



(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



1-0046057

(51)^{2019.01} H01L 21/67; C23C 16/455; C23C 16/52; (13) B
G01N 29/036; H01L 21/285; H01L
21/66; C23C 16/44; G01N 29/02

(21) 1-2020-00945 (22) 24/08/2018
(86) PCT/US2018/047903 24/08/2018 (87) WO 2019/040843 A1 28/02/2019
(30) 62/550,226 25/08/2017 US; 62/550,194 25/08/2017 US
(45) 26/05/2025 446 (43) 25/08/2020 389A
(73) INFICON, Inc. (US)
Two Technology Place, East Syracuse, New York 13057, United States of America
(72) Mohamed Buhary RINZAN (US); Chunhua SONG (US); Steve James LAKEMAN (US).
(74) Công ty TNHH Lê & Lê (LE & LE)

(54) THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP GIÁM SÁT QUY TRÌNH CHẾ TẠO SỬ DỤNG
CẢM BIẾN VI CÂN TÍNH THỂ THẠCH ANH

(21) 1-2020-00945

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị giám sát để giám sát quy trình chế tạo trong hệ thống chế tạo. Hệ thống chế tạo được giám sát gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông. Cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM) giám sát một thành phần lưu thông trong các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo và được tạo kết cấu để phơi trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo. Bộ điều khiển đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo. Bộ điều khiển xác định một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM bên trong một thành phần lưu thông nêu trên. Ngoài ra, sáng chế cũng đề cập đến phương pháp giám sát quy trình chế tạo trong hệ thống chế tạo.

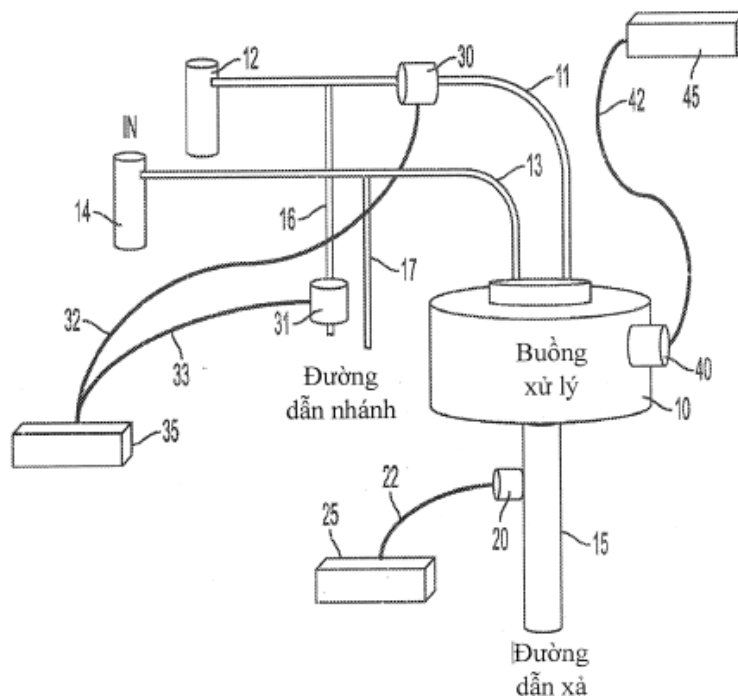


FIG. 1A

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp và hệ thống để giám sát các hệ thống chế tạo sử dụng một hoặc nhiều cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong ngành công nghiệp bán dẫn và sản xuất vi điện tử, có nhu cầu giám sát các quy trình chế tạo, ví dụ để phát hiện rò rỉ không khí trong quy trình xử lý tấm bán dẫn. Các tính chất điện của các lớp quan trọng trong một tấm bán dẫn hoàn chỉnh chứa các thiết bị có thể bị ảnh hưởng bởi pha tạp không chủ ý do hấp thu oxy và sự biến đổi vật liệu do phản ứng hoá học từ rò rỉ khí. Ví dụ, một số vật liệu như titan, trong chế tạo bán dẫn, và magiê hoặc các vật liệu hữu cơ, trong sản xuất đi-ốt phát quang hữu cơ (OLED), phản ứng mạnh với các thành phần cấu thành trong không khí. Để giảm thiểu tổn thất, nhiều dụng cụ sử dụng một cảm biến rò rỉ không khí tập trung đắt tiền duy nhất như là bộ phân tích khí dư hoặc phổ kế phát quang gắn trên buồng vận chuyển để giám sát rò rỉ không khí một cách liên tục và trong khi chuyển tấm bán dẫn khi van khe của buồng mở. Các buồng vận chuyển mà cảm biến được lắp ở đó vẫn được cách ly với buồng xử lý trong khi xử lý tấm bán dẫn, vì vậy bất kỳ sự hấp thu không khí tiềm năng nào trên các tấm bán dẫn đã xử lý sẽ không được biết cho đến khi cảm biến đo lường bên ngoài phát ra trên tấm bán dẫn được kiểm tra. Các kỹ thuật đã biết có thể dẫn tới hư hỏng tấm bán dẫn đắt tiền trong trường hợp rò rỉ không khí. Bên cạnh giá thành cao của chúng, các cảm biến đã biết có thể thích hợp cho nhiều quy trình với những lý do như tương thích hoá học, áp suất, và nhiệt độ.

Phần tình trạng kỹ thuật ở trên mô tả một số, mà không phải toàn bộ, vấn đề, nhược điểm và thiết sót liên quan tới các dụng cụ và phương pháp nghiên cứu, phát triển và thiết kế đã biết.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một phương án, thiết bị giám sát để giám sát quy trình chế tạo trong hệ thống chế tạo được đề xuất. Hệ thống chế tạo được giám sát gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông. Cảm biến QCM giám sát một thành phần lưu thông trong các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo và được tạo kết cấu để phơi trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo. Bộ điều khiển đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do những tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình xử lý. Bộ điều khiển xác định một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM trong một thành phần lưu thông.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất thiết bị giám sát để giám sát quy trình chế tạo trong hệ thống chế tạo. Hệ thống chế tạo được giám sát gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông gồm đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu. Cảm biến QCM giám sát đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu của các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo và được tạo kết cấu để phơi trong hoá chất xử lý trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo. Một bộ điều khiển đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo. Bộ điều khiển xác định một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu. Hoá chất xử lý trong đường

dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo gồm ít nhất một nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc một sản phẩm phụ của phản ứng của quy trình chế tạo trong buồng xử lý. Khối lượng của cảm biến QCM thay đổi do nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc sản phẩm phụ của phản ứng. Bộ điều khiển xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý do dịch tần số đo được của cảm biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của cảm biến QCM.

Theo một phương án, phương pháp giám sát quy trình chế tạo trong hệ thống chế tạo được đề xuất. Hệ thống chế tạo được giám sát gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông. Cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM) để giám sát một thành phần lưu thông của các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo được triển khai. Cảm biến QCM được phơi trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo. Dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo được đo. Một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý được xác định là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM trong một thành phần lưu thông nêu trên.

Các dấu hiệu và ưu điểm bổ sung của sáng chế được mô tả trong, và sẽ rõ ràng từ, phần mô tả vắn tắt các hình vẽ và phần mô tả chi tiết sáng chế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1A là hình vẽ thể hiện một phương án của hệ thống giám sát quy trình chế tạo.

Fig.1B là lưu đồ thể hiện một phương án của phương pháp giám sát quy trình chế tạo.

Fig.1C là hình vẽ thể hiện một phương án của hệ thống giám sát nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc các sản phẩm phản ứng.

Fig.1D là hình vẽ thể hiện một phương án của hệ thống phát hiện rò rỉ không khí của buồng.

Fig.2 là đồ thị đáp ứng tần số của hệ thống trên Fig.1D khi đưa vào các khí khác nhau.

Fig.3 là đồ thị ký hiệu tần số cho bước lắng đọng hơi hoá học (CVD) xung hoá cho buồng tetrakis(dimetylamido)titan (TDMAT).

Fig.4 là đồ thị dữ liệu năng lượng liên kết độ phân giải cao thu được với phổ học quang điện tử tia X (XPS) cho cảm biến QCM 14mm.

Fig.5 là đồ thị dịch tần số tương ứng với sự gia tăng tổng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong oxy có độ tinh khiết siêu cao (UHP) như là một hàm số của chiều dày Ti nguyên chất ban đầu và diện tích.

Fig.6 là đồ thị gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong oxy có độ tinh khiết siêu cao (UHP).

Fig.7A và Fig.7B là các đồ thị gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong O_2 và N_2 .

Fig.8A và Fig.8B là các đồ thị tốc độ gia tăng khối lượng như là một hàm số của gia tăng khối lượng đối với O_2 và N_2 .

Fig.9A và Fig.9B là các đồ thị thể hiện ái lực và khả năng dịch chuyển của các phân tử khí đối với các màng mỏng kim loại Ti, trong đó Fig.9A thể hiện kết quả đối với màng mỏng Ti có chiều dày 300nm được phơi trong N_2 có độ tinh

khiết siêu cao tại 140mT (1Torr = 133,322Pa) sau đó là phơi trong O₂ có độ tinh khiết siêu cao tại 140mT và Fig.9B thể hiện kết quả đối với thử nghiệm ngược trên một lớp Ti kim loại mới.

Fig.10 là đồ thị gia tăng tổng khối lượng có thể đạt được như là một hàm số của chiều dày chất hút khí nguyên chất ban đầu và áp suất khí ôxy.

Fig.11 là một phương án của một hệ thống phát hiện rò rỉ vi sai.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế đề cập đến hệ thống giám sát sử dụng cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM), ví dụ, để giám sát quy trình chế tạo, như là quy trình chế tạo bán dẫn hoặc các quy trình chế tạo khác.

Fig.1A là hình vẽ thể hiện một phương án của hệ thống giám sát quy trình chế tạo. Theo phương án trên Fig.1A, buồng xử lý 10 được nối bằng đường dẫn cấp liệu 11 với nguồn 12, như là một nguồn nguyên liệu. Buồng xử lý 10 cũng được nối bằng đường dẫn cấp liệu 13 với một nguồn nguyên liệu khác 14, và một đường dẫn xả 15. Mỗi đường dẫn trong các đường dẫn này có thể cũng gồm một hoặc nhiều van có thể điều khiển được bởi một bộ điều khiển quy trình (không được thể hiện trên hình vẽ).

Theo phương án trên Fig.1A, các đường dẫn nhánh 16 và 17 có thể được sử dụng để chuyển hướng một phần của hoá chất xử lý trong hệ thống tới một hoặc nhiều cảm biến. Theo một phương án, cảm biến QCM 20 có thể được sử dụng để giám sát đường dẫn xả 15, và có thể được nối bằng đường dẫn 22 với các thành phần 25 để xử lý. Tương tự, cảm biến QCM 30 có thể được sử dụng để giám sát đường dẫn cấp liệu 11, hoặc cảm biến QCM 31 có thể được sử dụng để giám sát đường dẫn nhánh 16 tới đường dẫn cấp liệu 11, và có thể được nối tương ứng bằng

các đường dẫn 32, 33 với các thành phần 35 để xử lý. Hơn nữa, cảm biến QCM 40 có thể được sử dụng để giám sát trực tiếp buồng xử lý 10 và có thể được nối bằng đường dẫn 42 với các thành phần 45 để xử lý.

Người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật sẽ hiểu được là các kỹ thuật hiện có có thể được áp dụng cho nhiều loại hệ thống chế tạo khác nhau, và một hoặc nhiều cảm biến QCM và mạch điện liên kết và các thành phần (như bộ gia nhiệt, bộ điều khiển, bộ phận lắng đọng vật liệu, bộ phận khắc, v.v.) có thể được bố trí ở một hoặc nhiều vị trí trong hệ thống chế tạo.

Ví dụ, hệ thống có thể được sử dụng để xác định khi bất kỳ điều kiện nào sau đây có mặt trong buồng: rò rỉ không khí, sản phẩm phụ của phản ứng, nguyên liệu chưa sử dụng hết, hoặc chất gây ô nhiễm. Tốt hơn là việc xác định đó có thể được thực hiện bằng hệ thống mà không có cảm biến QCM bố trí trực tiếp trong buồng xử lý.

Ngoài ra, cảm biến QCM có thể được bố trí ở một hoặc nhiều vị trí trong hệ thống, bao gồm, nhưng không giới hạn ở, đường dẫn bơm, đường dẫn xả, đường dẫn cấp liệu, đường dẫn nhánh, thân van, khoang chân không, buồng nhánh hoặc buồng vận chuyển.

Fig.1B là lưu đồ thể hiện một phương án của phương pháp 50 để giám sát một quy trình chế tạo. Theo phương án trên Fig.1B, phương pháp 50 ở khối 51 trước tiên là tùy ý tạo một vật liệu hút khí trên một cảm biến QCM. Trong một ví dụ, vật liệu hút khí có thể được bố trí trên cảm biến QCM trước khi cảm biến QCM được lắp đặt trong hệ thống chế tạo.

Trong một ví dụ khác, các dụng cụ của quy trình chế tạo riêng chúng có thể được sử dụng để bố trí vật liệu hút khí trên cảm biến QCM. Ví dụ, hoá chất chế

tạo có thể được chuyển hướng từ hệ thống chế tạo tới cảm biến QCM để lắng đọng vật liệu hút khí với một chiều dày định trước trên cảm biến QCM.

Trong một ví dụ nữa, nguồn lắng đọng vật liệu chuyên dụng, như là thành phần thăng hoa titan, có thể được sử dụng để bố trí vật liệu hút khí trên cảm biến QCM sau khi lắp đặt.

Trong một ví dụ khác nữa, vật liệu hút khí có thể được bảo vệ bằng một lớp ăn mòn hoặc vật liệu khác, mà vật liệu này được loại bỏ sau khi lắp đặt cảm biến QCM. Trong trường hợp đó, một thành phần loại bỏ vật liệu, như là một thiết bị khắc, có thể là một phần của hệ thống giám sát, và có thể được sử dụng để loại bỏ lớp ăn mòn hoặc lớp vật liệu khác từ cảm biến QCM sau khi lắp đặt trong hệ thống chế tạo.

Tiếp theo, ở khối 52 của phương pháp 50, cảm biến QCM để giám sát một thành phần lưu thông trong các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo được bố trí bên trong hệ thống chế tạo, như được mô tả ở trên đối với Fig.1A. Tiếp theo, ở khối 53 của phương pháp 50, cảm biến QCM được phơi trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo. Trong khi phơi, hoặc sau khi phơi, ở khối 54 của phương pháp 50, những sự dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do phản ứng giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo được đo.

Sau đó, ở khối 55 của phương pháp 50, một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý được xác định là một hàm số của các dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM trong một thành phần lưu thông nêu trên. Ví dụ, khối lượng của vật liệu hút khí có thể thay đổi do phản ứng với hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo, và bộ điều khiển có thể xác định rò rỉ không khí trong buồng xử lý do các dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm

biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của vật liệu hút khí trong một thành phần lưu thông.

Về mặt quan niệm, các bước từ khối 53 đến 55 có thể được coi là một bước lặp duy nhất của quy trình chế tạo mà được giám sát bởi hệ thống. Sau đó, sau bước lặp này, ở khối 56 của phương pháp 55, vật liệu hút khí có thể được phục hồi lại.

Theo một phương án khác, phương pháp có thể được sử dụng để giám sát các nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc các sản phẩm phụ của phản ứng trong buồng. Ví dụ, khối lượng của cảm biến QCM có thể thay đổi do nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc sản phẩm phụ của phản ứng. Trong trường hợp đó, bộ điều khiển có thể xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý do dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của cảm biến QCM.

Các loại khác nhau của quy trình chế tạo có thể được giám sát, bao gồm các quy trình bổ sung vật liệu vào hoặc loại bỏ các vật liệu khỏi tấm bán dẫn trong buồng. Trong các trường hợp như vậy, hệ thống giám sát giám sát tốc độ lắng đọng, hoặc tốc độ loại bỏ tương ứng xảy ra trong buồng xử lý.

Trong một phương án, hệ thống bao gồm một thiết bị gia nhiệt để điều chỉnh nhiệt độ của cảm biến QCM. Cấu hình như vậy cho phép phản ứng giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý diễn ra ở các tốc độ khác nhau, tạo thuận lợi cho việc đo lường. Ví dụ, sự lắng đọng trên hoặc loại bỏ khỏi cảm biến QCM có thể được bắt đầu hoặc được điều khiển theo nhiệt độ.

Trong một ví dụ khác, hệ thống có thể được bố trí sao cho một phần nhỏ hơn của hoá chất xử lý tới cảm biến QCM. Sự phơi giới hạn của cảm biến QCM

trong hoá chất xử lý có thể dùng để làm giảm phản ứng giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý. Điều này có thể đạt được bằng cách sử dụng một van hoặc lỗ, hoặc sử dụng khí pha loãng để pha loãng hoá chất xử lý đã thấy trên cảm biến QCM.

Fig.1C và Fig.1D là các hình vẽ thể hiện các phương án của hệ thống giám sát và các phương pháp sử dụng các cảm biến QCM. Phương án trên Fig.1C đề cập đến việc giám sát các nguyên liệu chưa sử dụng hết và/hoặc các sản phẩm phụ của phản ứng, và phương án trên Fig.1D đề cập đến việc phát hiện rò rỉ không khí của buồng và phát hiện chất gây ô nhiễm khác.

Trước tiên bắt đầu với phương án trên Fig.1C, phương án này đề xuất nhiều ưu điểm so với các kỹ thuật đã biết. Trước tiên, nó không chỉ đơn giản là tái tạo các hiệu ứng lắng đọng như xảy ra trên tấm bán dẫn. Thay vào đó, các hệ thống (có thể bao gồm một hoặc nhiều cảm biến QCM) đang tìm cách trích xuất trị số chẩn đoán từ nguyên liệu dư (các khí xử lý) và các khí là sản phẩm phụ của các phản ứng hoá học trên và gần bề mặt tấm bán dẫn. Trong trường hợp của khí nguyên liệu dư, kỹ thuật này không cố gắng tái tạo một cách đơn giản quy trình xử lý tấm bán dẫn và nó không tìm cách giám sát đơn giản ở một vị trí được phơi của cảm biến trong lưu lượng khí xử lý tương đương với những gì tấm bán dẫn được phơi. Thay vào đó, kỹ thuật này sử dụng nguyên liệu chưa sử dụng hết. Chúng thường là những lượng khí rất nhỏ, thường là những lượng còn sót lại, lưu thông qua tấm bán dẫn nhưng không phản ứng với bề mặt tấm bán dẫn. Theo phương án khác, hoặc thêm vào đó, có các sản phẩm phụ của phản ứng sinh ra từ tác dụng của các khí xử lý với bề mặt tấm bán dẫn. Các nguyên liệu kim loại hữu cơ, ví dụ, có thể được tạo cấu trúc từ các phân tử hữu cơ lớn phân huỷ nhiệt hoặc phản ứng với các bề mặt được làm nóng trong hoặc gần buồng. Các khí nguyên liệu chưa sử dụng hết và các sản phẩm phụ của phản ứng có thể được tích lũy trên các bề mặt bên trong buồng xử lý, các đường dẫn bơm hút chân không buồng và

các bơm tạo chân không cho buồng. Bất kỳ chất gì bên trong phần bao chân không dễ bị phủ các vật liệu này. Các khí nguyên liệu chưa sử dụng hết và các sản phẩm phụ của phản ứng có thể làm thay đổi thông tin. Chúng có thể phát hiện được ở đường dẫn phía sau. Kỹ thuật này đang tìm cách sử dụng các khí nguyên liệu chưa sử dụng hết còn sót lại của các phản ứng trên bề mặt tấm bán dẫn và các sản phẩm phụ của các phản ứng hoá học xảy ra trên bề mặt tấm bán dẫn.

