

Nghiên cứu tổng hợp dây nano coban có dị hướng hình dạng và độ kết tinh cao

Đặng Thị Thúy Ngân¹, Nguyễn Huy Hoàng¹, Nguyễn Xuân Trường^{1,*}, Vương Thị Kim Oanh¹, Phạm Hồng Nam¹, Nguyễn Hoài Nam¹, Nguyễn Thị Nguyệt², Nguyễn Văn Vương¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Do sở hữu từ độ bão hòa M_s cao, coban (Co) là một trong những nguyên tố kim loại chuyển tiếp 3d quan trọng thường được sử dụng để phát triển vật liệu từ mềm. Với M_s cao, Co có hy vọng trở thành vật liệu từ cứng lý tưởng nếu được chế tạo ở dạng có tính dị hướng hình học cao. Bài báo này trình bày kết quả của hướng nghiên cứu tổng hợp Co ở dạng dây từ phản ứng khử muối cacboxylat của Co(II) với sự có mặt của chất xúc tác $RuCl_3$ bằng phương pháp hóa nhiệt hòa tan khi thay đổi thời gian dung nhiệt. Cấu trúc, hình thái, tính chất của vật liệu đã được nghiên cứu bằng phổ nhiễu xạ tia X (XRD), kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FESEM), phép đo từ kế mẫu rung (VSM). Kết quả nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ và thời gian dung nhiệt lên hình thái và sự kết tinh của dây nano Co. Các dây nano Co chế tạo được có cấu trúc lục giác xếp chặt (HCP). Từ độ bão hòa M_s của dây nano cao nhất đạt được 166,9 emu/g khi được tổng hợp tại 225°C trong 20 giờ. Với điều kiện tổng hợp là 175°C trong 20 giờ, dây Co nano thu được có phẩm chất từ cứng tốt nhất với từ độ bão hòa và lực kháng từ tương ứng là 164,3 emu/g và 2,97 kOe. Từ những kết quả đạt được, trong giai đoạn tiếp theo, vật liệu đã tổng hợp sẽ được ứng dụng cho phát triển nam châm vĩnh cửu không chứa đất hiếm.

Từ khoá: dây nano coban, dung nhiệt, dị hướng hình dạng, vật liệu từ

¹Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18, Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Công nghệ hóa học và môi trường, Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật Hưng Yên, Dân Tiến, Khoái Châu, Hưng Yên, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Xuân Trường, Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18, Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Email: truongnx@ims.vast.ac.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 16-4-2021
- Ngày chấp nhận: 01-11-2021
- Ngày đăng: 26-12-2021

DOI: 10.32508/stdjns.v5i4.1055



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



MỞ ĐẦU

Nam châm vĩnh cửu đóng vai trò quan trọng trong công nghiệp chế tạo, sản xuất các thiết bị công nghiệp cũng như các thiết bị gia đình. Ý tưởng thông thường để phát triển nam châm vĩnh cửu là dựa trên hệ vật liệu chứa đất hiếm có tính dị hướng tinh thể từ cao¹. Tuy nhiên hệ này thường có nhiệt độ Curie thấp hơn so với kim loại chuyển tiếp 3d sắt từ như Fe, Co và hợp kim của chúng²⁻⁴. Hơn nữa, nguồn cung cấp đất hiếm hiện nay đang phụ thuộc rất lớn vào Trung Quốc. Do đó, sự chế tạo nam châm vĩnh cửu chứa ít hoặc thậm chí không chứa nguyên tố đất hiếm là thực sự cần thiết.

Nhóm các nguyên tố chuyển tiếp 3d và hợp kim của chúng có độ từ hóa bão hòa M_s cao, nhiệt độ Curie T_c cao do tương tác trao đổi mạnh mẽ của các electron 3d⁵ nhưng năng lượng dị hướng tinh thể E_a nhỏ, và do đó, lực kháng từ iH_c thấp hơn nhiều so với nguyên tố đất hiếm. Tuy nhiên, các vật liệu này sẽ trở thành vật liệu từ cứng lý tưởng nếu giá trị iH_c được nâng cao kết hợp với giá trị M_s cao vốn có sẽ tạo được tích năng lượng từ $(BH)_{max}$ cao. Sự gia tăng iH_c được mong đợi khi các vật liệu này được chế tạo ở dạng dây để dị hướng hình học đủ lớn, khắc phục dị hướng tinh thể nhỏ⁵.

Vật liệu coban - một trong những kim loại sắt từ tự nhiên đã được sử dụng như một thành phần thiết yếu cho các ngành công nghiệp phát triển nhanh nhất như điện tử và ô tô⁶. Co sở hữu T_c rất cao 1388 K^{7,8}, giá trị mômen từ tính cỡ 1,7-1,75 μ_B cho mỗi nguyên tử. Bên cạnh đó, Co có tương tác spin-quỹ đạo mạnh hơn sắt do một phần mômen quỹ đạo 3d bị chiếm giữ với mômen động lượng $l = 2$ ⁸. Các nguyên tử Co có thể tồn tại ở 3 pha bao gồm pha lục giác xếp chặt (hcp), lập phương tâm mặt (fcc) hoặc pha ϵ (cấu trúc lập phương đơn giản kiểu β -mangan) với các tính chất từ riêng biệt^{9,10}. Thông thường, vật liệu Co thuộc loại từ mềm, tuy nhiên Co ở dạng dây với tỷ số chiều dài L trên đường kính D lớn sẽ có tính từ cứng do có trường kháng từ lớn tạo bởi dị hướng hình học của dây. Khác với dị hướng tinh thể của MnBi hay NdFeB liên quan đến tương tác spin-quỹ đạo của các nguyên tử trong ô cơ sở, tính dị hướng hình học này liên quan đến tương tác từ tính phụ thuộc vào hình dạng của dây. Để tổng hợp dây Co với tính dị hướng hình dạng cao (tỷ số chiều dài L trên đường kính D lớn), một vài phương pháp đã được nghiên cứu sử dụng, thí dụ phương pháp phân hủy nhiệt¹¹, phương pháp tổng hợp hóa học^{9,12-15}. Đặc biệt, phương pháp tổng hợp hóa học được quan tâm chú ý vì tính đơn giản mà lại cho độ kết tinh cao. Trong phương pháp

