

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
KHOA KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ XÃ HỘI**

**TRƯƠNG THỊ LUYẾN  
Lớp: CN Lý K2**

**TÌM HIỂU CƠ CHẾ BƠM LASER RẮN  
BẰNG LASER BÁN DẪN**

**KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC  
NGÀNH VẬT LÝ  
CHUYÊN NGÀNH VẬT LÝ CHẤT RẮN**

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN: TH.S. NGUYỄN VĂN HẢO**

**THÁI NGUYÊN – 2008**

## *Lời cảm ơn*

*Lời đầu tiên trong khóa luận này, cho phép tôi gửi lời cảm ơn sâu sắc tới toàn thể các thầy cô giáo, những người đã hết mình truyền thụ cho chúng tôi những kiến thức vô cùng cần thiết trong suốt quá trình học tập vừa qua.*

*Với tình cảm chân thành, tôi xin gửi lời cảm ơn và bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất tới Ths. Nguyễn Văn Hào, người thầy đã luôn tận tình hướng dẫn, trực tiếp truyền thụ cho tôi những kiến thức, những ý tưởng khoa học mới mẻ và sâu sắc cùng những kinh nghiệm hết sức cần thiết và quý báu trong suốt quá trình học tập và hoàn thành bản khóa luận này.*

*Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy, cô và các cán bộ ở Trung tâm Lượng tử học điện tử - Viện Vật lý & Điện tử đã tận tình hướng dẫn và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt quá trình thực nghiệm thực hiện khóa luận.*

*Sau cùng, tôi xin gửi tới những người thân trong gia đình lòng biết ơn sâu sắc và toàn thể bạn bè, những người đã luôn bên tôi, động viên, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập.*

Thái nguyên, ngày 29 tháng 05 năm 2008

Sinh viên

**Trương Thị Luyến**

## Mục lục

|  | Trang     |
|--|-----------|
| Mở đầu .....   | 1         |
| <b><u>PHẦN 1. LÝ THUYẾT</u></b> .....                          | <b>4</b>  |
| <b>Chương I. Tổng quan về laser bán dẫn và laser rắn</b> ..... | <b>4</b>  |
| 1.1. Laser bán dẫn .....                                       | 4         |
| 1.1.1. Sự hấp thụ và bức xạ trong bán dẫn .....                | 4         |
| 1.1.2. Tiếp xúc p – n .....                                    | 6         |
| 1.1.3. Điều kiện nghịch đảo độ tích lũy trong bán dẫn.....     | 7         |
| 1.1.4. Buồng cộng hưởng laser bán dẫn .....                    | 9         |
| 1.1.5. Điều kiện phát đối với laser bán dẫn .....              | 9         |
| 1.1.6. Đặc trưng của laser bán dẫn .....                       | 10        |
| 1.2. Laser rắn.....  | 10        |
| 1.2.1. Laser Ruby .....  | 11        |
| 1.2.2. Laser Neodym.....                                       | 13        |
| <b>Chương II. Cơ chế bơm cho laser rắn</b> .....               | <b>17</b> |
| 2.1. Các Cơ chế bơm cho laser .....                            | 17        |
| 2.1.1. Bơm quang học.....                                      | 17        |
| 2.1.2. Bơm điện.....   | 18        |
| 2.2. Cơ chế bơm cho laser rắn .....                            | 19        |
| 2.2.1. Bơm bằng nguồn sáng không kết hợp .....                 | 19        |
| 2.2.2. Bơm bằng nguồn sáng kết hợp .....                       | 24        |
| 2.3. Cơ chế bơm cho laser rắn bằng laser bán dẫn .....         | 25        |
| 2.3.1. Nguồn bơm bằng laser bán dẫn .....                      | 25        |
| 2.3.2. Cấu hình bơm.....                                       | 27        |
| <b><u>PHẦN 2: THỰC NGHIỆM</u></b> .....                        | <b>29</b> |
| <b>Chương III: Kết quả thực nghiệm</b> .....                   | <b>29</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1. Thiết kế, khảo sát hệ laser rắn $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ bơm bằng laser diode .... | 29        |
| 3.2. Nghiên cứu và khảo sát các thông số hoạt động của laser diode ATC<br>.....              | 31        |
| 3.2.1. Khảo sát đặc trưng dòng – công suất của laser diode ATC .....                         | 32        |
| 3.2.2. Khảo sát đặc trưng phổ của laser diode.....   | 35        |
| 3.3 Khảo sát tìm ngưỡng phát laser $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ .....                            | 36        |
| 3.4. Khảo sát sự phụ thuộc của ngưỡng phát vào hệ số phản xạ gương ra                        | 38        |
| <b>KẾT LUẬN</b> .....  | <b>41</b> |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....  | <b>43</b> |

