

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH**

**\*\*\*\*\***

**BÙI XUÂN KIÊN**

**ẢNH HƯỞNG CỦA CHIRP TẦN SỐ  
TRONG SỰ HÌNH THÀNH VÀ LAN TRUYỀN  
XUNG CỰC NGẮN TRONG MÔI TRƯỜNG PHI TUYẾN**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**- 2013 -**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH**

\*\*\*\*\*

**BÙI XUÂN KIÊN**

**ẢNH HƯỞNG CỦA CHIRP TẦN SỐ  
TRONG SỰ HÌNH THÀNH VÀ LAN TRUYỀN  
XUNG CỤC NGẮN TRONG MÔI TRƯỜNG PHI TUYẾN**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**Chuyên ngành: Quang học**

**Mã số: 62 44 01 09**

**Cán bộ hướng dẫn khoa học:**

**PGS. TS. Trịnh Đình Chiến**

**VINH - 2013**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan nội dung của bản luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của PGS. TS. Trịnh Đình Chiến. Các số liệu, kết quả trong bản luận án là hoàn toàn trung thực và chưa ai công bố trong bất cứ luận án nào hoặc các công trình nào khác.

Tác giả luận án

**Bùi Xuân Kiên**

## LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS Trịnh Đình Chiến, tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới các thầy giáo, những người đã đặt đề tài, dẫn dắt tận tình và động viên tác giả trong suốt quá trình nghiên cứu để hoàn thành luận án.

Tác giả xin được chân thành cảm ơn các thầy giáo, các nhà khoa học và các bạn đồng nghiệp, Khoa Vật lý và Công nghệ, phòng Đào tạo Sau đại học – Trường Đại học Vinh, Viện KH & CNQS – Bộ Quốc phòng, Viện Vật liệu – Viện hàn lâm khoa học Việt Nam đã đóng góp những ý kiến khoa học bổ ích cho nội dung luận án, tạo điều kiện và giúp đỡ tác giả trong thời gian học tập và nghiên cứu

Tác giả cũng xin được gửi lời cảm ơn tới Ban giám hiệu trường Đại học Điện lực, khoa Khoa học cơ bản, phòng chức năng khác của trường đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho việc học tập và nghiên cứu luận án

Cuối cùng xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới bạn bè, người thân trong gia đình đã quan tâm, động viên, giúp đỡ tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Xin trân trọng cảm ơn!

Tác giả luận án

**Bùi Xuân Kiên**

## MỤC LỤC

Lời cảm ơn.....	
Lời cam đoan.....	
Mục lục.....	i
Danh mục các ký hiệu.....	iii
Danh mục các hình vẽ.....	iv
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1: CÁC HIỆU ỨNG PHI TUYẾN TRONG MÔI TRƯỜNG DẪN QUANG VÀ LASER SOLITON SỢI QUANG .....	5
1.1. Phương trình truyền ánh sáng trong sợi quang.....	5
1.1.1. Hệ phương trình Maxwell.....	5
1.1.2. Phương trình lan truyền xung phi tuyến.....	8
1.1.3. Các hiệu ứng phi tuyến bậc cao .....	12
1.2. Cấu hình và nguyên lý hoạt động của laser sợi quang.....	21
1.2.1. Cấu tạo của laser sợi quang .....	21
1.2.2. Kỹ thuật khóa mode.....	24
1.2.3. Một vài cấu hình laser sợi quang tiêu chuẩn .....	26
1.3. Kết luận .....	31
CHƯƠNG 2: VAI TRÒ CỦA CHIRP TRONG KỸ THUẬT NÉN XUNG .....	33
2.1. Sự tạo chirp và bù trừ chirp trong các thiết bị quang học.....	33
2.1.1. Quá trình tạo chirp .....	34
2.1.2. Quá trình bù trừ chirp.....	38
2.2. Kỹ thuật nén xung sáng.....	41
2.2.1. Nén xung trong buồng cộng hưởng.....	41
2.2.2. Nén xung ngoài buồng cộng hưởng.....	45
2.3. Kết luận.....	51

