



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0053754

(51)^{2020.01} **B01D 53/52**; C01G 55/00; C01G 19/00 (13) **B**

(21) 1-2021-05712

(22) 15/09/2021

(45) 25/11/2025 452

(43) 27/12/2021 405A

(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Nguyễn Văn Toán (VN); Nguyễn Văn Duy (VN); Nguyễn Văn Hiếu (VN); Nguyễn Đức Hòa (VN); Chử Mạnh Hưng (VN).

(54) QUY TRÌNH CHẾ TẠO MÀNG LỌC KHÍ H₂S TRÊN CƠ SỞ MÀNG MỎNG
NANO 3 LỚP SnO₂/Pt/WO₃

(21) 1-2021-05712

(57) Sáng chế “Quy trình chế tạo màng lọc khí H_2S trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ ” trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp được tạo ra trên mặt phẳng đế silic ô xít, bao gồm các thành phần như điện cực Cr/Pt . Vật liệu nhạy khí là màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ được phún xạ hoạt hóa và phún xạ trực tiếp trên hai đầu điện cực như trên hình 1. Sáng chế này khác biệt ở chỗ là sử dụng trực tiếp của màng mỏng nano 3 lớp là ôxít thiếc, platin và ôxít vonfram ($\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$). Cảm biến lọc khí H_2S và đo khí H_2 , NH_3 dựa trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp có thể thực hiện bằng cách áp dòng điện trực tiếp qua màng mỏng trong quá trình đo tín hiệu. Chúng tôi đã tạo ra được một loại cảm biến có thể lọc được khí H_2S và đo được hai loại khí là H_2 và NH_3 bằng cách thay đổi chiều dày cũng như nhiệt độ làm việc của cảm biến. Việc kết hợp hiệu quả màng mỏng nano 3 lớp cho phép chúng ta phát triển được thể hệ cảm biến khí mới có độ chọn lọc cao và tiêu thụ ít công suất siêu thấp và còn có chức năng như một màng lọc khí. Đây là cơ sở để phát triển các màng lọc khí trên cơ sở vật liệu màng mỏng nano nhằm nâng cao khả năng ứng dụng trong thực tế cuộc sống. Các cảm biến chế tạo được có thể được sử dụng để đo và phát hiện các loại khí độc hại, khí cháy nổ trong môi trường như H_2 , NH_3 , CH_4 , CO và H_2S ở nồng độ cỡ phần triệu.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến chế tạo cảm biến màng mỏng nano 3 lớp gồm có: ôxít thiếc, platin, ôxít vonfram ($\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$) và quy trình chế tạo, khả năng đo khí được đến nồng độ dưới một phần triệu (parts per million - ppm), với thời gian đo nhanh (dưới 1 phút). Cảm biến lọc được khí Hydro sunfua (H_2S) trong môi trường hỗn hợp khí, đồng thời cho độ đáp ứng cao với khí Hydro (H_2) và a-mô-ni-ắc (NH_3).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Cùng với sự gia tăng nhanh về dân số, sự phát triển nhanh của các khu công nghiệp cũng như các hoạt động khai thác v.v. kéo theo đó là vấn đề ô nhiễm môi trường khí ngày càng trở nên trầm trọng. Ô nhiễm không khí gây bởi các khí độc không những làm ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người mà còn có thể hủy hoại môi trường sống cũng như hệ sinh thái. Các loại khí độc bao gồm H_2S , CO, NO_2 , NH_3 có thể được thải ra từ các nguồn gây ô nhiễm như các nhà máy, các khu công nghiệp, các loại phương tiện giao thông vận tải, và các hoạt động khai thác hầm mỏ và chăn nuôi, v.v.

Khí a-mô-ni-ắc (NH_3) là một khí tự nhiên tồn tại trong không khí với nồng độ rất thấp dưới ngưỡng ppb, tuy nhiên ngày nay nồng độ khí này ngày càng tăng do những tác động trực tiếp và gián tiếp của con người. Tại các khu công nghiệp khai thác than và khoáng sản, ngoài các loại khí độc được phát hiện phổ biến như CO, NO_2 , CH_4 , khí NH_3 cũng được tạo ra do quá trình khai thác hay quá trình phân hủy rác thải tại các khu vực này. Nếu nồng độ khí NH_3 lớn sẽ dẫn đến nguy cơ nhiễm độc cho người lao động, người dân, và gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh.

Cùng với khí NH_3 , ta thấy có hợp chất khí Hydro (H_2) trong đó. Trong tương lai khí H_2 có tiềm năng trở thành một nguồn năng lượng xanh, sạch và năng lượng tái tạo trong ứng dụng làm pin nhiên liệu cho các phương tiện vận tải như phi thuyền bay vào không gian, ô tô, máy phát điện, và máy bay. Tuy nhiên, khí H_2 là một chất khí nhẹ, không màu, không mùi. Ngoài ra khí H_2 rất khó khăn trong việc lưu trữ và vận chuyển vì nó rất dễ cháy nổ và có thể rò rỉ dễ dàng từ các bình chứa khi mà xử lý không cẩn thận. Rò rỉ khí H_2 gây nên hậu quả rất là tai hại đó là hiện tượng cháy nổ. Vì vậy, việc phát hiện rò rỉ các loại khí này ở nồng độ rất là thấp thực sự rất cần thiết và hết sức quan trọng.

Ta biết, khí hydro sunfua (H_2S) được biết đến như là một chất khí cực kỳ độc hại, có thể gây ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người ngay cả ở nồng độ thấp cỡ vài phần triệu. Trong tự nhiên, khí H_2S được sinh ra do các chất hữu cơ bị phân hủy, và có thể tìm thấy các bãi rác thải, ao hồ cạn, cống rãnh hay hầm lò khai thác than và dầu mỏ. Ngoài những gây hại của khí H_2S đối với cơ thể con người, các hợp chất chất lỏng trong khí nhiên liệu sẽ tạo thành SO_2 gây ô nhiễm không khí và các vấn đề sức khỏe của con người H_2S hoạt động như một chất điều hòa sinh học và đóng một vai trò sinh lý bệnh trong nhiều bệnh tim mạch, chẳng hạn như bệnh thiếu máu cục bộ ở tim, tăng huyết áp, bệnh alzheimer và các bệnh khác.

Vì vậy, việc cần phải phát hiện các loại khí cháy nổ, độc hại và ảnh hưởng đến sức khỏe con người như H_2 , NH_3 , H_2S ... là vấn đề được các nhà nghiên cứu quan tâm và tập trung nghiên cứu. Có rất nhiều loại vật liệu có cấu trúc nano khác nhau được sử dụng làm cảm biến khí. Cảm biến khí trên cơ sở cấu trúc nano 1 chiều, 2 chiều như thanh nano hoặc ống nano có độ nhạy cao. Tuy nhiên, để phát triển thành các sản phẩm thương mại hóa của cảm biến trên cơ sở các loại vật liệu này đòi hỏi phải đầu tư rất nhiều về mặt công nghệ chế tạo. Có nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng vật liệu màng mỏng có cấu trúc nano có nhiều tiềm năng để ứng dụng làm cảm biến khí. Vật liệu màng mỏng có ưu điểm như về mặt công nghệ là đơn giản trong việc chế tạo và có khả năng tương thích với công nghệ vi điện tử sử dụng vật liệu silic. Điều này rất thích hợp cho việc sản xuất hàng loạt để thương mại hóa các sản phẩm. Trên tạp chí "*International journal of hydrogen energy* 34 (2009), doi:10.1016/j.ijhydene.2009.08.001", nhóm tác giả Z. Adamyan đã công bố về cảm biến đo khí H_2 dựa trên công nghệ chế tạo màng mỏng SnO_2 bằng phương pháp sol-gel. Dựa trên công nghệ phún xạ hoạt hóa nhóm tác giả H.S. Al-Salman đã công bố chế tạo màng mỏng ZnO để làm cảm biến khí H_2 , công trình này được đăng trên tạp chí "*Sensors and Actuators B* 181 (2013), doi.org/10.1016/j.snb.2013.01.065". Tuy nhiên, ôxit kim loại thuần có độ đáp ứng tương đối thấp, nhiệt độ làm việc cao và giới hạn nồng độ phát hiện cao với khí. Để cải thiện độ đáp ứng của cảm biến trên cơ sở màng mỏng ôxit kim loại bán dẫn loại thuần người ta biến tính thêm các kim loại quý như Pd, Pt, Au,... Có rất nhiều công bố về tăng tính nhạy khí H_2 , NH_3 , H_2S ,... của cảm biến SnO_2/Pt . Nhóm tác giả K. J. Dong và cộng sự trên tạp chí "*Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 157, Issue 1, 20 (2011), doi:10.1016/j.snb.2011.03.043*" công bố về tính nhạy khí của cảm biến trên cơ sở sợi nano SnO_2 biến tính Pt. Cảm biến cho độ đáp ứng tốt với khí H_2S . Cảm biến SnO_2/Pt cao gấp $25 \div 40$ lần cảm biến SnO_2 khi không biến tính với Pt. Nhóm tác giả Md.

