

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ BUỒNG CỘNG HƯỞNG VÀ CHẤT MÀU LÊN ĐỘNG HỌC PHỔ CỦA LASER MÀU NANÔ-GIẤY BĂNG RỘNG

Hoàng Hữu Hòa
Đại học Huế

TÓM TẮT

Tiến trình phổ trong các bức xạ laser màu xung nanô-giây, băng rộng, hoạt động cao trên ngưỡng, ở trong chế độ laser dao động và không dao động đã được nghiên cứu bởi hệ phương trình tốc độ mở rộng cho các bước sóng. Các kết quả thu được trong cả hai chế độ laser dao động và không dao động đã chứng tỏ tốc độ quét phổ không chỉ phụ thuộc vào thông số của các phân tử màu mà còn phụ thuộc vào các thông số của buồng cộng hưởng (BCH) laser. Tốc độ quét phổ trong bức xạ laser màu xung băng rộng có thể được điều khiển nhờ lựa chọn các thông số thích hợp.

1. Mở đầu

Tiến trình phổ trong phát xạ laser màu xung băng rộng sẽ hoàn toàn bị bỏ qua khi nghiên cứu chỉ sử dụng hệ hai phương trình tốc độ để diễn tả laser tại một bước sóng (một phương trình cho độ tích lũy N_1 và một phương trình cho cường độ laser).

Những kết quả nghiên cứu như vậy đã hạn chế việc làm sáng tỏ các quá trình laser quá độ, đặc biệt là quá trình động học phổ trong phát xạ laser của các môi trường laser băng rộng, mở rộng phổ đồng nhất như môi trường laser màu hữu cơ. Để làm sáng tỏ tiến trình phổ trong phát xạ laser màu xung băng rộng trong những điều kiện vật lý khác nhau, chúng tôi đã sử dụng hệ phương trình tốc độ mở rộng cho một số tùy ý các bước sóng để nghiên cứu những ảnh hưởng của các thông số phân tử màu và thông số buồng cộng hưởng (BCH) lên động học phổ trong phát xạ laser màu xung băng rộng.

2. Hệ phương trình tốc độ

Để mô tả quá trình phổ-thời gian trong phát xạ laser màu xung băng rộng (mô hình hoạt động laser màu hai mức rộng) chúng tôi đã sử dụng hệ phương trình tốc độ sau, khi có chú ý đến sự khuếch đại bão hòa, sự tái hấp thụ bức xạ laser của các phân tử:

