

PGS.TS CHU VĂN LANH (Chủ biên)
PGS.TS NGUYỄN THỊ QUỲNH HOA, PGS.TS TRẦN XUÂN TRƯỜNG,
TS. LÊ VĂN HIỆU, TS. HOÀNG VĂN THỤY

GIÁO TRÌNH THÔNG TIN QUANG

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VINH

*©Bản quyền thuộc về tác giả và Trường Đại học Vinh.
Không được in ấn, sao chụp, phát hành dưới mọi hình thức khi chưa có văn bản
cho phép của tác giả và Trường Đại học Vinh.*

MỤC LỤC

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	vi
LỜI NÓI ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ THÔNG TIN QUANG	5
1.1 Khái quát về lịch sử phát triển thông tin quang.....	5
1.2 Quang phổ sóng điện từ.....	9
1.3 Công suất quang.....	15
1.4 Nhu cầu về truyền thông tin sợi quang.....	19
1.5 Các thành phần của hệ thống thông tin quang.....	20
1.6 Cáp quang.....	22
1.7 Ứng dụng của hệ thống thông tin quang.....	28
Tóm tắt Chương 1.....	30
Tài liệu đọc thêm Chương 1.....	30
Câu hỏi và bài tập Chương 1.....	31
CHƯƠNG 2. SỢI QUANG	33
2.1 Lý thuyết cơ bản của ánh sáng trong sợi quang.....	33
2.2 Sự lan truyền ánh sáng trong sợi quang.....	38
2.3 Phân loại sợi quang.....	42
2.4 Các mode lan truyền.....	44
2.5 Tán sắc trong sợi quang.....	51
2.6 Suy hao trong sợi quang.....	64
2.7 Suy hao đường truyền trong cáp quang.....	67
2.8 Sợi tinh thể quang tử.....	73
Tóm tắt Chương 2.....	80
Tài liệu đọc thêm Chương 2.....	81
Câu hỏi và bài tập Chương 2.....	81
CHƯƠNG 3. NGUỒN VÀ MÁY PHÁT QUANG	83
3.1 Yêu cầu đối với nguồn phát quang.....	84
3.2 Tiếp giáp p - n.....	84
3.3 Diode phát quang.....	91

3.4	Laser diode.....	103
3.5	Máy phát quang.....	122
	Tóm tắt Chương 3.....	127
	Tài liệu đọc thêm Chương 3.....	129
	Câu hỏi và bài tập Chương 3.....	129
	CHƯƠNG 4. MÁY THU QUANG.....	133
4.1	Yêu cầu đối với bộ tách sóng quang.....	134
4.2	Bộ tách sóng quang bán dẫn.....	134
4.3	Sơ đồ khối máy thu quang.....	162
4.4	Nhiều trong máy thu quang.....	165
4.5	Độ nhạy của máy thu quang.....	172
	Tóm tắt Chương 4.....	179
	Tài liệu đọc thêm Chương 4.....	180
	Câu hỏi và bài tập Chương 4.....	181
	CHƯƠNG 5. BỘ KHUẾCH ĐẠI QUANG.....	183
5.1	Chức năng của bộ khuếch đại quang học.....	184
5.2	Bộ khuếch đại quang bán dẫn.....	190
5.3	Bộ khuếch đại sợi quang pha tạp Erbium.....	198
5.4	Bộ khuếch đại quang Raman.....	216
5.5	So sánh các bộ khuếch đại quang học.....	220
5.6	Ứng dụng của các bộ khuếch đại quang học.....	222
	Tóm tắt Chương 5.....	222
	Tài liệu đọc thêm Chương 5.....	224
	Câu hỏi và bài tập Chương 5.....	225
	Chương 6. KỸ THUẬT QUẢN LÝ TÁN SẮC.....	229
6.1	Sự cần thiết của quản lý tán sắc.....	230
6.2	Kỹ thuật quản lý tán sắc bù trước.....	234
6.3	Sợi quang bù tán sắc.....	240
6.4	Sợi cách tử Bragg.....	245
6.5	Kỹ thuật quản lý tán sắc bù sau.....	253
	Tóm tắt Chương 6.....	258
	Tài liệu đọc thêm Chương 6.....	259
	Câu hỏi và bài tập Chương 6.....	260

