



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

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

(11)



2-0004537

(51) **C03B 15/00**
2024.01

(13) **Y**

(21) 2-2025-00550

(22) 23/09/2021

(67) 1-2021-05942

(45) 25/11/2025 452

(43) 27/12/2021 405A

(73) **TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)**

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hòa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

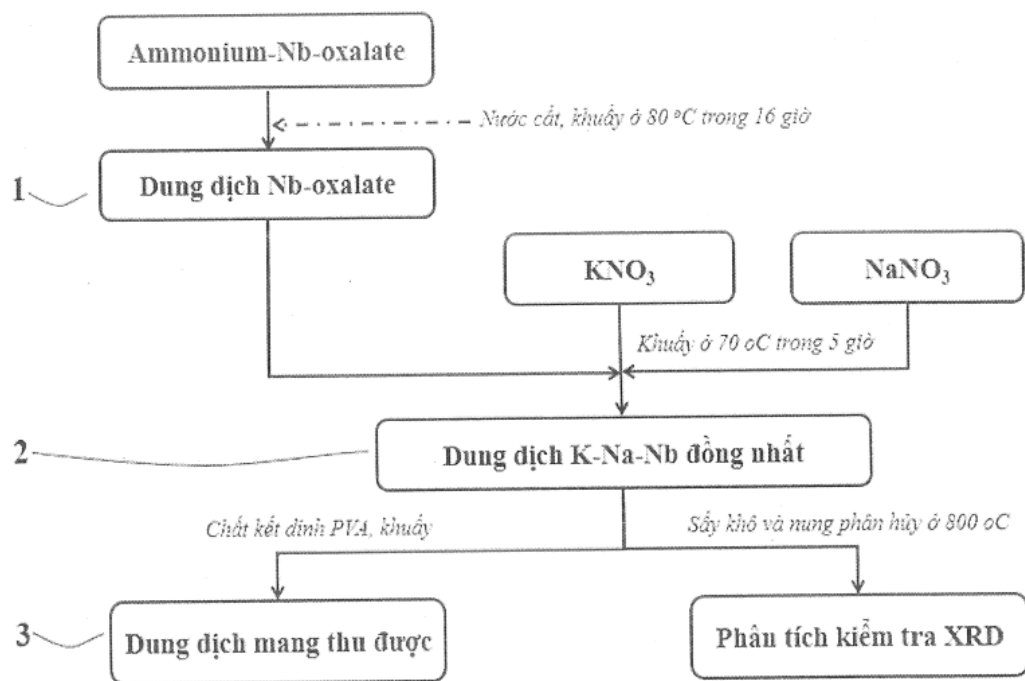
(72) **Phạm Kỳ Nam (VN); Nguyễn Đình Nguyên (VN).**

(74) **CÔNG TY TNHH NACILAW (NACILAW)**

(54) **QUY TRÌNH CHẾ TẠO VẬT LIỆU MÀNG MỎNG ĐƠN TÍNH THỂ**

(21) 2-2025-00550

(57) Vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ định hướng trên đế $SrTiO_3$ bằng tiền chất gốc nước, thân thiện với môi trường và không độc hại, tiền chất được phủ lên đế $SrTiO_3$ bằng quy trình đơn giản, quay ly tâm kết hợp với phương pháp xử lý nhiệt nhanh cho quá trình kết tinh. Thông thường với phương pháp ướt và phương pháp phủ đơn giản chỉ chế tạo được vật liệu màng có cấu trúc đa tinh thể, tuy nhiên với phương pháp này, vừa đơn giản, vừa có tính thân thiện môi trường đã chế tạo thành công vật liệu đơn tinh thể trên bề mặt đế mang.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình chế tạo vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ (KNN) định hướng trên đế $SrTiO_3$ bằng phương pháp phủ xoay và xử lý nhiệt siêu nhanh ở nhiệt độ cao. Vật liệu màng mỏng áp điện đơn tinh thể được định hướng thu được phù hợp sử dụng trong cảm biến (sensor), truyền động (actuator), các cấu trúc vi điện cơ (MEMS) và bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên không thay đổi (NV-RAM).

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Vật liệu áp điện với tính năng cơ bản nhất là chuyển đổi năng lượng giữa điện năng thành cơ năng hoặc ngược lại, do đó vật liệu này được sử dụng cho các cảm biến áp suất, cảm biến nhiệt độ, đầu ghi máy in phun, cơ cấu truyền động nhỏ (actuator); các cấu trúc vi điện cơ (MEMS). Đồng thời vật liệu còn có cấu trúc phân cực nên cũng được ứng dụng để chế tạo thành bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên không thay đổi (NV-RAM: Non-Volatile Random Access Memory) và các bộ nhớ mạch tích hợp (IC: integrate circuit) NV-RAM hoạt động như một bộ nhớ truy xuất ngẫu nhiên tĩnh (SRAM: Static Random Access Memory) nhưng lại có ưu điểm là không bị mất dữ liệu khi ngừng cung cấp điện, giống như các bộ nhớ điện tĩnh (Flash) và bộ nhớ có thể xóa-lập trình bằng tín hiệu điện (EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Trong vài thập niên trở lại đây, với sự phát triển của điện thoại di động và nền công nghiệp sản xuất hàng loạt đã làm cho các mô-đun sử dụng vật liệu màng áp điện đã tối ưu kích thước và tăng hiệu suất làm việc. Đáng kể nhất với hai ứng dụng lớn nhất của màng áp điện là các cấu trúc vi điện cơ (MEMS: microelectromechanical systems) và bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên không thay đổi (NV-RAM).

