

## Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ phần pha tạp Co(II) lên kích thước và từ tính của vật liệu nano $YFe_{1-x}Co_xO_3$ tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa

Nguyễn Anh Tiên\*, Châu Hồng Diễm

Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh

Đến Tòa soạn 29-6-2015; Chấp nhận đăng 25-10-2016

### Abstract

The  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  ( $x = 0.1; 0.2; 0.3$ ) nanomaterials have been synthesized by co-precipitation through the hydrolysis of Y(III), Co(II) and Fe(III) cations in boiling water with the present of KOH 5 % precipitating agent. The results show that when the ratio of Co(II)-doped in  $YFeO_3$  crystals increases from 0.1 to 0.3, the size crystal decreases from 31.6 nm to 28.1 nm, the saturation magnetization decreases from 1.718 emu/g to 0.565 emu/g; the coercive force increases from 83.30 to 134.77 Oe and the excess magnetism increases from  $47,567 \times 10^{-3}$  to  $64,764 \times 10^{-3}$  emu/g.

**Keywords.** Nanomaterial,  $YFe_{1-x}Co_xO_3$ , Co-doped, magnetism, co-precipitation.

### 1. MỞ ĐẦU

Vật liệu perovskit  $ABO_3$  biến tính là vật liệu có ion A hoặc B hoặc cả A và B được thay thế một phần bởi các ion kim loại khác như: Ca, Sr, Cd, Zn, Fe, Ni, La, Co, Ni, Ti, v.v. vào vị trí A hoặc B [1-6]. Sự biến tính này sẽ tạo ra trạng thái hỗn hợp hóa trị và sai lệch về cấu trúc làm cho hợp chất nền trở thành vật liệu có nhiều hiệu ứng lý thú như: hiệu ứng nhiệt điện, hiệu ứng từ nhiệt, từ trở khổng lồ. Điều đó đã mở ra những ứng dụng mới của vật liệu perovskite trong một số lĩnh vực công nghiệp hiện đại như điện tử, thông tin, công nghệ xử lý hóa dầu, xử lý kim loại nặng trong chất lỏng, xúc tác v.v.

Ngày nay, để điều chế vật liệu perovskit dạng  $ABO_3$  và pha tạp với kích thước hạt nhỏ người ta thường sử dụng một số phương pháp cơ bản như phương pháp đồng kết tủa ở nhiệt độ phòng [5-7], phương pháp sol-gel hay đốt cháy gel [8-10], phương pháp đồng tạo phức [9], v.v. Các phương pháp này có ưu điểm là quá trình kết tinh vật liệu xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn nhiều so với phương pháp tổng hợp gồm truyền thống, vật liệu thu được có độ đồng nhất và độ tinh khiết cao. Tuy nhiên, để tổng hợp được vật liệu  $ABO_3$  pha tạp kích thước nanomet theo các phương pháp này đòi hỏi phải khảo sát nhiều yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành đơn pha tinh thể như nhiệt độ, thời gian nung, giá trị pH, tỉ lệ mol chất tạo gel/kim loại, nhiệt độ tạo gel, v.v [8-10]. Các công việc này đòi hỏi tốn nhiều thời gian và công sức.

Trong các công trình [7, 11-13], bước đầu nhóm tác giả đã tổng hợp thành công một số hệ vật liệu nano perovskite  $LnFeO_3$  ( $Ln = La, Y$ ) và pha tạp bởi kim loại Ca, Sr vào vị trí Ln bằng phương pháp đồng kết tủa thông qua giai đoạn thủy phân từ các cation kim loại trong nước sôi trước, sau đó mới thêm vào tác nhân kết tủa thích hợp. Theo tài liệu trích dẫn chưa có công trình nào công bố sử dụng phương pháp này để tổng hợp hệ vật liệu nano perovskit  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  và nghiên cứu các đặc trưng từ tính của chúng.

Mục tiêu của bài báo này là nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ phần pha tạp Co(II) lên kích thước và các đặc trưng từ tính của vật liệu nano perovskit  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  ( $x = 0,1; 0,2; 0,3$ ) tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa thông qua giai đoạn thủy phân từ các cation Y(III), Fe(III) và Co(II) trong nước sôi trước với tác nhân kết tủa là dung dịch KOH 5 %.

