

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH

NGUYỄN THỊ THANH TÂM

GIAO THOA KẾ MACH - ZEHNDER
SỢI QUANG PHI TUYẾN HAI CỔNG

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Chuyên ngành: Quang học

Mã số: 62 44 11 01

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS. TS. Hồ Quang Quý
2. PGS. TS. Vũ Ngọc Sáu

VINH, 2011

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án này do tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của PGS. TS. Hồ Quang Quý và PGS. TS. Vũ Ngọc Sáu. Kết quả công trình được tập hợp từ 10 công trình đã được công bố (có danh mục kèm theo) trong các tạp chí quốc gia, các kỷ yếu hội thảo khoa học trong và ngoài nước, các công trình này đều hoàn toàn phù hợp với chuyên ngành mà tôi nghiên cứu và chưa được đăng tải ở đâu.

Tác giả luận án

Nguyễn Thị Thanh Tâm

LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS. TS. Hồ Quang Quý và PGS. TS. Vũ Ngọc Sáu. Chúng tôi xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành nhất đến quý thầy giáo, đã dẫn dắt tận tình và động viên trong quá trình thực hiện với tấm lòng hết mực của người thầy và tinh thần đầy trách nhiệm khoa học của nhà nghiên cứu, đã giúp tôi nâng cao kiến thức, nghị lực, phát huy sáng tạo và hoàn thành được luận án.

Chúng tôi xin được cảm ơn sâu sắc đến quý thầy giáo PGS. TS. Đinh Xuân Khoa (Chủ nhiệm chuyên ngành), TS. Đoàn Hoài Sơn (Chủ nhiệm khoa) và quý thầy cô giáo trong khoa Vật lý, khoa Sau đại học, phòng Quản lý NCKH của trường Đại học Vinh, viện Vật Lý, phân viện Vật Lý Kỹ Thuật của TTKH và CNQS Bộ Quốc Phòng về những ý kiến đóng góp khoa học bổ ích cho nội dung luận án, tạo điều kiện tốt nhất trong thời gian chúng tôi học tập và thực hiện nghiên cứu tại trường và phân viện.

Chúng tôi cũng xin được cảm ơn Ban giám hiệu trường Đại học Quảng Nam, Khoa Tự nhiên và các khoa, phòng chức năng khác của trường đã giúp đỡ và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho việc học tập và nghiên cứu luận án trong bốn năm qua.

Cuối cùng xin gửi lời cảm ơn đến gia đình, những người thân và bạn bè đã quan tâm, động viên và giúp đỡ trong quá trình hoàn thành luận án này.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT TIẾNG ANH DÙNG TRONG LUẬN ÁN

A/D	: Analog/Digital - Tương tự/ Số.
CW	: Continuous-wave - Sóng liên tục.
FPNFMZI	: Four-port nonlinear fiber Mach-Zehnder interferometer - Giao thoa kế Mach-Zehnder sợi quang phi tuyến bốn cổng.
GVD	: Group-velocity dispersion - Tán sắc vận tốc nhóm.
IC	: International circuit - Mạch tổ hợp.
ITU	: International Telecommunication Union - Liên minh Viễn thông Quốc tế.
OBD	: Optical bistable device - Thiết bị lưỡng ổn định quang học.
SBS	: Stimulated Brillouin scattering - Tán xạ Brillouin kích thích.
SOA	: Semiconductor optical amplifier - Bộ khuếch đại quang bán dẫn.
SPM	: Self phase modulation - Sự tự điều biến pha.
TPNFMZI	: Two-port nonlinear fiber Mach-Zehnder interferometer - Giao thoa kế Mach-Zehnder sợi quang phi tuyến hai cổng .
XPM	: Cross-phase modulation - Sự điều biến pha chéo.
WDM	: Wavelength-division multiplexing - Tách ghép kênh theo bước sóng.

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

a	: Bán kính.
A	: Biên độ sóng điện trường.
$c = 299792458 [m.s^{-1}]$: Vận tốc ánh sáng trong chân không.
C	: Hệ số liên kết của bộ liên kết.
d	: Khoảng cách giữa hai sợi quang của bộ liên kết.
E	: Cường độ điện trường.
F_R	: Hệ số biểu thị độ sắc nét của đỉnh cộng hưởng.
$h(t) = 0 \div 1$: Hàm ngẫu nhiên.
I_v, I_r	: Cường độ tín hiệu vào, cường độ tín hiệu ra.
I_{ph}, I_{ctr}	: Cường độ phản hồi, cường độ điều khiển.
k	: Vectơ sóng điện trường.
k_0	: Vectơ sóng điện trường trong chân không.
k_f	: Hệ số hồi tiếp.
L	: Chiều dài sợi quang.
l	: Quang lộ.
I_m	: Biên độ điều biến.
m	: Độ sâu điều biến.
n	: Chiết suất.
n_0	: Chiết suất tuyến tính.
n_{nl}	: Hệ số chiết suất phi tuyến của môi trường.
P	: Công suất.
Q	: Hệ số biến đổi.
R	: Hệ số phản xạ.
t	: Thời gian.
T	: Hệ số truyền qua.