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

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

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

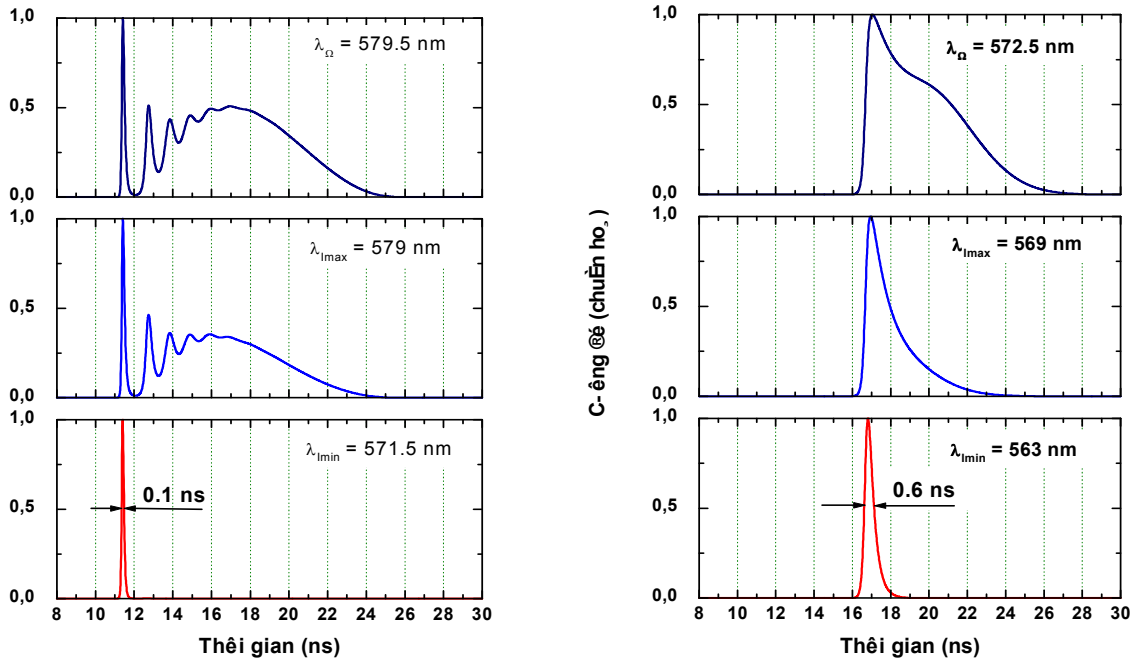
trong đó n là số kênh bước sóng, chỉ số $i = 1, 2, 3, \dots$; λ_i là bước sóng thứ i ; I_i là cường độ laser tại bước sóng λ_i ; σ_{a_i} và σ_{e_i} lần lượt là tiết diện hấp thụ và tiết diện phát xạ cường độ ở bước sóng λ_i ; N_0, N_1 là độ tích lũy phân tử ở trạng thái đơn S_0 và S_1 ; τ là thời gian sống huỳnh quang của phân tử màu; P là tốc độ bơm; $T = 2[L + l(n_c - 1)]c^{-1}$ là thời gian ánh sáng đi một vòng trong BCH, L là chiều dài BCH, l là chiều dài môi trường hoạt chất, c là tốc độ ánh sáng, n_c là chiết suất của dung dịch màu. Đại lượng $A_i N_1$, đặc trưng sự đóng góp của phát xạ tự phát khởi phát cho quá trình laser. Giá trị của A_i ít bị ảnh hưởng với các bước sóng khác nhau, $A_i = 10^{-10} \text{ cm.s}^{-2}$; α_i là độ mất mát trong một chu trình BCH ở bước sóng λ_i .

Hệ phương trình tốc độ mở rộng cho một số các bước sóng được giải bằng phương pháp số, sử dụng thuật toán Runge-Kutta bậc 4. Xung bơm có dạng Gauss với thông số bơm lý thuyết $r = P/P_{\text{ngưỡng}}$, trong đó:

$$P_{\text{ngưỡng}} = \frac{1}{\tau} \frac{\sigma_a + \sigma}{\sigma_e + \sigma} \quad \text{với} \quad \sigma = \frac{\alpha}{2LN} \quad (4)$$

3. Ảnh hưởng các tham số BCH lên động học phổ laser

3.1. Ảnh hưởng chiều dài BCH lên động học phổ laser



Hình 1. Động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với 3 bước sóng điển hình.

a) $L = 2 \text{ cm}, R_1 = 1, R_2 = 0,1, N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}, r = 15.$

b) $L = 30 \text{ cm}, R_1 = 1, R_2 = 0,1, N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}, r = 15.$

