



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0052822

(51)^{2022.01} H01S 3/08; H01S 3/042; H01S 3/07; (13) B
H01S 5/024; H01S 5/00; H01S 5/02;
H01S 5/022; H01S 3/04

(21) 1-2023-06884

(22) 03/10/2023

(45) 27/10/2025 451

(43) 25/01/2024 430A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.

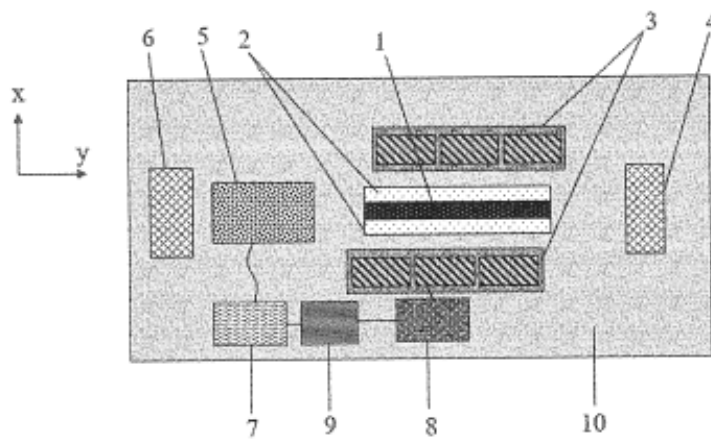
(72) Vũ Văn Tuấn (VN); Nguyễn Tuấn Anh (VN); Tô Bảo Đồng (VN); Cao Xuân Dục (VN); Hoàng Văn Thịnh (VN); Dương Duy Khanh (VN); Lê Văn Quy (VN); Vũ Quang Huy (VN); Nguyễn Văn Mạnh (VN); Nguyễn Duy Khánh (VN); Đàm Mạnh Tiến (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) CƠ CẤU KHOANG KHUẾCH ĐẠI LA-DE NĂNG LƯỢNG CAO SỬ DỤNG
CÔNG NGHỆ BƠM CẠNH VÀ KHOÁ BIẾN ĐIỆU PHẨM CHẤT CHỦ ĐỘNG

(21) 1-2023-06884

(57) Sáng chế đề xuất cơ cấu khoang khuếch đại la-de năng lượng cao sử dụng công nghệ bơm cạnh và khoá biến điệu phẩm chất chủ động với hệ gá cơ khí có kết cấu đặc biệt lắp đặt được bốn, sáu hoặc tám la-de đi-ốt cùng bơm vào một thanh hoạt chất. Mỗi la-de đi-ốt đều được gắn một thấu kính chuẩn trực trực tiếp nhanh với tiêu cự được lựa chọn trong khoảng 0,2 mm tới 1 mm để điều chỉnh kích thước chùm bơm cho la-de. Các nguồn bơm la-de đi-ốt được lắp đặt đều về hai phía của thanh hoạt chất với góc nghiêng so với phương ngang $3^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$. Các la-de đi-ốt cùng phía cách đều nhau và so le với các la-de đi-ốt phía đối diện. Hai la-de đi-ốt liền kề nhau cách nhau một khoảng 0,5 tới 1 mm. Thanh hoạt chất Er,Yb: thủy tinh photphat có kích thước phù hợp với cấu hình bơm được tản nhiệt ra cơ cấu tản nhiệt thông qua tấm đệm tản nhiệt bằng sa-phia.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế cơ cấu khoang khuếch đại la-de năng lượng cao sử dụng công nghệ bơm cạnh và khoá biến điệu phẩm chất chủ động sẽ được ứng dụng trong lĩnh vực quang điện tử và la-de, với các mục đích như đo xa la-de và chỉ thị mục tiêu.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đầu phát xung la-de rắn thực chất là một khoang khuếch đại la-de hoạt động dựa trên nguyên tắc khuếch đại hồi tiếp. Cấu tạo chính của nó bao gồm các thành phần quang học: đầu phát la-de đi-ốt, hệ quang học kết nối, gương phản xạ toàn phần, thanh hoạt chất, khóa biến điệu phẩm chất và gương thoát. Các phần tử quang học này được tích hợp với nhau bằng hệ gá cơ khí chính xác tạo thành đầu phát la-de rắn.

