



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

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

(11)



2-0003939

(51) **G01N 21/65; B82B 1/00; B82B 3/00**
2022.01

(13) **Y**

(21) 2-2023-00350

(22) 11/06/2019

(67) 1-2019-03103

(45) 27/01/2025 442

(43) 25/09/2019 378A

(73) Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội (VN)
334 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân Trung, quận Thanh Xuân, thành phố Hà Nội

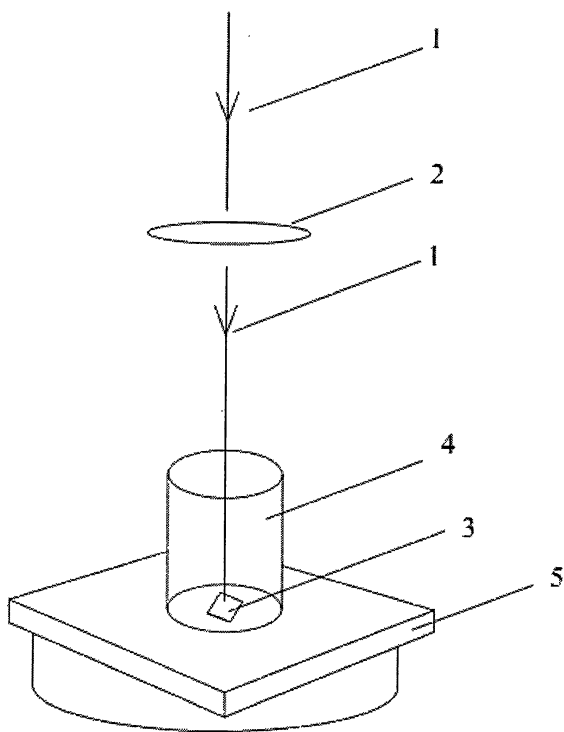
(72) Nguyễn Thế Bình (VN); Nguyễn Quang Đông (VN); Ngô Gia Long (VN); Trần
Trọng Đức (VN); Nguyễn Như Anh (VN).

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ Hải Hân (HAI HAN IP CO., LTD.)

(54) **QUY TRÌNH CHẾ TẠO CẢM BIẾN RAMAN SỬ DỤNG BỀ MẶT KIM LOẠI
ĐỒNG CẦU TRÚC NANO VÀ HẠT NANO VÀNG BẰNG KỸ THUẬT ẮN MÒN
LAZE**

(21) 2-2023-00350

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình chế tạo cảm biến Raman sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn lazer, trong đó quy trình này bao gồm bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng lazer, bước chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng lazer và bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano. Bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng lazer được thực hiện bằng cách chiếu chùm lazer (1) qua thấu kính (2) vào tấm đồng (3) đặt trong cốc (4) sao cho vết khắc lazer (6) được hình thành dưới dạng một vành tròn, bước chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng lazer được thực hiện bằng cách chiếu chùm tia lazer vào tấm bia bằng vàng để tạo thành keo hạt nano vàng và bước chế tạo để SERS được thực hiện bằng cách đưa keo hạt nano vàng lên vết khắc lazer (6).



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình chế tạo cảm biến Raman sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn laze, trong đó quy trình này bao gồm bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze, bước chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze và bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano, trong đó bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm laze vào tấm đồng đặt trong cốc chứa nước cất được quay sao cho vết khắc laze được hình thành dưới dạng một vành tròn có độ rập với cấu trúc nano có đường kính nằm trong khoảng từ 4mm đến 5mm và độ rộng nằm trong khoảng từ 0,7mm đến 0,9mm để tạo thành vùng hoạt động tán xạ Raman tăng cường bề mặt. Bước tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm tia laze vào tấm bia bằng vàng đặt trong cốc chứa etanol để tạo thành keo hạt nano vàng và bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano được thực hiện bằng cách đưa keo hạt nano vàng trong etanol lên vết khắc laze trên bề mặt đồng cấu trúc nano và làm khô để tạo thành lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Quang phổ học Raman đã được phát triển và đã trở thành một công cụ quan trọng trong các phòng thí nghiệm phân tích hóa học, khoa học vật liệu, y dược, sinh học, môi trường v.v.. nhờ những thông tin về quang phổ dao động phân tử để nhận biết như là một dấu vân tay của phân tử mà nó có thể cung cấp. Nhược điểm của phương pháp này là tín hiệu yếu, khó khăn khi phân tích các nồng độ thấp. Hiệu ứng tán xạ Raman tăng cường bề mặt (Surface Enhanced Raman Scattering - SERS) được biết đến trong kỹ thuật chuyên ngành mà nhờ

đó tín hiệu Raman được tăng lên nhiều lần (10^6 đến 10^8 lần). Cho đến nay SERS đã được nghiên cứu về cả lý thuyết lẫn thực nghiệm để trở thành một phương pháp quang phổ học mới. Hiện nay, quang phổ học Raman tăng cường bề mặt (SERS) đang được nghiên cứu, phát triển mạnh mẽ ở các phòng thí nghiệm tiên tiến trên thế giới. SERS có khả năng ứng dụng như là một cảm biến Raman cực nhạy để phân tích định tính và định lượng các phân tử hữu cơ, vô cơ trong các lĩnh vực hóa học, địa chất, y sinh, an toàn thực phẩm, môi trường v.v...

