



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
(51)^{2020.01} **G02B 5/00; H01P 7/00; G02F 1/35;** (13) **B**
G01N 21/00



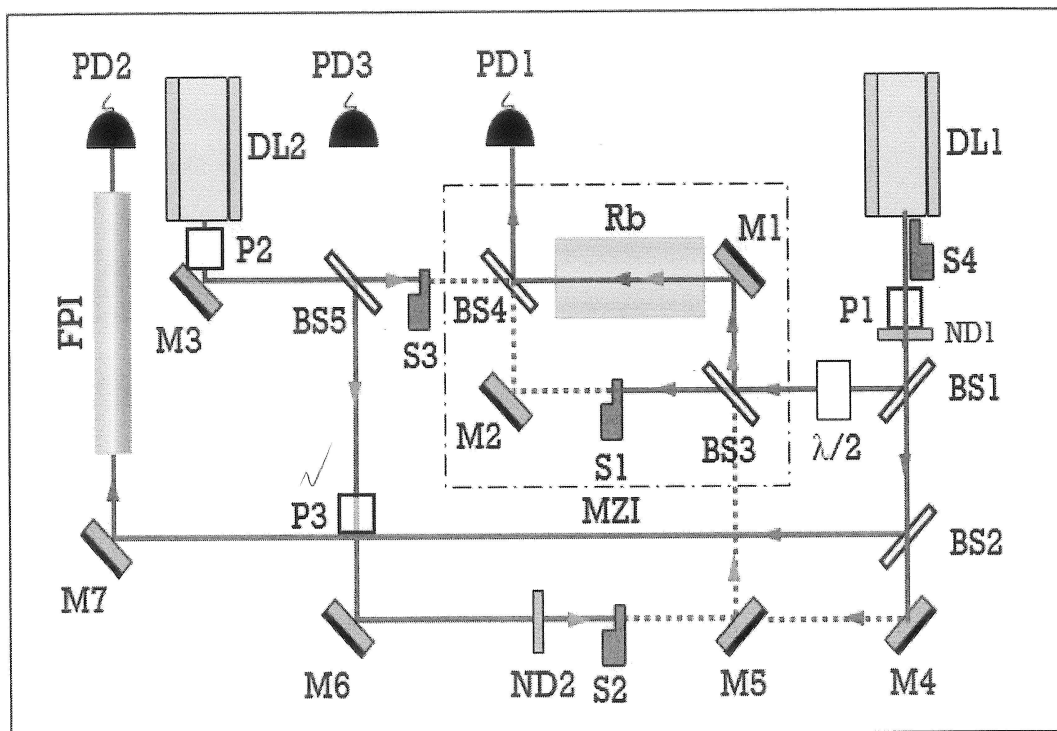
1-0044227

(21) 1-2021-01614 (22) 26/03/2021
(45) 25/03/2025 444 (43) 25/10/2022 415A
(71) Trường Đại học Vinh (VN)
Số 182 Lê Duẩn, thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An
(72) Nguyễn Huy Bằng (VN); Nguyễn Văn Ái (VN); Lê Văn Đoài (VN); Đinh Xuân
Khoa (VN); Lê Cảnh Trung (VN); Phan Văn Thuận (VN).

(54) BỘ KIT TẠO HIỆU ỨNG TRONG SUỐT CẢM ỨNG ĐIỆN TỬ (EIT) VÀ PHỔ
PHÂN GIẢI SIÊU CAO

(21) 1-2021-01614

(57) Sáng chế đề cập đến bộ KIT tạo hiệu ứng trong suốt điện từ (EIT) và phổ phân giải siêu cao, bộ KIT này nhỏ gọn, tích hợp 06 cấu hình đo, có thể sử dụng rất thuận tiện trong đào tạo và nghiên cứu về hiệu ứng trong suốt cảm ứng điện từ, quản lý tán sắc, kỹ thuật phổ hấp thụ bão hòa phân giải siêu cao, kỹ thuật định cỡ phổ và cấu trúc siêu tinh tế của nguyên tử kim loại kiềm.



Hình 3

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập bộ KIT dùng cho đào tạo, nghiên cứu và ứng dụng liên quan hiệu ứng trong suốt cảm ứng điện từ (EIT) và các kỹ thuật phổ laze có độ phân giải siêu cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hiệu ứng trong suốt cảm ứng điện từ - EIT (Electromagnetically Induced Transparency) được đề xuất năm 1989 và được quan sát thực nghiệm năm 1991. Đây là hiệu ứng sử dụng một trường laze làm giảm hấp thụ cộng hưởng và thay đổi tán sắc của môi trường nguyên tử đối với một trường laze khác. Đồng thời, các tính chất quang của nguyên tử như phi tuyến Kerr được tăng lên đến hàng triệu lần. Các tính chất quang đặc thù của môi trường EIT được kỳ vọng tạo cuộc cách mạng trong nhiều lĩnh vực như: điều khiển ánh sáng bởi ánh sáng, điều khiển các quá trình quang phi tuyến, quản lý tán sắc trong thông tin quang, thông tin lượng tử, phổ phân giải cao... Vì vậy, nghiên cứu và phát triển các hệ thực nghiệm tạo hiệu ứng EIT trong môi trường nguyên tử là vấn đề rất có tính thời sự.

Trong các thí nghiệm tạo EIT, tần số của các laze được điều chỉnh để quét qua miền phổ của các dịch chuyển siêu tinh tế của nguyên tử. Đồng thời, các laze thường phải là phổ hẹp đơn mode và bước sóng được điều khiển chính xác để kích thích cộng hưởng các trạng thái siêu tinh tế. Để có nguồn phổ hẹp, các laze thường dùng là laze màu hoặc Ti:Sapphire buồng cộng hưởng vòng có kích thước lớn và đắt tiền. Gần đây, sự phát triển của công nghệ laze diode kèm theo kỹ thuật tạo buồng cộng hưởng ngoài đã cho phép tạo ra các laze đơn mode, kích thước bé và giá rẻ.

Cùng với việc đo phổ hấp thụ, việc đo phổ tán sắc, hay nói rộng hơn là điều khiển tán sắc của nguyên tử khi dựa trên hiệu ứng EIT là vấn đề hết sức thú vị bởi nó liên quan đến điều khiển vận tốc của các photon. Tuy nhiên, trong lân cận cộng hưởng khi có EIT, tán sắc thay đổi rất nhanh nên phép đo thường rất nhạy với các rung động cơ học. Vì vậy, mặc dù có rất nhiều công bố về đo phổ EIT hấp thụ nhưng có rất ít phép đo về tán sắc và hiện chưa có sản phẩm thương mại về tạo hiệu ứng EIT và đo tán sắc.