Đầu phát la-de đi-ốt được gọi là nguồn bơm có vai trò cung cấp năng lượng cho hệ la-de hoạt động. Chùm la-de đi-ốt có thể bơm dọc theo trục quang của thanh hoạt chất (cấu trúc bơm dọc) hoặc bơm vuông góc với trục quang của thanh hoạt chất (cấu trúc bơm cạnh). Cấu trúc bơm dọc có ưu điểm là đạt được hiệu suất cao, tuy nhiên cấu trúc bơm này có hệ quang học kết nối phức tạp, khó điều chỉnh, hiệu ứng thấu kính nhiệt cao, năng lượng bơm tập trung phần lớn ở đầu thanh hoạt chất dẫn đến dễ phá huỷ thanh hoạt chất khi la-de hoạt động ở năng lượng cao. Do đó cấu trúc bơm dọc chỉ thích hợp cho la-de có năng lượng thấp cỡ dưới 1 mJ. Để chế tạo la-de có năng lượng cao, thông thường sử dụng cấu trúc bơm cạnh. Cấu trúc này cho phép ghép nhiều la-de đi-ốt để tăng năng lượng bơm, phân bố năng lượng bơm trên thanh hoạt chất đồng đều hơn trên và hiệu ứng thấu kính nhiệt thấp.

Đối với các khoang khuếch đại la-de rắn sử dụng cấu trúc bơm cạnh hiện nay, nguồn bơm la-de đi-ốt thường có hai cách sắp xếp tùy thuộc vào hình dạng thanh hoạt chất. Với thanh hoạt chất có dạng hình trụ, bơm thường được sắp xếp xung quanh thanh hoạt chất và không đối xứng qua trục quang để tránh ánh sáng nguồn bơm không được hấp thụ hết bởi thanh hoạt chất (bơm còn dư) đi vào la-de đi-ốt ở phía đối diện. Thực tế cho thấy, khi một

chùm la-de đi vào buồng cộng hưởng của la-de bán dẫn với công suất $\geq 5\%$ công suất lớn nhất, chùm la-de sẽ gây cháy hỏng lớp bán dẫn. Thanh hoạt chất dạng hình trụ thường không thể phủ lớp chống phản xạ trên bề mặt bơm la-de đi vào, do công nghệ phủ mẫu không thể thực hiện với bề mặt có độ cong lớn như thanh hoạt chất. Điều này dẫn tới mất mát năng lượng bơm. Do đó thanh hoạt chất dạng hình hộp chữ nhật được thay thế cho thanh hoạt chất dạng hình trụ. Bề mặt của thanh hoạt chất hình hộp chữ nhật là phẳng, do đó dễ dàng phủ lớp chống phản xạ trên bề mặt. Nguồn bơm la-de đi-ốt thường được sắp xếp đối xứng qua thanh hoạt chất. Để tránh năng lượng bơm còn dư đi vào la-de đi-ốt ở phía đối diện, nguồn bơm loại này thường có độ phân kỳ lớn cỡ 30° . Tuy nhiên chỉ có năng lượng bơm phân bố gần quang trục của thanh hoạt chất mới chuyển hoá thành năng lượng la-de. Góc phân kỳ của chùm bơm lớn dẫn tới năng lượng bơm bị lãng phí, hiệu suất la-de thấp. Để tạo ra la-de năng lượng cao, chúng ta cần nhiều năng lượng bơm hơn dẫn tới gánh nặng về nguồn cấp điện cho la-de và bộ phận tản nhiệt.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Trong sáng chế này, chúng tôi sẽ trình bày cấu trúc bơm cạnh với số lượng bơm la-de đi-ốt có thể thay đổi tùy thuộc vào yêu cầu đầu ra của năng lượng laser. Những la-de đi-ốt này được gắn thấu kính chuẩn trục trục nhanh (FAC) để chuyển đổi chùm sáng phân kỳ của la-de đi-ốt thành chùm sáng song song (góc phân kỳ $< 0,5^\circ$), do vậy năng lượng bơm dễ dàng tập trung vào quang trục của thanh hoạt chất để tối ưu hoá hiệu suất la-de. Các la-de đi-ốt được chia đều về hai phía của thanh hoạt chất với góc nghiêng từ 3° đến 5° để tránh bị phá huỷ bởi bơm còn dư. Các la-de đi-ốt cùng phía cách đều nhau và so le với các la-de đi-ốt phía đối diện để mọi vị trí trên trục quang của thanh hoạt chất đều nhận được năng lượng bơm. Bởi vì những phần thanh hoạt chất không nhận được năng lượng bơm sẽ hấp thụ ngược năng lượng la-de, gây mất mát năng lượng lớn cho khoang khuếch đại. Khoảng cách giữa các la-de đi-ốt liền kề nhau khoảng từ 0,5 mm tới 1 mm. Khoảng cách này đủ lớn để tránh va chạm giữa các la-de đi-ốt do sai lệch cơ khí, hoặc xô dịch trong khi tích hợp, nó cũng đủ nhỏ để tránh phải kéo dài thanh hoạt chất và phân bố năng lượng bơm tập trung hơn. Các la-de đi-ốt sẽ được mắc nối tiếp với nhau và được nuôi bởi nguồn cấp điện dạng

xung và được đồng bộ hoá với nguồn cấp điện của khoá biến điệu phẩm chất chủ động. Cơ cấu cụ thể trong đề xuất bao gồm các thành phần sau:

Thanh hoạt chất bằng vật liệu thuỷ tinh phát được pha tạp các ion Er^{3+} với nồng độ 0,2% đến 0,5% tùy thuộc vào chiều dài của thanh và Yb^{3+} với nồng độ 20%. Thanh hoạt chất có dạng hình hộp chữ nhật với bề dày 0,8 mm đến 1 mm, chiều dài thay đổi trong dải từ 20 mm đến 50 mm, chiều cao thay đổi trong dải từ 4 mm đến 6 mm.