CHƯƠNG 7. GHÉP KÊNH THEO BƯỚC SÓNG	263
7.1 Nguyên tắc ghép kênh theo bước sóng.....	263
7.2 Nguyên lý hoạt động của WDM.....	270
7.3 Bộ lọc quang.....	273
7.4 Bộ ghép kênh “bổ sung-giảm bớt”	280
7.5 Bộ ghép sao.....	281
7.6 Bộ chuyển đổi bước sóng.....	286
7.7 Bộ định tuyến theo bước sóng	289
7.8 Các bộ phát và nhận tín hiệu của bộ ghép kênh theo bước sóng.....	291
7.9 Một số vấn đề ảnh hưởng tới chất lượng hoạt động của hệ thống ghép kênh.....	293
Tóm tắt Chương 7.....	299
Tài liệu đọc thêm Chương 7.....	300
Câu hỏi và bài tập Chương 7.....	301
CHƯƠNG 8. PHÉP ĐO QUANG	303
8.1 Yêu cầu của phép đo sợi quang.....	304
8.2 Phép đo công suất.....	305
8.3 Phép đo bước sóng và quang phổ.....	308
8.4 Phép đo phân cực của nguồn sáng.....	312
8.5 Phép đo hệ số nhiễu và độ khuếch đại của bộ khuếch đại quang.....	313
8.6 Phép đo độ suy hao năng lượng trong hệ thống sợi quang.....	315
8.7 Phép đo ánh sáng truyền ngược và kiểm tra lỗi trong sợi quang.....	318
8.8 Phép đo độ tán sắc sợi quang.....	322
Tóm tắt Chương 8.....	326
Tài liệu đọc thêm Chương 8.....	327
Câu hỏi và bài tập Chương 8.....	327
ĐÁP SỐ BÀI TẬP CÁC CHƯƠNG	330
TÀI LIỆU THAM KHẢO	334

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tên đầy đủ tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
AGC	Automatic Gain Control	Bộ điều khiển khuếch đại tự động
AM	Amplitude Modulation	Biến điệu biên độ
APD	Avalanche Photodiode	Diode quang thác lũ
ASE	Amplified Spontaneous Emission	Phát xạ tự phát được khuếch đại
ASK	Amplitude Shift Keying	Khóa dịch biên độ
BA	Power Amplifier	Khuếch đại công suất
BER	Bit Error Rate	Tỉ lệ lỗi bit
BW	Bandwidth	Băng thông
CATV	Community Antenna Television	Mạng truyền hình cáp
CCD	Charge Coupled Device	Thiết bị ghép nối tích điện
CCITT	Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy	Ủy ban Tư vấn về Điện thoại và Điện báo quốc tế
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng với mật độ thấp
DBR	Distributed Bragg Reflector	Phản xạ Bragg phân bố
DCF	Dispersion Compensating Fiber	Sợi bù tán sắc
DEMUX	Demultiplexer	Bộ tách kênh
DFB	Distributed feedback	Hồi tiếp phân bố
DFB	Distributed Feedback Laser	Laser hồi tiếp phân bố
DFF	Dispersion-Flattened Fiber	Sợi quang tán sắc phẳng
DSF	Dispersion-Shifted Fiber	Sợi quang dịch chuyển tán sắc
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng với mật độ cao
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier	Bộ khuếch đại sợi quang pha tạp Erbium
EHF	Extremely High Frequency	Tần số cực cao
EIA	Electronic Industries Alliance	Hiệp hội Công nghiệp Điện tử
ELED	Edge Emitting LED	LED phát xạ cạnh
ELF	Extremely Low Frequency	Tần số cực thấp
EM	Electromagnetic	Điện từ