Trong các thí nghiệm về tạo EIT và quản lý tán sắc thường phải biết chính xác vị trí các dịch chuyển phổ siêu tinh tế trong nguyên tử. Hiện nay, để quan sát phổ siêu tinh tế của nguyên tử người ta sử dụng kỹ thuật hấp thụ bão hòa và đã có sản phẩm thương mại trên thị trường. Vì vậy, tích hợp kỹ thuật phổ hấp thụ bão hòa vào cùng với hệ tạo hiệu ứng EIT sẽ có ý nghĩa sư phạm cao trong đào tạo về các vấn đề liên quan đến EIT. Đồng thời, khi tần số laze quét qua miền phổ cần thường thì chung các vạch phổ siêu tinh tế thường rất gần nhau nên để định cỡ phổ là khâu quan trọng trong bất kỳ các thí nghiệm về phổ học.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế này đề cập đến bộ KIT tích hợp kỹ thuật tạo EIT, điều khiển và đo tán sắc, hấp thụ bão hòa và định cỡ phổ trong môi trường nguyên tử Rubi. Hệ được thiết kế nhỏ gọn, có thể lắp ráp thành sản phẩm thương mại dựa trên các linh kiện tiêu chuẩn và có giá thành hạ so với việc xây dựng các bộ riêng lẻ. Đồng thời, Bộ KIT được thiết kế kèm theo bộ phận định cỡ phổ để xác định được tần số của phổ quan sát.

Bộ KIT trong sáng chế này có kích thước nhỏ gọn (60cm x 50cm x 50cm) sử dụng 2 nguồn laser diode đơn mode bước sóng hoạt động xung quanh 780 nm (laser có công suất lớn hơn được gọi laser bơm, laser có công suất bé hơn gọi là laser dò), 1 buồng mẫu hỗn hợp khí nguyên tử gồm 2 đồng vị Rb85 và Rb87. Các chùm laser được bố trí để kích thích đồng thời các dịch chuyển tinh tế trong nguyên tử Rb để xuất hiện hiệu ứng EIT hoặc hấp thụ bão hòa.

Bộ KIT có 1 thoa kế Mach-Zehnder để đo tán sắc của nguyên tử (khi có EIT hoặc khi có hấp thụ bão hòa) và 1 giao thoa kế Fabry-Perot (có khoảng vân giao thoa cỡ 380 MHz) để định cỡ bước sóng trong tất cả các phép đo phổ.

Theo một phương án ưu tiên, bộ KIT tạo hiệu ứng trong suốt điện từ (EIT) và phổ phân giải siêu cao tích hợp nhiều cấu hình đo theo sáng chế bao gồm:

các thiết bị/linh kiện quang được lắp đặt trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học tiêu chuẩn, trong đó:

binh chứa mẫu nguyên tử Rubi (Rb) có dạng hình trụ và được đặt trên một giá đỡ được trang bị bộ điều khiển nhiệt độ;

hai nguồn laser diode (diode) đơn mode phát xạ xung quanh bước sóng 780 nm để kích thích mẫu nguyên tử: laser DL1 có công suất phát cỡ 70 mW đóng vai trò là laser dò, laser DL2 có công suất phát cỡ 120 mW đóng vai trò là nguồn laser bơm (hay laser điều khiển), trong đó công suất của các chùm laser khi qua buồng mẫu được điều chỉnh bằng cách xoay các kính phân cực P1-P3 và bộ lọc trung hòa ND1-ND2 phía trước buồng mẫu;

một giao thoa kế Fabry-Perot (FPI) để định cỡ phổ, có khoảng phổ tự do 380 MHz;

ba đầu thu quang PD để ghi lại thông tin phổ, trong đó một đầu thu tín hiệu dò PD1, một đầu thu tín hiệu của FPI để định cỡ phổ PD2, một đầu thu tín hiệu để khóa tần số laser điều khiển PD3;

hệ thống các gương M1-M7 và bản tách chùm BS1-BS6, khóa đóng/mở chùm laser S1-S4 được bố trí trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học để thuận tiện cho việc thực hiện chuyển đổi giữa các phép đo (bằng cách gạt lẫy sang chế độ đóng/mở) ứng với sáu cấu hình như sau:

- cấu hình 1: đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laze bơm ngược chiều laze dò,
- cấu hình 2: đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm ngược chùm dò,
- cấu hình 3: đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laze bơm cùng laze dò,
- cấu hình 4: đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm cùng chùm dò,
- cấu hình 5: đo phổ hấp thụ bão hòa của nguyên tử Rb,
- cấu hình 6: đo phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa trong nguyên tử Rb.

Hiện nay, trên thị trường mới chỉ có sản phẩm thương mại ứng với cấu hình đo phổ hấp thụ bão hòa và phổ tán sắc. Việc tích hợp 6 cấu hình đo nói trên thành một bộ KIT rất nhỏ gọn từ các thiết bị/linh kiện thông dụng là hoàn toàn mới và có thể sản xuất công nghiệp.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Giải pháp theo sáng chế sẽ được mô tả có dựa vào các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Hình 1 là hình vẽ minh họa sự bố trí các linh kiện quang của bộ KIT.

Hình 2 là hình vẽ mặt trước của bộ KIT.

Hình 3 là hình vẽ sơ đồ nguyên lý của bộ KIT.

Hình 4 là hình vẽ sơ đồ đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm bơm ngược chiều chùm dò.

Hình 5 là hình vẽ phổ EIT của nguyên tử Rb85 cấu hình chùm bơm ngược chiều chùm dò sau khi định cỡ.

Hình 6 là hình vẽ sơ đồ đo tán sắc EIT cấu hình chùm bơm ngược chiều với chùm dò.

Hình 7 là hình vẽ phổ tán sắc EIT của nguyên tử Rb85 cấu hình chùm bơm ngược chiều với chùm dò sau khi định cỡ.

Hình 8 là hình vẽ sơ đồ đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm bơm cùng chiều với chùm dò.

Hình 9 là hình vẽ phổ EIT của nguyên tử Rb85 cấu hình chùm bơm cùng chiều chùm dò sau khi định cỡ.

Hình 10 là hình vẽ sơ đồ đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm cùng chiều với chùm dò.

Hình 11 là hình vẽ phổ tán sắc EIT của nguyên tử Rb85 cấu hình chùm bơm cùng chiều với chùm dò sau khi định cỡ.

Hình 12 là hình vẽ sơ đồ đo phổ hấp thụ bão hòa.

Hình 13 là hình vẽ phổ hấp thụ bão hòa của nguyên tử Rb 85 và Rb 87 sau khi được định cỡ.

Hình 14 là hình vẽ sơ đồ đo tán sắc của hấp thụ bão hòa.

Hình 15 là hình vẽ phổ tán sắc của nguyên tử Rb 85 và Rb 87 khi có hấp thụ bão hòa sau khi được định cỡ phổ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sơ đồ nguyên lý của các linh kiện quang được mô tả như trên Hình 1. Trong đó, các linh kiện được liệt kê trên Bảng 1. Hình ảnh thực tế bộ KIT được thể hiện trên Hình 2.

