

NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO PHẦN HỒI PHÂN BỐ PHÁT XẠ VÙNG HỒNG NGOẠI GẦN ỨNG DỤNG BƠM LASER RẮN PHA TẠP YTTERBIUM

Nguyễn Thanh Phương

Viện Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài 01/7/2018, ngày nhận đăng 20/8/2018

Tóm tắt: Để xây dựng các hệ laser rắn có pha tạp Ytterbium, laser bơm cần có bước sóng nằm trong vùng 976 nm và có khả năng dịch chuyển bước sóng. Laser phản hồi phân bố (laser DFB) là một lựa chọn tốt cho ứng dụng này do đáp ứng được các yêu cầu trên đồng thời có cấu tạo gọn nhỏ. Do đó, việc khảo sát các tính chất quang điện, tính chất phổ và phân bố không gian trường xa của laser DFB là rất cần thiết nhằm cung cấp thông tin một cách đầy đủ và chính xác nhất cho các ứng dụng.

1. Mở đầu

Laser bán dẫn công suất cao phát xạ vùng bước sóng 976 nm đóng vai trò quan trọng trong các ứng dụng bơm laser rắn. Đặc biệt, trong ứng dụng chế tạo laser có pha tạp Ytterbium (Yb) [1, 3, 6], do cửa sổ vùng hấp thụ của Yb nằm trong vùng từ 970 nm đến 980 nm nên bước sóng laser bơm phải được lựa chọn phù hợp và đảm bảo tính ổn định. Để sử dụng làm nguồn bơm cho laser rắn đòi hỏi hệ laser nguồn có kích thước gọn nhỏ, khả năng điều chỉnh bước sóng dễ dàng cho phù hợp với cửa sổ hấp thụ, phân bố không gian chùm tia hẹp và ổn định. Với các yêu cầu trên, laser bán dẫn phản hồi phân bố (distributed feedback laser, viết tắt là laser DFB) phát xạ vùng 976 nm là một lựa chọn tối ưu do có cấu tạo đơn chip, dễ dàng điều khiển bước sóng bằng nguồn bơm. Với ý tưởng như vậy, việc khảo sát đầy đủ các tính chất quang điện cũng như phân bố không gian trường xa của laser DFB có một ý nghĩa quan trọng, quyết định điều kiện làm việc tối ưu của linh kiện. Công suất phát quang của laser DFB 976 nm được đo tại nhiệt độ phòng, xác định công suất cực đại trong khả năng làm việc và thế rơi trên chuyển tiếp phụ thuộc dòng bơm. Tính chất phổ và phân bố không gian phụ thuộc dòng bơm cũng được khảo sát nhằm cung cấp các thông tin cần thiết nhất, xác định các điều kiện làm việc tối ưu cho ứng dụng bơm laser rắn.

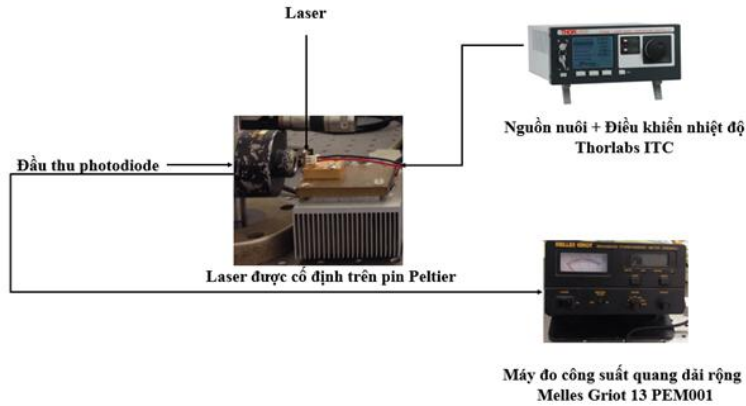
2. Phương pháp thực nghiệm

Laser DFB 976 nm có cấu trúc lớp tích cực InGaAs và cách tử được tạo trong buồng cộng hưởng với chu kỳ cách tử 150 nm để lọc lựa bước sóng. Chip laser có chiều rộng $w = 4 \mu\text{m}$ và chiều dài chip $L = 2 \text{ mm}$. Buồng cộng hưởng được tạo ra bằng cách cắt mặt tinh thể và phủ lớp phản xạ mặt sau là $R_{\text{sau}} = 95\%$, phản xạ mặt trước là $R_{\text{trước}} = 0,1\%$. Toàn bộ chip được hàn trên đế CuW và đóng vỏ C-mount.