Shahabuddin và cộng sự công bố công trình trên tạp chí “*Sensors and Actuators B* 194 (2014), doi.org/10.1016/j.snb.2013.12.097” về chế tạo cảm biến đo khí NH_3 trên cơ sở màng mỏng SnO_2 biến tính với kim loại như Pt, Pd, Au, Cu, In và Cr. Kết quả chỉ ra rằng, biến tính với kim loại Pt thì cảm biến cho độ đáp ứng cao nhất với khí NH_3 , cao hơn rất nhiều so với các khác như acetone, IPA, aceton, NO_x , mêtan, LPG và CO_2 . Trên tạp chí “*International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 45, Issue 3, (2020), doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.072”, tác giả Nguyen Xuan Thai và cộng sự đã công bố bài báo về việc phân loại và giám sát khí H_2 và NH_3 trên cơ sở màng mỏng Pt/ SnO_2 . Tác giả đã sử dụng phương pháp chế tạo màng SnO_2 , sau đó biến tính bề mặt bằng các đám màng nano kim loại Pt. Kết quả đo khí chỉ ra rằng, khi có các đám màng nano Pt trên bề mặt màng SnO_2 thì cảm biến cho độ đáp ứng cao gấp hàng chục lần so với cảm biến thuần SnO_2 và nhiệt độ làm việc giảm đi rất nhiều. Cảm biến còn có thể đo được đồng thời hai loại khí H_2 và NH_3 bằng cách thay đổi nhiệt độ làm việc của cảm biến. Trong thực tế có thể đồng thời tồn tại tình huống là có cùng hỗn hợp khí H_2S và NH_3 như trong không khí, do các hoạt động công nghiệp, chẳng hạn như xử lý nước thải và các quy trình nông nghiệp, chẳng hạn như ủ phân. Điều này đã được tác giả L. Malhautier và cộng sự, công bố về sự xảy ra đồng thời hai loại khí xảy ra trong quá trình xử lý sinh học có hỗn hợp khí H_2S và NH_3 “*Chemosphere*, Volume 50, Issue 1, (2003), [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00395-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00395-8)”. Như vậy, việc phát hiện khí NH_3 khi đồng thời có khí H_2S trong môi trường là một khó khăn rất khó khăn và đòi hỏi những nghiên cứu tập trung chuyên sâu. Ta được biết, vật liệu WO_3 ứng dụng làm cảm biến khí có nhiều ưu điểm là độ đáp ứng nhanh, thời gian hồi đáp và hồi phục tốt. Đã có nhiều nhà nghiên cứu tập trung nghiên cứu về loại vật liệu này được ứng dụng làm cảm biến đo khí. Tác giả, Dao. D. V cùng cộng sự có công bố “*Proc. Eng.* 25, (2011), <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.283>” về việc chế tạo màng mỏng nano trên cơ sở màng mỏng nano WO_3 để đo được tới nồng độ một phần tỷ (ppb) khi đo với khí NH_3 . Hay như tác giả D. Arienzo và cộng sự trên tạp chí “*RSC Adv.* 4, (2014), <https://doi.org/10.1039/c3ra46726k>”. Tác giả nghiên cứu trên cơ sở phương pháp hóa học để tìm hiểu về hình thái, cấu trúc, cơ chế nhạy khí của vật liệu WO_3 đối với khí NH_3 .

Việc kiểm soát nhiệt độ và tối ưu hóa nhiệt độ, sử dụng kim loại quý và ôxit kim loại đã được nghiên cứu rất nhiều tuy nhiên tính chọn lọc vẫn chưa được cải thiện. Một cách khắc phục khác là sử dụng các màng lọc để cải thiện tính chọn lọc. Có 3 loại màng lọc: Màng lọc hấp phụ, chọn lọc kích thước, màng lọc xúc tác. Đối với hấp phụ, các nhóm

bề mặt hóa học, diện tích bề mặt và phân bố kích thước lỗ của màng lọc là quan trọng. Khi đi qua màng lọc các khí ưa nước được giữ lại bằng cách hấp phụ trên màng lọc còn khí kỵ nước không bị ảnh hưởng khi đi qua màng lọc. Màng lọc hấp phụ có ưu điểm: có tính linh hoạt tính ưa nước, trong lượng phân tử và kích thước phân tử, nhược điểm: màng lọc dễ bị bão hòa, có xu hướng kéo dài thời gian đáp ứng và hồi phục của cảm biến. Đối với chọn lọc kích thước các khí phân tích có kích thước lớn hơn kích thước lỗ màng lọc sẽ bị chặn không đến được cảm biến. Chọn lọc kích thước có ưu điểm: ngăn chặn được các khí gây nhiễu có kích thước lớn hơn kích thước lỗ của màng lọc, nhược điểm: không hiệu quả đối với các khí gây nhiễu nhỏ hơn khí phân tích. Đối với màng lọc xúc tác các khí phân tích đi qua màng lọc không bị ảnh hưởng trong khi các chất gây nhiễu chuyển đổi hoàn toàn trên màng lọc thành dạng trơ, 1 phần chuyển đổi qua trung gian. Màng lọc xúc tác có ưu điểm: các chất gây nhiễu bị loại bỏ hoặc nồng độ của chúng giảm đáng kể, nhược điểm: yêu cầu gia nhiệt để tối ưu hóa độ chọn lọc và có thể bị phá vỡ nếu màng xúc tác được lắng trực tiếp lên màng cảm biến. Màng lọc hoạt động như một rào cản vật lý đối với các khí gây nhiễu và trở nên bão hòa, còn hoạt động như chất xúc tác và tăng cường phản ứng hoá học. Trên tạp chí “*Sensors and Actuators R*, 5 (1991), 231-235”, tác giả M. A. Portnoff và cộng sự đã công bố về việc chế tạo cảm biến sử dụng màng lọc ô xít kim loại để tăng cường tính chất nhạy khí của vật liệu để đo khí CO, CH₄. Tuy nhiên nhiệt độ làm việc của cảm biến rất là cao 500 °C. Tác giả D. F. Sanders cùng cộng sự trên tạp chí “*Polymer* 54 (2013) 4729-4761, <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2013.05.075>” công bố bài tổng quan về màng Polyme để tách khí nhằm tiết kiệm năng lượng cho tương lai bền vững. Tác giả đã tổng quan về các loại vật liệu polyme được sử dụng rộng rãi ứng dụng cho việc tách khí công nghiệp. Bài báo trình bày các nguyên tắc khoa học cơ bản về các cơ chế hoạt động của polyme để tách khí, bao gồm các mô hình khuếch tán và cấu trúc/quan hệ đặc tính khác nhau, mô tả công nghệ chế tạo màng, phát triển vật liệu. Sự phân tách khí trên cơ sở màng polyme chính bao gồm thu hồi khí H₂, tách khí và lọc khí tự nhiên. Tuy nhiên, những cải tiến về vật liệu và môi trường công nghiệp đang ngày một thay đổi đã tạo cơ hội rộng mở. Năm 2019, nhóm của J. v. d. Broek công bố trên tạp chí “*Nature Communications*, volume 10, Article number: 4220 (2019), doi.org/10.1038/s41467-019-12223-4” đã công bố phát hiện chọn lọc CH₄O khi có các khí gây nhiễu như C₂H₅OH, C₃H₆O và H₂ ở 5 ppm và trong độ ẩm 50%, bằng phương pháp nhiệt phân phun đã chế tạo thành công cảm biến hạt nano SnO₂ biến tính Pd kết hợp với màng lọc thương mại của hãng Tenax TA để khảo sát các khí H₂, CH₄O, C₂H₅OH và C₃H₆O. Kết quả trong công trình cho thấy rằng cảm biến kết

