

Nghiên cứu tính chất điện và từ của màng mỏng Co-Al₂O₃ chế tạo bằng phương pháp phún xạ RF

Investigation of the Electrical and Magnetic Properties of Co-Al₂O₃ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering

Luu Văn Thiêm^{a*}
Luu Van Thiem^{a*}

Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Công nghiệp và Thương mại Hà Nội, Thuận An, Hà Nội, Việt Nam
Faculty of Basic Sciences, Hanoi Industrial and Trade University, Thuan An, Ha Noi, Viet Nam

(Ngày nhận bài: 13/3/2026, ngày phản biện xong: 29/6/2026, ngày chấp nhận đăng: 20/8/2026)

Tóm tắt

Màng mỏng Co-Al₂O₃ được chế tạo bằng phương pháp phún xạ catốt xoay chiều cao tần RF (Alcatel SM 400) trên đế thủy tinh. Sử dụng bia ghép được tổ hợp từ 4 miếng kim loại Co có hình dạng rẽ quạt với diện tích bằng nhau được ghép lên trên bề mặt bia Al₂O₃. Các thông số công nghệ trong quá trình chế tạo màng mỏng Co-Al₂O₃ bao gồm: công suất phún xạ 200 W, thời gian phún xạ 30 phút, áp suất khí Ar là 3.10⁻³ mBar và khoảng cách giữa bia phún xạ và đế mẫu được giữ cố định ở 60 mm. Kết quả thu được cho thấy màng mỏng Co-Al₂O₃ có chiều dày màng từ 27 nm đến 30 nm, có đặc trưng của tính chất nghịch từ và thể hiện cơ chế dẫn điện của vật liệu composite kim loại - điện môi.

Từ khóa: màng mỏng, tính chất từ, nghịch từ, chiều dày, phún xạ

Abstract

Co-Al₂O₃ thin films were fabricated on glass substrates by RF magnetron sputtering using an Alcatel SM 400 system. A composite target was prepared by attaching four fan-shaped cobalt (Co) metal pieces with equal surface areas onto the surface of an Al₂O₃ target. During the deposition process, the sputtering power was maintained at 200 W with a sputtering time of 30 min. Argon (Ar) was used as the working gas at a pressure of approximately 3×10⁻³ mbar. The target-substrate distance was fixed at 60 mm. The obtained Co-Al₂O₃ thin films exhibited a thickness in the range of 27-30 nm. The results indicate that the films show diamagnetic characteristics and reveal an electrical conduction mechanism typical of metal-insulator composite materials.

Keywords: thin films, magnetic properties, diamagnetism, film thickness, sputtering

1. Giới thiệu

Trong những năm qua, sự phát triển vượt bậc của lĩnh vực nghiên cứu công nghệ nano, công nghệ spintronics đã thúc đẩy mạnh mẽ các hoạt động nghiên cứu trong nước và quốc tế, đồng

thời làm gia tăng nhu cầu phát triển các loại vật liệu mới có khả năng di chuyển điện tử nhằm phục vụ những ứng dụng trong thực tiễn như các cảm biến từ, thiết bị, linh kiện điện tử thế hệ mới [2, 3, 5, 7]. Trong số các hệ vật liệu

^{*}Tác giả liên hệ: Luu Văn Thiêm
Email: thiemlv@hict.edu.vn

nanocomposite, màng mỏng nano được tổ hợp từ vật liệu từ tính như Co, Ni, Fe, hợp kim của chúng với vật liệu không từ tính là Al_2O_3 , SiO_2 , MgO ,... là hướng nghiên cứu có nhiều điểm sáng và tiềm năng [1, 4, 6, 8].