Việc chế tạo màng mỏng áp điện hiện nay thông thường thực hiện bằng các phương pháp khuếch tán như phún xạ (sputtering), lắng đọng xung la-de (PLD: pulsed laser deposition), lắng đọng bay hơi hóa học (VCD: chemical vapor deposition), và các phương pháp ướt (wet chemical methods). Về căn bản phương pháp giải pháp hữu ích mô tả có thể được xem là phương pháp ướt do đó sẽ tập trung phân tích tổng quát các giải pháp hữu ích đã thực hiện với phương pháp này:

- Báo cáo của Blomqvist và cộng sự, Appl. Phys. Lett., 81 (2002) 337, đã thành công trong việc phát triển màng mỏng KNN định hướng <001> trên đế nền đơn tinh thể LaAlO_3 bằng phương pháp phún xạ tần số radio (radio frequency sputtering). Độ định hướng của màng mỏng kết tinh được kiểm tra bằng phương pháp nhiễu xạ XRD, vật liệu thu được có hằng số điện môi $\epsilon_r=470$ tại tần số 1 MHz, hệ số phân cực thừa $P_r=23,5 \text{ } \mu\text{C}/\text{cm}^2$ tại điện áp 600 kV/cm và có từ trường cường chế thấp $E_c=36 \text{ kV}/\text{cm}$.
- Cũng theo báo cáo của Wang; Appl. Phys. Lett., 98 (2011) 022902; đã khuếch tán thành công vật liệu màng mỏng $\text{K}_{0,48}\text{Na}_{0,48}\text{Li}_{0,04}\text{Nb}_{0,775}\text{Ta}_{0,225}\text{O}_3$ (KNLNT) lên đế mang Pt(111)/Ti/SiO₂/Si(001) bằng phương pháp lắng đọng xung la-de (PLD), kết quả cho sản phẩm đồng nhất và có tính chất như sau $2P_r=22,6 \text{ C}/\text{cm}^2$, $E_c=10,3 \text{ kV}/\text{mm}$, $d'_{33}=49 \text{ pm}/\text{V}$.
- Báo cáo của Cho và cộng sự (Integr. Ferroelectr., 45.2002.39) sử dụng phương pháp bốc bay hơi hợp chất kim loại – hữu cơ (metallorganic chemical vapor deposition - MOCVD) và Lai (Sol-gel Sci. Technol., 42.2007.287) sử dụng phương pháp sol-gel bằng tiền chất KNN khi cho phản ứng giữa kim loại Na và K với ethanol trong dung môi $\text{CH}_3\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ (2-methoxyethanol) để tạo kiềm ethoxides sau đó phản ứng với $\text{Nb}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_5$ (niobium pentaethoxide) để tạo dung dịch tiền chất K-Na-Nb. Màng dày KNN thu được trên đến silicon sau khi phân hủy tiền chất ở 400 °C và nung tại 800–900 °C. Cả hai phương pháp điều thu được vật liệu có tính đồng nhất và tính chất ôp điện tốt.
- Bằng sáng chế tại Mỹ số đơn US8.288,020 B2 trình bày phương pháp chế tạo màng mỏng nhiều lớp có vật liệu khác nhau bằng phương pháp khuếch tán, vật liệu thu được có cấu trúc ba lớp theo tuần tự từ đế là: màng mỏng LaNiO có định hướng (001) trên đế, tiếp theo là lớp màng mỏng NaNbO và cuối cùng là lớp màng mỏng $(\text{Bi}, \text{Na}, \text{Ba})\text{TiO}$ định hướng (001) trên cùng, vật liệu thu được cuối cùng có độ tán điện môi thấp, và hiệu suất áp điện cao.
- Bằng sáng chế tại Mỹ số đơn US 9.450,175 B2 trình bày phương pháp chuẩn bị tiền chất KNN bằng phương pháp phân tán các ion kiềm trong dung môi gốc hữu cơ polyamino carboxylic acid ; và amine, dung dịch tiền chất thu được được khuếch tán lên đế mang silic, và thực hiện nhiều bước phủ/nhiệt phân/ủ để đạt được vật liệu có chiều dày xác định sau cùng.

Giải pháp hữu ích đề xuất trình bày một phương pháp chuẩn bị dung dịch tiền chất dựa trên gốc nước, không độc hại và thân thiện môi trường, cùng mới phương pháp sử dụng để chế tạo vật liệu màng mỏng có cấu trúc định hướng đơn tinh thể trên đế mang SrTiO_3 .

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất quy trình chế tạo vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$ định hướng trên đế SrTiO_3 bằng tiền chất gốc nước, thân thiện với môi trường và không độc hại, tiền chất được phủ lên đế SrTiO_3 bằng quy trình đơn giản, quay ly tâm kết hợp với phương pháp xử lý nhiệt siêu nhanh cho quá trình kết tinh. Thông thường với phương pháp ướt và phương pháp phủ đơn giản chỉ chế tạo được vật liệu màng có cấu trúc đa tinh thể, tuy nhiên với phương pháp này, vừa đơn giản, vừa có tính thân thiện môi trường đã chế tạo thành công vật liệu đơn tinh thể trên bề mặt đế mang.

Để đạt được mục đích trên, giải pháp hữu ích đã đề xuất quy trình chế tạo vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể bao gồm 8 bước với các điểm mới như sau:

Một là chế tạo dung dịch mang chứa các nguyên tố kiềm natri và kali cùng với niobium gốc nước, nguyên liệu sử dụng ban đầu là muối natri nitrat (NaNO_3), kali nitrat (KNO_3) và muối ngậm nước niobium amoni oxalate ($(\text{NH}_4)\text{NbO}(\text{C}_2\text{O}_4).5\text{H}_2\text{O}$). Đầu tiên là muối ngậm nước niobium amoni oxalate được hòa tan trong nước cất, sau đó hỗn hợp được khuấy liên tục tại 80°C trong 16 tiếng, cuối cùng dung dịch được xác định nồng độ chính xác bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng ở 800°C trong 16 tiếng. Nồng độ của dung dịch được xác định qua khối lượng oxit Nb_2O_5 thu được sau nhiệt phân. Natri nitrat (NaNO_3), kali nitrat (KNO_3) sau khi được nung khô tách ẩm hoàn toàn ở 250°C sẽ được cân theo đúng khối lượng tỷ lệ mol, và cho vào dung dịch chứa niobium trên, hỗn hợp được khuấy liên tục trong 5 giờ tại 70°C để thu được dung dịch đồng nhất

Hai là quy trình phủ quay ly tâm, dung dịch mang được nhỏ lên mẫu đế SrTiO_3 có kích thước $10 \times 10 \times 1$ mm, sau đó được quay ly tâm với vận tốc 3000 vòng/phút trong 30 giây, màng mỏng vừa phủ được sấy khô trên một tấm đế nóng có nhiệt độ 200°C trong 2 phút và nhiệt phân ở 400°C bằng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh trong môi trường O_2 với tốc độ nâng nhiệt là $40^\circ\text{C}/\text{s}$. Để đạt được chiều dày mong muốn, các bước trên được lặp lại 15 lần. Màng mỏng sau cùng được nung kết khối ở $700\text{-}900^\circ\text{C}$

giữ trong 10 phút trong hộp kín bằng SiC có rải bột KNN xung quanh, quá trình nung kết khối cũng sử dụng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh với tốc độ nâng nhiệt 40°C/s .