hợp với màng lọc đã phát hiện được CH_4O có chọn lọc, phản ứng của CH_4O khi có màng lọc thấp hơn so với không có màng lọc sau 1,7 phút vì màng lọc phân tán các khí trong một khoảng thời gian dài hơn là $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ với thời gian là 8,7 phút, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ là 33 phút vì vậy các khí này bị giữ lại lâu hơn nên chọn lọc được CH_4O . Từ đó ta thấy được kết hợp cảm biến với màng lọc hấp phụ làm tăng đáng kể tính chọn lọc của cảm biến. Năm 2020, Ines C. Weber và cộng sự công bố trên tạp chí “*Adv. Sci.* (2020), 7, 2001503, doi: 10.1002/advs.202001503” đã chế tạo thành công cảm biến $\text{Si}/\text{WO}_3/\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp nhiệt phân phun để khảo sát các khí $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, NH_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, H_2 , CO với các nồng độ khí khác nhau. Kết quả cho thấy, cảm biến Si/WO_3 kết hợp với màng lọc $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ đã chọn lọc được $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ với độ đáp ứng có và không có màng lọc là 5.1 – 4 lần. Gần đây nhất, nhóm tác giả J. v. d. Broek và cộng sự trên tạp chí “*Mater. Horiz.*, (2021), doi: 10.1039/d0mh01453b”, đã có công bố bài báo tổng quan về việc chế tạo các loại vật liệu nano khác nhau để chế tạo một loại màng vừa có chức năng tăng cường tính chất nhạy cũng như lọc được một số loại khí khác nhau. Tác giả đã tổng hợp được rất nhiều các loại vật liệu, phương pháp để chế tạo màng lọc này. Tác giả đã đi vào phân tích bao gồm kích thước phân tử, ái lực bề mặt, tính chất khuếch tán và phản ứng hóa học. Chúng thường không thể truy cập được bởi riêng cảm biến, tập trung vào phản ứng (cảm biến hóa học), hấp thụ điện từ (cảm biến quang học), hoặc khối lượng phân tử (cảm biến vi cân tinh thể thạch anh). Bằng cách điều chỉnh bộ lọc tính chọn lọc bằng thiết kế vật liệu và sự kết hợp của các bộ lọc với cảm biến phù hợp, một loạt các ứng dụng mới và đầy hứa hẹn.

Năm 2001, tác giả P. Richard Warburton và cộng sự công bố trong sáng chế số US6284545B1 về việc chế tạo một bộ lọc khí trên cơ sở cảm biến điện hóa với bộ lọc sử dụng là dung dịch muối đồng II (CuCl_2) hoặc các hợp chất của Bạc nitrat như CuBr_2 , AgOCCH để lọc khí H_2S mà vẫn cho khí ClO_2 đi qua. Theo đăng ký của sáng chế số US7491547B1 năm 2009 của Piers Richard Warburton về bộ lọc khí cho cảm biến khí. Theo sáng chế thì bộ lọc cho phép phát hiện cụ thể $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ trên cơ sở cảm biến khí điện hóa có xúc tác AgO để loại bỏ các khí có thể gây nhiễu như $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ và CO . Bộ lọc có chứa chất ô xy hóa sẽ ô xy hóa khí gây cản trở nhưng không phải là $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ hoặc cách khác là vật liệu cao phân tử cho phép liên kết hydro chọn lọc với khí cần nhưng không phải $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Tác giả Raghu. A năm 2017 với sáng chế số US 9575043 B2, tác giả đã chế tạo một thiết bị giám sát và cảnh báo về mức độ ô nhiễm môi trường ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Trong sáng chế này, tác giả phải sử dụng ít nhất 2 cảm biến trên cùng một mặt để đo kiểm tra một loại khí. Để đo đồng thời một số loại khí độc hại như CO , H_2S , O_2 , NO_2

và SO_2 thì phải gắn rất nhiều cảm biến trên các mặt khác nhau của thiết bị đo. Tác giả chưa tích hợp được các cảm biến với nhau để đo khí hỗn hợp. Sáng chế số 0234896A1 năm 2019 của P. Anderson và cộng sự công bố về sáng chế cảm biến khí trên cơ sở vật liệu ôxít kim loại có sử dụng màng lọc là vật liệu hợp chất hóa học fluoropolymer. Mục đích của màng lọc khí là làm tăng cường tính chất nhạy khí. Tác giả đã cho thấy là chế tạo được màng có chức năng lọc và thấm khí là vật liệu hợp chất hóa học fluoropolymer thì cảm biến cho độ đáp ứng tăng lên rất nhiều lần khi đo với các khí H_2 và $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Bộ lọc khí này dựa trên cơ sở cấu trúc phân tử của từng loại khí mà có tác dụng có cho khí đó đi qua hay không.

Năm 2021, tác giả N.V. Toán và cộng sự đã công bố bài báo “Tăng cường tính nhạy khí H_2 , NH_3 và lọc khí H_2S bằng màng mỏng nano đa lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ ” (*Enhanced NH_3 and H_2 gas sensing with H_2S gas interference using multilayer $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ nanofilms*) trên tạp chí “*Journal of Hazardous Materials* 412 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125181>”. Chúng tôi sử dụng màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ đo hỗn hợp khí các loại khác nhau, sau đó thay đổi nhiệt độ để đo khí. Tại nhiệt độ 250°C cho kết quả đáp ứng cao nhất đối với khí NH_3 và khí H_2 . Điều đặc biệt của cảm biến là trong một hỗn hợp các loại khí thì cảm biến trở thành một loại màng lọc được khí H_2S khi dựa vào sự thay đổi chiều của lớp màng nano WO_3 trên cùng. Đây là một điều vô cùng đặc biệt để có thể ứng dụng chế tạo làm màng lọc khí. Ngoài ra cảm biến độ đáp ứng cao, thời gian đáp ứng nhanh và chọn lọc tốt với các loại khí khác.

Vì vậy, trong sáng chế này chúng tôi đề xuất “Quy trình chế tạo màng lọc khí H_2S trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ ” là loại cảm biến khí có thể lọc được một loại khí và cho độ đáp ứng cao với 2 loại khí khác nhau trong cùng một thời điểm, độ chọn lọc tốt, thời gian đáp ứng nhanh.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Cấu trúc cảm biến chúng tôi chế tạo màng mỏng nano có ba lớp là $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên cơ sở phương pháp phun xạ hoạt hóa kết hợp với công nghệ vi điện tử. Như các phân tích ở trên ta thấy, cảm biến SnO_2 , SnO_2/Pt , WO_3 có thể đo được rất nhiều các loại khí khác nhau. Tuy nhiên cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ chúng tôi đã tạo ra được một loại cảm biến có thể lọc được một loại khí độc là khí H_2S và cho độ đáp ứng tốt với hai loại khí là H_2 và NH_3 bằng cách thay đổi chiều dày cũng như nhiệt độ làm việc của cảm biến.

Mục đích của sáng chế là “Quy trình chế tạo màng lọc khí H_2S trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ ”. Cảm biến lọc khí H_2S và đo khí H_2 , NH_3 dựa trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp có thể thực hiện bằng cách áp dòng điện trực tiếp qua màng mỏng trong quá trình đo tín hiệu. Chúng tôi đã tạo ra được một loại cảm biến có thể lọc được khí H_2S và cho độ đáp ứng tốt với hai loại khí là H_2 và NH_3 bằng cách thay đổi chiều dày cũng như nhiệt độ làm việc của cảm biến. Màng mỏng nano 3 lớp được chế tạo bằng phương pháp sử dụng kỹ thuật vi điện tử kết hợp với phún xạ hoạt hóa để tạo 3 lớp màng mỏng nano trực tiếp tại hai đầu của điện cực. Việc kết hợp hiệu quả hai hiệu ứng của 3 lớp màng mỏng nano này sẽ cho phép chúng ta phát triển được thế hệ cảm biến khí mới có khả năng lọc được một loại khí độc và có độ chọn lọc cao với một số loại khí mà chỉ cần thay đổi chiều dày màng, nhiệt độ làm việc của cảm biến là biết được chính xác loại khí đã đo. Cảm biến lọc được khí hoàn toàn khí H_2S và cho độ đáp ứng tốt nhất với khí NH_3 , H_2 tại nhiệt độ $250\text{ }^\circ\text{C}$. Để đạt được mục đích nêu trên, cảm biến màng mỏng nano 3 lớp lọc khí H_2S và đo khí H_2 , NH_3 theo sáng chế hiện tại bao gồm:

Một cặp điện cực song song có khoảng cách giữa hai đầu điện cực trong khoảng từ $10 \div 15\text{ }\mu\text{m}$, màng mỏng nano 3 lớp nhạy khí, diện tích vùng nhạy khí có kích thước là $20\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m}$ (Hình 1).