Bảng 1. Các linh kiện/thiết bị của bộ phận quang học.

TT	Tên thiết bị/Ký hiệu	Model /hãng sản xuất	Số lượng
1	Gương /M	ME1-G01 – Ø1”/ Thorlabs	07
2	Bản tách chùm / BS	EBP1 / Thorlabs	02
		EBS1 / Thorlabs	01
		EBS2 / Thorlabs	02
3	Kính phân cực / P	LPVISE050A /Thorlabs	03
4	Laze diot /DL1	DLS1A / Teachspin	01
5	Laze diot/DL2	DLC-202 / Moglabs	01
6	Bộ lọc trung hòa / ND	NDK01 / Thorlabs	02
7	Bộ khóa chùm / S	ID20/ Thorlabs	04
8	Giao thoa kế Fabry – Perot /FPI	FP1A / Teachspin	01
9	Đầu thu quang /PD	PBD-C108 / Teachspin	02
10	Dao động ký điện tử	MDO3102 / Tektronix	01
11	Bộ điều khiển nhiệt độ mẫu nguyên tử	TC200 / Thorlab	01
12	Bình chứa mẫu nguyên tử Rb	GC25075-RB /Thorlabs	01
13	Bản nửa bước sóng	AQWP05M-980 /Thorlabs	01
14	CCD camera	Teach spin	01
15	Mặt bàn quang học	MBH4560M / Thorlabs	01

Với cấu trúc được sắp xếp như trên Hình 1, bộ KIT tích hợp được 6 cấu hình đo:

Cấu hình 1: Đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laze bơm ngược chiều laze dò. Cấu hình này dựa trên nguyên lý giao thoa lượng tử của hai chùm laze kích thích đồng thời các dịch chuyển siêu tinh tế trong nguyên tử Rb85 giữa các trạng thái $5S_{1/2}(F=3)$ với $5P_{3/2}(F=2, 3, 4)$. Trong cấu hình này, hiệu ứng Doppler giữa các nguyên tử chuyển động với hai chùm laze ngược chiều dẫn đến xuất hiện 7 miền trong suốt (gọi là 7 cửa

sổ EIT) trên công tua hấp thụ. Độ sâu và vị trí của cửa sổ EIT có thể điều chỉnh thay đổi tương ứng theo cường độ và tần số chùm laser bơm.

Cấu hình 2: Đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm laser bơm ngược chiều chùm dò. Cấu hình này kích thích đồng thời các dịch chuyển siêu tinh tế $5S_{1/2}(F=3)$ và $5P_{3/2}(F=2, 3, 4)$ của nguyên tử Rb85. Tán sắc trong trường hợp này được đo dựa trên nguyên lý của giao thoa kế Mach-Zehnder. Kết quả phép đo trong trường hợp này là 7 miền tán sắc “thường-dị thường”, trong đó độ dốc và vị trí của từng miền có thể thay đổi được tương ứng theo cường độ và tần số của laser bơm.

Cấu hình 3: Đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laser bơm ngược chiều laser dò. Cấu hình này tạo ra giao thoa lượng tử giữa các dịch chuyển siêu tinh tế của trạng thái $5S_{1/2}(F=3)$ với $5P_{3/2}(F=2, 3, 4)$ trong nguyên tử Rb85. Ngoài ra, hiệu ứng Doppler giữa các nguyên tử chuyển động với hai chùm laser cùng chiều dẫn đến xuất hiện 6 miền trong suốt (gọi là 6 cửa sổ EIT) trên công tua hấp thụ. Độ sâu và vị trí của cửa sổ EIT có thể điều chỉnh thay đổi tương ứng theo cường độ và tần số chùm laser bơm.

Cấu hình 4: Đo tán sắc EIT cấu hình chùm laser cùng chiều chùm dò. Cấu hình này kích thích đồng thời các dịch chuyển siêu tinh tế $5S_{1/2}(F=3)$ với $5P_{3/2}(F=2, 3, 4)$ của nguyên tử Rb85. Tán sắc trong trường hợp này được đo dựa trên nguyên lý của giao thoa kế Mach-Zehnder. Kết quả phép đo trong trường hợp này là 6 miền tán sắc “thường-dị thường”, trong đó độ dốc và vị trí của từng miền có thể thay đổi được tương ứng theo cường độ và tần số của laser bơm.

Cấu hình 5: Đo phổ hấp thụ bão hòa của nguyên tử Rb. Cấu hình này chỉ sử dụng 1 laser tách thành 2 chùm truyền ngược chiều nhau và bước sóng được quét qua miền phổ cần quan sát. Với laser diot phát xạ trong lân cận bước sóng 780 nm, bộ KIT quan sát được các dịch chuyển siêu tinh tế trong toàn bộ dịch chuyển D2 của hỗn hợp đồng vị Rb85 và Rb87.

Cấu hình 6: Đo tán sắc của hấp thụ bão hòa. Tán sắc trong trường hợp này được đo dựa trên nguyên lý của giao thoa kế Mach-Zehnder. Kết quả phép đo trong trường hợp này là đường tán sắc của hỗn hợp đồng vị Rb85 và Rb87.

Bộ KIT tạo hiệu ứng EIT trong môi trường nguyên tử Rb hoạt động theo sơ đồ nguyên lý được minh họa như trên Hình 3.

Trong sơ đồ trên Hình 3, các thiết bị/linh kiện quang được lắp đặt trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học tiêu chuẩn (model MBH4560M của hãng Thorlabs). Bình chứa mẫu nguyên tử Rubi (Rb) có dạng hình trụ và được đặt trên một giá đỡ được trang bị bộ điều khiển nhiệt độ. Mẫu nguyên tử được kích thích bởi hai nguồn laser diot (diode) đơn mode phát xạ xung quanh bước sóng 780 nm: laser DL1 có công suất phát cỡ 70 mW đóng vai trò là laser dò, laser DL2 có công suất phát cỡ 120 mW đóng vai trò là nguồn laser bơm (hay laser điều khiển). Công suất của các chùm laser khi qua buồng mẫu được điều chỉnh bằng cách xoay các kính phân cực và bộ lọc trung hòa phía trước buồng mẫu.

Để định cỡ phổ, bộ KIT sử dụng một giao thoa kế Fabry-Perot (FPI) của hãng TeachSpin, có khoảng phổ tự do 380 MHz. Thông tin phổ được ghi lại bằng ba đầu thu quang (PD). Một đầu thu tín hiệu dò (PD1), một đầu thu tín hiệu của FPI để định cỡ phổ (PD2), một đầu thu tín hiệu để khóa tần số laze điều khiển (PD3). Hệ thống các gương (M1-M7) và bản tách chùm (BS1-BS6), khóa đóng/mở chùm laze (S1-S4) được bố trí trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học để thuận tiện cho việc thực hiện chuyển đổi giữa 6 cấu hình (bằng cách chuyển lẫy đóng/mở trên khóa không đóng/mở) đã trình bày ở mục 3.