### 2. THỰC NGHIỆM

#### 2.1. Hóa chất và dụng cụ

Các hóa chất được sử dụng để tổng hợp vật liệu nano  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  là  $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ ,  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ,  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , KOH đều có độ tinh khiết phân tích, nước cất, giấy lọc băng xanh. Các muối  $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ ,  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  và  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  được trộn theo tỉ lệ mol  $Y^{3+}:Fe^{3+}:Co^{2+} = 1:(1-x):x$  và hòa tan vào nước trước khi tiến hành kết tủa.

Cốc thủy tinh chịu nhiệt dung tích 100 ml, 1000 ml, pipet, buret, máy khuấy từ gia nhiệt, con cá từ, bếp điện, lò nung gia nhiệt, chén nung, tủ sấy.

## 2.2. Phương pháp thực nghiệm

Vật liệu nano  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  được tổng hợp bằng cách nhỏ từ từ dung dịch nước chứa hỗn hợp muối  $Y(NO_3)_3$ ,  $Fe(NO_3)_3$  và  $Co(NO_3)_2$  với tỉ lệ số mol tương ứng  $Y:Fe:Co = 1:(1-x):x$  (với  $x = 0,1; 0,2; 0,3$ ) vào một cốc nước đang sôi trên máy khuấy từ. Sau khi cho hết hỗn hợp muối thì đun sôi thêm 5 phút nữa, lúc này hệ có màu nâu đỏ và không đổi màu khi để nguội đến nhiệt độ phòng. Sau đó cho từ từ dung dịch KOH 5 % vào hệ thu được ở trên, khuấy đều kết tủa trên máy khuấy từ khoảng 30 phút. Kết tủa thu được đem lọc trên máy hút chân không và rửa bằng nước cất nhiều lần rồi để khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng đến khối lượng không đổi. Hỗn hợp bột thu được đem nghiền mịn rồi nung trong môi trường áp suất không khí từ nhiệt độ phòng đến các nhiệt độ khác nhau để kiểm tra sự hoàn thiện việc kết tinh và tạo pha đồng nhất, tốc độ nung  $10^\circ C/phút$ .

## 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để xác định nhiệt độ nung thích hợp cho sự tạo đơn pha  $YFe_{1-x}Co_xO_3$ , mẫu được tiến hành phân tích nhiệt trên máy DTG-60H hãng Shimadzu (Nhật Bản) trong môi trường không khí khô với tốc độ nung  $10^\circ C/phút$ , nhiệt độ tối đa  $1100^\circ C$ .

Giản đồ nhiễu xạ tia X được ghi trên máy D8-ADVANCE (Đức) với bức xạ  $CuK_\alpha$  ( $\lambda = 0,154056$  nm),  $2\theta = 20-80^\circ$ , bước đo  $0,03^\circ$ , thời gian dừng mỗi bước 1s. Kích thước hạt trung bình (nm) của pha tinh thể được tính theo công thức Debye-Scherrer:

$$d = \frac{0,89.\lambda}{\beta \cos \theta}$$

với nửa chiều cao của cực đại nhiễu xạ (FWHM) tính theo radian,  $\theta$  là góc nhiễu xạ Bragg ứng với pic cực đại đó (độ).

Ảnh vi cấu trúc và hình thái học được chụp bằng kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) trên máy JEOL-1400 (Nhật Bản).

Thành phần các nguyên tố trong mẫu được kiểm tra bằng phương pháp quang phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX) trên máy FESEM S-4800 hãng Hitachi (Nhật Bản), xác định ở 3 vị trí khác nhau trong mỗi mẫu.

Các đặc trưng từ tính của mẫu được đo ở nhiệt độ phòng bằng từ kế mẫu rung (VSM) trên máy MICROSENE EV11 (Nhật Bản).

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kết quả phân tích nhiệt

Chọn mẫu ứng với giá trị  $x = 0,2$  tiến hành phân tích nhiệt. Kết quả được trình bày ở hình 1.