## MỞ ĐẦU

Từ khi được phát minh cho tới nay, vật lý và công nghệ laser đã không ngừng được nghiên cứu và phát triển. Đặc biệt nhờ những tiến bộ trong lĩnh vực khoa học vật liệu quang tử và quang điện tử, các laser ngày càng được phát triển đa dạng về chủng loại do vậy ngày càng đáp ứng được các nhu cầu sử dụng rộng rãi trong hầu hết các lĩnh vực nghiên cứu khoa học và ứng dụng hiện đại.

Các laser rắn hiện nay – mà trong đó sử dụng môi trường hoạt chất pha tạp ion Neodym ( $Nd^{3+}$ ) – đang chiếm một tỉ phần lớn. Loại laser này là một nguồn bơm quang học quan trọng được sử dụng rất rộng rãi trong các phòng thí nghiệm quang học và quang phổ. Hiện nay, các laser Neodym vẫn chủ yếu được bơm bằng đèn flash với hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser khá thấp, chỉ khoảng 1 – 2%. Năng lượng của đèn bơm bị mất mát chủ yếu dưới dạng nhiệt, gây ra những hiệu ứng không mong muốn cho môi trường hoạt chất – vì vậy các laser này đòi hỏi phải có các hệ thống làm nguội phức tạp và cồng kềnh. Nguyên nhân làm hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser thấp đó là do phổ phát xạ của đèn flash có phân bố rất rộng so với phổ hấp thụ của ion Neodym (có thể trong một dải hấp thụ hẹp khoảng 2 nm).

Các nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu suất biến đổi năng lượng trong laser Neodym cũng như các phương pháp nhằm cải tiến đèn flash đều không mang lại hiệu quả cao. Rất may mắn, nhờ sự phát triển của công nghệ laser bán dẫn gần đây, công suất phát laser bán dẫn có thể đạt tới hàng chục oát (W) với phổ phát xạ có thể tập trung trong một khoảng phổ hẹp (2 ÷ 3 nm) và đặc biệt có thể phù hợp tốt với phổ hấp thụ của các tinh thể laser. Do vậy, các phương pháp quang học bằng laser bán dẫn để bơm cho laser rắn đã được phát triển

mạnh mẽ. Phương pháp này làm cho hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser được nâng lên đáng kể, đồng thời cấu hình – kích thước laser rắn được trở nên gọn hơn rất nhiều. Nhìn chung, với các cấu hình bơm khác nhau, hiệu suất chuyển đổi năng lượng khi bơm bằng laser bán dẫn có thể đạt từ 10% ÷ 60%.

Ngoài ra, việc bơm bằng laser bán dẫn hạn chế được những nhược điểm cố hữu của phương pháp bơm bằng đèn flash như: hiệu ứng thấu kính nhiệt trong thanh hoạt chất gây ra sự phát laser không ổn định, tăng độ phân kì của chùm tia và sự hấp thụ ở vùng tử ngoại làm phá hủy thanh hoạt chất. Chính những ưu điểm của phương pháp bơm quang học bằng laser bán dẫn mà hiện nay xu hướng sử dụng nguồn laser bán dẫn để làm nguồn bơm cho laser rắn đang được phát triển rất mạnh.

Các phòng thí nghiệm về vật lý (quang học và quang phổ), vật liệu và y – sinh học và đặc biệt các cơ sở đào tạo đại học ở nước ta hiện nay đang có nhu cầu sử dụng các laser Neodym như là nguồn ánh sáng kết hợp trong nghiên cứu khoa học, ứng dụng và đào tạo là rất lớn. Tuy nhiên, giá thành các laser Neodym được bơm bằng đèn flash là khá cao (30.000 ÷ 50.000 USD) và phải mua từ nước ngoài. Do vậy, chỉ có một số ít các phòng thí nghiệm có khả năng được trang bị các nguồn laser này.