Sau khi các linh kiện / thiết bị được lắp đặt lên mặt bàn quang học theo sơ đồ ở Hình 1 và có sơ đồ quang như Hình 3. Lúc đó, bộ KIT có thể triển khai 6 phép đo ứng với 6 cấu hình theo từng quy trình cụ thể sau đây.

Đo phổ hấp thụ EIT khi chùm bơm ngược chiều chùm dò

Bước 1: Bật các laze DL1 và DL2 và điều chỉnh cho bước sóng quét qua miền dịch chuyển phổ D2 của nguyên tử Rubi (ứng với bước sóng 780 nm);

Bước 2. Mở khóa S3, đóng khóa S1 và S2. Lúc đó, sơ đồ quang học của cấu hình có dạng như trên Hình 4.

Bước 3. Điều chỉnh vị trí đầu thu và bản tách chùm BS5 để tín hiệu đi vào đầu thu PD3. Khóa tần số của laze DL2 bằng cách gạt nút “lock/scan” sang chế độ “lock”.

Bước 4. Điều chỉnh các gương và bản tách chùm để chùm laze bơm và laze dò giao nhau ở trung tâm của buồng mẫu và tín hiệu đi tới các đầu thu DL1, DL2.

Bước 5. Quan sát tín hiệu phổ trên dao động ký, xoay kính phân P2 để điều chỉnh cường độ chùm laze hoặc quay núm “Frequency” ở nguồn cấp DL2 để thay đổi tần số chùm laze bơm đến miền cần quan sát để có thể quan sát.

Bước 6. Copy dữ liệu phổ EIT ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ.

Bước 7. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ EIT và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ EIT (Hình 5), Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Đo tán sắc EIT khi chùm bơm ngược chiều chùm dò

Bước 1. Mở bộ chắn chùm tia S3, S1 và đóng bộ chắn S2. Sơ đồ quang của hệ trở thành như Hình 6.

Bước 2. Điều chỉnh vị trí đầu thu và bản tách chùm BS5 để tín hiệu đi vào đầu thu PD3. Khóa tần số của laze DL2 bằng cách gạt nút “lock/scan” sang chế độ “lock”. $\Delta p(\text{MHz})$.

Bước 3. Điều chỉnh các gương và bản tách chùm để chùm laze bơm và laze dò giao nhau ở trung tâm của buồng mẫu và tín hiệu đi tới các đầu thu DL1, DL2.

Bước 4. Quan sát tín hiệu phổ trên dao động ký, xoay kính phân P2 để điều chỉnh cường độ chùm laze hoặc quay núm “Frequency” ở bảng điều khiển DL2 để vi chỉnh tần số chùm laze bơm đến miền phổ cần quan sát.

Bước 5. Copy dữ liệu phổ EIT ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ.

Bước 6. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ EIT và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ tán sắc EIT (Hình 7), trong đó Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm bơm cùng chiều chùm dò

Bước 1. Mở khóa chùm tia S2, đóng khóa S1 và S3. Lúc đó, sơ đồ quang ở Hình 8.

Bước 2. Điều chỉnh vị trí đầu thu và bản tách chùm BS5 để tín hiệu đi vào đầu thu PD3. Khóa tần số của laze DL2 bằng cách gạt nút “lock/scan” sang chế độ “lock”.

Bước 3. Điều chỉnh các gương và bản tách chùm để chùm laze bơm và laze dò giao nhau ở trung tâm của buồng mẫu và tín hiệu đi tới các đầu thu DL1, DL2. Δp (MHz).

Bước 4. Copy dữ liệu phổ EIT ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ. Bước 5. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ EIT và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ EIT (Hình 9), trong đó Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm cùng chiều chùm dò

Bước 1. Mở các khóa chùm tia S2 và S1, đóng khóa S3. Lúc đó, sơ đồ quang của hệ như Hình 10.

Bước 2. Điều chỉnh vị trí đầu thu và bản tách chùm BS5 để tín hiệu đi vào đầu thu PD3. Khóa tần số của laze DL2 bằng cách gạt nút “lock/scan” sang chế độ “lock”.

Bước 3. Điều chỉnh các gương và bản tách chùm để chùm laze bơm và laze dò giao nhau ở trung tâm của buồng mẫu và tín hiệu đi tới các đầu thu DL1, DL2.

Bước 4. Quan sát tín hiệu phổ trên dao động ký, xoay kính phân P2 để điều chỉnh cường độ chùm laze hoặc quay núm “Frequency” ở bảng điều khiển DL2 để điều chỉnh tần số chùm laze bơm đến miền phổ cần quan sát.

Bước 5. Copy dữ liệu phổ EIT ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ.

Bước 6. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ tán sắc EIT và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ tán sắc EIT (Hình 11), trong đó Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Đo phổ hấp thụ bão hòa

Bước 1. Tắt laze DL2 để tránh nhiễu xạ lên hệ đo;

Bước 2. Tháo bản tách chùm tia BS5 và đưa gương M5 vào vị trí BS5.

Bước 3. Hạ thấp bản lọc trung hòa ND1 để không chắn chùm tia. Lúc đó, đường truyền của chùm laze được thể hiện như trên Hình 12. Chùm laze phản xạ trên BS1 đi vào giao thoa kế MZI, nhánh đi vào buồng mẫu đóng vai trò là chùm laze dò. Chùm còn lại truyền qua BS1 tới phản xạ trên M4, M6, M5 và quay lại buồng mẫu đóng vai trò là chùm laze bơm ngược chiều với chùm laze dò.

Bước 4. Điều chỉnh gương M5 sao cho chùm bơm và chùm dò giao nhau tại trung tâm buồng mẫu Rb.

Bước 5. Đóng khóa chùm tia S1 và điều chỉnh cường độ chùm laze bơm bằng cách xoay kính phân cực P1 đến vị trí nhìn thấy hình ảnh phổ hấp thụ bão hòa rõ nét trên dao động ký.

Bước 6. Copy dữ liệu phổ hấp thụ bão hòa ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ.

Bước 7. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ hấp thụ bão hòa và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ hấp thụ bão hòa (Hình 13), trong đó Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Đo phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa

Bước 1. Sau khi có phổ hấp thụ bão hòa như Quy trình ở mục 5.5, mở khóa chùm tia S1. Lúc đó, sơ đồ quang được mô tả như Hình 14.

Bước 2. Điều chỉnh cường độ chùm laze bơm bằng cách xoay kính phân cực P1 đến vị trí nhìn thấy hình ảnh phổ tán sắc rõ nét trên dao động ký.

Bước 3. Copy dữ liệu phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa ở kênh 1 (từ đầu thu PD1) và dữ liệu vân giao thoa FPI ở kênh 2 (đầu thu PD2) của dao động ký vào máy tính để định cỡ phổ.

