

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC



NGUYỄN THÀNH DÂN

**NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC KHUẾCH ĐẠI
LASER Nd:YVO₄ XUNG CỰC NGẮN CÔNG
SUẤT CAO SỬ DỤNG BỘ KHUẾCH ĐẠI
NHIỀU LẦN TRUYỀN QUA**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

THÁI NGUYÊN - 2018

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



NGUYỄN THÀNH DÂN

**NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC KHUẾCH ĐẠI
LASER Nd:YVO₄ XUNG CỰC NGẮN CÔNG
SUẤT CAO SỬ DỤNG BỘ KHUẾCH ĐẠI
NHIỀU LẦN TRUYỀN QUA**

Chuyên ngành: Quang học

Mã số: 8440110

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

Cán bộ hướng dẫn khoa học: TS. Phạm Hồng Minh

THÁI NGUYÊN - 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học độc lập của riêng tôi. Các số liệu sử dụng phân tích trong luận văn có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn đầy đủ. Các kết quả nghiên cứu trong luận văn do tôi tự tìm hiểu, phân tích một cách trung thực, khách quan và phù hợp với thực tiễn của Việt Nam.

Người cam đoan

Nguyễn Thành Dân

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc đến TS. Phạm Hồng Minh đã hướng dẫn tôi thực hiện nghiên cứu của mình. Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn đến các anh chị em ở Trung tâm điện tử học lượng tử - Viện Vật lý đã quan tâm, chỉ bảo tận tình cho tôi trong quá trình nghiên cứu, thực hiện đề tài.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới Ban Giám hiệu, các thầy, các cô trong khoa Vật lý & Công nghệ, cán bộ phòng Đào tạo trường Đại học Khoa học - Đại học Thái Nguyên, đã cho tôi những kiến thức, kinh nghiệm vô cùng quý giá cũng như sự giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình học tập và nghiên cứu.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Ban Giám hiệu Trường THPT Tiên Lữ, anh chị em đồng nghiệp nơi tôi công tác, đã giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình làm việc, học tập và nghiên cứu.

Cuối cùng tôi xin gửi lời cảm ơn đến gia đình, bạn bè, những người đã luôn bên tôi, động viên và khích lệ tôi trong quá trình thực hiện đề tài nghiên cứu của mình.

Thái Nguyên, ngày 20 tháng 6 năm 2018

Nguyễn Thành Dân

MỤC LỤC

BẢNG KÍ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT.....	i
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	iv
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	vi
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG I TỔNG QUAN VỀ KHUẾCH ĐẠI XUNG LASER CỰC NGẮN, MÔI TRƯỜNG KHUẾCH ĐẠI Nd:YVO₄	3
1.1. Lí thuyết khuếch đại xung laser cực ngắn	3
1.1.1. Nguyên lý khuếch đại laser.....	3
1.1.2. Các cấu hình khuếch đại.....	6
1.1.3. Một số lưu ý khi khuếch đại xung laser cực ngắn.....	9
1.2. Môi trường tinh thể Nd:YVO₄	13
1.2.1. Các mức năng lượng của ion Nd ³⁺	14
1.2.2. Môi trường khuếch đại Nd:YVO ₄	15
1.3. Nguồn bơm laser bán dẫn cho môi trường khuếch đại pha tạp Nd³⁺	18
1.4. Một số ứng dụng của laser xung ngắn công suất cao	20
1.4.1. Ứng dụng trong khoa học.....	20
1.4.2. Ứng dụng trong khoa học kĩ thuật.....	21
1.4.3. Ứng dụng trong các ngành khoa học khác.....	22
KẾT LUẬN CHƯƠNG I	23
CHƯƠNG II HỆ PHƯƠNG TRÌNH KHUẾCH ĐẠI	24
2.1. Phương trình mô tả sự lan truyền xung laser cực ngắn qua môi trường khuếch đại, phương trình khuếch đại	24
2.1.1. Phương trình cơ học lượng tử đối với toán tử mật độ $\rho(r, t)$	25
2.1.2. Độ phân cực vĩ mô của môi trường.....	26
2.1.3. Phương trình sóng một chiều.....	26
2.2. Hệ phương trình khuếch đại laser	28
2.3. Các tham số sử dụng trong mô phỏng tính toán	32
2.3.1 Xung tín hiệu cần khuếch đại.....	32
2.3.2. Môi trường khuếch đại.....	33
2.3.3. Nguồn bơm.....	33
KẾT LUẬN CHƯƠNG II	35

