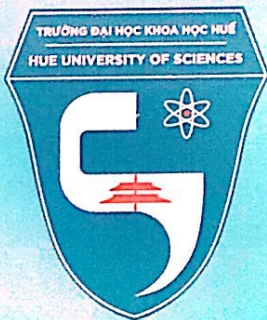


ĐẠI HỌC HUẾ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

HỘI VẬT LÝ VIỆT NAM  
HỘI VẬT LÝ THỪA THIÊN HUẾ

Nhiều tác giả

KỶ YẾU  
HỘI NGHỊ VẬT LÝ  
THỪA THIÊN HUẾ 2021



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC HUẾ

# NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC PHÁT XẠ BĂNG HẸP ĐIỀU CHỈNH BƯỚC SÓNG CỦA LASER TỬ NGOẠI Ce:LiCAF SỬ DỤNG CÁCH TỬ

Phạm Văn Dương<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Điệp<sup>1,2</sup>, Nguyễn Xuân Tú<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Quyết<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thành Công<sup>3</sup>, Lê Cảnh Trung<sup>3</sup>, Phạm Hồng Minh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Đại học Vinh, Nghệ An

\*Email: phminh@iop.vast.ac.vn

## TÓM TẮT:

Sử dụng hệ phương trình tốc độ đa bước sóng, các đặc trưng phát xạ laser tử ngoại Ce:LiCAF được bơm bằng hòa ba bậc bốn của laser Nd:YAG tại bước sóng 266 nm sử dụng cấu hình Littrow và Littman đã được nghiên cứu. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, các bức xạ laser tử ngoại với độ đơn sắc cao cỡ vài chục picô mét với cấu hình Littrow và có thể xuống tới một vài picô mét với cấu hình Littman trong một dải phổ rộng đã được ghi nhận.

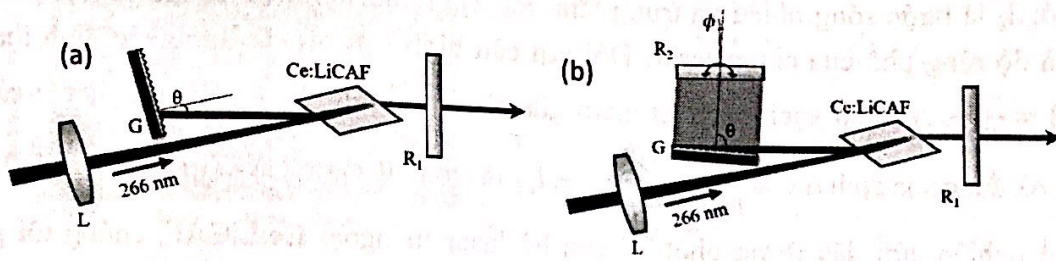
**Từ khóa:** Tinh thể Ce:LiCAF, laser tử ngoại, laser băng hẹp, điều chỉnh bước sóng, Littrow, Littman.

## 1. MỞ ĐẦU

Các nguồn laser tử ngoại (UV) nói chung, đặc biệt là các nguồn laser tử ngoại đơn sắc, có khả năng điều chỉnh trong một dải phổ rộng có nhiều ứng dụng trong nghiên cứu khoa học và công nghệ như nghiên cứu thiên văn học, gia công bán dẫn, sinh học, y học [1]. Với việc một số chất khí hấp thụ mạnh các bức xạ nằm trong vùng tử ngoại như ozon (240 - 340 nm), SO<sub>2</sub> (230 - 350 nm), thủy ngân (253,7 nm),... mà các nguồn laser tử ngoại được sử dụng trong nhiều các nghiên cứu về môi trường, như khảo sát nồng độ chất khí, xác định kích thước hạt, xác định phân bố nhiệt độ [2-4]. Cho đến nay, việc nghiên cứu và phát triển các hệ laser phát bức xạ tử ngoại băng hẹp, có khả năng điều chỉnh bước sóng trên một dải phổ rộng đã được nhiều nhà khoa học quan tâm và phát triển [5]. Tuy nhiên, các bức xạ laser tử ngoại này chủ yếu thu được bằng việc sử dụng tinh thể phi tuyến, nhân tần số từ các laser phát bước sóng dài hơn [6]. Tại Việt Nam, nhóm nghiên cứu tại trung tâm Điện tử học Lượng tử, Viện Vật lý đã phát triển thành công hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littrow, các bức xạ thu được có độ đơn sắc cỡ 0,2 nm, khả năng điều chỉnh trên phạm vi 18 nm từ 281 nm đến 299 nm [7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu lý thuyết về động học phát xạ của laser CeLiCAF sử dụng cấu hình Littrow này vẫn chưa được thực hiện. Trong báo cáo này, chúng tôi trình bày các kết quả nghiên cứu các đặc trưng phát xạ của hệ laser Ce:LiCAF sử dụng hai cấu hình Littrow và Littman.