Tấm mỏng sa-phia có độ dẫn nhiệt $\sim 46 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ tiếp xúc trực tiếp với bề mặt thanh hoạt chất đóng vai trò dẫn nhiệt từ thanh hoạt chất ra hệ thống làm mát. Tấm sa-phia có bề dày 1 mm kích thước chiều dài và chiều cao tương ứng với kích thước của thanh hoạt chất. Mặt sa-phia mà ánh sáng nguồn bơm đi vào sẽ được phủ lớp chống phản xạ ở vùng bước sóng bơm.

Nguồn la-de đi-ốt là nguồn la-de dạng xung có bước sóng nằm trong dải hấp thụ của thanh hoạt chất với bước sóng trung tâm khoảng từ 900 nm đến 1000 nm. Nguồn la-de đi-ốt được gắn thấu kính chuẩn trực trực nhanh có tiêu cự nằm trong khoảng 0,2 mm tới 1 mm. Có thể sử dụng bốn, sáu, hoặc tám nguồn la-de đi-ốt mắc nối tiếp với nhau trong một hệ la-de với cách bố trí đã được trình bày ở trên.

Buồng cộng hưởng la-de bao gồm gương phản xạ toàn phần có độ phản xạ $> 99\%$ và gương thoát có độ phản xạ từ 60% tới 80% tại bước sóng la-de.

Khoá biến điệu phẩm chất chủ động có vai trò điều chỉnh mát mát trong buồng cộng hưởng để tạo ra la-de dạng xung. Vai trò điều chỉnh ở đây dựa trên tín hiệu điện đưa vào khoá biến điệu.

Bộ điều khiển khoá biến điệu phẩm chất chủ động cung cấp nguồn điện và điều khiển khoá đóng mở la-de để tạo xung la-de với độ rộng xung và năng lượng xung như mong muốn

Bộ điều khiển la-de đi-ốt, đóng vai trò là nguồn cung cấp xung dòng điện cho la-de đi-ốt, với những thông số như cường độ dòng điện, độ rộng xung, tần số phát xung bơm thay đổi được.

Bộ đồng bộ thời gian, đóng vai trò đồng bộ tín hiệu giữa hai bộ điều khiển khoá biến điệu và la-de đi-ốt.

Hệ gá cơ khí là thành phần cơ khí chính xác được dùng để gá các phần tử quang học như la-de đi-ốt, gương vào, thanh hoạt chất, khoá biến điệu phẩm chất, gương thoát, bộ điều khiển la-de đi-ốt, bộ điều khiển khoá biến điệu phẩm chất chủ động, bộ đồng bộ thời gian để tạo thành đầu phát la-de.

Hệ thống tản nhiệt cho la-de bao gồm các chi tiết cơ khí tản nhiệt, sò nóng lạnh, bộ tản nhiệt buồng hơi, bộ tản nhiệt răng lược và quạt làm mát.

Chi tiết cơ khí tản nhiệt thanh hoạt chất là thành phần cơ khí được gia công chính xác từ vật liệu đồng, có vai trò hấp thụ nhiệt cho thanh hoạt chất, truyền nhiệt lượng này ra ngoài môi trường và mặt lạnh của sò nóng lạnh. Ngoài ra chi tiết cơ khí tản nhiệt còn có vai trò nâng đỡ hệ thống tản nhiệt.

Chi tiết sò nóng lạnh là thiết bị bán dẫn có tính chất truyền nhiệt từ bề mặt lạnh sang bề mặt nóng thông qua dòng điện một chiều tác dụng lên. Mặt lạnh sẽ được tiếp xúc với mặt phía trên của chi tiết cơ khí tản nhiệt, mặt nóng phía trên được tiếp xúc với bộ tản nhiệt buồng hơi.

Bộ tản nhiệt buồng hơi là dụng cụ tản nhiệt dựa trên hiệu ứng vật lý về chuyển đổi pha giữa chất lỏng và chất khí. Nó được sử dụng cho tản nhiệt cho mặt nóng của chi tiết sò nóng lạnh.