Trích dẫn bài báo này: Ngân D T T, Hoàng N H, Trường N X, Oanh V T K, Nam P H, Nam N H, Nguyệt N T, Vương N V. **Nghiên cứu tổng hợp dây nano coban có dị hướng hình dạng và độ kết tinh cao.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(4):1705-1712.

tổng hợp hóa học, dung môi hữu cơ thường được ưu tiên hơn dung dịch có nước vì kim loại sắt từ có xu hướng bị oxy hóa trong nước. Do độ phân cực của dung môi cần thích ứng với tiền chất kim loại được sử dụng nên dung môi không phân cực, chẳng hạn như toluen, mesitylen hoặc ete thường được sử dụng trong tổng hợp cơ kim^{16,17}, trong khi các dung môi phân cực, như polyol, thường được ưu tiên với các phức chất vô cơ và các muối kim loại^{13,18}.

Trong bài báo này, dây nano Co được tổng hợp theo phương pháp hai bước trong dung dịch 1,2-butanediol, sử dụng xúc tác RuCl_3 , bằng quá trình hóa nhiệt hòa tan với sự thay đổi yếu tố nhiệt độ và thời gian dung nhiệt. Hình thái cấu trúc và đặc trưng từ tính của dây Co thu nhận được cho thấy chúng có tính dị hướng hình học đủ lớn để cải thiện lực kháng từ iH_c để có thể ứng dụng chế tạo nam châm vĩnh cửu nền nano Co dây.

HÓA CHẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP

Hóa chất

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu: muối cobalt (II) chloride hexahydrate - $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99,9%), muối rutheni (III) chloride - RuCl_3 (45-55% Ru), 1,2-butanediol - $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ (98%), methanol CH_3OH (> 99,9%), NaOH (97%), lauric acid $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$ (> 98%), toluene $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ (> 99,9%), xylen C_8H_{10} , Sigma-Aldrich và nước khử ion.

Phương pháp thực nghiệm

Dây nano Co được tổng hợp bằng phương pháp hóa - nhiệt hòa tan theo 2 bước: (i) Tổng hợp muối cobalt (II) laurate bằng phản ứng trao đổi trong dung dịch và (ii) Tổng hợp dây nano Co nhờ phản ứng khử muối cobalt (II) laurate trong 1,2-butanediol.

Tổng hợp muối Cobalt(II) laurate

Đầu tiên, 8,8 g lauric acid được thêm từ từ vào 40 ml dung dịch NaOH 1M, khuấy ở 60°C cho đến khi tạo dung dịch trong suốt. Thêm từ từ từng giọt 10 ml dung dịch cobalt (II) chloride hexahydrate 2M, xuất hiện kết tủa có màu tím hồng. Tiếp tục khuấy hỗn hợp trong 30 phút, giữ nhiệt độ phản ứng trong suốt quá trình thí nghiệm ở 60°C . Sau khi phản ứng kết thúc, thêm 45 ml nước khử ion để giảm nhiệt độ phản ứng. Khi hỗn hợp sản phẩm đạt đến nhiệt độ phòng, tiến hành ly tâm (15 phút/lần, 5800 vòng/phút) để thu chất rắn màu tím hồng, rửa 3 lần với methanol. Chất rắn sau khi rửa được làm khô qua đêm ở 60°C trong tủ sấy thường.

Tổng hợp dây nano cobalt

2,056 g muối cobalt (II) laurate thu được được cho vào 56,25 mL dung dịch của NaOH và 0,075 M trong dung môi 1,2-butandiol, có kết hợp khuấy từ. Thêm 0,022 g muối rutheni (III) chloride vào dung dịch phản ứng. Tiếp tục khuấy hỗn hợp 30 phút, giữ nhiệt độ phản ứng trong suốt quá trình thí nghiệm ở 80°C . Các mẫu sản phẩm dung dịch màu nâu đen được rung siêu âm trong vòng 30 phút. Hỗn hợp dung dịch sản phẩm được chuyển vào bình teflon đặt trong bình dung nhiệt và được dung nhiệt tại nhiệt độ trong khoảng $125 - 225^\circ\text{C}$ trong thời gian 12, 16, 20 và 24 giờ. Khi quá trình dung nhiệt kết thúc, dung dịch sau phản ứng trong bình teflon chuyển màu nâu đen và có kết tủa. Tiến hành ly tâm, rửa ba lần với toluen để thu được dây nano Co. Sản phẩm được bảo quản trong dung dịch xylen để tránh sự oxy hóa. Trong giai đoạn này, NaOH được sử dụng kết hợp với 1,2-butandiol có vai trò là tác nhân khử, đồng thời là môi trường ổn định cho sự hình thành sản phẩm của các giai đoạn trung gian thay vì sử dụng hexadecylamine (HAD) như một số công trình^{9,14,19} đã công bố.

