

# Nghiên cứu chất lượng chùm tia laser bán dẫn công suất cao cấu trúc giếng lượng tử và module laser phát ở bước sóng 670 nm

## Tổng Quang Công

Trường Đại học Công nghệ  
Luận văn Thạc sĩ ngành: Vật liệu và linh kiện nanô  
Người hướng dẫn: PGS. TS. Vũ Doãn Miên  
Năm bảo vệ: 2011

**Abstract:** Nêu ra các nguyên lý cơ bản của laser diode và tính chất chùm tia laser. Trình bày phương pháp kỹ thuật thực nghiệm để đo và tính toán các thông số cơ bản của laser bán dẫn. Trình bày các kết quả đo các đặc trưng và tính toán các thông số của laser công suất cao vùng ánh sáng 670nm có cấu trúc BA và cấu trúc Taper.

**Keywords:** Công nghệ Nano; Tia laser; Chất bán dẫn; Bước sóng

## Content

### MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây laser bán dẫn công suất cao phát ở các bước sóng khác nhau trong vùng nhìn thấy và hồng ngoại gần được nghiên cứu trong nhiều phòng thí nghiệm về quang tử trên thế giới cũng như đang được triển khai ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như phục vụ nghiên cứu khoa học, trong công nghiệp, y tế và an ninh quốc phòng.

Laser bán dẫn công suất cao cấu trúc giếng lượng tử phát ở vùng ánh sáng đỏ được quan tâm nghiên cứu nhiều do những ứng dụng to lớn mà nó mang lại. Ví dụ laser rắn (Cr:LiSAF) phát xung femto giây có thể được bơm bởi laser bán dẫn phát trong vùng 650nm tới 740nm [5]. Trong tương lai thị trường laser đỏ (630nm tới 640nm) phục vụ cho công nghệ trình chiếu là rất lớn. Một ứng dụng khác với tiềm năng to lớn có thể thấy trước được đó là ứng dụng trị liệu trong y học [3,6].

Các laser bán dẫn công suất cao hiện nay được chế tạo chủ yếu trên cơ sở cấu trúc giếng lượng tử ở vùng tích cực (vùng xảy ra dao động laser). Vùng tích cực thường gồm nhiều lớp giếng lượng tử với độ dày khoảng vài tới vài chục nano mét. Các cấu trúc laser bán dẫn vùng ánh sáng đỏ có sự khác nhau rất ít giữa độ rộng khe năng lượng (vùng cấm) của vật liệu chế tạo giếng lượng tử (thông thường là GaInP với độ dày từ 5 ÷ 10 nm) và độ rộng khe năng lượng của vật liệu chế tạo các lớp dẫn sóng (AlGaInP). Bởi vậy chiều cao hàng rào là khá thấp cho các hạt tải trong miền tích cực. Vật liệu  $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$  được sử dụng cho cấu trúc dẫn sóng, vật liệu như vậy với thành phần Al cao hơn được sử dụng cho các lớp vỏ, trong nhiều trường hợp là AlInP. Các cấu trúc hình học chính được sử dụng để chế tạo laser công suất cao ở vùng ánh sáng đỏ là cấu trúc dải rộng BA (Broad Area) và cấu trúc vuốt thon (taper).

Trong luận văn này, chúng tôi nghiên cứu một số tính chất vật lý quan trọng nhất đối với laser bán dẫn công suất cao phát ở vùng sóng ánh sáng đỏ nhằm mục đích nghiên cứu, tìm hiểu về laser cũng như phục vụ cho các mục đích ứng dụng khác nhau. Đặc trưng được quan tâm nhất của laser diode công suất cao phát ở vùng sóng 670nm là công suất phát phụ thuộc dòng bơm và các tính chất của chùm tia. Đối với các laser được chế tạo với các lớp epitaxy như nhau, laser bán dẫn cấu trúc BA có công suất phát lớn hơn so với laser cấu trúc Taper và thường có dòng ngưỡng hoạt động lớn hơn. Tuy nhiên chất lượng của chùm tia của laser Taper là tốt hơn so với của các laser cấu trúc BA. Đặc trưng công suất phụ thuộc dòng bơm được đo tại các giá trị nhiệt độ khác nhau từ đó tính được nhiệt độ đặc trưng của laser cấu trúc loại này. Sự phân bố mật độ công suất được đo tại các giá trị dòng khác nhau, nhiệt độ hoạt động khác nhau. Hiệu suất ghép nối bức xạ laser với sợi quang được tính từ sự phân bố mật độ công suất của laser. Các đặc trưng phổ quang, độ rộng cổ chùm tia được khảo sát nhằm mục đích tính toán hệ số truyền chùm tia  $M^2$ .