Công suất laser và thế đặt vào chuyển tiếp phụ thuộc dòng bơm được khảo sát trên hệ đo như hình 1. Nguồn nuôi Thorlabs ITC 4005 cấp dòng cho laser cần đo; nguồn này cho phép điều khiển nhiệt độ hoạt động của laser thông qua pin Peltier. Thế rơi trên chuyển tiếp của laser hiển thị trực tiếp trên kênh đo thế của nguồn nuôi. Tín hiệu quang

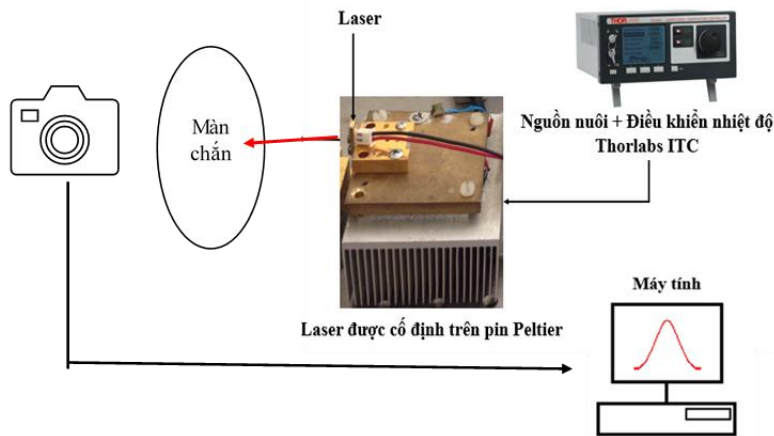
được đưa đến đầu thu photodiode được đặt ngay sát laser để thu toàn bộ bức xạ của laser. Máy đo công suất quang dải rộng Melles Griot 13 PEM00 được kết nối với photodiode hiển thị kết quả thu được.

Để khảo sát đặc trưng phổ của laser, hệ đo được bố trí như hình 1, tuy nhiên máy đo công suất được thay thế bằng phổ kế Ocean Optics HR4000 và kết nối máy tính.



Hình 1: Hệ đo đặc trưng công suất quang và thế phụ thuộc dòng bơm

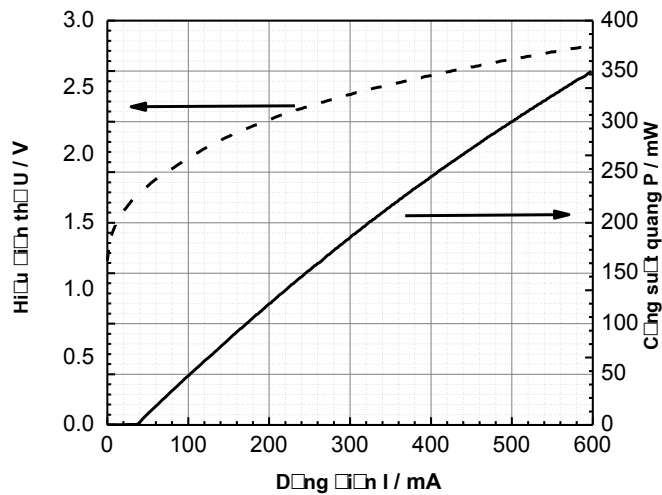
Khảo sát phân bố không gian trường xa của chùm laser phụ thuộc dòng bơm được bố trí như hình 2. Lúc này, phía trước cách laser một khoảng 10 cm đặt một màn chắn màu trắng có thể truyền qua một phần tín hiệu laser. Phía sau màn chắn đặt một CCD camera có kết nối máy tính để chụp ảnh của chùm tia thu được trên màn. Hình ảnh chùm tia được xử lý trên máy tính cho ta phân bố không gian theo phương thẳng đứng và phương ngang. Đối với laser DFB, hầu hết được thiết kế chỉ tồn tại các mode cơ bản nên chùm tia được coi là có phân bố Gauss [4]. Do đó, với kết quả đo phân bố không gian có thể xác định được góc phân kỳ theo hai hướng.