Ba là cấu trúc của màng mỏng được thiết kế để tạo sự kết tinh tối đa, bằng cách xen kẽ một lớp vật liệu bằng một lớp dung dịch NaCl, lớp phủ NaCl cung cấp phân muối nóng chảy, có tác dụng tạo môi trường và thúc đẩy quá trình khuếch tán các nguyên tố, kết tinh vật liệu.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ mô tả các bước chế tạo dung dịch mang chứa các nguyên tố của vật liệu KNN;

Hình 2 là ảnh tán xạ tia X của bột thu được do làm khô dung dịch mang và nung ở các nhiệt độ khác nhau;

Hình 3 là quy trình các bước chế tạo vật liệu màng mỏng trên đế mang STO;

Hình 4 là cấu trúc màng mỏng đa lớp trước khi nung kết khối;

Hình 5 là ảnh tán xạ tia X của màng mỏng;

Hình 6 là ảnh hiển vi điện tử quét mặt cắt ngang và bề mặt của màng mỏng;

Hình 7 là kết quả đo phản hồi áp điện của màng mỏng;

Hình 8 là ảnh hiển vi điện tử xuyên của vật liệu.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Tham chiếu Hình 1, mô tả các bước chế tạo của dung dịch mang chứa các nguyên tố vật liệu cần chế tạo, dung dịch mang được chế tạo trên cơ sở dung môi là nước, có tính đơn giản, thân thiện môi trường.

Có thể thấy được bước 1 là tạo dung dịch Nb-oxalate, dung dịch Nb-oxalate được tạo bằng từ muối amonium Nb-oxalate hòa tan trong nước cất và khuấy từ liên tục tối thiểu trong 16 giờ ở khoảng nhiệt độ $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ nhằm mục đích hòa tan hoàn toàn, tạo dung dịch đồng nhất và ổn định dung dịch, để xác định chính xác nồng độ của Nb trong dung dịch một lượng xác định dung dịch được nung đến phân hủy hoàn toàn tại 800°C trong 16 giờ, là nhiệt độ đảm bảo muối Niobium phân hủy hoàn toàn thành oxit và thời gian để phản ứng xảy ra triệt để, từ khối lượng Nb_2O_5 thu được, ta xác định được nồng độ của Nb trong dung dịch. Nguồn K và Na được lấy từ muối nitrat, các muối này (KNO_3 , NaNO_3) được sấy tách ẩm ở 250°C , trước khi được cân theo tỉ lệ mol với Nb. Hai muối được thêm vào dung dịch Nb oxalate và khuấy từ ở nhiệt độ $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ tối thiểu trong vòng 5 giờ, để tạo dung dịch đồng nhất ổn định. Dung dịch có

chứa các nguyên tố Kali, Natri, Niobium đồng nhất thu được ở bước 2, sau đó dung dịch được bổ sung 0,5% khối lượng chất kết dính PVA (polyvinyl acetate) khuấy đều, sau đó dung dịch mang thu được ở bước 3 đã sẵn sàng sử dụng.

Phương pháp chế tạo dung dịch mang này có ưu điểm là sử dụng dung môi nước, có tính thân thiện môi trường cao, các muối sử dụng cũng là muối thông dụng có độ hòa tan cao trong nước, đồng thời phương pháp đơn giản, dung dịch tạo thành có độ ổn định cao và có thể lưu trữ trong thời gian dài.

Để kiểm tra tỉ lệ giữa các nguyên tố trong dung dịch mang, một phần dung dịch được sấy khô, nung ở nhiệt độ từ 500-800°C, và phân tích nhiễu xạ tia X, kiểm tra cấu trúc sản phẩm thu được, kết quả theo Hình 2, cho thấy kết quả dung dịch đã tạo được hợp chất $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ có cấu trúc tinh thể perovskite và độ kết tinh tăng dần khi tăng nhiệt độ nung thiêu kết.

Hình 3 trình bày quy trình chế tạo vật liệu màng mỏng $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ từ dung dịch mang thu được ở bước 4, đầu tiên dung dịch được nhỏ lên đế $SrTiO_3$ có kích thước 10x10x1 mm, để đảm bảo dung dịch được khếch tán đều trên bề mặt, sau đó được quay ly tâm ở bước 5 với vận tốc 3000 vòng/phút trong 30 giây, để mang có màng mỏng vừa phủ được sấy khô ở bước 6 trên một tấm đế nóng có nhiệt độ 200°C trong 2 phút, tiếp đến được đưa vào nhiệt phân ở 400°C bằng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh tại bước 7 trong môi trường O_2 với tốc độ nâng nhiệt là 40°C/s. Để đạt được chiều dày mong muốn, các bước 5, bước 6 và bước 7 trên được lặp đi lặp lại 15 lần để tạo 15 lớp màng đơn. Đế mang màng mỏng sau cùng được nung kết khối tại bước 8 ở 700-900°C giữ trong 10 phút, đây là nhiệt độ phân hủy canxit và kết khối tạo thành màng mỏng, thời gian tối ưu cho phản ứng, trong hộp kín bằng SiC có rải bột KNN xung quanh, quá trình nung kết khối sử dụng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh với tốc độ nâng nhiệt 40°C/s. Vật liệu thu được trên đế $SrTiO_3$ được đo nhiễu xạ lướt qua (GIXRD), phân tích cấu trúc bề mặt và mặt cắt ngang, kính hiển vi điện tử xuyên và đo độ áp điện.