Từ giản đồ hình 1, ta thấy tổng độ tổn hao khối lượng của mẫu khi nung từ nhiệt độ phòng đến  $1100^\circ C$  là 33,011 %. Quá trình mất khối lượng có thể chia thành 2 giai đoạn: i) từ nhiệt độ phòng đến khoảng  $200^\circ C$ , ở khoảng nhiệt độ này, khối lượng mẫu giảm nhanh thể hiện qua đường TGA dốc, trên đường DTA xuất hiện một pic thu nhiệt ở  $69,37^\circ C$  được gán cho quá trình mất nước do hút ẩm, giải hấp phụ và rất có thể các hidroxit Y(III), Fe(III), Co(II) mất nước một phần; ii) giai đoạn mất khối lượng thứ 2 xảy ra từ trên  $200^\circ C$  với độ tổn hao khối lượng 16,487 % tương ứng với một pic thu nhiệt ở  $451,32^\circ C$  được giải thích là do mẫu thu nhiệt để tiếp tục nhiệt phân các hidroxit. Kết quả này phù hợp với tính toán lý thuyết từ phương trình tỷ lệ lượng là khoảng 21 % (nếu cho rằng từ trên  $100^\circ C$  các hidroxit bắt đầu nhiệt phân thì theo giản đồ TGA độ hụt khối  $\sim 20\%$ ).

Điểm đặc biệt từ đường TGA là khoảng từ  $700^\circ C$  trở đi khối lượng mẫu giảm rất chậm ( $\sim 2\%$ ), kết hợp điều này với công trình tổng hợp  $YFeO_3$  đơn pha hoàn thiện sau khi nung kết tủa ở  $700^\circ C$  ( $t = 1h$ ) [11], chọn các khoảng nhiệt độ nung mẫu ở  $700^\circ C$ ,  $800^\circ C$  và  $900^\circ C$  trong 1 giờ để kiểm tra bằng phương pháp nhiễu xạ tia X.

### 3.2. Kết quả XRD và EDX

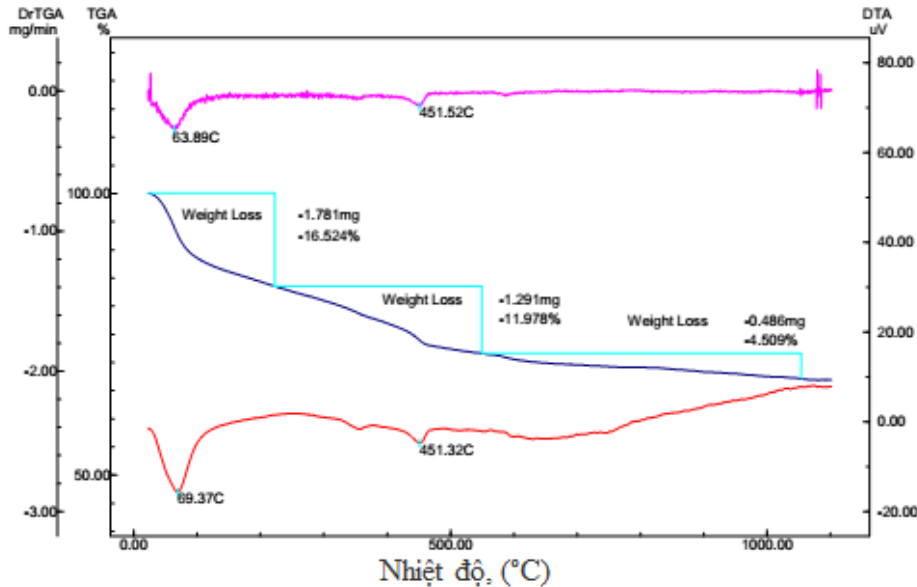
Kết quả XRD (hình 2) của mẫu  $YFe_{0,8}Co_{0,2}O_3$  sau khi nung ở các nhiệt độ khác nhau cho thấy các đỉnh pic nhiễu xạ đều trùng nhau, đặc trưng bởi các mặt mạng (h, k, l) như trên hình 2 và tương ứng với thành phần pha  $YFeO_3$  – Yttrium Iron Oxide – Orthorhombic trong ngân hàng phổ, số phổ 01-086-0171, không xuất hiện bất kỳ pha tinh thể nào khác. Điều này gián tiếp có thể cho rằng ion coban(II) đã xen vào mạng tinh thể  $YFeO_3$ . Tuy nhiên, khi nhiệt độ nung mẫu càng cao thì mức độ kết tinh của vật liệu càng lớn thể hiện qua đỉnh pic nhiễu xạ cao hơn, độ rộng chân pic hẹp hơn và kích thước tinh thể tính theo công thức Debye-Scherrer cũng lớn hơn:  $d_{700} = 27,4$  nm;  $d_{800} = 30,2$  nm và  $d_{900} = 31,2$  nm.

Từ kết quả XRD của mẫu  $YFe_{0,8}Co_{0,2}O_3$ , chọn nhiệt độ nung  $800^\circ C$  cho các mẫu kết tủa với các giá trị  $x = 0,1$  và  $0,3$  để kiểm tra thành phần pha hóa học tạo thành. Kết quả được trình bày ở hình 3.

