

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



**HỌC VIÊN: BÙI THỊ THÚY DƯƠNG**

**ĐỀ TÀI**

**NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC LASER Ce:FLUORIDE  
PHÁT BỨC XẠ TRONG VÙNG TỬ NGOẠI**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC VẬT LÝ**

**THÁI NGUYÊN, NĂM 2018**

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



**HỌC VIÊN: BÙI THỊ THÚY DƯƠNG**

**ĐỀ TÀI: NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC LASER Ce: FLUORIDE PHÁT  
BỨC XẠ TRONG VÙNG TỬ NGOẠI**

**Chuyên ngành: Quang học**

**Mã số: 84 40 110**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC VẬT LÝ**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. PHẠM HỒNG MINH**

**THÁI NGUYÊN, NĂM 2018**

## MỤC LỤC

	Trang
<b>BẢNG KÝ HIỆU HOẶC CHỮ CÁI VIẾT TẮT.....</b>	i
<b>DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....</b>	ii
<b>DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....</b>	iii
<b>MỞ ĐẦU.....</b>	1
<b>CHƯƠNG I:.....</b>	4
<b>TỔNG QUAN VỀ LASER TỬ NGOẠI VÀ CÁC CẤU HÌNH BƠM CHO LASER TỬ NGOẠI Ce:FLUORIDE.....</b>	4
1.1. Tổng quan về một số loại laser tử ngoại.....	4
1.2. Môi trường laser rắn pha tạp ion $Ce^{3+}$ .....	10
1.2.1. Đặc điểm của môi trường tinh thể laser Fluoride pha tạp ion Cerium.....	11
1.2.2. Môi trường tinh thể Ce:LiLuF và Ce:LiCAF.....	13
1.3. Các cấu hình bơm cho laser tử ngoại Ce:Fluoride.....	15
<b>KẾT LUẬN CHƯƠNG I.....</b>	19
<b>CHƯƠNG II:.....</b>	20
<b>ĐỘNG HỌC LASER TỬ NGOẠI Ce:FLUORIDE.....</b>	20
2.1. Mô hình lý thuyết.....	20
2.2. Các thông số sử dụng trong mô phỏng.....	21
2.3. Độ khuếch đại của môi trường laser Ce:LLF và Ce:LiCAF.....	23
2.4. Động học trong phát xạ laser Ce:LLF và Ce:LiCAF.....	24
2.4.1. Ảnh hưởng của năng lượng bơm.....	24
2.4.2. Ảnh hưởng của hệ số phản xạ gương ra.....	28
2.4.3. Ảnh hưởng của chiều dài buồng cộng hưởng.....	32
<b>KẾT LUẬN CHƯƠNG II.....</b>	36
<b>CHƯƠNG III.....</b>	37
<b>HỆ LASER Ce:LiCAF PHÁT TRỰC TIẾP BỨC XẠ TỬ NGOẠI.....</b>	37
3.1. Sự phụ thuộc của ngưỡng bơm vào thông số buồng cộng hưởng ( $R_2, L$ ).....	37
3.2. Sự phụ thuộc của ngưỡng phá hủy và ngưỡng bão hòa tại bước sóng bơm vào kích thước vết bơm.....	38

3.3. Sự phụ thuộc vị trí đặt tinh thể vào đường kính vết bơm trên tinh thể.....	39
3.3. Xây dựng hệ thực nghiệm laser tử ngoại Ce:LiCAF được bơm bằng hòa ba bậc bốn của laser Nd:YAG.....	42
<b>KẾT LUẬN CHƯƠNG III.....</b>	<b>49</b>
<b>KẾT LUẬN CHUNG.....</b>	<b>50</b>
<b>DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....</b>	<b>51</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>52</b>
<b>PHỤ LỤC.....</b>	<b>54</b>

