

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN VẬT LÝ**



ĐỖ QUỐC KHÁNH

**NGHIÊN CỨU VẬT LÝ VÀ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ LASER
RẮN Nd:YVO₄ PI-CÔ-GIÂY BIẾN ĐIỀU THỤ ĐỘNG,
BƠM BẰNG LASER BÁN DẪN**

Chuyên ngành: Quang học

Mã số: 62 44 11 01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Hà Nội, 2010

Công trình được hoàn thành tại: Trung tâm Điện tử học lượng tử, Viện Vật lý,
Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

1. **GS. TS. Nguyễn Đại Hưng**
2. **GS. TSKH. Hoàng Xuân Nguyên**

Phản biện 1: PGS. TS. Nguyễn Thế Bình

Phản biện 2: GS. TSKH. Vũ Xuân Quang

Phản biện 3: TS. Tạ Văn Tuấn

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án
cấp Nhà nước tại Viện Vật lý

Vào hồi: 14 giờ, ngày 19 tháng 11 năm 2010.

Có thể tìm hiểu luận án tại Thư viện Viện Vật lý, Thư viện Quốc gia Hà Nội

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Do Quoc Khanh**, Nguyen T. Nghia, Le TT. Nga, Pham Long and Nguyen Dai Hung, “*Semiconductor Saturable Absorber Mirror (SESAM) used for generation of passively mode-locking ultrashort Nd:YVO₄ laser pulse*”, *Asean Journal on Sciences and Technology for Development*, Vol. 24, pp. 59-65, 2007.
2. Nguyen T. Nghia, **Do Quoc Khanh**, Trinh D. Huy, Le T.T. Nga and Nguyen Dai Hung, “*Research and Development passively Q-switch Nd:YVO₄ laser using Cr:YAG crystal as saturable absorber*”, *Asean Journal on Sciences and Technology for Development*, Vol. 24, pp. 139 - 146, 2007.
3. **Do Quoc Khanh**, Nguyen Trong Nghia, Galieno Denardo, Vu Thi Bich, Pham Long, and Nguyen Dai Hung, “*Generation of Pico-second Laser Pulses at 1064 nm From All Solid-state Passively Mode-locked Lasers*”, *Communications in Physics*, Vol. 19, pp. 125 – 136, 2009.
4. Nguyen Trong Nghia, **Do Quoc Khanh**, Nguyen Dai Hung and Philippe Brechignac, “*Research and Development of Diode-pumped Solid-state Nd³⁺: Doped Lasers*”, *Communications in Physics*, Vol. 19, pp. 145 – 155, 2009.
5. **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Phạm Long, Trịnh Đình Huy và Nguyễn Đại Hưng, “*Nghiên cứu và phát triển hệ laser Nd:YVO₄ được bơm bằng laser bán dẫn để phát xung ngắn mode-locking*”, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Vật lý Toàn quốc*, pp. 406 - 409, 2005.
6. **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Phạm Long và Nguyễn Đại Hưng, “*Các đặc trưng của laser Nd:YVO₄ phát liên tục, hiệu suất cao được bơm bằng laser bán dẫn*”, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Vật lý Toàn quốc*, pp. 410 - 413, 2005.
7. **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Đoàn Hoài Sơn, Lê Quang Phương và Nguyễn Đại Hưng, “*Phát triển một thiết bị đo tức thời độ dài xung laser cực ngắn có tần số lặp lại cao*”, *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy and Applications*, VNUH Publisher, pp. 303 - 308, 2006.
8. Vũ Thị Thùy Dương, **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Trịnh Đình Huy, Nguyễn Thanh Bình và Nguyễn Đại Hưng, “*Nghiên cứu sự truyền năng lượng trong hỗn hợp chất màu laser rắn bằng đo thời gian sống huỳnh quang với laser pi-cô-giây*”, *Hội nghị Vật lý chất rắn Toàn quốc lần thứ V*, pp. 1047 - 1050, 2007.
9. Nguyễn Trọng Nghĩa, Nguyễn Đình Hoàng, **Đỗ Quốc Khánh**, Trần Thị Thanh Vân, Phạm Long và Nguyễn Đại Hưng, “*Sử dụng gương bán dẫn hấp thụ bão hòa (SESAM) để phát các xung laser na-nô-giây ở tần số lặp lại tới 1250 KHz*”, *Hội nghị Vật lý chất rắn Toàn quốc lần thứ V*, pp. 896 – 899, 2007.
10. **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Nguyễn Đình Hoàng, Nguyễn Xuân Tuấn và Nguyễn Đại Hưng, “*Nguồn phát xung laser picô-giây tử ngoại tần số lặp lại cao, toàn rắn và kích thước nhỏ*”, *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy and Applications*, VNUH Publisher, pp. 266 - 271, 2008.
11. **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Trọng Nghĩa, Nguyễn Đình Hoàng, Nguyễn Văn Hào và Nguyễn Đại Hưng, “*Phát triển một hệ thống laser Nd: YVO₄ mode-locking thụ động phát xung pico-giây có tần số lặp lại xung laser thấp*”, *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy and Applications*, VNUH Publisher, pp. 288 - 293, 2008.
12. Nguyễn Trọng Nghĩa, Nguyễn Đình Hoàng, **Đỗ Quốc Khánh**, Nguyễn Đại Hưng, Hoàng Hữu Hoà, “*Động học của các laser rắn Nd:YVO₄ được biến điệu thụ động bằng SESAM được bơm liên tục bằng laser bán dẫn*”, *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy and Applications*, VNUH, pp. 298 - 302, 2008.

