

## NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT CẤU TRÚC VÀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA PEROVSKITE $RE\text{MnO}_3$ (RE=La,Nd,Pr)

Nhận bài:

26 – 08 – 2016

Chấp nhận đăng:

22 – 09 – 2016

<http://jshe.ued.udn.vn/>

Nguyễn Thị Mỹ Đức<sup>a,b\*</sup>, Ngô Thu Hương<sup>b</sup>

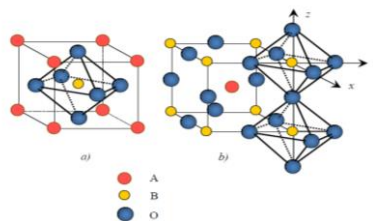
**Tóm tắt:** Trong bài báo này, chúng tôi đã nghiên cứu chế tạo hệ mẫu perovskite manganit  $RE\text{MnO}_3$  với các ion đất hiếm lần lượt là La; Nd và Pr bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Các tính chất cấu trúc và tính chất từ của hệ mẫu đã được khảo sát. Cấu trúc tinh thể của mẫu  $\text{LaMnO}_3$  là cubic, trong khi đó, cấu trúc tinh thể của  $\text{NdMnO}_3$  và  $\text{PrMnO}_3$  là orthorhombic. Chúng tôi tiến hành khảo sát sự phụ thuộc của từ độ vào nhiệt độ và từ trường. Ngoài ra, bài báo còn tính toán nhiệt độ Curie, nhiệt độ Weiss và hằng số Curie của các mẫu. Chúng tôi đã phát hiện ra sự chuyển pha khác tại 15.3K và 42.5K đối với mẫu  $\text{NdMnO}_3$ . So sánh các tính chất từ của các mẫu với nhau. Từ đó, chúng tôi thảo luận về ảnh hưởng của ion đất hiếm lên các tính chất của hệ mẫu.

**Từ khóa:** tính chất từ; perovskite; manganite; pha tạp đất hiếm.

### 1. Mở đầu

Cấu trúc perovskite do Gustav Rose phát hiện lần đầu tiên vào năm 1839 trong khoáng chất  $\text{CaTiO}_3$  [20]. Ngày nay, thuật ngữ này được dùng cho các vật liệu có công thức hóa học chung là  $\text{ABO}_3$ , trong đó A là các cation hóa trị 1, 2 hoặc 3 như  $\text{Na}^{1+}$ ,  $\text{K}^{1+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,..., B là các cation hóa trị 5, 4 hoặc tương ứng như  $\text{Nb}^{5+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$ ,... Ở vị trí của O có thể là các nguyên tố khác ( $\text{F}^{1+}$ ,  $\text{Cl}^{1+}$ ) nhưng phổ biến nhất vẫn là ôxy. Cấu trúc perovskite lý tưởng  $\text{ABO}_3$  được mô tả như trong hình 1a. Ô mạng cơ sở là một hình lập phương với các tham số mạng  $a = b = c$  và  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .

Vị trí 8 đỉnh của hình lập phương được chiếm bởi cation A (vị trí A), tâm của 6 mặt hình lập phương là vị trí của anion O (ion ligand) và tâm của hình lập phương là vị trí của cation B (vị trí B). Trong cấu trúc này, cation B được bao quanh bởi 8 cation A và 6 anion O, còn mỗi vị trí cation A được bao quanh bởi 12 anion O (Hình 1b) [23].



**Hình 1.** (a) Cấu trúc perovskite lý tưởng; (b) Sự sắp xếp của các bát diện trong cấu trúc perovskite lý tưởng [23]

Như vậy, đặc trưng quan trọng của cấu trúc perovskite là tồn tại các bát diện  $\text{BO}_6$  nội tiếp trong một ô mạng cơ sở với 6 anion oxy tại các đỉnh của bát diện và một cation B tại tâm bát diện. Khối bát diện này đóng vai trò rất quan trọng liên quan tới tính chất điện của vật liệu. Chúng ta cũng có thể biểu diễn cấu trúc perovskite như là bao gồm các bát diện  $\text{BO}_6$  sắp xếp cạnh nhau, Hình 1b mô tả cấu trúc tinh thể khi tịnh tiến trực tọa độ đi  $\frac{1}{2}$  ô mạng.

Hầu hết các vật liệu có cấu trúc perovskite không pha tạp đều thể hiện tính điện môi phản sắt từ.