Tại Việt Nam, cho đến nay mới có phòng thí nghiệm trọng điểm về Lượng tử học điện tử - Viện Vật lý & Điện tử thuộc Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam nghiên cứu và phát triển các hệ laser rắn được bơm bằng laser bán dẫn. Vì vậy, việc nghiên cứu các cơ chế bơm laser rắn bằng laser bán dẫn và tiến hành thiết kế, xây dựng hệ laser này là rất cần thiết và có nhiều ý nghĩa về khoa học cũng như ứng dụng thực tiễn.

Nội dung của khóa luận này là nhằm tìm hiểu cơ chế bơm laser rắn bằng laser bán dẫn. Cụ thể là nghiên cứu, xây dựng một hệ laser rắn  $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$

được bơm bằng laser diode công suất cao ATC, đồng thời tiến hành nghiên cứu các đặc trưng hoạt động của hệ laser rắn này. Do đó, nội dung của khóa luận ngoài phần mở đầu và kết luận được chia làm hai phần:

### ***Phần 1: Lý thuyết***

#### **Chương I: Tổng quan về laser bán dẫn và laser rắn**

- *Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của laser bán dẫn.*
- *Cấu trúc năng lượng và nguyên lý hoạt động 4 mức năng lượng của laser rắn ( $Nd^{3+}$ ).*

#### **Chương II: Cơ chế bơm cho laser rắn**

- *Bơm bằng nguồn sáng không kết hợp (đèn flash, hồ quang...).*
- *Bơm bằng nguồn sáng kết hợp (laser).*

### ***Phần 2: Thực nghiệm***

#### **Chương III: Kết quả thực nghiệm**

- *Kết quả thiết kế, xây dựng hệ laser rắn bơm bằng laser diode công suất cao khi sử dụng cấu hình bơm dọc.*
- *Kết quả nghiên cứu đặc trưng hoạt động của nguồn bơm.*
- *Kết quả khảo sát đặc trưng công suất laser rắn ( $Nd^{3+}$ ) phụ thuộc vào công suất bơm (laser diode).*

**PHẦN 1: LÝ THUYẾT.**

**CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ LASER BÁN DẪN  
VÀ LASER RẮN.**

**1.1. Laser bán dẫn.**

Laser bán dẫn đặc biệt nhờ tính nhỏ gọn, hiệu suất cao, chế tạo thuận lợi. Do đó, loại laser này được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực [3]. Để hiểu rõ hơn về laser bán dẫn chúng ta đi xét một số dịch chuyển quang học và tính chất đặc trưng của chất bán dẫn.

**1.1.1. Sự hấp thụ và bức xạ trong bán dẫn.**

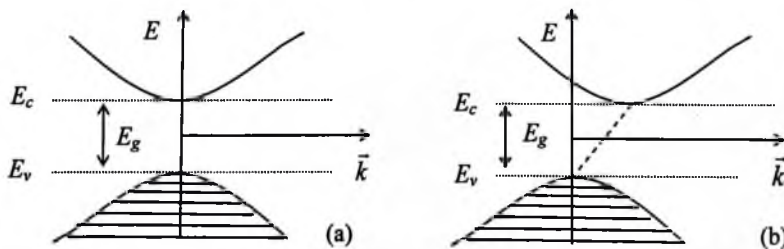
Theo lý thuyết vùng năng lượng, trong chất bán dẫn có ba vùng năng lượng. Đó là vùng hoá trị, vùng cấm và vùng dẫn.

Năng lượng  $E$  của điện tử là hàm của xung lượng  $\vec{P}$  hay vectơ sóng  $\vec{k}$  được biểu diễn theo biểu thức:

$$E = \frac{P^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m} k^2 \tag{1.1}$$

trong đó:  $m$  là khối lượng hiệu dụng của điện tử.

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$  là hằng số Plank rút gọn ( $h$  là hằng số Plank).



