng phi tuyến thường được xảy ra nhanh chóng ở những cm đầu tiên, vì vậy sợi tinh thể quang tử có lõi được bơm bởi các chất lỏng thì phổ đầu ra có thể thu được với sự ổn định cao và vùng phổ mở rộng nhiều [13][14]. Tuy nhiên, nhược điểm cơ bản của phương pháp này là các chất lỏng có độ phi tuyến tính cao thường có tính độc hại cao nên bị hạn chế ứng dụng vào thực tế.

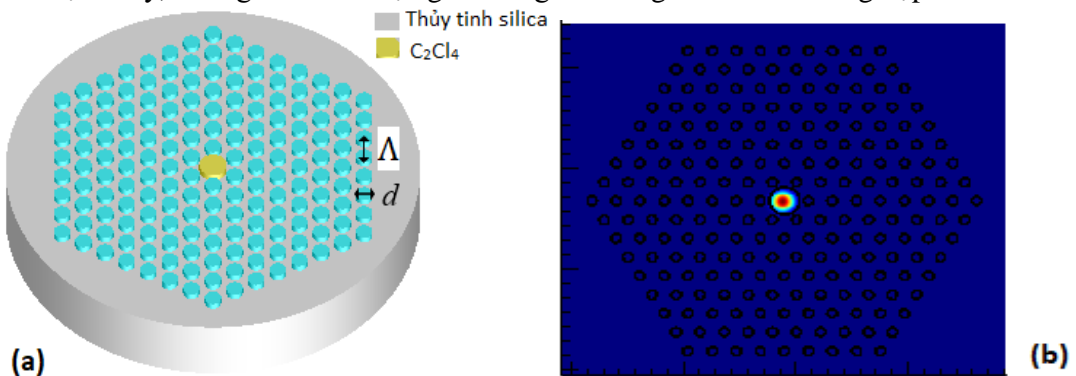
Một cách tiếp cận khác cũng có thể thu được hiệu quả tương tự là thiết kế các cấu trúc sợi tinh thể quang tử có độ mất mát thấp. Trong lĩnh vực truyền dẫn thông tin, độ mất mát là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến quá trình lan truyền của xung, hay ảnh hưởng đến hệ thống kết nối trong hệ thống thông tin quang. Độ mất mát cũng là một trong những yếu tố xác định khoảng cách truyền dẫn tối đa giữa bộ phát quang và bộ thu quang hoặc bộ khuếch đại quang trên đường truyền. Thực tế, độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử phụ thuộc vào nhiều yếu tố như chiều dài sợi (khoảng cách lan truyền), vật liệu làm sợi hay các tham số cấu trúc của sợi. Mỗi sự sắp xếp hợp lý khác nhau về cấu trúc như hàng số mạng (khoảng cách giữa hai lỗ khí liên tiếp), kích thước đường kính lỗ khí sẽ làm cho đặc tính quang học của sợi tinh thể quang tử như đặc tính tán sắc, độ mất mát thay đổi. Như vậy, bằng sự kết hợp giữa vật liệu và các tham số cấu trúc sợi phù hợp, chúng ta có thể thu được cấu trúc sợi có độ mất mát cực thấp [6]. Trong trường hợp này, hầu hết các công trình nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc tìm kiếm và thay thế các vật liệu nhằm thu được độ mất mát nhỏ. Trong khi đó, ảnh hưởng của các tham số cấu trúc

lên độ mất mát của sợi vẫn còn ít được quan tâm. Mặt khác, công nghệ chế tạo sợi tinh thể quang tử với các cấu trúc phức tạp như hình lục giác, hình vuông, cấu trúc xoắn vẫn còn gặp rất nhiều khó khăn và tốn kém [15]. Vì vậy việc nghiên cứu ảnh hưởng các tham số cấu trúc như hằng số mạng hay đường kính lỗ khí lên đặc tính quang học của sợi tinh thể quang tử vẫn là một cách thức mang lại nhiều hiệu quả trong lĩnh vực này.