Trong bài viết này, chúng tôi tập trung nghiên cứu tính chất cấu trúc và tính chất từ của hệ vật liệu perovskite chưa pha tạp  $RE\text{MnO}_3$  với  $RE=\text{La};\text{Nd};\text{Pr}$ .

### 2. Thục nghiệm

<sup>a</sup>Trường Đại học Sư phạm - Đại học Đà Nẵng

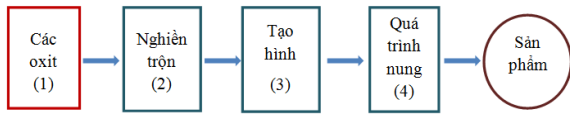
<sup>b</sup> Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

\* Liên hệ tác giả

Nguyễn Thị Mỹ Đức

Email: duc.physics@gmail.com

Nghiên cứu chế tạo hệ mẫu  $REMnO_3$  (RE = La, Pr, Nd) chưa pha tạp bằng phương pháp gốm hay còn gọi là phương pháp phản ứng pha rắn. Sơ đồ khối của quy trình chế tạo mẫu được biểu diễn ở Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối quá trình tạo các mẫu gốm  $REMnO_3$

Các mẫu được chế tạo bằng phương pháp gốm từ các vật liệu oxit ban đầu có độ sạch cao:  $Pr_2O_3$  (99,99 %),  $La_2O_3$  (99,99 %),  $BaO$  (99,5 %),  $MnO$  (99,99 %),  $Nd_2O_3$  (99,99 %). Quy trình chế tạo mẫu được thực hiện theo 4 giai đoạn:

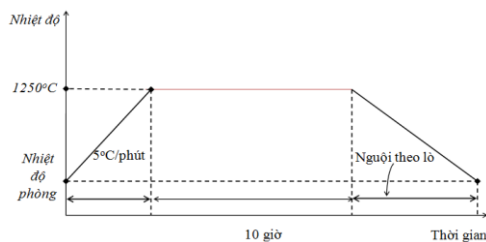
Giai đoạn 1: Chuẩn bị nguyên liệu và cân theo hợp phần.

Giai đoạn 2: Quá trình nghiền trộn. Nguyên liệu dạng bột được nghiền mịn với thời gian là 8 giờ bằng cối mã nã để tăng diện tích tiếp xúc giữa các hạt, tạo sự đồng đều các chất trong hỗn hợp.

Giai đoạn 3: Ép mẫu. Trước khi ép, mẫu được trộn cùng chất kết dính PVA 2 % với mục đích liên kết tạm thời các hạt rời rạc lại với nhau, chất kết dính có thành phần hữu cơ nên khi nung thiêu kết ở nhiệt độ cao sẽ bay hơi hết. Mẫu có dạng hình trụ, đường kính 20mm được ép với áp suất 5 tấn/cm<sup>2</sup>.

Giai đoạn 4: Quá trình nung: bao gồm hai quá trình nung sơ bộ và nung thiêu kết.

Giản đồ nung thiêu kết mẫu được biểu diễn trên Hình 3:



Hình 3. Giản đồ nung các mẫu  $REMnO_3$

- Nung sơ bộ: mẫu sau khi ép được sấy khô ở 80°C trong thời gian 10 giờ sau đó được nung sơ bộ ở 1000°C trong 10 giờ và làm nguội theo lò đến nhiệt độ phòng.

- Nung thiêu kết: mẫu sau khi nung sơ bộ lại lặp lại quá trình nghiền trộn, ép và sấy khô như trên. Mẫu được nung thiêu kết ở 1.250°C và giữ ở nhiệt độ này trong thời gian 10 giờ sau đó được làm nguội theo lò đến nhiệt độ phòng.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Các phép đo

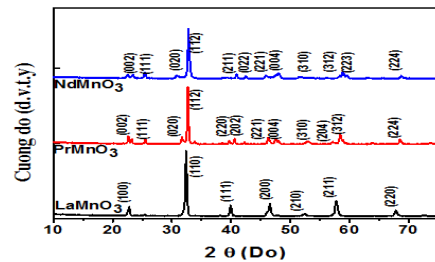
Các mẫu sau khi chế tạo được khảo sát cấu trúc và tính chất từ. Ở đây, chúng tôi thực hiện các phép đo nhiễu xạ tia X (XRD), phép đo hiển vi điện tử quét (SEM), phép đo đường trễ từ phụ thuộc vào từ trường  $M(H)$  được thực hiện trên từ kế mẫu rung (VSM), phép đo đường từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ  $M(T)$  được thực hiện trên máy SQUID.