Bước 4. Dùng phần mềm thông dụng (excel, origin...) vẽ đồ thị của phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa và phổ FPI. Sử dụng khoảng vân giao thoa là 380 MHz và số lượng điểm ảnh trong khoảng vân để rút ra khoảng tần số giữa các điểm ảnh. Từ đó suy ra tần số của phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa (Hình 15), trong đó Δp là độ lệch tần số của laze dò so với tần số cộng hưởng nguyên tử.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Bộ KIT có kích thước nhỏ gọn (60cm x 50cm x 50 cm), tích hợp các môđun sử dụng chung hai laze, buồng mẫu, đầu thu và các linh kiện quang nên giá thành thấp hơn nhiều so với xây dựng các môđun riêng lẻ (ước tính bằng 30%).

Bộ KIT việc tích hợp các môđun nên tiết kiệm thời gian và thao tác cho các phép đo. Đồng thời, các môđun đo phổ được tích hợp thêm môđun định cỡ nên tiện lợi cho việc xác định tần số của phổ thu được;

Bộ KIT được lắp đặt từ các linh kiện, thiết bị tiêu chuẩn có trên thị trường nên dễ dàng được thương mại hóa; Bộ KIT có quang trình của chùm sáng được thu gọn trong các khoảng cách ngắn nên giảm thiểu ảnh hưởng của các chấn động cơ và có độ ổn định rất cao;

Bộ KIT tích hợp nhiều thí nghiệm nên có thể sử dụng cho đào tạo và nghiên cứu ở các trường đại học/viện nghiên cứu;

Bộ KIT thiết kế tạo hiệu ứng EIT ở gần nhiệt độ thường nên sát với các nghiên cứu ứng dụng so với các thí nghiệm tạo EIT trong môi trường nguyên tử siêu lạnh.

Yêu cầu bảo hộ

1. Bộ KIT tạo hiệu ứng trong suốt điện từ (EIT) và phổ phân giải siêu cao tích hợp nhiều cấu hình đo, bộ KIT này bao gồm:

các thiết bị/linh kiện quang được lắp đặt trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học tiêu chuẩn, trong đó:

bình chứa mẫu nguyên tử Rubi (Rb) có dạng hình trụ và được đặt trên một giá đỡ được trang bị bộ điều khiển nhiệt độ;

hai nguồn laser diot (diode) đơn mode phát xạ xung quanh bước sóng 780 nm để kích thích mẫu nguyên tử: laser (DL1) có công suất phát cỡ 70 mW đóng vai trò là laser dò, laser (DL2) có công suất phát cỡ 120 mW đóng vai trò là nguồn laser bơm (hay laser điều khiển), trong đó công suất của các chùm laser khi qua buồng mẫu được điều chỉnh bằng cách xoay các kính phân cực (P1-P3) và bộ lọc trung hòa (ND1-ND2) phía trước buồng mẫu;

một giao thoa kế Fabry-Perot (FPI) để định cỡ phổ, có khoảng phổ tự do 380 MHz và một giao thoa kế Mach-Zehnder để đo tán sắc của nguyên tử (khi có EIT hoặc khi có hấp thụ bão hòa);

ba đầu thu quang (PD) để ghi lại thông tin phổ, trong đó một đầu thu tín hiệu dò (PD1), một đầu thu tín hiệu của FPI để định cỡ phổ (PD2), một đầu thu tín hiệu để khóa tần số laser điều khiển (PD3);

hệ thống các gương (M1-M7) và bản tách chùm (BS1-BS6), khóa đóng/mở chùm laser (S1-S4) được bố trí trên các lỗ định vị của mặt bàn quang học để thuận tiện cho việc thực hiện chuyển đổi giữa các phép đo ứng với sáu cấu hình như sau:

cấu hình 1: đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laser bơm ngược chiều laser dò,

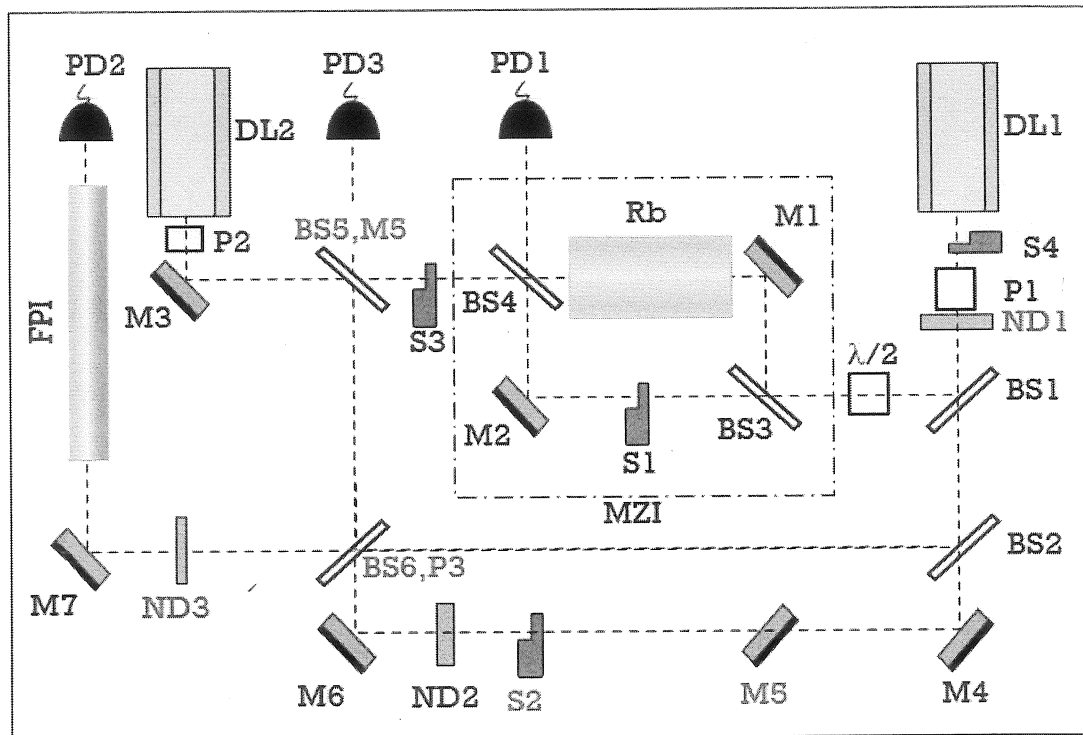
cấu hình 2: đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm ngược chùm dò,