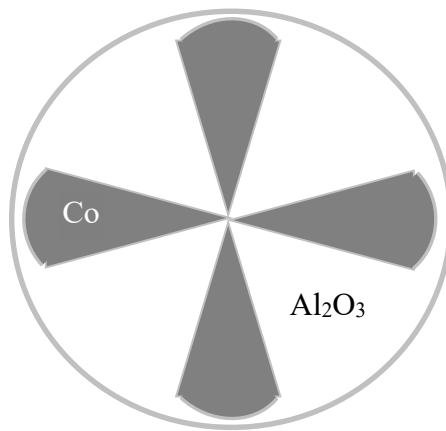
Mặc dù đã có nhiều bài báo công bố về vật liệu màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$, tuy nhiên trong mỗi điều kiện chế tạo màng mỏng khác nhau lại cho các tính chất, cấu trúc, thành phần nguyên tố hóa học, kích thước màng và tính chất từ là khác nhau. Do vậy, trong bài báo này chúng tôi tập

trung nghiên cứu quy trình chế tạo màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp phún xạ catốt xoay chiều cao tần RF, xác định chiều dày của màng mỏng, thành phần nguyên tố hóa học và tính chất từ của vật liệu.

2. Phương pháp chế tạo

2.1. Chuẩn bị vật liệu

Cắt 4 miếng kim loại từ tính Co thành hình rẻ quạt có hình dạng và kích thước giống nhau và được bố trí trên bề mặt của bia Al_2O_3 như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ minh họa bia ghép $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Theo tài liệu [9], đối với bia ghép tổ hợp, thành phần nguyên tố trong màng mỏng có thể ước tính sơ bộ dựa trên tỷ lệ diện tích bề mặt của các miếng Co được gắn trên bia Al_2O_3 . Trong đó, S_1 là diện tích phún xạ của kim loại sắt từ Co, γ_1 là hiệu suất phún xạ của kim loại Co, S_2 là diện tích phún xạ của Al_2O_3 và γ_2 là hiệu suất phún xạ của Al_2O_3 .

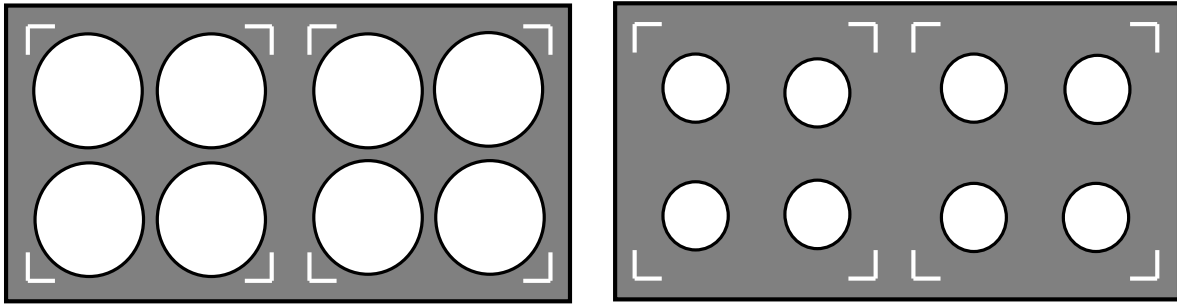
$$\frac{n_1}{n_{A2}} = \frac{S_1 \gamma_1}{S_2 \gamma_2} \quad (1)$$

Theo công thức (1) có thể đánh giá được định tính về tỷ lệ thành phần các nguyên tố trong màng mỏng và điều này có thể làm thay đổi tỷ lệ thành phần của màng dễ dàng hơn bằng việc thay

đổi số lượng các miếng kim loại sắt từ Co trên bia phù hợp với mục đích nghiên cứu. Ưu điểm của cách ghép tổ hợp này là rất dễ dàng thay đổi vật liệu cần phún xạ. Để biết được chính xác tỷ lệ thành phần nguyên tố có mặt trong màng mỏng thì cần phải phân tích thành phần nguyên tố có trong màng bằng phương pháp EDS.

2.2. Chế tạo mặt nạ

Để khảo sát được đặc trưng tính chất điện của màng mỏng dạng hạt với các hạt sắt từ Co nằm trong nền cách điện Al_2O_3 , nhóm nghiên cứu đã chế tạo bộ mặt nạ như mô tả trong Hình 2. Trong đó, bố trí hai lớp điện cực làm bằng vật liệu phi từ Ag kẹp giữa màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$.