Kiểm soát nồng độ nguyên liệu kim loại hữu cơ và vô cơ, là việc được yêu cầu để bảo hoà bề mặt tấm bán dẫn lớn để phủ lắng đọng, có tính quyết định trong các quy trình ALD (lắng đọng lớp nguyên tử) và CVD (lắng đọng hơi hoá học). Khi đo lường mức độ an toàn, buồng thường được cho chứa nhiều hơn liều lượng bảo hoà (nồng độ nhân với thời gian) để phản ứng xảy ra ở mọi nơi trên tấm bán dẫn. Trong dụng cụ sản xuất, cần phải thận trọng khi đặt các giới hạn quá liều lượng vì các vật liệu thường đắt tiền. Ngoài ra, lưu lượng khí cao không cần thiết, hoặc trong trường hợp của quy trình ALD, các đợt cấp khí làm tăng chu kỳ của quy trình và giới hạn tiêu thụ tấm bán dẫn.

Việc lắp đặt các cảm biến, ví dụ, các bộ điều khiển lưu lượng hoặc các cảm biến khác bất kỳ trên đường dẫn lưu thông nguyên liệu để giám sát các điều kiện từ a) đến e) (được đề cập dưới đây) là không thực tế do những lo ngại về chất gây ô nhiễm hoặc các hạt xâm nhập buồng xử lý. Tuy nhiên, cảm biến có thể được sử dụng ở đường dẫn ra để giám sát các điều kiện này. Ở đây, các tác giả cho thấy tiềm năng giám sát các điều kiện từ a) đến e) sử dụng cảm biến QCM lắp trên đường dẫn xả, đường dẫn phía trước, và buồng hoặc các đường dẫn lưu thông nguyên liệu khác bất kỳ hoặc sản phẩm phụ của các buồng CVD/ALD được sử dụng trong việc phủ các ôxit kim loại, nitrua hoặc vật liệu khác.

Vì vậy, theo một khía cạnh, sáng chế ưu tiên đề xuất liên quan tới:

- a) tiêu thụ hết nguyên liệu;
- b) lãng phí nguyên liệu;
- c) cản trở hoặc biến động lưu thông nguyên liệu do hư hỏng van;
- d) sự nhất quán của nhiệt độ tấm bán dẫn; và
- e) sự nhất quán của hấp thụ nguyên liệu do nguyên nhân khác bất kỳ được chỉ định cho riêng tấm bán dẫn, buồng, hệ thống phụ của thiết bị, phương pháp xử lý không chính xác hoặc yếu tố bất kỳ khác dẫn tới lắng đọng không chính xác.

QCM có thể được sử dụng để giám sát các màng mỏng trong phủ lắng đọng trong chân không. Tần số cộng hưởng của QCM giảm đi với việc nạp vật liệu lắng đọng màng mỏng. Sử dụng sự dịch giảm tần số của QCM, mật độ, và âm trở của các màng mỏng tạo ra trên QCM, chiều dày, và vì vậy tốc độ hình thành màng mỏng có thể đạt được.

Các nhà sản xuất dụng cụ bán dẫn đề xuất phương pháp thông dụng nhất (BKM) cho quy trình với một thay đổi nhỏ trong các thông số của quy trình. Sản xuất các tấm bán dẫn với tập hợp thông số của quy trình đã đề xuất đảm bảo gần với tốc độ lắng đọng/khắc trước đây và phủ các tấm bán dẫn. Để đảm bảo phủ và giảm được lãng phí, một lượng nhỏ của nhiều nguyên liệu được duy trì. Trên đường dẫn để xả, một lượng nhỏ của nhiều nguyên liệu và các sản phẩm phụ phủ trên các lớp lót, thành, đường dẫn xả. Mặc dù các nhiệt độ ở công đoạn sau của quy trình được duy trì để giảm thiểu cả sự phân huỷ của các nguyên liệu và sự ngưng tụ của các nguyên liệu và các sản phẩm phụ, việc tránh cả hai là không thực tế. Các nhiệt độ của thành thường được duy trì để tránh ngưng tụ nguyên liệu và bất kỳ chất ngưng tụ hình thành bay hơi trong chu kỳ lọc. Tuy nhiên, sự ngưng tụ các nguyên tử kim loại từ sự phân huỷ nguyên liệu và các nguyên tử phân tán tới

các thành tạo thành một màng mỏng kim loại vĩnh cửu trên thành. QCM có thể được gắn bằng phẳng với bề mặt bên trong của đường dẫn xả/thành buồng để kích thích hình thành màng mỏng như vậy do nhiều nguyên liệu và sản phẩm phụ.

Trong khi xử lý tấm bán dẫn, lượng nguyên liệu lưu thông vào trong buồng được điều khiển càng chính xác càng tốt. Tương tự, tất cả biến số khác ảnh hưởng tới phản ứng trên bề mặt tấm bán dẫn được dự tính lặp lại cho tấm bán dẫn tiếp theo với những sai số rất nhỏ. Đo lường tại chỗ sự nhất quán của quy trình từ một tấm bán dẫn tới tấm bán dẫn tiếp theo có thể được sử dụng để giảm thiểu tổn thất tấm bán dẫn, cải thiện sản lượng sản xuất và quản lý hoặc điều chỉnh sự thống nhất của quy trình. Các QCM có thể cung cấp đo lường như vậy.

Trong khi tấm bán dẫn trải qua chu kỳ tần số cộng hưởng sẽ dịch chuyển nếu bất kỳ sự lắng đọng nào ở dạng kim loại từ nguyên liệu kim loại hoặc ôxit/nitrua hoặc vật liệu khác bất kỳ. Biên độ của dịch chuyển chỉ báo nếu có bất kỳ nguyên liệu nào chưa sử dụng hết một cách hiệu quả, các sản phẩm phụ, sự kết hợp của cả hai. Thông tin này có thể được xử lý để thu được chiều dày của màng mỏng. Biên độ của dịch chuyển này là một đo lường về sự nhất quán của quy trình xử lý tấm bán dẫn. Vị trí và nhiệt độ của QCM có thể được lựa chọn để tích tụ lớp phủ phía trên ở một tốc độ mong muốn sao cho một QCM duy nhất có thể được sử dụng để kéo dài toàn bộ quá trình sản xuất hoặc cho đến lần bảo trì phòng ngừa tiếp theo. Sự dịch tần số được lựa chọn như vậy có thể được sử dụng làm một dấu hiệu về chất lượng để biểu thị sự nhất quán của quy trình, tương quan lượng nguyên liệu lãng phí/chưa sử dụng trên một chu kỳ xử lý tấm bán dẫn hoặc cải thiện sự nhất quán và tối ưu hoá của quy trình.

Các phương tiện khác để quản lý thời gian sử dụng tinh thể bao gồm sử dụng các khí pha loãng để làm giảm nồng độ của nguyên liệu tới bề mặt tinh thể

và sự cách ly gián đoạn của QCM, ví dụ phía sau van, để giới hạn có chọn lọc mức độ phơi của QCM để lắng đọng khí nguyên liệu và các sản phẩm phụ của phản ứng.

Trong một ví dụ, hệ thống giám sát sự nhất quán nhiệt độ của tấm bán dẫn. Trong một ví dụ khác, hệ thống giám sát sự nhất quán của hấp thụ nguyên liệu do bất kỳ nguyên nhân nào khác được cho là do riêng tấm bán dẫn, buồng, các hệ thống con của thiết bị, các cách thức quy trình không chính xác hoặc yếu tố khác bất kỳ dẫn tới lắng đọng không thích hợp.

Tiếp tục với Fig.1C, hệ thống được minh hoạ để giám sát các nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc các sản phẩm phụ của phản ứng nói chung biểu diễn một đoạn đường dẫn xả của buồng lắng đọng hơi hoá học TiNi thể hiện bố trí điển hình của cảm biến QCM lắp ở đường dẫn xả. Tiếp tục xem xét chi tiết với phương án trên Fig.1C, cảm biến QCM 100 được lắp trên mép bích KF-40 của đường dẫn xả 110 của buồng CVD xung hoá. Có thể có nhiều hơn một cảm biến như vậy lắp trong các buồng khác nhau thực hiện quy trình tương tự hoặc khác nhau trên cùng dụng cụ. Cũng có thể có nhiều hơn một bộ dò lắp ở những vị trí khác nhau của một đường dẫn phía trước duy nhất của một buồng với mục đích cảm biến nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc các sản phẩm phụ của phản ứng. Trong ví dụ hiện tại, một cảm biến duy nhất được lắp sao cho mặt trước tinh thể hầu như nằm trên cùng mặt phẳng với thành bên trong của đường dẫn phía trước này. Để tích tụ lớp phủ kim loại hoặc nitrua kim loại trên QCM 120, có thể không bắt buộc phải lắp cảm biến trong kết cấu đã thể hiện trên hình vẽ. QCM 120 truyền thông qua kết nối điện tử 106 với, ví dụ, một hệ thống điều khiển. Dòng điện xoáy sinh ra quanh cảm biến do khoảng cách trụ giữa khớp nối trên đường dẫn phía trước và thân cảm biến có thể gây ra hút luồng khí vào trong khiến hơi kim loại/nguyên liệu tới lỗ bên trong khớp nối-đường ống. Ngoài ra, cảm biến QCM gồm tinh thể 120, và

nguyên liệu hút khí chọn lọc. Trong khi hoạt động, màng mỏng CVD 122 và nguyên liệu ngưng tụ 124 có thể tạo ra. Tùy thuộc vào nhiệt độ, tích tụ trên QCM có thể là một hỗn hợp của màng mỏng và các nguyên liệu ngưng tụ hoặc chỉ là màng mỏng.

Tiếp theo, Fig.1D thể hiện một phương án giám sát rò rỉ. Các cảm biến QCM có thể được sử dụng để đo tốc độ tích tụ theo chiều dày trong lắng đọng hơi vật lý như là bay hơi chùm điện tử và bay hơi nhiệt. Tần số cộng hưởng của QCM giảm đi với sự nạp khối lượng vật liệu và cường độ tỷ lệ thuận với tần số thạch anh không bị phủ và mật độ vùng của vật liệu bên ngoài. Trong kỹ thuật hiện tại, QCM phát hiện mức gia tăng khối lượng của lớp phủ sẵn có khi phản ứng với các thành phần của khí rò rỉ. Sự gia tăng khối lượng là một hàm số của chiều dày vật liệu hấp thụ, áp suất riêng phần của thành phần phản ứng, nhiệt độ, và độ nhám bề mặt của màng mỏng trên tinh thể. Vật liệu hấp thụ được tích tụ trong khi sản xuất tấm bán dẫn, vì vậy vẫn ở dạng nguyên chất khi không có bất kỳ rò rỉ không khí nào hoặc khi không có các quy trình bao gồm các thành phần phản ứng như ôxy.

Các cảm biến QCM có thể được đặt tại những vị trí khác nhau trong và gần buồng xử lý để giám sát rò rỉ. Những vị trí này bao gồm những vị trí thâm nhập được trực tiếp để giám sát lắng đọng vật liệu trên các thành buồng, trong đường dẫn bơm dẫn từ buồng, trên các đường dẫn cấp liệu khí xử lý, bao gồm các đường dẫn nhánh hoặc đường dẫn chuyển hướng để cho phép các khí xử lý được dẫn quanh buồng xử lý, trong các thân van gắn với buồng hoặc hệ thống con bất kỳ và trong các buồng chân không liên kết, như là các khoang chân không và các buồng vận chuyển tấm bán dẫn, mà ở đó sự phơi định kỳ do các van mở và đóng có thể cho phép vận chuyển nguyên liệu từ một buồng tới một buồng khác.

Một cảm biến QCM lắp ở luồng phía sau hoặc trong một đường dẫn nhánh so với vị trí xử lý tấm bán dẫn đất tiền, ví dụ ở đường dẫn xả của một buồng dụng cụ, được sử dụng để phát hiện cả rò rỉ không khí có tính hệ thống ngoài dự tính và rò rỉ không khí ngẫu nhiên trong khi thực hiện sản xuất tấm bán dẫn. Mục đích chính của cảm biến QCM là thực hiện chức năng làm bộ dò rò rỉ không khí ở nơi có thể phát hiện được bởi sự gia tăng khối lượng do sự ôxy hoá của lớp phủ kim loại hấp thụ nguyên chất tích tụ trên QCM theo thời gian thực trong khi sản xuất. Nếu các phân tử không khí có mặt trong luồng khí đi qua QCM, tần số cộng hưởng của QCM dịch xuống dưới, biểu thị sự gia tăng khối lượng của màng mỏng do sự ôxy hoá.

Thông thường, chất hút khí dạng khối và hút khí bề mặt như lớp dạng khối thiêu kết không bay hơi được hoặc các lớp phủ bề mặt màng mỏng được sử dụng làm các bơm hút khí hoá học bên trong một thể tích kín để vận hành các thiết bị cần mức chân không cao. Khi kích hoạt bên trong thể tích kín, các bơm hoá chất nhỏ này giúp duy trì mức chân không cao, được tạo ra từ bên ngoài tại thời điểm bịt kín, bằng cách thiết lập cân bằng giữa những rò rỉ liên tục và tốc độ hút thấm bề mặt bởi chất hút khí. Những phương tiện hút khí như vậy luôn được gắn với bộ gia nhiệt dùng cho việc kích hoạt ban đầu của chúng và để tái tạo khi hiệu quả bơm của chúng giảm theo thời gian. Sau một số chu kỳ tái tạo, các chất hút khí này cần được thay thế trong thể tích kín. Lớp phủ chất hút khí của kỹ thuật hiện tại được sử dụng để phát hiện rò rỉ theo thời gian thực và không cần kích hoạt hoặc tái tạo. Ví dụ, theo một phương án, hệ thống tận dụng sự dồi dào nguyên liệu của buồng sản xuất tấm bán dẫn, nghĩa là không lãng phí, để tích tụ liên tục vật liệu hút khí nguyên chất lớn nhất cần sử dụng cho mục đích cơ bản là phát hiện rò rỉ không khí có hại trong buồng mà không cần các phương pháp kích hoạt hoặc tái tạo và các thiết bị phụ trợ.

Theo một khía cạnh, hệ thống tích tụ vật liệu trên QCM nhạy cảm theo thời gian thực để giám sát sự gia tăng chiều dày chất hút khí nguyên chất, được chuyển đổi thành hiệu quả phát hiện rò rỉ của QCM. Theo một khía cạnh khác, hệ thống sử dụng phát hiện rò rỉ không khí tại chỗ theo thời gian thực thụ động và chủ động mà không cần phải chạy các tấm bán dẫn chất lượng và các đo lường bên ngoài. Theo một khía cạnh nữa, hệ thống phục hồi liên tục phía trước bề mặt hút khí tại mỗi chu kỳ xử lý tấm bán dẫn để đảm bảo sự ôxy hoá hạn chế khuếch tán bề mặt ít nhất.

Theo một phương án khác, hệ thống đề xuất các chi tiết kiểm tra theo yêu cầu tấm bán dẫn-tấm bán dẫn. Ví dụ, hệ thống đề xuất khả năng tăng tốc và tích hợp tín hiệu dịch tần số để xác thực những rò rỉ nhỏ khả nghi sử dụng các ngăn vi sai. Ngoài ra, hệ thống đề xuất kiểm tra tốc độ rò rỉ định hướng sử dụng hai cảm biến. Hơn nữa, hệ thống gồm tiền sử mức O_2 trong buồng thường xuyên, gồm số lần bảo trì phòng ngừa, được ghi nhận trong lớp Ti để hỗ trợ phân tích nguyên nhân lỗi và nguyên nhân cơ bản. Trong một ví dụ khác, hệ thống gồm sự tích tụ vật liệu hút khí thụ động và chủ động trên các QCM.

Trong phủ lắng đọng vật liệu kim loại và vật liệu cách điện kim loại pha khí, như là lắng đọng hơi hoá học (CVD) và lắng đọng lớp nguyên tử (ALD), một liều lượng nguyên liệu (sản phẩm có nồng độ nguyên liệu và thời gian phơi) vượt quá liều lượng tới hạn (được yêu cầu cho sự đồng đều về chiều dày của màng mỏng tấm bán dẫn) được duy trì. Trong khi thực hiện sản xuất tấm bán dẫn, tuy nhiên, chỉ một liều lượng dư nhỏ được duy trì để giảm lãng phí nguyên liệu đắt tiền. Trên đường dẫn xả, các nguyên liệu chưa sử dụng hết bởi tấm bán dẫn và các sản phẩm phụ của phản ứng phủ trên các lớp lót, các thành, và các đường dẫn xả, v.v., của buồng. Các lớp phủ này có thể ở dạng ngưng tụ, các màng mỏng bám dính, và các màng mỏng đàn hồi cứng. Các kỹ sư thiết bị cố gắng duy trì các điều

kiện ở giai đoạn sau của quy trình để giảm thiểu các lớp phủ này. Đặc biệt, nhiệt độ ở đường dẫn phủ và đường dẫn nhánh được duy trì để giảm thiểu phân huỷ nhiệt và bão hoà hơi đối với một nguyên liệu định trước và những cửa sổ biến động áp suất trong các bước của phương pháp. Tuy nhiên, thực tế không tránh được hoàn toàn sự hình thành màng mỏng kim loại cứng cũng như sự ngưng tụ nguyên liệu. Trong đa số các buồng, các nhiệt độ thành của đường dẫn phía trước thường được duy trì để tránh ngưng tụ nguyên liệu. Bất kỳ ngưng tụ còn lại là nhỏ và có xu hướng bay hơi trong khi lọc, các bước của phương pháp với áp suất đường dẫn phía trước giảm, và bơm giảm đi. Mặt khác, các lớp phủ màng mỏng kim loại hoặc cách điện tồn tại vĩnh viễn. Sự tích tụ liên tục của lắng đọng tạo thành các màng mỏng này có thể là do ngưng tụ hơi kim loại. Tuỳ thuộc vào sự kết hợp của khả năng phân huỷ không biến mất (do gradien nhiệt độ giữa bên trong buồng và đường dẫn phía trước) của các nguyên liệu, các đường dẫn tự do điều tiết ($\sim 20\text{mm}$ tại áp suất 10 mTorr ($1\text{ Torr} = 133,322\text{Pa}$)), và nhiệt độ của đường dẫn phía trước, tốc độ tích tụ chiều dày lớp phủ có thể thay đổi dọc theo đường dẫn phía trước. Tuy nhiên, các yếu tố trên cung cấp nguồn nguyên liệu và phương tiện để tạo ra các màng mỏng kim loại thậm chí trên một phần của thành đường dẫn phía trước ở nhiệt độ phòng. Vì vậy, cảm biến QCM có thể được đặt ở một vị trí thích hợp trong đường dẫn phía trước để giám sát tốc độ tích tụ kim loại và để phát hiện rò rỉ không khí tiềm năng sử dụng các tính chất của chất hút khí của các vật liệu tích tụ như vậy. Một tay cầm cũng được bố trí để thay đổi tốc độ tích tụ thuận tiện để phát hiện rò rỉ không khí trong buồng.