Mở đầu

Ngay từ khi laser mới xuất hiện, việc nghiên cứu phát các xung laser ngắn đã được quan tâm. Cuối những năm 1960, xuất hiện các laser biến điệu độ phẩm chất buồng cộng hưởng cho phép phát được các xung “khổng lồ” có độ rộng xung cỡ nano-giây. Với sự phát minh ra các phương pháp khóa mode chủ động và bị động vào khoảng cuối những năm 1970, ranh giới của miền picô-giây đã được vượt qua. Các cấu hình laser mới đã cho phép phát các xung cỡ pi-cô-giây và công suất lên tới 10^{10} W [63], [88]. Chúng cho phép ta quan sát được rất nhiều hiệu ứng phi tuyến thú vị chẳng hạn như sự tự điều biến pha, tán xạ Raman cưỡng bức, sự phát tham số quang học điều chỉnh bước sóng... Vào những năm đầu của thập kỷ 80 (thế kỷ 20), các kỹ thuật mới như khóa mode va chạm xung đã cho phép phát xung laser cỡ vài chục femtô-giây [10], [22], [76], [89]. Cuối những năm 90 của thế kỷ 20, người ta đã đạt tới kỷ lục về phát xung laser cực ngắn với độ rộng xung cỡ dưới 10 fs [25], [26], [27], [47], [58], [87], [91], [92] và hiện nay đã phát được xung laser cực ngắn với độ rộng tới hàng trăm attô-giây [33], [69], [70]. Sự phát triển các laser xung cực ngắn đã dẫn đến sự ra đời và phát triển các phương pháp quang phổ laser phân giải thời gian. Phương pháp này cho phép làm sáng tỏ các quá trình quá độ cực nhanh xảy ra trong vật lý, sinh học, hóa học... Đây là một lĩnh vực khoa học hiện đại đã và đang phát triển rất mạnh mẽ trên thế giới và điều kiện tiên quyết cho các nghiên cứu này là phải có các nguồn laser xung cực ngắn.

Các laser rắn phát xung ngắn, mà trong đó laser Neodymium chiếm một tỉ phần lớn - là một nguồn kích thích quang học quan trọng đã và đang được sử dụng rộng rãi trong các phòng thí nghiệm quang học và quang phổ. Hiện nay, các laser Neodymium vẫn chủ yếu được bơm bằng đèn flash với hiệu suất chuyển đổi năng lượng khá thấp chỉ khoảng 1% đến 2% [32], [59].

Nguyên nhân làm hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser thấp đó là do đèn flash có phổ phát xạ phân bố rộng trong khi đó môi trường laser Neodymium chỉ có thể hấp thụ trong một dải phổ hấp thụ hẹp ($2 \div 3$) nm. Năng lượng của đèn bơm bị mất mát chủ yếu dưới dạng nhiệt vì vậy các laser này đòi hỏi phải có các hệ thống làm mát phức tạp dẫn đến cấu hình laser cồng kềnh. Các nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser cũng như các phương pháp nhằm cải tiến đèn flash đều không mang lại hiệu quả cao.

Ngày nay, nhờ sự phát triển của công nghệ laser bán dẫn, công suất phát của laser bán dẫn có thể đạt tới hàng trăm oát (W) [44] với phổ phát xạ tập trung trong một khoảng phổ hẹp ($2 \div 3$) nm, phù hợp với phổ hấp thụ của các tinh thể laser. Do vậy, ngay lập tức phương pháp bơm quang học bằng laser bán dẫn để bơm cho laser rắn đã được phát triển mạnh mẽ. Với phương pháp này hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser được nâng lên đáng kể đồng thời cấu hình laser cũng được thu gọn hơn. Với các cấu hình bơm khác nhau, hiệu suất chuyển đổi năng lượng laser khi bơm bằng laser bán dẫn có thể đạt từ 10% đến 80% [32]. Ngoài ra, việc bơm bằng laser bán dẫn cũng 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 kỳ 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 bằng laser bán dẫn mà hiện nay xu hướng sử dụng nguồn laser bán dẫn để làm nguồn bơm cho các laser rắn đang được phát triển rất mạnh.