EMI	Electromagnetic Interference	Sự giao thoa điện từ
F	Finesse	Đại lượng đặc trưng cho tính chất cộng hưởng của một buồng cộng hưởng trong một dải tần số
FBG	Fiber Bragg Grating	Sợi cách tử Bragg
FM	Frequency Modulation	Biến điệu tần số
FP	Fabry-Perot	Fabry-Perot
FPA	Fabry-Perot Amplifier	Khuếch đại Fabry-Perot
FPLA	Fabry-Perot Laser Amplifier	Khuếch đại laser sử dụng giao thoa kế Fabry-Perot
FSK	Frequency Shift Keying	Khóa dịch chuyển tần số
FSR	Free Spectral Range	Vùng phổ tự do
FWHM	Full Width at Half Maximum	Độ rộng nửa cực đại
GRIN	Graded-Index Lens	Thấu kính có chiết suất giảm dần từ tâm ra phía ngoài
GVD	Group-Velocity Dispersion	Tán sắc vận tốc nhóm
HF	High Frequency	Tần số cao
Hi-	Higashi-Ikoma Optical Visual	Hệ thống thông tin trực quan
OVIS	Information System	quang học Higashi-Ikoma
IC	Integrated Circuit	Mạch tích hợp
ILA	In-Line Amplifier	Khuếch đại đường truyền bên trong
IR	Infrared	Hồng ngoại
ITU	International Telecommunication Union	Liên minh Viễn thông quốc tế
LAN	Local Area Network	Mạng cục bộ
LD	Laser Diode	Laser diode
LED	Light Emitting Diode	Diode phát quang
LF	Low Frequency	Tần số thấp
LMA	Lare mode area	Diện tích lõi lớn
MF	Medium Frequency	Tần số trung bình
MQW	Multiple Quantum Well	Cấu trúc đa giếng lượng tử
MSM	Metal-Semiconductor-Metal	Cấu trúc kim loại-bán dẫn-kim loại
MUX	Multiplexer	Bộ ghép kênh
MZ	Mach-Zehnder	Mach-Zehnder
MZI	Mach-Zehnder Interferometer	Giao thoa kế Mach-Zehnder
NA	Numerical Aperture	Khẩu độ số
OEIC	Opto-Electronic Integrated Circuit	Mạch tích hợp quang điện tử
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	Máy đo phản xạ miền thời gian quang học

PBG	Photonic Bandgap	Vùng cấm quang tử
PCF	Photonic Crystal Fiber	Sợi tinh thể quang tử
PCS	Plastic-Clad Silica	Thủy tinh bọc nhựa
PMD	Polarization Mode Dispersion	Tán sắc mode phân cực
RF	Radio Frequency	Tần số vô tuyến
RFA	Raman Fiber Amplifier	Khuếch đại sợi Raman
RFTS	Remote Fiber Test System	Hệ thống kiểm tra sợi quang từ xa
RMS	Root-mean square	Căn quân phương
SBS	Stimulated Brillouin Scattering	Tán xạ Brillouin kích thích
SCS	Silica-Clad Silica	Thủy tinh bọc thủy tinh
SHF	Superhigh Frequency	Siêu cao tần
SLD	Semiconductor Laser Diode	Laser diode bán dẫn
SLED	Surface Emitting LED	LED phát xạ bề mặt
SMF	Single-Mode Fiber	Sợi đơn mode
SNR	Signal-Noise-Ratio	Tỉ số tín hiệu trên nhiễu
SOA	Semiconductor Optical Amplifier	Bộ khuếch đại quang bán dẫn
SPM	Self-phase Modulation	Tự biến điệu pha
SRS	Stimulated Raman Scattering	Tán xạ Raman kích thích
SSR	Side-mode Suppression Ratio	Tỉ lệ nén biên
TM -	Multimode-Dispersion	Sợi bù tán sắc đa mode
DCF	Compensating Fiber	
TWA	Traveling-wave amplifier	Khuếch đại truyền sóng
TWSLA	Traveling-Wave Semiconductor Laser Amplifier	Khuếch đại laser bán dẫn truyền sóng
UHF	Ultra High Frequency	Tần số cực cao
UV	Ultraviolet	Tử ngoại
VCSEL	Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser	Laser phát xạ bề mặt với buồng cộng hưởng thẳng đứng
VF	Voice Frequency	Tần số âm thanh
VHF	Very High Frequency	Tần số rất cao
VLF	Very Low Frequency	Tần số rất thấp
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng
λ_{ZD}	Zero Dispersion Wavelength	Bước sóng tán sắc không

LỜI NÓI ĐẦU

Thông tin quang là phương thức truyền dẫn, xử lý và điều khiển tín hiệu thông tin bằng ánh sáng. Với những ưu điểm vượt trội so với các công nghệ khác, thông tin quang ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng hệ thống thông tin hiện đại, có khả năng cung cấp dung lượng, tốc độ cực lớn và tiết kiệm năng lượng, nhằm đáp ứng sự bùng nổ về nhu cầu truyền dẫn và lưu trữ thông tin. Chính vì lẽ đó, học phần *Thông tin quang* được đưa vào Chương trình đào tạo cử nhân ngành Sư phạm Vật lý của Trường Đại học Vinh. Học phần này sẽ cung cấp cho sinh viên nền tảng kiến thức về hệ thống thông tin quang, bao gồm các thành phần cơ bản như sợi quang, nguồn quang học và máy phát, máy thu quang học, bộ khuếch đại quang học, kỹ thuật quản lý tán sắc, các khái niệm WDM và các thành phần, phép đo quang học. Đồng thời, sinh viên cũng được tiếp cận các ứng dụng thực tế của thông tin quang trong các lĩnh vực như viễn thông, y tế, công nghiệp và khoa học.