Fig.1D thể hiện hệ thống phát hiện rò rỉ không khí trong buồng và nói chung thể hiện một đoạn của đường dẫn xả của buồng lắng đọng hơi hoá học TiNi thể hiện bố trí điển hình của cảm biến QCM lắp ở đường dẫn xả. Vật liệu hút khí

nguyên chất được tạo ra trong quá trình giám sát sản xuất tấm bán dẫn do nguyên liệu dồi dào đi qua bề mặt QCM trên đường tới bom.

Chi tiết thêm nữa với phương án trên Fig.1D, bộ phát hiện rò rỉ không khí QCM 100 được lắp trên mép bích KF-40 của đường dẫn xả 110 của buồng CVD xung hoá. Có thể có nhiều hơn một bộ phát hiện như vậy lắp trong các buồng khác nhau thực hiện quy trình tương tự hoặc khác nhau trên cùng dụng cụ. Cũng có thể có nhiều hơn một bộ phát hiện lắp ở những vị trí khác nhau của một đường dẫn phía trước duy nhất của một buồng với mục đích phân tách hướng rò rỉ không khí tiềm năng và cường độ rò rỉ có thể liên kết đồng thời tại vị trí tấm bán dẫn của buồng. Trong ví dụ hiện tại, một cảm biến duy nhất được lắp sao cho mặt trước tinh thể hầu như nằm trên cùng mặt phẳng với thành bên trong của đường dẫn phía trước. Để tích tụ kim loại, ôxit kim loại, hoặc lớp phủ nitrua kim loại trên QCM 120, có thể không bắt buộc phải lắp cảm biến trong kết cấu đã thể hiện. Dòng điện xoáy sinh ra quanh cảm biến do khoảng cách trụ giữa khớp nối trên đường dẫn phía trước và thân cảm biến có thể gây ra hút luồng khí vào trong khiến hơi kim loại/nguyên liệu tới lỗ bên trong khớp nối-đường ống. Các vùng rìa xen kẽ dạng sừng 108 quan sát thấy trên thân cảm biến trụ 102 của bộ phát hiện rò rỉ lấy ra từ buồng CVD xung hoá xác nhận sự có mặt của sự hút luồng khí vào trong. Ngoài ra, cảm biến QCM gồm bộ phận giữ tinh thể 120, tinh thể 122 và vật liệu hút khí 124. Hình vẽ mặt cắt của QCM 132 với vật liệu hút khí tích tụ 130 trước khi phơi đến khi rò rỉ không khí được thể hiện ở bên phải. Vùng tích tụ chất hút khí che phủ hiệu quả hơn vùng chủ động của QCM.

Vì vậy, có thể tạo kết cấu a) bộ dò rò rỉ không khí với mặt QCM lõm từ thành đường dẫn phía trước, b) hai bộ dò rò rỉ không khí QCM hướng vào nhau trên phần chữ T với khớp nối chữ T lắp với đường dẫn phía trước. Theo phương án khác, cảm biến rò rỉ cũng có thể sử dụng các QCM có đường kính nhỏ hơn (ví

dụ 8mm) để cho phép tích hợp trên KF25 hoặc các khớp nối nhỏ hơn và các công khác trên các đường dẫn phía trước. Các bộ dò có thể là thụ động hoặc chủ động trong đó bộ dò thụ động ở mức cân bằng nhiệt tại nhiệt độ thành đường dẫn phía trước và bộ dò chủ động có thể được gia nhiệt tới một nhiệt độ trạng thái ổn định khác so với đường dẫn phía trước. Trong trường hợp của các cảm biến thụ động, sự ổn định tần số của tinh thể được tối đa bằng cách sử dụng các QCM được thiết kế để có một điểm điều chỉnh tại hoặc rất gần nhiệt độ của vị trí lắp đặt. Trong trường hợp các cảm biến chủ động, nhiệt độ có thể được điều khiển tại một điểm cố định cho các QCM với những điểm điều chỉnh bất kỳ.

Và lại, Fig.1D thể hiện tích tụ kim loại hút khí điển hình trên mặt trước của tinh thể của bộ dò rò rỉ. Trong ví dụ được thể hiện ở phần khác trong bản mô tả, một màng mỏng titan nguyên chất được tích tụ tăng dần từ liều lượng nguyên liệu dồi dào đi qua (ví dụ TDMAT) trong chu kỳ xử lý tấm bán dẫn. Như được đề cập ở trên, có một lượng phân huỷ nguyên liệu sẵn có trong đường dẫn xả của nhiều dụng cụ của quy trình xử lý bán dẫn CVD/ALD. Trong mỗi lần xung hoá nguyên liệu, một hỗn hợp của hơi kim loại và nguyên liệu ngưng tụ chưa sử dụng hết trên bề mặt QCM. Kim loại nguyên chất ngưng tụ tạo thành một bề mặt hút khí nguyên chất, ghi nhận một dịch tần số không thể đảo ngược trên QCM. Trong khi đó, sự ngưng tụ nguyên liệu có thể bay hơi trong những chu kỳ lọc trong một phương pháp. Tốc độ tích tụ kim loại nguyên chất có thể được điều khiển bằng sự kết hợp hoặc của một trong số a) gia nhiệt một đoạn đường dẫn phía trước ít bước sóng tán xạ ở phía trước của cảm biến QCM, b) gia nhiệt QCM tới một nhiệt độ cố định.

Các buồng sản xuất CVD của titan, tantan và các chất cách điện của chúng, hoặc các kim loại CVD/ALD khác với các tính chất hút khí và các chất cách điện trên cơ sở kim loại này hưởng lợi từ kỹ thuật này. Các cảm biến QCM lắp trong các đường dẫn phía trước của buồng bất kỳ trong các buồng này có thể có các lớp

phủ với các mức độ khác nhau. Các lớp phủ hút khí phản ứng mạnh với ôxy và phản ứng yếu với các thành phần khác trong không khí. Các lớp phủ hút khí có thể hấp thu O_2 , N_2 , H_2O , v.v.. Tuỳ theo sự kết hợp chất hút khí-chất bị hấp phụ, các phân tử không khí này có thể được hấp phụ vật lý, khuếch tán vật lý, hoặc hấp phụ hoá học. Mặc dù O_2 , N_2 , và H_2O có thể phản ứng với titan, ôxy có độ phản ứng cao nhất và vì vậy hệ số bám dính cao nhất; nó có thể thay thế các chất hấp phụ khác từ cả bề mặt kim loại hút khí và tỷ lệ ôxit được hình thành.

Để đánh giá hiệu quả của bộ dò rò rỉ không khí đã đề xuất, khả năng của nó cần được hiểu trong các điều kiện buồng khác nhau. Để thuận tiện, một số kết quả được thể hiện dưới đây thu được sử dụng không khí, nitơ có độ tinh khiết siêu cao (UHP), và ôxy UHP phối kim loại Ti lắng đọng trên các QCM bằng cách sử dụng hệ thống lắng đọng hơi vật lý.

Fig.2 thể hiện các dịch tần số trong ba QCM cắt AT (AT-cut QCM) được phủ Ti, và nói chung mô tả việc đưa nitơ UHP và ôxy UHP vào trong buồng bay hơi với ba tinh thể phủ titan nguyên chất và ba tinh thể điều khiển. Việc đưa N_2 thể hiện đáp ứng tần số nhỏ (không đáng kể đối với độ dày Ti bằng 100nm hoặc nhỏ hơn) trong khi phối trong O_2 thể hiện thay đổi đáng kể về tần số. Giữa hai lần phối tại 140mT (1Torr = 133,322Pa), buồng được bơm xuống áp suất cơ sở.

Ở đây, màng mỏng kim loại được phủ sử dụng bay hơi chùm điện tử (eBeam) 99,99% tấm đế titan ở chân không siêu cao. Áp suất buồng khi lắng đọng là quanh 10^{-6} Torr (1 Torr = 133,322 Pa). Buồng được bơm bởi bơm cryo để thu giữ hiệu quả các phân tử nước được giải hấp từ các thành. Ngoài ra, lớp phủ titan nguyên chất tích tụ trên bề mặt nắp thủy tinh của máy bay hơi trong khi thực hiện bay hơi hoạt động như một bơm chất hút khí bề mặt lớn để tiếp tục tăng tốc mức độ chân không. Vì vậy, sẽ an toàn khi giả định sự tích hợp nước và các phân tử

khác trong lớp phủ Ti bay hơi trên các QCM là không đáng kể. Các QCM giống nhau được sử dụng cho cả đo chiều dày của lớp lắng đọng Ti và sự gia tăng khối lượng trong khi phơi trong các khí N_2 và O_2 . Một QCM điều khiển riêng biệt được sử dụng để điều khiển tốc độ bay hơi tại 1 đến 1,5 Å/s. Sau khi lắng đọng, các tinh thể được cho làm nguội xuống nhiệt độ phòng trong từ 3 đến 4 giờ trong chân không cao. Sau khi thiết lập một đường cơ sở tần số ổn định cho các QCM, các khí nguyên chất cao được đưa vào trong buồng sử dụng một van tốc độ rò rỉ thay đổi được. Trong khi đưa vào như vậy, đảm bảo rằng không có thể tích không khí chết bị giữ trong đường dẫn nối chai khí với buồng. Nhiều hơn ba QCM được che phủ bởi màng chắn để ngăn lắng đọng kim loại, nhưng vẫn phơi trong các khí đã được sử dụng để điều khiển thử nghiệm. Các dao động trên tần số như được thể hiện trên hình vẽ là do đáp ứng của các QCM với vòng lặp điều khiển nhiệt độ cấu trúc. Đối với chiều dày Ti nguyên chất xấp xỉ 100nm, buồng được nạp đầy trở lại bằng N_2 UHP tới 140 mTorr (1Torr = 133,322Pa) không biểu thị thay đổi rõ rệt về tần số, trong khi việc đưa O_2 tại 140 mTorr biểu thị dịch tần số nhanh xấp xỉ 150Hz. Các tần số cùng với thay đổi trở kháng âm khi phơi trong khí được đo bằng máy giám sát tinh thể thụ động.

Phản ứng nitơ của chất hút khí Ti nghĩa là các màng mỏng Ti có thể phản ứng với nitơ nguyên chất siêu cao được dùng làm chất pha loãng, chất mang, chất lọc hoặc sự kết hợp của chúng. Tuy nhiên, như được thể hiện trên Fig.2, nitơ có hệ số bám dính rất thấp và các nguyên tử nitơ được hấp phụ có thể dễ dàng bị thay thế bởi các nguyên tử oxy. Nói chung, một trật tự phân hạng đã biết với oxy biểu thị độ bám dính cao nhất với titan. Điều đó cũng đúng đối với hơi nước được hấp phụ giải phóng từ các thành buồng hoặc sinh ra do hoá chất của quy trình. Tại nhiệt độ phòng, các nguyên tử oxy từ nước không có năng lượng để vượt qua rào cản hấp phụ hoá học của bề mặt titan và có thể được thay thế bởi các phân tử oxy

tự do. Điều này có nghĩa là trong trường hợp rò rỉ không khí, ôxy có mặt trong không khí phải tạo ra sự gia tăng khối lượng trong màng mỏng do ôxy hoá. Giả sử rằng chiều dày màng mỏng kim loại đồng nhất, sự gia tăng khối lượng đó tỷ lệ với diện tích ôxy hoá của chất hút khí.

Với cân bằng nhiệt định trước (nói cách khác áp suất riêng phần của ôxy và nhiệt độ), độ nhạy phát hiện rò rỉ tỷ lệ thuận với chiều dày và độ nhám của màng mỏng kim loại. Ngoài ra, một yếu tố gia tăng có thể tồn tại giữa các rò rỉ tiềm năng xuất phát ở phía sau của cảm biến QCM và rò rỉ phát hiện được như các rò rỉ không khí như vậy phải đi dọc theo các thành buồng và ống phủ titan trước khi tới cảm biến QCM ở vị trí của đường dẫn phía trước. Vì vậy, tín hiệu phát hiện rò rỉ quan sát được theo yêu cầu hoặc xu hướng đường cơ sở giảm đi bất kỳ quan sát được trong bước nghỉ của buồng có thể chỉ báo phần phía trên xuất hiện rò rỉ lớn hơn của cảm biến, rất có thể làm giảm giá trị lớp nitrua titan trên các tấm bán dẫn. Kết cấu lại đường dẫn phía trước với hai cảm biến tách biệt với một khoảng cách định trước có thể cho phép ước tính định tính tốc độ rò rỉ tại vị trí ở phía trên. Nếu rò rỉ xuất hiện ở phía sau của cảm biến xa nhất từ buồng, các tín hiệu có cường độ đảo ngược có thể được phát hiện bởi hai cảm biến vì rò rỉ phải lưu thông theo chênh lệch áp suất.

Một trong những lợi ích thu được bởi kỹ thuật này, về mặt thời gian và nguyên liệu, là cung cấp khả năng chạy thử nghiệm tăng tốc khi phát hiện tín hiệu rò rỉ từ cảm biến để tránh xác thực lỗi. Nếu xác thực có, việc xử lý nhiều tấm bán dẫn có thể được ngăn chặn. Thử nghiệm tăng tốc bao gồm cả hai hoặc một trong số: a) gia nhiệt tinh thể để tăng khả năng linh động của nhuộm điểm mạng tinh thể và khoảng trống để tăng tốc độ ôxy hoá; b) tích hợp ngăn tín hiệu theo thời gian để cải thiện SNR. Phương pháp kiểm tra rò rỉ dòng không theo thời gian thực, vì vậy trong trường hợp của phương pháp bên ngoài biểu thị sự ôxy hoá do rò rỉ với

mọi tấm bán dẫn xử lý từ thử nghiệm rò rỉ cuối cùng có thể được loại trừ. Nói cách khác, phương pháp kiểm tra rò rỉ dòng có tính chất chẩn đoán và cần chạy thường xuyên để giảm số lượng tấm bán dẫn phải loại bỏ tiềm năng. Vì vậy, không giống như phát hiện rò rỉ theo thời gian thực của kỹ thuật hiện tại, nhiều tấm bán dẫn hơn được chạy trước khi can thiệp, dẫn tới những loại bỏ đắt tiền. Ngoài ra, trong kỹ thuật hiện tại, một phương pháp đặc biệt kích hoạt sự kiện (ví dụ, khí mang đi qua ống nguyên liệu) có thể được thực hiện mà không cần nạp tấm bán dẫn trong buồng để xác nhận rò rỉ.

Sự dịch tần số trên QCM do hấp thu ôxy có thể, nếu cần, được phân biệt với dịch tần số cảm ứng bởi sự lắng đọng của các vật liệu khác, ví dụ như nguyên liệu chưa sử dụng hết, các sản phẩm phụ của phản ứng, bằng cách tương quan dữ liệu QCM với thông tin khác biểu thị trạng thái của buồng xử lý và riêng quy trình. Ví dụ, các buồng xử lý được bơm thường xuyên xuống mức chân không cơ sở trước khi vận chuyển tấm bán dẫn vào trong hoặc ra khỏi buồng. Trong các quãng thời gian này, quy trình không được thực hiện và, vì vậy, không có khí xử lý hoặc các sản phẩm phụ của phản ứng được mong đợi. Việc xử lý tấm bán dẫn trong buồng có thể bao gồm nhiều bước xử lý khác nhau để ổn định các điều kiện cho tấm bán dẫn trước khi đưa vào các khí xử lý, là các khí tạo ra khí nguyên liệu chưa sử dụng hết, và các sản phẩm phụ của phản ứng phát hiện được bởi QCM.

Ngoài ra, một số thủ tục phát hiện rò rỉ không khí trong buồng bao gồm mô phỏng mọi bước xử lý gần như chính xác ngoại trừ khí mang (thường được sử dụng để vận chuyển khí nguyên liệu tới buồng) rẽ nhánh ống chứa nguồn nguyên liệu. Fig.3 thể hiện ký hiệu tần số cho bước lắng đọng hơi hoá học (CVD) xung hoá cho buồng TDMAT. Vết màu đen biểu thị dịch tần số tương ứng với tích tụ chất hút khí Ti trên bề mặt QCM. Vết màu đỏ biểu thị cùng phương pháp mà không có mặt nguyên liệu TDMAT. Trong thử nghiệm này, không có dịch tần số nào

được đo bởi QCM được mong đợi do các khí xử lý. Nếu có bất kỳ dịch tần số nào liên quan tới rò rỉ không khí, nguồn rò rỉ không khí có thể được suy ra từ thông tin theo ngữ cảnh được cung cấp từ dữ liệu trạng thái buồng trùng khớp khác hoặc được cách ly bởi mô phỏng được điều khiển của các van và giám sát tần số cộng hưởng của QCM. Bộ dò rò rỉ liên quan tới dữ liệu thể hiện trên Fig.3 được lắp trên đường dẫn xả và ký hiệu tần số mô phỏng biến đổi áp suất của đường dẫn phía trước thông thường với tinh thể cắt AT. Độ nhạy với áp suất có thể giảm đi bằng cách sử dụng tinh thể cắt SC (SC-cut crystal).

Fig.3 là đồ thị ký hiệu tần số cho bước lắng đọng hơi hoá học (CVD) xung hoá cho buồng tetrakis(dimethylamido)titan (TDMAT). Vết màu đen trong phần trên cùng của biểu đồ thể hiện đáp ứng của QCM lắp trong đường dẫn xả cho phương pháp CVD trên cơ sở TDMAT hai bước. Vết màu đỏ là đáp ứng của QCM cho phương pháp kiểm tra rò rỉ không có TDMAT trong khí mang. Vì QCM đã được tích tụ sẵn xấp xỉ 100 nm Ti, một rò rỉ không khí có thể phát hiện được được đưa vào buồng dẫn tới dịch tần số khác không.

Phần dưới cùng của đồ thị trên Fig.3 thể hiện tín hiệu tần số khử xoắn biểu thị hai bước ngưng tụ hơi Ti và tích tụ ngưng tụ TDMAT, và sự bay hơi sau đó của các chất ngưng tụ TDMAT.

