

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC



NGUYỄN HỮU THÀNH

**NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT QUANG ĐIỆN VÀ PHỔ CỦA
LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO DFB 780 NANO MÉT
PHỤ THUỘC ĐỘ DÀI BUỒNG CỘNG HƯỞNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

THÁI NGUYÊN – 2018

Công trình được hoàn thành tại phòng Laser và kỹ thuật ánh sáng, bộ môn Quang học và Quang điện tử, Viện Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội và phòng Laser bán dẫn - Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học:

TS. Nguyễn Thanh Phương

Phản biện 1: Phạm Hồng Minh

Phản biện 2: TS Nguyễn Văn Hảo

Luận văn sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn họp
tại:.....

Vào hồi..... giờ..... ngày..... tháng..... năm 20...

Có thể tìm hiểu luận văn tại trung tâm học liệu Đại học Thái Nguyên
Và thư viện trường Đại học Khoa Học, khoa Vật lý & Công nghệ.

MỤC LỤC

MỤC LỤC	i
DANH MỤC BẢNG	ii
DANH MỤC HÌNH.....	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	iv
MỞ ĐẦU	1
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO DFB	1
1.1. Laser bán dẫn – nguyên lý cơ bản	1
1.1.1. Cơ chế hấp thụ và phát xạ trong laser bán dẫn.	1
1.1.2. Các thành phần cơ bản của laser bán dẫn.....	3
1.1.3. Khuếch đại quang và điều kiện ngưỡng.....	3
1.1.4. Dẫn sóng và buồng cộng hưởng.....	3
1.2. Laser bán dẫn công suất cao DFB.....	4
1.3. Các đặc trưng cơ bản của laser bán dẫn công suất cao DFB	5
1.3.1. Đặc trưng quang điện	5
1.3.2. Đặc trưng phổ quang phụ thuộc dòng bơm.....	6
1.3.3. Độ rộng vạch phổ của laser DFB	6
Chương II. KỸ THUẬT THỰC NGHIỆM.....	7
2.1. Công nghệ chế tạo laser bán dẫn công suất cao DFB 780 nm sử dụng trong nghiên cứu	7
2.1.1. Công nghệ tạo các lớp epitaxy và chế tạo cách tử trong laser DFB công suất cao vùng sóng 780 nm.....	7
2.1.2. Chế tạo thành laser bán dẫn DFB ống dẫn sóng gò và kim loại hóa.....	7

2.1.3. Phủ lớp phản xạ.....	7
2.1.4. Đóng vỏ.....	7
2.2. Phương pháp đo đặc trưng của laser bán dẫn công suất cao.....	7
2.2.1. Đặc trưng công suất, thể phụ thuộc dòng.....	7
2.2.2. Hệ đo đặc trưng phổ của laser bán dẫn công suất cao DFB phát vùng sóng 780 nm.....	8
2.2.3. Kỹ thuật đo độ rộng vạch phổ của laser bán dẫn DFB.....	8
Chương III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN.....	10
3.1. Phân loại laser bán dẫn DFB 780 nm.....	10
3.2. Tính chất quang điện của laser bán dẫn công suất cao phụ thuộc chiều dài buồng cộng hưởng.....	10
3.3. Tính chất phổ của laser bán dẫn công suất cao biến đổi theo chiều dài buồng cộng hưởng.....	12
3.4. Tối ưu hoá độ rộng vạch phổ của laser theo chiều dài buồng cộng hưởng.....	15
KẾT LUẬN.....	17
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	18

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.1: <i>Giá trị độ rộng vạch phổ tương ứng tại các mức cường độ tương đối từ hàm dạng Voigt.....</i>	9
Bảng 3.1: <i>Laser bán dẫn DFB 780 nm sử dụng trong luận văn.</i>	10
Bảng 3.2: <i>Các thông số cơ bản từ đặc trưng PUI của laser có chiều dài buồng cộng hưởng 1,5 mm.</i>	11
Bảng 3.3: <i>Các thông số cơ bản từ đặc trưng PUI của laser có chiều dài buồng cộng hưởng 3 mm.</i>	12