U	:	Tham số trạng thái.
V	:	Tham số sợi.
X	:	Cường độ chuẩn hóa.
α	:	Hệ số hấp thụ.
β	:	Hệ số truyền mode.
$\Delta\nu$:	Độ rộng xung.
$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} [F.m^{-1}]$:	Độ điện thẩm chân không.
η	:	Hệ số truyền của bộ liên kết.
γ	:	Tham số phi tuyến.
λ	:	Bước sóng ánh sáng.
λ_0	:	Bước sóng ánh sáng trong chân không.
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [H.m^{-1}]$:	Độ từ thẩm chân không.
ν	:	Tần số.
ω	:	Tần số góc.
ϕ, φ	:	Độ lệch pha.
$\Delta\varphi$:	Độ lệch pha ban đầu.

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Danh mục các hình vẽ, đồ thị	vii
1.1 Hệ quang học có hệ số truyền qua là hàm của cường độ tín hiệu ra $T(I_r)$ [80].	9
1.2 Sự phụ thuộc của $T(I_r)$ vào I_r [80].	9
1.3 Sự phụ thuộc của I_r vào I_v . (a) Đường đặc trưng cường độ vào - ra, (b) Đường đứt nét đặc trưng không ổn định [80].	10
1.4 Sự phụ thuộc của hệ số truyền qua T vào chiết suất của môi trường phi tuyến n	12
1.5 (a) Cấu trúc cơ bản của sợi quang. (b) Ánh sáng lan truyền trong sợi quang.	15
1.6 (a) Cấu tạo của GTK Fabry-Perot sợi quang phi tuyến. (b) Cấu tạo của thiết bị cộng hưởng vòng [98].	16
1.7 Đường cong liền nét biểu diễn sự phụ thuộc của hàm truyền T_R vào $\phi_0/2\pi$ khi $R_m = 0.8$. Hai đường thẳng đứt nét biểu diễn sự phụ thuộc của ϕ_R vào ϕ_0 ứng với hai giá trị xác định P_v	19
1.8 Họ đường đặc trưng lưỡng ổn định của GTK Fabry - Perot sợi quang. Ba đường cong (1), (2), (3) tương ứng với 3 giá trị độ lệch hướng δ , $R_m = 0.5$, $(\gamma L_R)^{-1} \sim 10 (W)$, $l_R \sim 100m$	21
1.9 Các đường đặc trưng lưỡng ổn định của thiết bị cộng hưởng vòng sợi ứng với bốn giá trị của độ lệch hướng $\delta = 0.3\pi, 0.45\pi, 0.55\pi,$ 0.8π lần lượt tương ứng với các đường cong (a), (b), (c), (d) [27].	23
1.10 Cấu tạo của GTK Michelson sợi quang [53].	24
1.11 Cấu tạo của GTK Mach-Zehnder sợi quang phi tuyến bốn cổng.	26

1.12	Sự phụ thuộc hệ số truyền công suất của FPNFMZI vào công suất vào[12].	29
2.1	(a) Sự chia ánh sáng trong BLK. (b) Sơ đồ cấu tạo của BLK.	35
2.2	(a) Cấu tạo bộ liên kết tuyến tính, (b) Cấu tạo bộ liên kết phi tuyến.	36
2.3	Sự truyền có tính chu kỳ của công suất trong bộ liên kết phi tuyến, $n_1 = 1.485$, $n_2 = 1.480$, $n_{nl} = 10^{-12}mm^2/W$, $\lambda = 1.53\mu m$, $C = 0.694/mm$ [52], $I_v = 1.4 \times 10^{11}W/mm^2$, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}F/m$	41
2.4	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất phụ thuộc vào chiều dài bộ liên kết phi tuyến. Đường cong (1) ứng với $I_v \leq 1.4 \times 10^{11}W/mm^2$, (2) $I_v = 3.5 \times 10^{11}W/mm^2$, (3) $I_v = 5.05 \times 10^{11}W/mm^2$, (4) $I_v = 7.5 \times 10^{11}W/mm^2$, (5) $I_v \geq 20 \times 10^{11}W/mm^2$	41
2.5	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất trong bộ liên kết phi tuyến khi cường độ vào $(1.4 \times 10^{11}W/mm^2 \div 20 \times 10^{11}W/mm^2)$	43
2.6	Hệ số truyền công suất cực đại trong bộ liên kết phi tuyến đạt là 50 % khi $I_v = 5.05 \times 10^{11}W/mm^2$	43
2.7	Hệ số truyền công suất cực đại của bộ liên kết phi tuyến khi $I_v = 6.67 \times 10^{11}W/mm^2$, (a) hệ số truyền công suất cực đại trong cùng sợi phi tuyến đạt là 75 %, (b) hệ số truyền công suất cực đại từ sợi phi tuyến sang sợi tuyến tính đạt là 25 %.	44
2.8	Sự phụ thuộc độ dài "3dB" của bộ liên kết phi tuyến vào cường độ vào.	46
2.9	Mối liên hệ giữa độ dài "3dB" và hệ số truyền công suất, (b) ứng với $I_v = 14 \times 10^{10}W/mm^2$, (c) ứng với $I_v = 50.5 \times 10^{10}W/mm^2$	47