Kim loại hút khí được làm tươi theo cách tích lũy trong chu kỳ xử lý tám bán dẫn, vì vậy duy trì bề mặt Ti mới ở mọi thời điểm. Trong trường hợp của quy trình không có chất hút khí, sự thăng hoa titan như trong bơm thăng hoa titan có thể được sử dụng để phủ QCM bằng vật liệu hút khí Ti. Theo phương án khác, hoặc bổ sung thêm của phương án trên, lớp phủ hút khí có thể được tạo ra bằng các khí xử lý lưu thông sẵn có trên thiết bị xử lý với dự tính cụ thể là phủ tinh thể độc lập với xử lý tám bán dẫn. Nói cách khác, lớp phủ hút khí trên QCM không

phải dựa vào nguyên liệu chưa sử dụng hết từ quy trình xử lý tấm bán dẫn; có thể có các phương thức buồng đặc biệt phân phối khí xử lý tới QCM với mục đích rõ ràng là phủ tinh thể hoặc các lắng đọng cục bộ khác như thăng hoa Ti từ sợi hoặc sợi phủ titan hoặc khắc vùng ôxit thường trú trên QCM để lộ ra lớp titan nguyên chất mới. Đường dẫn lưu thông khí xử lý có thể được bố trí qua buồng, qua đường rẽ nhánh nguyên liệu hoặc các đường dẫn chuyển hướng hoặc qua đường dẫn lưu thông khác bất kỳ sẵn có hoặc có thể được tạo ra với mục đích cụ thể là làm cho khí xử lý sẵn sàng để phục hồi lớp phủ hút khí trên QCM nếu cần thiết.

Fig.4 là đồ thị dữ liệu năng lượng liên kết độ phân giải cao thu được với phổ học quang điện tử tia X (XPS) cho cảm biến QCM 14mm. Dữ liệu năng lượng liên kết XPS độ phân giải cao thể hiện sự có mặt của TiO_2 trên cảm biến QCM được sử dụng trong đường dẫn xả của buồng CVD xung hoá TiNi. Phân tích XPS đã được thực hiện trên vùng trung tâm của QCM như được thể hiện. Cả điện cực trước và sau của QCM được sử dụng trong ví dụ này là nhôm. O_2 được đưa vào qua rò rỉ không khí ngẫu nhiên tới đường dẫn xả.

Vùng quét	C	N	O	F	Al	Si	Cl	Ti
Đĩa thạch anh, tâm mặt trước	33,8	2,8	39,2	9,4	-	0,4	-	14,5
Đĩa thạch anh, mặt sau, vùng thạch anh	19,3	0,8	52,5	-	-	27,5	-	-
Đĩa thạch anh, tâm mặt sau	37,3	0,6	39,6	0,9	21,5	-	0,1	-

Bảng 1: Nồng độ nguyên tử (theo % nguyên tử) được chuẩn hoá thành 100% của các thành phần phát hiện được. Đường gạch ngang biểu diễn thành phần không phát hiện được. Đối với tâm mặt trước, quét được thực hiện với phần hình chữ nhật nhỏ được đánh dấu trên lớp phủ Ti.

Fig.4 là đồ thị dữ liệu năng lượng liên kết độ phân giải cao thu được với phổ học quang điện tử tia X (XPS) cho cảm biến QCM 14mm đượ sử dụng trong đường dẫn phía trước của buồng CVD xung hoá TiN 300mm. Đồ thị này được thực hiện để xác thực khi có bất kỳ tích hợp phối tử nào và để thu được hợp chất của các thành phần tạo ra màng mỏng. Các đỉnh trong đồ thị là cho vùng quét hình chữ nhật 2,0x0,8mm được thể hiện ở tâm của tinh thể (được chèn vào Fig.4). Sự giao thoa màng mỏng trên mặt trước của tinh thể ám chỉ sự có mặt của một màng mỏng cách điện trên lớp phủ Ti tích tụ. Quét XPS độ phân giải cao của đỉnh quét nhanh 2p của titan cho thấy lớp kim loại được tạo ra là TiO_2 . Sử dụng dịch tần số mạng lưới và mật độ của Ti, chiều dày của lớp Ti thu được là xấp xỉ 500nm. Sử dụng biên độ tương đối của các đỉnh trên Fig.4, chiều dày của lớp thu được xấp xỉ 3nm. Tâm mặt sau chủ yếu là nhôm, là vật liệu được sử dụng cho các điện cực QCM và vùng thạch anh đã được xác nhận là thạch anh. Bảng 1 thể hiện hợp chất của các thành phần trong các vùng khác nhau của tinh thể. Quét trên mặt sau được thực hiện để xem liệu có bất kỳ sự hình thành màng mỏng nào có thể làm lệch sự gia tăng khối lượng vì QCM nhạy với sự nạp khối lượng trên cả bề mặt trước và bề mặt sau. Bảng 1 thể hiện không có lắng đọng trên mặt sau.

Fig.5 là đồ thị dịch tần số tương ứng với sự gia tăng tổng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong oxy có độ tinh khiết siêu cao (UHP) như là một hàm số của chiều dày Ti nguyên chất ban đầu và diện tích. Hấp phụ hoá học O_2 trên titan bay hơi là một hàm số của chiều dày lớp titan nguyên chất. Các đường cong thể hiện tổng số nguyên tử được hấp phụ hoá học bởi hội tụ chất hút khí với

chiều dày màng mỏng. Các đường cong khác nhau tương ứng với các kích cỡ vùng khác nhau của lớp phủ hút khí. Vì QCM được thiết kế để hoạt động ở chế độ bão hòa năng lượng, sự gia tăng khối lượng của các màng mỏng bên ngoài vùng chủ động không dẫn tới thay đổi tần số cộng hưởng.

Fig.5 thể hiện dịch tần số tương ứng với sự gia tăng tổng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong ôxy UHP như là một hàm số của chiều dày Ti nguyên chất ban đầu và diện tích. Thử nghiệm đã được thực hiện tại nhiệt độ phòng với áp suất khí ôxy là 140mT (1Torr = 133,322Pa). Mỗi điểm dữ liệu biểu thị tổng dịch tần số (hoặc sự gia tăng tổng khối lượng) đối với chiều dày màng mỏng định trước. Màng mỏng titan được phủ sử dụng bay hơi chùm điện tử (eBeam) tại tốc độ từ 1 đến 1,5 A/s. Ba đường cong khác nhau là cho các vùng phủ kim loại khác nhau trên vùng chủ động của ba tinh thể khác nhau. Điều này minh họa diện tích tối thiểu cần được che phủ để có được dịch tần số nhiều nhất. Vì các tinh thể được sử dụng là phẳng-lồi, năng lượng âm được bão hòa chỉ ở tâm và vì lý do này độ nhạy gia tăng khối lượng bằng nhau đối với phơi trong không khí có thể thu được bất kể kích thước ngang của tinh thể. Nói cách khác, các tinh thể có kích cỡ nhỏ hơn như là có đường kính 8 mm có thể được sử dụng trong các khớp nối nhỏ hơn sẵn có trong các dụng cụ xử lý bán dẫn mà không làm mất độ nhạy. Như được thể hiện trong chồng lớp phủ trên hình vẽ, cùng tinh thể được duy trì để thu được dữ liệu phơi cho mọi chiều dày kim loại cho một vùng kim loại định trước.

Fig.6 là đồ thị gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi trong ôxy có độ tinh khiết siêu cao (UHP). Sự gia tăng khối lượng của màng mỏng Ti trên QCM khi phơi trong O₂ UHP. Hai tập hợp đường cong tương ứng với Ti bay hơi dày 200nm trên các nền QCM được đánh bóng và không được đánh bóng. Để tránh hình thái học màng mỏng là yếu tố chi phối của độ nhám bề mặt cuối cùng

của màng mỏng, tốc độ bay hơi 1,5 A/s được sử dụng. Sự thay đổi trong một tập hợp chủ yếu do thay đổi về chiều dày lớp phủ Ti.

Ảnh hưởng của hình thái học của màng mỏng kim loại trên lượng oxy hấp thụ tại áp suất 140mT (1Torr = 133,322Pa) và tại nhiệt độ phòng được thử nghiệm sử dụng hai nhóm QCM với độ nhám bề mặt Ti khác nhau. Cả hai nhóm đều có đường kính 14 mm và có tần số cơ bản bắt đầu quanh 6 MHz. Chiều dày màng mỏng kim loại và tốc độ bay hơi được lựa chọn để đảm bảo rằng màng mỏng có độ nhám bề mặt kim loại phù hợp với độ nhám bề mặt bên dưới của nền. Độ nhám bề mặt trung bình được đo cho các nền không được đánh bóng và được đánh bóng có chiều cao bình phương trung bình tiêu chuẩn tương ứng là Sq bằng hoặc xấp xỉ 0,285 μ m và Sq bằng hoặc xấp xỉ 50Å. Sự khác nhau giữa một tập hợp là do sự thay đổi độ nhám cho cả hai tinh thể được đánh bóng và không được đánh bóng. Như được mong đợi và như được thể hiện trên Fig.6, sự gia tăng khối lượng của QCM không được đánh bóng là lớn hơn các QCM được đánh bóng. Để đảm bảo rằng hình thái học của hạt không chỉ phối độ nhám bề mặt, tốc độ giới hạn trên bằng 1,5 A/s được duy trì trong khi mọi lắng đọng trên cả hai loại tinh thể. Động lực học oxy hoá ở nhiệt độ phòng được mong đợi là giống nhau trong cả hai trường hợp. Vì vậy, sự gia tăng tăng lên được cho là ở vùng bề mặt lớn do các chỗ lõm và hố trên màng mỏng kim loại trên các tinh thể không được đánh bóng.

Fig.7A và Fig.7B là các đồ thị gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan khi phơi tương ứng trong O₂ và N₂. Sự gia tăng tổng khối lượng so với chiều dày kim loại ban đầu với Ti nguyên chất được phơi trong N₂ UHP và O₂ UHP cho các tinh thể được đánh bóng và không được đánh bóng. Kim loại được bay hơi tại 1,5 A/s. Các QCM ở nhiệt độ phòng trước khi được phơi.

Sự gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan nguyên chất khi phơi trong N_2 UHP trước tiên và sau đó trong O_2 UHP tại 140mT (1Torr = 133,322Pa) và tại nhiệt độ phòng đã được thử nghiệm như là một hàm số của chiều dày kim loại Ti ban đầu. Như được thể hiện trên Fig.7, thử nghiệm đã được thực hiện cho cả tinh thể được đánh bóng và không được đánh bóng. Vì cả hệ số bám dính và ái lực với Ti là lớn hơn các phân tử O_2 so với các phân tử N_2 , dịch tần số khi phơi trong O_2 là lớn hơn trong những điều kiện tương tự với N_2 . Với cả ôxy và nitơ, có một giới hạn chiều dày của Ti mà vượt quá chiều dày này sẽ không diễn ra hấp thụ thêm. Với chiều dày định trước bất kỳ, ôxy hoá diễn ra bởi sự khuếch tán xen kẽ cation và các chỗ trống qua lớp ôxit tới giao diện khí ôxit. Sự bão hoà gia tăng khối lượng chỉ báo rằng không có thêm năng lượng tự do sẵn có cho các cation để phản ứng với ôxy. Trục y của các đồ thị dịch chuyển tổng lượng phân tử oxy hoặc nitơ có thể phản ứng trước khi đạt tới bão hoà. Tổng lượng ôxy hấp thụ cũng là một hàm số của áp suất riêng phần và nhiệt độ của màng mỏng kim loại.

Fig.8A và Fig.8B là các đồ thị tốc độ gia tăng khối lượng như là một hàm số của gia tăng khối lượng tương ứng cho O_2 và N_2 . Tốc độ gia tăng khối lượng của màng mỏng Ti khi phơi trong O_2 UHP tại 140mT (1Torr = 133,322Pa) và $T = 25^\circ C$. Hai tập hợp đường cong tương ứng với các màng mỏng Ti trên các QCM được đánh bóng và không được đánh bóng. Các đường cong là cho chiều dày Ti bằng 100, 200, 300nm. Để tránh hình thái học màng mỏng là yếu tố chi phối độ nhám bề mặt cuối cùng của màng mỏng, tốc độ bay hơi 1,5 Å/s được sử dụng. Trục x tỷ lệ thuận với chiều dày ôxit. Không giống như trong động lực học gia tăng nhiệt độ cao, tốc độ đỉnh của ôxy hoá được quan sát thấy khi ôxit đã phát triển tới một nửa chiều dày cuối cùng có thể đạt được.

Các tốc độ gia tăng khối lượng là một hàm số của gia tăng khối lượng cho O_2 và N_2 được thể hiện trên Fig.8A và Fig.8B. Các đường cong tốc độ tăng lên thể

hiện động lực học ôxy hoá ở nhiệt độ phòng không tuân theo quy luật tốc độ theo đường parabol như trong quá trình ôxy hoá kim loại ở nhiệt độ cao. Tại nhiệt độ phòng, tốc độ gia tăng khối lượng tăng lên theo chiều dày và có xu hướng giảm về không khi bão hoà. Thiết bị được sử dụng để đo tần số cộng hưởng của tinh thể có độ phân giải tần số là 3,5 mHz và các tinh thể được sử dụng trong các thử nghiệm có độ nhạy khối lượng xấp xỉ 10ng/cm^2 . Vì vậy, độ phân giải của thiết bị chuyển đổi thành độ phân giải tốc độ gia tăng khối lượng là $35\text{pg/cm}^2\cdot\text{s}$ hoặc 8×10^{10} phân tử O_2 trên giây. Sự mở rộng của trị số x biểu diễn giới hạn hấp thụ O_2 cho một chiều dày định trước hoặc các trị số độ nhám.

Sự gia tăng khối lượng của các màng mỏng titan nguyên chất khi phơi trong O_2 tại 140mT ($1\text{Torr} = 133,322\text{Pa}$) và $T = 25^\circ\text{C}$ được thử nghiệm như là một hàm số của chiều dày kim loại Ti nguyên chất ban đầu. Như được thể hiện trên Fig.8A và Fig.8B, thử nghiệm đã được thực hiện cho cả tinh thể được đánh bóng và không được đánh bóng. Không giống như quy luật tốc độ theo dạng parabol hoặc như được dự đoán theo học thuyết Wagner cho động lực học ôxy hoá ở nhiệt độ cao, tốc độ gia tăng khối lượng tăng lên theo chiều dày ôxit và bắt đầu giảm về không khi bão hoà. Thiết bị được sử dụng để đo tần số cộng hưởng của tinh thể có độ phân giải tần số là 3,5 mHz và các tinh thể được sử dụng trong thử nghiệm có độ nhạy khối lượng xấp xỉ 10ng/cm^2 . Vì vậy, độ phân giải của thiết bị chuyển đổi thành độ phân giải tốc độ gia tăng khối lượng là $35\text{pg/cm}^2\cdot\text{s}$ hoặc 8×10^{10} phân tử O_2 trên giây. Sự mở rộng của trị số x biểu diễn giới hạn hấp thụ O_2 cho một chiều dày định trước hoặc độ nhám của màng mỏng.

Fig.9A và Fig.9B là các đồ thị thể hiện ái lực và khả năng dịch chuyển của các phân tử khí đối với các màng mỏng kim loại Ti, trong đó Fig.9A thể hiện kết quả đối với màng mỏng Ti có chiều dày 300nm được phơi trong N_2 có độ tinh khiết siêu cao tại 140mT ($1\text{Torr} = 133,322\text{Pa}$) sau đó là phơi trong O_2 có độ tinh

khuyết siêu cao tại 140mT và Fig.9B thể hiện kết quả đối với thử nghiệm ngược trên một lớp Ti kim loại mới. Ái lực và khả năng dịch chuyển của các phân tử O_2 đối với các màng mỏng Ti. Ở bên trái, màng mỏng Ti dày 300nm được phơi trong N_2 UHP tại 140mT (1Torr = 133,322Pa) sau đó phơi trong O_2 UHP tại 140mT. Fig.9B biểu diễn thử nghiệm ngược trên một lớp kim loại Ti mới. Giữa hai lần phơi, buồng được bơm về chân không cơ sở ở giữa khoảng 10^{-7} Torr (1Torr = 133,322Pa). Fig.9A không có lưu thông hơi.

Fig.10 là đồ thị gia tăng tổng khối lượng có thể đạt được như là một hàm số của chiều dày chất hút khí nguyên chất ban đầu và áp suất khí ôxy. Sự gia tăng khối lượng của màng mỏng Ti dày 600nm ở nhiệt độ phòng khi phơi trong các áp suất O_2 khác nhau. Tổng gia tăng ôxit tăng theo một hàm số của áp suất O_2 . Một đồ thị tương tự có thể thu được với áp suất cố định với chiều dày kim loại hút khí khác nhau.

Một đường cong tương tự có thể thu được cho áp suất không khí. Theo học thuyết điều khiển khuếch tán lỗi mạng tinh thể (sự khuếch tán xen kẽ cation và các khoảng trống qua chiều dày ôxit tới giao diện khí ôxit) của Wagner, khuếch tán lỗi mạng tinh thể đạt tới không với một áp suất và nhiệt độ định trước, bằng cách này giới hạn sự gia tăng ôxit tới chiều dày lớp ôxit cuối cùng, không thể đảo ngược. Tuy nhiên, khi áp suất khí ôxy hoá tăng cân bằng tiềm năng hoá học bị phá vỡ và sẽ có nhiều dòng khuếch tán hơn cho đến khi đạt được chiều dày cuối cùng mới. Nói cách khác, khả năng hấp thụ ôxy với chiều dày lớp Ti định trước (hoặc bất kỳ chất hút khí nào khác) tăng lên theo áp suất riêng phần ôxy.