Các cấu trúc cảm biến lọc khí H_2S và đo khí H_2 , NH_3 trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ được chế tạo chủ yếu bằng phương pháp phún xạ, các linh kiện được chế tạo dựa trên quy trình công nghệ vi điện tử truyền thống. Điện cực được chế tạo trên lớp đế với các vật liệu có tính dẫn điện tốt và bền nhiệt như Cr và Pt. Các kim loại được lắng đọng sẽ phụ thuộc vào yêu cầu của ứng dụng. Sau khi lắng đọng lớp điện cực ta sử dụng phương pháp phún xạ hoạt hóa tạo lớp nhạy khí SnO_2 từ nguồn bia Sn. Tiếp sau đó dùng phương pháp phún xạ Pt lên trên bề mặt màng mỏng SnO_2 và sau cùng phún xạ hoạt hóa từ nguồn bia W để hình thành lớp màng nano WO_3 vừa có tác dụng như một lớp màng nhạy khí nhưng cũng có chức năng lọc khí để tạo thành cảm biến 3 lớp màng mỏng nano nối giữa hai điện cực.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

hình 1 là cấu trúc 3 chiều của cảm biến nano lọc khí H_2S và nhạy khí H_2 , NH_3 dạng màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ được đề xuất trong sáng chế này.

hình 2 là các cấu trúc cảm biến và mặt cắt ngang quy trình các bước công nghệ chế tạo cảm biến lọc khí H_2S và nhạy khí H_2 , NH_3 dạng màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

hình 3 là ảnh chụp của cấu trúc cảm biến lọc khí H_2S và nhạy khí H_2 , NH_3 dạng màng mỏng và cấu trúc mặt cắt ngang của nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ với các chiều dày lớp nano WO_3 khác nhau.

hình 4 là đặc trưng nhạy và độ đáp ứng khí H_2S (a, b), NH_3 (c, d) và H_2 (e, f) của cảm biến màng mỏng nano 2 lớp Pt/SnO_2 trong dải nhiệt độ từ $150 \div 400^\circ\text{C}$, nồng độ khí khác nhau.

hình 5 là độ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ 500 ppm khí NH_3 tại các nhiệt độ khác nhau (a) và tại chiều dày 140 nm màng nano WO_3 theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ khác nhau (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

hình 6 là độ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ 1.000 ppm khí H_2 tại các nhiệt độ khác nhau (a) và tại chiều dày 140 nm màng nano WO_3 theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ khác nhau (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

hình 7 là độ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ khí H_2S khác nhau theo thời gian tại các nhiệt độ 250°C (a) và tại chiều dày màng nano WO_3 khác nhau theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ 250°C (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

hình 8 là đồ thị so sánh khả năng lọc khí H_2S của cảm biến màng mỏng nano 2 lớp Pt/SnO_2 và cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

hình 9 là đồ thị so sánh khả năng chọn lọc khí NH_3 của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Mô tả chi tiết sáng chế

Như được thể hiện trên hình 1, cấu trúc cảm biến lọc khí H_2S và đo khí H_2 , NH_3 trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp là $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ bao gồm: Đế silic ô xít (1), lớp kim loại Cr (2), lớp kim loại Pt (3), lớp ô xít thiếc – SnO_2 (4), lớp kim loại Pt (5) và lớp ô xít vonfram (WO_3). Vật liệu nhạy khí là màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ được phún xạ trực tiếp trên hai đầu điện cực như trên hình 1. Cảm biến lọc khí H_2S và đo khí H_2 và NH_3 trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$. Sau khi lắng đọng được điện cực, sử dụng phương pháp phún xạ 3 lần để tạo màng lọc và nhạy khí: Lần 1 để chế tạo màng mỏng nano SnO_2 từ nguồn bia kim loại Sn lên trên hai đầu điện cực, trong quá trình phún xạ có thêm khí O_2

tỷ lệ 30%; Lần thứ 2 phun xạ lớp mỏng màng Pt lên trên màng mỏng nano SnO₂; Lần thứ 3 phun xạ lớp màng mỏng WO₃ từ nguồn bia W, trong quá trình phun xạ có thêm khí O₂ tỷ lệ 50% để tạo cảm biến màng mỏng nano 3 lớp SnO₂/Pt/WO₃. Cảm biến lọc khí H₂S và đo khí H₂ và NH₃ dựa trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp có thể thực hiện bằng cách áp dòng điện trực tiếp qua màng mỏng trong quá trình đo tín hiệu. Chúng tôi đã tạo ra được một loại cảm biến có thể lọc được khí H₂S và cho độ đáp ứng tốt với hai loại khí là H₂ và NH₃ bằng cách thay đổi chiều dày cũng như nhiệt độ làm việc của cảm biến. Việc kết hợp hiệu quả màng mỏng nano 3 lớp cho phép chúng ta phát triển được thể hệ cảm biến khí mới có chức năng như một màng lọc khí với độ chọn lọc cao và tiêu thụ ít công suất. Đây là cơ sở để phát triển các ma trận cảm biến khí trên cơ sở vật liệu màng mỏng nano dùng làm mũi điện tử (e-nose). Các cảm biến chế tạo được có chức năng quan trọng để làm các màng lọc khí và phát hiện các loại khí độc hại, khí cháy nổ trong môi trường như H₂, NH₃, CH₄, CO và H₂S ở nồng độ cỡ phần triệu. Ngoài ra cảm biến chế tạo được có thể dễ dàng tích hợp vào thiết bị cầm tay nhỏ gọn nâng cao khả năng ứng dụng trong thực tế cuộc sống.

Hình 2 minh họa cấu trúc cảm biến và mặt cắt ngang quy trình các bước công nghệ chế tạo cảm biến lọc khí H₂S và nhạy khí H₂, NH₃ dạng màng mỏng nano 3 lớp SnO₂/Pt/WO₃, công nghệ chế tạo như sau:

Sử dụng silic làm đế;

Hình 2a minh họa mặt cắt ngang của đế silic ô xít;

Hình 2b minh họa mặt cắt ngang của đế silic ô xít được phủ lớp cảm quang (photoresist), được quay phủ trên máy quay phủ, chiều dày lớp màng $1 \div 1,4 \mu\text{m}$;

Hình 2c minh họa mặt cắt ngang của việc quang khắc mặt nạ thứ 1 để chế tạo điện cực, sử dụng ánh sáng tia cực tím (UV) để chiếu lên mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

Hình 2d minh họa mặt cắt ngang việc sử dụng dung dịch hiện hình (developer) để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi (giống phương pháp rửa ảnh);

Hình 2e minh họa mặt cắt ngang việc phun xạ ca-tốt các lớp để tạo điện cực bao gồm: lớp màng Cr có chiều dày là $5 \div 7 \text{ nm}$ và lớp màng Pt có chiều dày là $100 \div 105 \text{ nm}$ và điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh sau khi chế tạo;

Hình 2f minh họa mặt cắt ngang của việc quang khắc mặt nạ thứ 2 để chế tạo vùng nhạy khí của cảm biến, sử dụng ánh sáng tia cực tím (UV) để chiếu lên mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

Hình 2g minh họa mặt cắt ngang việc sử dụng dung dịch hiện hình để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi;

Hình 2h minh họa mặt cắt ngang việc phún xạ hoạt hóa để tạo màng nhạy khí thứ 1, màng nano SnO_2 , chiều dày màng đạt $40 \div 50$ nm, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí Ar : O_2 theo tỷ lệ 2 : 1;

Hình 2i minh họa mặt cắt ngang việc phún xạ ca-tốt để tạo màng nhạy khí thứ 2, màng nano Pt, chiều dày màng đạt $5 \div 7$ nm;

Hình 2j minh họa mặt cắt ngang việc phún xạ hoạt hóa để tạo màng nhạy khí thứ 3, màng nano WO_3 , chiều dày màng đạt $50 \div 260$ nm, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí Ar : O_2 theo tỷ lệ 2 : 1;

Hình 2k minh họa mặt cắt ngang của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh việc chế tạo. Sau khi chế tạo xong đưa cảm biến vào ủ trong môi trường không khí tại nhiệt độ 500°C , thời gian ủ là 3 giờ

Hình 3 là ảnh chụp của cấu trúc cảm biến lọc khí H_2S và nhạy khí H_2 , NH_3 dạng màng mỏng và cấu trúc mặt cắt ngang của nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ với các chiều dày lớp nano WO_3 khác nhau.

