

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

TRƯƠNG CAO DŨNG

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁC MẠCH TÍCH HỢP
GIAO THOA ĐA MODE DÙNG TRONG MẠNG TOÀN QUANG**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

HÀ NỘI - 2015

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

TRƯỜNG CAO ĐẲNG

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁC MẠCH TÍCH HỢP
GIAO THOA ĐA MODE DÙNG TRONG MẠNG TOÀN QUANG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông

Mã số: 62520208

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

TẬP THỂ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS. TS. Trần Đức Hân
2. PGS.TS. Lê Trung Thành

HÀ NỘI - 2015

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng các kết quả khoa học được trình bày trong luận án này là thành quả nghiên cứu của bản thân tôi trong suốt thời gian làm nghiên cứu sinh và chưa từng xuất hiện trong công bố của các tác giả khác. Các kết quả đạt được là chính xác và trung thực.

Tác giả luận án

Trương Cao Dũng

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên và trên hết, tôi xin bày tỏ lời cảm ơn sâu sắc đến tập thể hướng dẫn khoa học: GS. TS. Trần Đức Hân và PGS.TS. Lê Trung Thành, những người không chỉ hướng dẫn trực tiếp về mặt khoa học mà còn hỗ trợ về mọi mặt để tôi có thể hoàn thành bản luận án này sau hơn ba năm làm nghiên cứu sinh.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến TS. Hoàng Vũ Chung –Viện Hàn lâm khoa học Việt Nam, người đưa đến cho tôi sự tư vấn hiệu quả về các vấn đề công nghệ chế tạo ống dẫn sóng cùng với sự hỗ trợ chuyên môn trong suốt thời gian nghiên cứu vừa qua. Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến em Trần Tuấn Anh – Sinh viên K54, Đại học Bách Khoa Hà Nội – người đã có những đóng góp đặc lực, hỗ trợ tính toán cho các nghiên cứu khoa học của tôi.

Qua đây, tôi cũng bày tỏ lòng biết ơn đến Viện Điện tử-Viễn thông và Viện Đào tạo Sau Đại học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình học tập nghiên cứu.

Cuối cùng, tôi dành những lời yêu thương nhất đến gia đình tôi: bố mẹ, các anh chị và đặc biệt là vợ tôi Vũ Vân Anh và con gái tôi Trương Khánh Chi. Sự động viên, giúp đỡ và sự hi sinh, nhẫn nại của họ là động lực mạnh mẽ giúp tôi vượt qua mọi khó khăn để hoàn thành luận án này.

Xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, ngày tháng năm 2015
Tác giả luận án

Trương Cao Dũng

Mục lục

Mục lục.....	iii
Danh mục các thuật ngữ viết tắt.....	vi
Danh mục các ký hiệu.....	viii
Danh mục các hình vẽ.....	ix
Danh mục các bảng biểu.....	xii
Mở đầu.....	1
Đối tượng và mục tiêu nghiên cứu.....	3
Các kết quả đạt được.....	4
Tổ chức luận án.....	4
Chương 1.....	6
Giao thoa đa mode và mô phỏng BPM.....	6
1.1 Giao thoa đa mode.....	6
1.1.1 Cơ sở truyền sóng trong ống dẫn sóng.....	7
1.1.2 Ống dẫn sóng đa mode và phân tích truyền mode.....	9
1.1.3 Giao thoa tổng quát – GI.....	12
1.1.4 Giao thoa hạn chế -RI.....	13
1.1.5 Ống dẫn sóng hình búp măng.....	15
1.2 Các phương pháp phân tích ống dẫn sóng.....	17
1.2.1 Phương pháp Marcatili.....	17
1.2.2 Phương pháp hệ số hiệu dụng.....	18
1.2.3 Phương pháp hệ số hiệu dụng hiệu chỉnh.....	19
1.3 Các phương pháp mô phỏng số học.....	20
1.3.1 Phương pháp truyền chùm BPM.....	22
1.3.2 Lời giải mode thông qua BPM.....	26
1.4 Kết luận chương.....	28
Chương 2.....	29
Bộ chia công suất nhiều tỷ số và chia chùm phân cực sử dụng giao thoa đa mode.....	29
2.1 Bộ chia công suất nhiều tỷ số dựa trên cấu trúc giao thoa đa mode.....	29
2.1.1 Nguyên lý thiết kế.....	30

