

Tính chất phổ và tính chất chùm tia của laser bán dẫn taper công suất cao buồng cộng hưởng dài phát xạ vùng đỏ hồng ngoại bằng cách tử phản xạ Bragg

Spectral Properties and Beam Quality of Long Cavity High Power Semiconductor Tapered Lasers
Emitting at Red Region using Reflecting Bragg Grating

Nguyễn Thanh Phương

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam
Đến Tòa soạn: 02-11-2018; chấp nhận đăng: 27-9-2019

Tóm tắt

Laser bán dẫn công suất cao taper buồng cộng hưởng 4 mm được ổn định bước sóng bằng cách tử phản xạ Bragg. Hệ laser đạt công suất phát quang đến 1 W tại nhiệt độ làm việc 25°C. Bước sóng laser ổn định tại 670,95 nm với độ đơn mode cao. Chất lượng chùm tia - thể hiện qua hệ số truyền chùm M^2 đo tại mức $1/e^2$ của profile cường độ, gần đạt tới giới hạn nhiễu xạ của chùm Gauss với các mức công suất quang lên tới 0,5 W. Ở công suất cao hơn, hệ số truyền chùm tăng lên đáng kể do sự nở rộng của đường kính cổ chùm.

Từ khóa: laser bán dẫn taper, cách tử phản xạ Bragg, ổn định bước sóng

Abstract

The wavelength of 4 mm cavity length high-power Semiconductor Tapered lasers are stabilized by Reflecting Bragg Grating. Optical output power of laser system reaches 1 W at working temperature of 25°C. The laser operates at a stable single longitudinal mode with emitting wavelength of 670,95 nm. Up to optical output power of 0,5 W, the laser beam quality defined by beam propagation ratio M^2 at $1/e^2$ intensity profile level remains nearly diffraction-limited value of the perfect Gaussian beam. At higher optical powers, the beam propagation ratio increases remarkably because of the broadening of beam waist diameter.

Keywords: semiconductor Tapered laser, Reflecting Bragg Grating, wavelength stabilizing.

1. Mở đầu

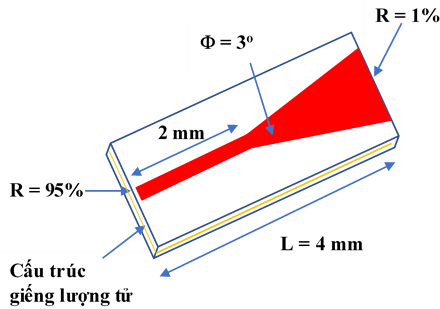
Trong các ứng dụng sử dụng laser, hàng năm được thống kê bởi tạp chí Laser Focus World, laser bán dẫn chiếm gần 50% tổng số. Sở dĩ laser bán dẫn có ưu thế như vậy là do các ưu điểm nội trội. Đầu tiên các laser bán dẫn có kích thước vô cùng gọn nhỏ so với các loại laser khác. Sau đó việc bơm laser bán dẫn đơn giản, sử dụng nguồn điện một chiều liên tục hoặc xung. Do đó điều chỉnh công suất phát dễ dàng, hiệu suất hơn hẳn các loại laser khác. Việc tối ưu hóa các laser nói chung và bán dẫn nói riêng nhằm tới mục đích nâng cao công suất phát của laser, tăng hiệu suất biến đổi điện quang, giảm độ rộng vạch phổ, ổn định tần số phát của laser. Có rất nhiều giải pháp đã đưa ra với mục đích tạo ra các laser bán dẫn vừa có công suất cao đồng thời chất lượng chùm tia tốt. Các loại laser bán dẫn cho công suất trong khoảng 1 W và chất lượng chùm tia tốt như các laser phản hồi phân bố (DFB laser) [1]. Các laser này có độ rộng phổ siêu hẹp, chùm tia có dạng gần Gauss. Tuy nhiên, các laser bán dẫn buồng cộng hưởng nội nói chung có bước sóng trung tâm phụ thuộc mạnh vào dòng bơm và nhiệt độ làm việc của laser do