Bộ phận tản nhiệt răng lược là chi tiết cơ khí được gia công chính xác từ đồng, mặt dưới nhẵn được tiếp xúc với mặt phía trên của bộ tản nhiệt buồng hơi, có vai trò hấp thụ nhiệt từ hệ thống tản nhiệt bồn hơi và phân tán nhiệt ra môi trường, nhờ có cái chi tiết dạng hình răng lược ở mặt phía trên mà luồng nhiệt từ bộ tản nhiệt buồng hơi được phân tán ra môi trường tốt hơn.

Quạt làm mát là linh kiện điện tử có tác dụng tạo dòng không khí đối lưu giúp thúc đẩy quá trình truyền nhiệt của bộ phận tản nhiệt răng lược ra môi trường xung quanh. Quạt tản nhiệt được gắn phía trên của các răng lược.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ minh hoạ cấu trúc la-de bao gồm các thành phần của khoang khuếch đại và các bộ điều khiển.

Hình 2 là hình vẽ 3D cấu trúc la-de bao gồm các thành phần của khoang khuếch đại và các bộ điều khiển.

Hình 3 là hình vẽ minh hoạ cơ cấu tản nhiệt cho thanh hoạt chất.

Hình 4 là hình vẽ minh hoạ chùm bơm từ la-de đi-ốt đi qua thấu kính chuẩn trực trực nhanh.

Hình 5 là hình vẽ 3D minh hoạ cách thức lắp đặt các la-de đi-ốt trên bộ cơ khí với trường hợp sử dụng bốn nguồn bơm và sáu nguồn bơm.

Hình 6 là hình vẽ biểu diễn chùm la-de vào thanh hoạt chất bằng phần mềm Zemax.

Hình 7 là hình vẽ biểu diễn phân bố năng lượng trên bề mặt thanh hoạt chất trong hai trường hợp sử dụng bốn nguồn bơm và sáu nguồn bơm trong phần mềm Zemax.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tham chiếu Hình 1, Hình 2 và Hình 3, cơ cấu khoang khuếch đại la-de cấu trúc bơm cạnh năng lượng cao sử dụng công nghệ khoá biến điệu phẩm chất chủ động bao gồm các thành phần chính như sau: thanh hoạt chất 1, tấm dẫn nhiệt sa-phia 2, các nguồn bơm la-de đi-ốt 3, gương vào 4, khoá biến điệu phẩm chất chủ động 5, gương thoát 6, bộ điều khiển khoá biến điệu phẩm chất chủ động 7, bộ điều khiển la-de đi-ốt 8, bộ đồng bộ thời gian 9, hệ gá cơ khí 10, chi tiết cơ khí tản nhiệt thanh hoạt chất 11, chi tiết sò nóng lạnh 12, bộ tản nhiệt buồng hơi 13, bộ tản nhiệt răng lược 14, quạt làm mát 15.

Nguồn bơm la-de đi-ốt 3 bao gồm nhiều la-de đi-ốt được sắp xếp về hai phía của thanh hoạt chất với góc nghiêng từ 3° đến 5° , khoảng cách giữ hai la-de đi-ốt liền kề nhau từ 0,5 mm tới 1 mm. Cách bố trí các la-de đi-ốt như vậy sẽ tránh được năng lượng bơm còn dư đi vào la-de đi-ốt ở phía đối diện giống như đã chỉ ra trong mô phỏng ở Hình 6. Mỗi la-de đi-ốt là nguồn la-de dạng xung có bước sóng trung tâm nằm trong dải 900 nm đến 1000 nm, có thể phát xung la-de có công suất đỉnh xung điều chỉnh được trong dải 0 W đến 130 W, độ rộng xung từ 2 ms đến 5 ms phù hợp với vật liệu thanh hoạt chất Er, Yb và tần số phát xung từ 1 Hz đến 30 Hz tương ứng với tần số phát xung mong muốn của đầu phát la-de.

Tham chiếu Hình 4, bơm la-de đi-ốt 3 phát ra chùm sáng phân kỳ khi đi qua thấu kính chuẩn trực trục nhanh 3* sẽ trở thành chùm sáng song song và đi vào thanh hoạt chất. Tiết diện chùm bơm được điều chỉnh bằng cách thay đổi tiêu cự của thấu kính chuẩn trực trục nhanh 3* trong khoảng 0,2 mm tới 1 mm.