Trong các phòng thí nghiệm quang học và quang phổ ở nước ta hiện nay, nhu cầu sử dụng laser Neodymium trong nghiên cứu khoa học là rất lớn. Tuy nhiên, các laser Neodymium chủ yếu được bơm bằng đèn flash và phải mua từ nước ngoài với giá thành khá cao ($30.000 \div 50.000$) USD. Do vậy, chỉ có một số ít các phòng thí nghiệm được trang bị các nguồn laser này.

Một yêu cầu ngày càng cao trong ứng dụng, nghiên cứu và đào tạo hiện nay là nhu cầu sử dụng các hệ thống laser xung cực ngắn để nghiên cứu các quá trình động học, các hiện tượng cực nhanh đang được nhiều cơ quan khoa học mong muốn. Để phát các xung laser ngắn chúng ta có thể được sử dụng các kỹ thuật như: biến điệu độ phẩm chất, chiết tách năng lượng buồng cộng hưởng và các kỹ thuật khóa mode trong buồng cộng hưởng... Gần đây (năm 2000), một kỹ thuật rất hiệu quả đã được đề nghị để phát xung ngắn từ laser rắn (được bơm bằng laser bán dẫn) dựa trên kỹ thuật khóa mode sử dụng gương bán dẫn hấp thụ bão hoà (SESAM) [12], [14], [48], [50], [63], [73], [81]. Đây là một kỹ thuật có nhiều ưu điểm như: tạo ra xung laser ngắn (ps ÷ fs), tần số lặp lại cao (10 ÷ 100) MHz, công suất trung bình lớn, cho phép phát triển các nguồn laser phát xung cực ngắn với kết cấu đơn giản, kích thước nhỏ gọn.

Ở nước ta hiện nay, việc phát triển vật lý và công nghệ laser rắn xung ngắn bơm bằng laser bán dẫn chưa được thực hiện trong khi đó nhu cầu ứng dụng của các laser rắn xung ngắn trong nghiên cứu và đào tạo là cấp bách, đặc biệt ở các viện nghiên cứu về vật lý, khoa học vật liệu, thông tin quang học, sinh học... Việc nghiên cứu các hiện tượng và quá trình động học cực nhanh trong vật lý, hóa học, y - sinh học... cho đến nay còn rất hạn chế mà nguyên nhân trực tiếp là thiếu các nguồn laser xung cực ngắn. Do vậy, vấn đề nghiên cứu và phát triển các laser rắn xung ngắn, bơm bằng laser bán dẫn có ý nghĩa khoa học công nghệ cao và có tính ứng dụng thực tiễn trực tiếp tại Việt Nam. Cụ thể các ý nghĩa này là:

Thứ nhất, nó cho phép ta làm chủ khoa học và công nghệ laser xung ngắn, tạo tiền đề cho sự phát triển các phương pháp quang phổ laser hiện đại.

Thứ hai, trực tiếp đào tạo ra những cán bộ khoa học làm việc trên lĩnh vực khoa học công nghệ này.

Thứ ba, việc tự xây dựng các hệ laser rắn phát xung cực ngắn tại Việt Nam sẽ cho phép tiết kiệm chi phí vì các hệ laser xung cực ngắn thương mại rất đắt tiền.

Cùng với sự phát triển của công nghệ laser bán dẫn, chúng tôi thấy rằng hoàn toàn có thể xây dựng một hệ laser rắn (Neodymium) phát xung cực ngắn bơm bằng laser bán dẫn tại Việt Nam. Với tầm quan trọng và ý nghĩa về khoa học công nghệ cũng như tính ứng dụng thực tiễn cao tại Việt Nam, bản luận án này được thực hiện với tiêu đề: **“Nghiên cứu Vật lý và phát triển Công nghệ laser rắn Nd:YVO₄ picô-giây biến điệu thụ động, bơm bằng laser bán dẫn”**

Mục đích của đề tài: Nghiên cứu, phân tích các môi trường laser rắn thông dụng bơm bằng laser bán dẫn, vật lý và công nghệ của laser bán dẫn. Nghiên cứu các phương pháp phát xung laser ngắn bằng kỹ thuật khóa mode trong BCH, đặc biệt là phương pháp phát xung khóa mode thụ động với bộ hấp thụ bão hòa là gương bán dẫn hấp thụ bão hòa (SESAM). Nghiên cứu, phát triển kỹ thuật đo và đánh giá độ rộng xung laser cực ngắn, tần số lặp lại cao. Nghiên cứu chế tạo một hệ laser rắn Nd:YVO₄ xung ngắn (picô-giây) hoàn chỉnh và ứng dụng vào một số nghiên cứu vật lý quang phổ hiện đại như: phổ phân giải thời gian, các phép đo thời gian sống...