Để có được hiệu ứng SERS, nguyên lý chung là phải tạo ra được một bề mặt kim loại có độ ráp ở kích thước nano (hay còn gọi là cấu trúc nano plasmonic) và gọi là đế SERS. Một cách phổ biến là phủ một lớp mỏng kim loại quý (vàng, bạc v.v..) lên một bề mặt cấu trúc nano hoặc ngưng đọng một lớp hạt nano kim loại quý lên một bề mặt phẳng hoặc đã có cấu trúc nano (thủy tinh, silic v.v...). Nhiều kỹ thuật hiện đại, đắt tiền đã được sử dụng để chế tạo ra các bề mặt cấu trúc nano khác nhau như kỹ thuật quang khắc, khắc bằng chùm điện tử v.v...

Đơn giải pháp hữu ích Hàn Quốc số 1020150052017 đề cập đến phương pháp sản xuất cảm biến tán xạ Raman tăng cường bề mặt bao gồm bước tổng hợp cấu trúc nano ôxit kẽm bằng cách sử dụng phương pháp kết tủa hơi hóa học, và bước phủ lớp màng mỏng bạc và hạt nano vàng lên cấu trúc nano. Do đó, giải pháp hữu ích tạo ra diện tích bề mặt lớn hơn để hình thành phản hoạt động SERS mà đóng vai trò quan trọng để cải thiện hiệu quả SERS thông qua sự phát triển được kiểm soát của cấu trúc nano ôxit kẽm ba chiều và tạo ra cấu trúc nano kim loại và hấp thụ ánh sáng thông qua hệ số phản xạ thấp. Hơn nữa, giải pháp hữu ích này cho đường sóng hình nêm và hệ plasmon màng mỏng được ghép một cách có hệ thống để có hiệu năng kiểm soát ánh sáng tốt hơn một cách đáng kể.

Ngoài giải pháp như trong đơn giải pháp hữu ích Hàn Quốc nêu trên, các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực này cũng đề xuất nhiều giải pháp khác nhằm tăng cường độ nhạy của cảm biến Raman.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích đề xuất quy trình chế tạo cảm biến Raman sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn laze, trong đó quy trình này bao gồm:

bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze;

bước chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze; và

bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano; trong đó

bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm laze vào tấm đồng đặt trong cốc chứa nước cất được quay sao cho vết khắc laze được hình thành dưới dạng một vành tròn có độ rập với cấu trúc nano có đường kính nằm trong khoảng từ 4mm đến 5mm và độ rộng nằm trong khoảng từ 0,7mm đến 0,9mm để tạo thành vùng hoạt động tán xạ Raman tăng cường bề mặt,

bước tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm tia laze vào tấm bia bằng vàng đặt trong cốc chứa etanol để tạo thành keo hạt nano vàng, và

bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano được thực hiện bằng cách đưa keo hạt nano vàng trong etanol lên vết khắc laze trên bề mặt đồng cấu trúc nano và làm khô để tạo thành lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là sơ đồ quang học chiếu sáng laze để chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano và hạt nano vàng trong chất lỏng.

Hình 2 là hình vẽ minh họa vết khắc laze được hình thành dưới dạng một vành tròn.

Hình 3 là ảnh kính hiển vi điện tử quét minh họa cấu trúc nano của bề mặt vết khắc laze trên tấm đồng.

Hình 4 là ảnh kính hiển vi điện tử truyền qua minh họa hình dạng và kích thước của hạt nano vàng tạo ra trong etanol.

Hình 5 là biểu đồ minh họa phân bố kích thước của hạt nano vàng tạo ra trong etanol.

Hình 6 là ảnh kính hiển vi điện tử quét minh họa lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng có cấu trúc nano.

Hình 7 là ảnh minh họa để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano.

Hình 8 là biểu đồ minh họa phổ Raman của Xanh Malachit nồng độ 1ppm trên để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano được đo lặp lại ở hai vị trí khác nhau trên đế.

Mô tả chi tiết phương án thực hiện giải pháp hữu ích

Hiệu ứng tán xạ Raman tăng cường bề mặt (Surface Enhanced Raman Scattering - SERS) đã được quan sát đối với các phân tử bám trên bề mặt thô ráp của một số kim loại với các môi trường vật lý và hình thái khác nhau. Bạc, đồng và vàng là những kim loại chiếm ưu thế nhưng các nghiên cứu vẫn đang mở rộng với các kim loại kiềm và một vài kim loại khác. Sự tăng cường mạnh nhất quan sát được trên các bề mặt kim loại có độ nhám vào cỡ thang nano (từ 10 đến 100nm) và phụ thuộc vào hình dạng hạt. Hai cơ chế được cho là tạo ra sự tăng cường trong tín hiệu Raman đó là cơ chế tăng cường điện từ và cơ chế hóa học.