Hình 4 là đặc trưng nhạy và độ đáp ứng khí H_2S (a, b), NH_3 (c, d) và H_2 (e, f) của cảm biến màng mỏng nano 2 lớp Pt/ SnO_2 trong dải nhiệt độ từ $150 \div 400^\circ\text{C}$, nồng độ khí khác nhau.

Hình 5 là độ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ 500 ppm khí NH_3 tại các nhiệt độ khác nhau (a) và tại chiều dày 140 nm của màng nano WO_3 theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ khác nhau (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Hình 6 là độ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ 1.000 ppm khí H_2 tại các nhiệt độ khác nhau (a) và tại chiều dày 140 nm của màng nano WO_3 theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ khác nhau (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Hình 7 là đồ đáp ứng khí theo chiều dày các lớp màng nano WO_3 tại nồng độ khí H_2S khác nhau theo thời gian tại các nhiệt độ 250°C (a) và tại chiều dày màng nano WO_3 khác nhau theo nồng độ với các giá trị nhiệt độ 250°C (b) của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Hình 8 là đồ thị so sánh khả năng lọc khí H_2S của cảm biến màng mỏng nano 2 lớp Pt/SnO_2 và cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Hình 9 là đồ thị so sánh khả năng chọn lọc khí NH_3 của cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Để thực hiện được việc chế tạo màng lọc khí H_2S trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ được thể hiện trên Hình 2. Các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Sử dụng silic làm đế sau đó ô xi hóa nhiệt tạo màng silic ô xít dày khoảng $1\mu\text{m}$;

Bước 2: Phủ lớp cảm quang (photoresist), lớp cảm quang được quay phủ trên máy quay phủ, chiều dày lớp màng $1 \div 1,4\mu\text{m}$;

Bước 3: Quang khắc mặt nạ thứ 1 để chế tạo điện cực, sử dụng ánh sáng tia cực tím (UV) để chiếu qua mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

Bước 4: Sử dụng dung dịch hiện hình để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi;

Bước 5: Phún xạ kim loại Cr/Pt tạo điện cực bao gồm: Sử dụng phương pháp phún xạ ca-tốt để chế tạo màng Cr và Pt , lớp màng Cr có chiều dày là $5 \div 7\text{ nm}$ và lớp màng Pt có chiều dày là $100 \div 105\text{ nm}$;

Bước 6: Dùng hóa chất tẩy bỏ lớp kim loại hi sinh để tạo điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh sau khi chế tạo;

Bước 7: Quang khắc mặt nạ thứ 2 để chế tạo vùng nhạy khí của cảm biến, sử dụng ánh sáng tia cực tím (UV) để chiếu lên mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

Bước 8: Sử dụng dung dịch hiện hình để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi;

Bước 9: Phún xạ kim loại Sn để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 1. Phún xạ hoạt hóa tạo màng nano SnO_2 từ nguồn bia Sn , chiều dày màng đạt $40 \div 50\text{ nm}$, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí $\text{Ar} : \text{O}_2$ theo tỷ lệ $2 : 1$;

Bước 10: Phún xạ kim loại Pt để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 2. Phún xạ ca-tốt tạo màng nano Pt có chiều dày màng đạt $5 \div 7$ nm;

Bước 11: Phún xạ kim loại W để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 3. Phún xạ hoạt hóa tạo màng nano WO_3 từ nguồn bia W, chiều dày màng đạt $50 \div 260$ nm, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí Ar : O_2 theo tỷ lệ 2 : 1;

Bước 12: Dùng hóa chất tẩy bỏ lớp kim loại hi sinh để tạo cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh, sau khi chế tạo xong đưa cảm biến vào ủ trong môi trường không khí tại nhiệt độ 500°C , thời gian ủ là 3 giờ.

Hiệu quả kỹ thuật đạt được

Đây là một sáng chế liên quan trực tiếp đến việc đo trực tiếp nhiều loại khí trong hỗn hợp khí đó là khí độc và khí cháy nổ. Cảm biến có chức năng lọc một loại khí độc ảnh hưởng tới sức khỏe con người cũng như cảnh báo sự gây ô nhiễm môi trường. Việc kết hợp hiệu quả màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ cho phép chúng ta phát triển được thể hệ cảm biến khí mới có độ chọn lọc cao và tiêu thụ ít công suất siêu thấp và còn có chức năng như một màng lọc khí. Cảm biến $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ cho phép lọc 1 loại khí là H_2S và phát hiện đồng thời 2 loại khí là khí H_2 và NH_3 ở giải nồng độ rất thấp cỡ một phần triệu (ppm). Cảm biến chúng tôi chế tạo được có ưu điểm đó là:

Cảm biến hoạt động trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ lọc được khí H_2S và có độ chọn lọc tốt với 2 khí là H_2 và NH_3 , đồng thời đáp ứng với một số khí thứ khác;

Các cảm biến $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ chế tạo được có thể sử dụng để đo và phát hiện các loại khí độc hại, khí cháy nổ trong môi trường như H_2 , NH_3 , CH_4 , CO và H_2S ở nồng độ cỡ phần triệu. Ngoài ra cảm biến còn có chức năng quan trọng như màng lọc khí nhằm nâng cao khả năng ứng dụng trong thực tế cuộc sống.

Yêu cầu bảo hộ

1. Quy trình chế tạo màng lọc khí H_2S trên cơ sở màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ gồm:

bước 1: sử dụng silic làm đế sau đó ô xi hóa nhiệt tạo màng silic ô xít dày khoảng $1\text{ }\mu\text{m}$;

bước 2: phủ lớp cảm quang, lớp cảm quang được quay phủ trên máy quay phủ, chiều dày lớp màng $1 \div 1,4\text{ }\mu\text{m}$;

bước 3: quang khắc mặt nạ thứ 1 để chế tạo điện cực, sử dụng ánh sáng tia cực tím để chiếu lên mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

bước 4: sử dụng dung dịch hiện hình để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi;

bước 5: phún xạ kim loại Cr/Pt tạo điện cực bao gồm: Sử dụng phương pháp phún xạ ca-tốt để chế tạo màng Cr và Pt, lớp màng Cr có chiều dày là $5 \div 7\text{ nm}$ và lớp màng Pt có chiều dày là $100 \div 105\text{ nm}$;

bước 6: dùng hóa chất tẩy bỏ lớp kim loại hi sinh để tạo điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh sau khi chế tạo;

bước 7: quang khắc mặt nạ thứ 2 để chế tạo vùng nhạy khí của cảm biến, sử dụng ánh sáng tia cực tím để chiếu lên mặt nạ, thời gian chiếu sáng $20 \div 20,5$ giây;

bước 8: sử dụng dung dịch hiện hình để tẩy bỏ lớp cảm quang đã bị phân hủy đi;

bước 9: phún xạ kim loại Sn để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 1, phún xạ hoạt hóa tạo màng nano SnO_2 từ nguồn bia Sn, chiều dày màng đạt $40 \div 50\text{ nm}$, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí Ar : O_2 theo tỷ lệ 2 : 1;