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng số về ảnh hưởng của hằng số mạng và đường kính lỗ khí lên độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử. Chúng tôi sử dụng mô hình sợi tinh thể quang tử được tạo bởi thủy tinh silica tinh khiết (fused silica) với 8 vòng lỗ khí ở lớp vỏ được xếp đều trong mạng lục giác. Bên cạnh đây, lỗ khí trung tâm của sợi được bơm đầy bởi chất lỏng C_2Cl_4 . Chúng tôi lựa chọn C_2Cl_4 như là một môi trường lan truyền bởi vì chất lỏng C_2Cl_4 có độ phi tuyến cao $n_2 = 16.75 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ tại $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ [16]. Ngoài ra, chất lỏng C_2Cl_4 còn có độ trong suốt cao trong vùng ánh sáng nhìn thấy đến vùng gần hồng ngoại, điều này giúp chất lỏng C_2Cl_4 hứa hẹn trở thành một trong những môi trường lan truyền có độ phi tuyến cao hoàn hảo cho các ứng dụng trong vùng bước sóng này.

2. MÔ HÌNH CẤU TRÚC CỦA SỢI TINH THỂ QUANG TỬ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong phần này, chúng tôi nghiên cứu cấu trúc sợi tinh thể quang tử với lớp vỏ được làm từ thủy tinh silica tinh khiết và lõi được bơm đầy bởi chất lỏng C_2Cl_4 có độ phi tuyến cao. Mô hình mặt cắt của sợi tinh thể quang tử được mô tả như hình 1 (a). Chúng tôi giả sử rằng, cấu trúc sợi tinh thể quang tử bao gồm 8 vòng lỗ khí được sắp xếp đều nhau trong mạng lục giác đều được xác định bởi hằng số mạng Λ , đường kính lỗ khí d và hệ số lấp đầy được xác định bởi công thức $f = d/\Lambda$ được giữ cố định cho tất cả các vòng lỗ khí trong lớp vỏ. Bên cạnh đây, đường kính lõi được giữ không đổi trong tất cả các trường hợp.



Hình 1. (a) Mô hình sợi tinh thể quang tử với mặt cắt ngang của sợi, (b) phương thức lan truyền cơ bản của sợi tinh thể quang tử

Chiết suất của các vật liệu sử dụng trong cấu trúc sợi tinh thể quang tử (thủy tinh silica tinh khiết và chất lỏng C_2Cl_4) được tính toán bằng cách sử dụng phương trình Sellmeier như sau:

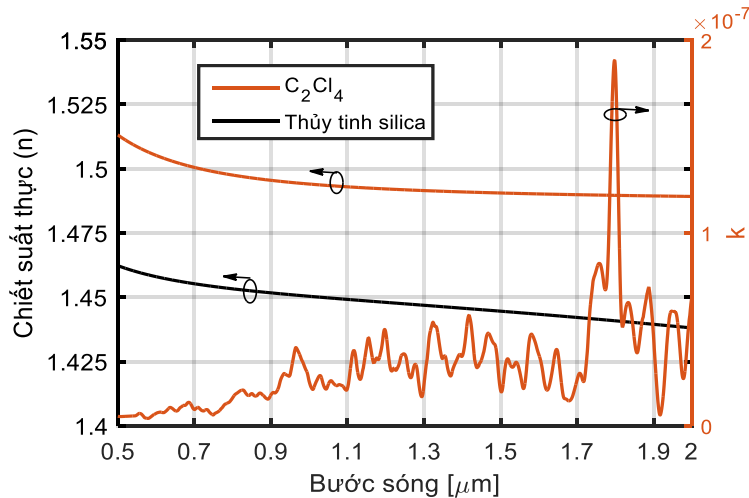
$$n(\lambda) = \sqrt{A_1 + \frac{B_1\lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2\lambda^2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3\lambda^2}{\lambda^2 - C_3}} \quad (1)$$

Trong đó, B_i, C_i là các hệ số Sellmeier được trình bày trong bảng 1. λ là bước sóng (μm).

Hình 2 mô tả các thành phần chiết suất của thủy tinh silica tinh khiết và chất lỏng C_2Cl_4 . Kết quả cho thấy, trong khoảng bước sóng xem xét chiết suất của chất lỏng C_2Cl_4 lớn hơn chiết suất của thủy tinh silica. Chứng tỏ trong trường hợp này, ánh sáng lan truyền trong sợi tuân theo định luật khúc xạ và phản xạ toàn phần. Bên cạnh đó chất lỏng C_2Cl_4 có độ trong suốt lớn trong vùng bước sóng từ $0.5 \mu\text{m}$ đến $1.7 \mu\text{m}$.