Nhằm đáp ứng nhu cầu học liệu giảng dạy học phần *Thông tin quang*, chúng tôi đã biên soạn giáo trình này theo hướng tiếp cận năng lực, trong đó sinh viên được chú trọng nhiều hơn đến việc trau dồi, rèn luyện kỹ năng tự học trong việc tiếp nhận tri thức.

Giáo trình *Thông tin quang* gồm 8 chương với bố cục như sau:

Chương 1 trình bày tổng quan về lịch sử phát triển thông tin quang; các thành phần cơ bản của cáp quang và hệ thống thông tin quang; các ưu và nhược điểm của cáp quang; ứng dụng sợi quang trong khoa học, công nghệ và cuộc sống.

Chương 2 trình bày cơ chế truyền ánh sáng trong sợi quang và các thông số trong truyền dẫn sợi quang; cấu trúc sợi quang; sự lan truyền các mode trong sợi quang; nguyên nhân gây tán sắc và suy hao trong sợi quang.

Chương 3 trình bày các yêu cầu thiết yếu đối với nguồn phát quang; các hiện tượng vật lý cơ bản xuất hiện tại tiếp giáp $p - n$; các đặc điểm của diode phát quang làm nguồn phát; nguyên tắc hoạt động của phát xạ kích thích; các đặc điểm của laser diode; nguyên tắc hoạt động của các loại LD; ưu điểm của laser diode so với diode phát quang; các thành phần chính của máy phát quang; vận dụng được lý thuyết để giải các bài tập cơ bản về nguồn và máy phát quang.

Chương 4 trình bày các yêu cầu thiết yếu đối với bộ tách sóng quang, các bộ tách sóng quang bán dẫn khác nhau; nguyên lý hoạt động của các bộ tách sóng quang; các thành phần chính của máy thu quang; hiệu suất độ nhạy và nhiễu của máy thu quang; vận dụng lý thuyết để giải các bài tập cơ bản về máy thu quang.

Chương 5 trình bày các loại bộ khuếch đại quang học dựa trên chức năng, vị trí sử dụng chúng hoặc dựa trên cấu tạo của vùng hoạt động; nguyên lý hoạt động, các thành phần cấu trúc cơ bản, các thông số kỹ thuật của bộ khuếch đại quang bán dẫn; cơ chế khuếch đại, đặc tính và ưu điểm của bộ khuếch đại sợi quang pha tạp Erbium; khái niệm, các thông số kỹ thuật và cách sử dụng bộ khuếch đại sợi quang Raman; các đặc điểm, tính năng cơ bản và ứng dụng của các bộ khuếch đại SOA, EDFA và RFA; vận dụng lý thuyết về khuếch đại quang để giải quyết các bài toán về hiệu suất và khoảng cách lan truyền.

Chương 6 trình bày sự cần thiết của quản lý tán sắc trong thông tin quang; cơ chế của các kỹ thuật bù trước và bù sau của quản lý tán sắc; sợi quang bù tán sắc và các sợi cách tử Bragg; vận dụng các kiến thức về kỹ thuật quản lý tán sắc để giải các bài toán về tán sắc.

Chương 7 trình bày cách ghép kênh theo bước sóng (WDM); cấu hình hệ thống WDM và nguyên tắc hoạt động của nó; các thành phần khác nhau của WDM; vận dụng kiến thức về WDM để thiết kế hệ thống truyền tin; các vấn đề về hiệu suất hệ thống WDM.

Chương 8 trình bày yêu cầu và lợi ích của phép đo quang học; kỹ thuật và quy trình đo các thông số sợi quang và hệ thống thông tin; nguyên lí hoạt động của các dụng cụ và hệ thống đo lường sử dụng cho các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm và trong thông tin quang; các thiết bị đo lường quang học trong thông tin quang; xây dựng và thực hiện các phương pháp đo lường quang học để khảo sát chất lượng của hệ thống truyền tin.

Giáo trình được biên soạn dưới sự chủ biên của PGS.TS. Chu Văn Lanh với sự tham gia của các tác giả từ một số trường đại học. PGS.TS. Chu Văn Lanh đã xây dựng kế hoạch, định hướng nội dung chi tiết và trực tiếp biên soạn các mục 2.8, 7.1-7.4, đồng thời chịu trách nhiệm tổng hợp, chỉnh sửa, đảm bảo tính thống nhất và liên kết logic của toàn bộ giáo trình.