## 2. MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

Sơ đồ bố trí hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF phát băng hẹp, điều chỉnh bước sóng sử dụng cách tử được trình bày trên Hình 1.



**Hình 1.** Hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng buồng cộng hưởng a) Littrow, b) Litman

Trong cấu hình Littrow (Hình 1a), tinh thể Ce:LiCAF, 1% được bơm bằng hòa ba bậc bốn của laser Nd:YAG ở bước sóng 266 nm, độ rộng xung 7 ns. Buồng cộng hưởng (BCH) được tạo bởi gương ra  $R_1$  và cách tử G. Bức xạ sau khi bị nhiễu xạ trên bề mặt cách tử, phản xạ ngược trở lại dọc theo trục BCH, được khuếch đại và hình thành bức xạ laser. Sơ đồ bố trí hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littman được chỉ ra trên Hình 1b. BCH được tạo bởi hai gương  $R_1, R_2$  và một cách tử G. Trong một chu trình đi lại trong BCH, chùm laser sẽ bị nhiễu xạ hai lần trên bề mặt cách tử. Để thu được độ đơn sắc của bức xạ laser lớn nhất, cách tử được bố trí sao cho chùm laser trong BCH tới phù đầy mặt cách tử.

Nghiên cứu đặc trưng phát xạ của hệ laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littrow và Littman được thực hiện bằng việc giải hệ phương trình tốc độ đa bước sóng, mở rộng cho toàn miền phổ phát xạ của môi trường tinh thể Ce:LiCAF [9].

$$\frac{\partial N_1(t)}{\partial t} = R_p + [\sum_{i=1}^n \sigma_{ai} I_i(t)] N_0(t) - [\sum_{i=1}^n \sigma_{ei} I_i(t) + \frac{1}{\tau}] N_1(t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial I_i(t)}{\partial t} = [2(\sigma_{ei} N_1(t) - \sigma_{ai} N_0(t)) l - \beta] \frac{I_i(t)}{\tau} + A_i N_1(t) \quad (2)$$

$$N = N_0 + N_1 \quad (3)$$

Phương trình (1) biểu diễn sự biến thiên độ tích lũy của mức laser trên; phương trình (2) biểu diễn sự biến thiên cường độ laser trong BCH.  $N_0, N_1$  là độ tích lũy của ion hoạt chất ở mức cơ bản và mức laser trên ( $\text{cm}^{-3}$ );  $N = N_0 + N_1$  là tổng số ion hoạt chất của môi trường khuếch đại ( $\text{cm}^{-3}$ ).  $I_i$  là cường độ laser trong BCH tại bước sóng  $\lambda_i$  ( $\text{photon} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $R_p$  là tốc độ bơm được xác định:  $R_p(t) = \frac{P_{abs}}{E_p \cdot V} \exp\left[-\frac{4 \ln 2 (t - t_0)^2}{\tau^2}\right]$ ;  $P_{abs} = P_{in} [1 - \exp(-\alpha_a l)]$  là công suất laser bơm được hấp thụ bởi môi trường hoạt chất ( $W$ ),  $P_{in}$  là công suất laser bơm ( $W$ );  $\alpha_a$  là hệ số hấp thụ của môi trường khuếch đại tại bước sóng laser bơm ( $\text{cm}^{-1}$ );  $\tau_p$  là độ rộng xung laser bơm ( $s$ );  $t_0$  là tọa độ đỉnh trong biểu diễn thời gian xung bơm ( $s$ );  $E_p = hc/\lambda_p$  là năng lượng photon bơm ( $J$ );  $V = \pi r^2 l$  là thể tích của vùng được bơm trong môi trường hoạt chất ( $\text{cm}^3$ );  $r$  là bán kính vết bơm ( $\text{cm}$ );  $\sigma_{ai}, \sigma_{ei}$  là tiết diện hấp thụ và tiết diện phát xạ tại bước sóng laser  $\lambda_i$  ( $\text{cm}^2$ );  $\tau$  là thời gian sống huỳnh quang của điện tử ở mức kích thích ( $s$ );  $\beta$  là hệ số mất mát trong BCH,  $\beta = -\ln(R_1 R_G)$  với cấu hình Littrow và  $\beta = -\ln(R_1 R_2 R_G)$  với cấu hình Littman;  $R_l$  là hệ số phản xạ của gương ra,  $R_2$  là hệ số phản xạ của gương cuối cấu hình Littman;  $l$  là chiều dài BCH;  $R_G$  là hệ số nhiễu xạ của cách tử và được xác định theo công thức [1]:

$$R_G = R_0(\lambda_i) \exp[-4 \ln 2 (\lambda - \lambda_i)^2 / \Delta \lambda^2] \quad (4)$$

trong đó:  $\lambda_i$  là bước sóng nhiễu xạ trung tâm.  $R_0(\lambda_t)$  là hệ số nhiễu xạ cực đại tại bước sóng  $\lambda_i$ ;  $\Delta\lambda$  là độ rộng phổ của chùm laser. Đối với cấu hình Littrow  $\Delta\lambda$  được xác định theo biểu thức  $\Delta\lambda = \frac{\lambda_t}{2Nm}$ ,  $N$  là số vạch cách tử tham gia vào quá trình nhiễu xạ [1]. Đối với cấu hình Littman  $\Delta\lambda$  được xác định  $\Delta\lambda = \frac{\sqrt{2}\lambda_t^2}{\pi l_{ct}(\sin\theta + \sin\phi)}$ ,  $l_{ct}$  là độ rộng của vết laser trên bề mặt cách tử [9].

Để nghiên cứu đặc trưng phát xạ của hệ laser từ ngoại Ce:LiCAF, chúng tôi giải hệ phương trình (1-3) với các thông số đầu vào được đưa ra trong Bảng 1 [9].

**Bảng 1.** Các thông số sử dụng trong tính toán

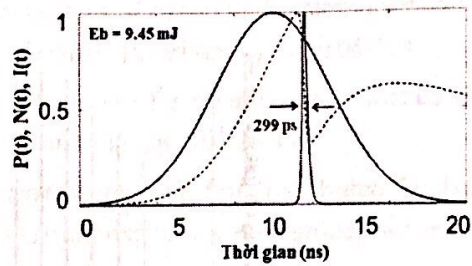
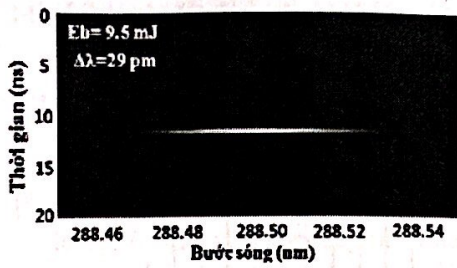
Đại lượng	Giá trị (đơn vị)
Nồng độ pha tạp Ce <sup>3+</sup>	1 % mol
Mật độ pha tạp, $N$	$5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$
Chiều dài tinh thể, $L$	1 cm
Độ hấp thụ tại bước sóng laser bơm, $\alpha$	$3 \text{ cm}^{-1}$
Chiết suất tinh thể, $n$	1,41
Thời gian sống huỳnh quang, $\tau$	25 ns
Hệ số phát xạ tự phát, $A_i$	$10^{-10} \text{ cm.s}^{-2}$
Bước sóng laser bơm, $\lambda_p$	266 nm
Độ rộng xung bơm, $\tau_p$	7 ns
Đường kính vết bơm trên bề mặt tinh thể, $r$	1 mm
Hằng số cách tử, $d$	$2400 \text{ mm}^{-1}$
Tốc độ ánh sáng, $c$	$3.10^8 \text{ m/s}$
Hằng số Planck, $h$	$6.62606957.10^{-34} \text{ J/s}$

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đặc trưng phát xạ của laser Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littrow

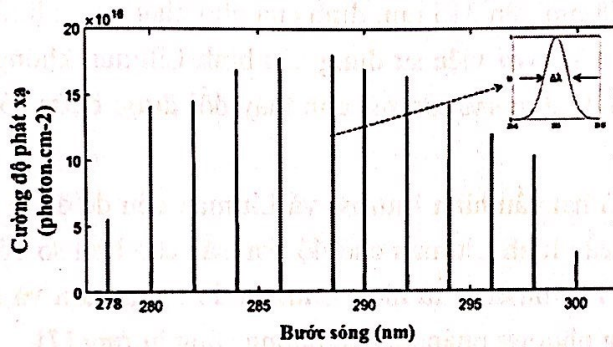
Động học phát xạ băng hẹp, điều chỉnh bước sóng cho laser từ ngoại Ce:LiCAF sử dụng cách tử Littrow đã được nghiên cứu và biểu diễn trong Hình 2, với các thông số: chiều dài BCH  $L = 2 \text{ cm}$ , hệ số phản xạ gương ra  $R_1 = 14\%$ , bậc nhiễu xạ ( $m = 1$ ).