## BẢNG KÝ HIỆU HOẶC CHỮ CÁI VIẾT TẮT

UV	Tử ngoại
Ce-Fluoride	Vật liệu Fluoride pha tạp Cerium ( $Ce^{3+}$ )
BCH	Buồng cộng hưởng
ESA	Sự hấp thụ ở trạng thái kích thích
$N_0$	Độ tích lũy ở trạng thái cơ bản
$N_1$	Độ tích lũy ở trạng thái kích thích
$N$	Nồng độ ion $Ce^{3+}$
$n$	Chiết suất môi trường
$c$	Vận tốc ánh sáng
$L$	Chiều dài BCH
$\tau_t$	Thời gian để ánh sáng thực hiện một chu trình đi-về trong BCH
$R$	Hệ số phản xạ của gương
$l$	Chiều dài môi trường hoạt chất
$\lambda$	Bước sóng laser
$I_i$	Cường độ laser trong BCH tại bước sóng $\lambda_i$
$R_p$	Tốc độ bơm
$\gamma(\lambda)$	Hệ số khuếch đại tại bước sóng $\lambda$
$\sigma_{ai}$	Tiết diện hấp thụ tại bước sóng $\lambda_i$
$\sigma_{ei}$	Tiết diện bức xạ cưỡng bức tại bước sóng $\lambda_i$
$\beta$	Hệ số mất mát trong một chu trình đi-về trong BCH
$\tau$	Thời gian sống huỳnh quang của ion hoạt chất (ion $Ce^{3+}$ )
$\tau_c$	Thời gian sống photon trong BCH
$P_{abs}$	Công suất bơm được hấp thụ
$P_{in}$	Công suất bơm vào
$\alpha_a$	Hệ số hấp thụ của môi trường hoạt chất
$\tau_p$	Độ rộng xung bơm
$r$	Bán kính vết bơm

## DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

<b>Bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
<b>Bảng 1.1.</b> <i>Một số môi trường hoạt chất màu phát bức xạ tử ngoại</i>	4
<b>Bảng 1. 2.</b> <i>Một số laser excimer phát bức xạ tử ngoại.</i>	6
<b>Bảng 2.1.</b> <i>Các thông số của môi trường Ce:LLF</i>	22
<b>Bảng 2.2.</b> <i>Các thông số của môi trường Ce:LiCAF</i>	22
<b>Bảng 3.1.</b> <i>Vùng năng lượng bơm cho các buồng cộng hưởng khác nhau</i>	39

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

<b>Bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
<b>Hình 1.1.</b> Sơ đồ hệ laser tử ngoại bằng phương pháp nhân sóng từ laser Ti:sapphire	7
<b>Hình 1. 2.</b> Hệ laser tử ngoại thu được bằng việc nhân tần từ laser màu phản hồi phân bố	8
<b>Hình 1.3.</b> Bước sóng laser ban đầu 565,8 nm và bước sóng laser tử ngoại sau khi nhân tần 282,9 nm	8
<b>Hình 1.4.</b> Bước sóng laser ban đầu 572.8 nm và bước sóng laser sau khi nhân tần 286.4nm	9
<b>Hình 1.5.</b> Các vật liệu Ce:Fluoride phát trực tiếp bức xạ tử ngoại	10
<b>Hình 1.6.</b> Cấu trúc mức năng lượng của ion $Ce^{3+}$ trong nền Fluoride	12
<b>Hình 1.7.</b> Phổ hấp thụ của tinh thể Ce:LLF	14
<b>Hình 1.8.</b> Phổ hấp thụ và phổ huỳnh quang của Ce: LiLuF	14
<b>Hình 1.9.</b> Phổ hấp thụ và phổ huỳnh quang của Ce:LiCAF	15
<b>Hình 1.10.</b> Hệ thực nghiệm cho laser công suất cao Ce:LLF được bơm ngang bằng laser KrF	16
<b>Hình 1.11.</b> Hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF được bơm ngang bởi hòa ba bậc bốn của laser Nd:YAG từ hai phía	16
<b>Hình 1.12.</b> Tinh thể Ce:LiCAF được bơm dọc bằng hòa ba bậc bốn của laser Nd:YAG ở bước sóng 266 nm	17
<b>Hình 1.13.</b> Hệ laser Ce:LiCAF với cấu hình bơm xiên	18
<b>Hình. 1.14.</b> Phổ hấp thụ của Ozone	19
<b>Hình 2.1.</b> Công tua hệ số khuếch đại của môi trường laser UV Ce:LLF	23
<b>Hình 2.2.</b> Công tua hệ số khuếch đại của môi trường laser UV Ce:LiCAF	24
<b>Hình 2.3.</b> Tiến trình phổ-thời gian của phát xạ laser Ce:LLF ứng với các năng lượng bơm khác nhau	25

