



(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) 
1-0020134

(51)⁷ **G01N 21/00, G01J 9/02, G02B 5/18,**
6/02085, H01S 3/0675, 5/1228

(13) **B**

(21) 1-2016-03500

(22) 19.09.2016

(45) 25.12.2018 369

(43) 27.02.2017 347

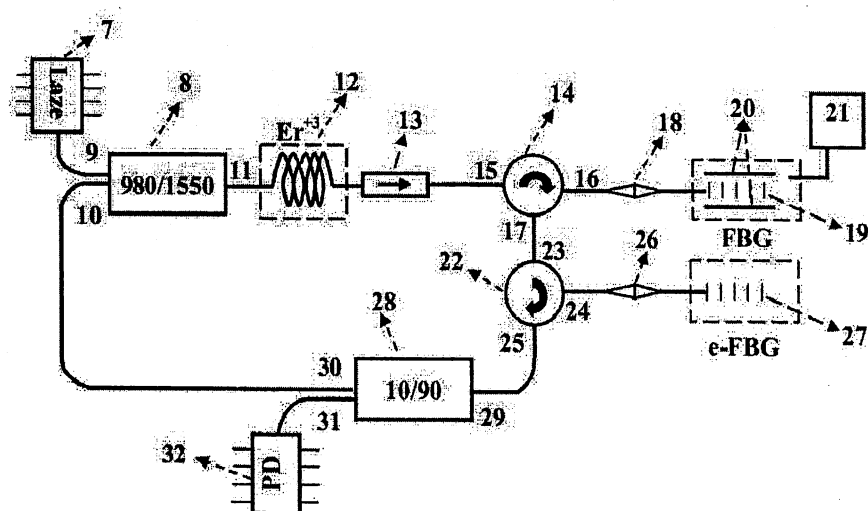
(73) **VIỆN KHOA HỌC VẬT LIỆU, VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM (VN)**

18 Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) **Phạm Thanh Bình (VN), Phạm Văn Hội (VN), Bùi Huy (VN), Phùng Thị Hà (VN), Nguyễn Văn Thịnh (VN), Lê Hữu Thắng (VN), Nguyễn Văn Ân (VN), Ngô Quang Minh (VN), Phạm Văn Đại (VN)**

(54) **THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐO CHIẾT SUẤT CỦA CHẤT LỎNG BẰNG ĐẦU DÒ CÁCH TỬ BRAGG TRONG SỢI QUANG ĐƯỢC ĂN MÒN (E-FBG) TÍCH HỢP TRONG CẤU HÌNH LAZE CỘNG HƯỞNG VÒNG**

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp đo chiết suất của môi trường chất lỏng dựa vào phương pháp xác định dịch đỉnh phổ phản xạ quang của đầu dò cách tử Bragg trong sợi quang được ăn mòn (e-FBG - etched-Fiber Bragg Grating) bằng cách tích hợp hai cách tử Bragg trong sợi quang (FBG) và e-FBG là phân tử chọn lọc một laze trong cấu hình laze vòng. Phương pháp đo bao gồm: chuẩn bị đầu dò cách tử cảm biến e-FBG (27) được chế tạo bằng ăn mòn hóa học và được đặt trong môi trường cần đo, bước sóng phản xạ của e-FBG (27) sẽ thay đổi do tác động của môi trường, thay đổi nhiệt độ độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG (19) nhằm thay đổi bước sóng của một laze được chọn lọc bởi cách tử này qua phổ phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG (27) và tín hiệu quang-điện sẽ được thu bằng photodiốt (32) và giá trị cực đại thu được tương ứng với vị trí của e-FBG dịch chuyển. Độ dịch chuyển bước sóng của e-FBG (27) sẽ được xác định dựa vào đồ thị đường chuẩn trong cơ sở dữ liệu đã được lưu giữ.



Lĩnh vực được đề cập của sáng chế

Sáng chế này đề cập đến thiết bị quang tử dùng để đo chiết suất của chất lỏng ở điều kiện môi trường bình thường. Sáng chế cũng đề cập đến phương pháp đo mới xác định sự dịch đỉnh phổ cộng hưởng quang của cách tử Bragg trong sợi quang đã được ăn mòn lớp vỏ (e-FBG - etched-Fiber Bragg Grating) để từ đó xác định chiết suất của chất lỏng. Phương pháp này đề xuất sử dụng hệ thiết bị quang tử mới với cấu hình cấu hình mới tích hợp hai cách tử Bragg trong laze cộng hưởng vòng, trong đó một cách tử Bragg (FBG - Fiber Bragg Grating) dùng làm tham chiếu và một cách tử e-FBG dùng làm đầu dò cho cảm biến và cả hai cách tử này được coi là phần tử chọn lọc một laze trong cấu hình laze cộng hưởng vòng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các tài liệu sáng chế Mỹ số US 8542353 B2 và US 7199871 B2 đề cập đến phương pháp đo chiết suất của chất lỏng thông qua việc phân tích góc tới và góc phản xạ của chùm sáng và so sánh cường độ của chùm sáng tới và chùm sáng phản xạ, cả hai sáng chế đều áp dụng hệ phương trình Fresnel với kỹ thuật dạng ghép lăng kính, kỹ thuật này cũng đạt được độ nhạy tương đối cao. Tuy nhiên, thiết bị sử dụng là hệ thiết bị quang học phức tạp, cồng kềnh, rất khó căn chỉnh trong việc quá trình sử dụng.

Tài liệu sáng chế Mỹ số US 6144026 A đề cập đến thiết bị cảm biến quang tử dựa trên phần tử đầu dò cách tử Bragg trong sợi quang cách tử ăn mòn (e-FBG) để xác định sức căng và xác định các thành phần hóa

học thông qua chiết suất. Các tài liệu sáng chế số US 20150077736 A1 và WO 2013139783 A1 cũng đề cập đến thiết bị cảm biến quang tử dựa trên phần tử đầu dò cách tử Bragg trong sợi quang cách tử ăn mòn (e-FBG) để kiểm soát đồng thời ba thông số nhiệt độ, áp suất và chiết suất của môi trường ngoài. Mỗi một sáng chế đều đưa ra các giải pháp cải tiến để giải quyết vấn đề đặt ra cho hệ thiết bị cảm biến quang tử dựa trên phần tử đầu dò cách tử Bragg. Tuy nhiên các sáng chế này đều chưa khắc phục được chi phí chế tạo của hệ thiết bị vì vẫn dựa vào việc phân tích phổ phản xạ quang của đầu dò cảm biến FBG bằng thiết bị phân tích phổ phân giải cao đắt tiền.