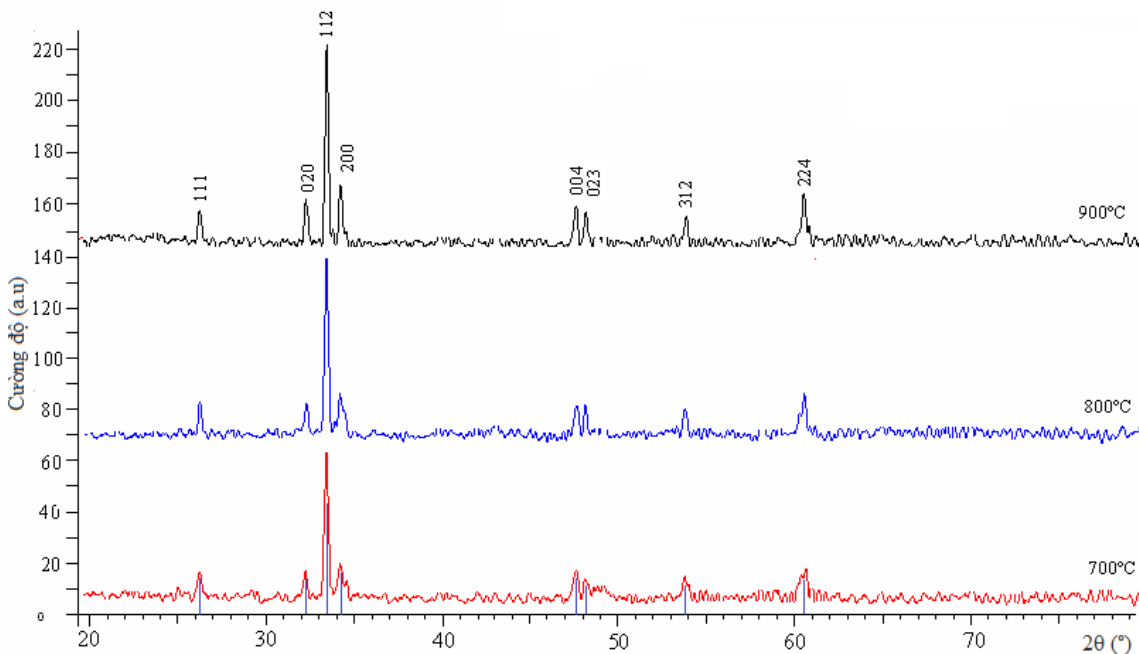
Ta thấy các giá trị  $x$  khác nhau nhưng vị trí các đỉnh pic nhiễu xạ đều trùng nhau, điều này cho phép kết luận về sự hình thành đơn pha  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  sau

khí nung kết tủa ở 800 °C (t = 1 h). Kích thước tinh thể tính theo công thức Debye-Scherrer của các mẫu ứng với các giá trị x khác nhau cho thấy khi tăng giá trị x thì kích thước tinh thể giảm, cụ thể với x = 0,1 thì d = 31,6 nm; còn x = 0,3 thì d = 28,1 nm (bảng 1). Điều này có thể giải thích là do khi thay thế cation Fe<sup>3+</sup> (r = 0,067 nm) bằng cation Co<sup>2+</sup> (r = 0,078 nm) tạo ra trạng thái hỗn hợp hóa trị (II) và

(III), do đó để cân bằng điện tích cục bộ một phần cation Fe<sup>3+</sup> bị oxi hóa thành Fe<sup>4+</sup> có bán kính bé hơn hoặc bản thân cation Co<sup>2+</sup> bị oxi hóa thành Co<sup>3+</sup> làm cho kích thước hạt tinh thể sẽ giảm khi tăng giá trị x. Hiện tượng tương tự được công bố trong các công trình [12-13], khi thay thế một phần ion La(III) bằng các ion Sr(II) và Ca(II).