CHƯƠNG 3: KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CHIRP TẦN SỐ LÊN SỰ BIẾN DẠNG XUNG GAUSS TRONG SỢI QUANG .....	53
3.1. Sự mở rộng xung tán sắc cảm ứng.....	53
3.1.1. Hệ số mở rộng xung Gauss có chirp .....	53
3.1.2. Ảnh hưởng của tham số tán sắc và tham số chirp.....	56
3.1.3. Sự thay đổi dạng xung truyền trong sợi quang.....	59
3.1.4. Tốc độ mở rộng xung .....	62
3.1.5. Khảo sát sự phụ thuộc của chiều dài sợi vào tham số chirp C ...	64
3.2. Mở rộng xung khi có tán sắc bậc ba.....	67
3.2.1. Hệ số mở rộng xung .....	67
3.2.2. Ảnh hưởng của tham số tán sắc bậc ba .....	70
3.3. Kết luận.....	74
CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU SỰ PHÁT XUNG SOLITON CỦA LASER SỢI QUANG BUỒNG CỘNG HƯỞNG VÒNG KHÓA MODE THỤ ĐỘNG	77
4.1. Cấu hình laser sợi quang buồng cộng hưởng vòng khóa mode thụ động	77
4.2. Phương trình truyền lan .....	78
4.3. Điều kiện tồn tại soliton.....	79
4.4. Quá trình biến đổi xung trong laser sợi quang .....	82
4.5. Ảnh hưởng của tham số chirp.....	83
4.6. Ảnh hưởng của các tham số lên chiều dài buồng cộng hưởng cho trường hợp phát Soliton .....	87
4.6.1. Ảnh hưởng của tham số chirp C.....	87
4.6.2. Ảnh hưởng của tham số tán sắc $\beta_2$ .....	89
4.7. Kết luận.....	93
KẾT LUẬN CHUNG.....	95
Các công trình khoa học đã công bố liên quan đến đề tài.....	98
Tài liệu tham khảo.....	100
Phụ lục.....	110

## DANH MỤC VIẾT TẮT

CPM	Colliding Pulse Mode – Locking
DBR	Distributed Bragg Reflectors
LD	Laser Diode
NA	Number Aperture
NLSE	Nonlinear Schrodinger Equation
MM	Multiple Mode
MQW	Multiple Quantum Well
GVD	Group Velocity Dispersion
GNLSE	Generalized Nonlinear Schrodinger Equation
GI	Grade Index
SM	Single Mode
SI	Step Index
SPM	Self - Phase Modulation
SESAM	Semiconductor Saturable Absorber Mirror
SQW	Semiconductor Quantum Well
SRS	Stimulated Raman Scattering
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
XPM	Cross - Phase Modulation
FWHM	Full Width at Half Maximum
WDM	Wave Division Multiplexing

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

TT	Hình	Trang
1	<b>Hình 1.1.</b> Thay đổi tham số tán sắc $D = d\beta_1/d\lambda$ (liên tục) và $\beta_2$ (đường đứt) của sợi thủy tinh.	11
2	<b>Hình 1.2.</b> Biến đổi theo thời gian của hàm đáp ứng Raman rút ra từ phổ khuếch đại Raman thực nghiệm.	18
3	<b>Hình 1.3.</b> Cấu tạo của sợi quang hai vỏ (a); phân bố chiết suất trên tiết diện ngang (b).	22
4	<b>Hình 1.4.</b> Cấu tạo của cách tử Bragg sợi quang.	23
5	<b>Hình 1.5.</b> Laser bơm và cách liên kết với sợi laser.	23
6	<b>Hình 1.6.</b> Cấu hình laser sợi quang công suất cao	24
7	<b>Hình 1.7.</b> Một số linh kiện SESAM	26
8	<b>Hình 1.8.</b> Sơ đồ laser quang sợi khoá mode bằng quay phân cực phi tuyến	27
9	<b>Hình 1.9.</b> Sơ đồ của buồng cộng hưởng laser với cách tử bragg có chirp	29
10	<b>Hình 2.1.</b> Hệ hai lăng kính (a); hệ bốn lăng kính để điều chỉnh tán sắc vận tốc nhóm (b)	39
11	<b>Hình 2.2.</b> Sơ đồ tính toán GVD của cặp cách tử $G_1, G_2$	40
12	<b>Hình 2.3.</b> Sơ đồ tính toán GVD của cặp lăng kính $P_1$ và $P_2$	40
13	<b>Hình 2.4.</b> Buồng cộng hưởng vòng cho laser màu CPM. Hệ số 4 lăng kính, GVD trong buồng cộng hưởng có thể điều chỉnh được	42
14	<b>Hình 2.5.</b> Buồng cộng hưởng vòng cho laser CPM dùng một hoặc hệ hai lăng kính.	42
15	<b>Hình 2.6.</b> Xung được truyền qua bộ khuếch đại và bộ hấp thụ bão hoà	44
16	<b>Hình 2.7.</b> Minh hoạ bộ nén xung hai tầng	46
17	<b>Hình 2.8.</b> Bộ nén xung một tầng dùng cách tử và sợi quang	47
18	<b>Hình 3.1.</b> Sự phụ thuộc vào tham số chirp của độ rộng xung truyền qua sợi quang 100km với các tham số tán sắc: $-50\text{ps}^2/\text{km}$ (liên tục); $-20\text{ps}^2/\text{km}$ (gạch); $+20\text{ps}^2/\text{km}$ (chấm) và $+50\text{ps}^2/\text{km}$ (gạch-chấm).	57
19	<b>Hình 3.2.</b> Độ rộng xung ra phụ thuộc vào tham số tán sắc mô phỏng với xung vào Gauss có tham số chirp khác nhau.	58
20	<b>Hình 3.3.</b> Dạng xung Gauss không có chirp lan truyền trong sợi quang	60