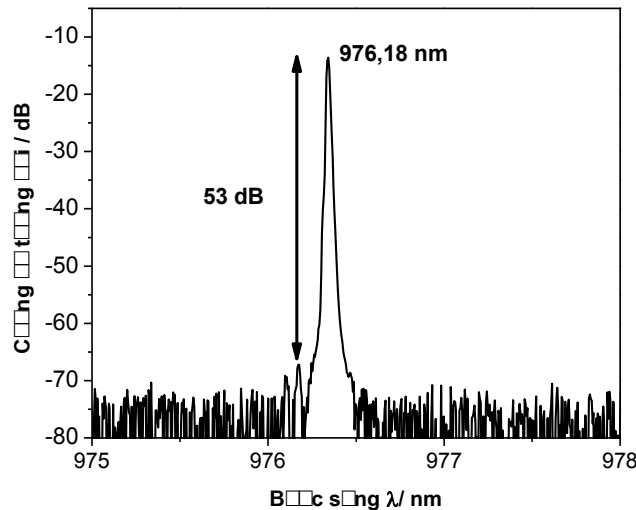
Hình 2: Hệ khảo sát phân bố không gian chùm laser

3. Kết quả và thảo luận

Laser DFB 976 nm được cung cấp dòng đến 600 mA ở nhiệt độ 25°C - là vùng nhiệt độ làm việc thường xuyên của laser trong các ứng dụng. Sự phụ thuộc của công suất quang và thế rơi trên chuyển tiếp của laser vào dòng bơm được thể hiện trên hình 3. Laser có dòng ngưỡng $I_{th} = 40$ mA, đạt công suất cực đại $P = 350$ mW tại 600 mA. Dòng bơm giới hạn tại 600 mA để đảm bảo an toàn cho laser trong quá trình hoạt động không bị hỏng do hiệu ứng đánh thủng bề mặt gương. Laser có mật độ công suất tại 600 mA đạt $8,75$ MW/cm², giá trị này dưới ngưỡng của hiệu ứng đánh thủng đối với laser nền vật liệu GaAs (10 MW/cm²) [1]. Hiệu suất độ dốc đạt $0,65$ W/A, thế rơi trên chuyển tiếp nằm trong vùng từ 1,4 đến 2,8 V.



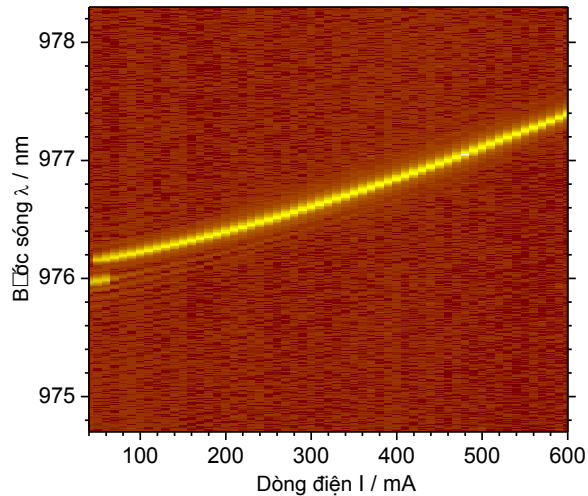
Hình 3: Đặc trưng công suất quang (đường liền nét) và thế (đường đứt nét) phụ thuộc dòng bơm của laser DFB 976 nm đo tại nhiệt độ 25°C



Hình 4: Đặc trưng phổ của laser DFB 976 nm tại 25°C và công suất quang $P = 100$ mW

Từ thông tin về đặc trưng công suất, tiến hành đo đặc trưng phổ của laser, đặc biệt là phổ phụ thuộc dòng bơm. Hình 4 là đặc trưng phổ của laser đang khảo sát tại nhiệt độ $T = 25^{\circ}\text{C}$ và công suất quang lồi ra $P = 100 \text{ mW}$. Bước sóng laser tại vị trí này là $976,33 \text{ nm}$ và tỉ số tín hiệu trên nhiễu là 53 dB . Bước sóng này hoàn toàn phù hợp với yêu cầu ứng dụng.