Việc đo đạc các tính chất đặc trưng cơ bản như là P-U-I, đặc trưng phổ, phân bố trường xa, độ rộng cổ chùm, hệ số truyền chùm  $M^2$  của laser bán dẫn có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế các hệ thống tạo chùm tia cho các mục đích sử dụng khác nhau như là:

- Tạo ra một chùm tia song song với đường kính chùm xác định
- Tạo ra một chùm tia hội tụ với đường kính cổ chùm xác định
- Tạo ra chùm tia có góc phân kỳ nhất định
- Thay đổi hướng, vị trí của chùm tia theo phương vuông góc với hướng lan truyền của chùm tia.
- Tạo ra ảnh phóng đại ở một vị trí xác định

Các tính chất đặc trưng của laser được đo đạc, tính toán đối với cả hai loại laser bán dẫn cấu trúc BA và cấu trúc Taper có góc mở  $3^\circ$  hoặc  $4^\circ$ . Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong ba chương của luận văn như sau:

Chương 1: Nêu ra các nguyên lý cơ bản của laser diode và tính chất chùm tia laser.

Chương 2: Trình bày phương pháp kỹ thuật thực nghiệm để đo và tính toán các thông số cơ bản của laser bán dẫn.

Chương 3: Trình bày các kết quả đo các đặc trưng và tính toán các thông số của laser công suất cao vùng ánh sáng 670nm có cấu trúc BA và cấu trúc Taper.

## I. LASER DIODE CÔNG SUẤT CAO Ở VÙNG ÁNH SÁNG ĐỎ VÀ TÍNH CHẤT CHỤM TIA

Các laser bán dẫn công suất cao phát ở vùng ánh sáng đỏ hiện nay được chế tạo chủ yếu trên cơ sở cấu trúc giếng lượng tử thông thường là GaInP với độ dày khoảng vài tới vài chục nano mét. Vật liệu  $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$  được sử dụng cho cấu trúc dẫn sóng. Các cấu trúc hình học chính được sử dụng để chế tạo laser công suất cao ở vùng ánh sáng đỏ là cấu trúc dải rộng BA (Broad Area) và cấu trúc vuốt thon (Taper).

Việc đo đạc các tính chất đặc trưng cơ bản như là P-U-I, đặc trưng phổ, phân bố trường xa, độ rộng cổ chùm, hệ số truyền chùm  $M^2$  của laser bán dẫn có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế các hệ thống tạo chùm tia cho các mục đích sử dụng khác nhau.

## II. KỸ THUẬT THỰC NGHIỆM

Trong luận văn này, chúng tôi nghiên cứu một số tính chất vật lý quan trọng nhất đối với laser bán dẫn công suất cao phát ở vùng 670 nm. Đặc trưng được quan tâm nhất là công suất phát phụ thuộc dòng bơm và các tính chất của chùm tia. Hiệu suất ghép nối bức xạ laser với sợi quang được tính từ sự phân bố mật độ công suất của laser. Các đặc trưng phổ quang, độ rộng cổ chùm tia được khảo sát nhằm mục đích tính toán hệ số truyền chùm  $M^2$ .

Các tính chất đặc trưng của laser được đo đạc, tính toán đối với cả hai loại laser bán dẫn cấu trúc BA và cấu trúc Taper có góc mở  $3^\circ$  hoặc  $4^\circ$ .

## III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các tính chất quang điện của các laser cấu trúc này đã được khảo sát và cho thấy:

Với cùng cấu trúc epitaxy, laser cấu trúc Taper có dòng ngưỡng hoạt động nhỏ hơn, công suất quang tối đa lớn hơn so với laser cấu trúc BA. Khi nhiệt độ hoạt động tăng thì công suất quang giảm.