Hình 1: Giảm đồ DTA-TGA-DrTGA của mẫu bột YFe<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>3</sub>



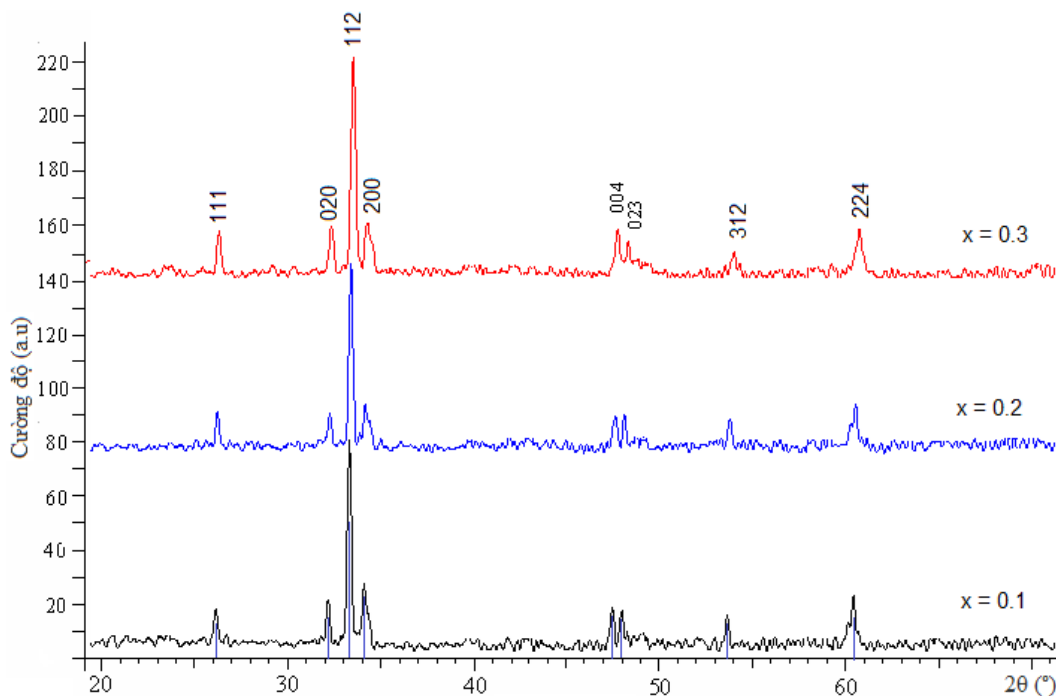
Hình 2: Giảm đồ XRD của mẫu YFe<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>3</sub> sau khi nung ở các nhiệt độ khác nhau trong 1 giờ

Phân tích các mẫu YFe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (x = 0,1; 0,2; 0,3) sau khi nung 800 °C (t = 1 h) bằng phương pháp EDX cho thấy trên phổ EDX chỉ xuất hiện các pic

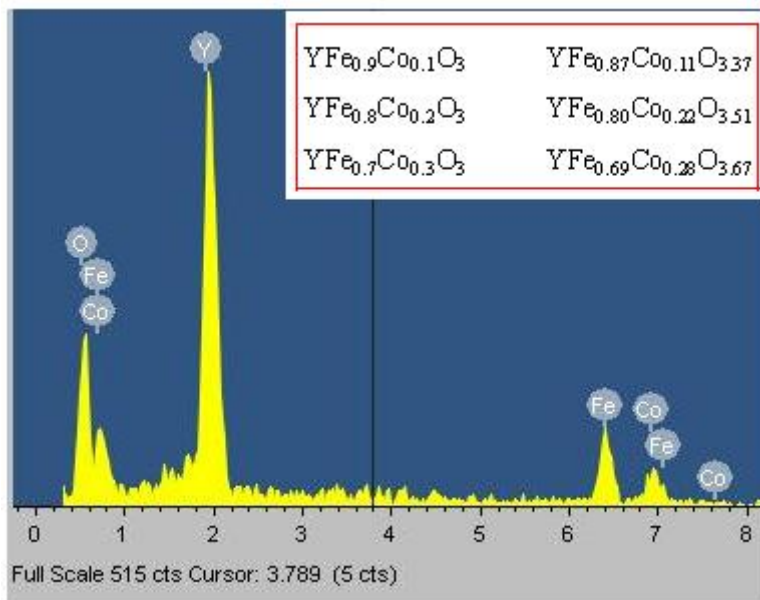
đặc trưng của các nguyên tố Y, Fe, Co và O (hình 4 chỉ dẫn ra phổ EDX của mẫu YFe<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>3</sub> để minh họa). Kết quả phân tích số liệu cho thấy phần trăm