CHƯƠNG III ĐỘNG HỌC KHUẾCH ĐẠI XUNG LASER CỰC NGẮN 1064 nm SỬ DỤNG TINH THỂ Nd:YVO₄ ĐƯỢC BƠM BẰNG LASER BÁN DẪN LIÊN TỤC	36
3.1. Phân bố chùm laser bơm trong tinh thể	36
3.2. Độ khuếch đại ban đầu của môi trường Nd:YVO₄	38
3.3. Động học khuếch đại một lần truyền qua	39
3.3.1. Ảnh hưởng của cường độ laser bơm lên động học khuếch đại.....	40
3.3.2. Ảnh hưởng của xung tín hiệu cần khuếch đại lên động học khuếch đại.	41
3.4. Động học khuếch đại nhiều lần truyền qua	43
3.4.1. Động học khuếch đại trong bộ khuếch đại nhiều lần truyền qua.....	43
3.4.2. Ảnh hưởng của cường độ laser bơm lên động học khuếch đại.....	45
3.4.3. Ảnh hưởng của cường độ xung tín hiệu lên động học khuếch đại.....	48
KẾT LUẬN CHƯƠNG III	51
KẾT LUẬN CHUNG	52
TÀI LIỆU THAM KHẢO	53

BẢNG KÍ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Nd:YVO ₄	Môi trường Yttrium Vanadate pha tạp ion Nd ³⁺
ASE	Phát xạ tự phát được khuếch đại
YAG	Môi trường Yttrium Aluminium Garnet (Y ₃ Al ₅ O ₁₂)
YLF	Muối Flouride (YLiF ₄)
G ₀	Độ khuếch đại ban đầu
G(t)	Độ khuếch đại tại thời điểm t
K	Hệ số khuếch đại
c	Tốc độ ánh sáng trong chân không
v	Vận tốc ánh sáng trong môi trường khuếch đại
σ_{es}	Tiết diện phát xạ tại bước sóng tín hiệu
σ_{as}	Tiết diện hấp thụ tại bước sóng tín hiệu
σ_{ep}	Tiết diện phát xạ tại bước sóng bơm
σ_{ap}	Tiết diện hấp thụ tại bước sóng bơm
Q	Xác suất mà một photon bơm đóng góp vào quá trình khuếch đại
N	Nồng độ ion Nd ³⁺
N ₁	Số phân tử ở trạng thái cơ bản
N ₂	Số phân tử ở trạng thái kích thích
n	Chiết suất môi trường
L	Chiều dài tinh thể
τ	Thời gian sống huỳnh quang của ion hoạt chất
I _{so}	Cường độ đỉnh xung tín hiệu
I _{pump}	Cường độ bơm
I _{sat}	Cường độ bão hòa của môi trường
I _{vao}	Cường xung tín hiệu vào môi trường
w _{sat}	Mật độ công suất bão hòa của môi trường
w _{pump}	Mật độ công suất bơm
h	Hằng số Planck
α_{λ}	Hệ số hấp thụ của môi trường tại bước sóng λ
Δt	Độ rộng xung
α_m	Hệ số mất mát tuyến tính giữa hai lần truyền qua liên tiếp
GVD	Tán sắc tốc độ nhóm