Cả laser BA và Taper đều có cấu trúc phổ quang phức tạp do sự thăng giáng một theo nhiệt độ, dòng bơm, sự phân bố không đồng nhất của cường độ mode dọc. Đỉnh phổ nằm trong dải 670 ÷ 675 nm.

Module laser đã được chế tạo và tính toán hiệu suất ghép nối.

Thừa số truyền chùm  $M^2$  tính được dựa trên các thông số độ rộng cổ chùm, bước sóng, góc phân bố trường xa chỉ ra rằng laser Taper có hệ số phẩm chất ( $M_{1/e}^2 \sim 2$ ) tốt hơn so với laser BA ( $M_{1/e}^2 = 22$ ).

## KẾT LUẬN

Laser công suất cao cấu trúc giếng lượng tử phát ở vùng ánh sáng đỏ 670nm đã được khảo sát cho cả hai dạng cấu trúc BA và cấu trúc Taper. Từ đó tính được các thông số đặc trưng, hiệu suất ghép nối quang và thừa số truyền chùm  $M^2$

## References

- [1] M. J. Adams, A. G. Steventon, W. J. Devlin, I. D. Henning: *Semiconductor Lasers for Long-Wavelength Optical-Fibre Communications Systems*, IEE Materials and Devices Series, 1987
- [2] M. C. Amann, J. Buus: *Tunable Laser Diodes*, Artech House, Boston, 1998
- [3] F. Bachmann P. Loosen, R. Poprawe, *High Power Diode Lasers*, pages 197, 200, Springer, 2007

- [4] M. J. Bastiaans *The Wigner distribution function applied to optical signals*. Optics Communication pages 25, 26, 1978
  - [5] U. Demirbas, M. Schmalz, B. Sumpf, G. Erbert, G. S. Petrich, L. A. Kolodziejski, J. G. Fujimoto, F. X. Kärtner, and Alfred. *Femtosecond Cr:LiSAF and Cr:LiCAF lasers pumped by Tapered diode lasers*. Vol. 19, No. 21 / OPTICS EXPRESS 20459, 2011
  - [6] R. Diehl, *High-Power diode laser, Topics Appl. Phys.* Springer, 2000
  - [7] R. W. Dixon, F. R. Nash, R. L. Hartman, and R. T. Hepplewhite, *Improved light-output linearity in stripe-geometry double-heterostructure (Al,Ga)As lasers*, Appl. Phys. Lett., 29(6), pp.372,1976
  - [8] R. Michalzik, M. Grabherr, K. J. Ebeling: *High-power VCSELs: modeling and experimental characterization*, in K. D. Choquette, R. A. Morgan (eds.): Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers II, Proc. SPIE 3286, 206–218, pages 11, 15, 18, 1998
  - [9] V. D. Mien, V. V. Luc, T. Q. Tien, P. V. Truong, T. Q. Cong, V. T. Nghiem, , N. C. Thanh, N. T. Ngoan, V.V. Parashchuk. *Optical laser diode module preparation and characterization. Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Photonics and Applications, Hanoi Oct. 8<sup>th</sup> – 11<sup>th</sup>*, 2010
  - [10] G. Nemes *Intrinsic and geometrical beam classification, and the beam identification after measurement*. Proceedings of the SPIE 4932, 624. 2002
  - [11] A. E. Siegman *New Developments in laser resonators*. Proceedings of the SPIE 1224, 2, 1990
  - [12] ISO 11146-1:2004 *Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams*. International Organization for Standardization. 2004.
  - [13] ISO/FDIS 11146-2:2004 *Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 2: General astigmatic beams*. International Organization for Standardization. 2004
  - [14] ISO/TR 11146-3:2004 *Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 3: Intrinsic and geometrical laser beam classification, propagation and details of test methods*. International Organization for Standardization. 2004
- J.E. Whiteaway, B. Garrett, G. H .B. Thompson, A. J. Collar, C. J. Armistead, and M. J. Fice, *The static and dynamic characteristics of single and multiple phase-shifted DFB Laser Structures*, IEEE Journ. Quant.Electr. 28 (5), pp 1277, 1992