Fig.11 là một phương án của một hệ thống phát hiện rò rỉ vi sai. QCM thứ nhất #1 ở nhiệt độ T_1 và QCM thứ hai #2 ở nhiệt độ T_2 . T_2 có thang biên độ lớn hơn T_1 , ví dụ T_1 xấp xỉ $40^\circ C$ và T_2 xấp xỉ $350^\circ C$. Các nhiệt độ được duy trì sử

dụng bộ điều khiển quy trình chọn lọc được nối nối tiếp với mạch điện giám sát tần số cộng hưởng. Tùy ý, tinh thể được cắt cho hai nhiệt độ khác nhau có thể được lựa chọn để có độ ổn định tần số lớn hơn. QCM thứ hai #2 có thể được lắp ở phía sau của QCM thứ nhất #1 và khoảng cách giữa hai QCM có thể nằm trong khoảng từ 5 đến 10 in-sơ (1 in-sơ = 2,54cm). Tham khảo phương trình dưới đây: Đối với kiểm tra rò rỉ theo kế hoạch, hai ngân tín hiệu cho các QCM có thể được xác định để tích hợp các tần số tương ứng trong chế độ nghỉ của thiết bị hoặc trong khi gọi phương thức kiểm tra rò rỉ theo yêu cầu. Ở đây, T là thời gian tích hợp của các tần số. Nếu có rò rỉ, $S_{\#2}$ sẽ lớn hơn $S_{\#1}$. Biên độ của tín hiệu vi sai là một hàm số của tốc độ rò rỉ và có thể được sử dụng, theo kinh nghiệm, để nhận được tốc độ rò rỉ.

$$S_{\#1}(T_1, x_{O_2}) = \int_0^T \left(\frac{d}{dt} f \right)_{\#1} dt \quad S_{\#2}(T_2, x_{O_2}) = \int_0^T \left(\frac{d}{dt} f \right)_{\#2} dt$$

$$\Delta S(T_1, T_2, x_{O_2}) = \int_0^T \left(\left(\frac{d}{dt} f \right)_{\#1} - \left(\frac{d}{dt} f \right)_{\#2} \right) dt$$

Kỹ thuật được mô tả cho đến nay minh họa/biểu thị khả năng phát hiện rò rỉ không khí của buồng. Tuy nhiên, độ nhạy cảm của phát hiện không đủ để phát hiện các mức ppm (phần triệu) của hỗn hợp không khí ngoại lai trong môi trường khí vốn có của buồng. Nói cách khác, các QCM duy trì ở nhiệt độ phòng không nhạy để biểu thị mức ppm của O_2 trong rò rỉ khí trong bình. Phần dưới đây mô tả một khía cạnh khác của kỹ thuật. Sự bố trí phát hiện rò rỉ không khí vi sai nhạy cảm cao được thể hiện trên Fig.11. Ở đây, có hai QCM có cùng lượng tích tụ Ti (hoặc vật liệu hút khí khác từ nguyên liệu xử lý). Đây là một bố trí hữu dụng để phát hiện rò rỉ không khí theo yêu cầu có độ nhạy cao trong chế độ nghỉ của buồng hoặc giữa những lần xử lý tấm bán dẫn. Trong một phương pháp, kích hoạt thủ tục

kiểm tra rò rỉ sẽ kích hoạt nhiệt độ của QCM thứ hai #2 tăng lên khoảng 400°C trong khi nhiệt độ của QCM thứ nhất #1 được giữ cố định. Khi bắt đầu tăng nhiệt độ, tín hiệu vi sai của hai ngăn tần số được ghi nhận. Nếu không có rò rỉ, tín hiệu vi sai chỉ nên phản ánh hệ số nhiệt độ của các tinh thể được lắp đặt và có thể được bù dễ dàng bằng cách sử dụng dữ liệu f-T lưu trữ trong bộ nhớ bất biến của bộ phận đo lường để thu được đường cơ sở bằng phẳng. Tuy nhiên, nếu đường cơ sở vẫn lệch, và quan trọng hơn, vẫn giữ lệch sau khi nhiệt độ của QCM thứ hai #2 đạt tới trạng thái không đổi, điều này biểu thị sự hấp thụ của các phân tử O₂ khác nhau bởi Ti, vì vậy có rò rỉ không khí. Nếu tín hiệu vi sai biểu thị bù lớn thì chưa thực sự cần thiết. Tùy vào kích cỡ của rò rỉ, thời gian tích hợp có thể được điều chỉnh. Thử nghiệm tăng nhiệt độ này có thể cung cấp giới hạn phát hiện rất thấp vì mật độ dòng lỗi mạng tinh thể là rất lớn ở những nhiệt độ cao ngay cả với sự khác nhau tiềm năng điện hoá nhỏ gây ra bởi tỷ lệ hỗn hợp không khí mức ppm so với khí trong buồng. Một ưu điểm khác là việc phát hiện diễn ra ngay cả khi bề mặt Ti đã bão hoà trước khi thử nghiệm, ví dụ bề mặt TiO₂ từ rò rỉ có mặt trước khi thủ tục phát hiện rò rỉ được thực hiện có chủ ý. Thời gian tích hợp đề cập ở trên giúp điều khiển giới hạn phát hiện rò rỉ trong thiết kế cho kỹ sư xử lý. Hai cảm biến cũng có thể được sử dụng để phát hiện hướng rò rỉ và xấp xỉ tốc độ rò rỉ. Dấu hiệu của tín hiệu vi sai chỉ báo nếu rò rỉ ở phía trước hoặc phía sau của hai cảm biến và độ lớn có thể được chuyển đổi thành tốc độ rò rỉ.

Trong một ví dụ khác của kỹ thuật hiện tại với phương pháp tăng nhiệt độ, hai QCM có thể được phủ lại bằng chất hút khí Ti trước khi lắp trong các đường dẫn phía trước và các đường dẫn nhánh là nơi mà quy trình xử lý bán dẫn không thể cung cấp các kim loại có các tính chất hút khí hoặc lượng tích tụ là không đáng kể. Ngoài ra, một QCM duy nhất có thể được sử dụng trong tăng nhiệt độ bằng phương pháp tích tụ tín hiệu thay thế để phát hiện rò rỉ.

Sự tích tụ kim loại hút khí trên QCM không cần phải là thụ động. Chủ động tích tụ theo yêu cầu có thể thực hiện được. Ví dụ, một nguồn vật liệu hút khí độc lập với dụng cụ/buồng sẽ cung cấp vật liệu hút khí tái tạo tại chỗ trên bề mặt tinh thể. Một nguồn vật liệu như vậy có thể được cung cấp như một phần tích hợp của cảm biến QCM, như là một thành phần riêng, như một biến thể của dụng cụ xử lý/buồng hoặc sự kết hợp bất kỳ của chúng. Nguồn vật liệu có thể là bất kỳ thứ gì được hình thành cho mục đích cung cấp phương tiện tại chỗ để phủ QCM gồm phân huỷ nhiệt, bay hơi nhiệt, lắng đọng plasma, thăng hoa, v.v..

Theo phương án khác, hoặc bổ sung thêm vào phương án trên, tinh thể thạch anh được phủ trước vật liệu hút khí trước khi lắp đặt trên hoặc gần buồng xử lý có thể được chuẩn bị khi khí xử lý thích hợp để cung cấp vật liệu hút khí không có sẵn từ dụng cụ/buồng. Việc chuẩn bị QCM với vật liệu hút khí tạo thách thức ô nhiễm từ oxy trong không khí trước khi lắp đặt của QCM trong buồng cho mục đích phát hiện oxy. Các bề mặt hút khí có thể trở thành bất hoạt hoặc mất nhạy với phoi trong oxy. Trong những trường hợp như vậy, bề mặt QCM bị ô nhiễm có thể được kích hoạt hoặc kích hoạt trở lại tại chỗ (sau khi lắp đặt) loại bỏ lớp bề mặt bị ô nhiễm bằng cách sử dụng những nguồn vật liệu sẵn có trong buồng xử lý như là các khí phản ứng được sử dụng bởi buồng để làm sạch bề mặt tấm bán dẫn và các thành buồng, các hệ thống plasma được sử dụng để xử lý tấm bán dẫn (khắc, làm sạch, lắng đọng, v.v.), làm nóng hoặc phương thức khác bất kỳ sẵn có trong dụng cụ/buồng.

Trở lại các chi tiết thực hiện nhất định, bộ điều khiển hoặc bộ xử lý có thể gồm bộ xử lý dữ liệu hoặc bộ xử lý trung tâm ("CPU"). Các thiết bị lưu trữ dữ liệu của hệ thống có thể bao gồm, nhưng không giới hạn ở, đĩa cứng có đĩa từ tính quay, đĩa thể rắn ("SSD"), đĩa mềm, đĩa quang (gồm, nhưng không giới hạn ở, CD hoặc DVD), thiết bị bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên ("RAM"), thiết bị bộ nhớ chỉ đọc

(“ROM”) (gồm, nhưng không giới hạn ở, bộ nhớ chỉ đọc khả lập trình (“PROM”), bộ nhớ chỉ đọc khả lập trình xoá được (“EPROM”), bộ nhớ chỉ đọc khả lập trình xoá được bằng điện (“EEPROM”), thẻ từ tính, thẻ quang, thiết bị bộ nhớ flash (gồm, nhưng không giới hạn ở, thẻ USB có bộ nhớ bất biến), loại phương tiện bất kỳ thích hợp để lưu trữ các lệnh điện tử hoặc loại thích hợp khác của phương tiện lưu trữ đọc được bởi máy tính.

Phương pháp bao gồm các lệnh đọc được bởi máy tính, các thuật toán và logic được thực hiện bằng ngôn ngữ lập trình hoặc kịch bản thích hợp bất kỳ, gồm, nhưng không giới hạn ở, C, C++, Java, COBOL, assembler, PERL, Visual Basic, SQL, JMP Scripting Language, Python, Stored Procedures hoặc Extensible Markup Language (XML). Phương pháp 30 có thể được thực thi bằng sự kết hợp thích hợp bất kỳ của cấu trúc dữ liệu, đối tượng, quy trình, thủ tục hoặc thành phần lập trình khác.

Theo một phương án, các thiết bị bộ nhớ và các thiết bị lưu trữ dữ liệu được mô tả ở trên có thể là các phương tiện không chuyển tiếp thực hiện lưu trữ hoặc tham gia cung cấp các lệnh tới bộ xử lý để thực thi. Các phương tiện không chuyển tiếp như vậy có thể ở các dạng khác nhau, bao gồm, nhưng không giới hạn ở, phương tiện bất biến và phương tiện khả biến. Phương tiện bất biến có thể gồm, ví dụ, đĩa quang hoặc đĩa từ, thiết bị nhớ flash, và thiết bị lưu trữ bất kỳ khác trong máy tính bất kỳ. Phương tiện khả biến có thể gồm bộ nhớ động, như là bộ nhớ chính của máy tính. Các dạng phương tiện đọc được bởi máy tính không chuyển tiếp vì vậy gồm, ví dụ, đĩa mềm, đĩa cứng, băng từ tính, phương tiện từ tính khác bất kỳ, CD-ROM, DVD, phương tiện quang học khác bất kỳ, thẻ đục lỗ, băng giấy, phương tiện vật lý khác bất kỳ có mẫu hình của các lỗ, RAM, PROM, và EPROM, FLASH-EPROM, chip nhớ hoặc cuộn phim bất kỳ, hoặc phương tiện khác bất kỳ mà từ đó máy tính có thể đọc mã lập trình và/hoặc dữ liệu. Nhiều dạng phương

tiện đọc được bởi máy tính có thể mang một hoặc nhiều trình tự của một hoặc nhiều lệnh tới bộ xử lý để thực thi. Ngược với phương tiện không chuyển tiếp, phương tiện truyền vật lý chuyển tiếp có thể gồm cáp đồng trục, dây dẫn đồng và sợi quang, gồm các dây dẫn bao gồm một bus trong hệ thống máy tính, sóng mang chuyển dữ liệu hoặc lệnh, và cáp hoặc liên kết chuyển sóng mang này. Phương tiện truyền bằng sóng mang có thể ở dạng tín hiệu điện hoặc điện từ, hoặc sóng âm hoặc sóng ánh sáng như tín hiệu được tạo ra trong khi truyền thông dữ liệu RF và IR.

Cần hiểu rằng ít nhất một số đối tượng được bộc lộ ở đây gồm hoặc chứa nhiều bước hoặc thủ tục. Theo một phương án, như được mô tả, một số bước hoặc thủ tục diễn ra tự động hoặc độc lập khi được điều khiển bởi bộ xử lý hoặc bộ điều khiển điện mà không dựa vào đầu vào điều khiển từ con người, và một số bước hoặc thủ tục có thể diễn ra thủ công dưới sự điều khiển của con người. Theo một phương án khác, mọi bước hoặc thủ tục tự động hoặc độc lập khi được điều khiển bởi bộ xử lý hoặc bộ điều khiển điện mà không dựa vào đầu vào điều khiển từ con người. Theo một phương án khác nữa, một số bước hoặc thủ tục diễn ra bán tự động như là được điều khiển riêng phần bởi bộ xử lý hoặc bộ điều khiển điện và được điều khiển riêng phần bởi con người.

Cũng cần hiểu rằng các khía cạnh của đối tượng đã mô tả có thể được thể hiện dưới dạng phương pháp, thiết bị, cụm lắp ráp, sản phẩm chương trình máy tính hoặc hệ thống. Theo đó, các khía cạnh của đối tượng đã mô tả có thể ở dạng phương án hoàn toàn là phần cứng, phương án hoàn toàn là phần mềm (gồm phần sụn, phần mềm lưu trữ, vi mã, v.v.), hoặc phương án kết hợp các khía cạnh phần mềm và phần cứng mà tất cả có thể, tùy thuộc vào phương án, được gọi ở đây là “dịch vụ,” “mạch,” “mạch điện,” “mô-đun,” “cụm lắp ráp” và/hoặc “hệ thống.” Hơn nữa, các khía cạnh của đối tượng đã mô tả có thể ở dạng sản phẩm chương

trình máy tính được thể hiện trong một hoặc nhiều phương tiện đọc được bởi máy tính có mã chương trình đọc được bởi máy tính trên đó.

Các khía cạnh của đối tượng được mô tả ở đây theo các bước và chức năng có tham khảo lưu đồ và sơ đồ khối của các phương pháp, thiết bị, hệ thống, và sản phẩm chương trình máy tính. Cần hiểu rằng mỗi bước như vậy, khối chức năng của lưu đồ và sơ đồ khối, và sự kết hợp của chúng, có thể được thực hiện bởi các lệnh chương trình máy tính. Các lệnh chương trình máy tính này có thể được cung cấp tới bộ xử lý của máy tính đa năng, máy tính chuyên dụng, hoặc thiết bị xử lý dữ liệu lập trình được khác để tạo ra máy, sao cho các lệnh này, khi thực thi thông qua bộ xử lý của máy tính hoặc thiết bị xử lý dữ liệu lập trình được khác, tạo ra kết quả và đầu ra để thực hiện các chức năng được mô tả ở đây.

Các lệnh chương trình máy tính này cũng có thể được lưu trữ trong phương tiện đọc được bởi máy tính mà có thể định hướng máy tính, thiết bị xử lý dữ liệu lập trình được khác, hoặc các thiết bị khác để thực hiện chức năng theo một cách cụ thể, sao cho các lệnh lưu trữ trong phương tiện đọc được bởi máy tính tạo ra sản phẩm gồm các lệnh thực hiện được các chức năng được mô tả ở đây.

Các lệnh chương trình máy tính cũng có thể được nạp vào máy tính, thiết bị xử lý dữ liệu lập trình được khác, hoặc các thiết bị khác để tạo ra một chuỗi bước điều khiển thực hiện trên máy tính, thiết bị lập trình được khác hoặc các thiết bị khác để tạo ra quy trình thực hiện được bởi máy tính sao cho các lệnh mà khi thực thi trên máy tính hoặc thiết bị lập trình được khác tạo ra các quy trình để thực hiện các chức năng được mô tả ở đây.

Các phương án bổ sung gồm một phương án bất kỳ được mô tả ở trên, trong đó một hoặc nhiều thành phần của nó, các chức năng hoặc kết cấu thay thế được

với, thay thế bởi hoặc tăng cường bởi một hoặc nhiều thành phần, chức năng hoặc kết cấu của một phương án khác được mô tả ở trên.

Cần hiểu rằng các thay thế và biến thể của các phương án được mô tả ở đây sẽ rõ ràng với người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật. Các thay thế và biến thể như vậy có thể được thực hiện mà không nằm ngoài phạm vi của sáng chế và không làm giảm các ưu điểm dự tính của sáng chế. Vì vậy, dự tính được là các thay thế và biến thể được bao hàm trong các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

Mặc dù một số phương án thực hiện sáng chế đã được mô tả trong phần mô tả ở trên, người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật cần hiểu là nhiều biến thể và các phương án khác thực hiện sáng chế sẽ nảy sinh từ mô tả liên quan, có được ưu điểm của hướng dẫn đã thể hiện trong phần mô tả ở trên và các hình vẽ kèm theo. Vì vậy cần hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn ở các phương án cụ thể được mô tả ở đây, và rằng nhiều biến thể và phương án khác được dự tính nằm trong phạm vi của các điểm yêu cầu bảo hộ. Hơn nữa, mặc dù các thuật ngữ cụ thể được sử dụng ở đây, cũng như trong các điểm yêu cầu bảo hộ dưới đây, chúng chỉ được sử dụng theo ngữ cảnh chung và mô tả, và không nhằm mục đích giới hạn sáng chế theo các điểm yêu cầu bảo hộ dưới đây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị giám sát để giám sát quy trình chế tạo, quy trình chế tạo bao gồm phủ vật liệu thứ nhất lên chất nền bằng cách sử dụng hệ thống chế tạo, hệ thống chế tạo bao gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông, và thiết bị giám sát bao gồm:

cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM) để giám sát một thành phần lưu thông trong các thành phần lưu thông nêu trên của hệ thống chế tạo và được tạo kết cấu để phơi trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo, cảm biến QCM bao gồm lớp vật liệu bao gồm ít nhất một phần vật liệu thứ nhất đã được phủ lên chất nền trong quy trình chế tạo trong buồng xử lý, lớp vật liệu này được tích tụ trên cảm biến QCM tại chỗ (*in situ*) trong quy trình chế tạo trong buồng xử lý; và

bộ điều khiển để:

đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa lớp vật liệu của cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo; và

xác định một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM trong một thành phần lưu thông nêu trên.

2. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó thông số xác định được của quy trình chế tạo biểu thị một hoặc nhiều rò rỉ không khí, sản phẩm phụ của phản ứng, nguyên liệu chưa sử dụng hết, hoặc chất gây ô nhiễm trong buồng xử lý.

3. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó một thành phần lưu thông nêu trên bao gồm một đường dẫn bơm, đường dẫn xả, đường dẫn cấp liệu, đường dẫn nhánh, thân van, khoang chân không, buồng nhánh hoặc buồng vận chuyển.
4. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó lớp vật liệu nêu trên là vật liệu hút khí được bố trí trên cảm biến QCM, trong đó khối lượng của vật liệu hút khí thay đổi do tương tác với hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo, và bộ điều khiển xác định một rò rỉ không khí trong buồng phản ứng do dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM biểu thị thay đổi khối lượng của vật liệu hút khí trong một thành phần lưu thông nêu trên.
5. Thiết bị giám sát theo điểm 4, trong đó bộ điều khiển còn được tạo kết cấu để làm lệch hướng hoá chất chế tạo từ hệ thống chế tạo tới cảm biến QCM để bố trí vật liệu hút khí với một chiều dày định trước trên cảm biến QCM.
6. Thiết bị giám sát theo điểm 4, trong đó thiết bị này còn bao gồm một lớp ăn mòn bố trí phía trên vật liệu hút khí, trong đó bộ điều khiển còn được tạo kết cấu để sử dụng hệ thống chế tạo để loại bỏ lớp ăn mòn này sau khi lắp đặt cảm biến QCM trong hệ thống chế tạo.
7. Thiết bị giám sát theo điểm 4, trong đó thiết bị này còn bao gồm một thành phần riêng để cung cấp vật liệu trên cảm biến QCM, trong đó bộ điều khiển còn được tạo kết cấu để sử dụng thành phần riêng này để bố trí vật liệu hút khí với một chiều dày định trước trên cảm biến QCM.
8. Thiết bị giám sát theo điểm 4, trong đó thiết bị này còn bao gồm một thành phần riêng để loại bỏ vật liệu trên cảm biến QCM, trong đó bộ điều khiển này còn được tạo kết cấu để sử dụng thành phần riêng này để loại bỏ một lớp ăn mòn sau khi lắp đặt cảm biến QCM trong hệ thống chế tạo.