nguyên tử của từng nguyên tố tương đối phù hợp với tính toán lý thuyết từ công thức dự kiến ban đầu. Ở đây có sự sai lệch lớn (dư) về phía oxi có thể giải thích là do khi ion  $\text{Co}^{2+}$  thay thế vị trí ion  $\text{Fe}^{3+}$  dẫn đến một phần ion  $\text{Fe}^{3+}$  bị oxi hóa thành  $\text{Fe}^{4+}$  dưới

dạng  $\text{FeO}_2$  hoặc ion  $\text{Co}^{2+}$  bị oxi hóa thành  $\text{Co}^{3+}$  dưới dạng  $\text{Co}_3\text{O}_4$  để cân bằng điện tích cục bộ. Lượng coban thay thế càng nhiều (giá trị x càng lớn) thì oxi càng dư.



Hình 3: Giảm đồ XRD của các mẫu  $\text{YFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  sau khi nung  $800^\circ\text{C}$  ( $t = 1\text{ h}$ )



Hình 4: Phổ EDX của mẫu  $\text{YFe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  nung  $800^\circ\text{C}$  ( $t = 1\text{ h}$ )

### 3.3. Kết quả TEM

Trên hình 5 là ảnh TEM của các mẫu  $\text{YFe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  và  $\text{YFe}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_3$  nung ở  $800^\circ\text{C}$  ( $t = 1\text{ h}$ ). Ta thấy các hạt có dạng hình cầu hoặc hình cầu phân cạnh yếu với kích thước dao động khoảng 30-

40 nm, tuy nhiên các hạt kết tụ với nhau tạo thành đám hạt hoặc thể liên tinh kéo dài.

### 3.4. Kết quả VSM

Nghiên cứu các đặc trưng từ tính ở nhiệt độ

phòng của các mẫu vật liệu nano perovskite  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  ( $x = 0,1; 0,2; 0,3$ ) sau khi nung ở  $800^\circ C$  ( $t = 1$  h) cho thấy sự pha tạp cation  $Co(II)$  trong mạng  $YFeO_3$  không chỉ ảnh hưởng đến kích thước hạt tinh thể tạo thành, mà còn ảnh hưởng trực tiếp lên các đặc trưng từ tính của chúng (hình 6 và bảng 1). Thật vậy, ở từ trường  $15000$  Oe, các đặc trưng từ tính của vật liệu như lực kháng từ ( $H_c$ ) và độ từ dư ( $M_r$ ) tăng theo chiều tăng của giá trị  $x$  và lớn hơn rất nhiều so với mẫu  $YFeO_3$  không pha tạp ( $H_c \sim 30$  Oe,  $M_r = 0,034$  emu/g [11]). Điều này có thể giải thích là do khi tăng hàm lượng coban trong mạng tinh thể  $YFeO_3$  sẽ làm tăng tính dị hướng từ tinh thể, dẫn đến các giá trị  $H_c$  và  $M_r$  tăng. Khác với quy luật biến thiên của  $H_c$  và  $M_r$ , các giá trị  $M_s$  của mẫu vật liệu nano perovskite  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  lại thay đổi theo chiều

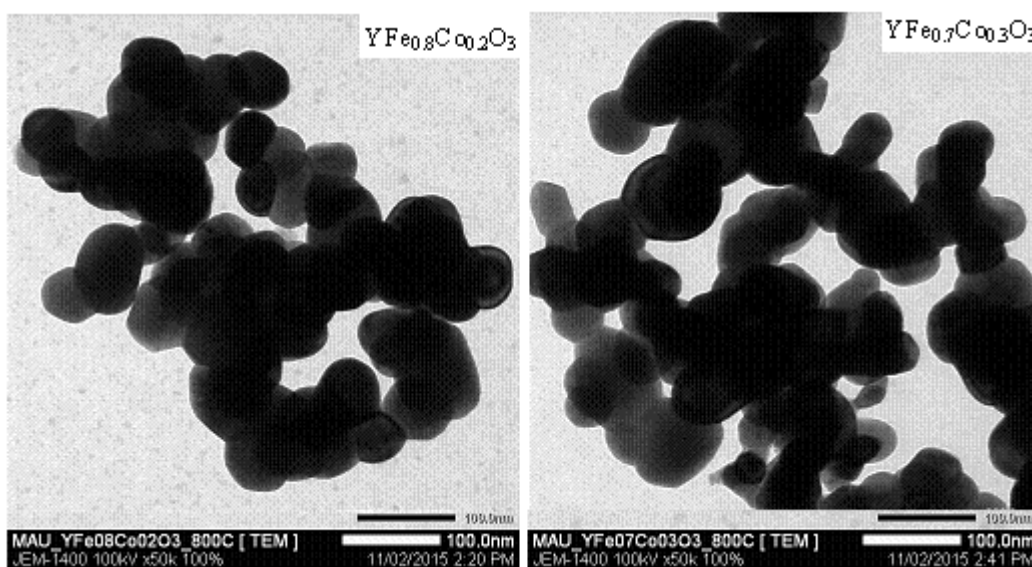
ngược lại: giảm theo chiều tăng của giá trị  $x$ .