Hình 2. Bộ mặt nạ làm điện cực Ag

Bộ mặt nạ này làm bằng hai miếng nhôm có bề mặt bằng phẳng, kích thước của chúng $52 \times 26 \times 1$ mm. Chúng được thiết kế trên máy tính và dùng tia laser cắt theo hình vành tròn của hai miếng nhôm (Al) như thấy trong Hình 2. Mặt nạ thứ nhất có đường kính của mỗi vành tròn là 10 mm, mặt nạ thứ hai là $\phi 2 = 6$ mm. Khi ghép hai mặt nạ này với nhau thì các vành tròn của mặt nạ thứ nhất và các vành tròn của mặt nạ thứ hai phải đồng tâm để khi phun xạ trên cùng một đế thủy tinh hai điện cực Ag này không chập vào nhau.

2.3. Công suất phun xạ

Công suất phun xạ là yếu tố cơ bản để đưa ra được các đặc trưng của màng, vì với mỗi công suất phun xạ ở các giá trị khác sẽ cho tính chất màng khác nhau. Vật liệu bia phun xạ Al_2O_3 là loại vật liệu rất khó phun xạ ở công suất thấp vì nhiệt độ nóng chảy của nó rất cao khoảng 2015°C , hơn nữa Al_2O_3 là vật liệu cách điện cho nên muốn phun xạ được loại vật liệu này cần phải sử dụng hệ phun xạ xoay chiều cao tần RF. Trong nghiên cứu này, chúng tôi lựa chọn công suất phun xạ 200 W, thời gian phun xạ 30 phút, áp suất khí Ar là $3 \cdot 10^{-3}$ mBar và khoảng cách cố định giữa bia và đế mẫu là 60 mm.

2.4. Xử lý đế mẫu và các vật liệu bia

Các màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ đều được lắng đọng trên đế thủy tinh. Kích thước của mỗi tấm thủy tinh là 22×22 mm. Lý do lựa chọn đế thủy tinh, do thủy tinh là vật liệu vô định hình, không có tính chất từ, không dẫn điện cho nên khi khảo sát tính chất từ, tính chất điện đều do sự đóng góp của các vật liệu đã phun xạ Co và bia Al_2O_3 .

Để chế tạo được màng có tính chất tốt, trước khi phun xạ cần phải thông qua quá trình xử lý làm sạch để thủy tinh bằng cách dùng nước axetol hoặc cồn rửa sạch bề mặt cần phun xạ.

Các vật liệu bia cần phun xạ phải đảm bảo được độ sạch tối ưu nhất 99,999% trước khi đưa bia đặt trên catốt trong buồng phun xạ. Muốn cho mẫu màng không bị ảnh hưởng bởi các nguyên tố lạ, trước khi bắt đầu phun xạ lên đế thủy tinh phải làm sạch bia ghép bằng cách dùng lắp chắn không cho các nguyên tử của bia ghép phun xạ lên đế thủy tinh trong khoảng thời gian từ (20-30) phút, sau đó mở lắp chắn giữa đế mẫu và bề mặt bia. Lúc này bắt đầu tính thời gian phun xạ.

2.5. Các phương pháp đo và phân tích mẫu

Thành phần hóa học của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được nghiên cứu bằng phổ tán xạ năng lượng (EDS). Xác định chiều dày màng mỏng này là phương pháp vạch mũi dò. Đo tính chất từ của màng mỏng bằng từ kế mẫu rung ở nhiệt độ phòng.