hiệu ứng nhiệt Joule. Một loại laser khác đó là laser “nguyên khối” MOPA (monolithically Master-Oscillator Power Amplifiers) [2]. Loại laser này độ dịch đỉnh phổ chỉ còn phụ thuộc vào phần MO mà không phụ thuộc vào dòng khuếch đại. Các laser có cấu tạo taper [3], có công suất hàng W, nhưng bước sóng phụ thuộc mạnh vào dòng bơm và nhiệt độ. Để thỏa mãn điều kiện công suất và bước sóng ổn định, một mô hình cách tử phản xạ Bragg (RBG) được sử dụng để khóa bước sóng của laser tại một vị trí nhất định. Trong bài báo này, cơ sở lý thuyết của việc khóa bước sóng của laser taper được phân tích. Thử nghiệm tiến hành trên laser taper được khóa bước sóng tại 671 nm. Các đặc trưng công suất và thể đặt trên chuyên tiếp phụ thuộc dòng bơm của laser taper có sử dụng cách tử phản xạ Bragg phát xạ tại 671 nm được khảo sát. Sự ổn định bước sóng theo dòng bơm được đo tới 1,7 A. Phân bố không gian trường xa cũng được khảo sát từ đây cho ta biết chất lượng chùm tia của laser thông qua hệ số truyền M^2 .

* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 936132266
Email: Phuong.nguyenthanh@hust.edu.vn

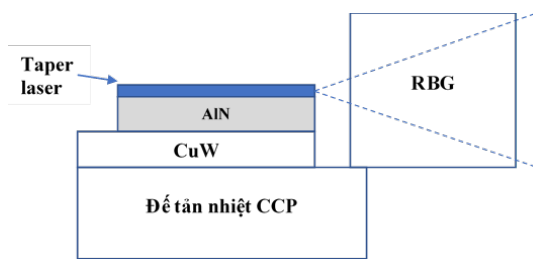
2. Cấu tạo laser và cơ sở của phương pháp ổn định bước sóng.

Laser taper 670 nm có cấu trúc giếng lượng tử đơn GaInP phát triển trên nền vật liệu GaAs tại Ferdinand-Braun-Institut Berlin, với bề dày miền tích cực khoảng 1 μm. Toàn bộ chiều dài của chip laser là 4 mm, trong đó phần dẫn sóng gò có chiều dài 2 mm, phần taper khuếch đại có góc mở Φ = 3°. Mặt sau của laser được phủ màng phản xạ với hệ số 95%, mặt trước phủ lớp chống phản xạ có hệ số phản xạ 1% (hình 1).



Hình 1. Cấu trúc taper của chip laser bán dẫn 4 mm với góc Φ = 3°.

Chip laser được gắn lên đế CuW và đế vi quang AlN rồi hàn lên đế tản nhiệt CCP (Conduction Cooled Package). Cách tử phản xạ Bragg sử dụng bài được chế tạo bởi OptiGrate có kích thước 3,5 x 1,5 x 2,5 mm (tương ứng chiều dài x rộng x cao). RGB có bước sóng phản xạ tại 671 nm, hệ số phản xạ tại góc tới của chùm tia θ = 0° đạt 90%, độ chọn lọc phổ Δλ < 100 pm, bước sóng dịch theo nhiệt độ là 2 pm/K. Cách tử được gắn lên đế tản nhiệt bằng keo epoxy (hình 2)



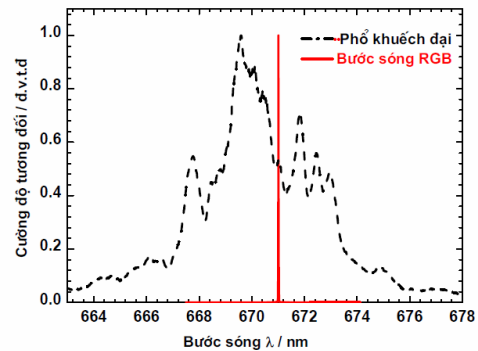
Hình 2. Cấu hình chip laser bán dẫn taper kết hợp cách tử phản xạ Bragg (RBG).