Bảng 1. Hệ số Sellmeier cho các thành phần vật chất của sợi tinh thể quang tử [10, 16]

Hệ số	Thủy tinh tinh khiết silica	Tetrachloroethylene
A_1	1	1
B_1	0.6694226	1.21453712
B_2	0.4345839	0.03501419
B_3	0.8716947	0
$C_1 [\mu\text{m}^2]$	0.0044801	0.01456
$C_2 [\mu\text{m}^2]$	0.013285	123.1074
$C_3 [\mu\text{m}^2]$	95.341482	0



Hình 2. Thành phần chiết suất thực (n) và chiết suất ảo (k) của C_2Cl_4 tại 20°C .

Đường màu đen mô tả chiết suất thực của thủy tinh silica tinh khiết

Độ mất mát trong quá trình lan truyền quyết định đến khả năng lan truyền xung trong sợi tinh thể quang tử và được xác định bằng công thức:

$$L_{\text{mất mát}} = 8.868 \cdot 10^4 \cdot k_0 \cdot I_m [N_{\text{eff}}] \left(\frac{dB}{\text{cm}} \right) \quad (2)$$

Trong đó k_0 là số sóng được xác định bởi công thức $k_0 = (2 \times \pi) / \lambda$. N_{eff} là chiết suất hiệu dụng của chế độ lan truyền cơ bản và λ là bước sóng.

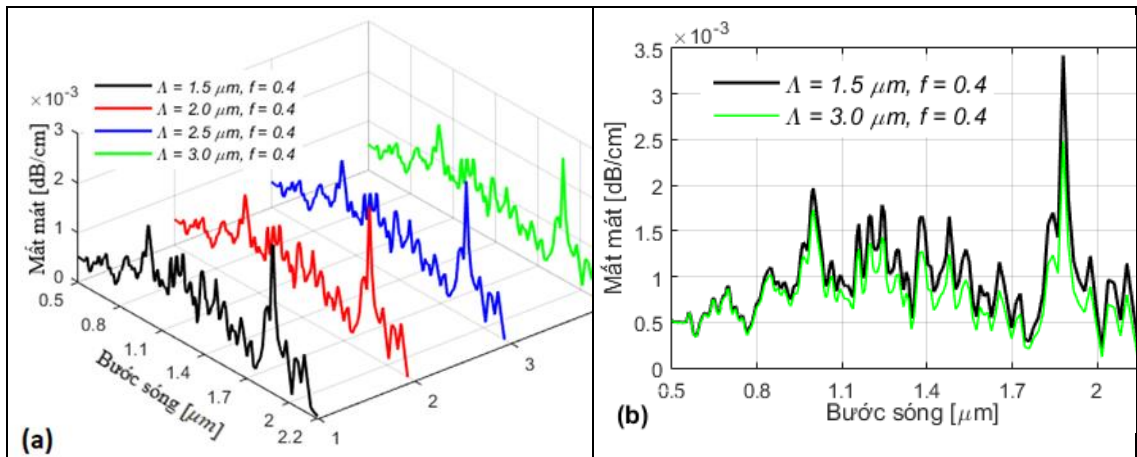
Khi tiến hành mô phỏng, chúng tôi sử dụng phần mềm Lumerical Mode Solution [17] để thiết kế và phân tích ảnh hưởng của các tham số cấu trúc lên độ mất mát của sợi tinh thể quang tử. Trong tất cả các trường hợp, chúng tôi chỉ xem xét tính toán cho chế độ lan truyền cơ bản với bước sóng trong khoảng từ $0.5 \mu\text{m}$ đến $2.2 \mu\text{m}$ được mô tả như hình 1 (b). Trong trường hợp này ánh sáng tập trung chủ yếu ở lớp lõi, vì vậy cường độ xung đầu ra thu được là lớn nhất với độ mất mát nhỏ nhất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của hằng số mạng lên độ mất mát của sợi tinh thể quang tử

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hằng số mạng Λ (khoảng cách giữa hai lỗ khí liên tiếp) lên độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử, chúng tôi đã xem xét sợi tinh thể quang tử có chiều dài 10 cm, với cấu trúc có hằng số mạng Λ thay đổi từ $1.5 \mu\text{m}$ đến $3.0 \mu\text{m}$ với bước nhảy 0.5. Trong mỗi trường hợp, chúng tôi tính toán độ mất mát của mode lan truyền cơ bản như là một hàm của bước sóng trong giới hạn $0.5 \mu\text{m} - 2.2 \mu\text{m}$.