9. Thiết bị giám sát theo điểm 4, trong đó thiết bị này còn bao gồm thiết bị gia nhiệt để gia nhiệt cảm biến QCM, trong đó bộ điều khiển này còn được tạo kết cấu để sử dụng thiết bị gia nhiệt này để tăng nhiệt độ của cảm biến QCM lên cao hơn nhiệt độ trước đó của cảm biến QCM để tái kích hoạt vật liệu hút khí.

10. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo bao gồm ít nhất một nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc sản phẩm phụ của phản ứng của quy trình chế tạo trong buồng xử lý, và khối lượng của cảm biến QCM thay đổi do nguyên liệu chưa sử dụng hết hoặc sản phẩm phụ của phản ứng, và bộ điều khiển xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý do dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của cảm biến QCM.

11. Thiết bị giám sát theo điểm 10, trong đó quy trình chế tạo bao gồm quy trình lắng đọng, và thông số bao gồm tốc độ lắng đọng trong buồng xử lý.

12. Thiết bị giám sát theo điểm 10, trong đó quy trình chế tạo bao gồm một quy trình loại bỏ vật liệu, và thông số bao gồm tốc độ loại bỏ vật liệu trong buồng xử lý.

13. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó thiết bị này còn bao gồm thiết bị gia nhiệt để điều chỉnh nhiệt độ của cảm biến QCM để tạo thuận lợi cho sự tương tác với hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo.

14. Thiết bị giám sát theo điểm 13, trong đó nhiệt độ của cảm biến QCM được chọn để khởi phát hoặc điều khiển lắng đọng trên cảm biến QCM bởi hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên.

15. Thiết bị giám sát theo điểm 13, trong đó nhiệt độ của cảm biến QCM được chọn để khởi phát hoặc điều khiển loại bỏ vật liệu trên cảm biến QCM bởi hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên.

16. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó thiết bị này còn bao gồm thiết bị hạn chế phơi cảm biến QCM trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo để làm giảm tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý.

17. Thiết bị giám sát theo điểm 16, trong đó thiết bị hạn chế phơi cảm biến QCM trong hoá chất xử lý bao gồm một van hoặc lỗ.

18. Thiết bị giám sát theo điểm 16, trong đó thiết bị hạn chế phơi cảm biến QCM trong hoá chất xử lý bao gồm đường dẫn khí pha loãng để pha loãng hoá chất xử lý.

19. Thiết bị giám sát theo điểm 1, trong đó bộ điều khiển còn xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của trạng thái của hệ thống chế tạo.

20. Thiết bị giám sát để giám sát quy trình chế tạo, quy trình chế tạo bao gồm phủ vật liệu thứ nhất lên chất nền bằng cách sử dụng hệ thống chế tạo, hệ thống chế tạo bao gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông gồm đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu, và thiết bị giám sát này bao gồm:

cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM) để giám sát đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu của các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo và được tạo kết cấu để phơi trong hoá chất xử lý trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo, cảm biến QCM bao gồm lớp vật liệu bao gồm ít nhất một phần vật liệu thứ nhất đã được phủ lên chất nền trong quy trình chế tạo trong buồng

xử lý, lớp vật liệu này được tích tụ trên cảm biến QCM tại chỗ (*in situ*) trong quy trình chế tạo; và

bộ điều khiển để:

đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa cảm biến QCM và hoá chất xử lý gồm một khí nguyên liệu trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo để lắng đọng vật liệu của khí nguyên liệu trên các tấm bán dẫn; và

xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM bên trong đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu, trong đó đường dẫn xả hoặc đường dẫn cấp liệu trong quy trình chế tạo bao gồm một phần chưa sử dụng hết của khí nguyên liệu trong buồng xử lý, và khối lượng của cảm biến QCM thay đổi do phần chưa sử dụng hết của khí nguyên liệu tương tác với lớp vật liệu của cảm biến QCM, và bộ điều khiển xác định thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý do dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của cảm biến QCM.

21. Phương pháp giám sát quy trình chế tạo, quy trình chế tạo bao gồm phủ vật liệu thứ nhất lên chất nền bằng cách sử dụng hệ thống chế tạo, hệ thống chế tạo bao gồm buồng xử lý và các thành phần lưu thông, và phương pháp này bao gồm:

bố trí cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (QCM) để giám sát một thành phần lưu thông trong các thành phần lưu thông của hệ thống chế tạo;

tích tụ một lớp vật liệu trên cảm biến QCM trong quy trình chế tạo, lớp vật liệu này bao gồm ít nhất một phần vật liệu thứ nhất đã được phủ lên chất nền trong

quy trình chế tạo trong buồng xử lý, lớp vật liệu này được tích tụ trên cảm biến QCM tại chỗ (*in situ*) trong quy trình chế tạo;

phơi cảm biến QCM trong hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo;

đo dịch tần số cộng hưởng của cảm biến QCM do tương tác giữa lớp vật liệu của cảm biến QCM và hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông nêu trên trong quy trình chế tạo; và

xác định một thông số của quy trình chế tạo trong buồng xử lý như là một hàm số của dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM bên trong thành phần lưu thông nêu trên.

22. Phương pháp theo điểm 21, trong đó lớp vật liệu của cảm biến QCM bao gồm vật liệu hút khí bố trí trên cảm biến QCM trong quy trình chế tạo, trong đó khối lượng của vật liệu hút khí thay đổi do tương tác với hoá chất xử lý trong một thành phần lưu thông trong quy trình chế tạo;

xác định rõ ràng không khí trong buồng xử lý do dịch tần số cộng hưởng đo được của cảm biến QCM biểu thị khối lượng thay đổi của vật liệu hút khí trong một thành phần lưu thông nêu trên; và

phục hồi vật liệu hút khí của cảm biến QCM trong quy trình chế tạo.

1/14

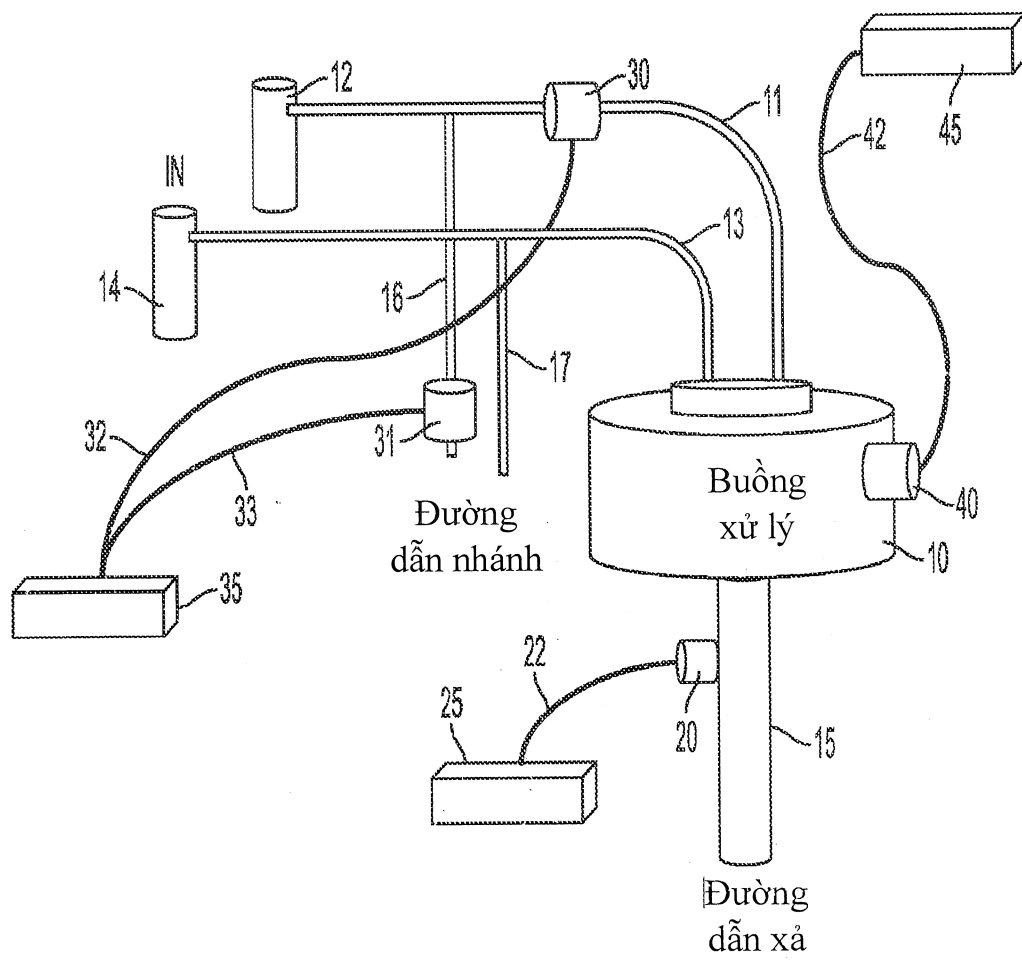


FIG. 1A

2/14

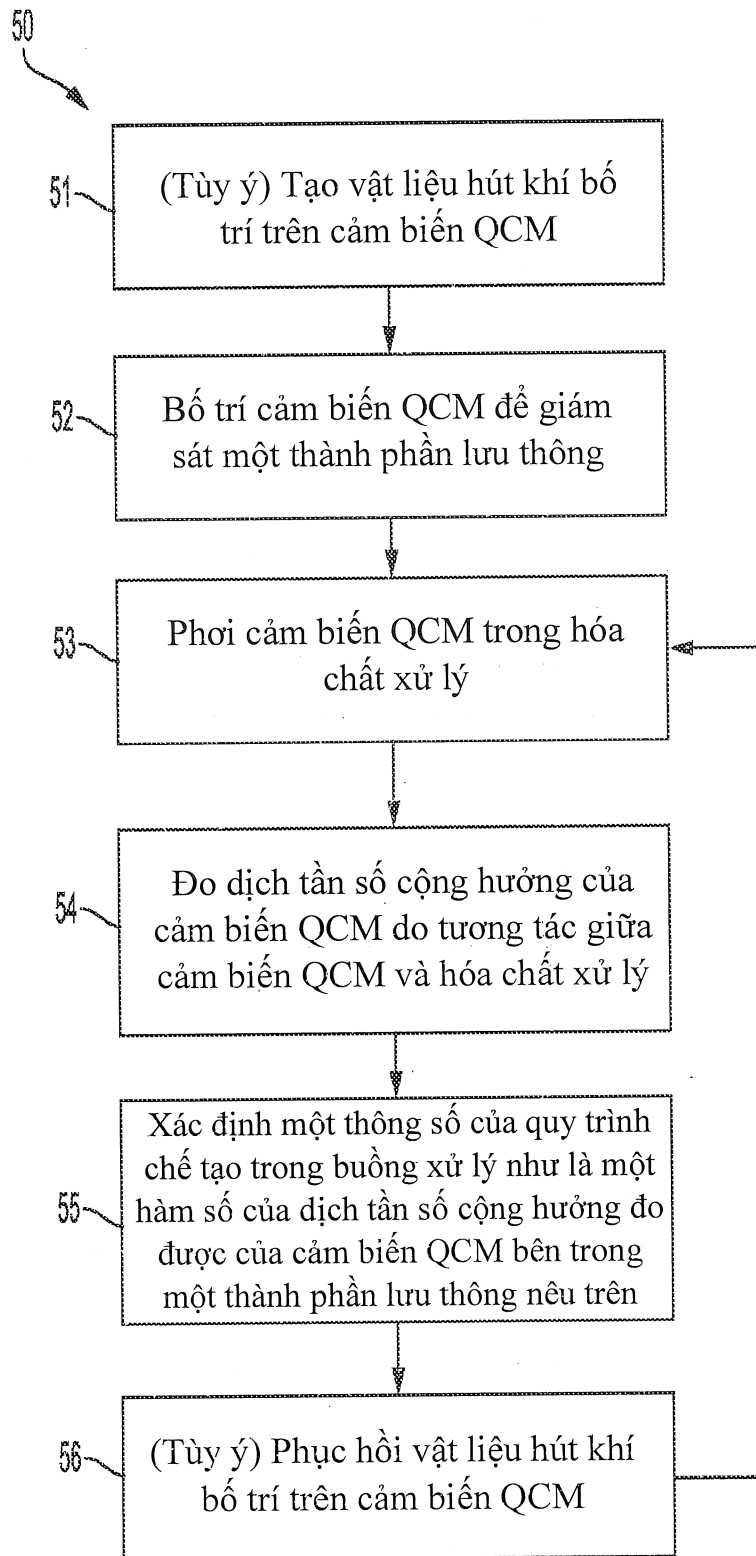


FIG. 1B

3/14

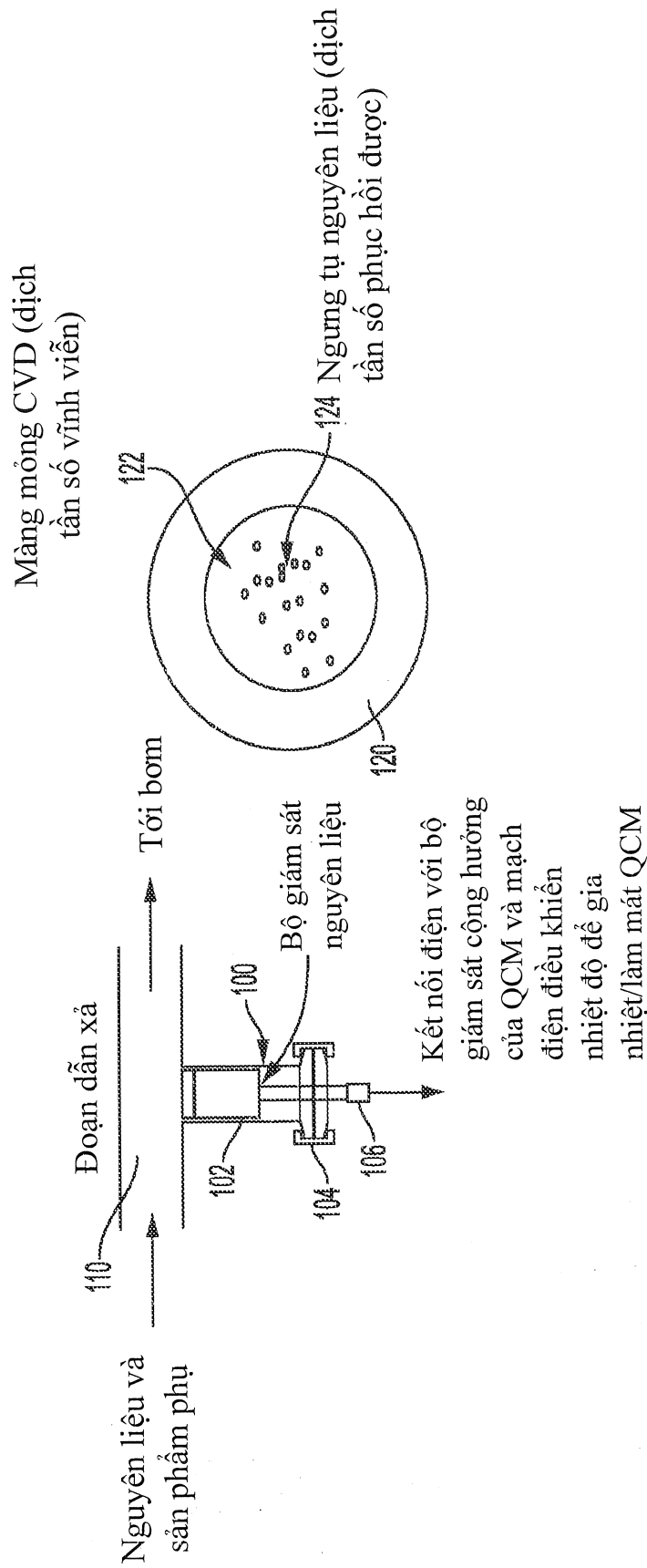
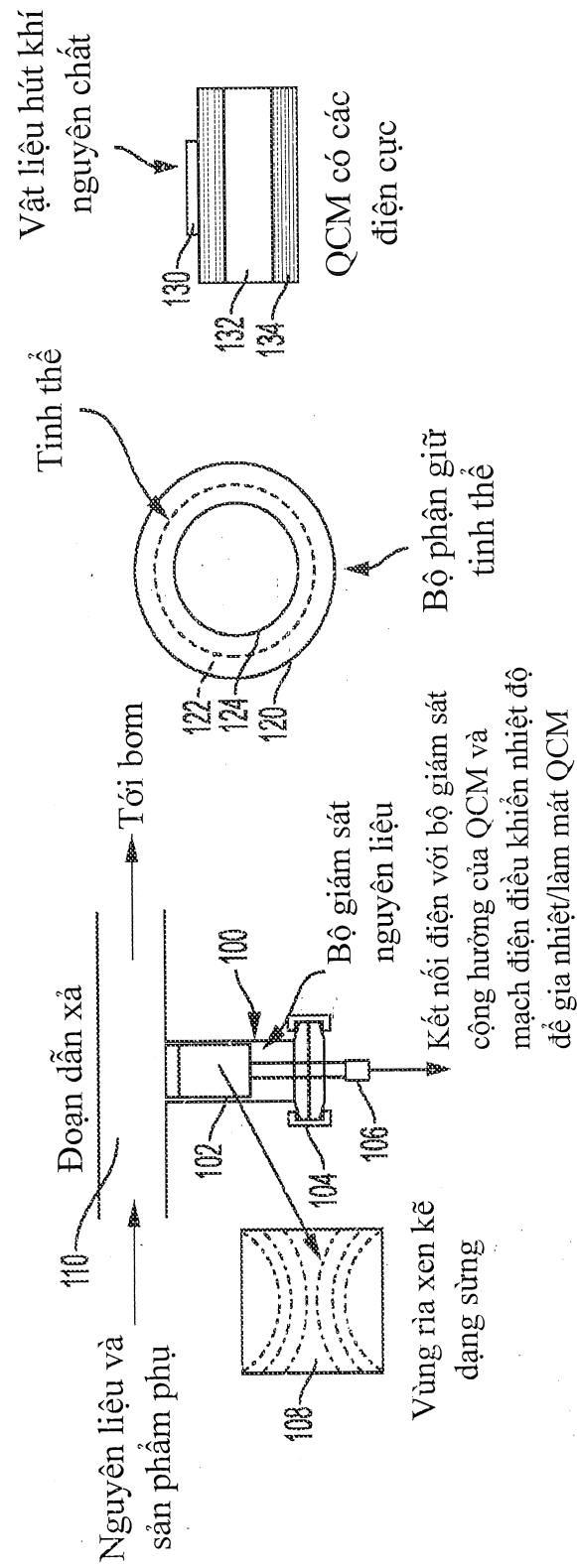