Từ độ bão hòa giảm theo chiều tăng tỷ phần pha tạp Co trong mạng tinh thể  $YFeO_3$  có thể giải thích theo công thức [14]:

$$M_s(D) = M_s(V)[1 - \beta/d]$$

trong đó:  $M_s(D)$  là từ độ bão hòa của mẫu với kích thước trung bình là  $d$ ;  $M_s(V)$  là từ độ bão hòa trong toàn bộ thể tích mẫu;  $\beta$  là hằng số đặc trưng cho sự thay đổi từ độ trên một đơn vị chiều dài và cho biết nếu kích thước hạt giảm thì từ độ bão hòa tương ứng sẽ giảm.

Với giá trị  $x$  từ  $0,1$  đến  $0,3$ , ta thấy vật liệu nano perovskite  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  có đường cong từ trễ hẹp, lực kháng từ và độ từ dư bé, từ độ bão hòa lớn nên chúng thuộc loại vật liệu từ mềm.



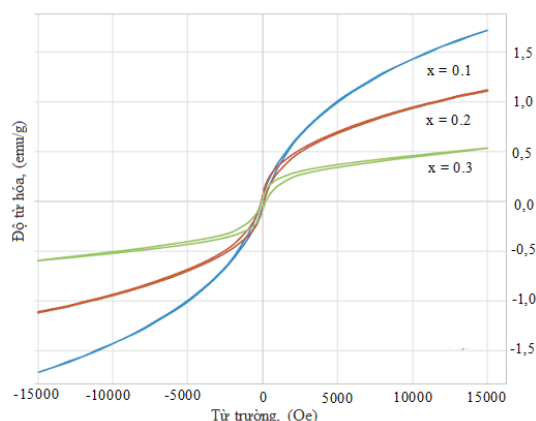
Hình 5: Ảnh TEM của mẫu  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  ( $x = 0,2$  và  $0,3$ )

Bảng 1: Các đặc trưng của mẫu vật liệu nano  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  sau nung  $800^\circ C$  ( $t = 1$  h)

$YFe_{1-x}Co_xO_3$	$d$ (nm)	$H_c$ (Oe)	$M_r$ (emu/g)	$M_s$ (emu/g)
$x = 0,1$	31,6	83,30	$47,564 \times 10^{-3}$	1,718
$x = 0,2$	30,2	85,82	$64,246 \times 10^{-3}$	1,118
$x = 0,3$	28,1	134,77	$64,764 \times 10^{-3}$	0,565

#### 4. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp đồng kết tủa các cation  $Y(III)$ ,  $Co(II)$  và  $Fe(III)$  trong nước sôi với tác nhân kết tủa là dung dịch  $KOH$  5 % rồi nung kết tủa thu được ở  $800^\circ C$  ( $t = 1$  h) đã tổng hợp vật liệu nano perovskit thuộc hệ  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  ( $x = 0,1; 0,2; 0,3$ ). Sự tăng nồng độ  $Co(II)$  trong mạng tinh thể  $YFeO_3$  từ  $0,1$



Hình 6: Đồ thị đường cong từ trễ của mẫu vật liệu  $YFe_{1-x}Co_xO_3$  sau nung  $800^\circ C$  ( $t = 1$ h)

đến  $0,3$  làm giảm kích thước tinh thể từ  $31,6$  nm đến  $28,1$  nm dẫn đến giảm giá trị  $M_s$  từ  $1,718$  emu/g đến