Cơ sở của phương pháp ổn định bước sóng về mặt lý thuyết như sau: bản thân laser taper đã có cơ chế lọc lựa sóng do cấu trúc của phần dẫn sóng gò, tuy nhiên đây là cơ chế lọc lựa nội nên bước sóng phụ thuộc mạnh vào dòng bơm và nhiệt độ chuyển tiếp. Phần tín hiệu đi ra khỏi gương trước đến đập vào RBG. Cách tử Bragg tuân theo điều kiện:

$$\lambda_B = \frac{2\Lambda n_{eff}}{m} \tag{1}$$

Trong đó Λ là chu kỳ của cách tử Bragg, n_{eff} là chiết suất hiệu dụng của cách tử, số nguyên m tương ứng là bậc của cách tử. Chỉ những bước sóng λ_B thỏa mãn công thức 1 mới được phản xạ trở lại và được khuếch đại. Như vậy cách tử được lựa chọn phải có bước sóng nằm trong vùng phổ khuếch đại của laser taper.

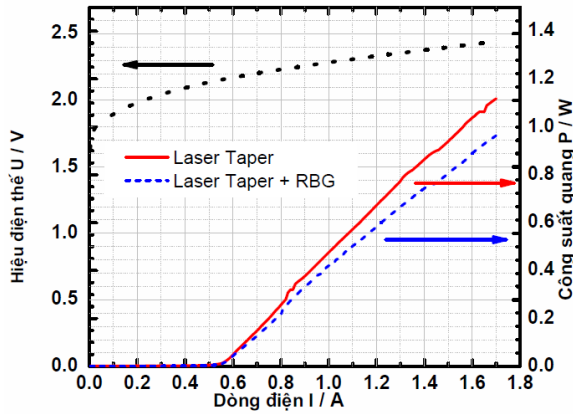
Hình 3 là phổ khuếch đại của laser taper đo tại nhiệt độ 25°C tương ứng với đường đứt nét, đỉnh phổ nằm khoảng 669 nm. Đường màu đỏ nét liền là bước sóng phản xạ của cách tử Bragg, nằm hoàn toàn trong vùng phổ khuếch đại của laser.



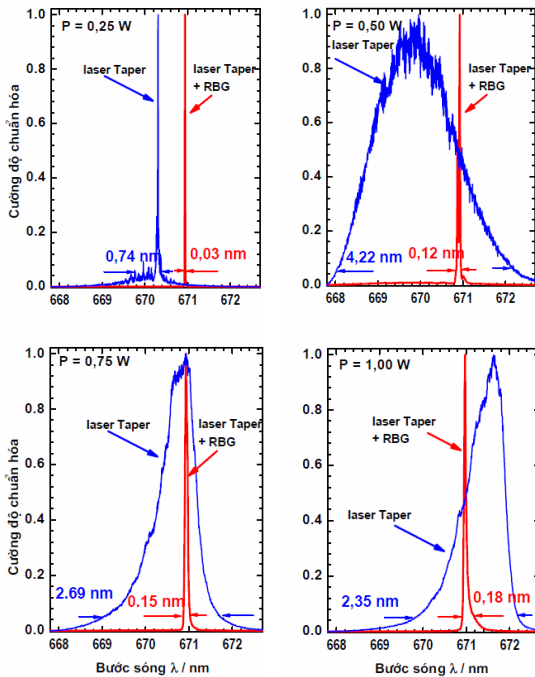
Hình 3. Phổ khuếch đại của laser taper trong vùng bước sóng 670 nm (đường đứt nét màu đen) và bước sóng phản xạ của cách tử Bragg tại 671 nm (đường liền nét màu đỏ).

3. Kết quả thực nghiệm

Đặc trưng công suất phụ thuộc dòng bơm được đo đến giá trị I = 1,7 A. Đường liền nét trên hình 4 là công suất của laser taper khi không sử dụng cách tử ổn định bước sóng, đường đứt nét là đặc trưng công suất khi có cách tử Bragg. Dòng ngưỡng không thay đổi I_{th} = 0,54 A. Tại dòng bơm cực đại công suất của laser taper là 1,1 W, khi sử dụng RBG công suất giảm còn 1,0 W, công suất giảm khoảng 11%. Từ ngưỡng đến 1,4 A cả hai đường đặc trưng tăng tuyến tính, cho hiệu suất độ dốc lần lượt là 0,98 W/A và 0,87 W/A. Dòng bơm lớn hơn 1,4 A đường đặc trưng bắt đầu ngã xuống, hiệu suất độ dốc giảm. Hiện tượng này phổ biến trong laser bán dẫn công suất cao nguyên nhân được cho là tại dòng bơm lớn dẫn đến dòng rò tăng, mất mát nội tăng và nhiệt độ tăng làm giảm thời gian tái hợp hạt tải [4]. Thế đặt trên chuyển tiếp của laser tăng từ 1,6 V đến 2,5 V, giống nhau trong hai lần đo do việc sử dụng RBG không tác động gì đến cấu trúc của laser (đường chấm chấm màu đen).