3. Kết quả và thảo luận

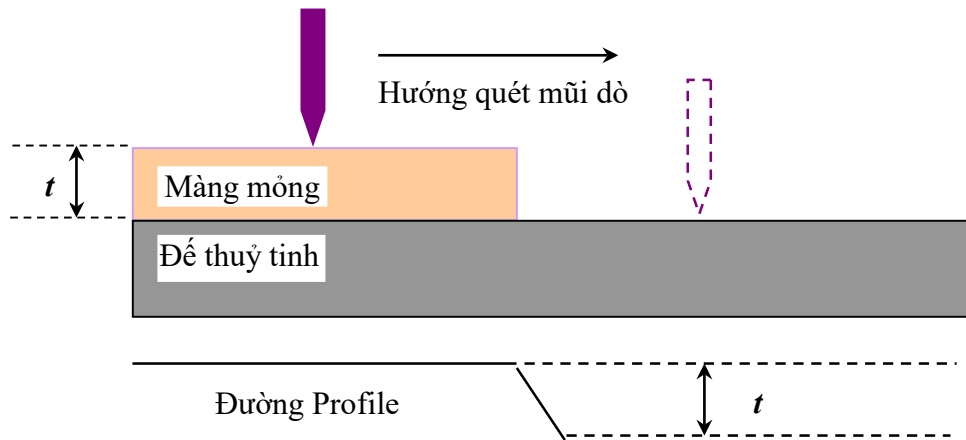
3.1. Khảo sát chiều dày của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Xác định chiều dày màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp vạch mũi dò. Trước khi xác định chiều dày của màng, phải tạo ra bậc giữa đế mẫu và màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ đã được phun xạ như trình bày trong Hình 3.

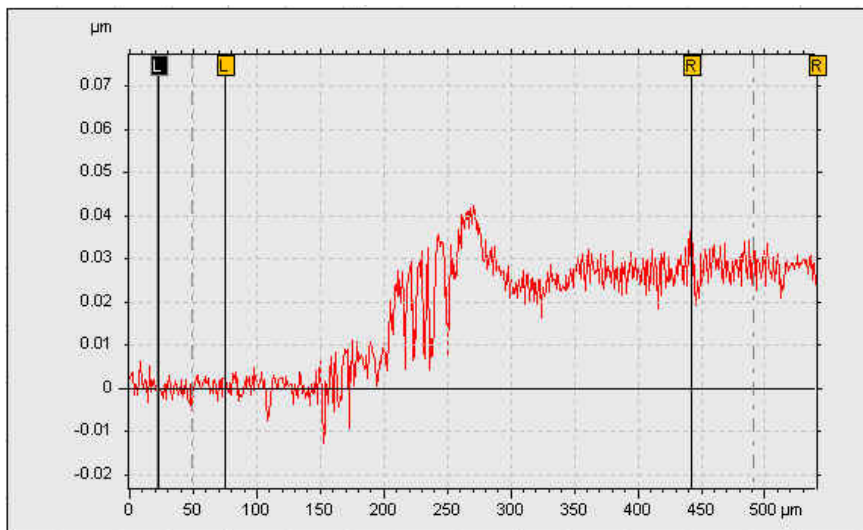
Bậc giữa đế mẫu và màng mỏng được tạo ra bằng cách dán lên trên bề mặt tấm thủy tinh một

dải băng dính chân không nhỏ trước khi thực hiện quá trình phún xạ màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$. Sau khi phún xạ màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ xong, lấy mẫu ra và bóc

bỏ dải băng dính chân không đã dán trên màng, dùng dao kim cương cắt mẫu thành các miếng có kích thước 1×1 cm.



Hình 3. Mô hình xác định chiều dày màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp vạch mũi dò