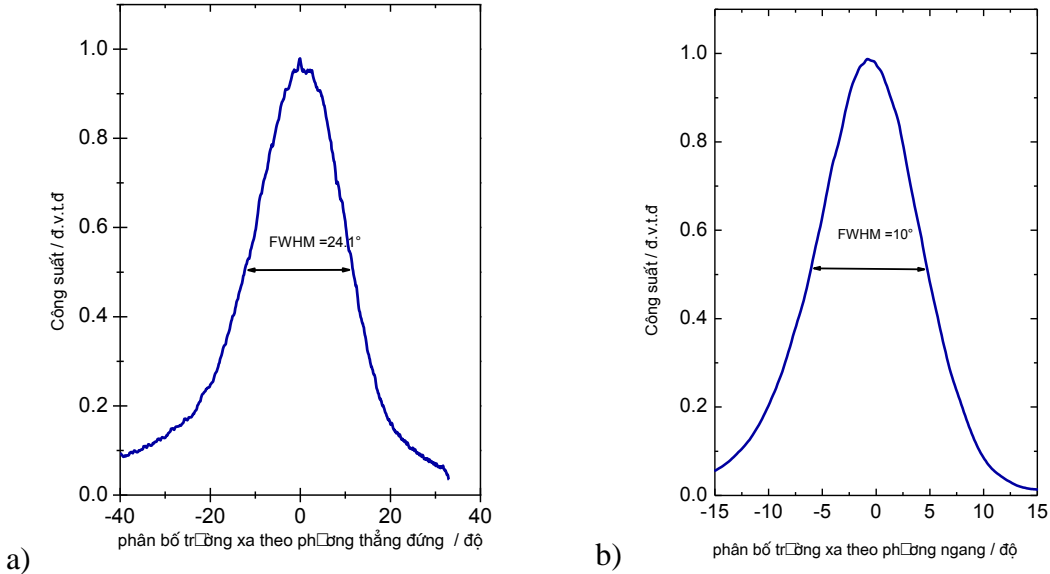
Để có thông tin đầy đủ về bước sóng và khả năng dịch chuyển bước sóng theo dòng bơm, chúng tôi đo phổ laser phụ thuộc dòng bơm. Đồ thị 3 chiều biểu diễn sự phụ thuộc của bước sóng vào dòng bơm như hình 5. Ở đây, dòng bơm bắt đầu từ ngưỡng phát $I_{th} = 40 \text{ mA}$ cho tới 600 mA , mỗi lần đo thay đổi dòng 10 mA . Tại vùng gần ngưỡng có hiện tượng bước sóng laser thay đổi từ $975,97 \text{ nm}$ đến $976,18 \text{ nm}$. Bước sóng chênh lệch $0,21 \text{ nm}$ do hiện tượng nhảy mode trong laser DFB [5]. Từ 50 nm đến 600 nm bước sóng dịch tuyến tính theo dòng bơm từ $976,18 \text{ nm}$ đến $977,40 \text{ nm}$. Như vậy độ dịch bước sóng là $\Delta\lambda/\Delta I = 0,0022 \text{ nm/mA}$.



Hình 5: Sự dịch chuyển bước sóng phụ thuộc dòng bơm của laser DFB 976 nm tại nhiệt độ 25°C

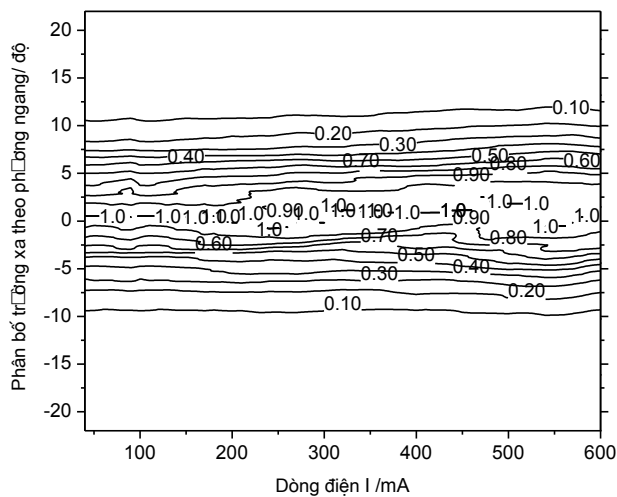
Tính chất dịch chuyển bước sóng theo dòng bơm là một đặc trưng riêng của các laser DFB, laser có cấu tạo cách tử trong buồng cộng hưởng. Khi dòng bơm hoặc nhiệt độ tăng, chu kỳ cách tử tăng lên, dẫn đến bước sóng của laser dịch chuyển về phía bước sóng dài [5]. Như vậy, laser DFB 976 nm có thể dễ dàng thay đổi bước sóng trong dải phù hợp với việc bơm các laser có cấu trúc pha tạp Yb.