Hình 2 chỉ ra phổ phát xạ của laser từ ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình cách tử Littrow, đỉnh phổ phát xạ tại bước sóng 288,5 nm, độ rộng phổ là 30 pm, độ rộng xung laser ngắn nhất sau khi tối ưu năng lượng laser bơm là 299 ps, tại năng lượng laser bơm 9,5 mJ (cỡ 2 lần trên ngưỡng).



**Hình 2.** Động học phát xạ cho laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littrow

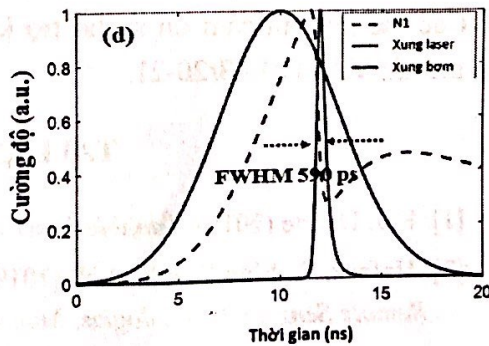
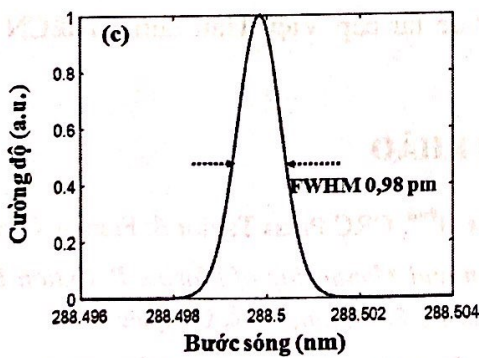
Việc điều chỉnh bước sóng cho laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cách tử Littrow được thực hiện bằng việc thay đổi góc quay cách tử  $\theta_i$ , từ  $18,9^\circ$  đến  $23,3^\circ$ , năng lượng laser bơm  $E_b=15$  mJ. Kết quả điều chỉnh bước sóng được ghi nhận từ 278 nm đến 302 nm của laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cách tử Littrow được chỉ ra trong Hình 3.



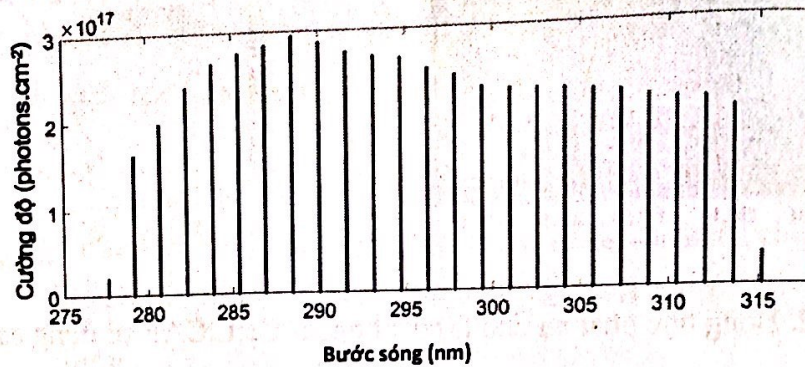
**Hình 3.** Vùng điều chỉnh bước sóng của laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littrow

### 3.2. Đặc trưng phát xạ của laser Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littman

Để nghiên cứu các đặc trưng phát xạ cũng như khả năng điều chỉnh bước sóng của laser Ce:LiCAF cấu hình Littman chúng tôi đi giải hệ phương trình (1-3) với các thông số: hệ số phản xạ của các gương  $R_1 = 30\%$ ;  $R_2 = 100\%$ , năng lượng laser bơm 5,6 mJ (cỡ 1,5 lần trên ngưỡng) và chiều dài BCH  $L = 10$  cm. Đỉnh phổ phát xạ tại bước sóng 288,5 nm tương ứng với góc quay  $\theta = 17,6^\circ$ . Với cấu hình này, độ rộng phổ phát xạ cỡ 1 pm, độ rộng xung laser lồi ra thu được là 590 ps được chỉ trên Hình 4.