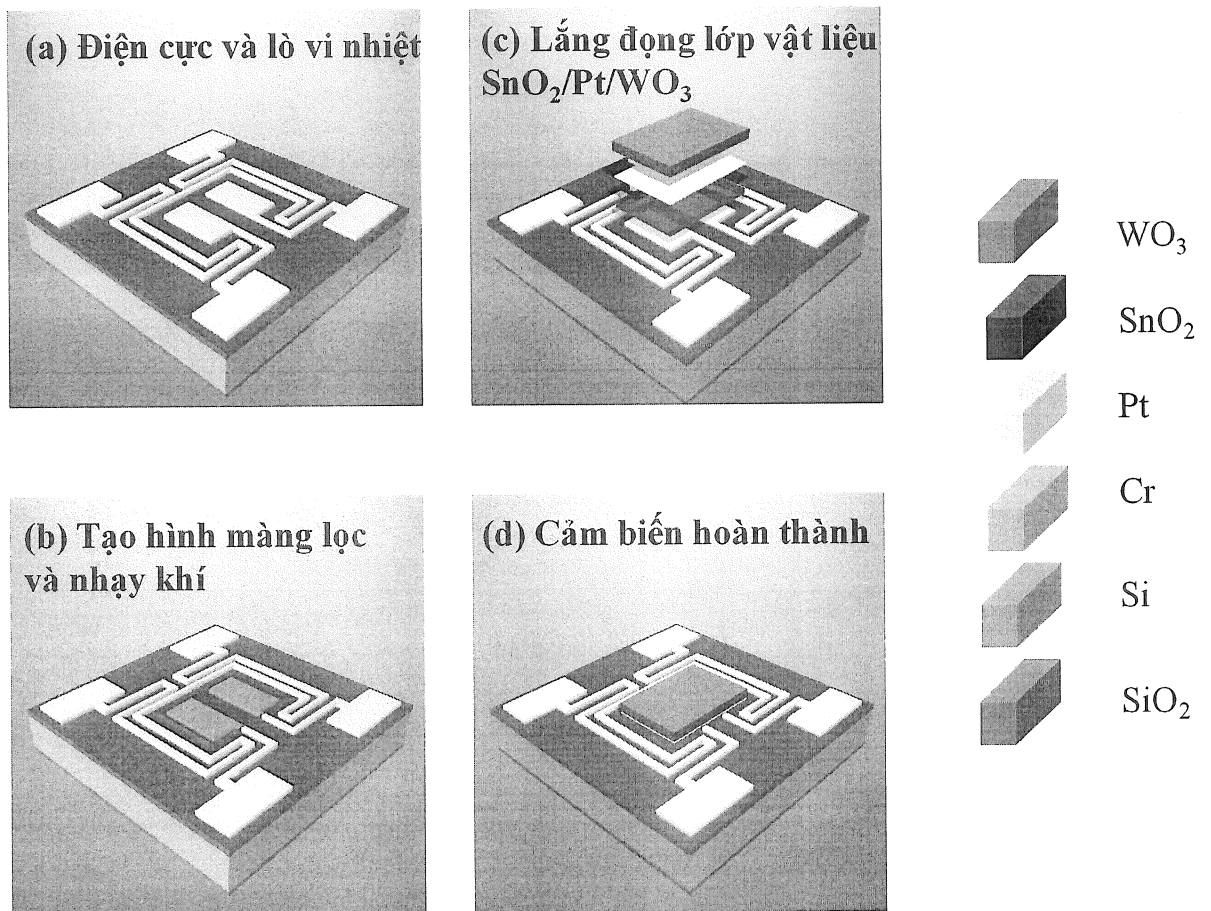
bước 10: phún xạ kim loại Pt để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 2, phún xạ catot tạo màng nano Pt, chiều dày màng đạt $5 \div 7\text{ nm}$;

bước 11: phún xạ kim loại W để tạo màng mỏng nano hình thành lớp màng nhạy khí thứ 3, phún xạ hoạt hóa tạo màng nano WO_3 từ nguồn bia W, chiều dày màng đạt $50 \div 260\text{ nm}$, trong khi phún xạ sử dụng hỗn hợp nguồn khí Ar : O_2 theo tỷ lệ 2 : 1;

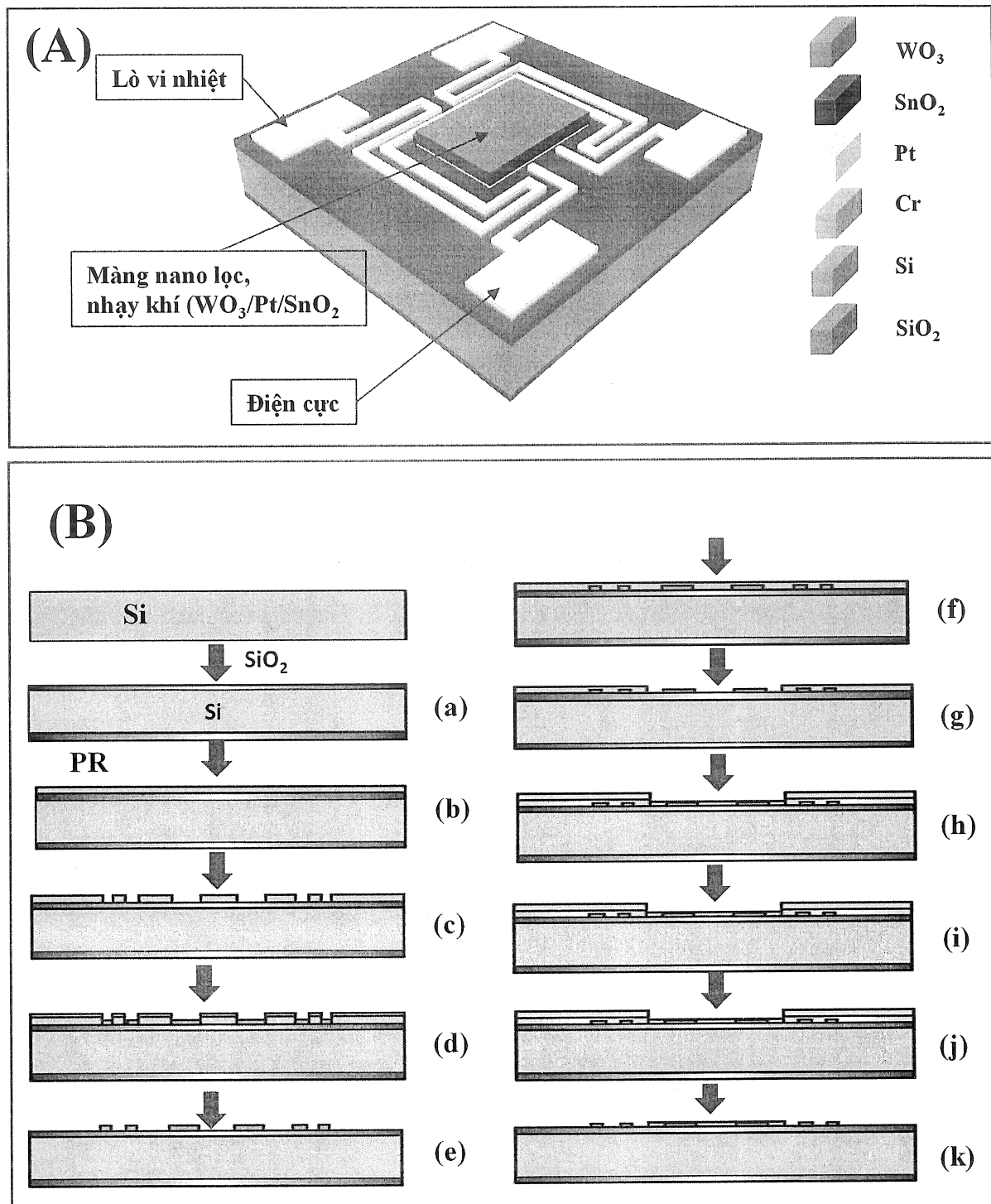
bước 12: dùng hóa chất tẩy bỏ lớp kim loại hi sinh để tạo cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh, sau khi chế tạo xong đưa cảm biến vào ủ trong môi trường không khí tại nhiệt độ $500\text{ }^\circ\text{C}$, thời gian ủ là 3 giờ;

bước 12: dùng hóa chất tẩy bỏ lớp kim loại hi sinh để tạo cảm biến màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên điện cực Cr/Pt hoàn chỉnh, sau khi chế tạo xong đưa cảm biến vào ủ trong môi trường không khí tại nhiệt độ 500°C , thời gian ủ là 3 giờ.