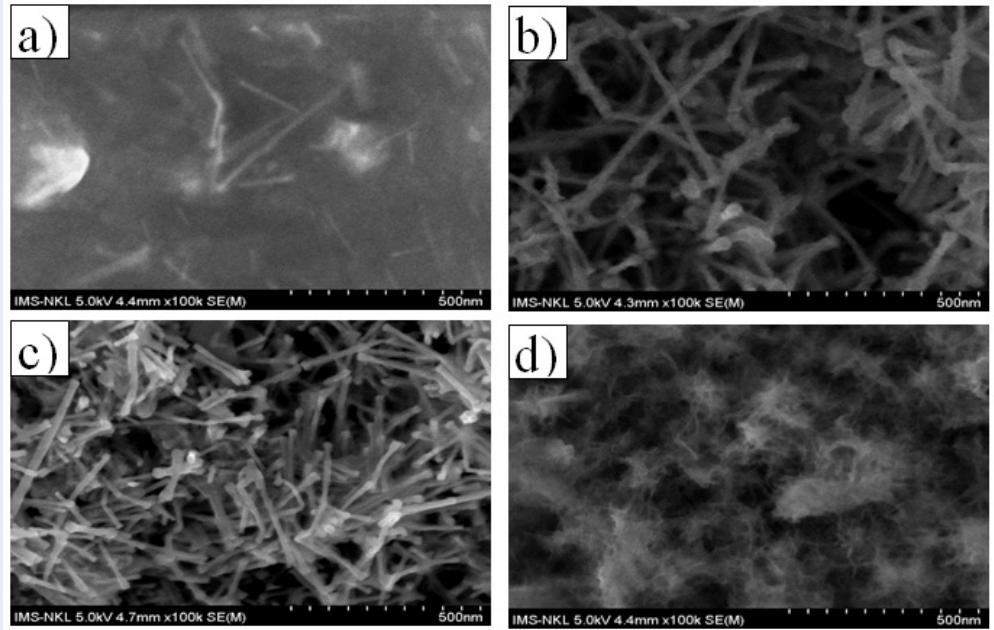
Các phương pháp nghiên cứu

Hình thái học của mẫu chế tạo được nghiên cứu dùng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường FESEM - Hitachi-S4800. Các thông số chi tiết của pha tinh thể hình thành trong mẫu được xác định dùng giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) đo bằng máy nhiễu xạ kế D8 Advance Bruker với nguồn phát tia Cu-K α . Tính chất từ của dây nano coban được xác định từ các vòng từ trễ đo bằng hệ đo từ kế mẫu rung (VSM) MicroSense.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Khảo sát tổng hợp dây nano Co trong khoảng nhiệt độ $125 - 225^\circ\text{C}$ trong 20 giờ cho thấy ảnh hưởng mạnh của nhiệt độ dung nhiệt lên sự hình thành dây nano Co. Quan sát ảnh FESEM trình bày trên Hình 1a cho thấy, ở 125°C chỉ có một lượng rất ít dây nano Co được hình thành. Khi tăng nhiệt độ lên 150°C , các dây Co được hình thành nhanh hơn, tuy nhiên hai đầu biên của dây bị phình to, các dây có kết dính tạo các khung xương, đường kính hai đầu khoảng 30 nm (Hình 1b). Với nhiệt độ 175°C , các dây hình thành có đường biên rõ ràng, chiều dài khoảng 300-350 nm, đường kính khoảng 25-30 nm (Hình 1c). Khi nhiệt độ dung nhiệt cao lên đến 225°C , các dây nano Co được hình thành với đường kính rất nhỏ và các dây bị dính vào nhau (Hình 1d).

Các đặc trưng từ tính của các dây Co đã chế tạo được tổng kết trong Bảng 1. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ dung nhiệt lên hình thái học, qua đó ảnh



Hình 1: Ảnh FESEM của các dây nano Co được tổng hợp trong 20 giờ ở các nhiệt độ khác nhau: a) 125°C; b) 150°C; c) 175°C; d) 200°C.

hường trực tiếp lên dị hướng hình học, lực kháng từ iH_c và độ kết tinh của chúng. Từ độ bão hòa của các mẫu tăng theo nhiệt độ dung nhiệt, cao nhất đạt 166,9 emu/g (bằng 99,35% từ độ $M_s = 168$ emu/g của mẫu khối¹⁴) ở nhiệt độ 225°C. Giá trị của iH_c phụ thuộc rõ rệt vào hình dạng của mẫu, tăng theo nhiệt độ dung nhiệt, đạt cực đại và giảm sau đó, giá trị iH_c cao nhất đạt 3,16 kOe đối với mẫu tổng hợp tại 150°C.

Để đánh giá ảnh hưởng của thời gian đến sự hình thành dây Co, các mẫu sau tổng hợp được nghiên cứu thành phần pha bằng đo phổ nhiễu xạ tia X. Các kết quả được trình bày trên Hình 2.