2.10	Sự phụ thuộc hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến vào cường độ vào ứng với $z = 1mm$	48
2.11	Sự phụ thuộc hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến vào cường độ vào ứng với $z = 1.13mm$	49
2.12	Sự phụ thuộc hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến vào cường độ vào ứng với $z = 1.61mm$	49
2.13	Sự phụ thuộc hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến vào cường độ vào ứng với $z = L_{max} = 2.3mm$	50
2.14	Bộ liên kết phi tuyến có chức năng sắp xếp dãy các xung yếu và mạnh.	50
2.15	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào cường độ vào. Bốn đường cong (1), (2), (3), (4) tương ứng với 4 giá trị $z = 1mm, 1.13mm, 1.61mm, 2.3mm$	51
2.16	Hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào cường độ vào qua cổng ra phi tuyến 1 và cổng ra tuyến tính 2, (a) theo lý thuyết với $z = 1.61mm$, (b) theo thực nghiệm: Đường 1, 2 xung Gauss 90 fs. Đường 1, 2 xung vuông 540 fs [105].	52
2.17	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào cường độ vào. Ba đường cong (1), (2), (3) tương ứng với 3 giá trị $n_{nl} = 10^{-12}mm^2/W, 1.5 \times 10^{-12}mm^2/W, 2.5 \times 10^{-12}mm^2/W$	52
2.18	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào hệ số chiết suất phi tuyến. Bốn đường cong (1), (2), (3), (4) tương ứng với 4 giá trị $z = 1mm, 1.13mm, 1.61mm, 2.3mm$	54

2.19	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào hệ số chiết suất phi tuyến. Ba đường cong (1), (2), (3) tương ứng với 3 giá trị $I_v = 50.5 \times 10^{10}W/mm^2$, $60.6 \times 10^{10}W/mm^2$, $72.72 \times 10^{10}W/mm^2$	54
2.20	Bộ liên kết sợi phi tuyến với các tham số nguyên lý.	55
2.21	Đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào bán kính lõi sợi trong khoảng ($a = 1.5\mu m \div 2.2\mu m$). 57	
2.22	Đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào bán kính lõi sợi trong khoảng ($a = 1.39\mu m \div 1.5\mu m$). 57	
2.23	Đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào bán kính lõi sợi trong khoảng ($a = 1.78\mu m \div 5.898\mu m$).	58
2.24	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào bán kính lõi sợi trong khoảng ($a = 1.78\mu m \div 5.898\mu m$). Ba đường cong (1), (2), (3) tương ứng với 3 giá trị $I_v = 1.4 \times 10^{11}W/mm^2$, $5.05 \times 10^{11}W/mm^2$, $7.5 \times 10^{11}W/mm^2$. 59	
2.25	Đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào khoảng cách hai lõi sợi trong khoảng ($d = 9\mu m \div 20\mu m$).	60
2.26	Họ đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào khoảng cách hai lõi sợi trong khoảng ($d = 9\mu m \div 20\mu m$). Ba đường cong (1), (2), (3) tương ứng với 3 giá trị $I_v = 1.4 \times 10^{11}W/mm^2$, $5.05 \times 10^{11}W/mm^2$, $7.5 \times 10^{11}W/mm^2$. 61	
2.27	Đường đặc trưng hệ số truyền công suất của bộ liên kết phi tuyến phụ thuộc vào bước sóng trong khoảng ($\lambda = 0.1\mu m \div 3\mu m$). 62	