Quy trình chế tạo có một số đặc điểm riêng với ưu điểm như sau:

Đầu tiên là bước phủ quay ly tâm ở bước 5, là một phương pháp khếch tán ướt đơn giản nhất khi so sánh với các phương pháp bay hơi vật lý, hay khếch tán hóa học có thiết bị đơn giản, và quy trình đơn giản. Phương pháp làm sấy trên đế nóng ở bước 6 nhằm mục đích làm nguội nhanh nhất và đồng đều nhất, để có thể thực hiện phủ ướt nhiều lần. Hai bước xử lý nhiệt trong quy trình là bước 7 và bước 8 đều sử dụng

phương pháp siêu nhanh với tốc độ 40 độ/phút là phương pháp đốt nóng bằng chùm sáng năng lượng cao và làm nguội bằng khí cao áp, việc sử dụng phương pháp này nhằm rút ngắn thời gian xử lý nhiệt, đảm bảo kim loại kiềm không bị bay hơi trong quá trình xử lý.

Hình 04 trình bày hai cấu trúc màng mỏng được sử dụng để chế tạo màng mỏng. Cấu trúc thứ nhất 9 là cấu trúc gồm mười năm lớp dung dịch màng liên tiếp thực hiện theo quy trình từ bước 5, bước 6 và bước 7 trên, trong khi cấu trúc thứ hai 10 là cấu trúc xen kẽ luân phiên giữa màng mỏng từ dung dịch vật mang và lớp muối NaCl xen kẽ cũng được thực hiện theo bước 5, bước 6 và bước 7 liên tiếp. Tác dụng của việc lớp muối xen kẽ là để tạo dòng pha lỏng muối nóng chảy, giúp cho quá trình khếch tán và kết tinh diễn ra thuận lợi, đồng thời hàm lượng Na cao cũng góp phần giảm bay hơi và bù lại lượng kim loại kiềm bị hao hụt do bay hơi trong quá trình phản ứng.

Hình 5 cho thấy ảnh tán xạ tia X lướt qua, một phương pháp đo nhiễu xạ tia Z với vật liệu màng mỏng. Hình ảnh nhiễu xạ cho thấy màng mỏng tạo thành công và vật liệu KNN có cấu trúc trực thoi, đồng thời cũng xuất hiện pha thứ cấp $K_2Nb_4O_{11}$, pha thứ cấp không tinh khiết này xuất hiện ở tất cả các màng mỏng được nung thiêu kết từ 700, 800 và 900°C, tuy nhiên tỷ lệ pha tạp chất thứ cấp không tăng theo nhiệt độ xử lý và có thể xem như một phần của màng mỏng tạo thành.

Hình 6 xác nhận cấu trúc bề mặt cũng như độ dày của màng mỏng thu được. Từ Hình 6 ta có thể thấy màng mỏng đồng đều, không có vết nứt và có độ dày xấp xỉ 300 nm. Cấu trúc bề mặt cũng cho thấy các hạt có hình thái dài về một hướng phân bố theo định hướng.

Hình 7 cho thấy hiệu ứng áp điện của màng mỏng KNN tạo thành trên đế mang STO, từ Hình 7a cho thấy biên độ của phản hồi áp điện của màng mỏng có vòng lặp đặc trưng của hiệu ứng và có biên độ lớn nhất là 11,2 mV.

Hình 8 là minh chứng cho cấu trúc đơn tinh thể của vật liệu màng mỏng thu được khi được xử lý nhiệt ở 800°C thể hiện qua các hình ảnh phân tích kính hiển vi điện tử xuyên (TEM), từ Hình 8a có thể thấy phần nét đứt sát với phần đế có cấu trúc đơn tinh thể. Hình 8b cho thấy cấu trúc phóng đại của bề mặt chung giữa đế mang và màng mỏng, qua đó cho thấy cấu trúc của lớp màng mỏng có ô mạng đồng đều, là đơn tinh thể. Hình chụp chuyển Fourier 8c cho thấy minh chứng của mối liên hệ giữa hai lớp đơn tinh thể cạnh nhau (màng mỏng-đế mang STO) và Hình 8d là tán xạ electron của

màng mỏng, các nhiễu xạ thu được cho thấy cấu trúc perovskite của màng mỏng STO xen kẽ với đế màn STO.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Giải pháp hữu ích cung cấp phương pháp chế tạo vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ định hướng trên đế $SrTiO_3$ bằng tiền chất gốc nước, thân thiện với môi trường và không độc hại, bằng quy trình đơn giản.

Hiện màng mỏng tạo thành được tiếp tục nghiên cứu ứng dụng trong các lĩnh vực màng áp điện cho các trúc vi điện cơ MEMS, cảm biến và cơ cấu chấp hành.

Yêu cầu bảo hộ

1. Quy trình chế tạo vật liệu áp điện màng mỏng đơn tinh thể bao gồm:

chế tạo dung dịch mang chứa các nguyên tố kiềm natri và kali cùng với niobium gốc nước, nguyên liệu sử dụng ban đầu là muối natri nitrat (NaNO_3), kali nitrat (KNO_3) và muối ngậm nước niobium amoni oxalate ($(\text{NH}_4)\text{NbO}(\text{C}_2\text{O}_4).5\text{H}_2\text{O}$):

đầu tiên là muối ngậm nước niobium amoni oxalate được hòa tan trong nước cất, khuấy liên tục tại 80°C trong 16 tiếng, sau đó dung dịch được xác định nồng độ chính xác bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng ở 800°C trong 16 tiếng; nồng độ của dung dịch được xác định qua khối lượng oxit Nb_2O_5 thu được sau nhiệt phân;

natri nitrat (NaNO_3), kali nitrat (KNO_3) sau khi được nung khô hoàn toàn ở 250°C sẽ được cân theo đúng khối lượng tỷ lệ mol, và cho vào dung dịch chứa niobium trên, khuấy liên tục trong 5 giờ tại 70°C để thu được dung dịch đồng nhất;

phủ quay ly tâm:

dung dịch mang được nhỏ lên mẫu đế SrTiO_3 có kích thước $10 \times 10 \times 1$ mm, sau đó được quay ly tâm với vận tốc 3000 vòng/phút trong 30 giây;