Trong quá trình thay đổi dòng, việc khảo sát phân bố không gian của chùm tia là rất quan trọng. Hình 6 là phân bố trường xa của chùm tia theo phương thẳng đứng song song với cấu trúc p-n (hình 6a) và theo phương ngang của laser (hình 6b) tại nhiệt độ 25°C và dòng bơm $I = 170 \text{ mA}$ (tương ứng công suất quang ra $P = 100 \text{ mW}$). Góc phân kỳ được xác định theo phương thẳng đứng là $24,1^{\circ}$ và phương ngang là 10° . Như vậy mặt cắt của chùm tia có dạng hình elip và toàn bộ chùm tia có dạng Gauss trong không gian.



Hình 6: Phân bố trường xa của laser DFB 976 nm theo phương thẳng đứng (a) và phương ngang (b) tại 25°C và dòng bơm 170 mA

Tiến hành khảo sát sự ổn định của phân bố không gian trường xa của chùm tia trong quá trình thay đổi dòng bơm, chúng tôi thay đổi dòng từ 40 mA tới 600 mA với bước dịch 10 mA (hình7). Cường độ bức xạ tương đối thể hiện bằng các đường đồng mức. Kết quả khảo sát cho thấy, khi dòng bơm tăng, độ rộng chùm tia có thay đổi, phần cường độ bức xạ mạnh ở trung tâm chùm tia nở rộng hơn, tuy nhiên vị trí trung tâm của chùm tia ổn định trong suốt quá trình khảo sát. Như vậy, trong suốt quá trình hoạt động, việc thay đổi dòng bơm không làm xô dịch trung tâm chùm tia.



Hình 7: Phân bố trường xa của laser DFB 976 nm phụ thuộc dòng bơm

4. Kết luận

Khảo sát đầy đủ các tính chất quang điện và phân bố không gian trường xa của chùm tia cho thấy laser DFB 976 nm hoàn toàn phù hợp với ứng dụng bơm laser rắn có pha tạp Yb. Công suất quang lồi ra của laser có thể đạt được đến 350 mW tại nhiệt độ 25°C và dòng bơm 600 mA. Mật độ công suất tại cực đại trong vùng khảo sát là 8,75 MW/cm², đảm bảo dưới ngưỡng của hiệu ứng đánh thủng đối với laser trên nền vật liệu GaAs. Hiệu suất biến đổi quang điện tương đối cao, đạt 0,65 W/A. Thế rơi trên chuyển tiếp thay đổi từ 1,4 V đến 2,8 V. Laser DFB 976 nm dễ dàng thay đổi bước sóng bằng cách thay đổi dòng bơm cho phù hợp với dải hấp thụ của Yb với độ dịch bước sóng là 0,0022 nm/mA. Trong suốt quá trình thay đổi bước sóng, phân bố không gian trường xa của laser ổn định. Với các thông số khảo sát trên, laser DFB 976 nm đã xác lập được chế độ làm việc tối ưu cho các ứng dụng bơm laser rắn pha tạp Yb.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Botez, *High-power, Al-free diode lasers*, Compound Semiconductor 5(6), 1999, 24-29.
- [2] J. Kong et. al., *High-efficiency 1040 and 1078 nm laser emission of a Yb:Y₂O₃ ceramic laser with 976 nm diode pumping*, Optics Letters, Vol. 32, No. 3, 2007, 247-249.
- [3] P. Sévillano et al., *Pumping Yb-doped bulk materials with 976 nm fiber lasers*, in Advanced Solid State Lasers, OSA Technical Digest (online), Optical Society of America, 2014, paper AF1A.1.
- [4] H. Sun, *A Practical Guide to Handling Laser Diode Beams*, Springer Briefs in Physics, USA, 2015.
- [5] F. Traeger, *Springer Handbook of Lasers and Optics*, Springer 2007.
- [6] Y. Wang et al., *30/900 Yb-doped Aluminophosphosilicate Fiber Presenting 6.85-kW Laser Output Pumped With Commercial 976-nm Laser Diodes*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, Issue 16, 2018, 3396-3402.

SUMMARY

CHARACTERIZATION OF DISTRIBUTED FEEDBACK HIGH POWER DIODE LASERS EMITTING IN NIR REGION APPLYING FOR PUMPING YTTERBIUM DOPED SOLID STATE LASERS

In setup of Ytterbium-doped solid-state lasers, the wavelength of pumping laser should be around 976 nm and tunable. Distributed Feedback (DFB) high power diode lasers are particular candidates because of their compactness. Therefore, characterization of electro-optics, spectral and spatial beam properties are very necessary to provide usefull information for the applications.