2.1.2	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	34
2.1.3	Tóm lược kết quả.....	41
2.2	Bộ chia chùm phân cực dựa trên ống dẫn sóng đa mode hình cánh bướm được khắc trên nền vật liệu SOI.....	41
2.2.1	Phân tích và thiết kế.....	43
2.2.2	Tối ưu cấu trúc.....	45
2.2.3	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	47
2.2.4	Tóm lược kết quả.....	51
2.3	Kết luận chương.....	51
Chương 3		52
Chuyển mạch quang dựa trên cấu trúc giao thoa đa mode.....		52
3.1	Phân tích tổng quát của chuyển mạch quang $N \times N$	52
3.2	Bộ chuyển mạch toàn quang dựa trên các bộ ghép giao thoa đa mode 3×3 sử dụng các bộ ghép phi tuyến.....	55
3.2.1	Phân tích và thiết kế cấu kiện	55
3.2.2	Mô phỏng và thảo luận	62
3.3	Bộ chuyển mạch toàn quang 2×2 không nhạy phân cực dựa trên cấu trúc giao thoa đa mode sử dụng các bộ ghép phi tuyến	67
3.3.1	Thiết kế và tối ưu cấu trúc	68
3.3.2	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	71
3.4	Bộ chuyển mạch quang 3×3 dựa trên các bộ ghép giao thoa đa mode sử dụng hiệu ứng điện- quang là các bộ dịch pha.....	75
3.4.1	Phân tích và thiết kế.....	75
3.4.2	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	77
3.5	Kết luận chương.....	82
Chương 4		83
Bộ ghép kênh ba bước sóng sử dụng giao thoa đa mode		83
4.1	Giới thiệu và nguyên lý thiết kế.....	83
4.2	Thiết kế bộ triplexer dựa trên một bộ ghép giao thoa đa mode 2×2 hình cánh bướm và một bộ ghép định hướng sử dụng các ống dẫn sóng silic.	86
4.2.1	Thiết kế và tối ưu cấu trúc	86

4.2.2	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	91
4.3	Thiết kế bộ triplexer dựa trên phân tầng hai bộ ghép đa mode 2×2 hình cánh bướm sử dụng ống dẫn sóng silic.....	94
4.3.1	Phân tích thiết kế và tối ưu cấu trúc	95
4.3.2	Kết quả mô phỏng và thảo luận.....	97
4.4	Kết luận chương.....	100
	Kết luận và hướng phát triển	101
	Đóng góp khoa học của luận án	101
	Hướng phát triển tương lai của luận án.....	102
	DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN.....	104
	Tài liệu tham khảo	105

Danh mục các thuật ngữ viết tắt

AON	All Optical Network	Mạng toàn quang
AWG	Arrayed Waveguide Grating	Cách tử ống dẫn sóng được xếp mảng
BPM	Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	Bán dẫn ô xít kim loại bù
COM	Complementary Operator Method	Phương pháp toán tử bù
Cr.T	Crosstalk	Xuyên nhiễu
DC	Directional Coupler	Bộ ghép định hướng
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia bước sóng mật độ cao
E.L	Excess Loss	Suy hao vượt qua
EBL	Electron beam lithography	Quang khắc bằng chùm tia điện tử
EIM	Effective Index Method	Phương pháp hệ số chiết suất hiệu dụng
EMS	Eigenvalue mode solver	Lời giải mode giá trị riêng
Ex.R	Extinction Ratio	Tỷ lệ phân biệt
FD-BPM	Finite Difference Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm sai phân hữu hạn
FDM	Finite Difference Method	Phương pháp sai phân hữu hạn
FDTD	Finite difference –Time domain	Sai phân hữu hạn miền thời gian
FEM	Finite Element Method	Phương pháp phần tử hữu hạn
FFT-BPM	Fast Fourier Transform Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm biến đổi Fourier nhanh
FTTH	Fiber to the home	Cáp quang đến tận nhà
FV-BPM	Full vectorial Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm véc tơ đầy đủ
GI	General Interference	Giao thoa tổng quát
IL	Insertion Loss	Suy hao chèn
MDM	Mode Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo mode