Các cảm biến SERS chủ yếu dựa trên cơ chế điện từ vì đóng góp của cơ chế này lớn hơn cơ chế hóa học nhiều bậc. Theo đó khi sóng điện từ ánh sáng chiếu đến bề mặt kim loại cấu trúc nano sẽ kích thích dao động plasmon bề mặt kim loại. Các plasmon bề mặt là các dao động tập thể của các điện tử dẫn trên bề mặt kim loại cấu trúc nano, phụ thuộc vào bản chất kim loại và kích thước cấu trúc nano kim loại. Nhờ kích thích plasmon một điện từ trường gần sẽ xuất hiện trên bề mặt kim loại, góp phần làm tăng cường hiệu ứng tán xạ Raman (được gọi là SERS) đối với những phân tử chất phân tích tiếp xúc gần bề mặt kim loại. Lý thuyết và thực nghiệm đã chứng minh hiệu ứng SERS tỷ lệ nghịch với khoảng cách từ phân tử chất phân tích đến bề mặt kim loại. Ngoài ra vị trí kẹp giữa hai cấu trúc nano kim loại (ví dụ hai hạt nano kim loại gần nhau) giúp cho hiệu ứng SERS tăng cường mạnh hơn.

Việc đo đạc, xác định chính xác hệ số tăng cường SERS của một đế SERS là không đơn giản, phụ thuộc nhiều vào điều kiện thực nghiệm, nhưng hầu hết các công bố cho thấy hệ số tăng cường SERS thực nghiệm khoảng 10^6 đến 10^8 .

Thuật ngữ “đế SERS Au/CuK” đề cập đến đế tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano. Giải pháp theo giải pháp hữu ích sử dụng kỹ thuật ăn mòn laze tạo ra độ ráp cấu trúc nano trên bề mặt kim loại đồng (Cu), sau đó phủ lên một lớp hạt nano vàng (Au). Các hạt nano vàng cũng được chế tạo bằng kỹ thuật laze trong etanol tinh khiết. Ưu điểm của kỹ thuật laze là tạo ra hạt nano trong chất lỏng sạch, không có tiền chất như trong phương pháp hóa. Nhờ vậy, các hạt nano vàng tạo ra có thể tiếp xúc trực tiếp với các chất phân tích cho hiệu ứng SERS cao và phổ sạch không làm nhiễu phổ phân tích.

Tính mới của giải pháp được đề xuất theo giải pháp hữu ích là giải pháp ăn mòn laze như cách ăn mòn laze để chế tạo hạt nano kim loại trong chất lỏng để tạo ra được một bề mặt kim loại có độ ráp cấu trúc nano. Đồng thời đã lựa chọn giải pháp chế tạo hạt nano Au bằng ăn mòn laze trong etanol tinh khiết giúp cho việc bay hơi nhanh hơn khi tạo lớp hạt Au trên đế Cu.

Quy trình chế tạo cảm biến Raman theo giải pháp hữu ích sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn laze sẽ được mô tả chi tiết dưới đây cùng với các hình vẽ và ảnh minh họa. Các hình vẽ và ảnh minh họa này giúp làm rõ bước thực hiện quy trình mà không giới hạn phương án thực hiện giải pháp hữu ích.

Như được thể hiện trên Hình 1 và Hình 2, bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm laze 1 qua thấu kính 2 đi vào tấm đồng 3 đặt trong cốc 4 chứa nước cất đặt trên giá đỡ cốc 5 được quay sao cho vết khắc laze 6 được hình thành dưới dạng một vành tròn có độ rập với cấu trúc nano. Để đạt được vết khắc laze mong muốn, các thông số cần được điều chỉnh một cách phù hợp như khoảng cách từ mặt nước đến tấm đồng 3, công suất chiếu sáng, thời gian chiếu sáng. Vết khắc laze 6 được hình thành dưới dạng một vành tròn có đường kính nằm trong khoảng từ 4mm đến 5mm và độ rộng nằm trong khoảng từ 0,7mm đến 0,9mm để tạo thành vùng hoạt động tán xạ Raman tăng cường bề mặt. Việc tính toán để đạt được kích thước của vết khắc laze 6 như nêu trên đây là để đảm bảo diện tích hoạt động SERS đủ rộng cho phép đo Micro Raman và mức độ bao phủ vừa đủ của 1 giọt hóa chất cần phân tích khi được nhỏ từ đầu pipet.