FIG. 1C



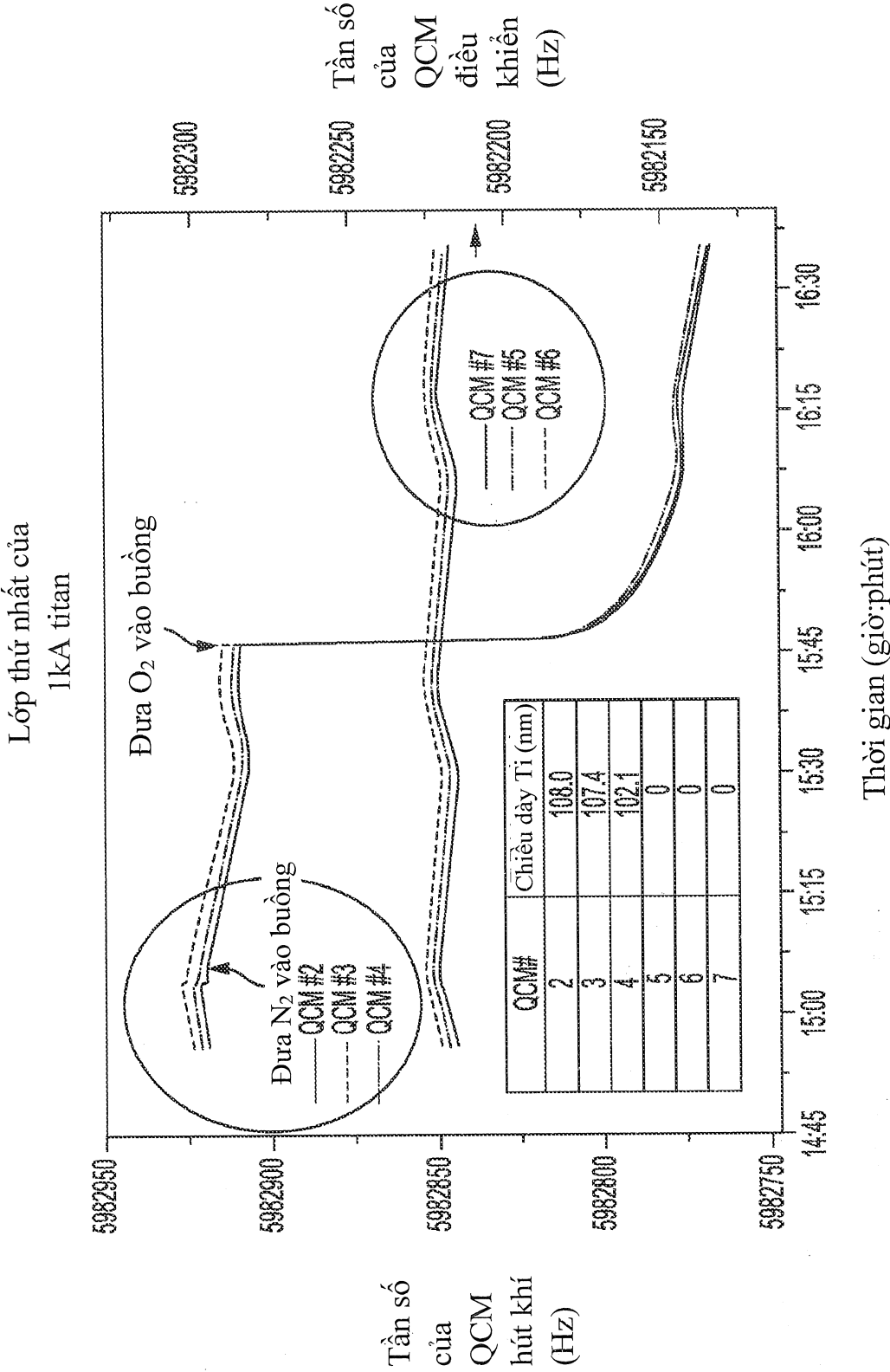


FIG. 2

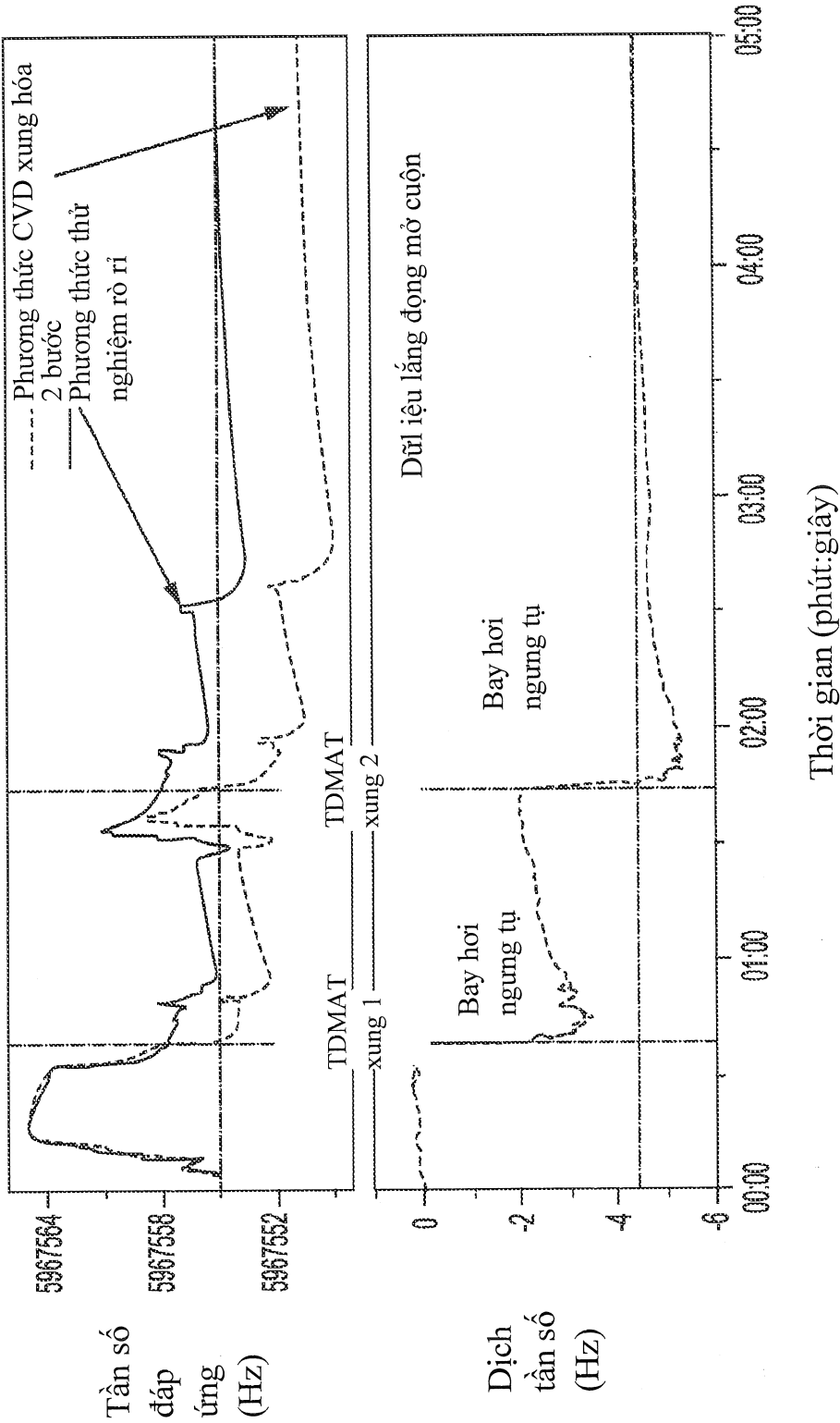


FIG. 3

7/14

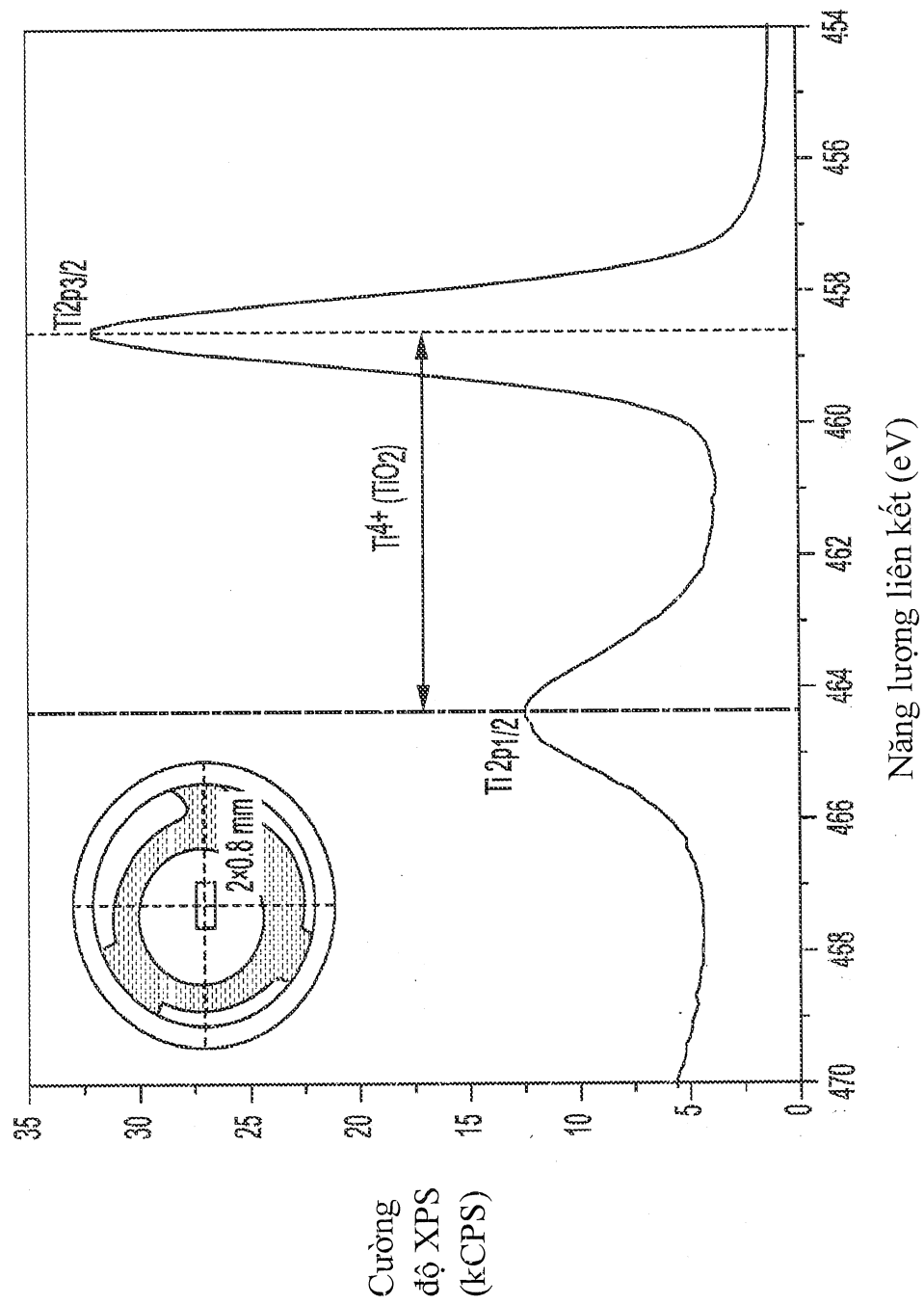


FIG. 4

8/14

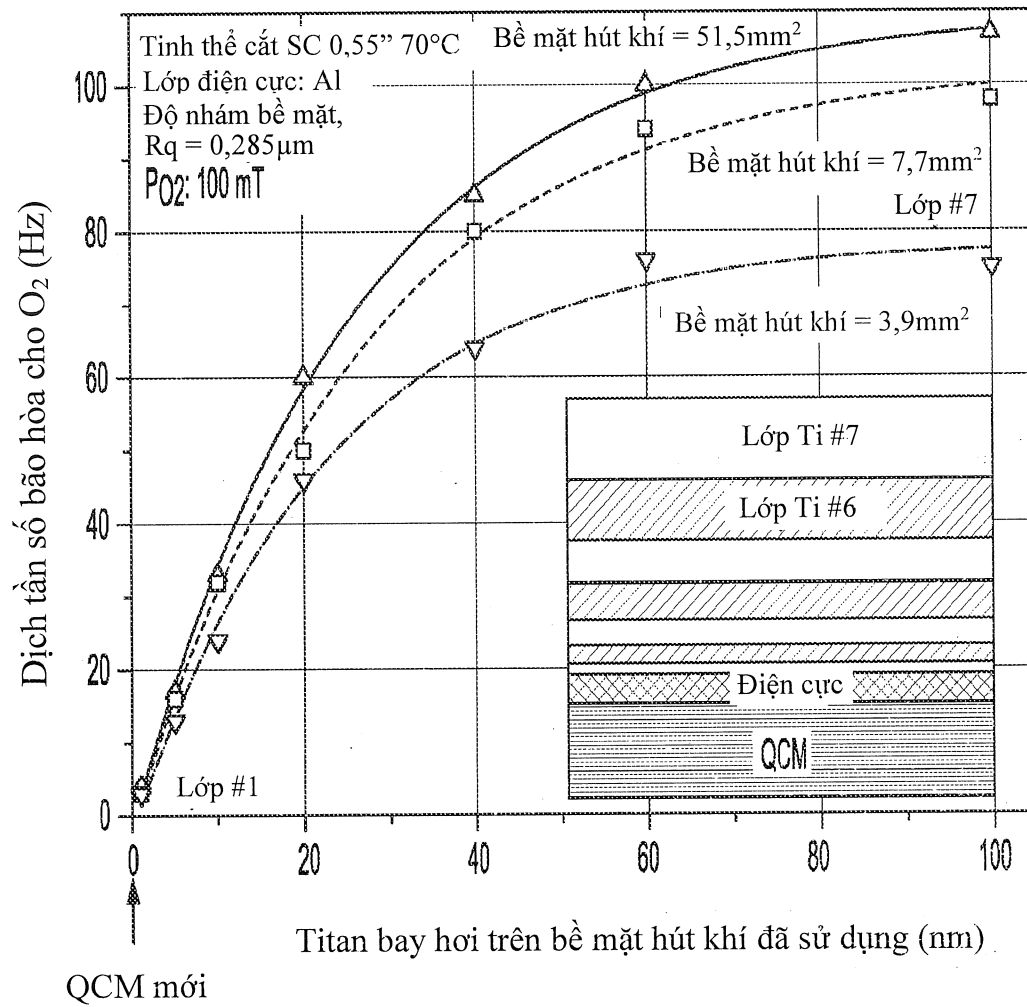


FIG. 5

9/14

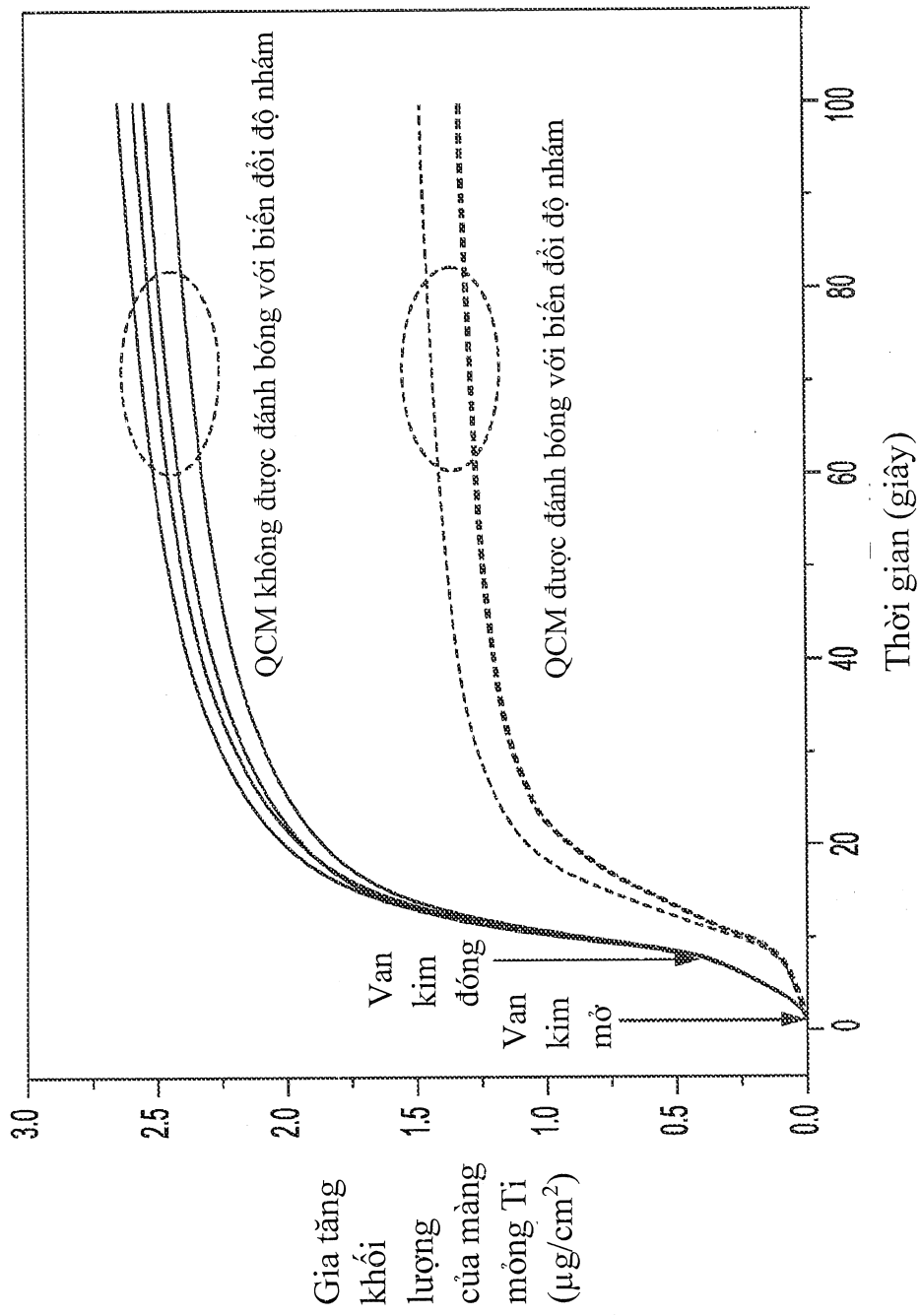


FIG. 6

10/14

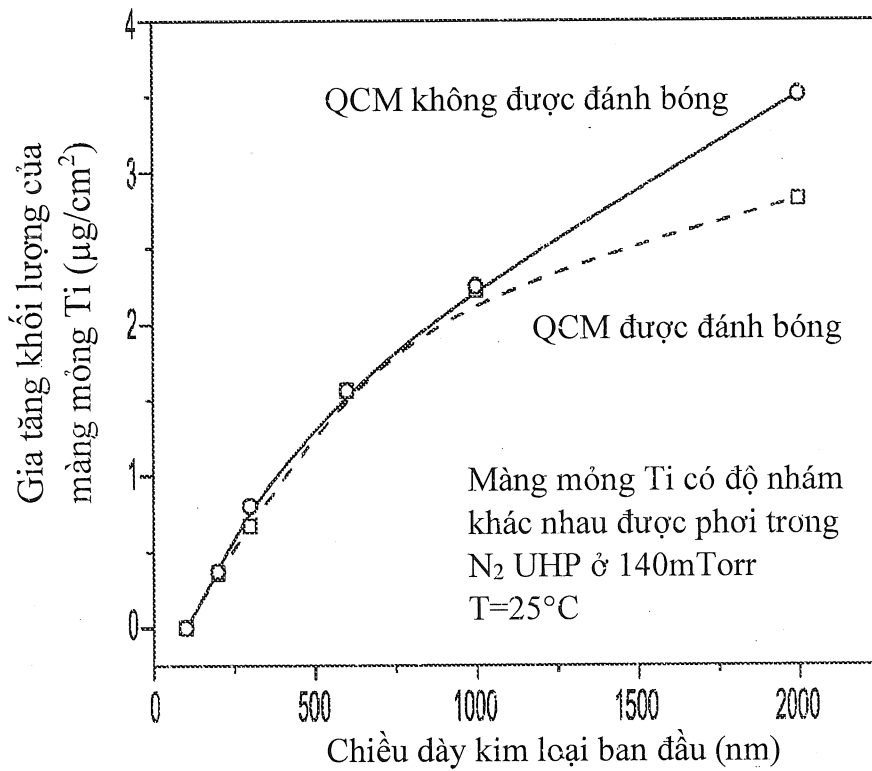


FIG. 7A