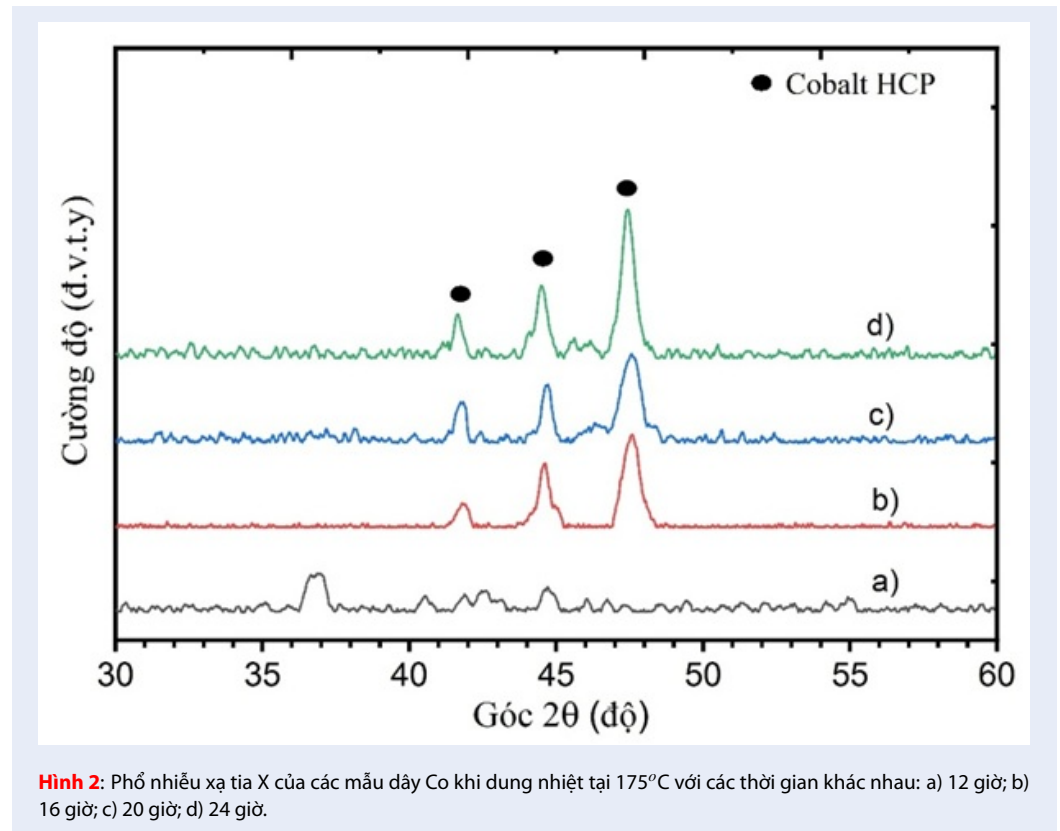
Quan sát kết quả phổ XRD trên Hình 2 ta thấy, đã có đỉnh phổ đặc trưng tại góc nhiễu xạ $2\theta = 44,52^\circ$ cho vật liệu Co được dung nhiệt tại 175°C trong 12 giờ (Hình 2a). Tuy nhiên cường độ các đỉnh của hcp-Co rất thấp, bên cạnh đó, cũng xuất hiện đỉnh phổ tại vị trí góc $2\theta = 36,86^\circ$ và $40,52^\circ$, các đỉnh này được cho là của $\text{Co}(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_2$ và pha rắn trung gian^{12,20}. Khi tăng thời gian dung nhiệt lên khoảng từ 16 giờ đến 24 giờ, đỉnh nhiễu xạ có cường độ cao và sắc nét hơn tương ứng với việc các tinh thể được hình thành tốt hơn (Hình 2b-d). Với thời gian dung nhiệt 16 giờ (Hình 2b), đã có sự xuất hiện các đỉnh phổ đặc trưng của hệ vật liệu Co ở góc 2θ lần lượt là 41,73, 44,52 và 47,42° tương ứng với đỉnh nhiễu xạ từ các mặt tinh thể (100), (002) và (101) của cấu trúc tinh thể hcp (theo thẻ phổ chuẩn 96-900-8493). Khi

tăng thời gian dung nhiệt lên 20 giờ, cường độ và độ rộng vạch phổ của 3 đỉnh đặc trưng của hcp-Co tương tự như mẫu 16 giờ. Khi tăng lên đến 24 giờ đỉnh phổ (101) có cường độ cao rõ rệt và độ rộng hẹp. Hình 2 cũng cho thấy các dây Co tổng hợp được có độ kết tinh cao do nền nhiễu xạ rõ và phẳng, không có dạng nền khuếch tán bao trùm dải của góc nhiễu xạ trong khoảng $2\theta = 42 - 50^\circ$ của 3 đỉnh hcp của dây Co.

Để nghiên cứu cấu trúc hình thái bề mặt của vật liệu, các dây Co sau khi được dung nhiệt ở 175°C trong các thời gian khác nhau trong khoảng 12 – 24 giờ được quan sát trên kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường, ảnh FESEM của các mẫu được trình bày trên Hình 3. Các kết quả thu nhận được cho thấy hình thái của các dây nano Co và tính dị hướng hình học liên quan đến tỷ số chiều dài L so với đường kính D của chúng thay đổi rõ rệt. Ở nhiệt độ dung nhiệt 175°C, khi thời gian dung nhiệt là 12 giờ (Hình 3a), các dây đã được hình thành với đường biên rõ ràng. Tuy nhiên, kích thước không đồng đều với chiều dài từ 50-160 nm, đường kính khoảng 15-20 nm. Kết quả này cho thấy với thời gian dung nhiệt 12 giờ, sự tinh thể hóa của hệ vật liệu dây nano Co chưa tốt. Khi tăng thời gian dung nhiệt, các dây nano Co có kích thước đồng đều hơn với đường kính khoảng từ 25-30 nm, chiều dài dây khi dung nhiệt 16 giờ (Hình 3b) là 250-300 nm, 20 giờ (Hình 3c) là 300-350 nm, và 24 giờ (Hình 3d) là 350-500 nm.

