

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC**

ĐINH VĂN HOÀNG

**NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG PHỔ - THỜI GIAN CỦA
XUNG LASER CỰC NGẮN FEMTO-GIÂY LAN TRUYỀN
TRONG SỢI QUANG TỬ TINH THỂ**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

THÁI NGUYÊN, 12/2020

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

ĐINH VĂN HOÀNG

**NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG PHỔ - THỜI GIAN CỦA
XUNG LASER CỰC NGẮN FEMTO-GIÂY LAN TRUYỀN
TRONG SỢI QUANG TỬ TINH THỂ**

Chuyên ngành: **Quang học**

Mã số: **84 40 110**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

Người hướng dẫn khoa học: **TS. Bùi Xuân Kiên**
TS. Nguyễn Văn Hào

THÁI NGUYÊN, 12/2020

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc nhất tới thầy giáo, TS. Bùi Xuân Kiên và TS. Nguyễn Văn Hào, những người đã trực tiếp hướng dẫn, chỉ bảo tận tình và giúp đỡ em trong suốt thời gian học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận văn này.

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành tới tất cả các Thầy, Cô giáo Khoa Vật lý và Công nghệ, trường Đại học Khoa học thuộc Đại học Thái Nguyên, đã truyền đạt cho em nhiều kiến thức quý báu cũng như tạo điều kiện và giúp đỡ em trong việc học tập và hoàn thành luận văn này.

Em cũng tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới các thầy cô trong Ban giám hiệu, các đồng nghiệp trong tổ Vật lý - Công nghệ trường THPT Tiên Yên đã tạo điều kiện giúp đỡ em trong suốt thời gian đi học

Cuối cùng em xin cảm ơn toàn thể gia đình và bạn bè đã giúp đỡ và động viên em trong suốt quá trình học tập.

Thái Nguyên, ngày 02 tháng 12 năm 2020

Học viên

Đình Văn Hoàng

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	3
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	iii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, HÌNH ẢNH.....	iv
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ SỢI QUANG TINH THỂ.....	4
1.1. Lịch sử phát triển	4
1.2. Cấu tạo sợi quang.....	5
1.3. Một số tính chất sợi quang.....	6
1.3.1. Tán sắc trong sợi quang	6
1.3.2. Suy hao trong sợi quang.....	14
1.3.3. Tính chất của sợi quang tử.....	15
CHƯƠNG 2. LAN TRUYỀN XUNG TRONG SỢI QUANG PHI TUYẾN ...	18
2.1. Phương trình lan truyền xung ngắn trong môi trường phi tuyến.....	18
2.2. Phương trình lan truyền xung cực ngắn trong môi trường phi tuyến	21
2.3. Các hiệu ứng xảy ra khi lan truyền xung cực ngắn trong sợi quang phi tuyến	25
2.3.1. Tán xạ Raman kích thích	25
2.3.2 Hiệu ứng điều chế pha phi tuyến	27
2.3.3 Trộn bốn sóng	29
CHƯƠNG 3. ĐẶC TRƯNG PHỔ – THỜI GIAN TRONG QUÁ TRÌNH PHÁT SIÊU LIÊN TỤC CỦA SỢI QUANG TINH THỂ	31
3.1. Phát siêu liên tục và mô hình nghiên cứu	31
3.1.1. Phát siêu liên tục trong PCF	31
3.1.2. Mẫu sợi PCF đề xuất.....	33
3.2. Khảo sát đặc tính tán sắc và phi tuyến của sợi PCF	35

3.3. Khảo sát quá trình mở rộng phổ do hiệu ứng phi tuyến	37
3.4. Khảo sát độ trễ thời gian của các thành phần phổ trong phổ siêu liên tục ..	41
3.5. Khảo sát phổ siêu liên tục phụ thuộc vào công suất và độ rộng xung.....	43
KẾT LUẬN	46
TÀI LIỆU THAM KHẢO	47

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

Viết tắt	Nghĩa tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
SPM	Self-Phase Modulation	Tự điều biến pha
GVD	Group velocity dispersion	Tán sắc tốc độ nhóm
PCF	Photonic crystal fiber	Sợi tinh thể quang tử
ISRS	Induced-Stimulated Raman Scattering	Tán xạ Raman cưỡng bức cảm ứng
SF	Soliton fusion	Tách soliton
DWG	Dispersion wave generation	Sự phát sóng tán sắc
FWM	Four-wave mixing	Trộn bốn sóng
SCG	Super continuum generation	Phát siêu liên tục
CW	Continuum wave	Sóng liên tục
PBG	Photonic band gap	Vùng cấm quang tử
FBPG	Full photonic band gap	Toàn bộ vùng cấm quang tử
MM	Multi-mode	Đa mode
SM	Single-mode	Đơn mode
TIR	Total internal reflection	Phản xạ nội toàn phần
PMD	Polarization mode dispersion	Tán sắc mode phân cực
SRS	Stimulated Raman Scattering	Tán xạ Raman cưỡng bức
XPM	Cross-phase modulation	Biến điệu pha chéo
FFT	Fourier fast transform	Biến đổi Fourier nhanh