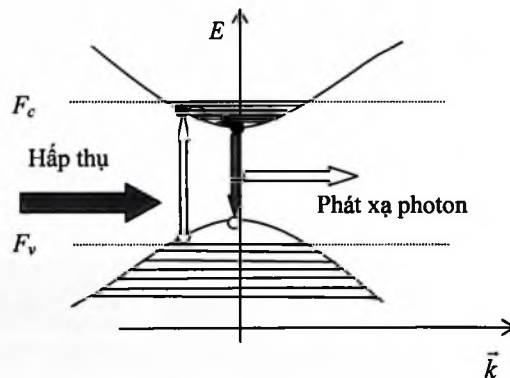
**Hình 1.1.** Cấu trúc vùng năng lượng trong bán dẫn [4]

- (a) Bán dẫn trực tiếp,
- (b) Bán dẫn gián tiếp.



Năng lượng của điện tử ở vùng hoá trị và vùng dẫn của chất bán dẫn trực tiếp và chất bán dẫn gián tiếp có thể được biểu diễn theo vectơ sóng  $\vec{k}$  như trên hình 1.1.

Dưới tác động của trường ngoài, các điện tử nằm ở vùng hoá trị hấp thụ năng lượng. Khi năng lượng hấp thụ  $E > E_g$  thì các điện tử dịch chuyển từ vùng hoá trị lên vùng dẫn. Khi đó, trong vùng hoá trị xuất hiện các lỗ trống. Điện tử dịch chuyển từ vùng dẫn về vùng hoá trị sẽ tái hợp với lỗ trống ở vùng hoá trị và cho bức xạ tái hợp. Các quá trình hấp thụ và bức xạ này được biểu diễn trên hình 1.2.



**Hình 1.2.** Sự hấp thụ và phát xạ trong chất bán dẫn [4]  
 $F_c$ : mức giả fermi trong vùng dẫn  
 $F_v$ : mức giả fermi trong vùng hoá trị

Tùy theo chất bán dẫn mà bức xạ tái hợp là bức xạ tái hợp trực tiếp hay bức xạ tái hợp gián tiếp.

+) *Bức xạ trực tiếp* xảy ra trong bán dẫn trực tiếp. Trong quá trình bức xạ tái hợp này có sự bảo toàn năng lượng, xung lượng và xác suất phát xạ một photon là lớn nhất.

+) *Bức xạ gián tiếp* xảy ra trong bán dẫn gián tiếp, quá trình bức xạ tái hợp có thể do: bức xạ hai photon hoặc bức xạ một photon kèm theo bức xạ hoặc hấp thụ một phonon.

Theo thống kê Fermi – Dirac, xác suất mà một trạng thái năng lượng  $E$  trên vùng dẫn và vùng hoá trị bị chiếm là:

$$f_c = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - F_c}{kT}\right)} \quad f_v = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - F_v}{kT}\right)} \quad (1.2)$$

trong đó:  $F_c, F_v$  tương ứng là mức giả Fermi của vùng dẫn và vùng hoá trị ;

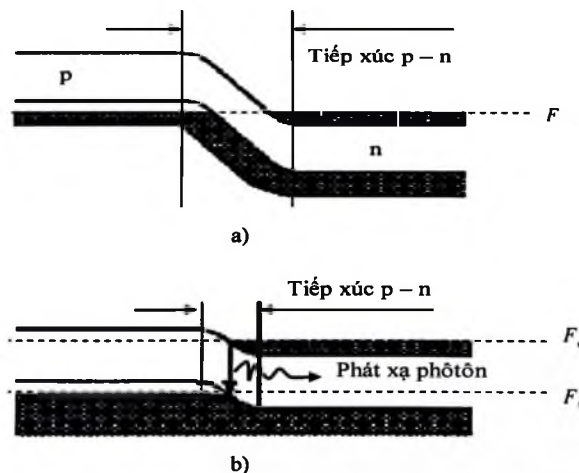
$T$  là nhiệt độ tuyệt đối ;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  [J/K] là hằng số Boltzmann.

### 1.1.2. Tiếp xúc p – n.

Từ chất bán dẫn thuần chúng ta có thể tạo ra bán dẫn loại p và bán dẫn loại n tùy theo nguyên tử pha tạp.

Khi ta cho hai loại bán dẫn này tiếp xúc với nhau thì sẽ tạo được một lớp tiếp xúc p – n trong đó có sự cân bằng mức Fermi.



**Hình 1.3.** Sự biến đổi năng lượng tại lớp tiếp xúc p – n [8].

a) Khi chưa có trường ngoài; b) Khi đặt trường ngoài theo phân cực thuận.