cấu hình 3: đo phổ hấp thụ EIT cấu hình chùm laser bơm cùng laser dò,

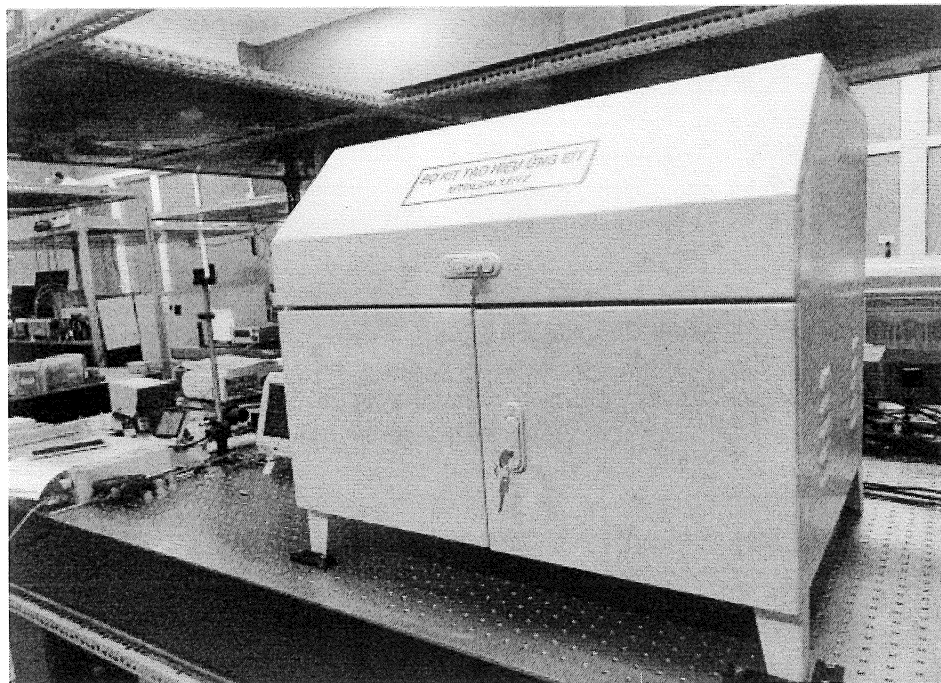
cấu hình 4: đo phổ tán sắc EIT cấu hình chùm bơm cùng chùm dò,

cấu hình 5: đo phổ hấp thụ bão hòa của nguyên tử Rb,

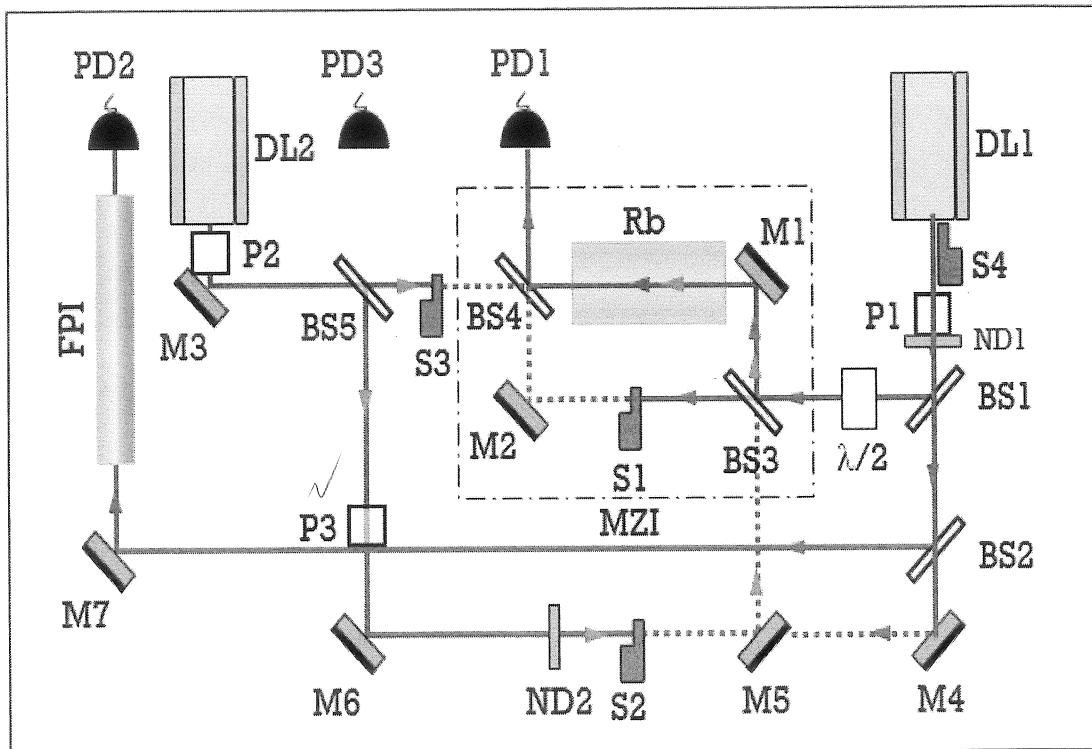
cấu hình 6: đo phổ tán sắc của hấp thụ bão hòa trong nguyên tử Rb.