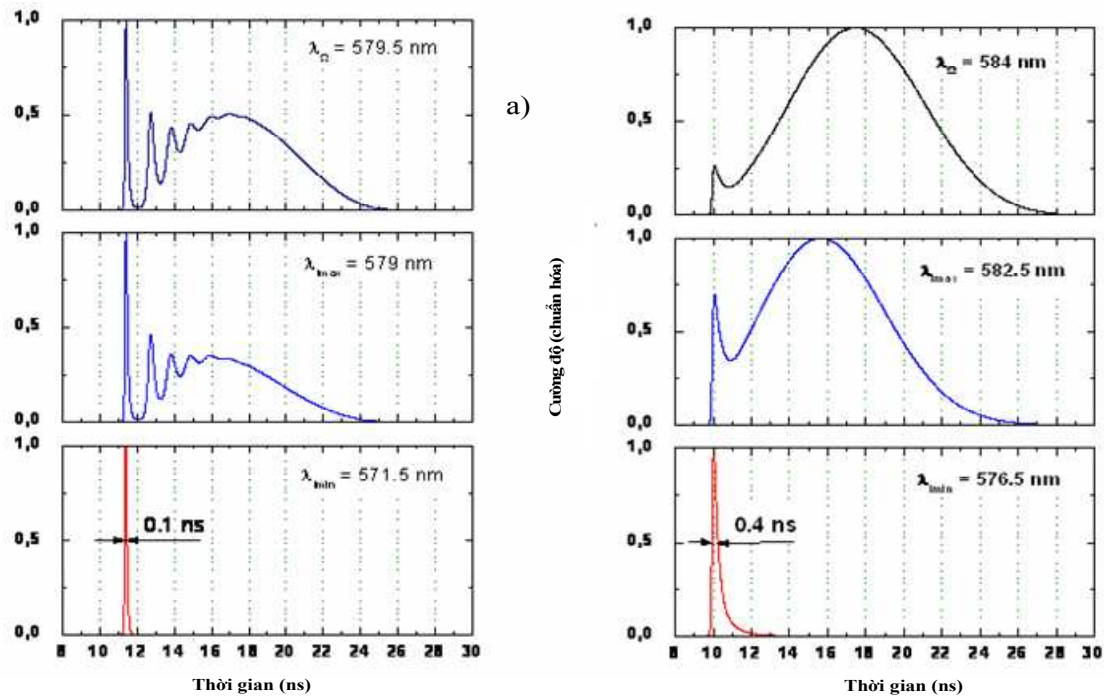
Để so sánh sự khác biệt về tiến trình phổ trong phát xạ laser màu xung băng rộng với các BCH khác nhau, chúng tôi nghiên cứu tiến trình phổ của 3 bước sóng đặc biệt trong vùng phổ laser, đó là: bước sóng ở phía sóng ngắn xuất hiện laser sớm nhất; bước sóng ứng với cường độ cực đại của công tua khuếch đại phổ và bước sóng có laser tồn tại lâu nhất.

Xuất phát từ hệ phương trình tốc độ, chúng tôi đã tính toán động học phổ laser trên nhiều chất màu có phổ nằm trong miền tử ngoại, nhìn thấy và hồng ngoại gần. Sau đây là một kết quả điển hình với hai laser màu Rh6G/ethanol có chiều dài BCH là 2 cm và 30 cm, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, nồng độ chất màu $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, mức bơm trên ngưỡng $r = 15$.

Kết quả của các dao động laser trong tiến trình phổ của phát xạ laser Rh6G/ethanol với BCH 2 cm và 30 cm được trình bày trên hình 1a và hình 1b.

So sánh tiến trình phổ của hai laser này (hình 1) ta thấy: BCH ngắn có tiến trình phổ và sự dập tắt dao động ở phía sóng ngắn nhanh hơn so với BCH dài. Mặt khác, bước sóng có laser kéo dài lâu nhất nằm về phía sóng dài so với bước sóng có cường độ cực đại.

3.2. Ảnh hưởng hệ số phản xạ gương lên động học phổ laser



Hình 2. Động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với 3 bước sóng điển hình.

a) $L = 2 \text{ cm}$, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $r = 15$.