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1: Cấu trúc vùng $E(k)$ của các điện tử trong bán dẫn vùng cấm thẳng Vùng dẫn cách vùng hóa trị một khe năng lượng E_g	2
Hình 1. 2: Sự chuyển mức phát xạ vùng – vùng trong vật liệu bán dẫn	2
Hình 1.9: Sơ đồ của một ống dẫn sóng ba lớp: cấu trúc cơ bản của laser bán dẫn.	3
Hình 1.11: Cấu Hình của laser bán dẫn sử dụng buồng cộng hưởng Fabry-Perot.	4
Hình 1.12: Sơ đồ cấu trúc laser DFB tích hợp cách tử Bragg, cường độ phân bố theo chiều ngang I_x	4
Hình 1.13: Đặc trưng công suất quang phụ thuộc dòng bơm của laser bán dẫn	5
Hình 1.14: Đặc trưng I - V của một laser	5
Hình 1.16: Phổ quang của một laser bán dẫn tại các giá trị dưới ngưỡng (a), gần ngưỡng (b,c) và trên ngưỡng phát laser(d).	6
Hình 2.1: Mô Hình cấu trúc laser DFB 780.	7
Hình 2.6: Sơ đồ khối của hệ thí nghiệm khảo sát đặc trưng quang điện ở chế độ liên tục.....	8
Hình 2.10: Hệ đo đặc trưng phát xạ của laser bán dẫn công suất cao.....	8
Hình 2.12: Hệ đo self-delayed-heterodyne đo độ rộng vạch phổ của laser.	9
Hình 2.13: Cơ chế dịch chuyển tần số laser ν_s về tần số $\delta\nu$ trong hệ đo self-delayed-heterodyne.	9
Hình 3.1: Đặc trưng PUI của laser L1501 ở nhiệt độ 25°C	11

Hình 3.4: Đặc trưng PUI của laser L3001 ở nhiệt độ 25°C	12
Hình 3.7: Phổ laser L1501 tại công suất quang 100 mW.	13
Hình 3.8: Bản đồ phổ của laser L1501 với bước thay đổi dòng là 10 mA.	13
Hình 3.11: Bản đồ phổ của laser L3001 phụ thuộc dòng bơm.	14
Hình 3.14: Độ rộng phổ của laser L1501 buồng cộng hưởng 1,5 mm (chấm tròn đỏ) và laser L3001 buồng cộng hưởng 3 mm (chấm vuông xanh) phụ thuộc công suất.	15

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Tiếng anh	Tiếng việt
DBR		Phân bố phản xạ Bragg.
DFB laser	Distributed feedback laser	Laser phản hồi phân bố.
FWHM	Full Width at Half Maximum	Toàn độ rộng ở nửa cực đại
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation	Khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ cưỡng bức.
LEDs	Light – Emitting Diodes	Đi ốt phát quang.
RW	Ridge Waveguide	Ống dẫn sóng gò.
UV	Ultra Violet	Tia cực tím

MỞ ĐẦU

Laser có trong rất nhiều ứng dụng trong đời sống cũng như trong nghiên cứu như ghi dữ liệu, máy in laser, máy quét mã vạch, truyền dẫn thông tin, gia công vật liệu, y tế, phẫu thuật thẩm mỹ. Trong quân đội laser được dùng để đánh dấu, đo khoảng cách và tốc độ của mục tiêu. Trong giải trí laser được sử dụng trong các sân khấu như hòa âm ánh sáng. Laser phát xạ ở bước sóng 780 nm do đó cũng được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt trong quang phổ phân giải cao, làm lạnh bằng laser, đo lường quang học...

Tuy nhiên với các laser hiện nay như các laser rắn hoặc khí có nhân tần hoặc laser buồng cộng hưởng ngoài... việc đưa vào ứng dụng trong các lĩnh vực này gặp khó khăn do kích thước, trọng lượng còn khá lớn, cơ cấu phức tạp.

Với những thách thức trên, laser bán dẫn công suất cao phản hồi phân bố (Distributed feedback laser: DFB laser) là một lựa chọn thay thế hoàn hảo do kích thước gọn nhỏ, hiệu suất quang điện cao, độ tin cậy cao.

Do đó đề tài được chọn: **“NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT QUANG ĐIỆN VÀ PHỔ CỦA LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO DFB 780 NANO MÉT PHỤ THUỘC ĐỘ DÀI BUỒNG CỘNG HƯỞNG”**

Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong ba chương của luận văn như sau:

Chương 1: Các nguyên lý cơ bản của laser bán dẫn và tính chất quang điện và phổ của laser bán dẫn công suất cao DFB

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

Chương 3: Các đặc trưng và tính toán các thông số của laser công suất cao và kết luận.

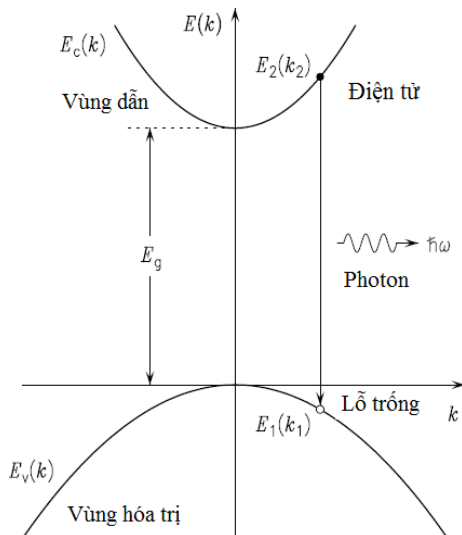
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO DFB