Phép đo phổ XRD của các mẫu được tiến hành trên hệ nhiễu xạ kế tia X Bruker D5005 (CHLB Đức). Hệ đo sử dụng ống phát tia X với anode Cu, bước sóng tia X là  $\lambda = 1,54056\text{Å}$ . Ảnh SEM của các mẫu được chụp trên thiết bị Nova NanoSEM – 450 – FEI có độ phân giải cao là 1,4nm trong chân không cao và 1,8nm trong chân không thấp. Phép đo đường trễ từ của hệ mẫu được khảo sát ở nhiệt độ phòng trên thiết bị đo từ kế mẫu rung DMS 880. Các phép đo trên được thực hiện tại Trung tâm Khoa học Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN.

Phép đo đường cong từ nhiệt  $M(T)$  được đo trên thiết bị SQUID trong từ trường từ 0 đến 500Oe ở dải nhiệt độ từ 5K đến 350K tại Nhật Bản.

#### 3.2. Tính chất cấu trúc

Phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của hệ  $REMnO_3$  (RE = La, Pr, Nd) được đưa ra trong Hình 4.



Hình 4. Phổ nhiễu xạ tia X của hệ  $REMnO_3$  (RE=La,Pr,Nd)

Từ giản đồ nhiễu xạ tia X ta thấy các đỉnh nhiễu xạ khá sắc nét, vị trí của các đỉnh nhiễu xạ của mẫu trùng khớp với vị trí của các đỉnh trong các công bố trước đây [12, 13, 26]. Mẫu  $LaMnO_3$  có cấu trúc tinh thể lập phương (cubic) còn các mẫu  $PrMnO_3$  và  $NdMnO_3$  có cấu trúc tinh thể trực thoi (orthorhombic), thuộc nhóm không gian Pbnm. Các thông số về hằng số mạng tinh thể và thể tích ô cơ sở được tính bởi phần mềm Checkcell và được đưa ra trong Bảng 1. Trong đó, công thức tính hằng số

mạng cho hệ tinh thể lập phương (cubic) của mẫu  $\text{LaMnO}_3$  được đưa ra ở biểu thức (1) [2]:

$$d_{hkl} = a(h^2 + k^2 + l^2)^{-1/2} \quad (1)$$

Với hai mẫu  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  có cấu trúc tinh thể trực thoi (orthorhombic), hằng số mạng được tính theo công thức (2) [2]:

$$d_{hkl} = \left[ \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

Trong đó,  $d_{hkl}$  là khoảng cách giữa hai mặt phẳng mạng liên tiếp được xác định từ dữ liệu của phổ XRD.

**Bảng 1.** Hằng số mạng và thể tích ô cơ sở của hệ  $\text{REMnO}_3$  (RE = La, Pr, Nd)

Mẫu	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Thể tích ô cơ sở V(Å <sup>3</sup> )
$\text{LaMnO}_3$	3,92	3,92	3,92	60,24
$\text{PrMnO}_3$	5,54	5,78	7,58	242,72
$\text{NdMnO}_3$	5,40	5,75	7,56	235,19

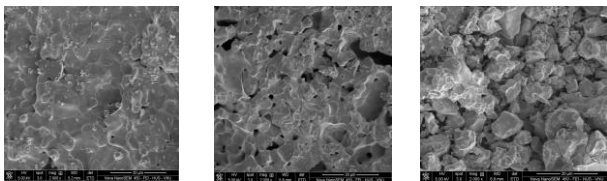
Kết quả tính toán này là khá phù hợp với kết quả nghiên cứu về vật liệu  $\text{LaMnO}_3$  của tác giả Maryam Shaterian [13], về  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  của tác giả D.A. Mota và G. Maris [14, 24].

Bên cạnh đó, từ số liệu phổ nhiễu xạ tia X, ta cũng tính được kích thước hạt dựa vào công thức Debye – Scherrer xác định trong biểu thức (3):

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

Trong đó,  $\lambda_{\text{Cu-K}\alpha} = 1,54056\text{Å}$  là bước sóng của tia X với anode Cu. Kích thước hạt  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{PrMnO}_3$ ,  $\text{NdMnO}_3$  tính toán được tương ứng là 87nm, 93nm và 65nm.