<b>Hình 2.4.</b> Tiến trình phổ-thời gian của phát xạ laser Ce:LiCAF ứng với các năng lượng bơm khác nhau	25
<b>Hình 2.5.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LLF với năng lượng bơm khác nhau	26
<b>Hình 2.6.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LiCAF với năng lượng bơm khác nhau	26
<b>Hình 2.7.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LLF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với các năng lượng bơm khác nhau	27
<b>Hình 2.8.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LiCAF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với các năng lượng bơm khác nhau	28
<b>Hình 2.9.</b> Tiến trình phổ - thời gian của phát xạ laser UV Ce:LLF ứng với các hệ số phản xạ gương ra khác nhau	29
<b>Hình 2.10.</b> Tiến trình phổ - thời gian của phát xạ laser UV Ce:LiCAF ứng với các hệ số phản xạ gương ra khác nhau	30
<b>Hình 2.11.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LLF với hệ số phản xạ gương ra của BCH khác nhau	30
<b>Hình 2.12.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LiCAF với hệ số phản xạ gương ra của BCH khác nhau	31
<b>Hình 2.13.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LLF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với hệ số phản xạ của gương ra BCH khác nhau	31
<b>Hình 2.14.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LiCAF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với hệ số phản xạ của gương ra BCH khác nhau	32
<b>Hình 2.15.</b> Tiến trình phổ - thời gian của phát xạ laser UV Ce:LLF ứng với chiều dài BCH khác nhau	33
<b>Hình 2.16.</b> Tiến trình phổ - thời gian của phát xạ laser UV Ce:LiCAF ứng với chiều dài BCH khác nhau	34
<b>Hình 2.17.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LLF với chiều dài BCH khác nhau	34
<b>Hình 2.18.</b> Phổ laser tích phân của laser Ce:LiCAF với chiều dài BCH khác nhau	34



<b>Hình 2.19.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LLF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với chiều dài BCH khác nhau	35
<b>Hình 2.20.</b> Sự phụ thuộc của cường độ laser Ce:LiCAF và độ tích lũy $N_1$ theo thời gian ứng với L khác nhau.	35
<b>Hình 3. 1.</b> Sự phụ thuộc của ngưỡng bơm vào hệ số phản xạ của gương ra ứng với chiều dài buồng cộng hưởng khác nhau	38
<b>Hình 3. 2.</b> Sự phụ thuộc của năng lượng phá hủy và năng bão hòa của tinh thể tại bước sóng bơm vào bán kính vết bơm	38
<b>Hình 3.3.</b> Phân bố chùm laser sau thấu kính hội tụ	40
<b>Hình 3.4.</b> Bán kính vết tụ hội trên tinh thể	41
<b>Hình 3.5.</b> Sự phụ thuộc của đường kính và tiết diện của chùm laser và vị trí đặt tinh thể	41
<b>Hình 3.6.</b> Sự phụ của đường kính và tiết diện của chùm laser vào vị trí đặt tinh thể với $0 < z < 10$ cm	42
<b>Hình 3.7a.</b> Sơ đồ thiết kế hệ thực nghiệm hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF	42
<b>Hình 3.7b.</b> Hệ thực nghiệm hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF	43
<b>Hình 3.8.</b> Khảo sát phổ của laser bơm được đo bằng máy quang phổ	43
<b>Hình 3.9.</b> Khảo sát độ ổn định của laser bơm theo thời gian	44
<b>Hình 3.10.</b> Đặc trưng của xung bơm	44
<b>Hình 3.11.</b> Buồng cộng hưởng laser tử ngoại Ce:LiCAF	45
<b>Hình 3.12.</b> Sự phụ thuộc của công suất laser ra vào công suất laser bơm	46
<b>Hình 3.13.</b> Đặc trưng phổ laser tử ngoại Ce:LiCAF trong vùng 287-291nm	47
<b>Hình 3.14.</b> Độ rộng xung laser tử ngoại Ce:LiCAF	48
<b>Hình 3.15.</b> Xung laser tử ngoại Ce:LiCAF nhận được khi thay đổi độ phẩm chất BCH	49
<b>Hình 3.16.</b> Hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF	50