1.1. Laser bán dẫn – nguyên lý cơ bản [13]

1.1.1. Cơ chế hấp thụ và phát xạ trong laser bán dẫn

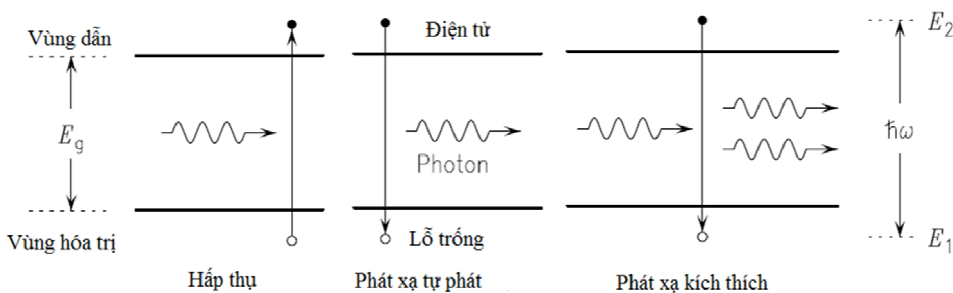
Laser rắn và laser khí thông thường có các mức năng lượng biểu diễn bởi các vạch hẹp là các mức năng lượng của các nguyên tử riêng biệt. Trong bán dẫn, các mức năng lượng được mở rộng thành vùng năng lượng do sự chồng phủ của các quỹ đạo nguyên tử. Với bán dẫn không pha tạp và khi không có bất kỳ sự kích

thích từ bên ngoài nào, ở nhiệt độ $T = 0\text{ K}$, vùng năng lượng trên cùng được gọi là vùng dẫn và trống hoàn toàn, vùng năng lượng bên dưới vùng dẫn được gọi là vùng hóa trị và được lấp đầy hoàn toàn bởi các điện tử. Vùng dẫn và vùng hóa trị cách nhau một khe năng lượng có giá trị $E_g = 0,5\text{-}2,5\text{eV}$ cho vật liệu bán dẫn làm laser.



Hình 1.1: Cấu trúc vùng $E(k)$ của các điện tử trong bán dẫn vùng cấm thẳng. Vùng dẫn cách vùng hóa trị một khe năng lượng E_g .

Với một mức năng lượng photon cố định $\hbar\omega$, chỉ có hai mức năng lượng riêng biệt $E_1(k)$ và $E_2(k)$ vì sự chuyển mức chỉ có thể xảy ra ở cùng véc tơ sóng k như trong Hình 1.1. Trong bán dẫn có ba dạng của bức xạ vùng – vùng được minh họa trong Hình 1.2.



Hình 1.2: Sự chuyển mức phát xạ vùng – vùng trong vật liệu bán dẫn

- Sự hấp thụ, cũng được gọi là hấp thụ kích thích, là quá trình thứ nhất minh họa trong Hình 1.2. Một photon được hấp thụ và một cặp điện tử - lỗ trống được phát sinh.

- Quá trình thứ hai được gọi là phát xạ tự phát.

- Quá trình thứ ba là phát xạ cưỡng bức - cảm ứng. Một sự tái hợp của cặp điện tử - lỗ trống được kích thích bởi một photon và một photon thứ hai được sinh

ra đồng thời có cùng hướng và pha như photon thứ nhất (cảm ứng). Quá trình này có thể được sử dụng để khuếch đại bức xạ quang, vì các photon được phát ra hoàn toàn giống photon kích thích về tần số, pha, phân cực và hướng, kết quả là ta có phát xạ có tính kết hợp. Nguồn ánh sáng dựa trên quá trình phát xạ này cùng với thành phần phản hồi quang (ví dụ buồng cộng hưởng Fabry-Perot) được gọi là laser, viết tắt của “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*”.

1.1.2. Các thành phần cơ bản của laser bán dẫn

Laser bán dẫn phải được cấu thành từ các thành phần không thể thiếu dưới đây:

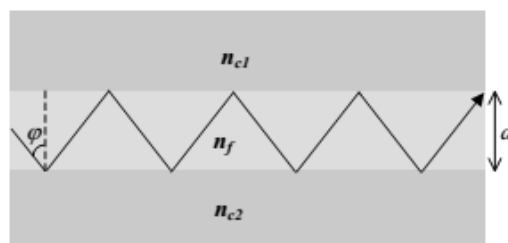
- Một môi trường tạo ra sự khuếch đại quang bởi phát xạ kích thích.
- Một dẫn sóng quang để giam giữ các photon trong miền tích cực của linh kiện.
- Một buồng cộng hưởng tạo ra sự hồi tiếp quang.
- Sự giam giữ dòng bơm vào, các hạt tải và các photon theo chiều ngang cần thiết cho hoạt động đơn mode ngang (mode không gian) cơ bản.