Các mẫu được chụp ảnh SEM để khảo sát hình thái học của chúng. Ảnh SEM của hệ  $\text{REMnO}_3$  (RE = La, Pr, Nd) được đưa trong Hình 5.



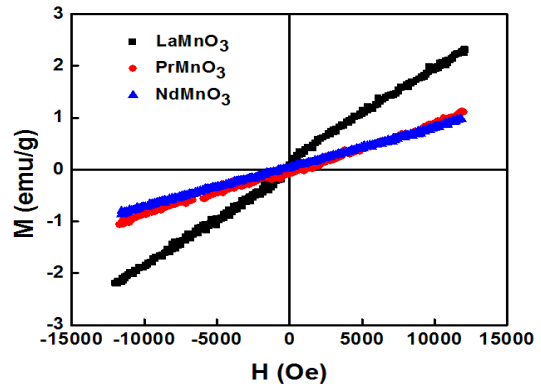
**Hình 5.** Ảnh SEM của hệ  $\text{REMnO}_3$  (RE = La, Pr, Nd)

Nhìn vào Hình 5 trên ta có thể quan sát được kích thước của đám hạt và thấy sự phân bố của các hạt là khá

đồng đều. Bề mặt của mẫu  $\text{LaMnO}_3$  dày đặc, khá khít. Còn bề mặt hai mẫu  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  thì có độ xốp cao hơn so với bề mặt của mẫu  $\text{LaMnO}_3$ .

### 3.3 Tính chất từ

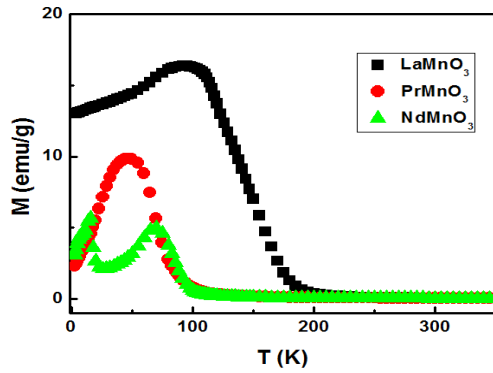
Để khảo sát tính chất từ của hệ mẫu, chúng tôi thực hiện phép đo đường cong từ trễ phụ thuộc vào từ trường  $M(H)$  ở nhiệt độ phòng và từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ  $M(T)$  tại  $H = 500\text{Oe}$ . Hình 6 là đường từ độ phụ thuộc vào từ trường  $M(H)$  của hệ  $\text{REMnO}_3$  (RE = La, Pr, Nd) đo tại nhiệt độ phòng.



**Hình 6.** Sự phụ thuộc của từ độ vào từ trường của hệ  $\text{REMnO}_3$  ở nhiệt độ phòng

Từ Hình 6 ta thấy đường từ độ phụ thuộc vào từ trường -  $M(H)$  tại nhiệt độ phòng có dạng tuyến tính nên tất cả các mẫu  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{PrMnO}_3$ ,  $\text{NdMnO}_3$  mang tính thuận từ. Kết quả này là hoàn toàn phù hợp với các kết quả của tác giả Tokeer Ahmad [29]. Giá trị từ độ cực đại  $M_{max}$  của các mẫu  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  tại giá trị từ trường  $H = 12\text{ kOe}$  tương ứng là 2,32; 1,11 và 0,97 (emu/g). Ta thấy mẫu  $\text{LaMnO}_3$  có  $M_{max}$  lớn hơn nhiều so với  $M_{max}$  của hai mẫu  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$ . Điều này có thể là do các spin trong phân mạng Mn được gắn chặt với các spin trong phân mạng A. Khi đặt vào mẫu một từ trường ngoài, các spin trong phân mạng A không bị ảnh hưởng trực tiếp bởi từ trường ngoài này, dẫn đến giá trị từ tổng cộng bị giảm. Trong khi đó ion  $\text{La}^{3+}$  là một ion không từ tính. Điều đó lý giải vì sao  $\text{LaMnO}_3$  lại có giá trị từ độ cao hơn so với mẫu  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  [30].

Hình 7 là đường cong từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ -  $M(T)$  của hệ  $\text{REMnO}_3$  (RE = La, Pr, Nd) tại  $H = 500\text{ Oe}$ .