Tham chiếu Hình 5, hệ gá cơ khí 10 có kết cấu đặc biệt: thứ nhất, vị trí gá lắp các nguồn bơm la-de đi-ốt có dạng rãnh nghiêng góc $3^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$, chiều dài 60 mm được gia công cơ khí chính xác để các la-de đi-ốt dễ dàng trượt trên rãnh để hiệu chỉnh vị trí sao cho mỗi la-de đi-ốt đều so le với các la-de đi-ốt phía đối diện và khoảng cách giữa các la-de đi-ốt liền kề nhau khoảng từ 0,5 mm tới 1 mm. Số lượng của la-de đi-ốt có thể thay đổi tùy thuộc vào yêu cầu năng lượng đầu ra của la-de. Hệ gá cơ khí được gia công chính xác để chùm bơm la-de đi-ốt từ hai phía của thanh hoạt chất có cùng độ cao với nhau trên bề mặt của thanh hoạt chất. Sau khi hiệu chỉnh số lượng và vị trí các la-de đi-ốt sẽ được cố định với gá cơ khí bằng loại keo dán quang đặc biệt có thời gian đóng cứng nhanh, hệ số giãn nở nhiệt, hệ số co ngót thấp. Để tháo rời các la-de đi-ốt khỏi hệ gá cơ khí có thể dùng các dung dịch như a-xê-tôn, đi-clo-mê-tan để tẩy lớp keo mà không gây hỏng hóc các nguồn bơm.

Thanh hoạt chất Er, Yb: thủy tinh phốt phát có chiều dài trong khoảng 20 mm 50 mm cùng để có kích thước của nó phù hợp với kích thước của chùm bơm la-de đi-ốt. Chiều dài của thanh hoạt chất được thiết kế bằng chiều dài chùm bơm để tránh phần thanh hoạt

chất trên trục quang không nhận được năng lượng bơm sẽ hấp thụ ngược la-de, và cũng tránh lãng phí năng lượng bơm nếu như thanh hoạt chất ngắn hơn chiều dài chùm bơm. Việc lựa chọn thanh hoạt chất có chiều dài phù hợp có thể được tiến hành bằng phần mềm mô phỏng quang học Zemax, tham chiếu Hình 7. Thanh hoạt chất cũng được cố định với hệ gá cơ khí bằng keo dán quang học tương tự như các la-de đi-ốt.

Vị trí gương phản xạ toàn phần và gương thoát được vi chỉnh bằng hệ vi chỉnh năm bậc tự do sao cho trục quang của chúng trùng với trục quang của thanh hoạt chất và khoá biến điệu phẩm chất chủ động. Khi đó la-de có năng lượng lớn nhất và ổn định. Gương phản xạ toàn phần và gương thoát cũng được cố định vào bộ cơ khí bằng keo.

Tham chiếu Hình 3, thanh hoạt chất được đặt giữa hai tấm sa-phia có cùng kích thước để tăng khả năng dẫn nhiệt từ thanh hoạt chất ra hệ gá cơ khí. Chi tiết cơ khí được gia công bằng đồng và đặt phía trên tiếp xúc với thanh hoạt chất và tấm sa-phia để tăng cường khả năng dẫn nhiệt. Nhiệt lượng từ thanh hoạt chất được truyền đến mặt lạnh của sò nóng lạnh. Mặt nóng của sò nóng lạnh sẽ được làm mát nhờ cơ cấu bao gồm bộ tản nhiệt buồng hơi 13, bộ tản nhiệt răng lược 14, và quạt làm mát 15. Kết quả mô phỏng nhiệt của chúng tôi đã chỉ ra rằng với cấu trúc tản nhiệt như vậy, la-de có thể hoạt động liên tục ở tần số từ 1 Hz tới 30 Hz ở điều kiện nhiệt độ môi trường lên tới 60 °C.

Để đầu phát xung la-de rắn cấu trúc bơm cạnh có thể đạt mức năng lượng cao (khoảng từ 5 mJ đến 15 mJ) cần phải sử dụng công nghệ khoá biến điệu phẩm chất chủ động. Khoá chủ động có bộ điều biến điều khiển hệ số phẩm chất Q từ bên ngoài bằng tín hiệu điện. Phương pháp khoá chủ động bao gồm ba phương pháp chính là sử dụng thiết bị cơ khí, điện quang, hoặc âm quang. Khoá biến điệu phẩm chất sẽ được đóng mở dựa trên thời gian trễ của la-de đi-ốt và khoá biến điệu. Khi nguồn bơm la-de đi-ốt mở, một tín hiệu điện sẽ được gửi tới bộ điều khiển của khoá biến điệu. Thời gian mở khoá biến điệu sẽ chậm hơn thời gian mở la-de đi-ốt. Khoảng thời gian này được gọi là thời gian trễ và được tính bằng tổng thời gian trễ của tín hiệu điện và thời gian bơm của nguồn la-de đi-ốt. Để điều chỉnh khoảng thời gian này chúng tôi sử dụng bộ đồng bộ thời gian 9 kết với bộ điều khiển khoá biến điệu phẩm chất chủ động 7 và bộ điều khiển la-de đi-ốt 8.

Sáng chế được mô tả chi tiết bằng cách sử dụng các phương án được mô tả ở trên. Tuy nhiên, rõ ràng là đối với người hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sáng chế không bị giới hạn ở phương án được mô tả trong phần mô tả sáng chế. Sáng chế có thể được thực hiện ở chế độ cải biến hoặc thay đổi mà không nằm ngoài phạm vi sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ. Vì vậy những gì được mô tả trong phần mô tả sáng chế chỉ nhằm mục đích minh họa, sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với sáng chế.