Bảng 1: Các thông số từ tính của các mẫu dây nano Co được tổng hợp theo các nhiệt độ dung nhiệt khác nhau.

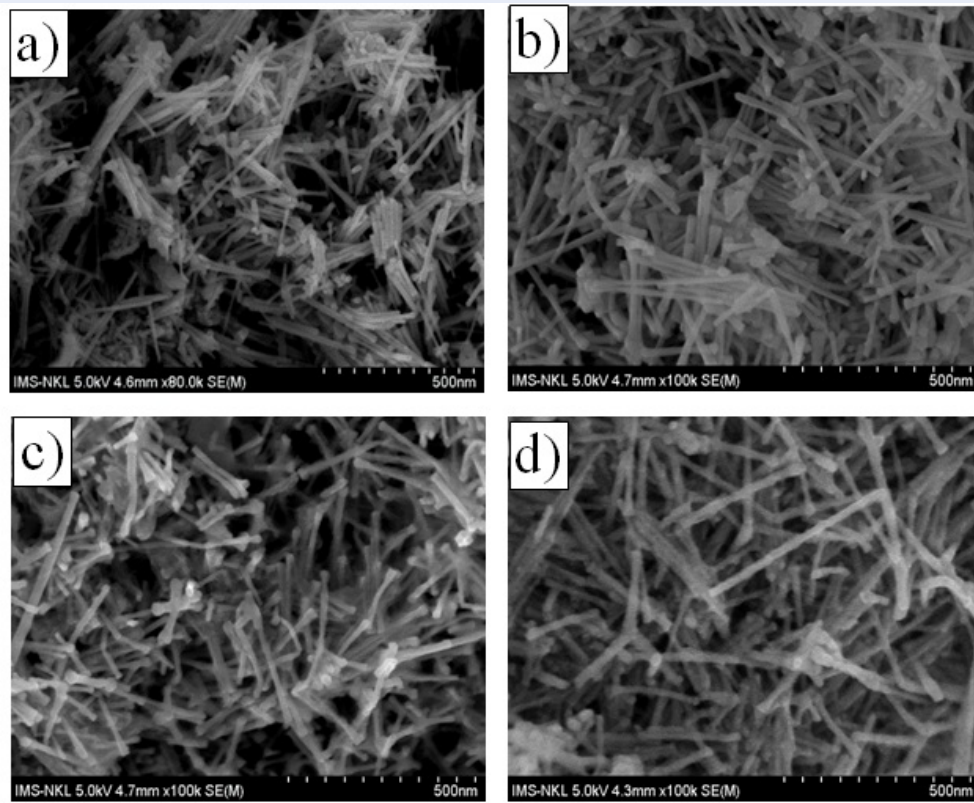
STT	Nhiệt độ dung nhiệt (°C)	M_s (emu/g)	iH_c (kOe)
1	125	15,9	1,55
2	150	57,5	3,16
3	175	164,3	2,97
4	200	165,2	2,43
5	225	166,9	1,08



Hình 2: Phổ nhiễu xạ tia X của các mẫu dây nano Co khi dung nhiệt tại 175°C với các thời gian khác nhau: a) 12 giờ; b) 16 giờ; c) 20 giờ; d) 24 giờ.

Vòng từ trễ của các mẫu dây nano Co được đo dùng từ kế mẫu rung VSM và trình bày trên Hình 4. Từ độ bão hòa M_s và lực kháng từ iH_c của các mẫu được tổng kết trong Bảng 2, cho thấy phẩm chất từ cứng thu được tốt nhất khi mẫu được tổng hợp tại 175°C trong 20 giờ. Với thời gian dung nhiệt là 12 giờ khi dây nano Co hình thành ít và độ kết tinh của dây chưa cao thì từ độ của mẫu thấp, chỉ đạt 77,6 emu/g. Khi thời gian dung nhiệt tăng lên đến 16 giờ, từ độ bão hòa đã tăng lên hơn hai lần, đạt 97,3% giá trị từ độ bão hòa của mẫu khối. Sự thay đổi từ độ bão hòa khi tăng thời gian lên 20 giờ và 24 giờ không tăng nhiều so với mẫu 16 giờ, đạt 97,8% và 98,7% so với mẫu khối. Mặt khác, lực kháng từ lại phụ thuộc mạnh vào thời gian dung nhiệt. Giá trị lực kháng từ iH_c cao là do dị

hướng hình dạng cao của dây nano Co. Từ Bảng 2 có thể thấy rằng khi tăng thời gian dung nhiệt từ 12 giờ đến 20 giờ, lực kháng từ tăng là do sự tăng tỉ lệ các mặt của dây nano Co (L/D tăng). Giá trị lực kháng từ lớn nhất đạt 2,97 kOe khi thời gian dung nhiệt lên đến 20 giờ, với tỷ số L/D khoảng 12,2. Tuy nhiên khi kéo dài thời gian dung nhiệt lên 24 giờ, với L/D lớn hơn đạt 13,4 thì lực kháng từ lại giảm, sự giảm của lực kháng từ trong trường hợp này có thể là kết quả của sai hỏng cấu trúc^{14,21}. Có thể thấy rằng, phẩm chất từ cứng của dây nano Co tổng hợp được là khá cao khi so sánh với các kết quả M_s và iH_c có giá trị tương ứng 142 emu/g and 343,2 Oe của Xufeng Dong và cộng sự²², 112,0 emu/g và 352,87 Oe của Xiaoyu Li và các cộng sự²³, 150 emu/g và $iH_c = 4,77$ kOe của Huan-Huan

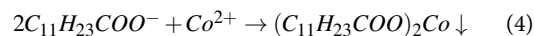
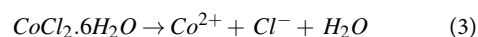
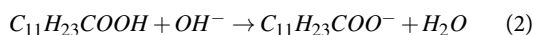


Hình 3: Ảnh FESEM của các mẫu dây nano Co tổng hợp ở 175 °C trong: a) 12 giờ; b) 16 giờ; c) 20 giờ; d) 24 giờ.

