

# THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: NGUYỄN THỊ MỸ ĐỨC
2. Giới tính: Nữ
3. Ngày sinh: 28/04/1984
4. Nơi sinh: Thừa Thiên Huế
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: Số 4860/QĐ-ĐHKHTN ngày 24/11/2014 của Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học Tự nhiên.
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo:
  - Quyết định số 4067/QĐ-ĐHKHTN ngày 01/12/2016 về việc điều chỉnh cán bộ hướng dẫn khoa học luận án tiến sĩ.
  - Quyết định số 596/QĐ-ĐHKHTN ngày 06/03/2018 về việc gia hạn đào tạo và bảo vệ luận án cho nghiên cứu sinh.
  - Quyết định số 4728/QĐ-ĐHKHTN ngày 28/12/2018 về việc gia hạn đào tạo và bảo vệ luận án cho nghiên cứu sinh.
7. Tên đề tài luận án: Nghiên cứu hiệu ứng từ nhiệt trong một số perovskite manganite và dây từ hợp kim chứa Gd
8. Chuyên ngành: Vật lý chất rắn
9. Mã số: 9440130.02
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: PGS.TS Ngô Thu Hương; GS.TS Phan Mạnh Hưởng
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:
  - ♦ Đã chế tạo thành công các hệ vật liệu perovskite:  $RE\text{MnO}_3$  ( $RE = \text{La}, \text{Pr}$ ) và  $(\text{La}_{0,5}\text{Pr}_{0,5})_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$  với  $x = 0 - 0,5$ . Khảo sát cấu trúc và tính chất từ cho thấy ứng với  $x = 0,4$  thì vật liệu có tính sắt từ tốt nhất (LPBMO) và nhiệt độ Curie ( $T_C$ ) lớn nhất.
  - ♦ Đã nghiên cứu hiệu ứng từ nhiệt (MCE) và thuộc tính tới hạn đối với vật liệu LPBMO. Sự tồn tại của tương tác sắt từ khoảng ngắn trên  $T_C$  dẫn đến sự phụ thuộc đáng kể của từ độ vào từ trường, gây ra sự mở rộng của quá trình chuyển pha sắt từ - thuận từ (FM – PM). Mặc dù các vật liệu perovskite manganite có ưu thế về giá thành sản xuất rẻ và dễ chế tạo nhưng tính chất từ nhiệt của chúng không đáp ứng được các tiêu chí của vật liệu ứng dụng làm lạnh từ tiên tiến hiện nay.
  - ♦ Đã nghiên cứu cấu trúc, tính chất từ, hiệu ứng MCE và thuộc tính tới hạn của dây từ nhiệt vô định hình  $\text{Gd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Al}_{20}$ , cho khả năng làm lạnh tốt hơn các vật liệu hợp kim dạng khối và băng  $\text{Gd-Fe-Al}$  cũng như dây từ có tỉ phần hợp kim tương tự  $\text{Gd}_{60}\text{Co}_{20}\text{Al}_{20}$ . Sự tồn tại đồng thời của tương tác sắt từ Gd-Gd, Fe-Fe và tương tác phản sắt từ Gd-Fe dưới  $T_C$ , dẫn đến sự mở rộng vùng chuyển pha FM-PM trong khi vẫn duy trì giá trị entropy từ biến thiên ( $\Delta S_M$ ) cao. Dây từ  $\text{Gd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Al}_{20}$  cho hiệu suất làm lạnh (RCP) cao, lớn hơn rất nhiều so với vật liệu LPBMO.
  - ♦ Đã nghiên cứu cấu trúc, tính chất từ, hiệu ứng MCE và các số mũ tới hạn của vật liệu dây từ hợp kim vô định hình  $\text{Gd}_{50}(\text{Co}_{69,25}\text{Fe}_{4,25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13,5})_{50}$ . Việc kết hợp thành phần hợp kim  $\text{Co}_{69,25}\text{Fe}_{4,25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13,5}$  có đặc tính từ mềm tốt với Gd theo tỷ phần 50:50 tạo ra một dây từ nhiệt có  $T_C$  cao hơn so với hệ Gd-Co-Al, trong khi vẫn duy trì RCP lớn. Việc phân tích hệ thống các số mũ tới hạn cho thấy có sự tồn tại tương tác khoảng dài dưới  $T_C$  và tương tác khoảng ngắn trên  $T_C$ , tương tự như LPBMO, tuy nhiên dây từ có moment từ cao hơn nên giá trị  $\Delta S_M$  nhận được là cao hơn.

♦ Đã nghiên cứu cấu trúc, tính chất từ và hiệu ứng MCE của các dây từ nhiệt composite  $Gd_{73,5}Si_{13}B_{13,5}/GdB_6$ . Các kết quả nhận được chứng tỏ rằng việc tạo ra pha nano tinh thể có thành phần  $GdB_6$  (~ 10 nm), có tính chất phản sắt từ yếu, trên nền ma trận vô định hình  $Gd_{73,5}Si_{13}B_{13,5}$  tạo ra vật liệu composite từ nhiệt mới có các tính chất từ và từ nhiệt tối ưu, là một ứng cử viên đầy tiềm năng cho các ứng dụng làm lạnh từ tiên tiến. Việc tạo ra pha nano tinh thể phản sắt từ yếu trong ma trận vô định hình sắt từ là một cách thức tiếp cận mới nhằm nâng cao  $\Delta S_M$  và RCP.