Phương pháp phân tích phổ biến dùng cho thiết bị cảm biến quang tử dựa trên đầu dò cảm biến cách tử FBG là thông qua việc đo dịch phổ phản xạ quang của cách tử bằng việc sử dụng thiết bị phân tích phổ quang có độ phân giải cao (Optical Spectrum Analyzer). Thiết bị phân tích phổ quang có chi phí chế tạo cao bởi vì kết cấu thiết bị có các thành phần cơ khí và quang học yêu cầu có độ chính xác rất cao. Các thiết bị phân tích phổ quang được phân chia làm nhiều loại với độ chính xác thấp (sai số đo bước sóng khoảng vài nano-mét đến 0,1nm), độ chính xác trung bình (sai số đo bước sóng trong khoảng 0,01 đến 0,1 nm) và độ chính xác cao (sai số đo bước sóng nhỏ hơn 0,01 nm) và chi phí chế tạo cũng phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của thiết bị. Do chi phí chế tạo thiết bị phân tích phổ quang cao nên thiết bị cảm biến quang sử dụng để đo các thông số vật lý, hóa học hoặc sinh học của môi trường hiện nay có chi phí chế tạo cao nên đã hạn chế quy mô sử dụng trong thực tế các thiết bị cảm biến quang trên thế giới và ở Việt nam.

Một số nhóm nghiên cứu phát triển công nghệ đã tối ưu hóa kết cấu của thiết bị đo phổ quang bằng cách tích hợp các phần tử quang học rời rạc (gương, thấu kính...) trong ống dẫn quang, đặc biệt thay thế các phần tử quang học phức tạp (như cách tử, định tuyến quang...) chế tạo từ vật

liệu truyền thống (thủy tinh, tinh thể quang học...) bằng các phần tử quang học được chế tạo từ các loại vật liệu mới (polyme), vì vậy họ đã chế tạo ra các loại thiết bị đo phổ quang với chi phí chế tạo tương đối rẻ (thí dụ: Hãng Ocean của Canada đã đưa ra thị trường một số thiết bị đo quang phổ USB2000 và USB 4000, Hãng Advantes của Hà Lan cũng mới đưa ra thị trường một số thiết bị đo quang phổ với chi phí chế tạo tương đương khoảng vài ngàn đôla Mỹ) để sử dụng trong các thiết bị cảm biến quang đo môi trường. Các thiết bị đo phổ quang này có nhiều ưu điểm như kích thước nhỏ gọn và chi phí chế tạo rẻ, tuy nhiên nó cũng có nhiều hạn chế như độ bền không cao và đặc biệt là độ phân giải quang phổ của thiết bị khá thấp ($>0,3\text{nm}$) cho nên các thiết bị cảm biến quang sử dụng chúng cũng bị hạn chế về độ nhạy và độ chính xác của phép đo.

Các loại thiết bị cảm biến quang dựa trên phần tử đầu dò sử dụng cách tử Bragg trong sợi quang (FBG) và cách tử ăn mòn (e-FBG) để xác định, kiểm soát các tác nhân vật lý cũng như hóa học và sinh học trong môi trường sống (không khí, nước, chất lỏng...) như đo các thông số nhiệt độ, áp lực, sức căng bề mặt, lực kéo dãn, dao động và chiết suất ..., đã được kiểm chứng. Loại cảm biến FBG này đã được quan tâm phát triển rất sôi động trong gần hai thập kỷ vừa qua do chúng có nhiều ưu điểm như: thời gian đo đáp ứng nhanh, kết quả đo lặp lại tốt, độ chính xác phép đo cao, bền trong môi trường ăn mòn hóa học và sinh học, không bị nhiễu loạn trong môi trường có trường điện-từ cao, kích thước gọn nhẹ, dễ tích hợp với sợi quang thông tin tiêu chuẩn để truyền tín hiệu thu được từ đầu dò cảm biến đến khoảng cách xa, vì vậy dễ dàng xử lý tín hiệu tại trung tâm thu thập số liệu. Hơn nữa, độ ổn định của cảm biến này trong môi trường tự nhiên rất cao (không bị rỉ sét do quá trình oxy-hóa, không bị chập mạch do nguồn điện cấp, và đặc biệt an toàn với môi trường sống...) do cảm biến quang sợi được chế tạo bằng thủy tinh silica. Nguyên lý hoạt động của loại cảm biến này chủ yếu dựa vào sự dịch phổ

phản xạ của cách tử FBG với bước sóng phản xạ được tính bằng công thức Bragg: $\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda$, trong đó Λ là chu kỳ cách tử, n_{eff} là chiết suất hiệu dụng trong cách tử. Độ dịch phổ phản xạ của FBG do tác động của nhiệt độ và áp lực được tính bằng công thức [Meltz G. and Morey W.W., *Proc. SPIE*, v.1516 (1991) 185-199]:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_B} = [(\alpha + \xi)]\Delta T + \left[-\frac{1-2\nu}{E} + \frac{n_{eff}^2}{2E}(1-2\nu)(2p_{12} + p_{11})\right]\Delta P$$

Tuy nhiên, cách tử FBG không nhạy với sự thay đổi chiết suất của môi trường bên ngoài do lõi của cách tử bị ngăn cách với môi trường bằng lớp vỏ thủy tinh silica. Để đo chiết suất của môi trường bằng FBG, chúng ta cần phải ăn mòn lớp vỏ thủy tinh silica của sợi quang để lõi sợi quang có cấu trúc cách tử Bragg tiếp xúc trực tiếp với môi trường. Loại cách tử này được ký hiệu là e-FBG.

Độ dịch phổ phản xạ của e-FBG do tác động của chiết suất môi trường ngoài gây ra sự thay đổi chiết suất hiệu dụng của cách tử được tính bằng công thức [Iadicicco A. and Giordano M., *IEEE Photon. Tech. Lett.*, v.16 (2004) 1149]:

$$n_{eff}^2 = n_1^2 - \left\{ \frac{1 + \sqrt{2}}{1 + \left[4 + 4k_0^4 r^4 (n_1^2 - n_2^2)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 (n_1^2 - n_2^2)$$

Đầu dò cảm biến quang sử dụng cách tử e-FBG và FBG nguyên lý giống như là linh kiện lọc quang có phổ phản xạ với độ rộng phổ rất hẹp (thông thường nhỏ hơn 0,2 nm) trong vùng phổ rộng của nguồn sáng chiếu vào cách tử. Các loại thiết bị đo phổ quang có độ phân giải thấp (lớn hơn độ rộng phổ phản xạ của cách tử) sẽ không phù hợp để sử dụng trong loại thiết bị cảm biến quang có độ nhạy cao hoặc trung bình, vì vậy thiết bị cảm biến sử dụng đầu dò bằng cách tử quang sợi đều phải dùng thiết bị đo phổ quang có độ phân giải cao để đo dịch chuyển bước sóng phản xạ từ cách tử FBG trong môi trường chuẩn và môi trường cần đo.

Với lý do đó, chi phí chế tạo của các thiết bị cảm biến cách tử còn rất cao. Mặc dù có chi phí chế tạo cao, nhưng do tính ưu việt của cách tử FBG như đã nêu ở trên, thiết bị cảm biến quang này hiện đang được nghiên cứu phát triển khá mạnh và được sử dụng rất có hiệu quả trong các lĩnh vực đặc biệt như: nhà máy điện, các công trình cầu đường, trên máy bay, tàu thủy, kiểm soát môi trường đặc biệt và trong lĩnh vực quân sự.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do vậy, mục đích của sáng chế là đề xuất thiết bị và phương pháp đo chiết suất của chất lỏng có độ chính xác cao sử dụng thiết bị có chi phí chế tạo rẻ.