**Hình 4.** Các đặc trưng phát xạ của laser tử ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littman



**Hình 5.** Vùng điều chỉnh bước sóng từ ngoại Ce:LiCAF sử dụng cấu hình Littman

Việc điều chỉnh bước sóng của laser lõi ra được thực hiện bằng việc thay đổi góc quay của gương R<sub>2</sub>. Với năng lượng bơm là 21 mJ, góc quay gương R<sub>2</sub> thay đổi từ 12.5°-19.5°, khoảng điều chỉnh từ 278 nm đến 315 nm, đỉnh của phổ phát xạ tại bước sóng 288,5 nm được chỉ ra trên Hình 5. Như vậy, với việc sử dụng cấu hình Littman không những phát được các bức xạ laser từ ngoại có độ đơn sắc cao mà còn thay đổi được bước sóng của laser trong một dải phổ rộng.

Nhận thấy rằng, cả hai cấu hình Littrow và Littman đều dễ dàng thực hiện và có những ưu điểm riêng. Đối với cấu hình Littman cho độ đơn sắc cao hơn so với cấu hình Littrow khi cùng thông số cách tử. Tuy nhiên, cấu hình Littman đơn giản hơn và cho khả năng phát các đơn xung ngắn hơn bằng phương pháp quá độ bù cộng hưởng [7].

#### 4. KẾT LUẬN

Các đặc trưng phát xạ của laser từ ngoại Ce:LiCAF phát băng hẹp, điều chỉnh bước sóng sử dụng cách tử đã được nghiên cứu tường minh. Với việc sử dụng hai cấu hình Littman và Littrow, độ đơn sắc của laser lõi ra có thể đạt từ vài pm đến vài chục pm, có khả năng điều chỉnh bước sóng trong một dải phổ rộng, phát đơn xung ngắn dưới nano giây cũng đã được ghi nhận. Các kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa lớn trong việc phát triển các nguồn laser Ce:LiCAF để phục vụ cho các nghiên cứu về môi trường và quang phổ laser phân giải cao.

#### LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài cấp Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, mã số: VAST01.03/20-21.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. J. Duarte (2016). *Tunable Laser Applications*, 3<sup>thrd</sup>, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [2]. Hafeez, S., Sing Wong, et al. (2019). *Detection and Monitoring of Marine Pollution Using Remote Sensing Technologies, Monitoring of Marine Pollution*, Book Chapter.
- [3]. Haiming Zheng, et al (2015). Study on the elemental mercury absorption cross section based on differential optical absorption spectroscopy, *International Symposium on Photonics and Optoelectronics*, vol. 9656, 9656ON.

- [4]. Johannes Orphal, et al (2016). Absorption cross-sections of ozone in the ultraviolet and visible spectral regions: Status report 2015, *Journal of Molecular Spectroscopy*, **327**:105-121.
- [5]. Barbara Wellmann, et al (2015). Linewidth narrowing of a tunable mode-locked pumped continuous-wave Ce:LiCAF laser, *Optics Letters*, **40** (13), pp. 3065-3067.
- [6]. P. M. Tien, et al (2017). Development of UV laser source based on distributed feedback dye lasers for use in measurement of ozone in the lower atmosphere, *Communications in Physics*, **27**, No. 4, pp. 345-355.
- [7]. Minh Hong Pham, et al (2018). Tunable narrow linewidth picosecond pulses from a single grating gain-switched Ce:LiCAF laser, *Laser Physics*, **28**, 085802.
- [8]. M. G. Littman, H. J. Metcalf (1978), Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander, *Appl. Opt.*, **17**, 2224-2227.
- [9]. Minh Hong Pham, et al (2014). Numerical simulation of ultraviolet picosecond Ce:LiCAF laser emission by optimized resonator transients, *Japanese Journal of Applied Physics*, **53**(6):062701.



**KỶ YÊU**  
**HỘI NGHỊ VẬT LÝ**  
**THỪA THIÊN HUẾ 2021**

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC HUẾ  
Địa chỉ: 07 Hà Nội, P. Vĩnh Ninh, TP. Huế



**SÁCH KHÔNG BÁN**