Hiệu quả sáng chế đạt được

Sáng chế cho phép khoang khuếch đại la-de sử dụng thanh hoạt chất Er,Yb: thủy tinh phốt phát có thể hoạt động ở dải tần số 1 Hz đến 30 Hz với năng lượng xung cực đại nằm trong dải 5 mJ đến 15 mJ. Năng lượng cực đại này dễ dàng thay đổi bằng cách thay đổi số lượng nguồn bơm la-de đi-ốt và dùng thanh hoạt chất có chiều dài tương ứng. Phương pháp sắp xếp vị trí các la-de đi-ốt đảm bảo nguồn bơm la-de đi-ốt được hoạt động an toàn, tối ưu hoá hiệu suất quang học của la-de.

Khoang khuếch đại có cấu tạo đơn giản, gọn nhẹ, dễ gia công lắp ráp, có thể ứng dụng trong sản xuất công nghiệp.

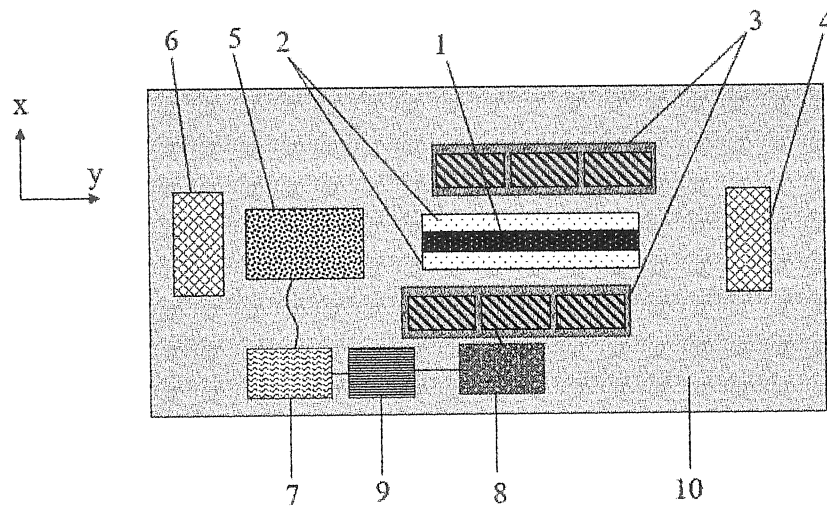
Yêu cầu bảo hộ

1. Cơ cấu khoang khuếch đại la-de năng lượng cao sử dụng công nghệ bơm cạnh và khoá biến điệu phẩm chất chủ động, thời gian mở khoá được điều chỉnh dựa trên thời gian mở la-de đi-ốt với một khoảng thời gian trễ trong khoảng 1 ms tới 5 ms, bao gồm các bộ phận:

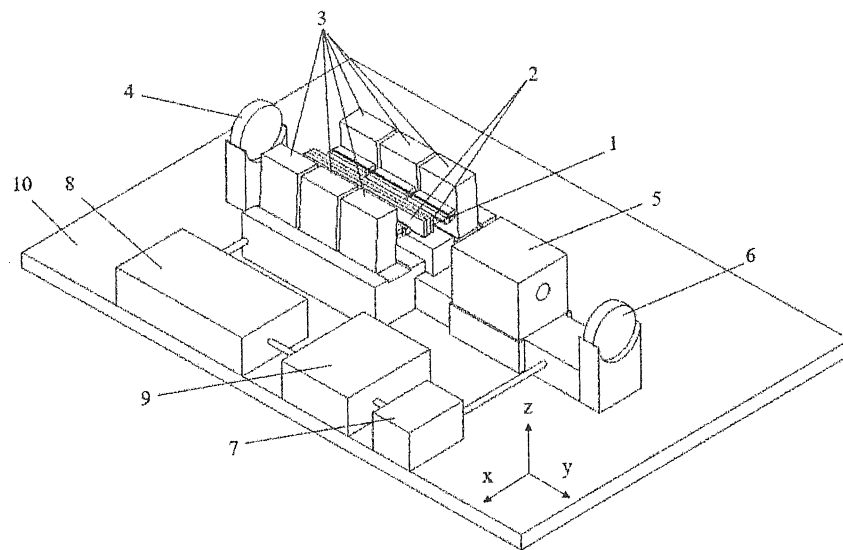
thanh hoạt chất, tấm dẫn nhiệt sa-phia, các nguồn bơm la-de đi-ốt, gương phản xạ toàn phần, khoá biến điệu phẩm chất chủ động, gương thoát, bộ điều khiển khoá biến điệu phẩm chất chủ động, bộ điều khiển la-de đi-ốt, bộ đồng bộ thời gian, hệ giá cơ khí, chi tiết cơ khí tản nhiệt thanh hoạt chất, chi tiết sò nóng lạnh, bộ tản nhiệt buồng hơi, bộ tản nhiệt răng lược, quạt làm mát; trong đó:

nguồn bơm la-de được ghép từ bốn, sáu, hoặc tám la-de đi-ốt mắc nối tiếp với nhau; mỗi la-de đi-ốt đều được gắn một thấu kính chuẩn trực trực nhanh với tiêu cự nằm trong khoảng 0,2 mm tới 1 mm; các la-de đi-ốt được chia đều về hai phía của thanh hoạt chất với góc nghiêng từ 3° đến 5° ; các la-de đi-ốt cùng phía cách đều nhau và so le với các la-de đi-ốt phía đối diện. Hai la-de đi-ốt liền kề nhau cách nhau một khoảng 0,5 mm tới 1 mm;

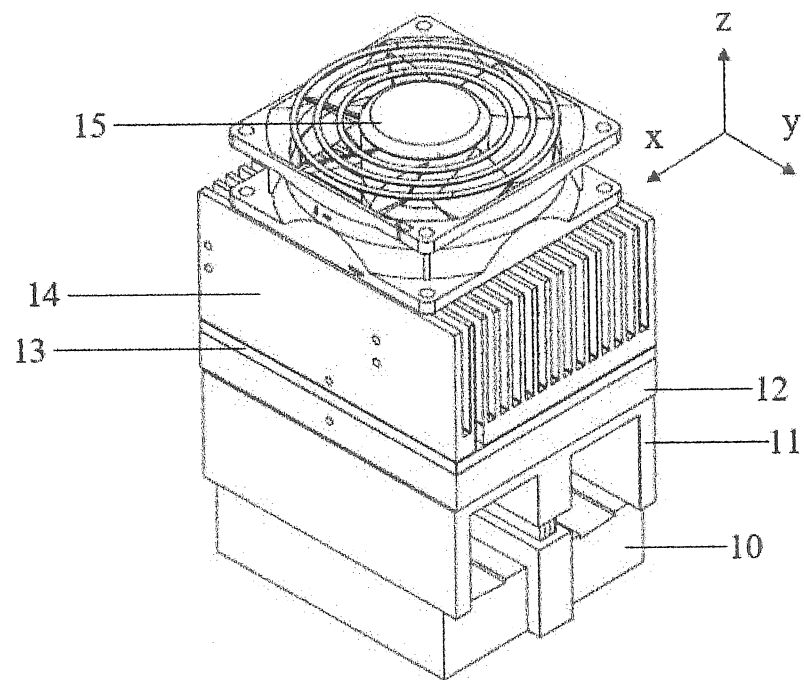
thanh hoạt chất chế tạo bằng vật liệu thuỷ tinh phốt phát được pha tạp các ion Er^{3+} với nồng độ 0,2% đến 0,5% và Yb^{3+} với nồng độ 20%; thanh hoạt chất có dạng hình hộp chữ nhật với bề dày 0,8 mm đến 1 mm, chiều cao thay đổi trong dải từ 4 mm đến 6 mm, chiều dài bằng chiều dài vùng bơm la-de trên trục quang của thanh hoạt chất; thanh hoạt chất được kẹp giữa hai tấm sa-phia có cùng kích thước để tối ưu dẫn nhiệt từ thanh hoạt chất ra chi tiết cơ khí tản nhiệt; bề mặt tấm sa-phia nơi mà ánh sáng nguồn bơm đi vào sẽ được phủ lớp chống phản xạ ở vùng bước sóng bơm.