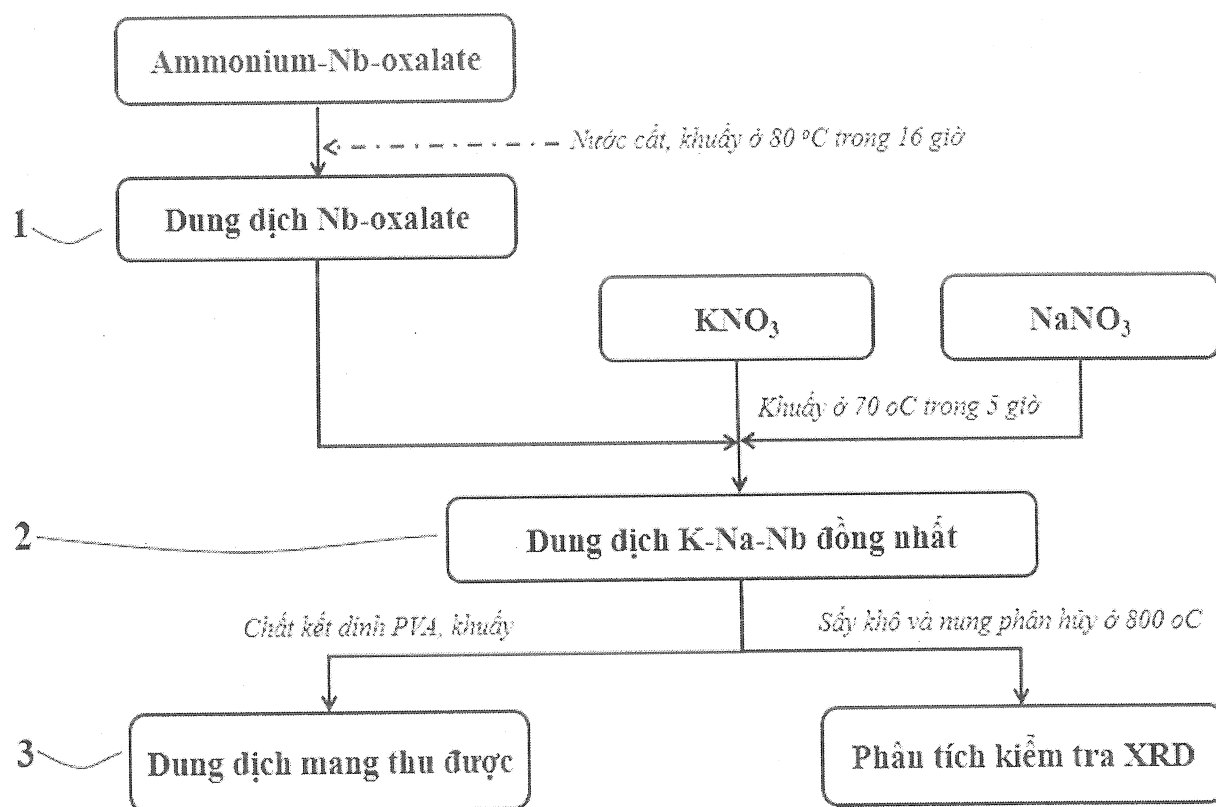
màng mỏng vừa phủ được làm khô trên một tấm đế nóng có nhiệt độ 200°C trong 2 phút;

nhiệt phân ở 400°C bằng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh trong môi trường O_2 với tốc độ nâng nhiệt là $40^\circ\text{C}/\text{s}$;

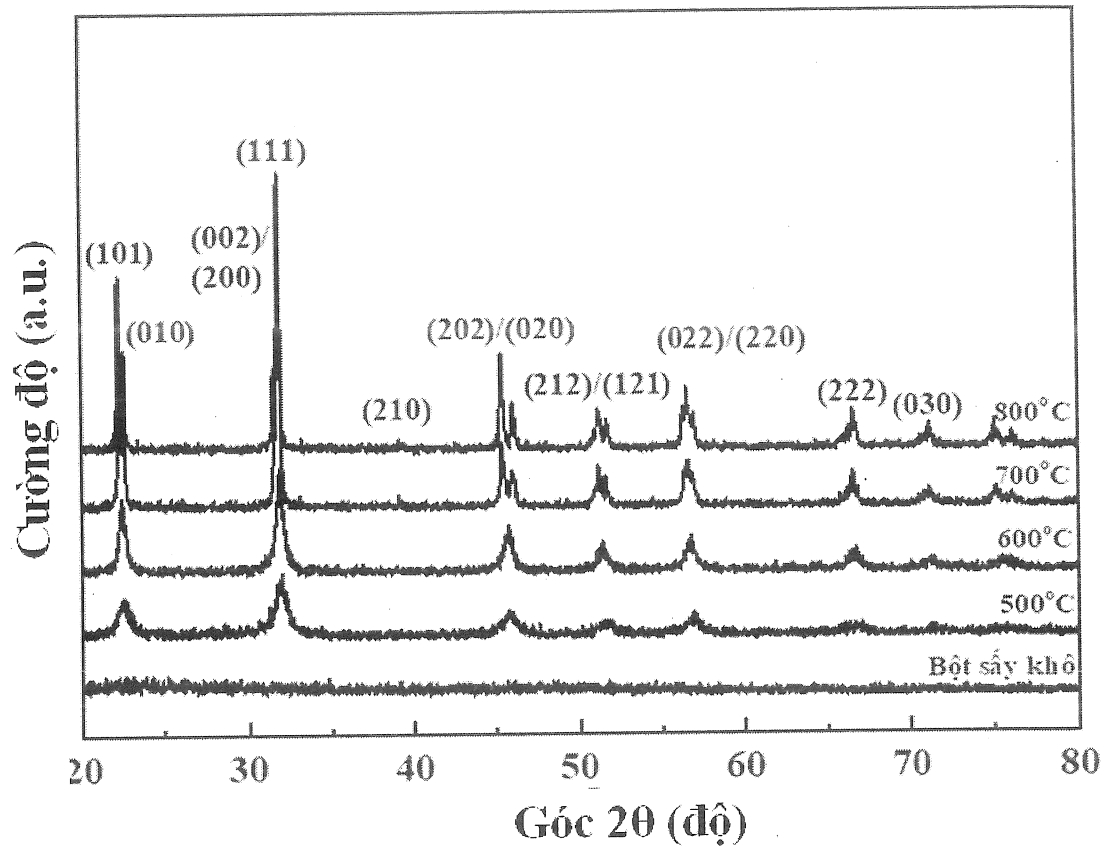
để đạt được chiều dày mong muốn, các bước trên được lặp lại nhiều lần theo yêu cầu;