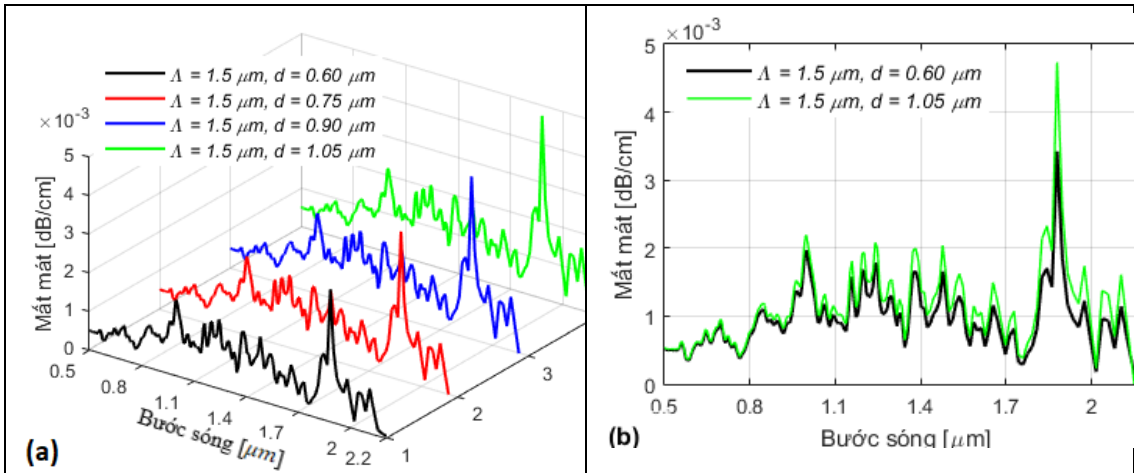
Hình 3 mô tả ảnh hưởng của hằng số mạng Λ lên độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử trong chế độ lan truyền cơ bản. Kết quả chỉ ra rằng, với mỗi hằng số mạng Λ , độ mất mát của sợi thay đổi theo bước sóng. Trong trường hợp hằng số mạng $\Lambda = 1.5 \mu\text{m}$ và hệ số lấp đầy $f = 0.4$, độ mất mát của sợi có giá trị lớn nhất là 3.42×10^{-3} [dB/cm] tại bước sóng $\lambda = 1.879 \mu\text{m}$. Trong khi đó, sợi có độ mất mát nhỏ thu được trong vùng bước sóng từ $0.5 \mu\text{m}$ đến $1.75 \mu\text{m}$. Ngoài ra các kết quả còn cho thấy, độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử phụ thuộc rất lớn vào hằng số mạng Λ của sợi. Khi hệ số lấp đầy không đổi, nếu hằng số mạng Λ tăng lên thì độ mất mát của sợi tinh thể quang tử giảm xuống (hình 3b). Ví dụ, tại bước sóng $\lambda = 1.879 \mu\text{m}$, trong trường hợp hệ số lấp đầy $f = 0.4$, hằng số mạng $\Lambda = 1.5 \mu\text{m}$, độ mất mát của sợi có giá trị là 3.42×10^{-3} dB/cm. Khi hằng số mạng tăng lên với giá trị $\Lambda = 3.0 \mu\text{m}$, độ mất mát của sợi giảm xuống và có giá trị là 2.484×10^{-3} dB/cm. Kết quả này thu được là bởi vì, khi tăng hằng số mạng sẽ làm tăng sự khác nhau giữa chiết suất lớp vỏ và lớp lõi. Điều này dẫn tới ánh sáng sẽ tập trung và ít bị phân kỳ trong lớp lõi và do đó mất mát trong sợi giảm.



Hình 3. Ảnh hưởng của hằng số mạng Λ lên độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử đối với phương thức lan truyền cơ bản trong không gian 3D (a) và 2D (b)