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Mặt cắt của mẫu PCF lõi đặc đầu tiên có đường kính lỗ khí là 300 nm và khoảng cách giữa 2 lỗ liền kề là 2.3 μm

Hình 1.2 Mặt cắt sợi PCF lõi rỗng với $\Lambda = 4,9 \mu\text{m}$ và đường kính lõi $d = 14,8\mu\text{m}$

Hình 1.3. Cấu tạo sợi quang thông thường

Hình 1.4. (a) Sợi PCF cấu trúc lõi rỗng; (b) Sợi PCF lõi đặc, (c) Tham số mạng

Hình 1.5. Sơ đồ truyền sóng trong sợi quang tử PCFs

Hình 2.1. Sự phụ thuộc của $D = d\beta_1/d\lambda$ (nét liền) và β_2 (nét đứt) của sợi thủy tinh

Hình 2.2. Biến đổi theo thời gian của hàm đáp ứng Raman rút ra từ phổ khuếch đại Raman thực nghiệm

Hình 2.3. (a) Phổ khuếch đại Raman của thủy tinh nóng chảy tại $\lambda_p = 1\mu\text{m}$ và (b) Giảm đồ mức năng lượng trong quá trình SRS

Hình 2.4. Sự biến đổi theo thời gian gây ra bởi SPM: (a) độ dịch pha ϕ_{NL} và (b) độ chirp tần số cho các xung Gauss (đường xanh) và siêu Gauss (đường đỏ)

Hình 2.5. Quá trình trộn bốn sóng (a) trường hợp hai sóng bơm và (b) trường hợp chỉ một sóng bơm

Hình 3.1. Sơ đồ tiến triển phát siêu liên tục trong PCF

Hình 3.2. (a) Mặt cắt của sợi PCF đề xuất; (b) Phân bố hai chiều của mode cơ bản tại bước sóng 1,560 μm

Hình 3.3. Đường cong tán sắc của sợi PCF với các đường kính lỗ khí khác nhau

Hình 3.4. Ảnh hưởng đường kính lỗ khí d lên tiết diện hiệu dụng và hệ số phi tuyến

Hình 3.5. Tiến triển sự tách xung Gauss quá trình lan truyền theo chiều dài sợi quang

Hình 3.6. Phổ của xung được lan truyền sau quãng đường $L = 0,1\text{m}$

Hình 3.7. Độ trễ thời gian tại các khoảng cách lan truyền

Hình 3.8. Phổ siêu liên tục tại $L= 0,1$ m, $T=30$ fs, $\Delta\lambda=20$ nm, $E=0,5$ nJ (đỏ), 1 nJ (cam), 1,5 nJ (xanh nước biển), 2 nJ (xanh lá), 2,5 nJ (xanh da trời).

Hình 3.9. Phổ siêu liên tục tại $L= 0,01$, $\Delta\lambda=20$ nm, $E= 1$ nJ, $T=35$ fs (đỏ), 30 fs (cam), 25fs (xanh nước biển) 20fs (xanh lá), 15fs (xanh da trời).

MỞ ĐẦU

Nghiên cứu quá trình lan truyền xung ánh sáng trong môi trường vật chất là một trong những vấn đề cơ bản và quan trọng của ngành quang học. Quá trình lan truyền xung ánh sáng trong môi trường quang học phi tuyến là một quá trình phức tạp và chịu ảnh hưởng của nhiều hiệu ứng khác nhau như: hiệu ứng tán sắc vận tốc nhóm, hiệu ứng tự biến điệu pha, phi tuyến bậc cao... Đặc biệt các xung cực ngắn lan truyền trong sợi quang phi tuyến thì hiệu ứng tán sắc bậc cao và phi tuyến sẽ gây nhiễu lên soliton, dẫn đến sự dịch chuyển phổ do tán xạ Raman cảm ứng gây ra tạo nên sóng tán sắc ở tần số mới [2, 5]. Khi bị nhiễu loạn, các soliton bậc cao có xu hướng phân tách thành một số soliton cơ bản ở các tần số khác nhau. Quá trình này thường được gọi là phân tách soliton bậc cao, đây là một trong các cơ chế cơ bản để tạo ra quá trình phát siêu liên tục.