màng mỏng sau cùng được nung kết khối ở $700\text{-}900^\circ\text{C}$ giữ trong 10 phút trong hộp kín bằng SiC có rải bột KNN xung quanh, quá trình nung kết khối cũng sử dụng thiết bị xử lý nhiệt siêu nhanh với tốc độ nâng nhiệt $40^\circ\text{C}/\text{s}$.

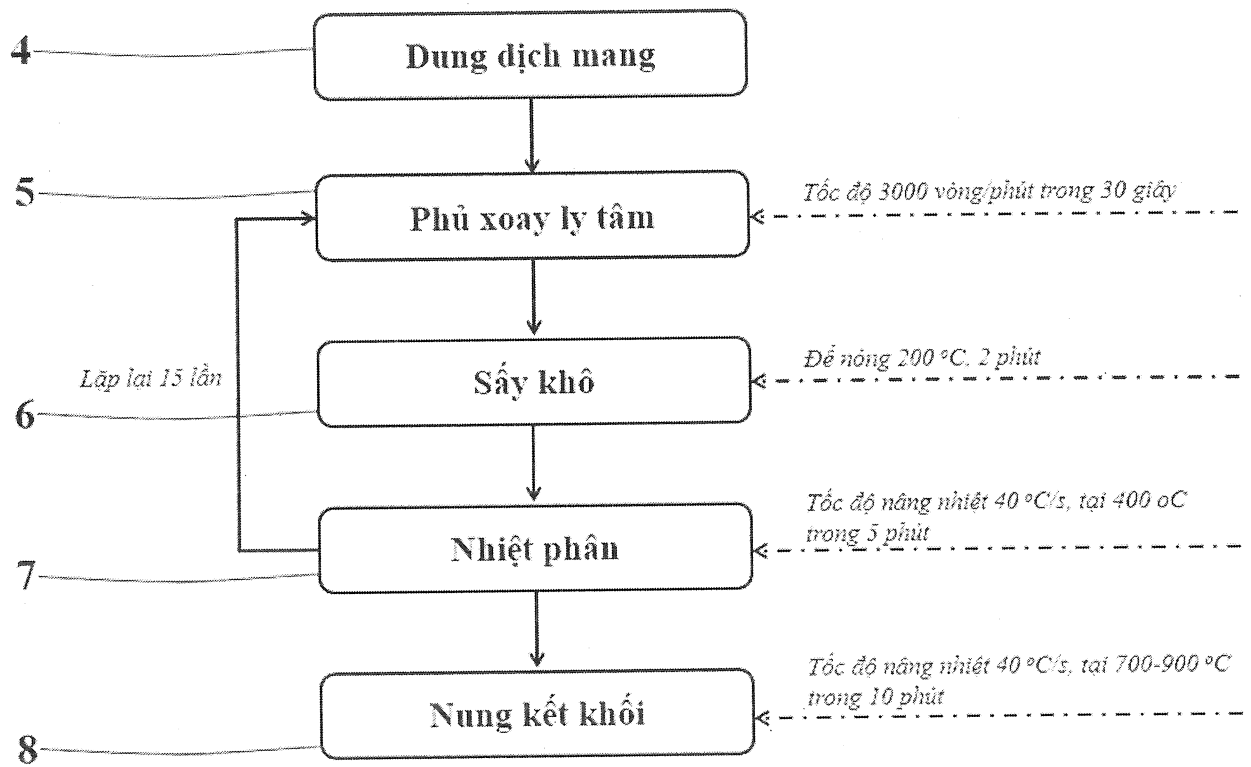
trong đó, cấu trúc của màng mỏng được thiết kế để tạo sự kết tinh tối đa, bằng cách xen kẽ một lớp vật liệu bằng 1 lớp dung dịch NaCl, lớp phủ NaCl cung cấp phần muối nóng chảy, có tác dụng thúc đẩy khuếch tán, và kết tinh vật liệu.