**Hình 7.** Sự phụ thuộc của từ độ vào nhiệt độ của hệ  $REMnO_3$

Thông thường vật liệu manganite không pha tạp như  $LaMnO_3$  mang tính phản sắt từ do La là chất không có từ tính còn ion  $Mn^{3+}$  mang tính phản sắt từ. Quan sát Hình 7 ta thấy đường từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ cho thấy sự tồn tại của cả hai pha sắt từ và phản sắt từ mà ion  $Mn^{4+}$  quyết định tính sắt từ và ion  $Mn^{3+}$  quyết định tính phản sắt từ. Điều đó chứng tỏ sự tồn tại của cả ion  $Mn^{4+}$  và ion  $Mn^{3+}$  trong phân mạng.

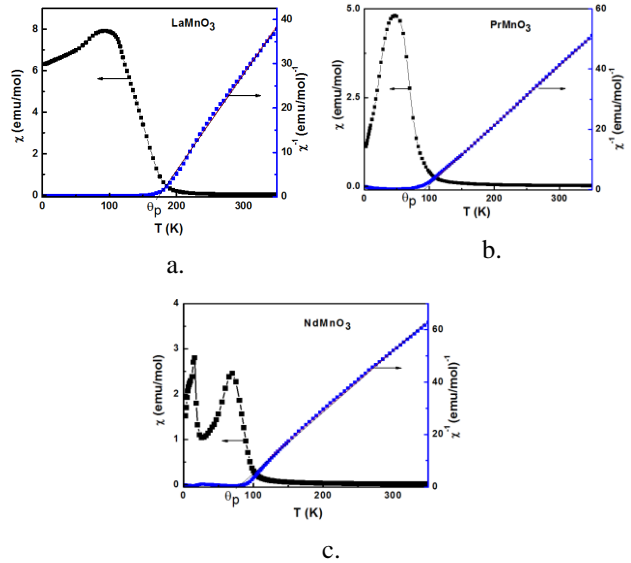
Mẫu  $PrMnO_3$  cũng cho thấy sự tồn tại của cả hai pha sắt từ và phản sắt từ như mẫu  $LaMnO_3$ . Do ion  $Pr^{3+}$  là ion đất hiếm có từ tính nên pha sắt từ của  $PrMnO_3$  càng thể hiện rõ nét hơn.

Đối với mẫu  $NdMnO_3$  cũng cho thấy sự tồn tại của cả hai pha sắt từ và phản sắt từ nhưng quan sát đường  $M(T)$  thấy xuất hiện hai đỉnh tại  $T = 15K$  và  $T = 75K$ . Điều này được lý giải là do ảnh hưởng bởi trật tự xa của ion  $Nd^{3+}$  tại  $T = 15K$ . Khi nhiệt độ tăng lên, momen từ giảm xuống đột ngột do trật tự xa của ion  $Nd^{3+}$  này không còn nữa. Tại  $T = 75K$  đường  $M(T)$  của  $NdMnO_3$  xuất hiện đỉnh thứ hai. Điều này được lý giải là do sự ảnh hưởng của trật tự từ do ion  $Mn^{3+}$ . Theo lý thuyết, khi spin ở trạng thái cao sẽ sản sinh ra một momen từ hiệu dụng cỡ  $6,09\mu_B$ , còn khi spin ở trạng thái thấp thì momen từ hiệu dụng cỡ  $4,59\mu_B$ . Trong khi đó, momen từ hiệu dụng tính toán theo thực nghiệm là  $6,1\mu_B$ . Điều này cho thấy kết quả tính toán momen từ hiệu dụng theo thực nghiệm và momen từ hiệu dụng khi spin ở trạng thái cao là xấp xỉ với nhau. Khi các ion  $Mn^{3+}$  ở trạng thái cao sẽ quyết định tính phản sắt từ trong phân mạng.

Từ số liệu của đồ thị sự phụ thuộc của từ độ vào nhiệt độ tại từ trường  $H = 500Oe$  (Hình 7) ta có thể xác định được giá trị độ cảm từ  $\chi$  theo công thức:

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (4)$$

Khi tính được  $\chi$  thì ta có được đồ thị sự phụ thuộc của độ cảm từ vào nhiệt độ  $\chi(T)$  và nghịch đảo của nó  $\chi^{-1}(T)$  được đưa ra trên Hình 8a, 8b, 8c tương ứng với lần lượt các mẫu  $LaMnO_3$ ,  $PrMnO_3$  và  $NdMnO_3$ .