Bước tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm tia laze vào tấm bia bằng vàng đặt trong cốc chứa etanol để tạo thành keo hạt nano vàng. Để thực hiện bước này, tấm bia bằng vàng được chọn cần có độ tinh khiết cao và dùng etanol tinh khiết để keo hạt nano vàng tạo thành hầu như không có tạp chất. Trong phương pháp chế tạo hạt nano bằng kỹ thuật laze, hình thái, kích thước, nồng độ hạt nano kim loại tạo ra phụ thuộc vào thông số laze (bước sóng, công suất, thời gian chiếu sáng laze) và bản chất của chất lỏng sử dụng. Các thông số laze đã được tính toán lựa chọn để có được hạt nano vàng trong etanol với dạng gần cầu và kích thước trung bình 13nm

Bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano được thực hiện bằng cách đưa keo hạt nano vàng trong etanol lên bề mặt cấu trúc nano của vết khắc laze trên tấm đồng và làm khô để tạo thành lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng cấu trúc nano. Việc đưa keo hạt nano vàng lên bề mặt đồng được thực hiện bằng dụng cụ thông thường trong phòng thí nghiệm như pipet. Sau đó bề mặt đồng được làm khô dưới đèn hoặc trong tủ sấy ở nhiệt độ thấp. Quá trình này được lặp lại một số lần theo tính toán để tạo thành một lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng.

Sau khi hoàn thành các bước trên đây, việc đánh giá độ nhạy của đế SERS Au/CuK được thực hiện thông qua phương pháp xác định sự có mặt của các chất ở nồng độ rất thấp, ví dụ như sử dụng Xanh Malachit làm chất phân tích. Thông qua phương pháp đo phổ Raman, tác giả giải pháp hữu ích có thể thu phổ Raman của chất phân tích với nồng độ đến 0,1ppm. Điều này chứng tỏ rằng độ nhạy của đế SERS tạo ra theo giải pháp hữu ích là rất cao. Cảm biến Raman tạo ra theo giải pháp hữu ích có độ nhạy đủ cao (hệ số tăng cường thực nghiệm 10^6) cho phép xác định các chất ở nồng độ thấp phục vụ mục đích xác định dư lượng chất bảo vệ thực vật, thuốc kháng sinh trong an toàn thực phẩm.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích được minh họa chi tiết hơn dưới đây thông qua các ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích. Tuy nhiên, các ví dụ này chỉ nhằm minh họa giải pháp hữu ích và không giới hạn phạm vi bảo hộ của giải pháp hữu ích.

Ví dụ 1: Chế tạo bề mặt đồng cấu trúc nano bằng laze

Nguồn phát Laze Nd:YAG được đặt ở chế độ xung 8ns, tần số lặp lại 10Hz, bước sóng 1064nm. Dùng một thấu kính tiêu cự f bằng 100mm hội tụ chùm laze lên bề mặt tấm bia kim loại đồng. Tấm kim loại được đặt trong một cốc chứa nước cất. Giá đỡ cốc có thể quay được nhờ một mô tơ với tốc độ 9 vòng/phút.

Sử dụng tấm đồng kích thước 10mmx10mmx0,5mm đặt vào một cốc chứa 4mL nước cất. Khoảng cách từ mặt nước đến tấm đồng là 10mm. Cốc đặt tấm đồng được quay sao cho vết laser tạo một vòng tròn đường kính 4mm trên bề mặt. Ảnh kính hiển vi điện tử quét minh họa vết khắc laser trên bề mặt đồng được thể hiện trên Hình 3.

Laser Nd:YAG được đặt ở công suất trung bình 250mW, thời gian chiếu sáng laser là 5 phút. Với chế độ này một vết khắc hình vành tròn đường kính 4mm, vành tròn rộng 0,8mm và bề mặt vành tròn có độ ráp cấu trúc nano được tạo thành. Kích thước 0,8mm là đủ rộng để tạo vùng hoạt động SERS vì vết laser trong phép đo Micro Raman là 0,2 micro mét.

Ví dụ 2: Chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laser

Tấm bia kim loại được chọn là vàng tinh khiết 99,9% (dày 0,5mm, đường kính 5mm) đặt trong cốc chứa 10mL etanol tinh khiết. Sử dụng công suất laser trung bình 450mW, thời gian chiếu sáng 15 phút. Keo hạt nano vàng trong etanol tạo thành có dạng gần cầu, kích thước phân bố trong khoảng từ 5 đến 20nm, kích thước trung bình 13nm. Ảnh kính hiển vi điện tử truyền qua (ảnh TEM) minh họa phân bố kích thước của hạt nano vàng tạo ra trong etanol được thể hiện trên Hình 4. Ngoài ra, phân bố kích thước của hạt nano vàng tạo ra trong etanol được minh họa trên Hình 5.

Ví dụ 3: Chế tạo đế SERS Au/CuK

Dùng pipet nhỏ 10 μ L keo hạt nano vàng trong etanol lên vết khắc laser trên bề mặt đồng, sau đó để khô dưới đèn hoặc trong tủ sấy ở nhiệt độ thấp. Quá trình này được lặp lại 4 lần để tạo ra một lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng (đế SERS Au/CuK). Ảnh kính hiển vi điện tử quét (ảnh SEM) minh họa lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng của bề mặt đế SERS Au/CuK được thể hiện trên Hình 6. Ảnh đế SERS Au/CuK được thể hiện trên Hình 7.