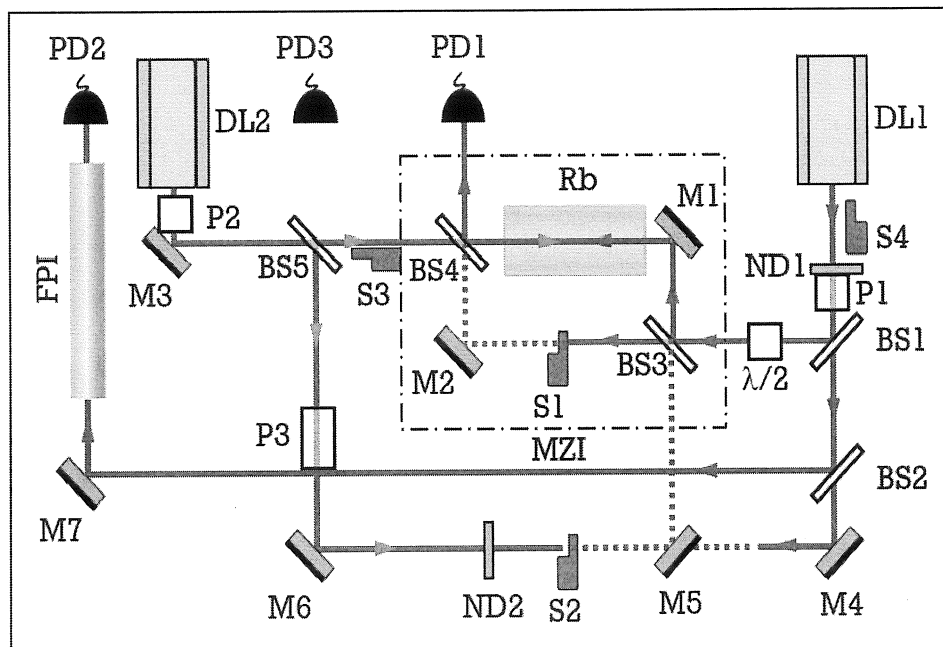
Hình 1



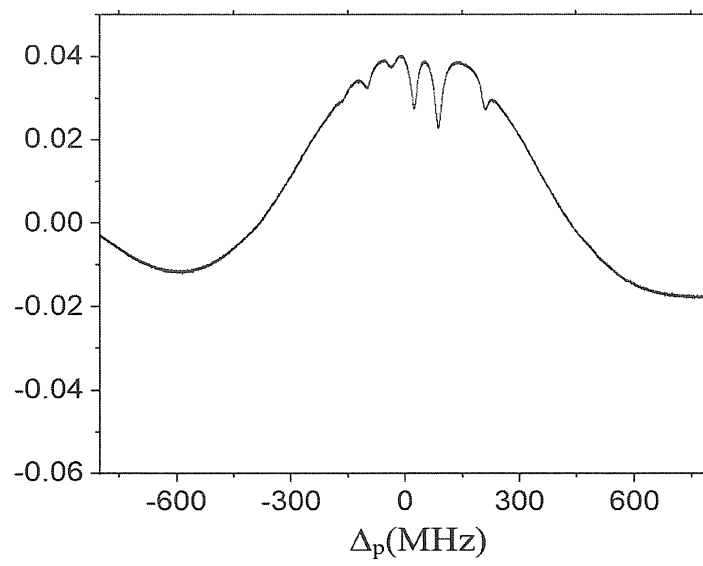
Hình 2



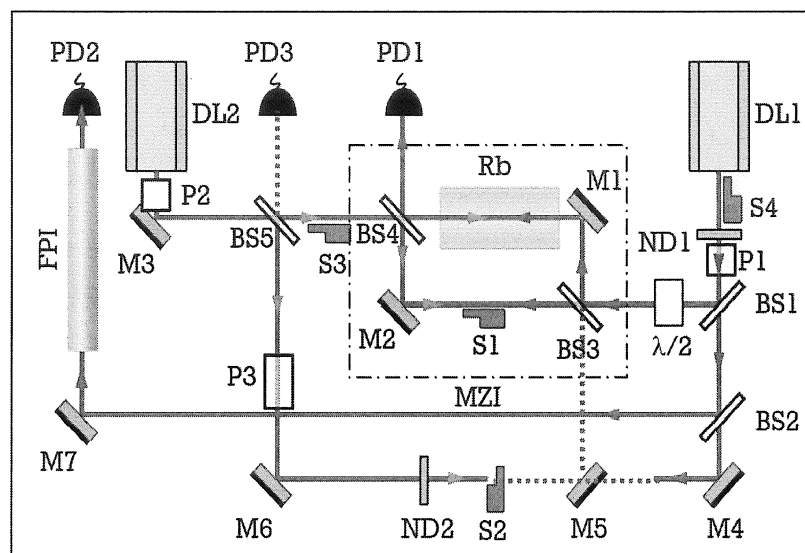
Hình 3



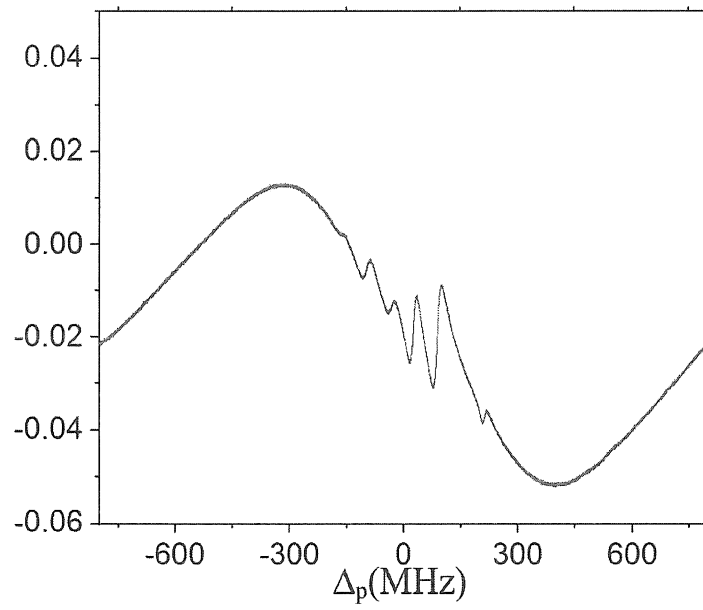
Hình 4



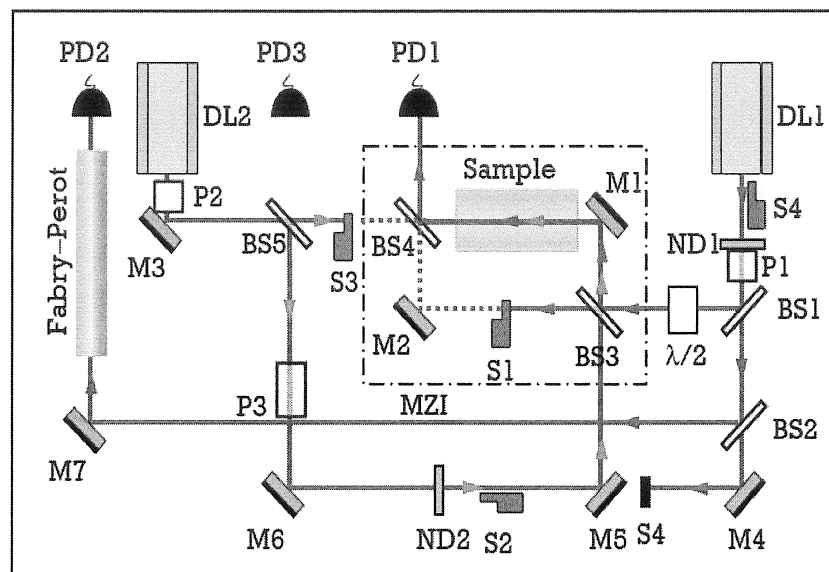
Hình 5



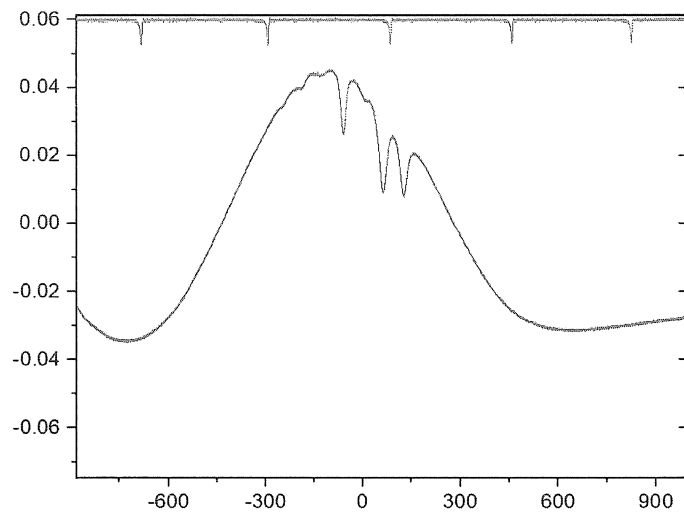