Để đạt được mục đích trên, sáng chế đề xuất kỹ thuật đo dựa vào việc tích hợp hai loại cách tử Bragg trong sợi quang có cộng hưởng vòng, trong đó một cách tử Bragg trong sợi quang (FBG) dùng làm tham chiếu và một cách tử Bragg trong sợi quang được ăn mòn (e-FBG) dùng làm đầu dò cảm biến và cả hai loại cách tử này được coi là phần tử chọn lọc một phát xạ cho laser cộng hưởng vòng. Trong đó, cách tử cảm biến e-FBG do quá trình tương tác của trường gần (evanescent) giữa lớp lõi sợi đã bị ăn mòn với môi trường bên ngoài có chiết suất thay đổi gây ra sự dịch đỉnh phổ phản xạ quang của cảm biến e-FBG. Sự dịch đỉnh phổ này được xác định bằng cách dùng cách tử tham chiếu FBG dùng chọn lọc một laser cho laser cộng hưởng vòng. Một laser này được quét qua phổ phản xạ quang của cách tử cảm biến e-FBG bằng kỹ thuật dùng bộ làm lạnh Peltier thay đổi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG và sử dụng linh kiện thu quang sử dụng photodiode thông thường để thu tín hiệu quang của một phát xạ laser này và biến đổi thành tín hiệu điện. Khi một phát xạ laser do cách tử FBG tham chiếu chọn lọc trùng khớp với bước sóng phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG trong môi trường đo sẽ dẫn

đến cộng hưởng cực đại trong buồng cộng hưởng vòng của laze và cường độ một laze phát ra sẽ có giá trị lớn nhất, tín hiệu quang-điện thu được từ bộ thu quang-điện photodiode sẽ đạt giá trị cực đại. Phương pháp này cho phép đo được sự thay đổi chiết suất của môi trường cần khảo sát (thí dụ: đo độ nhiễm mặn trong môi trường nước, đo độ ô nhiễm của các tạp chất Nitrat, Nitrit... trong môi trường nước sinh hoạt) có độ chính xác cao, chi phí chế tạo hợp lý (rẻ hơn nhiều lần so với sử dụng thiết bị đo phổ quang) do thiết bị đầu cuối là thiết bị quang-điện tử thông dụng và rẻ tiền mà không cần sử dụng thiết bị đo phổ quang đắt tiền. Hơn nữa cảm biến quang của thiết bị sáng chế có thể kết nối với sợi quang thông tin tiêu chuẩn để truyền tín hiệu đo được từ xa và tập trung về một trung tâm xử lý tín hiệu.

Các thí nghiệm sử dụng thiết bị và phương pháp của sáng chế đã được tiến hành trên cách tử FBG có bước sóng phản xạ trong vùng 1530-1570nm (vùng phát xạ tự phát của nguyên tố Erbium được pha tạp trong sợi quang là môi trường khuếch đại quang cho cấu hình laze cộng hưởng vòng) với độ rộng phổ phản xạ của FBG $< 0,2\text{nm}$. Các cách tử FBG có vùng phổ phản xạ nêu trên đã được dùng để chế tạo đầu dò cảm biến e-FBG và để làm cách tử tham chiếu FBG. Linh kiện thu tín hiệu quang-điện là photodiode (photodiode) hồng ngoại InGaAs/InP dùng trong thông tin quang tiêu chuẩn có khả năng đo công suất ánh sáng hồng ngoại 1550nm từ 1nano-watt (-60dBm) đến hàng chục mili-watt ($>+10\text{dBm}$). Cách tử được chọn làm cách tử tham chiếu FBG có bước sóng phản xạ trùng với bước sóng phản xạ của cách tử ăn mòn e-FBG trong môi trường (khí hoặc lỏng) tiêu chuẩn và được gắn trên bề mặt của bộ làm lạnh Peltier có độ chính xác về thay đổi nhiệt độ là $\pm 0,1^\circ\text{C}$ và được đặt trong buồng ổn nhiệt độ có cặp đo nhiệt độ thương mại loại K để giám sát nhiệt độ. Sử dụng thiết bị phân tích phổ quang có độ phân giải cao (0,01nm) để xây dựng chính xác đường đặc trưng của bước sóng phát xạ laze đã được

cách tử tham chiếu FBG chọn lọc khi thay đổi nhiệt độ của để giữ FBG và đường đặc trưng này sẽ là cơ sở dữ liệu để xác định bước sóng của cách tử cảm biến e-FBG trong môi trường đo. Cách tử FBG được ăn mòn lớp vỏ để chế tạo đầu dò cảm biến e-FBG và sau đó được dùng để đo chiết suất trong môi trường các chất hữu cơ dạng lỏng có chiết suất trong vùng 1.3-1.44 đơn vị chiết suất (được gọi là RIU: Refractive Index Unit).

Thiết bị của sáng chế đã được thử nghiệm thực tế để đo nồng độ cồn (ethanol) và methanol trong xăng A92 sinh học (xăng E5, E10) nhằm phát hiện xăng pha methanol có nguy cơ làm hỏng các chi tiết cao su trong động cơ ô-tô và xe máy. Kết quả thực nghiệm có thể đo được nồng độ ethanol hoặc methanol pha trong xăng sinh học E5 hoặc E10 với độ chính xác $\pm 0,2\%$. Thử nghiệm để đo nồng độ dung môi hòa tan trong nước hoặc đo các tác nhân hóa học trong môi trường lỏng với kỹ thuật cảm biến không đánh dấu (free-label technique) có độ an toàn cao cho môi trường, như là thực hiện đo hàm lượng Nitrat (NO_3) có trong môi trường nước với kết quả có thể đo được nồng độ Nitrat trong nước với độ chính xác đến 3ppm.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là sơ đồ khối của thiết bị cảm biến đo chiết suất của môi trường chất lỏng trên cơ sở tích hợp hai loại cách tử FBG 19 và e-FBG 36 là các phần tử chọn lọc một phát xạ laze trong cấu hình laze cộng hưởng vòng.

Hình 2 là hình vẽ sơ đồ đầu dò 27 có đế đỡ dạng rãnh hình chữ V (V-groove) 34 được làm bằng loại nhựa đặc biệt Teflon 35 để đỡ sợi quang 33. Phần đầu của sợi quang có khắc sẵn cách tử FBG và đã được ăn mòn tạo cách tử e-FBG 36.

Hình 3 là hình vẽ thể hiện đặc trưng bước sóng của một phát xạ laser được chọn lọc bằng cách tử tham chiếu FBG 19 trong cấu hình laser cộng hưởng vòng với việc áp đặt nhiệt độ bằng bộ làm lạnh Peltier 20 lên cách tử FBG 19 trong vùng từ 0°C đến 70°C.

Hình 4 là hình vẽ thể hiện đặc trưng sự dịch chuyển bước sóng của một phát xạ laser được chọn lọc bằng cách tử cảm biến e-FBG 36 trong cấu hình laser cộng hưởng vòng khi đầu dò 27 được nhúng vào trong môi trường chất lỏng có chiết suất khác nhau.

Hình 5 là hình vẽ thể hiện đặc trưng công suất quang của một phát xạ laser được chọn lọc do cách tử cảm biến e-FBG 36 trong cấu hình laser cộng hưởng vòng khi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG 19 thay đổi từ 0°C đến 70°C.