MEIM	Modified Effective Index Method	Phương pháp hệ số chiết suất hiệu dụng được hiệu chỉnh
MEMS	Mechanic-electronic micro switch	Chuyển mạch vi cơ điện tử
MMI	Multimode Interference	Giao thoa đa mode
MOC	Mode Order Conversion	Chuyển đổi thứ tự mode
MPA	Mode Propagation Analysis	Phân tích truyền mode
MRR	Microring Resonator	Bộ vi cộng hưởng vòng
MZI	Mach-Zehnder Interferometer	Giao thoa kế Mach-Zehnder
OEICs	Opto-electronic Integrated Circuits	Vi mạch tích hợp quang-điện tử
PhC	Photonic Crystal	Tinh thể quang tử
PICs	Photonic Integrated Circuits	Mạch tích hợp quang tử
PLCs	Planar Lightwave Circuits	Mạch quang phẳng
PML	Perfectly Match Layer	Lớp thích hợp hoàn hảo
PON	Passive Optical Network	Mạng quang thụ động
RI	Restrict Interference	Giao thoa hạn chế
RIE	Reactive ion etching	Phương pháp khắc bằng chùm ion
SI	Symetric Interference	Giao thoa đối xứng
SOI	Silicon on Insulator	Silic trên nền chất cách điện
SV BPM	Semi-vectorial Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm bán véc tơ
TBC	Transparent Boundary Condition	Điều kiện biên trong suốt
TE	Transverse Electric	Sóng điện ngang
TEM	Transverse Electromagnetic	Sóng điện từ ngang
TM	Transverse Magnetic	Sóng từ ngang
TMM	Transfer Matrix Method	Phương pháp ma trận truyền đạt
WA-BPM	Wide angle – Beam Propagation Method	Phương pháp truyền chùm góc rộng
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia bước sóng

Danh mục các ký hiệu

n_c	Chiết suất lớp vỏ ống dẫn sóng
n_s	Chiết suất lớp đế (hay lớp nền) ống dẫn sóng
W_e	Chiều rộng hiệu dụng bộ ghép đa mode
L_{MMI}	Chiều dài bộ ghép giao thoa đa mode
L_π	Nửa chiều dài phách của bộ ghép đa mode
P_{in}	Công suất đầu vào ống dẫn sóng
P_{out}	Công suất đầu ra ống dẫn sóng
P_d	Công suất ống dẫn sóng đầu ra mong muốn
$P_{u(tot)}$	Tổng công suất từ các ống dẫn sóng đầu ra không mong muốn
$P_{\lambda(tot)}$	Tổng công suất từ các bước sóng đầu vào không mong muốn đưa đến cổng đầu ra mong muốn
σ	Hệ số mũ chỉ trạng thái phân cực. $\sigma=0$ với mode TE và $\sigma=1$ với mode TM
c_ν	Hệ số biên độ mode thứ ν
ν	Thứ tự mode trong cơ chế giao thoa đa mode
φ	Góc dịch pha (rad)
$\frac{\partial F}{\partial t}$	Phép lấy vi phân hàm F theo biến riêng t
$N.A$	Khẩu độ số: góc tới lớn nhất có thể truyền được trong ống dẫn sóng (để phản xạ toàn phần trong ống dẫn sóng)
λ	Bước sóng hoạt động trong ống dẫn sóng
n_r (hoặc n_f)	Chiết suất lớp lõi ống dẫn sóng
W_{MMI}	Chiều rộng bộ ghép giao thoa đa mode