**Hình 8.** Sự phụ thuộc của độ cảm từ vào nhiệt độ  $\chi(T)$  và  $\chi^{-1}(T)$  của mẫu  $REMnO_3$  a.La; b.Nd; c.Pr

Quan sát Hình 8a, 8b, 8c ta thấy độ cảm từ  $\chi$  giảm khi nhiệt độ tăng trong khoảng nhiệt độ từ  $100 \div 160K$  ( $LaMnO_3$ ),  $50 \div 90K$  ( $PrMnO_3$ ) và  $18 \div 32K$ ;  $75 \div 95K$  ( $NdMnO_3$ ). Ở tại những vùng nhiệt độ này, các mẫu thể hiện tính sắt từ mạnh. Đường  $\chi^{-1}(T)$  là một đường tuyến tính cho thấy các mẫu mang tính thuận từ ở nhiệt độ trên nhiệt độ Curie. Kết quả này là phù hợp với định luật Curie - Weiss ở vùng thuận từ:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta} \quad (5)$$

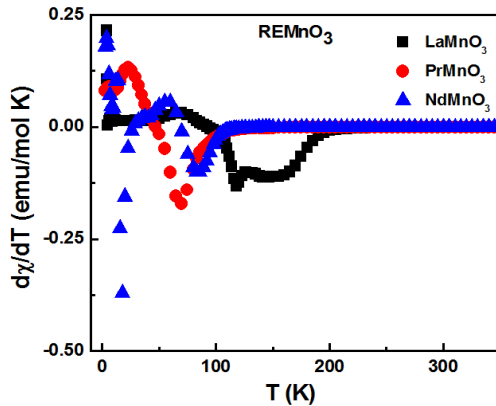
$$\chi^{-1} = \frac{-\theta}{C} + \frac{T}{C} \quad (6)$$

Trong đó  $\chi$  là độ cảm từ,  $\chi^{-1}$  là nghịch đảo độ cảm từ,  $C$  là hằng số Curie và  $\theta$  là nhiệt độ Weiss. Bằng cách fit đường tuyến tính ở vùng thuận từ, ta có thể tính được giá trị của nhiệt độ Weiss. Từ giá trị hằng số Curie ta tính ra được độ từ thẩm hiệu dụng  $\mu_{eff}$  bởi công thức sau:

$$C = \frac{N \cdot \mu_{eff}^2}{3k_B} \quad (7)$$

Trong đó  $N$  là số nguyên tử trong một đơn vị thể tích,  $C$  là hằng số Curie.

Từ đồ thị sự phụ thuộc của độ cảm từ vào nhiệt độ tại từ trường  $H = 500\text{Oe}$  (Hình 8a, 8b, 8c) ta sẽ xác định được đồ thị  $d\chi/dT$  (Hình 9) của hệ  $\text{REMnO}_3$  bằng cách lấy vi phân  $\chi(T)$ .



Hình 9. Đường  $d\chi/dT$  của hệ  $\text{REMnO}_3$  ( $\text{RE} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}$ )

Từ điểm cực tiểu trên đồ thị  $d\chi/dT$  (Hình 9) ta tìm ra giá trị nhiệt độ Curie  $T_c$  của các mẫu một cách chính xác. Các giá trị hằng số Weiss, nhiệt độ Curie và hằng số  $C$  của lần lượt các mẫu  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{PrMnO}_3$  và  $\text{NdMnO}_3$  được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị  $T_c$ ,  $\mu$ ,  $\mu_{\text{eff}}$  và hằng số Curie của hệ  $\text{REMnO}_3$  ( $\text{RE} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}$ ).