Hình 6 là hình vẽ thể hiện kết quả sử dụng thiết bị và phương pháp đo của cảm biến sáng chế thử nghiệm đo nồng độ ethanol hoặc methanol pha trong xăng sinh học E5 hoặc E10 và đo hàm lượng Nitrat (NO_3^-) có trong môi trường nước.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hình 1 là sơ đồ khối của thiết bị cảm biến cách tử ăn mòn e-FBG đo chiết suất của môi trường chất lỏng dựa vào phương pháp xác định sự dịch đỉnh phổ cộng hưởng quang của e-FBG 36 bằng cách tích hợp hai cách tử FBG 19 và e-FBG 36 là phần tử chọn lọc một laser trong cấu hình laser cộng hưởng vòng mà không cần sử dụng thiết bị đo phổ quang. Cấu hình hai cách tử tích hợp trong laser cộng hưởng vòng được thể hiện trên hình vẽ này với laser bơm bán dẫn công suất cao 165mW có bước sóng 980nm 7 được truyền qua sợi quang đơn mode đến cổng số 9 của linh kiện quang sợi kết hợp quang 8 (gọi là coupler 980/1550) và đi tới cổng 11 của linh kiện này truyền đến đoạn sợi quang pha tạp Erbium 12. Đoạn sợi pha

tạp Erbium nồng độ cao 12 (có mã số EDF-HCO-4000) có độ dài 4m đóng vai trò làm môi trường khuếch đại quang trong cấu hình laze cộng hưởng vòng này và được bơm kích thích quang bằng tín hiệu nguồn laze 980nm 7. Tín hiệu quang do phát xạ tự phát của nguyên tố Erbium khi được kích thích quang sẽ được định hướng truyền theo một chiều khi qua linh kiện cách ly quang 13 (gọi là Isolator: ISO-D-1550) đến cổng số 15 của linh kiện quang sợi điều khiển hướng truyền quang 14 (gọi là circulator) và đi ra cổng 16 của linh kiện này truyền đến cách tử FBG tham chiếu 19 thông qua điểm kết nối quang 18 (gọi là connector). Chùm tín hiệu phổ dải rộng phát xạ tự phát của nguyên tố Erbium truyền qua FBG 19 và chùm tín hiệu có bước sóng trùng với bước sóng của cách tử được tính bằng công thức Bragg: $\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda$, trong đó Λ là chu kỳ cách tử, n_{eff} là chiết suất hiệu dụng trong cách tử thì sẽ được phản xạ quay lại vào cổng số 16 của linh kiện circulator 14. Cách tử tham chiếu FBG 19 được gắn trên đế ổn nhiệt Peltier 20 và được áp đặt chu trình nhiệt độ trong vùng từ 10°C đến 70°C bằng bộ làm lạnh Peltier 20 có gắn bộ kiểm soát nhiệt độ tiêu chuẩn loại K (gọi là K-Type thermocouple) 21. Tín hiệu quang do cách tử FBG 19 lọc được dẫn đến cổng số 17 và truyền sang cổng vào 23 của linh kiện circulator 22 sau đó được định hướng đi ra cổng 24 và truyền đến cách tử cảm biến e-FBG 27 thông qua connector 26. Tín hiệu quang truyền đến có bước sóng trùng với bước sóng của cách tử e-FBG 36 sẽ lại được lọc phản xạ quay lại vào cổng số 24 và truyền sang cổng 25 của linh kiện circulator 22. Sau đó tín hiệu quang này được đưa vào cổng 29 của linh kiện chia quang sợi 28 (gọi là coupler 10/90) và cường độ tín hiệu quang được chia thành 2 phần theo tỷ lệ 10/90, một phần 10% đưa ra cổng 31 của coupler 28 được truyền đến bộ thu tín hiệu quang điện photodiode 32 và đưa ra tín hiệu điện biểu thị cường độ của một phát xạ laze được cách tử cảm biến e-FBG 36 chọn lọc thông qua mạch chuyển đổi tín hiệu quang điện. Phần 90% tín hiệu quang

còn lại được đưa ra cổng 30 của coupler 28 và truyền đến cổng 10 của coupler 980/1550 kết hợp với bước sóng bơm của laze 7 vào môi trường khuếch đại Erbium 12 và liên tục thực hiện chu trình truyền quang như được mô tả trên chính là quy trình hoạt động của laze cộng hưởng vòng được tích hợp hai cách tử 36 và 19 làm phần tử chọn lọc một phát xạ laze.

Hình 2 trình bày sơ đồ chi tiết đầu dò cảm biến e-FBG 27 được gắn trên đế đỡ sợi quang 33 có cấu hình V-groove 34 được làm bằng loại nhựa đặc biệt Teflon 35 để bảo vệ giữ phần tử cách tử cảm biến e-FBG 36 ổn định, giảm thiểu những tác động cơ học để phòng ngừa gãy sợi quang khi ăn mòn xuống đường kính sợi dưới 10micro-mét. Vật liệu Teflon là loại nhựa đặc biệt (gọi là Polytetrafluoroethylene) không độc hại với môi trường sống, có thể chịu được nhiệt độ cao, cách điện và đặc biệt độ bền hóa học rất tốt, không bị ăn mòn trong môi trường axit đậm đặc rất phù hợp trong việc sử dụng chế tạo để cho các loại cảm biến hóa-sinh.

Hình 3 là đường đặc trưng bước sóng của một laze được chọn lọc bằng cách tử tham chiếu FBG 19 trong cấu hình laze cộng hưởng vòng với nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG 19 thay đổi từ 0°C đến 70°C bằng bộ làm lạnh Peltier 20. Bước sóng của một laze được chọn lọc sẽ dịch về bước sóng dài khi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG 19 tăng và sự phụ thuộc bước sóng vào nhiệt độ xấp xỉ tuyến tính với độ lệch tiêu chuẩn $R = 0,998$. Đặc trưng của sự thay đổi bước sóng FBG 19 này được lưu giữ làm cơ sở dữ liệu cho cảm biến và để căn chỉnh điểm làm việc cho cách tử tham chiếu FBG 19 và để xác định độ dịch chuyển bước sóng của cách tử cảm biến e-FBG 36 khi thiết bị cảm biến hoạt động.

Hình 4 là đặc trưng sự dịch chuyển bước sóng của một laze được chọn lọc bằng cách tử cảm biến e-FBG 36 trong cấu hình laze sợi cộng hưởng vòng khi cách tử cảm biến e-FBG 36 được nhúng vào trong môi

trường chất lỏng có chiết suất khác nhau. Đặc trưng sự dịch chuyển bước sóng của một laze này phụ thuộc vào chiết suất môi trường (đường chấm vuông) không tuyến tính trong vùng từ 1,3 đến 1,4 đơn vị chiết suất (RIU) và được thấy có dạng Gauss với độ lệch tiêu chuẩn cao $R^2 = 0,994$. Bảng số liệu (hoặc đồ thị) của sự thay đổi bước sóng FBG 19 sẽ được lưu giữ trong máy tính để so sánh khi thiết bị cảm biến hoạt động.