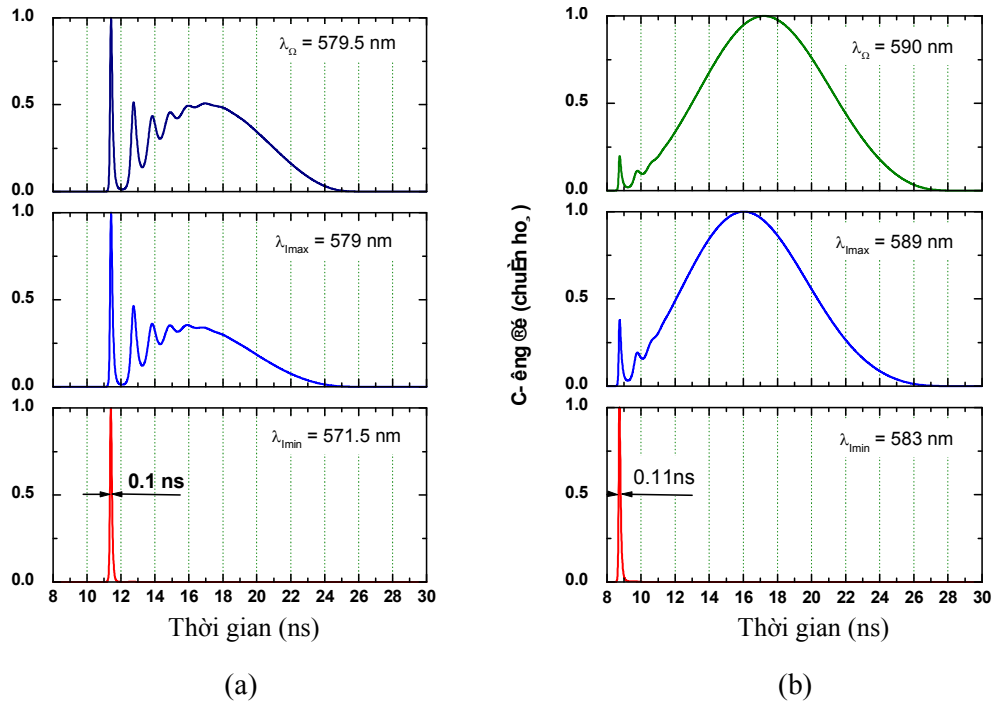
b) $L = 2 \text{ cm}$, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,6$, $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $r = 15$.

Các nghiên cứu tương tự đã được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng của hệ số phản xạ gương BCH lên động học phổ của laser màu xung băng rộng Rh6G. Giải hệ phương trình tốc độ với chiều dài BCH là 2 cm, mức bơm $r=15$, nồng độ chất màu $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, hệ số phản xạ gương R_2 là 0,1 và 0,6. Kết quả động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với 3 bước sóng điển hình được trình bày trên hình 2.

So sánh kết quả thu được ta thấy: khi hệ số phản xạ gương R_2 nhỏ, tiến trình phổ và sự dập tắt dao động ở phía sóng ngắn nhanh hơn so với BCH có hệ số phản xạ gương cao (BCH có độ phẩm chất cao).

3. 3. Ảnh hưởng nồng độ chất màu lên động học phổ laser

Kết quả tính toán động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với BCH dài 2 cm, hệ số phản xạ gương $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, mức bơm trên ngưỡng $r = 15$, nồng độ chất màu là $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$ và $N = 5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$ được trình bày trên hình 3. So sánh các kết quả thu được ta thấy tiến trình phổ ít bị ảnh hưởng khi thay đổi nồng độ chất màu.



Hình 3. Động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với 3 bước sóng điển hình.

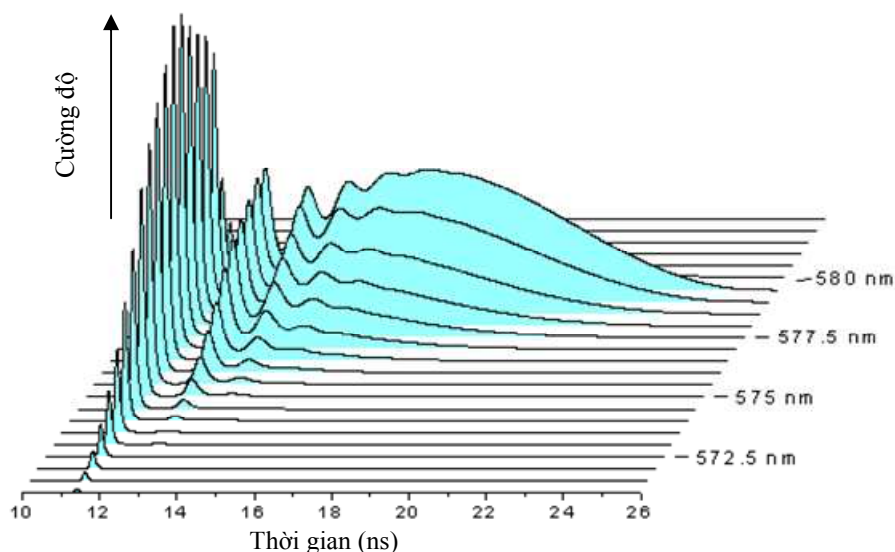
a) $L = 2 \text{ cm}$, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, $N = 5.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $r = 15$.