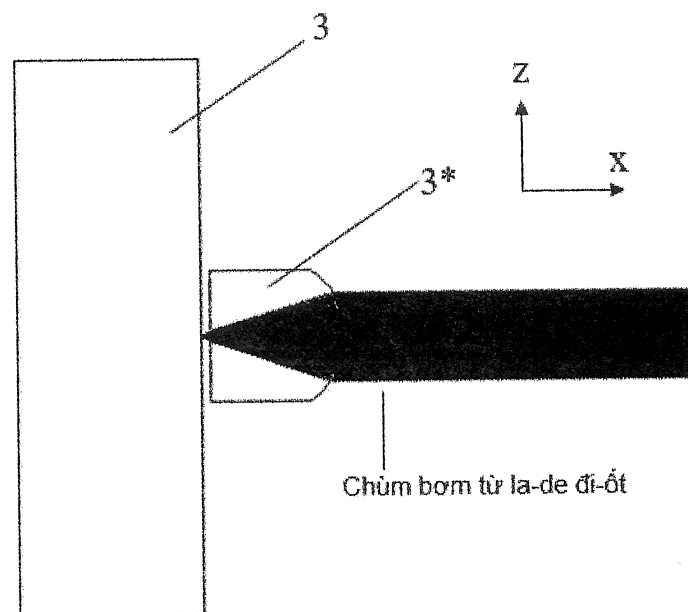
Hình 1



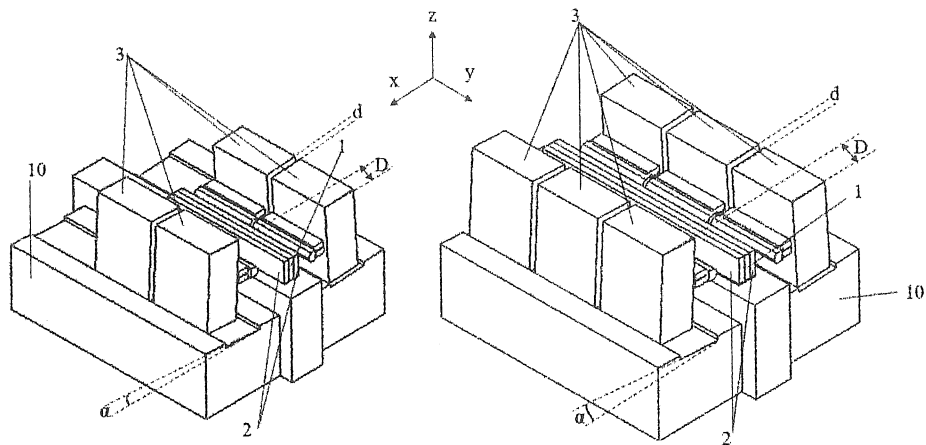
Hình 2



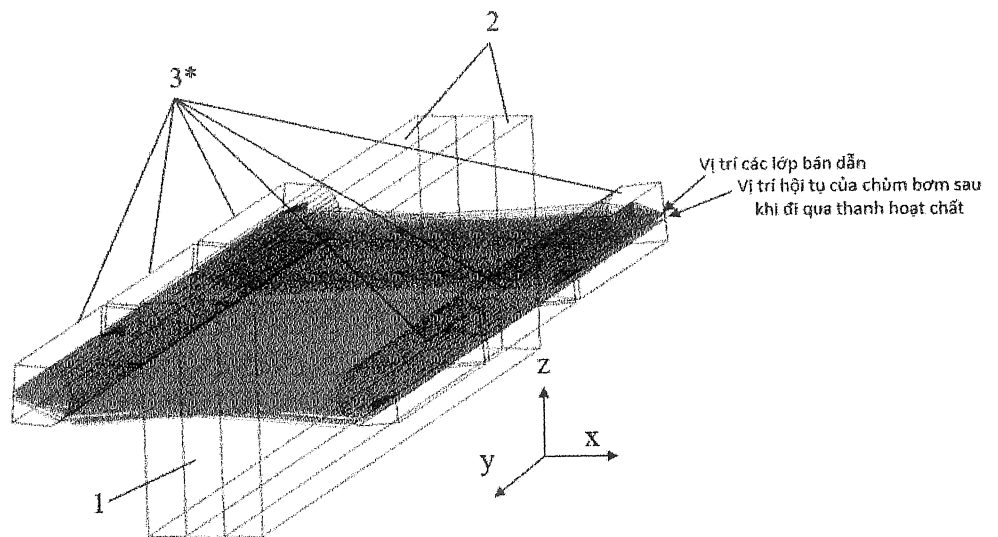
Hình 3



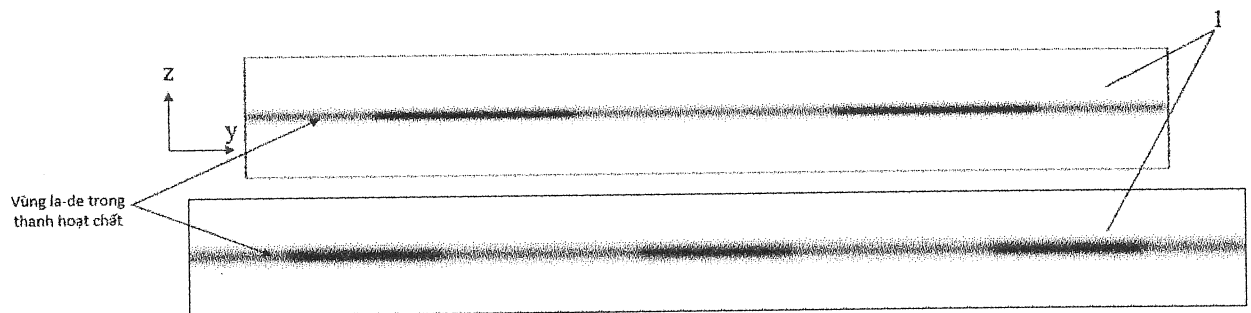
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7