Hình 5 là đồ thị mô tả đường đặc trưng sự thay đổi cường độ của một laze được chọn lọc do cách tử cảm biến e-FBG 36 trong cấu hình laze cộng hưởng vòng khi một laze được chọn lọc bởi cách tử tham chiếu FBG 19 quét qua phổ phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG 36 bằng việc sử dụng bộ làm lạnh Peltier 20 thay đổi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG 19 từ 0°C đến 70°C . Kết quả thu được từ thực nghiệm thực hiện đo trong môi trường của Methanol 99,5% với chiết suất 1,3298RIU và Acetone 99,5% với chiết suất 1,359RIU và nhận thấy tại vị trí nhiệt độ $17,5^{\circ}\text{C}$ và 39°C tương ứng với tín hiệu quang-điện của chùm laze phát xạ từ laze sợi cộng hưởng thu được bằng bộ thu quang (photodiode) 32 đạt giá trị cực đại. Từ kết quả thực nghiệm thu được đường đặc trưng được chỉ ra trong hình 4 thì vị trí của đỉnh phổ cách tử cảm biến e-FBG 36 tương ứng là 1548,026nm và 1548,29nm, so sánh với kết quả đo tại chiết suất tương ứng đó bằng thiết bị phân tích phổ quang có độ phân giải cao (0,01nm) được trình bày trong hình 5 là 1548,03nm và 1548,291nm thì nhận thấy kết quả đo của hai phương pháp có độ trùng khớp cao với sai số rất nhỏ 0,004nm (nhỏ hơn độ phân giải của thiết bị phân tích phổ 0,01nm). Do vậy, phương pháp mới với thiết bị quang-điện tử thông dụng và rẻ tiền này có thể hoàn toàn đáp ứng và thay thế được phương pháp sử dụng thiết bị phân tích phổ quang có độ phân giải cao dùng cho thiết bị cảm biến quang đo chiết suất môi trường chất lỏng bằng đầu dò cảm biến e-FBG 27.

Hình 6 trình bày kết quả sử dụng thiết bị và phương pháp đo của cảm biến sáng chế thử nghiệm đo nồng độ ethanol hoặc methanol pha trong xăng sinh học E5 hoặc E10 và có thể đạt được độ chính xác $\pm 0,2\%$. Thử nghiệm đo hàm lượng Nitrat (NO_3^-) có trong môi trường nước với kết quả đo được nồng độ Nitrat trong nước có thể đạt được độ chính xác đến 3ppm.

Sáng chế đo chiết suất của môi trường chất lỏng dựa vào phương pháp xác định sự dịch đỉnh phổ cộng hưởng quang của cách tử e-FBG 36 bằng cách tích hợp hai cách tử Bragg FBG 19 và e-FBG 36 là phần tử chọn lọc một laze trong cấu hình laze cộng hưởng vòng được mô tả chi tiết trong sơ đồ hình 1 với cách tử tham chiếu FBG 19 sử dụng có bước sóng phản xạ λ_B trong môi trường tiêu chuẩn (thí dụ: tại nhiệt độ và áp suất khí quyển tiêu chuẩn) trùng với bước sóng của cách tử cảm biến e-FBG 36 sau khi gắn trên đế 35 thiết kế theo hình 2 và được đo trong môi trường nước khử ion tại nhiệt độ phòng 25°C . Ban đầu, đường đặc trưng bước sóng của một laze được chọn lọc bằng cách tử tham chiếu FBG 19 trong cấu hình laze cộng hưởng vòng với việc áp đặt nhiệt độ bằng bộ làm lạnh Peltier 20 được đo bằng máy phân tích phổ có độ phân giải cao 0,01nm, được chỉ ra trong hình 3. Đường đặc trưng này được lưu trữ làm cơ sở dữ liệu để xác định bước sóng dịch chuyển của cách tử cảm biến e-FBG 36. Chiết suất của chất lỏng được xác định khi nhúng cách tử cảm biến e-FBG 36 vào, e-FBG 36 chịu tác động của tác nhân hóa- sinh mà đặc trưng là thông số chiết suất (thí dụ như dung môi hoà tan trong nước, thuốc bảo vệ thực vật...), do có sự tương tác của trường gần (trường evanescent) trên bề mặt tiếp xúc giữa môi trường chất lỏng và lõi sợi dẫn sáng của cách tử cảm biến e-FBG 36 và dẫn đến bước sóng phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG 36 dịch chuyển. Khi đó việc xác định vị trí dịch chuyển của e-FBG 36 này bằng cách sử dụng bộ làm lạnh Peltier 20 thay đổi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG 19 với mục đích quét một

laze được chọn lọc bởi cách tử tham chiếu FBG 19 qua phổ phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG 36 và một tín hiệu laze do cách tử cảm biến e-FBG 36 chọn lọc sẽ được thu bằng photodiode 32, được chỉ ra trong hình 5 và giá trị cực đại tương ứng với vị trí của e-FBG 36 dịch chuyển vì khi đó một tín hiệu laze quét trùng với đỉnh phổ phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG 36 và được lọc quay trở lại vòng khuếch đại với hiệu suất lớn nhất. Dựa vào cơ sở dữ liệu của đường đặc trưng đã được lưu trữ như trong hình 3 chúng ta sẽ xác định chính xác độ dịch bước sóng quang của một laze được chọn lọc và cũng là của cách tử cảm biến e-FBG 36 tương ứng với giá trị chiết suất của môi trường chất lỏng ngoài sau khi so sánh với đường đặc trưng đã được xây dựng trước ở hình 4.

Yêu cầu bảo hộ

1. Thiết bị đo chiết suất chất lỏng sử dụng laze sợi quang cộng hưởng vòng có tích hợp đầu dò cách tử Bragg trong sợi quang được ăn mòn (e-FBG – etched-Fiber Bragg Grating) (27) và cách tử Bragg trong sợi quang (FBG) tham chiếu (19) không sử dụng thiết bị đo phổ quang, thiết bị này gồm có: laze bán dẫn công suất cao 165mW có bước sóng 980nm (7) dùng để kích thích quang cho sợi pha tạp Erbium nồng độ cao (12) (có mã số EDF-HCO-4000) có độ dài 4m đóng vai trò làm môi trường khuếch đại quang để xây dựng nên cấu hình laze cộng hưởng vòng và được tích hợp cách tử tham chiếu (19) và đầu dò cảm biến e-FBG (27) thông qua linh kiện điều khiển hướng truyền quang (14 và 22), cách tử tham chiếu FBG (19) được gắn trên đế ổn nhiệt Peltier (20) có gắn bộ kiểm soát nhiệt độ tiêu chuẩn loại K (gọi là K-Type thermocouple) (21) và kết quả của thiết bị cảm biến thu được thông qua bộ thu tín hiệu quang điện photodiode (32).