Ví dụ 4: Đánh giá chất lượng của đế SERS Au/CuK

Xanh Malachit được dùng làm chất phân tích để đánh giá độ nhạy của đế SERS Au/CuK. Sử dụng công thức tính hệ số tăng cường SERS thực nghiệm đo

trên vạch 1176cm^{-1} của Xanh Malachit cho hệ số tăng cường là 10^6 . Với đế SERS Au/CuK có thể thu phổ Raman của Xanh Malachit nồng độ đến 0,1ppm. Trên Hình 8 là phổ Raman của Xanh Malachit nồng độ 1ppm với đủ các vạch đặc trưng, phân giải rõ rệt, được lặp lại khi đo ở vị trí khác nhau trên đế.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Quy trình chế tạo cảm biến Raman sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn laze theo giải pháp hữu ích được thực hiện một cách đơn giản, nhanh, không tốn kém, tạo ra được cảm biến Raman có độ nhạy đủ cao (hệ số tăng cường thực nghiệm 10^6) cho phép xác định các chất ở nồng độ thấp, ví dụ như Xanh Malachit ở nồng độ thấp đến 0,1ppm, phục vụ mục đích xác định dư lượng chất bảo vệ thực vật, thuốc kháng sinh trong an toàn thực phẩm.

Yêu cầu bảo hộ

1. Quy trình chế tạo cảm biến Raman sử dụng bề mặt kim loại đồng cấu trúc nano và hạt nano vàng bằng kỹ thuật ăn mòn laze, trong đó quy trình này bao gồm:

bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze;

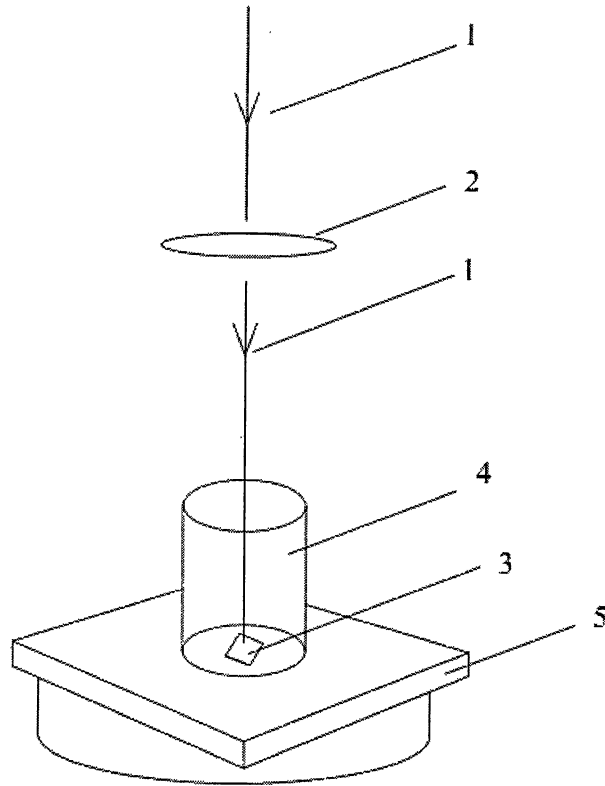
bước chế tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze; và

bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano; trong đó

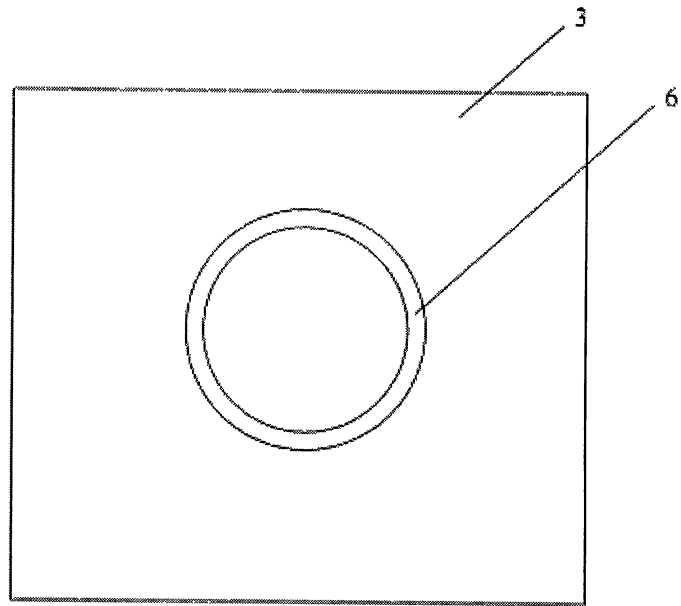
bước chế tạo bề mặt đồng có cấu trúc nano bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm laze (1) qua thấu kính (2) vào tấm đồng (3) đặt trong cốc (4) chứa nước cất được quay sao cho vết khắc laze (6) được hình thành dưới dạng một vành tròn có độ rập với cấu trúc nano có đường kính nằm trong khoảng từ 4mm đến 5mm và độ rộng nằm trong khoảng từ 0,7mm đến 0,9mm để tạo thành vùng hoạt động tán xạ Raman tăng cường bề mặt,

bước tạo hạt nano vàng trong etanol bằng laze được thực hiện bằng cách chiếu chùm tia laze vào tấm bia bằng vàng đặt trong cốc chứa etanol để tạo thành keo hạt nano vàng, và