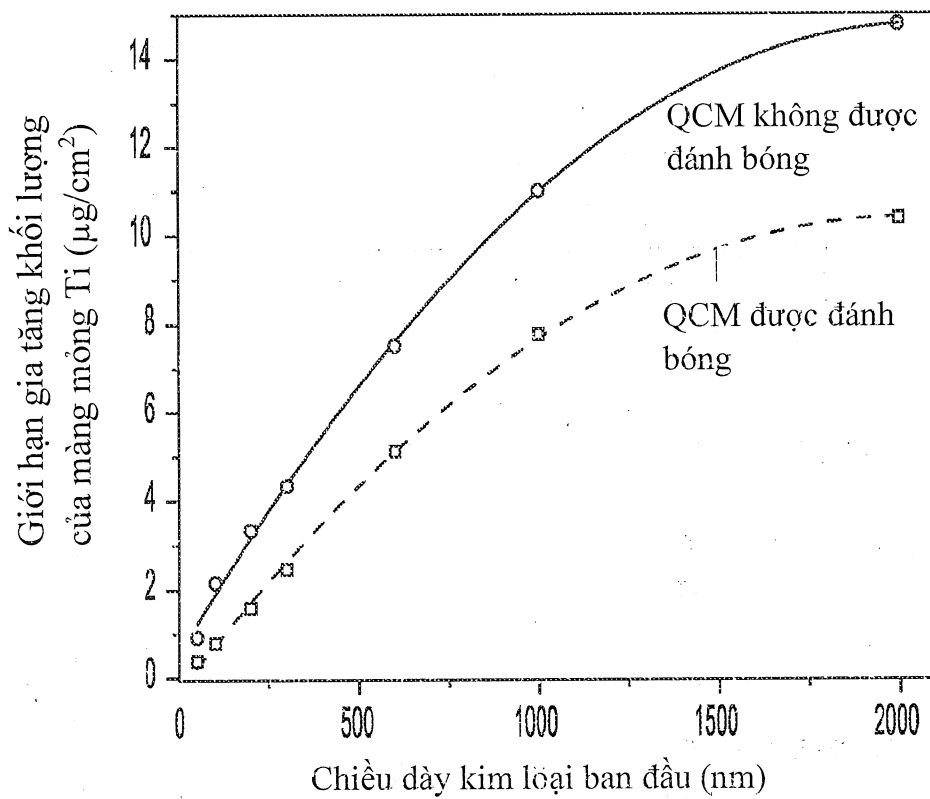


FIG. 7B

11/14

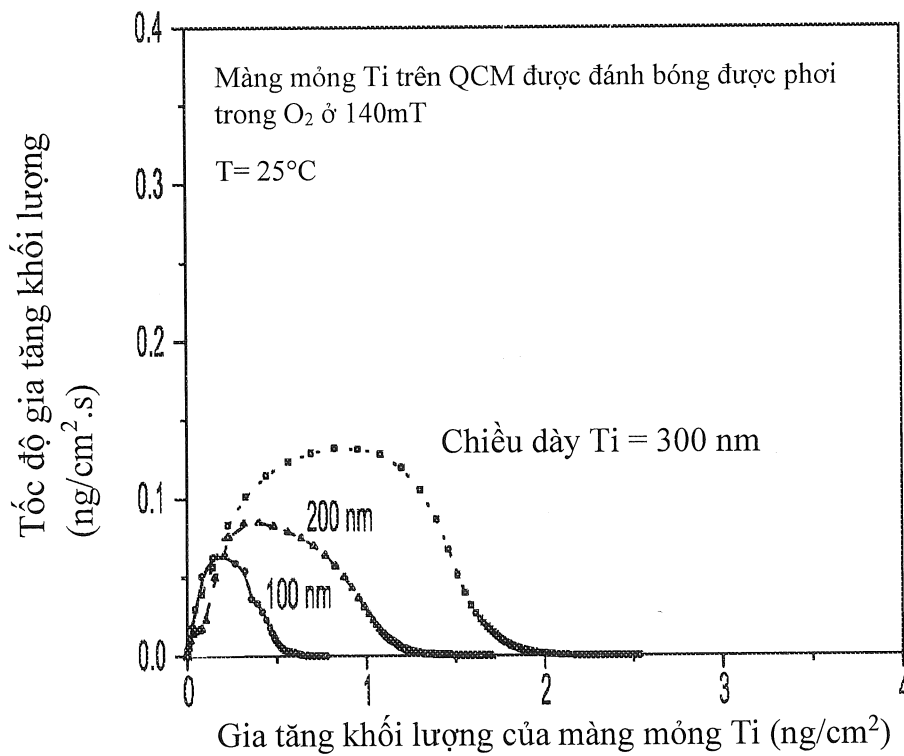


FIG. 8A

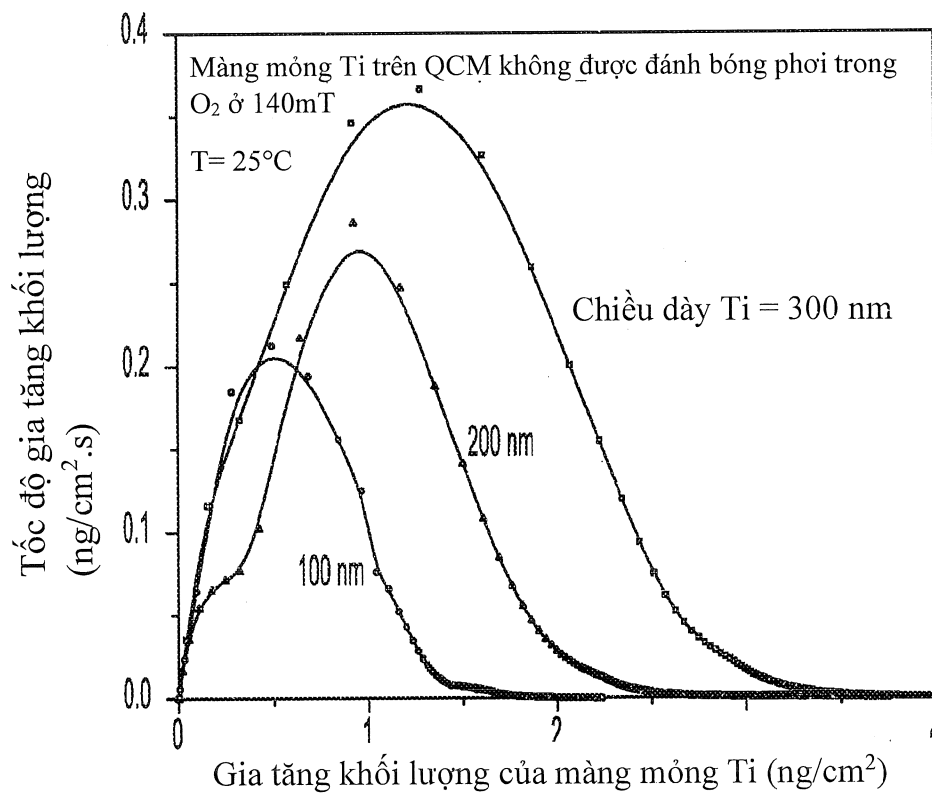


FIG. 8B

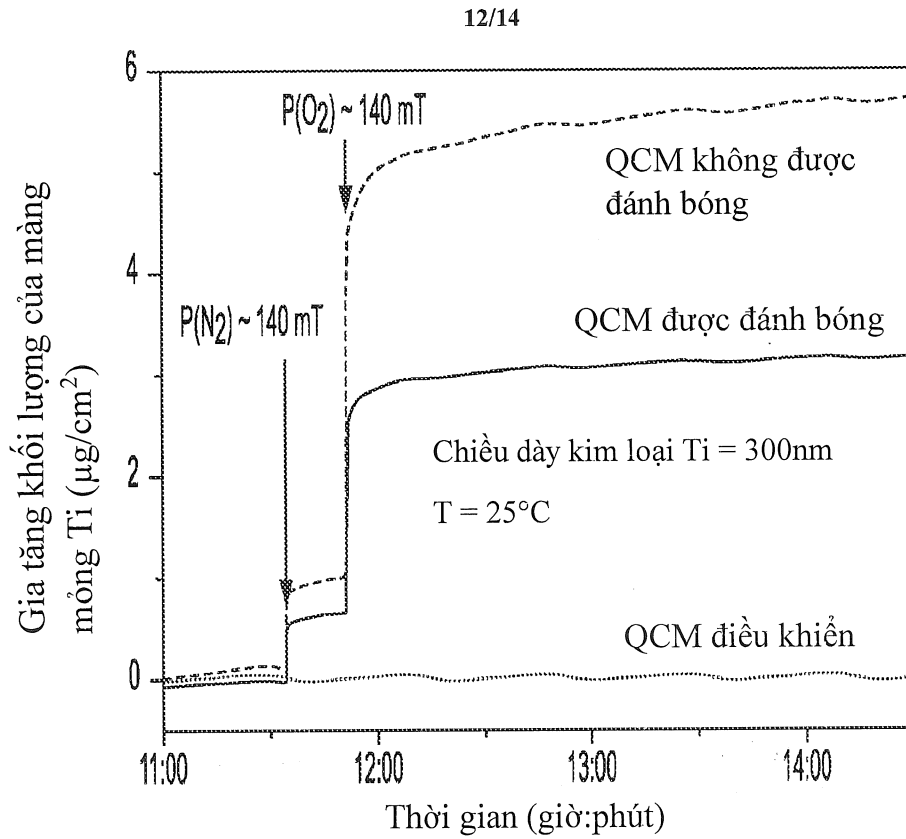


FIG. 9A

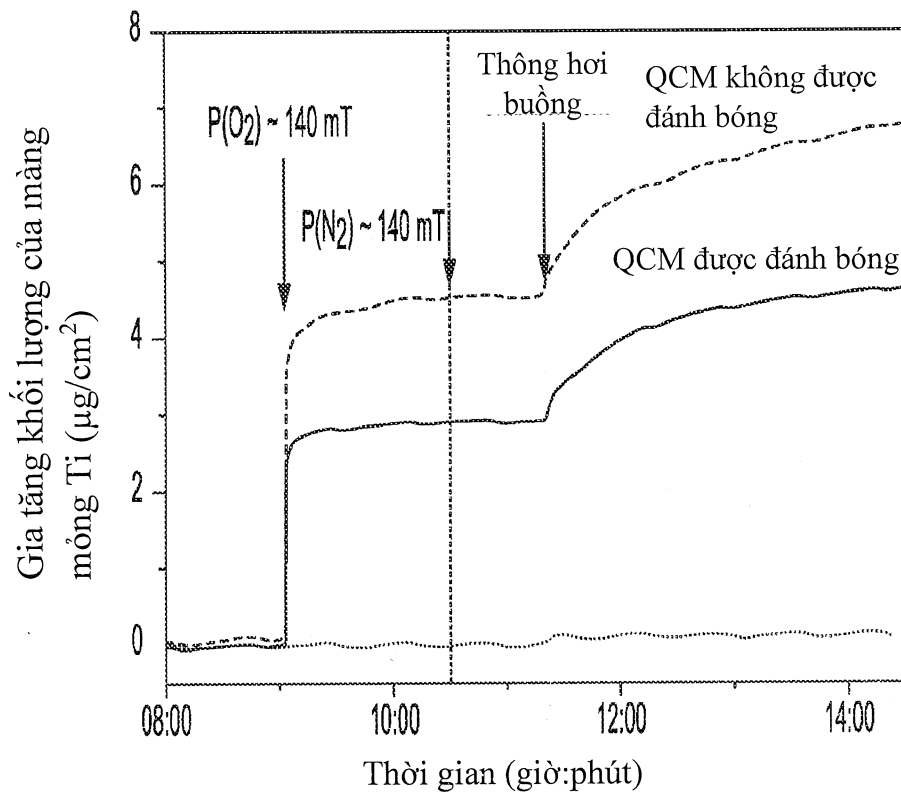


FIG. 9B

13/14

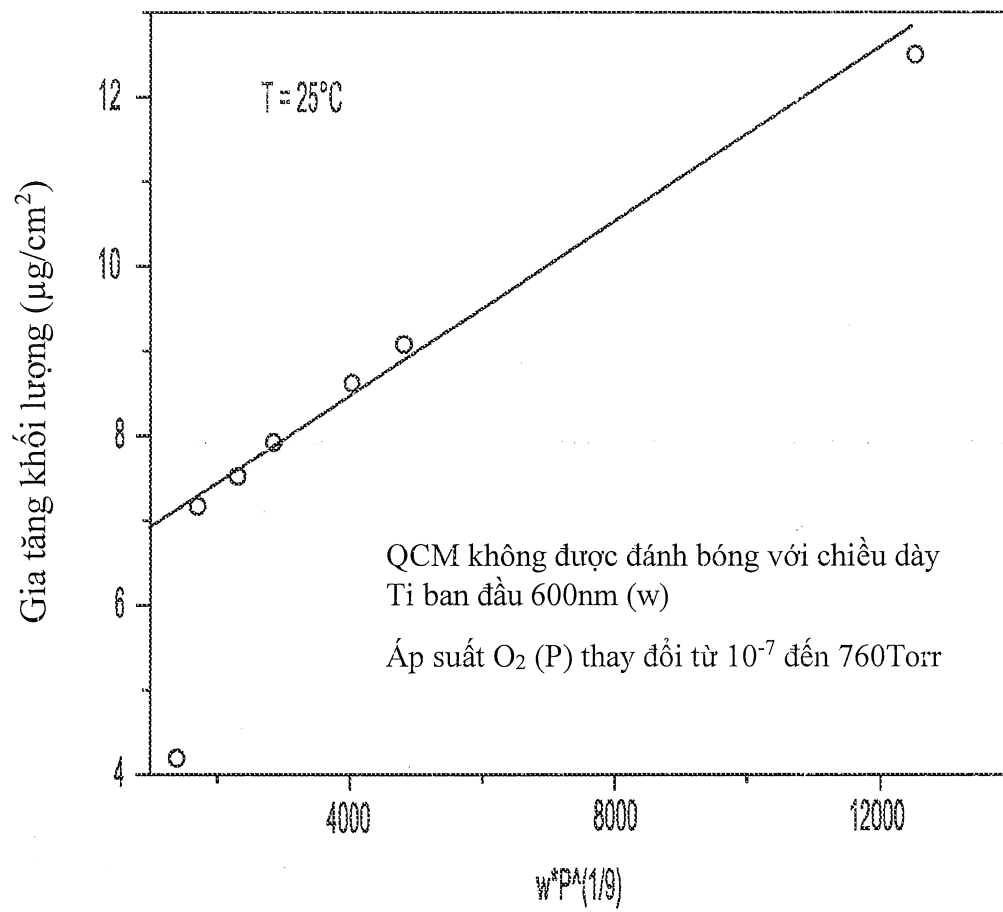


FIG. 10

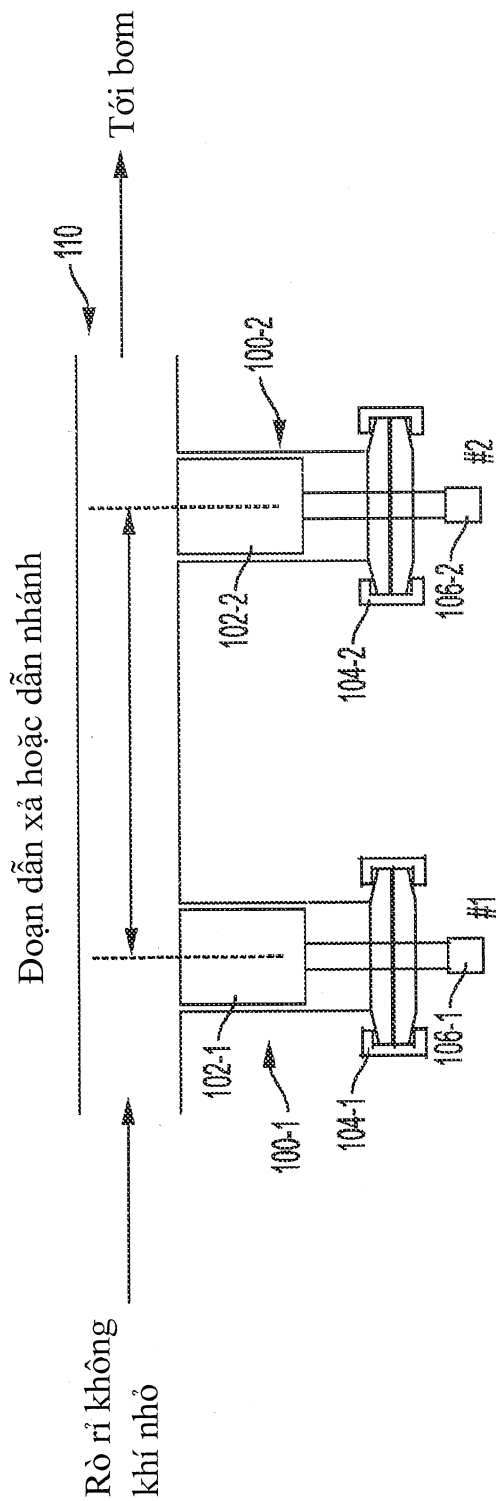


FIG. 11