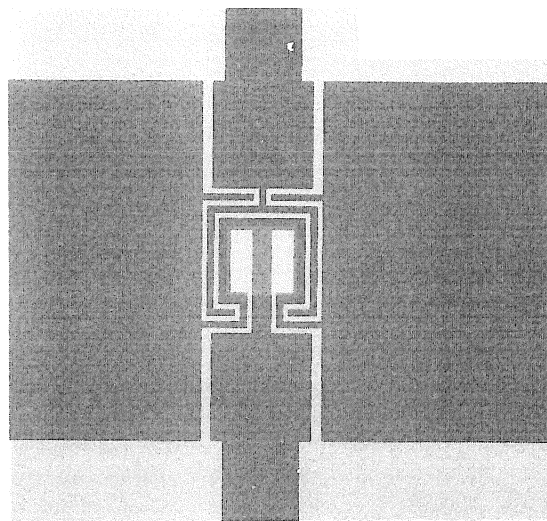
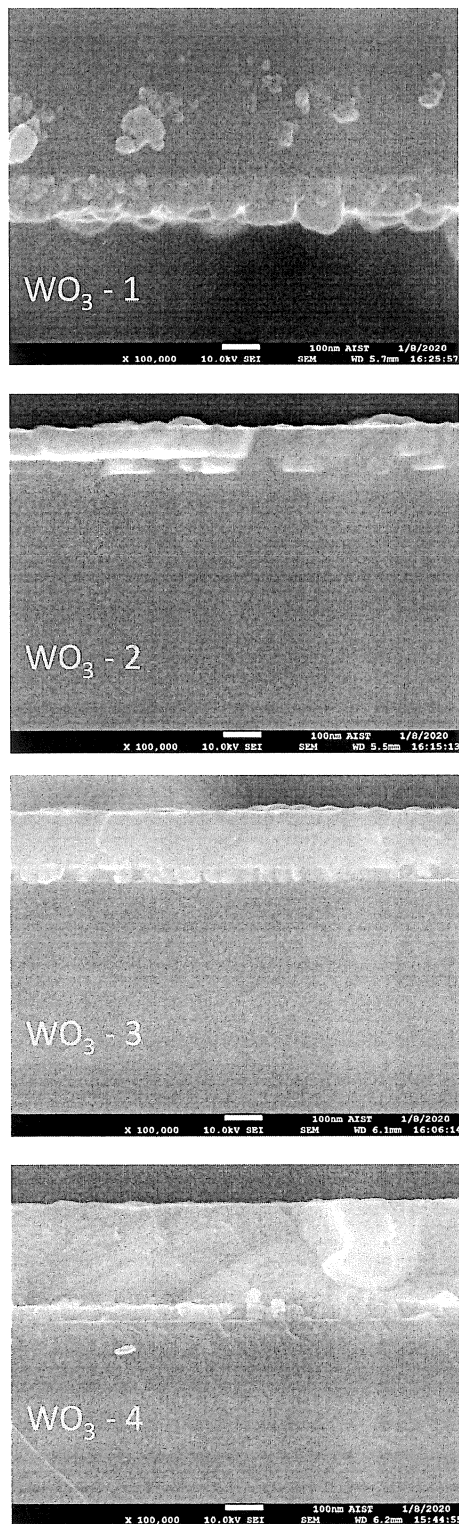
2. Quy trình chế tạo theo điểm 1, trong đó cảm biến được tạo ra trên mặt phẳng đế silic ô xít bao gồm các thành phần như điện cực Cr/Pt có chiều dày trong khoảng $100 \div 120$ nm, vật liệu nhạy khí là màng mỏng nano 3 lớp $\text{SnO}_2/\text{Pt}/\text{WO}_3$ trên điện cực có kích thước $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$, chiều dày trong khoảng $110 \div 310$ nm được chế tạo bằng phương pháp phún xạ hoạt hóa và phún xạ ca-tốt.



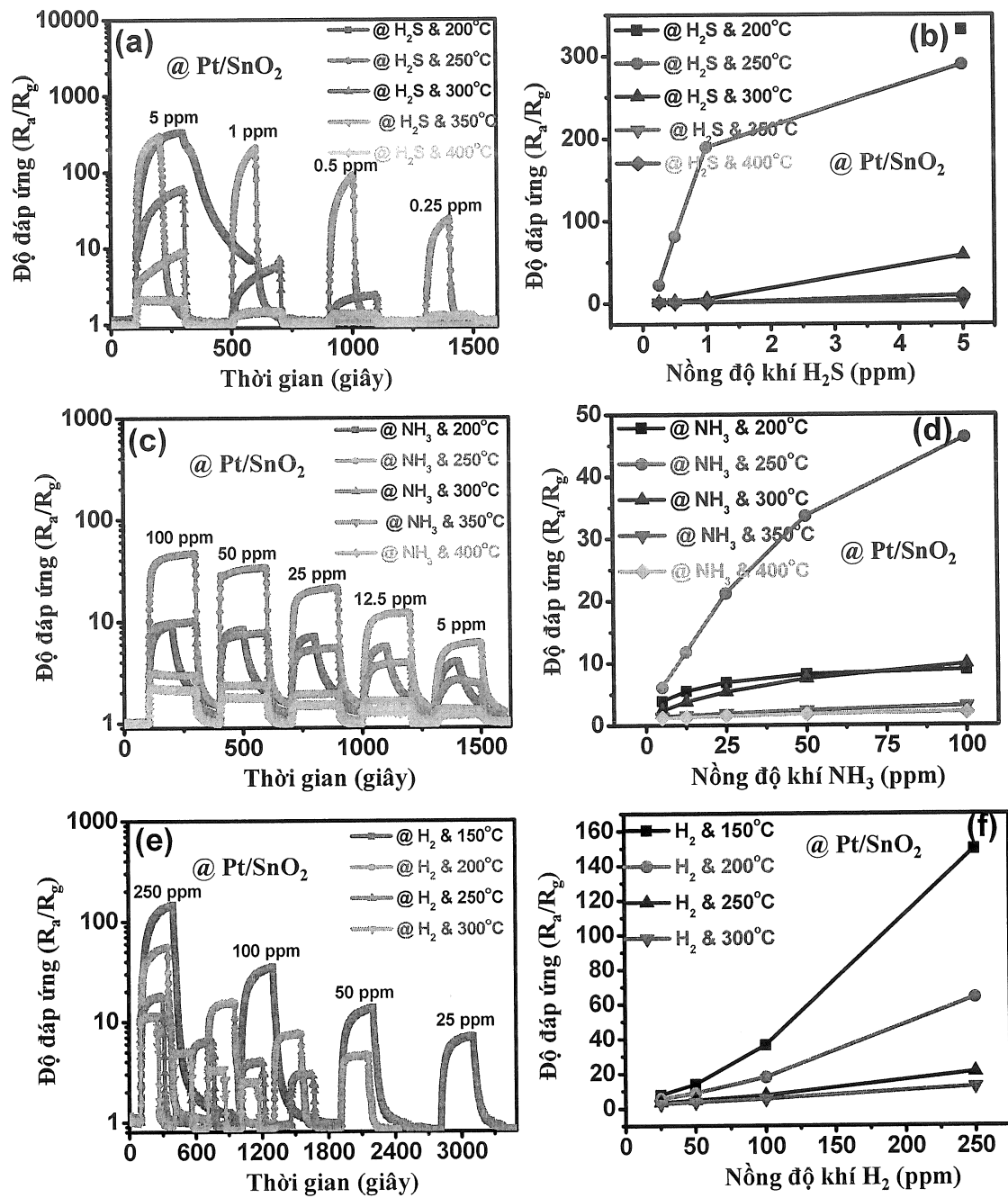
Hình 1



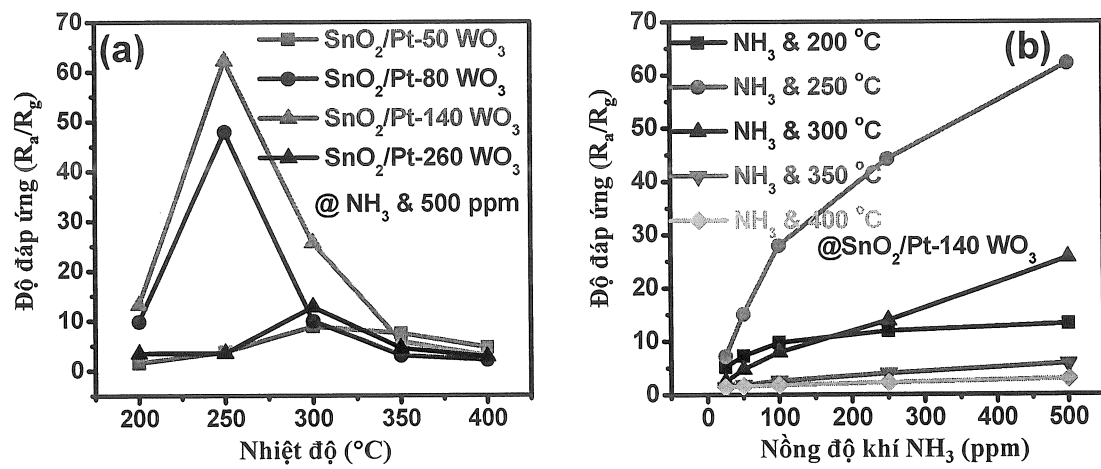
Hình 2:



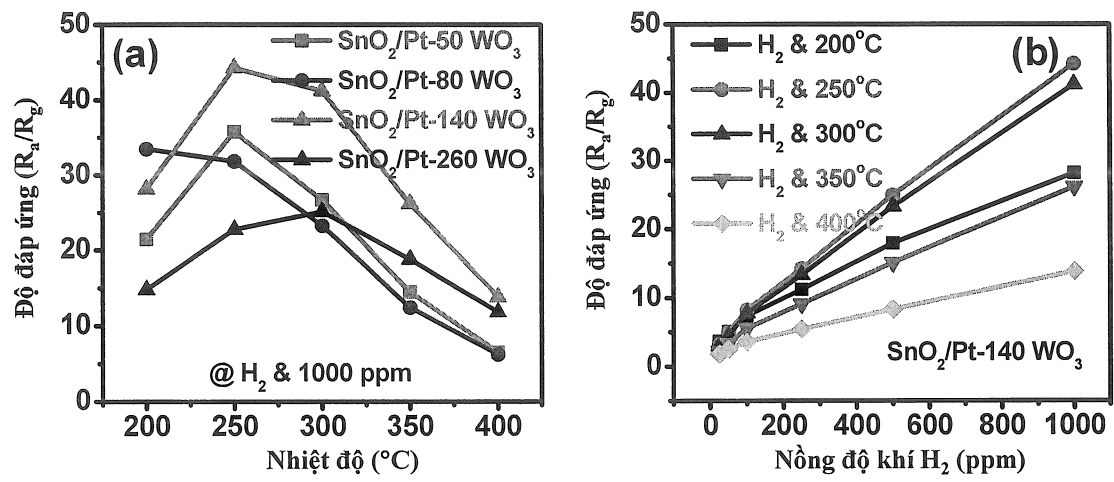
Hình 3:



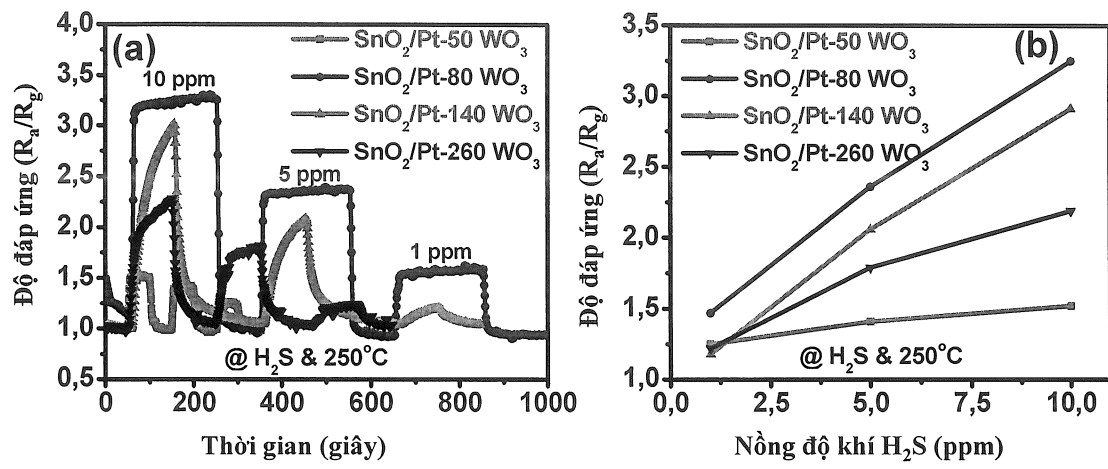
Hình 4:



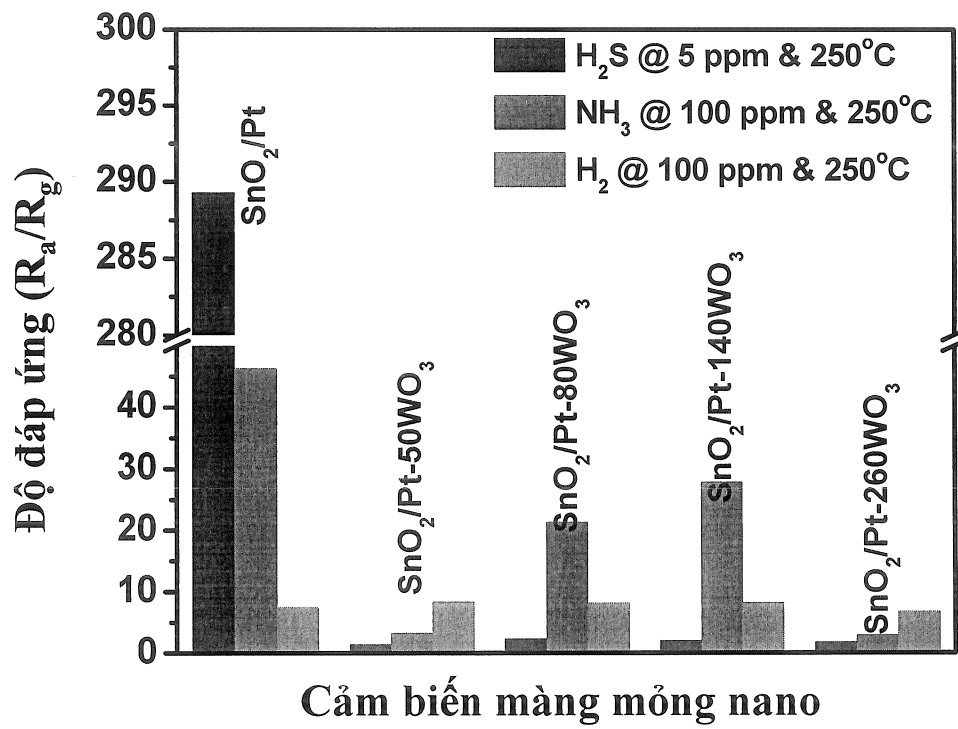
Hình 5:



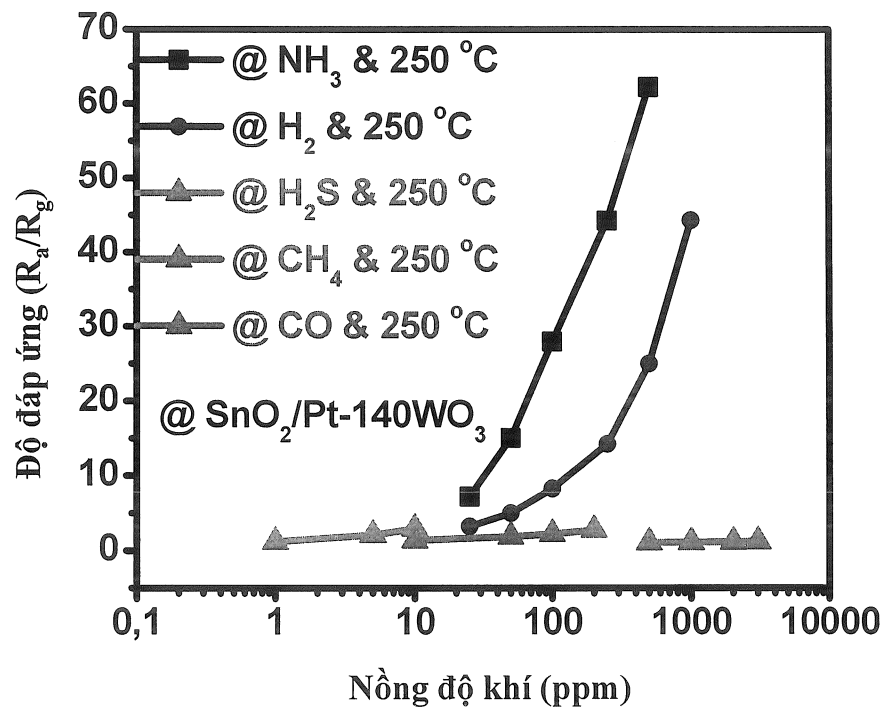
Hình 6:



Hình 7:



Hình 8:



Hình 9.