2. Phương pháp đo chiết suất của chất lỏng bằng cách tử Bragg trong sợi quang được ăn mòn (e-FBG - etched-Fiber Bragg Grating) (36) được thực hiện trên một cấu hình tích hợp hai cách tử Bragg trong laze sợi quang cộng hưởng vòng, trong đó một cách tử Bragg trong sợi quang (FBG - Fiber Bragg Grating) (19) dùng làm tham chiếu được thay đổi nhiệt độ để có bước sóng phản xạ trùng với bước sóng phản xạ của đầu dò cảm biến đo chiết suất chất lỏng sử dụng cách tử ăn mòn e-FBG (36) có điều khiển độ dày lớp vỏ ăn mòn dẫn đến đo được độ dịch bước sóng cảm biến trong môi trường lỏng có chiết suất thay đổi, độ chính xác của chiết suất thay đổi đo được là $1,04 \times 10^{-4}$ RIU, phương pháp đo chiết suất chất lỏng sử dụng thiết bị sáng chế bao gồm các bước sau:

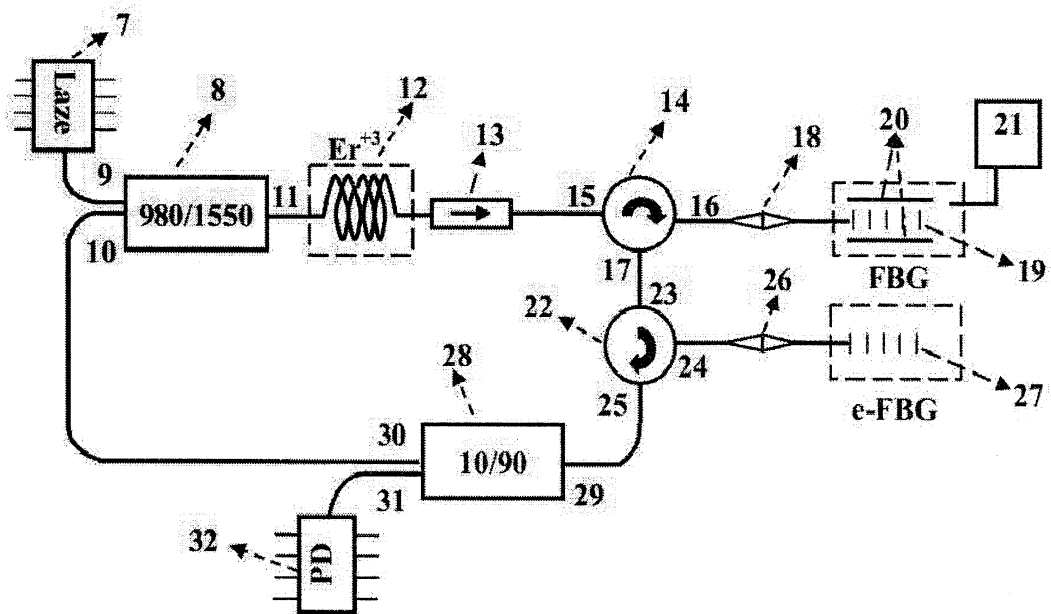
chuẩn bị đầu dò cảm biến e-FBG (36) được gắn trên đế Teflon có cấu hình V-groove (34);

đo đặc trưng của bước sóng của một laze được chọn lọc bởi cách tử tham chiếu FBG (19) phụ thuộc vào nhiệt độ được thay đổi bằng bộ làm lạnh Peltier (20) và được lưu trữ làm cơ sở dữ liệu dưới dạng bảng số liệu (hoặc đồ thị tuyến tính) hoặc đường chuẩn riêng cho thiết bị cảm biến này;

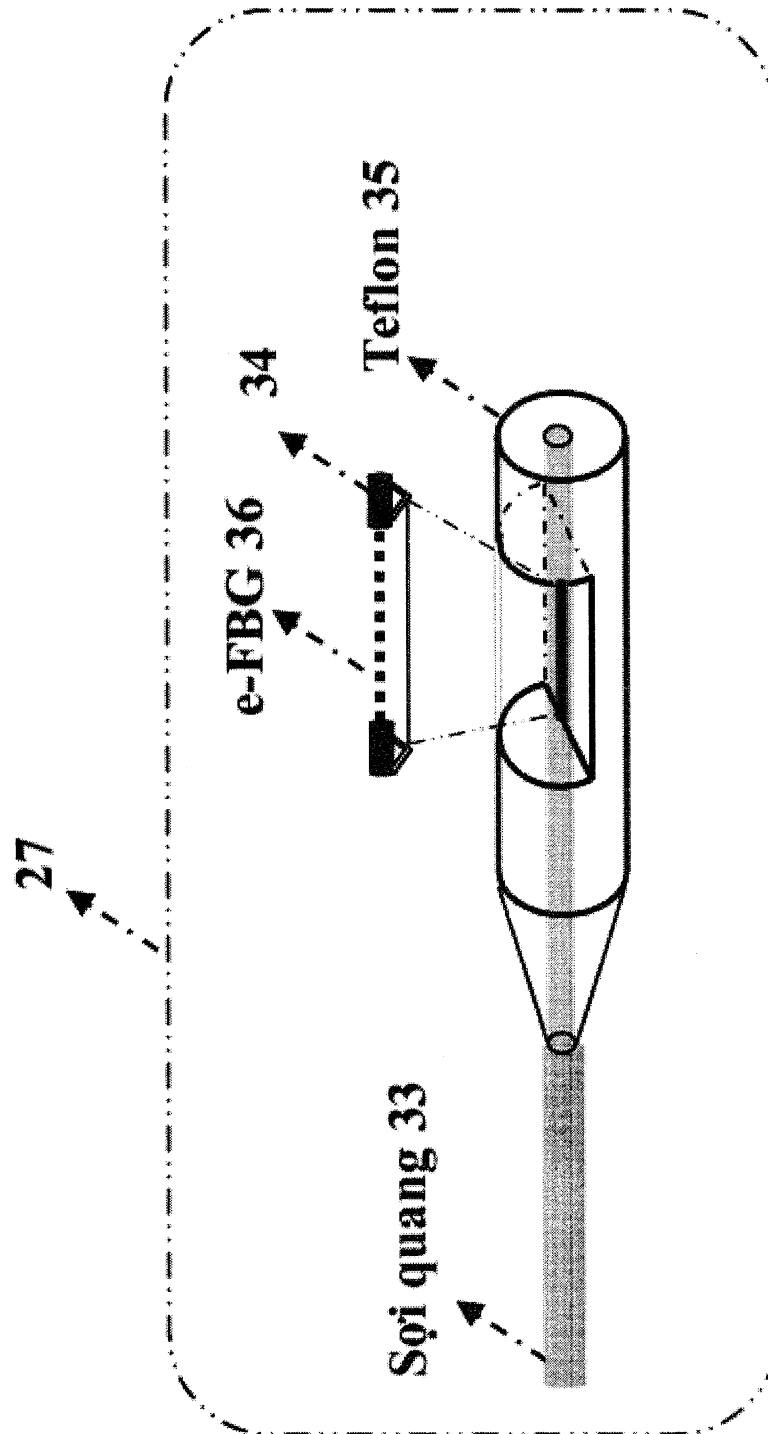
đưa đầu dò cảm biến e-FBG (27) vào trong môi trường có tác động của tác nhân cần đo mà đặc trưng là thông số chiết suất (dung dịch có chứa các chất hữu cơ hòa tan cần đo, thuốc bảo vệ thực vật...), và dẫn đến bước sóng phản xạ của đầu dò cảm biến e-FBG (36) dịch chuyển do có sự tương tác của trường gần (trường evanescent) trên bề mặt tiếp xúc giữa môi trường chất lỏng và lõi sợi dẫn sáng của đầu dò cảm biến e-FBG (36);

thay đổi nhiệt độ áp đặt lên cách tử tham chiếu FBG (19) với mục đích quét một laze được chọn lọc bởi cách tử này qua phổ phản xạ của cách tử cảm biến e-FBG (36) và tín hiệu quang-điện sẽ được thu bằng photodiode (32) và giá trị cực đại thu được tương ứng với vị trí của e-FBG (36) dịch chuyển, độ dịch chuyển bước sóng của e-FBG (36) sẽ được tính chính xác dựa vào đồ thị đường chuẩn trong cơ sở dữ liệu đã được lưu giữ;