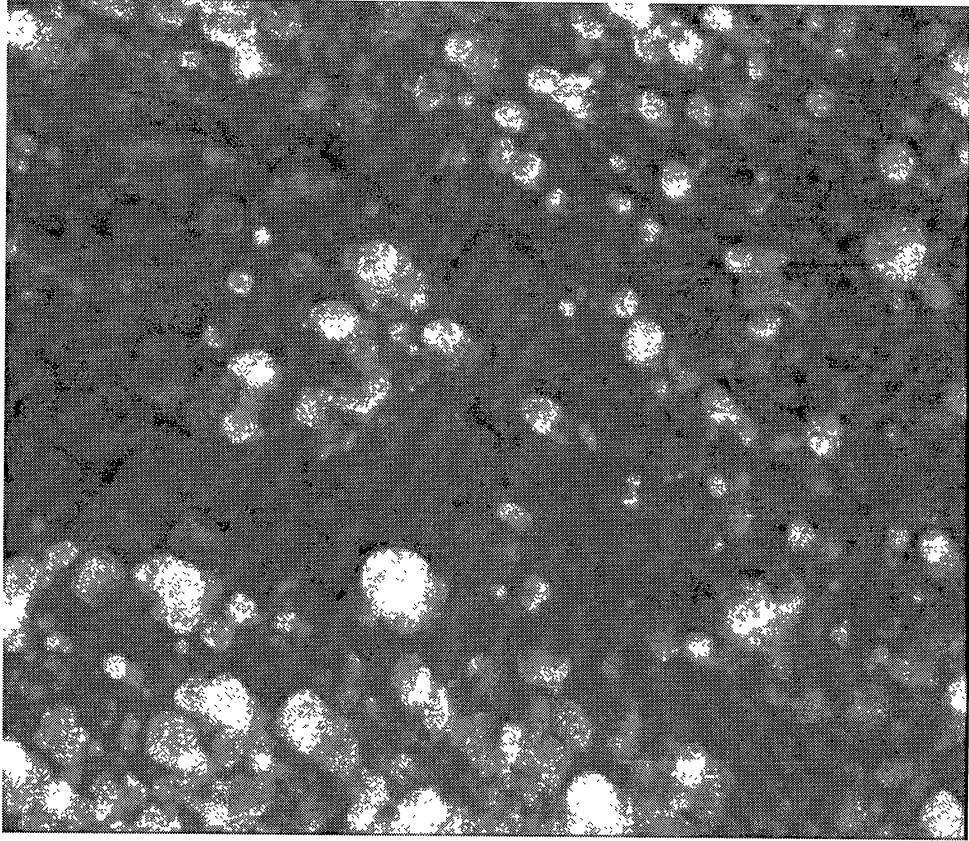
bước chế tạo để tán xạ Raman tăng cường bề mặt với hạt nano vàng phủ trên bề mặt đồng có cấu trúc nano được thực hiện bằng cách đưa keo hạt nano vàng trong etanol lên vết khắc laze (6) trên bề mặt đồng cấu trúc nano và làm khô để tạo thành lớp hạt nano vàng trên bề mặt đồng.