b) $L = 2 \text{ cm}$, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, $N = 5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $r = 15$.

4. Động học phổ của laser màu xung băng rộng

Chúng tôi đã nghiên cứu động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol khi sử dụng hệ phương trình tốc độ mở rộng cho 25 phương trình cường độ và một phương trình cho độ tích lũy ở trạng thái kích thích, bước tính phổ 0,5 nm. Tính toán với $l = 1 \text{ cm}$, $L = 2$

cm, $N = 1.10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $R_1 = 1$, $R_2 = 0,1$, tốc độ bơm P có dạng Gauss, độ rộng 10 ns (FWHM). Thông số bơm lý thuyết $r = 15$ lần trên ngưỡng.



Hình 4. Động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol

Kết quả động học phổ của laser màu Rh6G/ethanol với chiều dài BCH là 2cm được trình bày trên hình 4 đã cho thấy một cách bao quát toàn bộ quá trình quá độ phát xạ laser theo thời gian, cường độ và bước sóng.

5. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ rằng động học phổ laser màu xung băng rộng hoạt động trên ngưỡng, không những chỉ phụ thuộc vào các thông số của phân tử chất màu mà còn phụ thuộc rất mạnh vào các thông số của BCH. Phát xạ laser màu xung băng rộng, hoạt động trên ngưỡng tồn tại một tiến trình quét phổ nhanh, không dao động trong quá trình phát laser màu. Các BCH laser có chiều dài ngắn và độ phẩm chất thấp, tiến trình phổ quét rất nhanh. Sự dập tắt các dao động ở một số bước sóng ngắn của phổ laser trong trường hợp này nằm trong dải thời gian picô-giây. Đặc điểm này của phổ có thể sẽ được sử dụng để phát các xung laser ngắn picô-giây.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyen Dai Hung, Meyer Y. H. *Simple generation of 400-700nm picosecond dye laser pulses with nanosecond laser pumping*, Appl. Phys. B 53, (1991) 226-230.
2. Berman I. B. *Handbook of fluorescence spectra of aromatic molecules*, Academic Press, NewYork, 1971.
3. Flamant P. *Rate equations for dye lasers: comment on the spiking phenomenon*, Opt. Com., Vol. 25, No. 2, (1978) 247-250.

4. Juramy P., Flamant P., Meyer Y. H. *Spectral properties of pulse dye lasers*, IEEE J, Quantum electronics, Vol. QE-13, No. 10, (1977) 855-865.
5. Yokoyama H. Suzuki M., Nambu Y. *Spontaneous emission and laser oscillation properties of microcavities containing a dye solution*, Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 23, (1991), 2598-2600.

**INFLUENCE OF DYE MOLECULAR AND CAVITY PARAMETERS
ON SPECTRAL EVOLUTION OF BROADBAND
NANOSECOND DYE LASERS**

*Hoang Huu Hoa
Hue University*

SUMMARY

The spectral evolution of broadband nanosecond dye laser emissions in oscillating and non-oscillating laser regimes are investigated by using a system of rate equations extended to multi-wavelength.

From the results, it is demonstrated that the spectral evolution depends not only on dye molecular parameters but also on cavity parameters. Spectral sweeping in the laser emissions can be controlled by an appropriate choice of parameters.