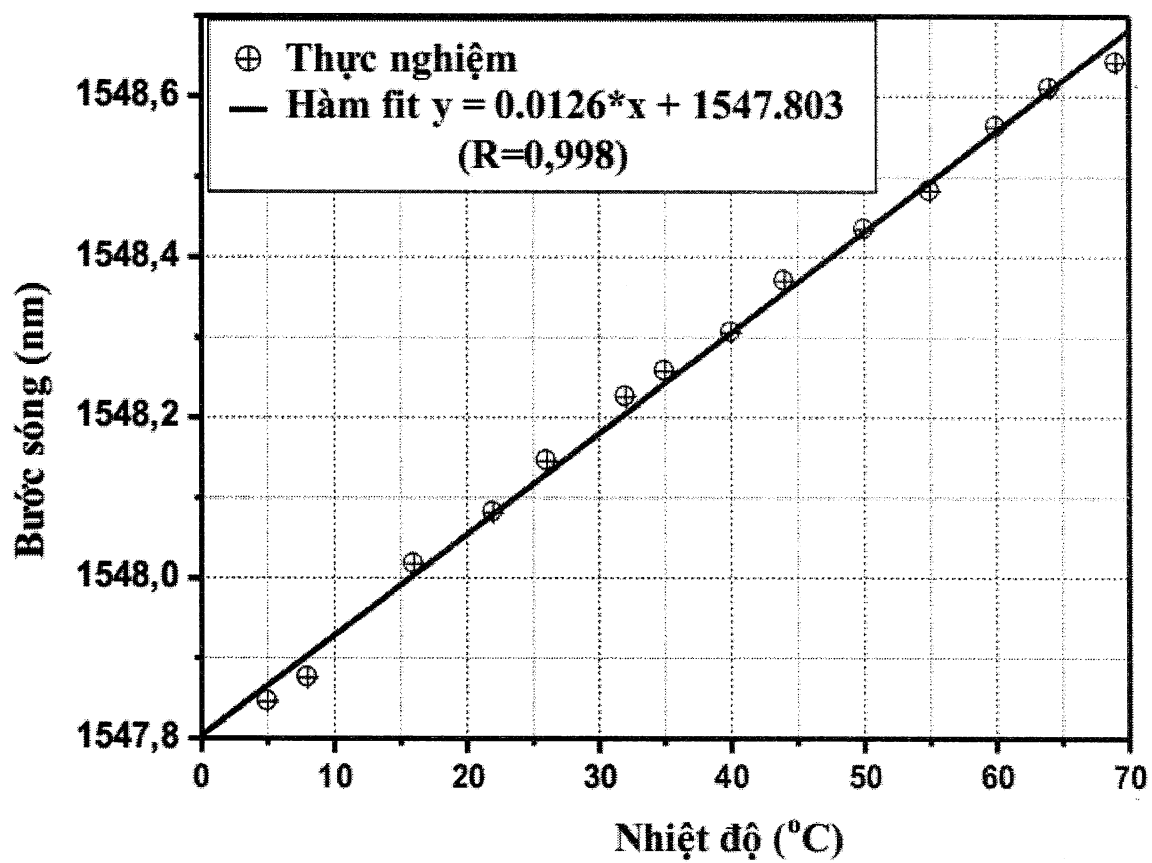
đưa ra kết quả đo bằng cách so sánh số liệu đo được với bảng số liệu hoặc đường chuẩn được lưu giữ cho thiết bị cảm biến này.