Đối tượng nghiên cứu: Với mục tiêu nghiên cứu và phát triển một hệ laser rắn (Neodymium) phát xung ngắn khóa mode thụ động bơm bằng laser bán dẫn, các đối tượng sau sẽ lần lượt được nghiên cứu: Các môi trường laser rắn đặc biệt là môi trường laser pha tạp ion Nd³⁺; Vật lý và công nghệ của laser bán dẫn; Các kỹ thuật phát xung laser cực ngắn (tập trung phân tích phương pháp phát xung laser cực ngắn khóa mode thụ động bằng hấp thụ bão hòa; Vật lý và công nghệ của gương bán dẫn hấp thụ bão hòa; Các kỹ thuật đo lường xung laser ngắn, tần số lặp lại cao).

Cơ sở để thực hiện luận án này đó là quá trình làm việc liên tục tại phòng thí nghiệm Quang tử – Phân tử, Viện Vật lý với điều kiện vật chất, trang thiết bị thí nghiệm hiện đại. Đề tài này cũng nằm trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu Khoa học Công nghệ cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam với tiêu đề: “**Vật lý và Công nghệ các laser rắn phát xung ngắn picô-giây được bơm bằng laser bán dẫn**” dưới sự chủ trì của GS.TS. Nguyễn Đại Hưng. Đây cũng là quá trình phát triển liên tục từ luận văn Thạc sỹ Vật lý của nghiên cứu sinh với đề tài: “**Nghiên cứu và phát triển một hệ laser Nd:YVO₄ được bơm bằng laser diode**”. Đặc biệt được sự hướng dẫn trực tiếp của GS.TS. Nguyễn Đại Hưng và GS.TSKH. Hoàng Xuân Nguyên là các chuyên gia nhiều kinh nghiệm trong lĩnh vực laser xung ngắn. Trên cơ sở đó, nội dung luận án được đề nghị gồm 04 chương như sau:

Chương 1: Laser bán dẫn và môi trường laser rắn bơm bằng laser bán dẫn

Trong chương này, chúng tôi trình bày các tính chất của các môi trường laser rắn phổ biến được bơm bằng laser bán dẫn. Tập trung phân tích các đặc điểm của môi trường laser pha tạp ion Nd³⁺.

Chương 2: Phương pháp phát xung laser cực ngắn bằng kỹ thuật khóa mode buồng cộng hưởng

Trong chương này, chúng tôi phân tích các phương pháp phát xung ngắn, giới thiệu tổng quan lý thuyết của laser khóa mode, tập trung vào các phương pháp khóa mode thụ động đặc biệt là phương pháp khóa mode thụ động với gương bán dẫn hấp thụ bão hòa (SESAM).

Chương 3: Nghiên cứu và phát triển hệ laser Nd:YVO₄ khóa mode thụ động với gương bán dẫn hấp thụ bão hòa được bơm bằng laser bán dẫn

Trong phần này, chúng tôi giới thiệu các nghiên cứu và phát triển hệ laser Nd:YVO₄ khóa mode thụ động với gương bán dẫn hấp thụ bão hòa, các

tính toán, mô phỏng, thiết kế cho các cấu hình buồng cộng hưởng khác nhau. Các đặc trưng và một số ứng dụng với hệ laser này.

Chương 4: Phát triển hệ đo độ rộng xung, khuếch đại năng lượng laser và phát triển một số ứng dụng với hệ laser khóa mode

Nội dung của chương này giới thiệu các nghiên cứu, phát triển về các hệ đo độ rộng xung laser cực ngắn, hệ khuếch đại năng lượng laser, chuyển đổi bước sóng laser và một số ứng dụng với hệ laser khóa mode.

Bản luận án này được thực hiện tại Trung tâm Điện tử học lượng tử - Viện Vật lý dưới sự hỗ trợ về tài chính từ Chương trình Nghiên cứu Khoa học cơ bản (Ngành Vật lý, Đề tài N^o.440 604), Chương trình Laser của Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam và của Viện hàn lâm Khoa học các nước Thế giới thứ III (02-548RG/PHYS/AS), Chương trình hợp tác khoa học giữa Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam với Trung tâm Quốc gia về Nghiên cứu Khoa học (CNRS) - Cộng hoà Pháp.