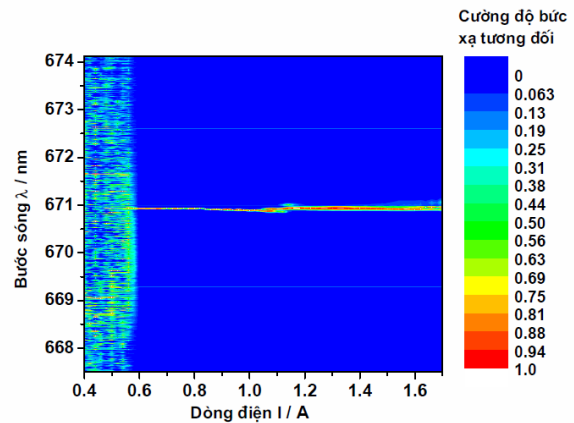
Hình 4. Công suất quang phụ thuộc dòng bơm của laser taper trong vùng bước sóng 670 nm không sử dụng RGB (đường liền nét màu đỏ) và sử dụng RGB (đường đứt nét màu xanh) tại 25°C.



Hình 5. Phổ của laser taper không sử dụng RGB và sử dụng RGB tại 25°C và công suất quang ra tương ứng thay đổi từ 0,25 W đến 1 W.

Kết quả phân tích đặc trưng phổ trước và sau khi sử dụng RGB của laser taper thể hiện trên hình 5. Phổ của laser taper được đo tại công suất quang tương ứng từ 0,25 W đến 1 W ở nhiệt độ làm việc 25°C. Ở công suất 0,25 W phổ laser đơn sắc có đỉnh tại 670,30 nm, tuy nhiên tại vị trí 10% cường độ, xuất hiện các nhiễu và các mode bên. Tại các mức công suất cao hơn do

hiệu ứng đốt cháy lỗ không gian và hiện tượng chiết suất thay đổi không đồng bộ ở nhiệt độ cao dẫn đến phổ của laser taper bị nở rộng. Bên cạnh đó đỉnh phổ bị dịch đi do hiệu ứng Joule sinh ra trong buồng cộng hưởng của laser [4]. Khi sử dụng RGB bước sóng thu được bị “khóa” tại vị trí 670,95 nm. Độ rộng phổ tại 10% cường độ tăng lên tại công suất cao tuy nhiên cũng chỉ ở 0,18 nm tại công suất 1W. Phổ thu được hoàn toàn không có các mode bên. Phổ của laser taper dùng RGB được đo như một hàm của dòng bơm tới 1,7 A thể hiện trên hình 6. Phổ được đo từ 0,4 A với mỗi bước thay đổi là 0,1 A. Đỉnh phổ hoàn toàn ổn định tại 670,95 nm và không có mode bên.



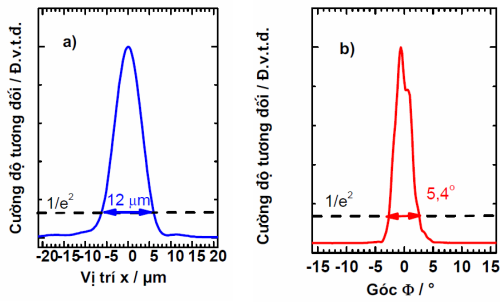
Hình 6. Đặc trưng phổ phụ thuộc dòng bơm của laser taper sử dụng RGB ổn định bước sóng tại 670,95 nm tại nhiệt độ làm việc 25°C.