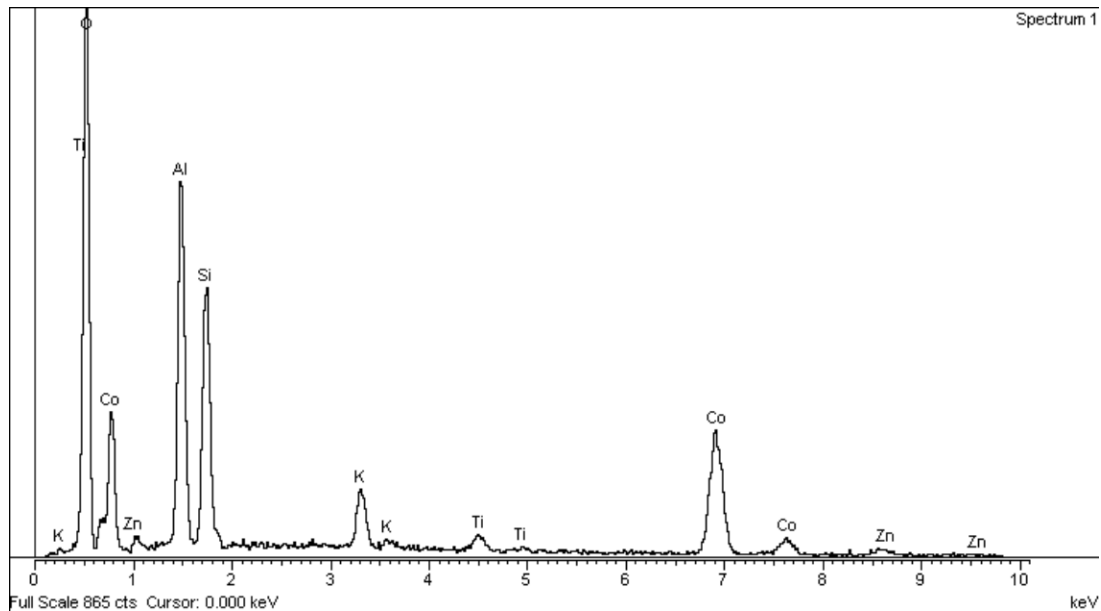


Hình 4. Đo chiều dày của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp vạch mũi dò

Hình 4 trình bày đặc trưng về độ nhám bề mặt màng và chiều dày của màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được đo bằng phương pháp vạch mũi dò trên thiết bị đo Alpha-Step. Theo Hình 4, có thể nhận thấy rằng độ nhấp mô của bề mặt màng mỏng khoảng 0,7 đến 0,9 nm. Điều này thể hiện bề mặt màng mỏng được chế tạo bằng phương pháp phún xạ RF có bề mặt màng nhẵn, mật độ liên kết giữa các nguyên tử trong màng có tính đồng nhất. Kết quả đo chiều dày của màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ với thời gian phún xạ 30 phút cho thấy, màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ có độ dày vào khoảng từ 27 - 30 nm. Qua đây, có thể xác định được tốc độ lắng đọng của màng trên đế thủy tinh khoảng 0,016 nm/s.

3.2. Thành phần của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Hình 5 chỉ ra rằng thành phần nguyên tố hóa học của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được đo bằng phổ tán xạ năng lượng (EDS). Có thể quan sát thấy rất rõ 3 đỉnh phổ năng lượng của các nguyên tố Co, Al và O. Điều này cho thấy màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được chế tạo thành công bằng phương pháp phún xạ catốt xoay chiều cao tần RF trên thiết bị (Alcatel SM 400). Còn các đỉnh phổ năng lượng của nguyên tố Si, Ti, K, Zn xuất hiện trong giản đồ EDS là do các thành phần nguyên tố hóa học của đế thủy tinh.



Hình 5. Giản đồ EDS màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được lắng đọng trên đế thủy tinh

Kết quả phân tích phổ tán xạ năng lượng (EDS) cho thấy tỷ lệ phần trăm nguyên tử của các nguyên tố trong màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ như sau: Co (8,0%), Al (12,0%) và O (80%).