## MỞ ĐẦU

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) là một trong những phát minh khoa học quan trọng nhất của thế kỷ XX. Sự ra đời của Laser bắt nguồn từ thuyết lượng tử do nhà bác học A. Einstein phát minh ra năm 1916. Cuối thập niên 1950 nhiều khái niệm cơ bản cho sự hình thành tia laser đã được phát triển bởi các nhà khoa học như Townes và Arthur Schawlow và Gordon Gould ở trường đại học Columbia, Mỹ. Tháng 2 năm 1960, tại phòng nghiên cứu Hughes ở Malibu, California nhà bác học Theodore Maiman đã chế tạo thành công laser đầu tiên trên thế giới đó là Laser Ruby [1, 2] và đến tháng 6 năm 1960 Javan đã chế tạo ra laser khí He - Ne đầu tiên. Đến nay đã có hàng nghìn loại laser khác nhau, phát ở các bước sóng trải dài từ vùng tử ngoại cho đến vùng hồng ngoại [1, 2].

Tùy theo trạng thái, bản chất của môi trường hoạt chất mà người ta phân loại ra các loại laser khác nhau: laser rắn có môi trường hoạt chất ở thể rắn [1, 2]. Có hàng trăm loại như laser Ruby, laser YAG, laser bán dẫn, laser thủy tinh, vv... laser lỏng có môi trường hoạt chất ở thể lỏng điển hình như các laser màu (có khoảng 50 loại khác nhau). Laser khí có môi trường hoạt chất ở thể khí như laser CO<sub>2</sub>, laser Heli-Neon, laser Argon,... Laser có thể hoạt động ở chế độ phát xung và chế độ phát liên tục. Trong đó chế độ phát xung có 3 chế độ là chế độ phát xung tự do, chế độ điều biến độ phẩm chất buồng cộng hưởng, chế độ khóa mode [1, 2].

Từ khi được phát minh cho tới nay laser đã không ngừng được nghiên cứu phát triển. Với những ứng dụng to lớn của chúng trong hầu hết các lĩnh vực khoa học và đời sống cùng với những tiến bộ trong khoa học vật liệu và quang điện tử laser ngày càng được phát triển đa dạng về chủng loại đồng thời kỹ thuật laser ngày càng được hoàn thiện. Các nguồn laser nói chung và các nguồn laser tử ngoại (UV) nói riêng được ứng dụng rộng rãi không chỉ trong khoa học mà còn cả trong đời sống như: trong nghiên cứu Lidar, gia công vật liệu, vi cơ khí, truyền thông quang học, sinh học, y học, quân sự... Các nguồn laser UV thương mại chủ yếu là laser excimer hoặc laser tử ngoại thu được bằng việc sử dụng tinh thể phi tuyến để nhân tần số từ những bức xạ laser nằm trong vùng bước sóng dài hơn. Hạn chế chung của các nguồn laser này là giá thành cao, hiệu suất chuyển đổi thấp, dải phổ hẹp [22].