Hình 6



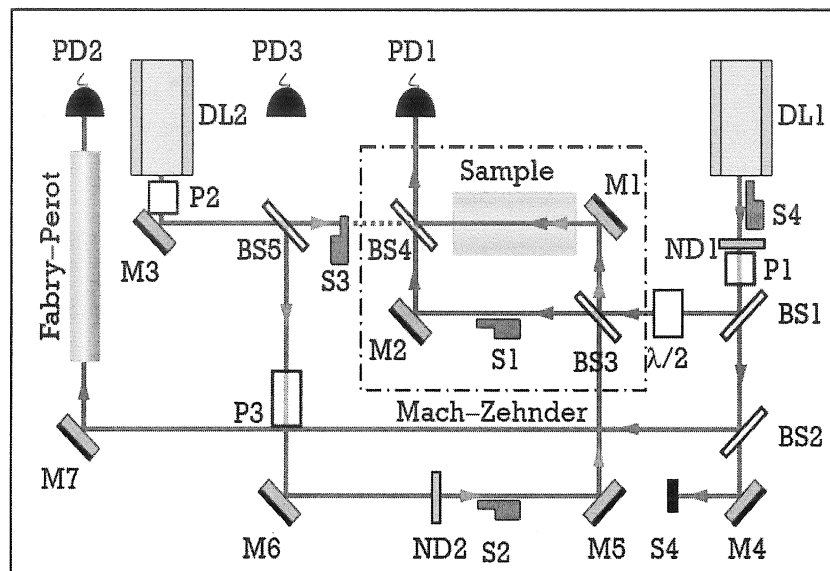
Hình 7



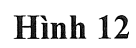
Hình 8

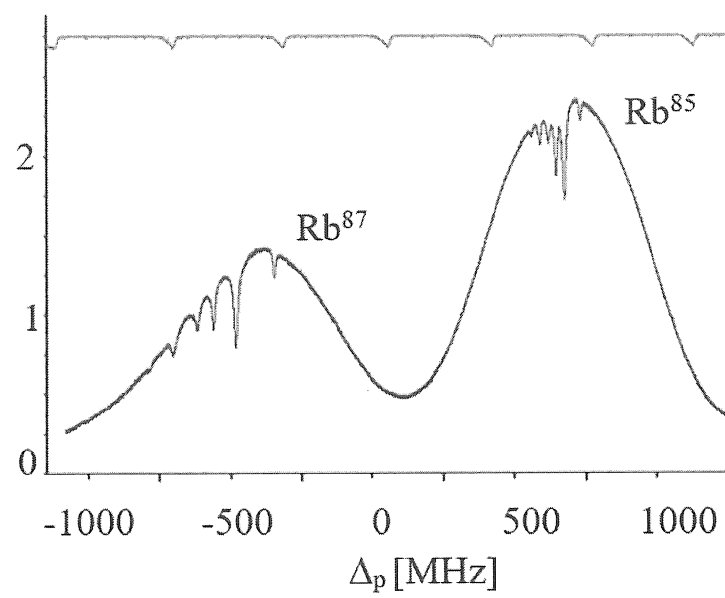


Hình 9

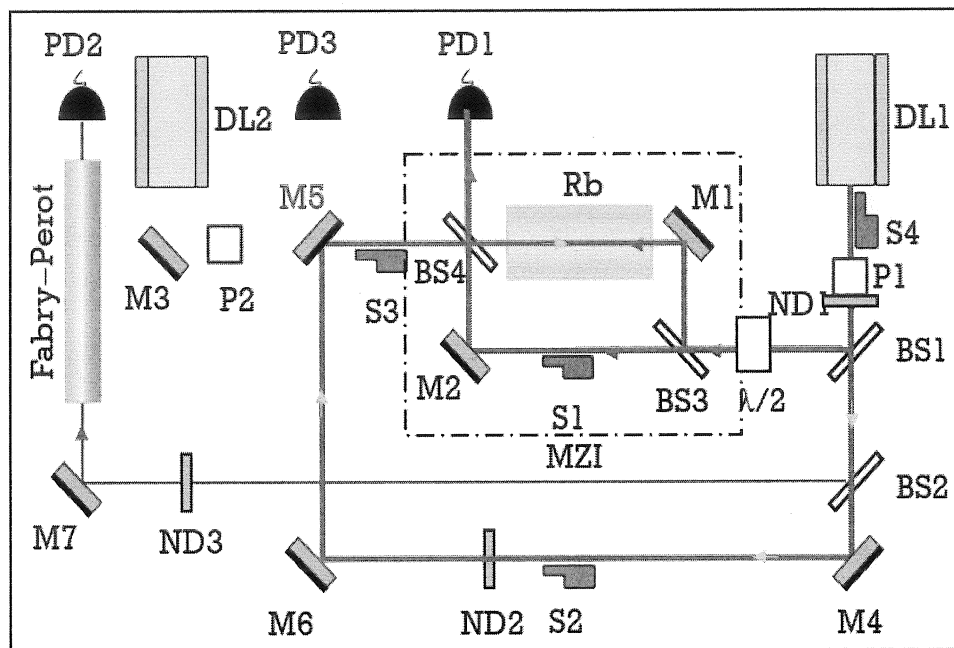


Hình 10

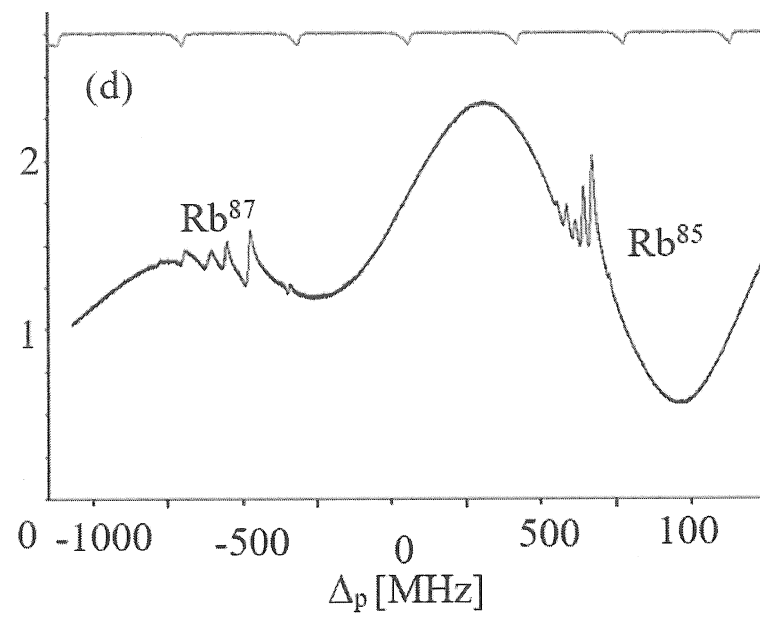




Hình 13



Hình 14



Hình 15