Phát siêu liên tục là hiện tượng mở rộng phổ của một xung hẹp có cường độ lớn khi lan truyền trong một môi trường có độ phi tuyến cao, sao cho xuất hiện đồng thời ít nhất các hiệu ứng phi tuyến như: phân tách soliton, tán xạ Raman cưỡng bức cảm ứng, tán sắc vận tốc nhóm bậc cao và tương tác bốn sóng [1, 5]. Sự tạo ra siêu liên tục thường xảy ra khi các xung cực ngắn truyền qua môi trường quang phi tuyến để tạo ra ở đầu ra là một xung có phổ là băng rộng và liên tục.

Phát siêu liên tục được khảo sát lần đầu tiên vào năm 1970 bởi Ifano và Shapiro và sau đó được phát triển nghiên cứu mạnh trong lĩnh vực quang phi tuyến [1,4]. Đối tượng nghiên cứu chính cho sự phát siêu liên tục trong hơn hai thập kỷ qua là sợi quang học và cụ thể hơn là sợi quang tử bởi vì đặc tính cấu trúc của sợi quang tử sẽ tăng cường các hiệu ứng phi tuyến và đảm bảo tính chất kết hợp của nguồn bơm laser cũng như cung cấp sự linh hoạt trong thiết kế để tối ưu hóa tính chất tán sắc [1, 5]. Do đó, phát siêu liên tục sử dụng sợi PCF được thực hiện lần đầu tiên bởi Ranka và cộng sự [11]. Kể từ đó, nó đã thu hút được sự quan tâm nghiên cứu sâu rộng cho cả hai khía cạnh cơ bản và ứng dụng. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về sự phát siêu liên tục sử dụng các chế độ bơm khác nhau, từ sóng liên tục nano giây, pico giây đến femto giây trong thập kỷ qua.

Các nghiên cứu đã được thực hiện với sợi PCF cho các ứng dụng khác nhau như trong công nghệ xử lý hình ảnh [4], kỹ thuật laser [5], nghiên cứu quang phổ [1], ứng dụng trong kính hiển vi [4], đặc biệt là các ứng dụng trong công nghệ sinh học và trong y học cho quá trình chụp ảnh các tế bào [5] Đối với các ứng dụng trên, đều cần phổ siêu liên tục trải dài tới vùng hồng ngoại trung. Cho đến nay, các sợi PCF chế tạo dựa trên silica thường được sử dụng làm môi trường phi tuyến cho phát siêu liên tục ở vùng nhìn thấy và vùng hồng ngoại gần [5,7]. Tuy nhiên, cửa sổ truyền qua của silica bị giới hạn mạnh ở khoảng bước sóng 2,3 μm . Do đó, để đáp ứng các tiêu chí cần thiết của hầu hết các ứng dụng quang phổ, chúng ta cần phải tìm các vật liệu mới thay thế với cửa sổ truyền rộng hơn và độ phi tuyến mạnh hơn. Các vật liệu mới có độ phi tuyến cao và trong suốt trong khoảng bước sóng mong muốn được chế tạo như PBG – telluride, các vật liệu này được dùng để chế tạo các sợi quang có độ phi tuyến cao cho phát siêu liên tục [5-9]. Đồng thời chúng phù hợp với laser ở bước sóng 1560 nm để mở rộng phổ siêu liên tục trải dài tới vùng hồng ngoại trung.

Tuy nhiên, đến nay các đặc trưng phổ và thời gian trong quá trình truyền lan xung laser ngắn và cực ngắn trong sợi quang nói chung và sợi quang tử nói riêng vẫn là một trong những vấn đề cần được tìm hiểu một cách tường tận, đặc biệt đối với các người nghiên cứu quang học.

Do đó, trong luận văn này, chúng tôi sẽ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số đến đặc trưng của phổ - thời gian xung trong quá trình lan truyền xung laser cực ngắn trong sợi quang tử tinh thể thủy tinh-lỗ khí.

Xuất phát từ lý do trên, chúng tôi tập trung nghiên cứu một số nội dung trình bày trong luận văn với tên sau: “*Nghiên cứu các đặc trưng phổ - thời gian của xung laser cực ngắn femto giây lan truyền trong sợi quang tử tinh thể*”.

Mục tiêu của đề tài

- Nghiên cứu quá trình biến dạng xung laser cực ngắn trong sợi quang tử tinh thể.
- Mô phỏng và phân tích các hiệu ứng phi tuyến đóng góp vào quá trình phát siêu liên tục và biến dạng xung.