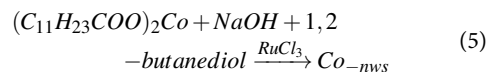
Xu và cộng sự¹⁴. Các kết quả này cho thấy, giá trị từ độ bão hòa M_s trong nghiên cứu này đạt được là cao hơn các giá trị M_s trong các công bố đề cập kể trên^{14,22} và²³, chứng tỏ độ kết tinh của mẫu dây nano Co tổng hợp đạt được là rất cao. Riêng sự khác biệt về giá trị lực kháng từ H_c lớn nhất của chúng tôi đạt được là 2,97 kOe so với giá trị 4,77 kOe được cho là do hình thái học của dây nano Co khác nhau khiến tương tác từ tính của chúng hoàn toàn khác nhau. Huan-Huan Xu và cộng sự¹⁴ thu được các dây nano Co có dạng ellipsoid, trong khi đó dây nano Co trong nghiên cứu này có dạng hình trụ đồng đều.

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đạt được, có thể thấy rằng trong khoảng thời gian dung nhiệt đã khảo sát, thời gian 20 giờ tại 175°C cho phẩm chất từ cứng tốt nhất đối với dây nano Co. Dựa trên các kết quả đã thu nhận được cơ chế tạo dây nano Co được đề xuất tuân theo 2 giai đoạn thông qua các phương trình hóa học trình bày dưới đây từ (1) đến (5):

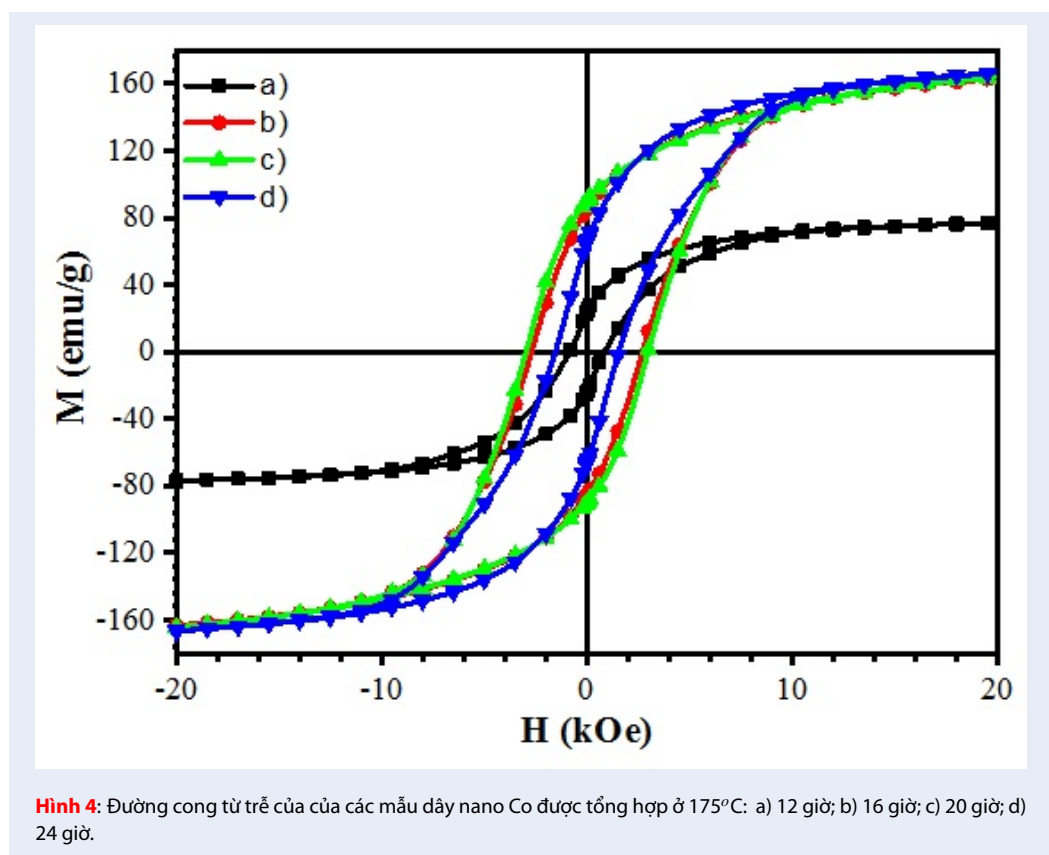
- Giai đoạn 1: Tổng hợp $(C_{11}H_{23}COO)_2Co$



- Giai đoạn 2: Tổng hợp dây nano Co:



K. A. Atmane đã chứng minh rằng trong số các polyols khác nhau, 1,2-butanediol với hằng số điện môi thấp ($22 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$) là poly ancol duy nhất thuận lợi cho sự tăng trưởng của dây nano Co có cấu trúc hợp đồng nhất. Trong quá trình phản ứng, các ion laurate vẫn có thể bám trên bề mặt kim loại và polyol ít phân cực hơn sẽ giúp kiểm soát được hình dạng của nano Co²⁴. Bên cạnh đó, NaOH tạo môi trường ổn định cho các giai đoạn trung gian²² trong khi $RuCl_3$ được xem là tác nhân tạo mầm quan trọng cho quá trình hình thành thành nano Co^{8,13,19,22,25}.