0,565 emu/g; sự pha tạp coban trong mạng ferit ytri tăng sẽ tăng lực kháng từ và độ từ dư của vật liệu do tăng tính dị hướng từ tinh thể.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. V. N. Stathopoulos, V. C. Belessi, A. K. Ladavos. *Samarium Based High Surface Area Perovskite Type Oxides  $SmFe_{1-x}Al_xO_3$ . Part II. Catalytic Combustion of  $CH_4$* , Reaction Kinetics and Catalysis Letters, **72(1)**, 49-55 (2001).
2. Cao X., Kim Ch. -S., Yoo H. -I. *Effect of substitution of manganese for iron on the structure and electrical properties of yttrium ferrite*, Journal of the American Ceramic Society, **84(6)**, 1265-1272 (2011).
3. Dinh V. T., Mittova V. O., Solodukhin D. O., Al'myasheva O. V., Mittova I. Ya. *Synthesis and magnetic properties of nanocrystalline  $Y_{1-x}Cd_xFeO_{3-\delta}$* , Russian Journal of Inorganic Materials, **47(10)**, 1141-1146 (2011).
4. Аксенова Т. В., Ананьев М. В., Гаврилов Л. Я., Черепанов В. А. *Фазовые равновесия и кристаллическая структура твердых растворов в системе  $LaCoO_{3-\delta}$ - $SrCoO_{2.5+\delta}$ - $SrFeO_{3-\delta}$ - $LaFeO_{3-\delta}$* , Неорганические материалы, **43(3)**, С. 347-351 (2007).
5. Phan Thị Hoàng Oanh, Trần Minh Ngọc, Trần Ngọc Tuyên. *Tổng hợp gốm  $La_{1-x}Mn_xSrO_3$  bằng phương pháp đồng kết tủa và khảo sát tính chất điện*, Tạp chí Hóa học, **49(3A)**, 240-245 (2011).
6. Sania Maria de Lima, Jose Mansur Assaf. *Synthesis and characterization of  $LaNiO_3$ ,  $LaNi_{1-x}Fe_xO_3$  and  $LaNi_{1-x}Co_xO_3$  Perovskite Oxide for Catalysis Application*, Materials Research, 1-5 (2002).
7. Nguyen Anh Tien, Mittova I. Ya., Al'myasheva O. V., Kirillova S. A., Gusarov V. V. *Influence of the preparation conditions on the size and morphology of nanocrystalline lanthanum orthoferrite*, Glass Physics and Chemistry, **34(6)**, 756-761 (2008).
8. Lê Hải Đăng. *Tổng hợp vật liệu kiểu perovskit kích thước nanomet và nghiên cứu hoạt tính xúc tác oxy hoá của chúng*, Luận án Tiến sĩ Hoá học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội (2011).
9. Đỗ Thị Anh Thư và cộng sự. *Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu nhạy khí  $LaFeO_3$  bằng phương pháp sol-gel tạo phức ứng dụng trong cảm biến nhạy hơi cồn*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, KHTN và CN (**26**), 36-43 (2011).
10. Lưu Minh Đại, Đào Ngọc Nhiệm, Đỗ Trung Kiên. *Tổng hợp perovskite  $LaFeO_3$  cấu trúc nano bằng phương pháp đốt cháy gel và ứng dụng làm xúc tác cho phản ứng oxy hóa CO*, Tạp chí Hóa học, **50(2)**, 144-147 (2012).
11. Nguyen Anh Tien, Al'myasheva O. V., Mittova I. Ya., Stognei O. V., Soldatenko S. A. *Synthesis and magnetic properties of  $YFeO_3$  nanocrystals*, Russian Journal of Inorganic Materials, **45(11)**, 1304-1308 (2009).
12. Nguyen Anh Tien, Mittova I. Ya., Solodukhin D. O., Al'myasheva O. V., Mittova V. O., Demidova S. Yu. *Sol-Gel Formation and Properties of nanocrystals of solid solutions  $Y_{1-x}Ca_xFeO_3$* , Russian Journal of Inorganic Chemistry, **59(2)**, 40-45 (2014).
13. A. T. Nguyen, M. V. Knurova, T. M. Nguyen, V. O. Mittova, I. Ya. Mittova, *Synthesis and the study of magnetic characteristics of nano  $La_{1-x}Sr_xFeO_3$  by coprecipitation method*. Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, **5(5)**, 692-702 (2014).
14. Lưu Tuấn Tài. *Giáo trình vật liệu từ*, Nxb. Đại học Quốc gia Hà Nội (2008).

Liên hệ: **Nguyễn Anh Tiến**

Trường Đại học Sư phạm Tp. Hồ Chí Minh

Số 280, An Dương Vương, Phường 4, Quận 5, Thành phố Hồ Chí Minh

E-mail: anhtienhcmup@gmail.com.