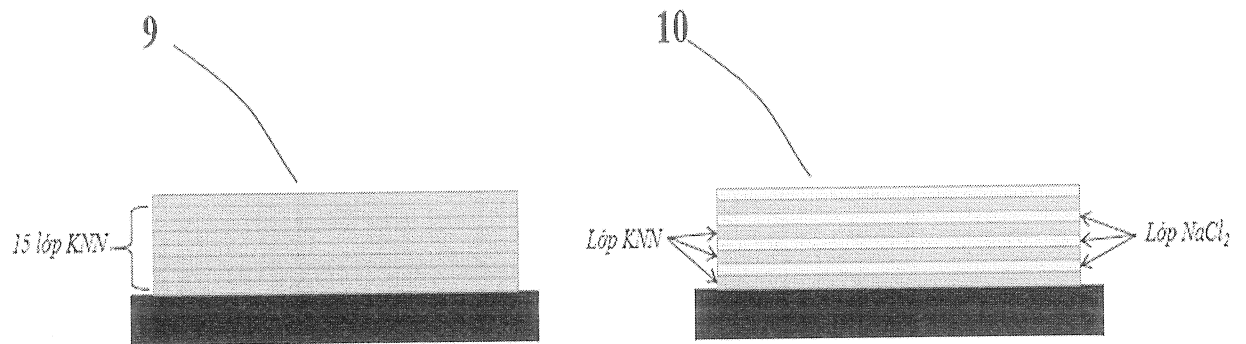
Hình 1



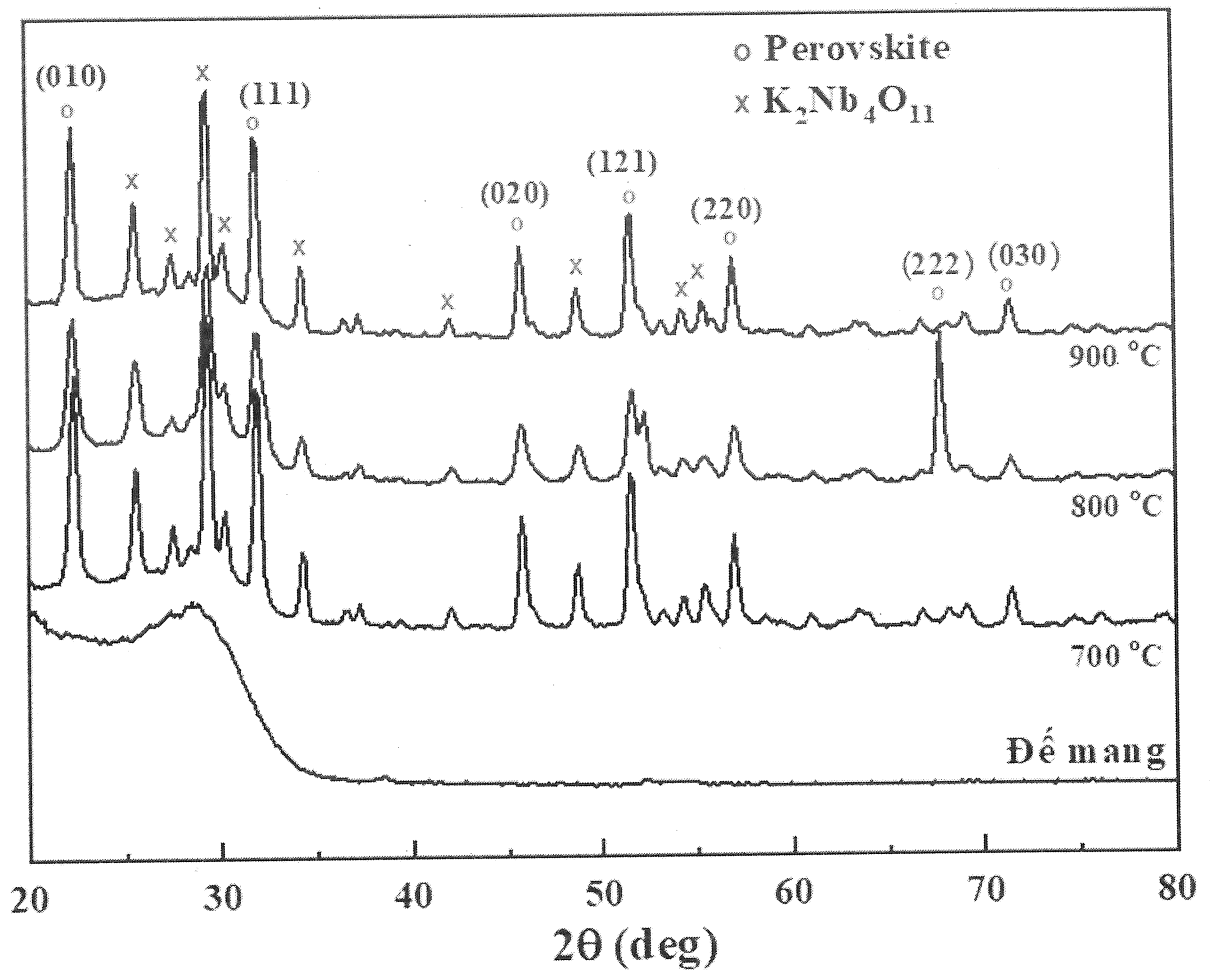
Hình 2



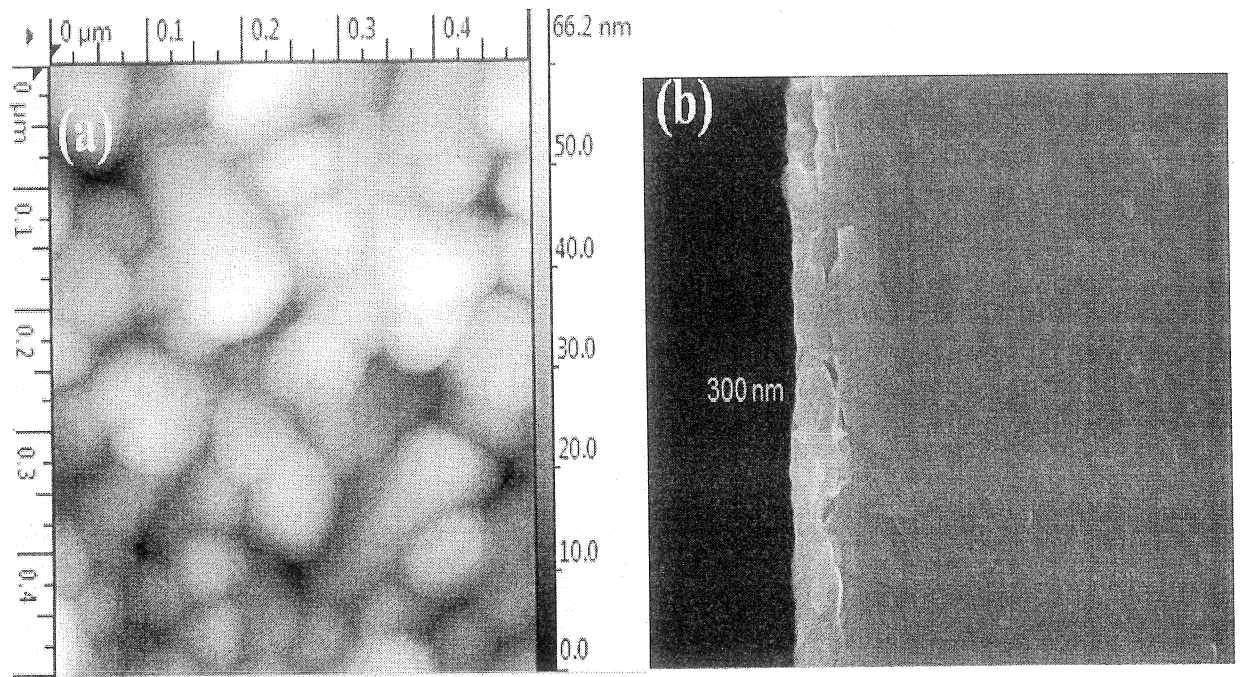