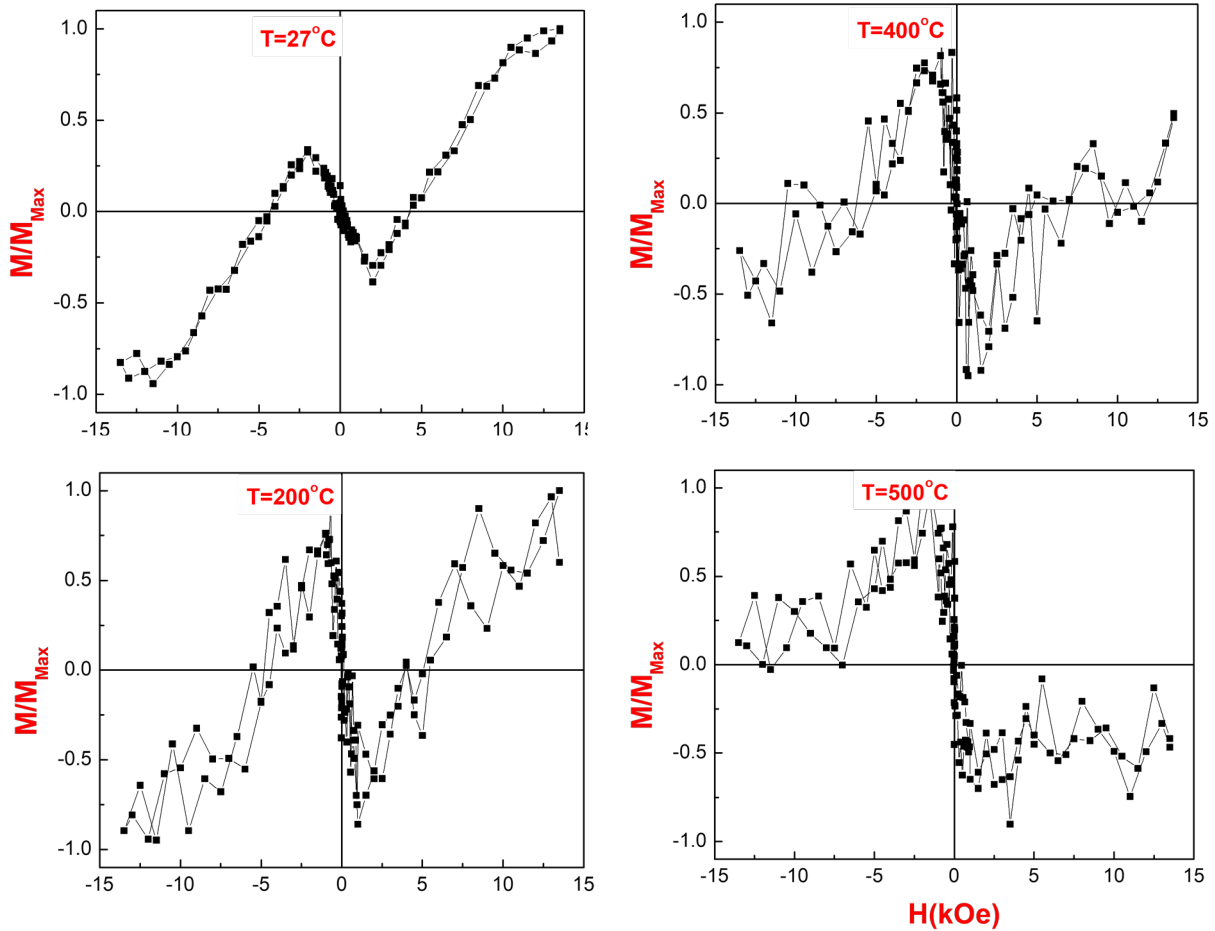
3.3. Khảo sát tính chất từ của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Để khảo sát tính chất từ của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$, mẫu sau khi chế tạo xong được cắt thành các miếng có kích thước $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ và thực hiện phép đo từ kế mẫu rung (VSM). Hình 6 trình bày đường cong từ hóa của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ ở nhiệt độ ủ khác nhau. Trong Hình 6, hình dáng các đường cong từ hóa với giá trị nhiệt độ ủ khác nhau đều thay đổi, ban đầu màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ chưa được ủ nhiệt, dạng đường cong từ hóa thể hiện chủ yếu tính chất của đế thủy tinh với nền Al_2O_3 không từ tính và có đặc trưng của tính nghịch từ. Khi nhiệt độ ủ tăng lên từ 200°C đến 400°C , dạng đường cong từ hóa có xu hướng

thay đổi rõ ràng so với mẫu chưa ủ nhiệt. Khi nhiệt độ ủ lên đến $T=500^\circ\text{C}$, phần từ độ bên trái của đường cong từ hóa nằm phía trên và từ độ của màng mỏng là dương trong khi đó ở bên phải của đường cong từ hóa từ độ chuyển xuống phía dưới và có từ độ âm. Kết quả nhận được của đường cong từ hóa cho thấy đặc trưng tính chất của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ có tính nghịch từ.