Để xác định chất lượng chùm tia khi tăng công suất quang của hệ laser nghiên cứu, phương pháp đo caustic được sử dụng. Giá trị hệ số truyền M^2 được lấy tại mức $1/e^2$ của profile độ rộng cổ chùm và phân bố không gian trường xa [5,6].

$$M^2 = \frac{w_0 \Phi \pi}{4\lambda} \quad (2)$$

Trong đó w_0 là độ rộng cổ chùm, Φ là góc phân kỳ của trường xa theo phương ngang với bước sóng laser λ .

Hình 7a là phân bố không gian cổ chùm của hệ laser tại công suất quang ra 0,50 W. Tại vị trí $1/e^2$, độ rộng cổ chùm có giá trị $w_0 = 12 \mu\text{m}$. Độ rộng góc phân kỳ của trường xa $\Phi = 5,4^\circ$ xác định trên hình 7b. Với bước sóng $\lambda = 670,95 \text{ nm}$, sử dụng công thức (2) tính được M^2 xấp xỉ 1,33 (lưu ý góc phân kỳ trong trường hợp này đo bằng rad). Tương tự khi đo đặc trưng phân bố không gian tại các giá trị công suất ra 0,25 W; 0,75 W và 1 W được kết quả chất lượng chùm tia thể hiện trong bảng 1



Hình 7. Phân bố không gian cổ chùm (a) và trường xa theo phương ngang (b) của laser taper sử dụng RGB ổn định bước sóng tại công suất 0,50 W và nhiệt độ làm việc 25°C.

Khi tăng công suất của laser taper có sử dụng RGB đến 1W giữ nguyên nhiệt độ làm việc của laser ở 25°C, hệ số truyền tăng đến 3,44 là do độ rộng cổ chùm ở vùng công suất cao nở rộng. Tuy nhiên, công suất quang ra dưới 0,50 W, hệ số truyền nhỏ hơn 1,33 gần với giá trị giới hạn nhiễu xạ của chùm Gauss hoàn hảo ($M^2 = 1$)

Bảng 1. Chất lượng chùm tia thể hiện bởi hệ số truyền phụ thuộc vào công suất quang.

Công suất P (W)	0,25	0,50	0,75	1,00
Hệ số truyền $M^2(1/e^2)$	1,3	1,33	3,35	3,44

5. Kết luận

Laser bán dẫn taper sử dụng cách tử phản xạ Bragg cho công suất quang đạt tới 1 W hoạt động ở

nhiệt độ 25°C. Hiệu suất độ dốc đạt tới 0,87 W/A. Việc sử dụng cách tử phản xạ Bragg đã khóa được bước sóng tại 670,95 nm. Chất lượng chùm tia đến 0,50 W gần như hoàn hảo, ở công suất cao hơn hệ số truyền tăng nguyên nhân do độ rộng cổ chùm tăng. Như vậy với mô hình laser taper sử dụng RGB thỏa mãn các tiêu chí: công suất quang ra cao, chất lượng chùm tia tốt đồng thời ổn định được bước sóng.

Lời cảm ơn

Tác giả cảm ơn Viện Ferdinand Braun, CHLB Đức đã tài trợ nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. D. de Mars, K. M. Dzurko, R. J. Lang, D. F. Welch, D. R. Scifres, A. Hardy, Angled grating distributed-feedback laser with 1 W single-mode, diffraction-limited output at 980 nm, Techn. Digest CLEO '96 (1996), paper CTuC2, 77–78.
- [2] S. O'Brien, D. F. Welch, R. A. Parke, D. Mehuys, K. Dzurko, R. J. Lang, R. Waarts, D. Scifres, Operating characteristics of a high-power monolithically integrated flared amplifier master oscillator power amplifier, IEEE J. QE 29, (1993), 2052–2057.
- [3] N. Michela, M. Krakowskia et. al., High-brightness quantum well and quantum dot tapered lasers, Novel In-Plane Semiconductor Lasers VII, Proc. of SPIE Vol. 6909, (2008), 690918-1-10.
- [4] P. A. Govind, K. D. Niloy, Semiconductor Lasers, Springer US, (1993).
- [5] H. Sun, A Practical Guide to Handling Laser Diode Beams, SpringerBriefs in Physics, Springer (2015).
- [6] N. Reng and B. Eppich, Definition and measurements of high power laser beam parameters, Optical and Quantum Electronics, 24, (1992), 973–992.