Bảng 2: Các thông số về từ tính của các mẫu dây nano Co được tổng hợp theo các thời gian dung nhiệt khác nhau

STT	Thời gian dung nhiệt (giờ)	M_s (emu/g)	iH_c (kOe)	L/D
1	12	77,6	0,86	8,7
2	16	163,4	2,71	10,1
3	20	164,3	2,97	12,2
4	24	165,8	2,43	13,4

KẾT LUẬN

Dây nano Co đã được tổng hợp bằng phương pháp dung nhiệt hòa tan trong dung môi 1,2-butanediol, có mặt của tác nhân tạo mầm $RuCl_3$ với thông số tối ưu trong nghiên cứu này là ở 175°C trong thời gian dung nhiệt là 20 giờ. Dây nano Co có kích thước đồng đều hơn với đường kính khoảng từ 25-30 nm, chiều dài trung bình khoảng 300-350 nm, độ từ hóa bão hòa đạt 164,3 emu/g và lực kháng từ đạt 2,97 kOe. Trong những nghiên cứu sắp tới, dây nano Co sẽ được tiếp tục tổng hợp với việc tối ưu các điều kiện khác để nâng cao lực kháng từ và sẽ được sử dụng để chế tạo nam châm mẫu khối.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.02-2018.20.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

Co: Coban, Fe: Sắt, NaOH: Natri hydroxit, $RuCl_3$: Rutheni(III)Chloride, $Co(C_{11}H_{23}COO)_2$: Cobalt(II)Chloride hexahydrate.

M_s : độ từ hóa bão hòa

FESEM: hiển vi điện tử quét phát xạ trường

VSM: từ kế mẫu rung

XRD: Nhiễu xạ tia X

T_c : Nhiệt độ Currie

E_a : Năng lượng dị hướng tinh thể
 iH_c : Lực kháng từ
(BH) $_{max}$: Tích năng lượng từ cực đại
hcp: Lục giác xếp chặt
fcc: Lập phương tâm mặt

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả đồng ý không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Đặng Thị Thúy Ngân, Nguyễn Huy Hoàng, Vương Thị Kim Oanh và Nguyễn Thị Nguyệt làm thí nghiệm, thu thập và xử lý số liệu trên giản đồ nhiễu xạ tia X, trên ảnh FESEM và viết bản thảo.

Phạm Hồng Nam và Nguyễn Hoài Nam đo đạc và nghiên cứu tính chất từ cứng của vật liệu, tham gia thảo luận góp ý viết bản thảo.

Nguyễn Xuân Trường định hướng làm thí nghiệm, phân tích kết quả, sửa bản thảo và gửi bài.