3.4. Khảo sát tính chất điện của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Hình 7a cho thấy đường đặc trưng I-U của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ có mối quan hệ không tuyến tính rõ rệt giữa dòng điện và điện áp đặt vào. Điều này thể hiện cơ chế dẫn điện của vật liệu composite kim loại sắt từ (Co) và điện môi (Al_2O_3). Ở điện áp thấp, dòng điện duy trì ở mức thấp, cho thấy sự hiện diện của các rào cản năng lượng tại các vùng tiếp giáp giữa các hạt Co và nền Al_2O_3 .



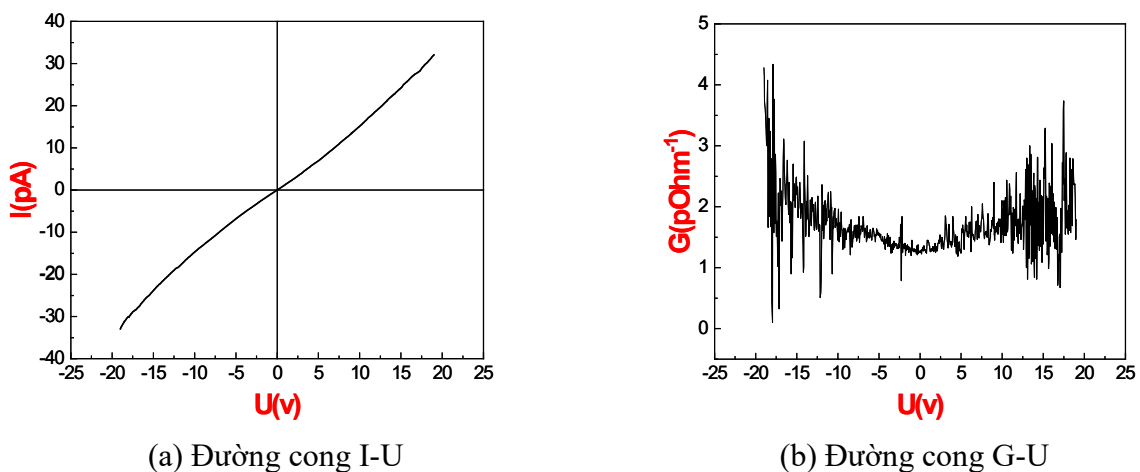
Hình 6. Đường cong từ hoá của màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ ở nhiệt độ ủ khác nhau

Tuy nhiên nhiệt độ ủ tăng lên từ 400°C và 500°C đã làm cho các hạt sắt từ Co trong màng được sắp xếp lại có trật tự hơn, các hạt có kích thước trung bình lớn hơn, bề mặt màng có tính đồng đều, giảm độ nhám bề mặt màng nên đã tạo điều kiện cho từ độ của mẫu màng thay

đổi về hình dạng và về dấu khi có tác dụng ở từ trường lớn.

3.5. Tính chất điện của màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Kết quả khảo sát đặc trưng $I-V$ và $G-V$ của màng mỏng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ được trình bày trong hình 3.5.