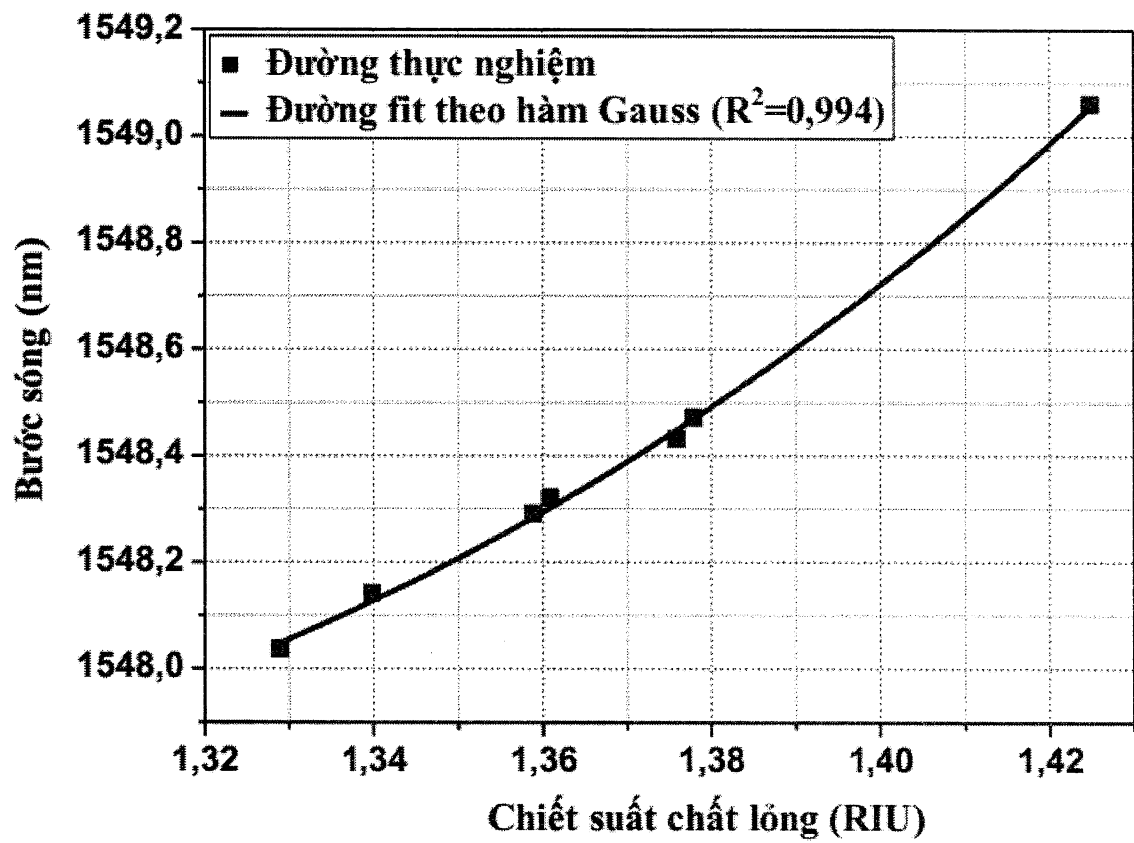
Hình 1



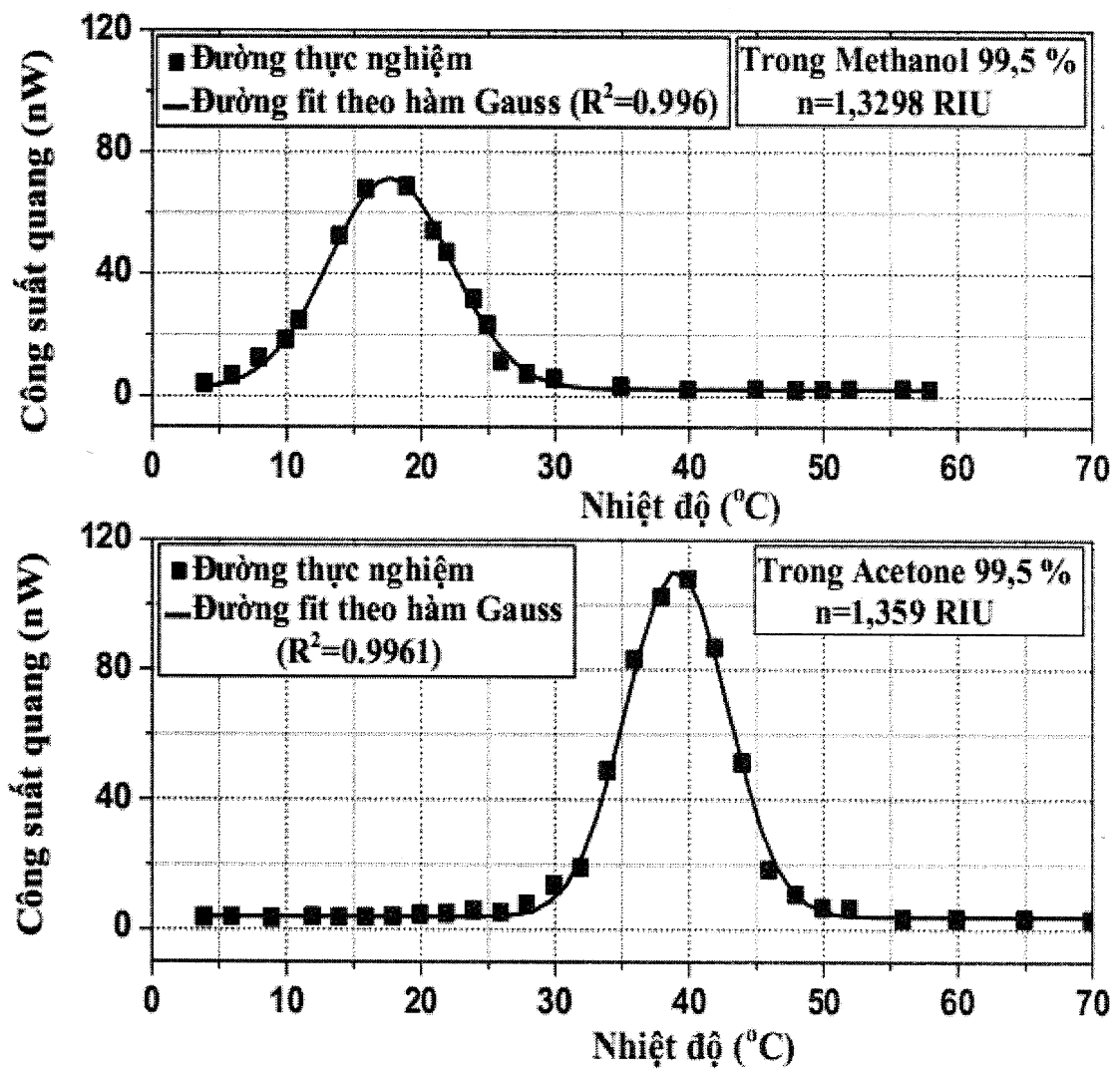
Hình 2



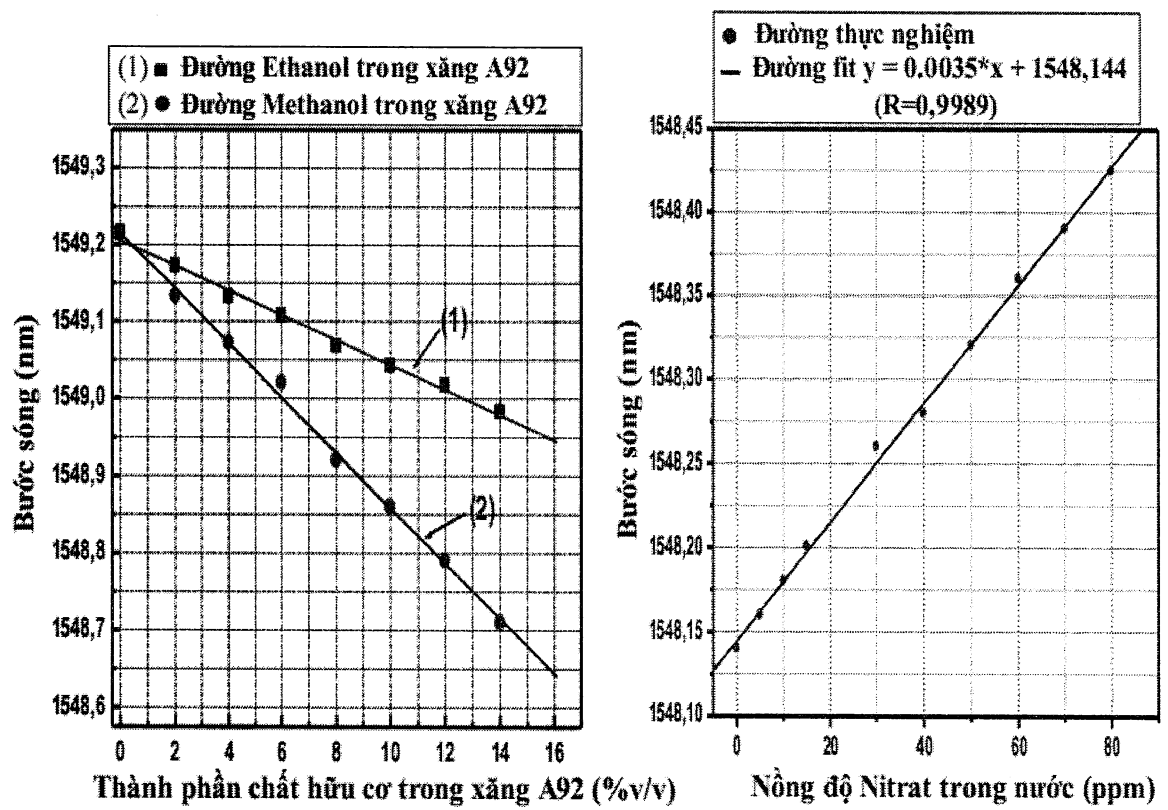
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6