Nguyễn Văn Vượng hướng dẫn thảo luận kết quả và sửa chữa bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Buschow KHJ. Intermetallic compounds of rare earth elements and Ni, Co, or Fe. *Physica Status Solidi (A)*. 1971;7(1):199–210. Available from: <https://doi.org/10.1002/pssa.2210070122>.
2. Zhou YN, et al. Nanostructured thin film electrodes for lithium storage and all-solid-state thin-film lithium batteries. *Journal of Power Sources*. 2013;234:310–332. Available from: [10.1016/j.jpowsour.2013.01.183](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.01.183).
3. Gandha K, et al. High energy product developed from cobalt nanowires. *Scientific Reports*. 2014;4:1–5.
4. Gandha K, et al. Synthesis and characterization of FeCo nanowires with high coercivity. *Nanotechnology*. 2015;26(7):75601. Available from: [10.1088/0957-4484/26/7/075601](https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/7/075601).
5. Barr AED. *Introduction to Solid State Physics*. 1957;8(9). Available from: <https://doi.org/10.1088/0031-9112/8/9/012>.
6. Santhi U, et al. Cobalt nanowires: Advancing into future nanomaterial. *AIP Conference Proceedings*, 2059(January). 2019; Available from: <https://doi.org/10.1063/1.5085949>.
7. Bantu AKM, et al. Structure and magnetic properties of electrodeposited cobalt nanowires. *Journal of Applied Physics*. 2001;89(6):3393–3397. Available from: [10.1063/1.1345857](https://doi.org/10.1063/1.1345857).
8. Mohapatra J, et al. Hard and semi-hard magnetic materials based on cobalt and cobalt alloys. *Journal of Alloys and Compounds*. 2020;824:153874. Available from: [10.1016/j.jallcom.2020.153874](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153874).
9. Xu H, et al. Effect of size distribution on magnetic properties in cobalt nanowires. *AIP Advances*. 2018;8(5). Available from: <https://doi.org/10.1063/1.5006555>.
10. Chen JY, et al. Effect of external magnetic field on magnetic properties of Co-Pt nanotubes and nanowires. *Journal of Applied Physics*. 2011;109(7):2009–2012.
11. Ramazani A, et al. Fabrication of single crystalline, uniaxial single domain Co nanowire arrays with high coercivity. *Journal of Applied Physics*. 2014;115(11):1138902.
12. Matsuyama K. Magnetic properties of nanostructured wires deposited on the side edge of patterned thin film. *J. Appl. Phys.* 2000;87(9):4724–4726. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.373139>.
13. Atmane KA, et al. Control of the anisotropic shape of cobalt nanorods in the liquid phase: From experiment to theory... and back. *Nanoscale*. 2014;6(5):2682–2692. PMID: 24448646. Available from: <https://doi.org/10.1039/c3nr03686c>.
14. Xu HH, et al. Morphology control of magnetic properties in cobalt nanowires. *Rare Metals*. 2018;p. 6–11. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12598-018-1135-6>.
15. Liu Q, et al. Cobalt nanowires prepared by heterogeneous nucleation in propanediol and their catalytic properties. *Nanotechnology*. 2008;19(36). Available from: [10.1088/0957-4484/19/36/365608](https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/36/365608).
16. Sun S, et al. Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices. *Science*. 2000;287(5460):1989. Available from: [10.1126/science.287.5460.1989](https://doi.org/10.1126/science.287.5460.1989).
17. Ciuculescu D, et al. Single-crystalline co nanowires: Synthesis, thermal stability, and carbon coating. *Chem. Mater.* 2009;21(17):3987–3995. Available from: [10.1021/cm901349y](https://doi.org/10.1021/cm901349y).
18. Soumare Y, et al. Kinetically controlled synthesis of hexagonally Close-Packed cobalt nanorods with high magnetic coercivity. *Adv. Funct. Mater.* 2009;19(12):1971–1977. Available from: [10.1002/adfm.200800822](https://doi.org/10.1002/adfm.200800822).
19. Truong NX, et al. Effect of RuCl3 on structural and magnetic properties of cobalt nanocrystals. 2016;54(ii):418–421.
20. Gridyakina APA. Structural characteristics of mesophases and mesomorphic glasses of metalalkanoates. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014;2(59):82–87. Available from: [10.18372/2306-1472.59.6797](https://doi.org/10.18372/2306-1472.59.6797).
21. Pousthomis M, et al. Localized magnetization reversal processes in cobalt nanorods with different aspect ratios. *Nano Res.* 2015;8(7):2231–2241. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12274-015-0734-x>.
22. Dong X, et al. Solvothermal synthesis of single-crystalline hexagonal cobalt nanofibers with high coercivity. *Mater. Lett.* 2014;128:39–41. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.04.133>.
23. Li X, et al. Synthesis of cobalt nanowires in aqueous solution under an external magnetic field. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2016;7(1):990–994. PMID: 27547616. Available from: <https://doi.org/10.3762/bjnano.7.91>.
24. Anagnostopoulou E. A new route for rare-earth free permanent magnets: Synthesis, structural and magnetic characterizations of dense assemblies of anisotropic nanoparticles. Thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, INSA. 2016;.
25. Gandha K, et al. Effect of RuCl3 on morphology and magnetic properties of CoNi nanowires. *IEEE Trans. Magn.* 2013;49(7):3273–3276. Available from: [10.1109/TMAG.2013.2242872](https://doi.org/10.1109/TMAG.2013.2242872).

Synthesis of cobalt nanowires with high shape anisotropy and crystallinity

Dang Thi Thuy Ngan¹, Nguyen Huy Hoang¹, Nguyen Xuan Truong^{1,*}, Vuong Thi Kim Oanh¹,
Pham Hong Nam¹, Nguyen Hoai Nam¹, Nguyen Thi Nguyet², Nguyen Van Vuong¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, No.18, Hoang Quoc Viet road, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

²Department of Chemical technology & Environment, Hung Yen University of Technology and Education, Dan Tien commune, Khoai Chau District, Hung Yen Province, Vietnam

Correspondence

Nguyen Xuan Truong, Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, No.18, Hoang Quoc Viet road, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Email: truongnx@ims.vast.ac.vn

History

- Received: 16-4-2021
- Accepted: 01-11-2021
- Published: 26-12-2021

DOI : [0.32508/stdjns.v5i4.1055](https://doi.org/10.32508/stdjns.v5i4.1055)



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Owning the high spontaneous magnetization M_s , the Cobalt (Co) is known as one of the important 3d-transition metal elements used for developing soft magnetic materials. With the high value of M_s , Co should become an ideal hard magnetic material if it can be prepared in the form with a large shape anisotropy. This paper presents the results of synthesizing Co nanowires by reducing the carboxylate Co(II) precursor in the presence of $RuCl_3$ functioned as a catalyst via the change of time in the solvothermal chemical process. The structure, morphology, and properties of the obtained Co nanowires were characterized by the X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscopy (FESEM) and vibrating sample magnetometer (VSM). The result revealed the great impact of the solvothermal's time and the reaction temperature on the morphology and nucleation of Co nanowires. The prepared Co nanowires were well crystallized in the hexagonal close-packed (hcp) phase. The highest M_s value of prepared Co nanowires reached 166.9 emu/g by synthesizing at 225°C for 20 hours. At 175°C and for 20 hours, the prepared Co nanowire owns the best hard-magnetic performance characterized by the values of 164.3 emu/g and 2.97 kOe for M_s and iH_c , respectively. With these results, in the next stage, the synthesized Co nanowires will be used in manufacturing free rare-earth permanent magnet.

Key words: cobalt nanowire, solvothermal, anisotropic shape, magnetic materials

Cite this article : Ngan D T T, Hoang N H, Truong N X, Oanh V T K, Nam P H, Nam N H, Nguyet N T, Vuong N V. **Synthesis of cobalt nanowires with high shape anisotropy and crystallinity.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(4):1705-1712.