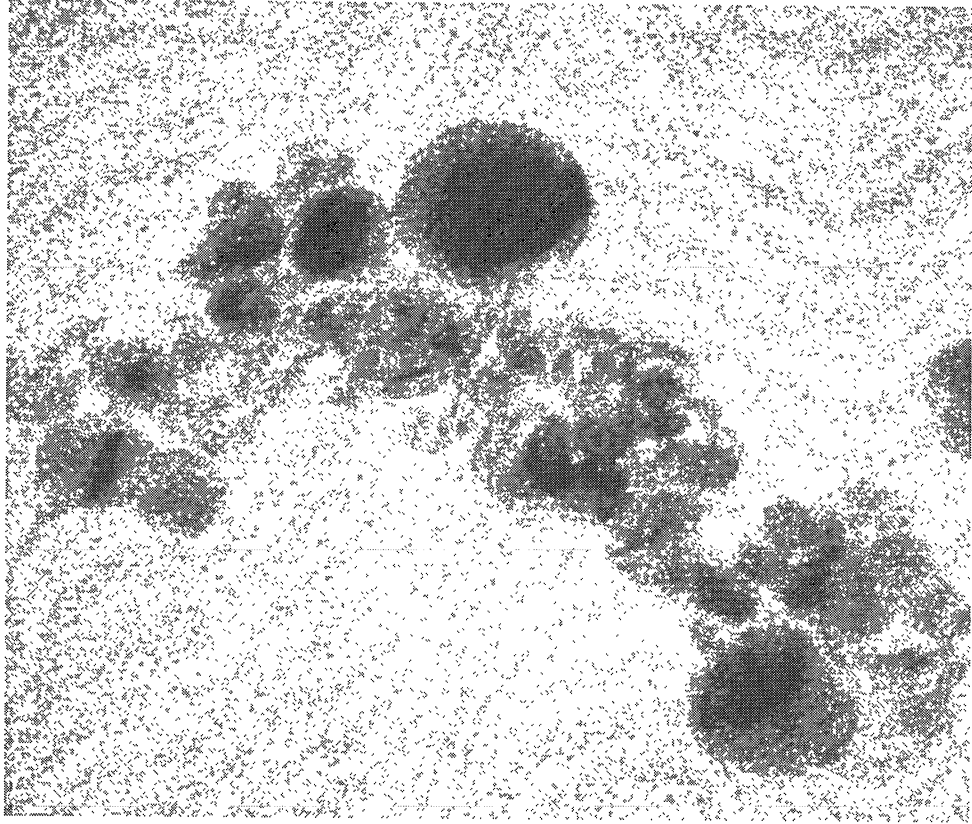
Hình 1



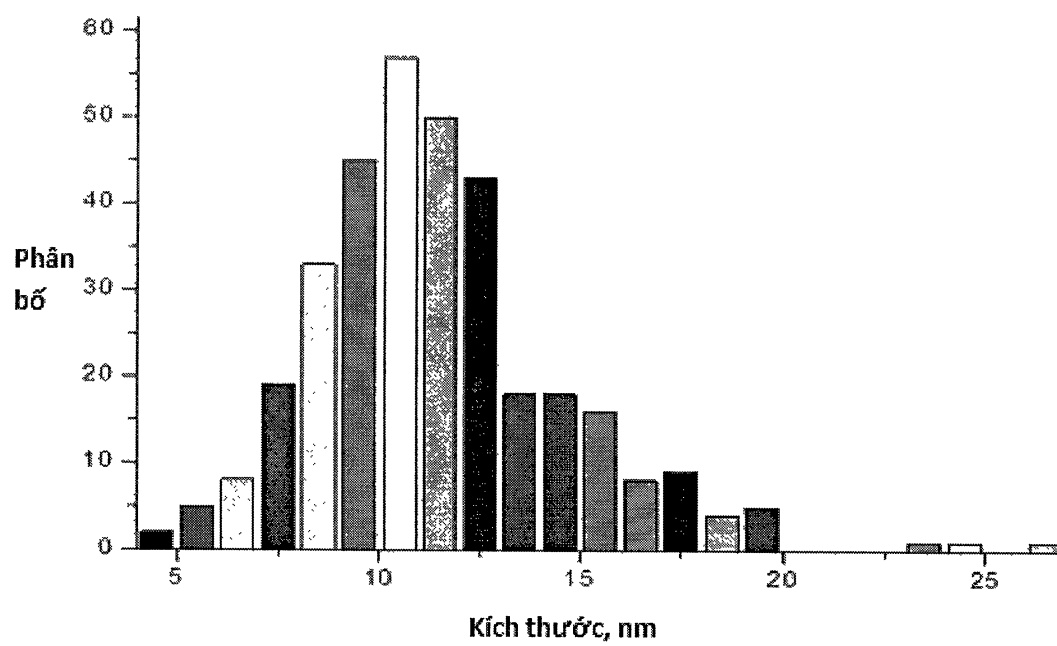
Hình 2



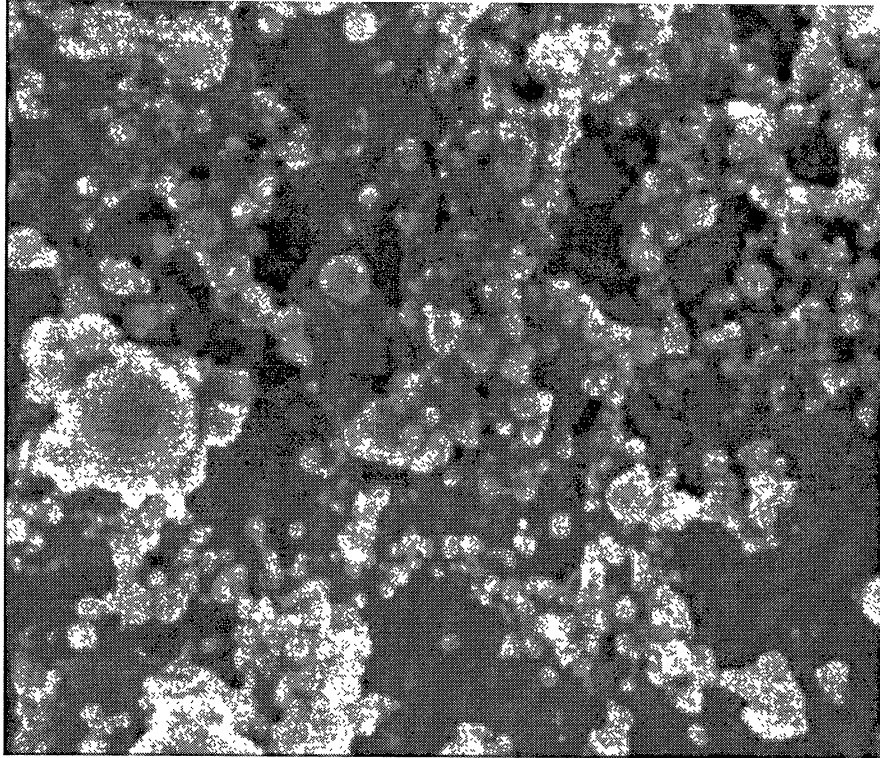