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình vẽ	Trang
Hình 1.1. Các quá trình dịch chuyển quang học trong khuếch đại ánh sáng	3
Hình 1.2. Cấu tạo của bộ khuếch đại laser	4
Hình 1.3. Cấu hình bơm ngang cho hệ khuếch đại Ce:LiLuF ₄ bằng laser KrF	5
Hình 1.4. Cấu hình bơm dọc cho hệ khuếch đại Ti:sapphire bằng hòa ba bậc hai của laser Nd:YAG	5
Hình 1.5. Cấu hình bơm xiên bằng laser Diode	6
Hình 1.6. Bộ khuếch đại laser hai tầng một lần truyền qua	7
Hình 1.7. Hệ khuếch đại nhiều lần truyền qua	7
Hình 1.8. Bộ khuếch đại tái phát	8
Hình 1.9. Gương khuếch đại được phủ bề mặt	13
Hình 1.10. Tinh thể Nd:YVO ₄ nồng độ pha tạp 1%	14
Hình 1.11. Các dịch chuyển quang học của ion Nd ³⁺	15
Hình 1.12. Phổ hấp thụ của môi trường Nd:YVO ₄ nồng độ pha tạp 1%	17
Hình 1.13. Phổ phát xạ huỳnh quang của Nd ³⁺ pha tạp trong nền YVO ₄	18
Hình 2.1. Sự lan truyền xung laser qua môi trường	28
Hình 2.2. Xung laser tín hiệu	32
Hình 3.1. Phân bố năng lượng laser bơm trong tinh thể Nd:YVO ₄	37
Hình 3.2. Phân bố năng lượng laser bơm trong tinh thể với mật độ công suất của laser bơm khác nhau	37
Hình 3.3. Độ khuếch đại ban đầu G ₀ của môi trường Nd:YVO ₄ với cường độ bơm khác nhau	38
Hình 3.4. Động học khuếch đại một lần truyền qua	39
Hình 3.5. Xung laser sau khuếch đại (a) và hệ số khuếch đại (b) khi bơm yếu	40
Hình 3.6. Xung laser sau khuếch đại (a) và hệ số khuếch đại (b) khi bơm mạnh	40
Hình 3.7. Xung laser sau khuếch đại (a) và hệ số khuếch đại (b) ứng với cường độ laser tín hiệu nhỏ	42

Hình 3.8. Xung laser sau khuếch đại (a) và hệ số khuếch đại (b) ứng với cường độ laser tín hiệu lớn	42
Hình 3.9. Bộ khuếch đại Nd:YVO ₄ nhiều lần truyền qua	43
Hình 3.10. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua	44
Hình 3.11. Hệ số khuếch đại trong từng lần truyền qua	45
Hình 3.12. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với $I_{\text{pump}} = 2I_{\text{sat}}$	46
Hình 3.13. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với $I_{\text{pump}} = 10I_{\text{sat}}$	46
Hình 3.14. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với $I_{\text{pump}} = 20I_{\text{sat}}$	47
Hình 3.15. a) Hệ số khuếch đại trong từng lần truyền qua. b) Tỷ số giữa cường độ laser sau từng lần khuếch đại so với cường độ tín hiệu vào I_{so}	47
Hình 3.16. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với cường độ xung tín hiệu vào bộ khuếch đại I_{so}	49
Hình 3.17. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với cường độ xung tín hiệu vào bộ khuếch đại $10I_{\text{so}}$	49
Hình 3.18. Động học khuếch đại trong từng lần truyền qua với cường độ xung tín hiệu vào bộ khuếch đại $100I_{\text{so}}$	50
Hình 3.19. a) Hệ số khuếch đại trong từng lần truyền qua. b) Tỷ số giữa cường độ laser sau từng lần khuếch đại so với cường độ tín hiệu vào I_{so} khi cường độ xung tín hiệu thay đổi	50

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng	Trang
Bảng 1.1. <i>Thông số quang học của một số môi trường khuếch đại.</i>	10
Bảng 1.2. <i>Các dịch chuyển năng lượng và huỳnh quang tương ứng của Nd³⁺</i>	15
Bảng 1.3. <i>Các thông số của các môi trường laser Neodymium</i>	16
Bảng 1.4. <i>Một vài thông số chính của tinh thể pha tạp ion Nd³⁺</i>	18
Bảng 1.5. <i>Các môi trường laser rắn và nguồn bơm laser diode</i>	20
Bảng 2.1. <i>Giá trị điển hình của T₁ và T₂ đối với một số môi trường quang học</i>	26
Bảng 2.2. <i>Các tham số của môi trường Nd:YVO₄ sử dụng trong hệ khuếch đại laser xung cực ngắn nhiều lần truyền qua</i>	33
Bảng 2.3. <i>Các tham số của nguồn bơm cho môi trường Nd:YVO₄</i>	34
Bảng 3.1. <i>Hệ số khuếch đại trong từng lần truyền qua</i>	44