1.1.3. Khuếch đại quang và điều kiện ngưỡng

Trong laser bán dẫn sự khuếch đại quang đạt được trong vật liệu lớp tích cực. Trong trường hợp này, sự tăng theo hàm mũ của cường độ sóng quang có thể được diễn tả bởi một giá trị âm của α tương ứng với hệ số khuếch đại quang $g = -\alpha$. Trong dẫn sóng quang, chỉ một phần cường độ của một quang nằm trong vùng tích cực mà thông thường nằm ở trong lõi của dẫn sóng quang.

1.1.4. Dẫn sóng và buồng cộng hưởng [13]

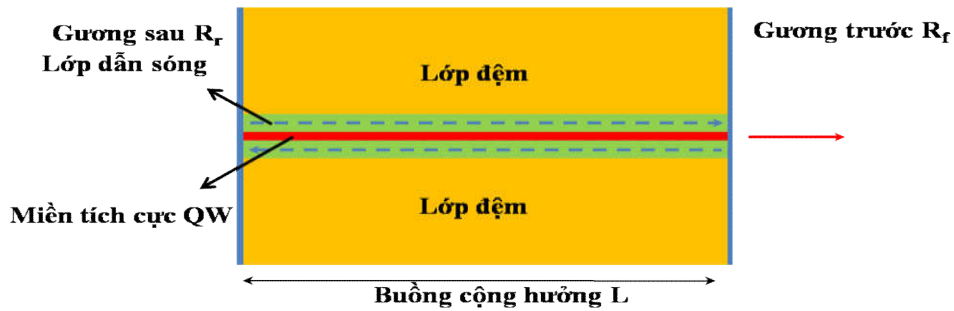
Laser bán dẫn hoạt động đòi hỏi một điều kiện quan trọng, cụ thể là dẫn sóng của sóng quang học trong miền tích cực. Đơn giản là theo hướng thẳng đứng, dẫn sóng dựa trên tổng số phản xạ nội của sóng quang tại hai giao diện theo luật của Snell, xem Hình 1.9.



Hình 1.9: Sơ đồ của một ống dẫn sóng ba lớp. [13]

Điều kiện cuối cùng được đề cập liên quan tới dao động laser là điều kiện buồng cộng hưởng. Hầu như tất cả các buồng cộng hưởng laser bán dẫn có thể

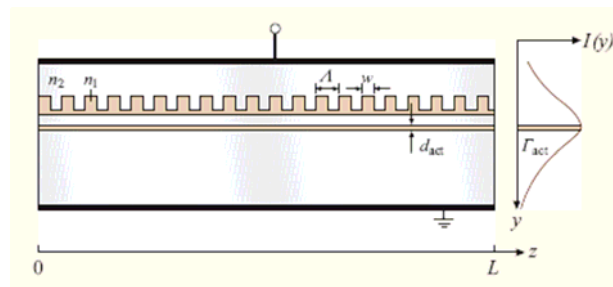
được xem như buồng cộng hưởng Fabry-Perot. Buồng cộng hưởng Fabry-Perot bao gồm hai gương được song song với nhau. Đối với laser bán dẫn để hai gương song song dựa trên việc tách các mặt của tinh thể bán dẫn một cách hợp lý. Các mặt của laser bán dẫn được phủ với độ phản xạ cao ở phía sau và với độ phản xạ thấp ở mặt trước sao cho phù hợp với tỉ lệ công suất hiệu dụng của hệ laser. Cấu hình của một laser bán dẫn được dựa trên buồng cộng hưởng Fabry-Perot được thể hiện trong Hình 1.11.



Hình 1.11: Cấu hình của laser bán dẫn sử dụng buồng cộng hưởng Fabry-Perot.

1.2. Laser bán dẫn công suất cao DFB

Trọng tâm của phần này nêu một số đặc điểm cơ bản của laser DFB (laser phản hồi phân bố) bằng việc đưa vào buồng cộng hưởng một cách tử lọc lựa bước sóng. Trong laser DFB phản hồi quang không được bố trí ở các mặt gương mà được phân bố trong suốt chiều dài buồng cộng hưởng. Do có cách tử trong buồng cộng hưởng đã làm thay đổi cơ chế lọc lựa mode. Hình 1.12 cho thấy cấu trúc điển hình của một laser bán dẫn DFB với một cách tử Bragg nằm ngoài vùng tích cực.



Hình 1.12: Sơ đồ cấu trúc laser DFB tích hợp cách tử Bragg, cường độ phân bố theo chiều ngang I_x . [17]

Phản hồi quang xảy ra dựa trên nguyên lý nhiễu xạ Bragg, khi kết hợp các sóng truyền theo hai hướng từ phía trước và phía sau. Cơ chế chọn lọc mode dọc tuân theo điều kiện Bragg.