Hình 3



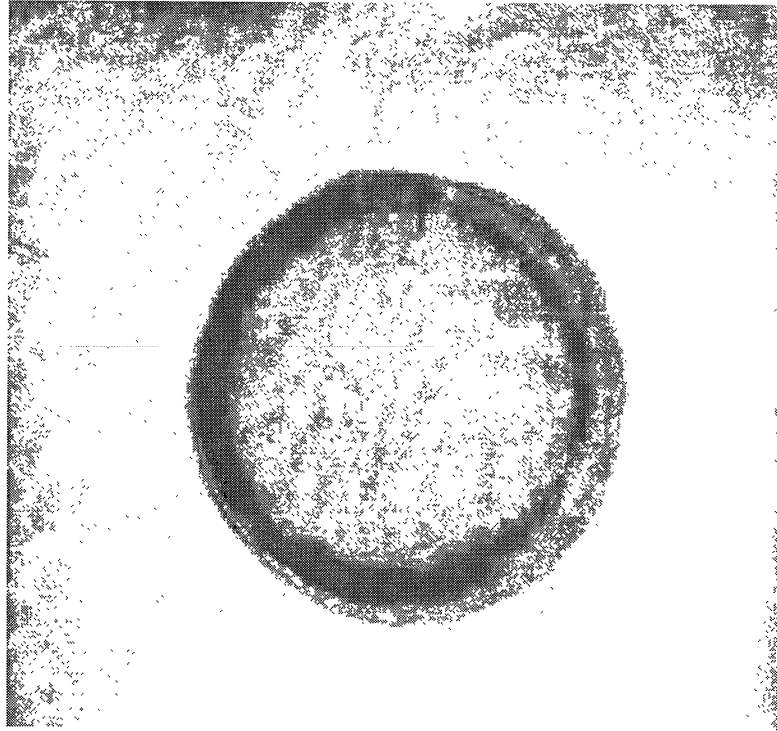
Hình 4



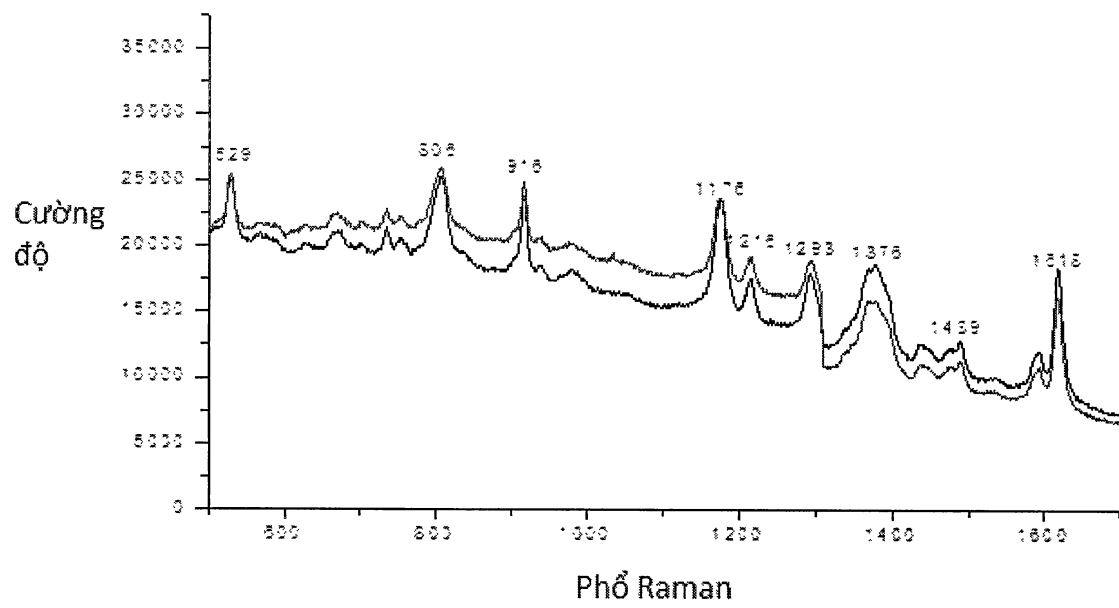
Hình 5



Hình 6



Hình 7



Hình 8