	<i>ứng với trường hợp tán sắc thường <math>\beta_2 = 50 \text{ ps}^2 / \text{ km}</math>.</i>	
21	<b>Hình 3.4.</b> <i>Dạng xung Gauss có chirp <math>C = 2</math> lan truyền trong sợi quang ứng với trường hợp tán sắc thường <math>\beta_2 = 50 \text{ ps}^2 / \text{ km}</math>.</i>	61
22	<b>Hình 3.5.</b> <i>Dạng xung Gauss có chirp <math>C = -2</math> lan truyền trong sợi quang ứng với trường hợp tán sắc thường <math>\beta_2 = 50 \text{ ps}^2 / \text{ km}</math>.</i>	61
23	<b>Hình 3.6.</b> <i>Cường độ đỉnh của xung Gauss phụ thuộc vào tham số chirp <math>C</math> lan truyền trong sợi quang ứng với trường hợp tán sắc thường <math>\beta_2 = 50 \text{ ps}^2 / \text{ km}</math>.</i>	62
24	<b>Hình 3.7.</b> <i>Thay đổi độ rộng xung theo quãng đường truyền</i>	63
25	<b>Hình 3.8.</b> <i>Sự phụ thuộc của chiều dài vào tham số chirp <math>C</math> với giá trị của hệ số mở rộng <math>\sigma</math> cho trước.</i>	65
26	<b>Hình 3.9.</b> <i>Sự phụ thuộc của chiều dài lan truyền để xung không bị mở rộng theo tham số chirp <math>C</math> trong môi trường tán sắc thường</i>	66
27	<b>Hình 3.10.</b> <i>Sự phụ thuộc của độ rộng xung ra vào tham số tán sắc cảm ứng <math>\beta_2</math> với các tham số tán sắc bậc ba khác nhau <math>\beta_3 = 0.0; 50; 100 \text{ ps}^3 / \text{ km}</math> và <math>T_0 = 100 \text{ ps}</math>, <math>C = -6</math>, <math>L = 100 \text{ km}</math></i>	71
28	<b>Hình 3.11.</b> <i>Sự phụ thuộc của độ rộng xung ra vào tham số tán sắc cảm ứng <math>\beta_2</math> với các tham số tán sắc bậc ba khác nhau <math>\beta_3 = 0.01; 0.1; 10 \text{ ps}^3 / \text{ km}</math> và <math>T_0 = 10 \text{ ps}</math>, <math>C = -6</math>, <math>L = 100 \text{ km}</math></i>	72
29	<b>Hình 3.12.</b> <i>Sự phụ thuộc của độ rộng xung ra vào tham số tán sắc cảm ứng <math>\beta_2</math> với các tham số tán sắc bậc ba khác nhau <math>\beta_3 = 0.01; 0.05; 1 \text{ ps}^3 / \text{ km}</math> và <math>T_0 = 1 \text{ ps}</math>, <math>C = -6</math>, <math>L = 100 \text{ km}</math>.</i>	73
30	<b>Hình 3.13.</b> <i>Sự phụ thuộc của độ rộng xung ra vào tham số chirp <math>C</math> với các tham số tán sắc bậc ba khác nhau <math>\beta_3 = 0, 0; 1, 0; 2, 0 \text{ ps}^3 / \text{ km}</math> và <math>T_0 = 1 \text{ ps}</math>, <math>C = -6</math>, <math>L = 100 \text{ km}</math> <math>\beta_2 = 2 \text{ ps}^2 / \text{ km}</math>.</i>	74
31	<b>Hình 4.1.</b> <i>Sơ đồ laser sợi quang khóa mode.</i>	77
32	<b>Hình 4.2.</b> <i>Quá trình biến đổi xung trong sợi quang laser với <math>C=5</math>.</i>	82
33	<b>Hình 4.3.</b> <i>Quá trình biến đổi xung trong sợi quang laser với <math>C=-5</math>.</i>	83
34	<b>Hình 4.4.</b> <i>Xung Gauss không chirp (<math>C = 0</math>) sau một số vòng qua lại trong BCH.</i>	84

35	<b>Hình 4.5.</b> Xung vào chirp âm sau một số vòng trong BCH với $C = -5$ .	85
36	<b>Hình 4.6.</b> Xung vào chirp âm sau một số vòng trong BCH với $C = -10$ .	85
37	<b>Hình 4.7.</b> Xung vào chirp dương sau một số vòng trong BCH với $C = 5$ .	86
38	<b>Hình 4.8.</b> Xung vào chirp dương sau một số vòng trong BCH với $C = 10$ .	86
39	<b>Hình 4.9.</b> Phụ thuộc $L_c$ vào $C$ với các giá trị khác nhau của công suất đỉnh	88
40	<b>Hình 4.10.</b> Phụ thuộc của $L_c$ vào $\beta_2, P_0$ với các tham số khác nhau của công suất đỉnh	90
41	<b>Hình 4.11.</b> Phụ thuộc $L_c$ vào $P_0$ với các giá trị khác nhau của tham số chirp dương	91
42	<b>Hình 4.12.</b> Phụ thuộc $L_c$ vào $P_0$ với các tham số khác nhau của tham số chirp âm.	92