3.2. Ảnh hưởng của đường kính lỗ khí lên độ mất mát của sợi tinh thể quang tử

Ảnh hưởng của đường kính lỗ khí lên độ mất mát của sợi được nghiên cứu ở chế độ lan truyền cơ bản. Độ mất mát như một hàm của bước sóng được mô tả như hình 4. Trong trường hợp này, giá trị của hằng số mạng $\Lambda = 1.5 \mu\text{m}$ được giữ nguyên và thay đổi đường kính của lỗ khí trong lớp vỏ với các giá trị $d = 0.6 \mu\text{m}$, $0.75 \mu\text{m}$, $0.9 \mu\text{m}$ và $1.05 \mu\text{m}$. Các kết quả chỉ ra rằng, độ mất mát trong chế độ lan truyền cơ bản phụ thuộc rất lớn vào đường kính lỗ khí trong lớp vỏ của sợi. Với một giá trị Λ nhất định, độ mất mát sẽ tăng khi tăng đường kính của lỗ khí (chi tiết trong hình 4b). Ví dụ, tại bước sóng $1.879 \mu\text{m}$, khi hằng số mạng có giá trị $\Lambda = 1.5 \mu\text{m}$, độ mất mát bằng $4.74 \times 10^{-3} \text{ dB/cm}$ và $3.42 \times 10^{-3} \text{ dB/cm}$, tương ứng với $d = 1.05 \mu\text{m}$ và $d = 0.6 \mu\text{m}$. Kết quả này thu được là do khi tăng đường kính của lỗ khí sẽ dẫn tới giảm sự khác biệt giữa chiết suất vùng lõi và vùng vỏ trong sợi. Điều này dẫn tới ánh sáng sẽ bị phân kỳ nhiều hơn trong quá trình lan truyền, hay sẽ làm tăng độ mất mát trong quá trình lan truyền của ánh sáng trong sợi.



Hình 4. Ảnh hưởng của đường kính lỗ khí lên độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử đối với phương thức lan truyền cơ bản trong gian 3D (a) và 2D (b)

3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, bằng cách sử dụng phương pháp mô phỏng (phần mềm Mode Lumerical solution) kết hợp với các tính toán số, chúng tôi đã nghiên cứu ảnh hưởng của hằng số mạng và đường kính lỗ khí ở lớp vỏ lên độ mất mát trong quá trình lan truyền xung trong sợi tinh thể quang tử. Chúng tôi đã phân tích một sợi tinh thể quang tử có chiều dài 10 cm được làm bằng thủy tinh silica tinh khiết, gồm 8 lỗ khí được xếp trong mạng lục giác đều và lõi được bơm đầy bởi chất lỏng C_2Cl_4 có độ phi tuyến cao. Kết quả chỉ ra rằng, độ mất mát trong sợi tinh thể quang tử phụ thuộc rất lớn vào các tham số cấu trúc của sợi (hằng số mạng và đường kính lỗ khí). Độ mất mát của sợi sẽ tăng khi giảm hằng số mạng hoặc tăng đường kính lỗ khí trong lớp vỏ của sợi. Nguyên nhân của hiện tượng này là vì khi tăng đường kính của lỗ khí hoặc giảm hằng số mạng sẽ dẫn tới độ chênh lệch giữa

chiết suất vùng lõi và vùng vỏ trong sợi giảm xuống. Điều này dẫn tới tăng độ phân kỳ của ánh sáng, hay sẽ làm tăng độ mất mát trong quá trình lan truyền của ánh sáng trong sợi. Do đó, bằng việc tối ưu hóa các tham số cấu trúc như hằng số mạng hay đường kính lỗ khí, chúng ta có thể thiết kế được các cấu trúc sợi tinh thể quang tử với độ mất mát cực thấp, điều này đặc biệt quan trọng với các ứng dụng trong lĩnh vực truyền dẫn thông tin.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.A. Birks, J.C. Knight, and P.S.J. Russell (1997), *Endlessly single-mode photonic crystal fiber*, Optics Letters, 2(13) 961-963.
- [2] X. Li, P. Liu, Z. Xu, and Z. Zhang (2015), *Design of a pentagonal photonic crystal fiber with high birefringence and large flattened negative dispersion*, Appl. Opt., vol. 54, 7350-7357.
- [3] Y.E. Monfared, A. Mojtahedinia, A.R. Maleki Javan, and A.R. Monajati Kashani (2013), *Highly nonlinear enhanced core photonic crystal fiber with low dispersion for wavelength conversion based on four-wave mixing*, Frontiers of Optoelectronics, 6(3), 297-302.
- [4] K. Saitoh, N. Florous, and M. Koshiba (2005), *Ultra-flattened chromatic dispersion controllability using a defected-core photonic crystal fiber with low confinement losses*, Opt. Express, vol. 13, 8365-8371.
- [5] J.M. Dudley, G. Genty, and S. Coen (2006), *Supercontinuum generation in photonic crystal fiber*, Review of Modern Physics, vol. 78, 1135-1184.
- [6] H.V. Le, V.L. Cao, H.T. Nguyen, A.M. Nguyen, R. Buczyński, R. Kasztelanic (2018), *Application of ethanol infiltration for ultra-flattened normal dispersion in fused silica photonic crystal fibers*, Laser Physics 28, 115106 (8 pages).
- [7] H. Liu, Y. Yu, W. Song, Q. Jiang, F. Pang (2019), *Recent development of flat supercontinuum generation in specialty optical fibers*, Opto-Electronic Advances, 2(2), 2096-2479.
- [8] H. Tu, S. A. Boppart (2013), *Coherent fiber supercontinuum for biophotonic*, Laser Photonics Rev, 7(5), 628-645.
- [9] U. Sharma, E.W. Chang, H. S. Yun (2008), *Long-wavelength optical coherence tomography at 1.7 μm for enhanced imaging depth*, Opt. Express, 16(24), 19712-19723.
- [10] H.V. Le, V.T. Hoang, T. L. Canh, Q.H. Dinh, H.T. Nguyen, N.V.T. Minh, M. Klimczak, R. Buczynski, And R. Kasztelanic (2021), *Silica-based photonic crystal fiber infiltrated with 1, 2-dibromoethane for supercontinuum generation*, Applied optics, 60(23).
- [11] L.C. Van, T.N.T., Bao T.L Tran, D.H. Trong, N.V.T. Minh, H.V. Le, V.T. Hoang (2021), *Multi-octave supercontinuum generation in As_2Se_3 chalcogenide photonic crystal fiber*, Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications, 48(4) 100986.
- [12] L.C. Van, H.V. Le, N.D. Nguyen, N.V.T. Minh, Q.H. Dinh, V.T. Hoang, T.N. Thi, B.C.Van (2022), *Modeling of lead-bismuth gallate glass ultra-flattened normal dispersion photonic crystal fiber infiltrated with tetrachloroethylene for high coherence mid-infrared supercontinuum generation*, Laser Phys. (32) 055102.