(a) Đường cong $I-U$

(b) Đường cong $G-U$

Hình 7. Đồ thị biểu diễn đường đặc trưng $I-U$ và $G-U$ của màng $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$

Khi điện áp tăng, dòng điện gia tăng rõ rệt và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình truyền điện tích giữa các miền dẫn. Sự không tuyến tính của đường cong I-U cho thấy pha sắt từ Co chưa hình thành mạng dẫn liên tục và quá trình vận chuyển điện tích chủ yếu diễn ra thông qua các kênh truyền gián tiếp giữa các hạt kim loại sắt từ Co phân tán. Kết quả này cho thấy vai trò chi phối của cấu trúc vi mô và khoảng cách giữa các hạt sắt từ Co trong việc quyết định đặc tính vận chuyển điện của màng. Hình 7b cho thấy đường đặc trưng G-U có dạng parabol với các đỉnh nhọn xuất hiện theo chu kỳ, kèm theo các dao động cục bộ của độ dẫn, đặc biệt ở vùng điện áp lớn. Hiện tượng này có thể liên quan đến sự phân bố không đồng đều về kích thước hạt Co, khoảng cách giữa các hạt cũng như sự hiện diện của các khuyết tật trong màng Co-Al₂O₃. Tỷ lệ thành phần nguyên tử Co thấp làm cho độ dẫn G của hệ màng này rất nhỏ, tức điện trở lớn dẫn đến sự vận chuyển điện tích trong các hạt Co bị hạn chế rất nhiều.

4. Kết luận

Đã chế tạo thành công vật liệu màng mỏng Co-Al₂O₃ với chiều dày khoảng 27-20 nm bằng phương pháp phún xạ catốt xoay chiều cao tần RF. Kết quả phân tích thành phần nguyên tố hóa học của màng mỏng có tỷ lệ phần trăm nguyên tử lần lượt là Co (8%), Al (12%) và O (80%). Tính chất từ nhận được từ phép đo đường cong từ hóa cho thấy màng mỏng Co-Al₂O₃ có tính chất nghịch từ. Đường đặc trưng I-U và G-U của màng có dạng không tuyến tính và thể hiện cơ chế dẫn điện của vật liệu composite kim loại -

điện môi. Pha sắt từ chưa hình thành mạng dẫn liên tục và quá trình vận chuyển điện tích chủ yếu diễn ra thông qua các kênh truyền gián tiếp giữa các hạt kim loại sắt từ Co phân tán.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gálvez, A.M., Sort, J., Pellicer, E., Suriñach, S., Baró, M.D. (2017). "Thermite synthesis, structural and magnetic properties of Co-Al₂O₃ nanocomposite films". *Journal of Alloys and Compounds*. (724), 820-826.
- [2] Kajale, S.N., Hanna, J., Jang, K., Sarkar, D. (2024). "Two-dimensional magnetic materials for spintronic applications". *Nano Research*. (17), 743-762.
- [3] Samanta, K., Jiang, Y.Y., Paudel, T.R., Shao, D.F., Tsymbal, E.Y. (2024). "Tunneling magnetoresistance in magnetic tunnel junctions with a single ferromagnetic electrode". *Physical Review B* (109), 174407.
- [4] Petroff, F., Vaurès, A., Maurice, J.L., Fettar, F. (2002). "Magnetic properties of Co clusters embedded in Al₂O₃ matrices prepared by sequential sputtering". *Journal of Applied Physics*. (91), 7145-7147.
- [5] Li, Q.Q., Duan, Z.F., Liu, W.W., Yang, R., Li, B., Chen, K.Q. (2025). "Two-dimensional lateral magnetic tunnel junction with ultrahigh tunneling magnetoresistance". *Nano Research*. (18), 94907188.
- [6] Tuan, N.A., Dai, N.T., Thai, D.V. (2026). "Non-stoichiometric Co-Al-O nanocomposite films deposited by RF-sputtering of the grafted Co-Al₂O₃ target". *Vacuum*. (244), 114875.
- [7] Tuan, N.A., Tue, N.A., Khanh, H.Q. (2021). "Preparation and electrical characterization of MES-type magneto-dielectric system based on Co-Al-O nanogranular films". *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. (32), 15643-15652.
- [8] Yeo, W.S., Yaacob, I.I. (2006). "Mechanical alloying of Al₂O₃-Co powders mixture". *Key Engineering Materials*. (306-308), 1109-1114.
- [9] Đức, N.H. (2003). *Vật liệu liên kim loại*. Hà Nội: Nxb Đại học Quốc gia.