Các chương nội dung còn lại được phân công biên soạn như sau: Chương 1 và Chương 2 do PGS. TS. Nguyễn Thị Quỳnh Hoa phụ trách; Chương 3 và Chương 4 do PGS. TS. Trần Xuân Trường (Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội)

biên soạn; Chương 5 và Chương 6 do TS. Lê Văn Hiệu (Trường ĐH Hồng Đức, Thanh Hoá) đảm nhận; TS. Hoàng Văn Thụy biên soạn từ mục 7.5 đến mục 7.9 của chương 7 và Chương 8.

Nội dung trong mỗi chương đều được các tác giả chắt lọc từ kinh nghiệm giảng dạy lâu năm của mình, đồng thời cập nhật những kiến thức mới nhất về sợi quang, trong đó có giới thiệu về sợi tinh thể quang tử và ứng dụng. Các kiến thức được trình bày ở mỗi bài học được làm sáng tỏ qua các ví dụ minh họa cũng như ứng dụng của nó trong khoa học, kỹ thuật nên có thể tổ chức các hoạt động dạy học theo nhóm. Cuối mỗi chương có tóm tắt chương, tài liệu đọc thêm, câu hỏi và bài tập. Tuy nhiên, vì sự phát triển trong lĩnh vực thông tin quang vô cùng mạnh mẽ và nhanh chóng nên cần phải có sự cập nhật liên tục mới theo kịp xu thế phát triển của thời đại.

Mặc dù, giáo trình được biên soạn nhằm phục vụ đào tạo cử nhân Sư phạm Vật lý, kỹ sư ngành kỹ thuật và công nghệ của Trường Đại học Vinh, nhưng cũng có thể làm tài liệu tham khảo hữu ích cho sinh viên các trường đại học khác, học viên cao học, nghiên cứu sinh và giáo viên trong các lĩnh vực tự nhiên.

Các tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Vinh, Nhà xuất bản Đại học Vinh đã tạo điều kiện để cuốn sách được xuất bản. Trong quá trình biên soạn và hoàn thiện bản thảo, tập thể tác giả đã hết sức cố gắng để giáo trình có chất lượng tốt nhất, nhưng vì nhiều lý do nên cuốn sách vẫn không thể tránh được những hạn chế thiếu sót. Chúng tôi rất mong nhận được sự chia sẻ, thông cảm cũng như các góp ý của các chuyên gia, đồng nghiệp và bạn đọc để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong những lần tái bản tiếp theo. Mọi góp ý cho giáo trình xin gửi về đại diện tác giả qua email: chuvanlanh@vinhuni.edu.vn (PGS.TS Chu Văn Lanh) hoặc qua Nhà xuất bản Đại học Vinh, địa chỉ: tầng 5 Toà Nhà điều hành Trường Đại học Vinh, số 182 Lê Duẩn, Thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An, email: nxbdhv@vinuni.edu.vn.

Chủ biên

PGS.TS. Chu Văn Lanh

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VINH
182 Lê Duẩn, Vinh, Nghệ An
ĐT: 0238. 3551 345 (Máy lẻ: 312) - Fax: 0238. 3855 269
Email: nxbdhv@vinhuni.edu.vn

GIÁO TRÌNH THÔNG TIN QUANG

Chịu trách nhiệm nội dung và xuất bản:

Giám đốc kiêm Tổng biên tập
PGS.TS. NGUYỄN HỒNG QUẢNG

Chịu trách nhiệm nội dung khoa học:

HỘI ĐỒNG NGHIỆM THU TRƯỞNG ĐẠI HỌC VINH

Người nhận xét:

TS. LÊ VĂN BIÊN - TS. DƯƠNG ĐÌNH TÚ

Biên tập sơ bộ:

PGS. TS. NGUYỄN TIẾN DŨNG

Biên tập:

VÕ THỊ HOÀI THƯƠNG

Bìa, trình bày:

HỒNG DƯƠNG

Sửa bản in:

TÁC GIẢ

ISBN: 978-604-923-839-0

In 250 cuốn, khổ 19 x 26,5cm tại Công ty Cổ phần In Hà Tĩnh
Số 153 Hà Huy Tập, thành phố Hà Tĩnh
Xác nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số: 3140-2024/CXBIPH/1-19/ĐHV
Quyết định xuất bản số: 71-2024/QĐXB-NXB ngày 15 tháng 11 năm 2024
In xong và nộp lưu chiểu Quý IV năm 2024