- [13] D. Churin, T. N. Nguyen, K. Kieu, R.A. Norwood, N. Peyghambarian (2013), *Mid-IR supercontinuum generation in an integrated liquid-core optical fiber filled with CS₂*, Opt. Mater. Express 3 (9), 2159-3930.
- [14] H.V. Le, V.T. Hoang, G. Epniewski, T.L. Canh, N.V.T. Minh, R. Kasztelanic, M. Klimczak, J. Pniewski, K.X. Dinh, A. Heidt, and R. Buczyński (2021), *Low pump power coherent supercontinuum generation in heavy metal oxide solid-core photonic crystal fiber infiltrated with carbon tetrachloride covering 930-2500 nm*, Optics Express, 29(24).
- [15] V.T. Quoc, D.Q. Khoa, B.C. Van, H.L. Van (2019), *Supercontinuum generation in helically twisted photonic crystal fibers with a solid core*, Laser Physics. 29, 115102.
- [16] M. Chemnit, C. Gaida, M. Gebhardt, F. Stutzki, J. Kobelke, A. Tunnermann, J. Limpert, M.A. Schmidt (2018), *Carbon chloride core fibers for soliton mediated supercontinuum generation*, Opt. Express, 26 (3) 1094-4087.
- [17] Lumerical Solutions, Inc. <http://www.lumerical.com/tcad-products/mode/>.

THE STUDY OF INFLUENCE ON LATTICE PITCH AND HOLE DIAMETER ON THE LOSS OF THE PHOTONIC CRYSTAL FIBER INFILTRATED WITH TETRACHLOROETHYLENE

Tran Hong Tham, Nguyen Tra My, Nguyen Thi Dung, Nguyen Thi Hue, Le Van Hieu

ABSTRACT

In this paper, we present results regarding the influence of structural parameters of a photonic crystal fiber on its loss through theoretical and simulated studies. We utilized a photonic crystal fiber based on fused silica glass, with its central air hole infiltrated with tetrachloroethylene (C₂Cl₄). The results indicate that the loss is significantly dependent on the lattice pitch and the diameter of the air holes in the cladding region. As the diameter of the air holes increased or the lattice pitch decreased, the loss also increased. This finding holds significant importance in the design of photonic crystal fiber structures. By optimizing structural parameters such as lattice pitch or hole diameter, we can design and fabricate photonic crystal fiber structures with low loss, which is crucial for applications in optical communication.

Keywords: *Nonlinear optic, photonic crystal fiber, loss, liquid.*

* Ngày nộp bài: 22/2/2023; Ngày gửi phản biện: 25/2/2023; Ngày duyệt đăng: 10/12/2023

* Bài báo này là kết quả nghiên cứu từ đề tài NCKH cấp cơ sở (mã số ĐT-2022-06) của Trường Đại học Hồng Đức.