Mẫu	$T_c$ (K)	$\theta$ (K)	$C$ (emu-K)	$\mu_{\text{eff}}$
$\text{LaMnO}_3$	147	162	4,95	6,29 $\mu_B$
$\text{PrMnO}_3$	69	89,8	5,11	6,39 $\mu_B$
$\text{NdMnO}_3$	84	58,3	4,66	6,10 $\mu_B$

Khi so sánh với kết quả  $\mu_{\text{eff}}$  của mẫu  $\text{LaMnO}_3$  được chế tạo theo phương pháp hóa của tác giả Tokeed Ahmad ở 773K và 1173K lần lượt là 4,60 $\mu_B$  và 4,05 $\mu_B$ . Giá trị  $\mu_{\text{eff}}$  giảm do tỉ lệ của  $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$  tăng lên [29]. Trong khi đó, mẫu  $\text{LaMnO}_3$  của chúng tôi có  $\mu_{\text{eff}} = 6,29\mu_B$ . Điều này có thể lý giải là do tỉ lệ  $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$  nhỏ hơn so với tỉ lệ  $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$  trong mẫu  $\text{LaMnO}_3$  của tác giả Tokeed Ahmad dẫn đến giá trị của  $\mu_{\text{eff}}$  tăng lên. Vì vậy mẫu mang tính thuận từ. Mẫu  $\text{NdMnO}_3$  được chế tạo bằng phương pháp gốm của tác giả Fang Hong cùng các cộng sự cho thấy  $\mu_{\text{eff}} = 6,0\mu_B$  [7] khá tương đồng

với giá trị momen từ hiệu dụng tính toán theo thực nghiệm của chúng tôi là  $\mu_{\text{eff}} = 6,10\mu_B$ .

#### 4. Kết luận

Đã chế tạo được hệ mẫu perovskite  $\text{REMnO}_3$  với  $\text{RE}=\text{La};\text{Nd};\text{Pr}$  và nghiên cứu các tính chất cấu trúc và tính chất từ của hệ vật liệu. Qua đó phát hiện được một số tính chất khác biệt khi thay thế RE bằng các nguyên tố đất hiếm khác nhau như La; Nd và Pr. Hướng phát triển của nghiên cứu này pha thêm tạp vào vị trí A của phân mạng như Ba hay Sr để nghiên cứu ảnh hưởng của các ion tạp chất đó lên tính chất cấu trúc và tính chất từ của nó.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Huỳnh Đăng Chính (2003), Tổng hợp, cấu trúc và tính chất điện - từ của một số Perovskite bằng phương pháp Sol-Gel, Luận án tiến sĩ hóa học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [2] PGS.TS Nguyễn Ngọc Long (2007), Vật lý chất rắn, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [3] Nguyễn Thị Thủy (2014), Nghiên cứu tính chất điện, từ của một số perovskite nhiệt điện, Luận án tiến sĩ Vật lý, Khoa Vật lý, ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN.
- [4] Ngô Hồ Quang Vũ (2010), Giới thiệu về phương pháp SEM, TP. Hồ Chí Minh.
- [5] Goldschmidt V. (1958), Geochemistry, Oxford University press.
- [6] Hemberger J. et al. (2003), "Magnetic and thermodynamic properties of  $\text{RMnO}_3$  ( $\text{R} = \text{Pr}, \text{Nd}$ )", *arXiv: cond-mat*, 1, 0311170.
- [7] Hong F. et al. (2012), "Positive and negative exchange bias effects in the simple perovskite manganite  $\text{NdMnO}_3$ ", *Applied Physics Letters*, 101(10), pp. 102411-102415.
- [8] Jativa J. et al. (2012), "Hydrothermal synthesis, magnetic susceptibility, electrical transport and vibrational order of the polycrystalline structure  $\text{La}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{MnO}_3$ ", *Revista Mexicana de Fisica S*, 58(2), pp. 19–23.
- [9] Jeffrey J. et al. (2004), "Synthesis of Single-Crystalline  $\text{La}_{1-x}\text{BaxMnO}_3$  Nanocubes with Adjustable Doping Levels", *Nano Letters*, 4(8), pp. 1547-1550.
- [10] Kotomin E.A. et al. (2006), "First principles calculations of the atomic and electronic structure of  $\text{LaMnO}_3$  (001) surface", *Computer Modelling and New Technologies*, 10(3), pp. 29-40.