Hình 3



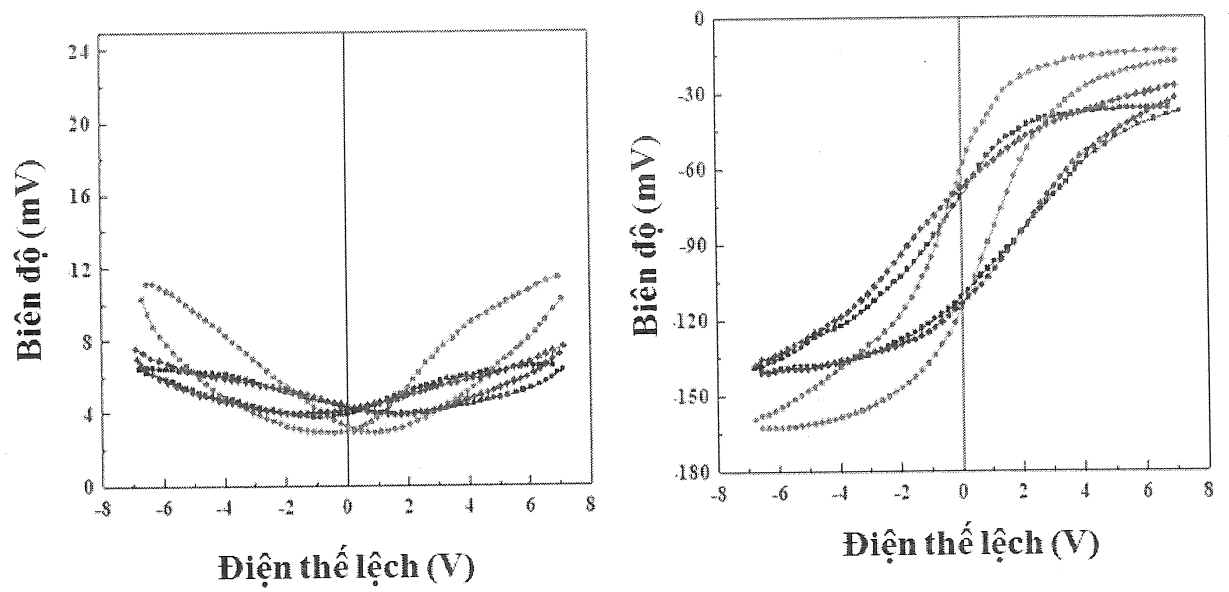
Hình 4



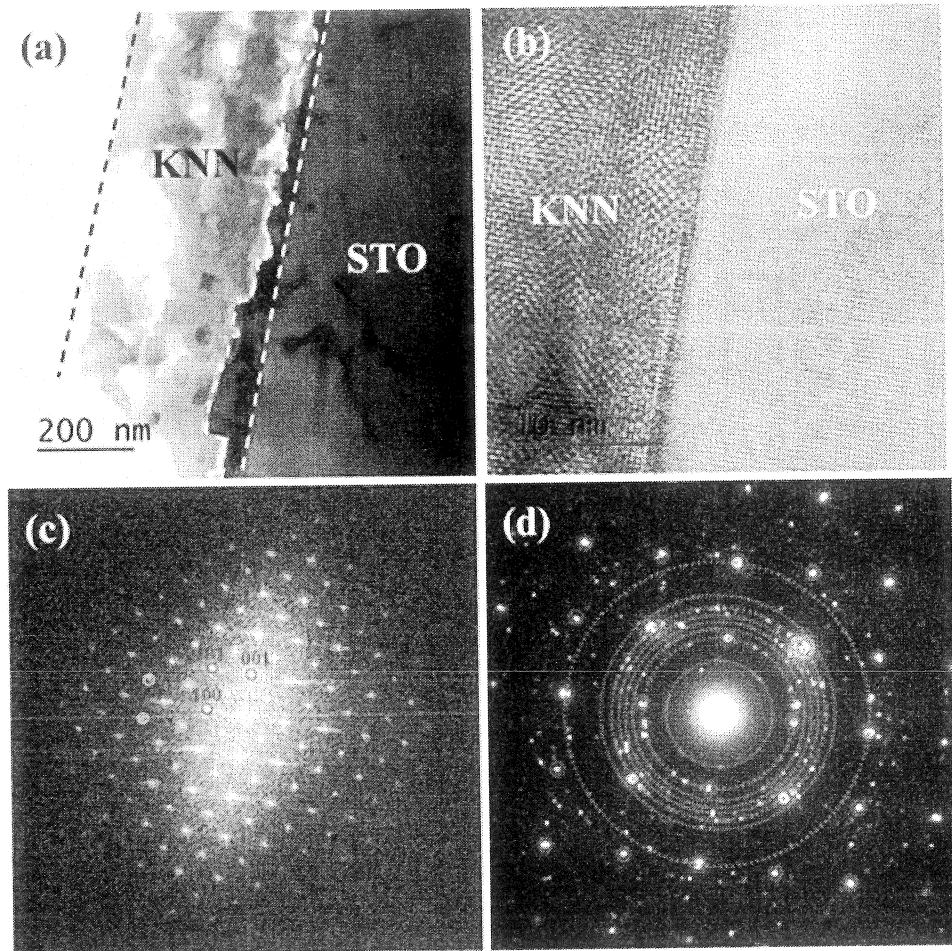
Hình 5



Hình 6



Hình 7

**Hình 8**