- [11] Lim K.P. et al. (2009), “Effect of Divalent Ions (A = Ca, Ba and Sr) Substitution in La-Mn-O Magnetic and Electrical Transport Properties”, *American Journal of Applied Sciences* 6 (6), pp. 1153-1157.
- [12] Maris G. et al (2004), “Effect of ionic size on the orbital ordering transition in  $\text{RMnO}_3 + \delta$ ”, *New Journal of Physics* (6), pp. 153.
- [13] Maryam Shaterian et al. (2014), “Synthesis, characterization and photocatalytic activity of  $\text{LaMnO}_3$  nanoparticles”, *Applied Surface Science*, 218, pp. 213-217.
- [14] Mota D.A. et al. (2014), “Dynamic and structural properties of orthorhombic rare-earth manganites under high pressure”, *Appl. Phys.*, 92, pp. 7355-7361.
- [15] Nagaev E.L. (1983), Physics of magnetic Semiconductor, *Mir Pub, Moscow*.
- [16] Nguyen Hoang Luong, (2008), “Room-temperature large magnetocaloric effect in perovskites  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_0.7\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ”, *VNU Journal of Science, Mathematics – Physics*, 24, pp. 30-35.
- [17] Pecharsky V.K., K.A. Gschneidner (1997), *J. Magn. Mater.*, 167 L179.
- [18] Phan Manh Huong, Seyong Cho – yu (2006), “Review of the magnetocaloric effect in manganite materials”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 308, pp. 325–340
- [19] Pradhan A.K. et al. (2008), “Synthesis and magnetic characterizations of manganite-base composite nanoparticles for biomedical applications”, *J. App. Phys.* 103, 07F704.
- [20] Rajee Ranjan (2008), “Subtle Structural Distortions in Some Dielectric Perovskite”, *Journal of the Indian Institute of Sciences*, 88(2), pp. 211.
- [21] Rao C. N. R. (1997), “Charge Ordering in Manganates”, *Science* 276, pp. 911-912.
- [22] Rob Janes and Elaine Moore (2004), Handbook: Metal - Ligand Bonding, *The Open University, UK*.
- [23] Rowe D. M. (1995), CRC Handbook of thermoelectrics, *CRC Press*.
- [24] Santhosh Kumar B. et al. (2015), “Electrical property of Half Metallic Ferromagnet  $\text{Pr}_{0.95}\text{Mn}_{0.939}\text{O}_3$ ”, pp. 1060.
- [25] Satpathy S. et al. (1996), “Advances in Chemistry”, *J. Appl. Phys.*, 79, pp 45-55.
- [26] Tang F.L. et al. (2009), “Structural relaxation and Jahn-Teller distortion of  $\text{LaMnO}_3$  (001) surface”, *Surface Science*, 603(6), pp. 949-954.
- [27] Tejuca, Luis G. (1993), Properties and applications of perovskite-type oxides, *New York, Dekker*.
- [28] Tishin A.M. (1999), Handbook of Magnetic Materials, ed. K.H. J. Buschow, *North – Holland, Amsterdam*, 12, pp. 395.
- [29] Tokeer Ahmad. et al. (2013), “Low-temperature synthesis, structural and magnetic properties of self-dopant  $\text{LaMnO}_3 + \delta$  nanoparticles from a metal-organic polymeric precursor”, *Materials Research Bulletin*, 48, pp. 4723–4728.
- [30] Wong Jen Kuen. et al. (2012), “Effect of Rare Earth Elements Substitution in La site for  $\text{LaMnO}_3$  Manganites”, 86, pp. 80-86.
- [31] Yakhmi J.V. et al. (2000), “Does the  $\text{LaMnO}_3$  phase accept Ce-doping?”, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 12(47) L719.
- [32] Zener Calarence (1951), *Phys. Rev. B*, 82, pp. 403.

## RESEARCHING STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF PEROVSKITE $\text{REMnO}_3$ (RE=La,Nd,Pr)

**Abstract:** This paper presents our study on the production of a sample system of perovskite manganites  $\text{REMnO}_3$  with rare earth ions RE=La,Nd,Pr respectively by means of a solid-state reaction technology. The structure and magnetic properties have been investigated. The crystal structure of  $\text{LaMnO}_3$  is cubic, whereas the crystal structures of  $\text{NdMnO}_3$  and  $\text{PrMnO}_3$  are orthorhombic. We have investigated the dependence of the magnetic temperature on the samples' temperature and the magnetic field. In addition, we have calculated the Curie and Weiss temperature as well as Curie constants of the samples. We have discovered other transition at 15.3 K and 42.5 K for the  $\text{NdMnO}_3$  sample. We have compared the magnetic properties of the samples, thereby discussing the impact of rare earth ions on the properties of the sample systems.

**Key words:** magnetic properties; perovskite; manganite; RE doped.