Các kết quả về hiệu ứng MCE và tham số tới hạn trong luận án đã được đăng trên 04 bài báo thuộc tạp chí ISI (1 bài trên tạp chí Intermetallics (ISI,Q1), 2 bài trên tạp chí Journal of Alloys and Compounds (ISI,Q1) và 1 bài trên tạp chí Journal of Electronic Materials (ISI,Q2)); 2 bài trên các tạp chí trong nước và 6 bài và tóm tắt trong các Hội nghị chuyên ngành trong nước và quốc tế.

12. Khả năng ứng dụng thực tiễn:

Vật liệu từ nhiệt dạng dây hợp kim có khả năng ứng dụng rất cao trong các thiết bị làm lạnh từ tiên tiến nhờ những ưu điểm vượt trội của nó. Đặc biệt, dây từ nhiệt composite với sự có mặt của các hạt nano phản sắt từ yếu trên nền ma trận dây từ vô định hình là một cách tiếp cận mới có tính ứng dụng cao nhằm nâng cao hiệu ứng từ nhiệt của vật liệu dây từ.

13. Các hướng nghiên cứu tiếp theo:

Nghiên cứu hiệu ứng từ nhiệt của dây từ hợp kim với các thành phần khác nhau nhằm ứng dụng trong các thiết bị làm lạnh ở các khoảng nhiệt độ khác nhau. Nghiên cứu hiệu ứng từ nhiệt dạng dây được sắp xếp theo các cấu hình khác nhau: dạng đơn và đa lớp, dạng tròn, vv. Các nghiên cứu này có thể giúp nâng hiệu suất làm lạnh cao.

14. Các công trình công bố liên quan đến luận án:

[1] N.T.M.Duc, C.M.Hung, N.T.Huong, M.H.Phan (2020), “Magnetic interactions and magnetocaloric effect in  $(La_{0,5}Pr_{0,5})_{0,6}Ba_{0,4}MnO_3$ : Effect of A-site co-doping”, *Journal of Electronic Materials* 49, tr. 2596-2607 (ISI, Q2)

[2] N.T.M.Duc, H.X. Shen, O. Thiabgoh, N.T.Huong, J.F.Sun, M.H.Phan (2020), “Melt-extracted  $Gd_{73,5}Si_{13}B_{13,5}/GdB_6$  ferromagnetic/antiferromagnetic microwires with excellent magnetocaloric properties”, *Journal of Alloys and Compounds* 818, tr. 153333 (ISI, Q1)

[3] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, O.Thiabgoh, J.L.Sanchez Llamazares, C.F.Sanchez-Valdes, N.T.Huong, J.F.Sun, H.Srikanth, M.H.Phan (2019), “Enhanced refrigerant capacity and Curie temperature of amorphous  $Gd_{60}Fe_{20}Al_{20}$  microwires”, *Journal of Alloys and Compounds* 807, tr. 151694 (ISI, Q1)

[4] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, O.Thiabgoh, J.L.Sanchez Llamazares, C.F.Sanchez-Valdes, N.T.Huong, J.F.Sun, H.Srikanth, M.H.Phan (2019), “Critical magnetic and magnetocaloric behavior of amorphous melt-extracted  $Gd_{50}(Co_{69,25}Fe_{4,25}Si_{13}B_{13,5})_{50}$  microwires”, *Intermetallics* 110, tr. 106479 (ISI, Q1)

[5] Nguyễn Thị Mỹ Đức, Ngô Thu Hương, Phan Mạnh Hưởng (2019), “Ảnh hưởng của kim loại sắt từ lên nhiệt độ chuyển pha của vật liệu từ nhiệt dạng dây micro nền Gd”, *Kỷ yếu Hội nghị Vật lý Chất rắn và Khoa học Vật liệu toàn quốc SPMS 2019* (Quy Nhơn, Vietnam), tr. 98 – 102

- [6] N.T.M.Duc, M.Kurusu, K.Konishi, M.H.Phan, N.T.Huong (2016), “Structure and magnetic properties of REMnO<sub>3</sub> system”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics* số 32, quyển 4, tr. 6-11
- [7] Nguyễn Thị Mỹ Đức, Ngô Thu Hương (2016), “Nghiên cứu ảnh hưởng của ion đất hiếm lên cấu trúc và tính chất từ của perovskite manganite”, *Tạp chí Khoa học và Giáo dục, Trường Đại học Sư phạm - Đại học Đà Nẵng* 20(03), tr. 1-6
- [8] Nguyễn Thị Mỹ Đức, Ngô Thu Hương (2016), “Nghiên cứu tính chất cấu trúc và tính chất từ của perovskite (La<sub>0,5</sub>Pr<sub>0,5</sub>)<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> với x = 0; 0,2 và 0,4”, *Kỷ yếu Hội thảo Khoa học Cán bộ trẻ các trường Đại học Sư phạm toàn quốc 2016* (TP Hồ Chí Minh, Việt Nam), tr. 905-914
- [9] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, N.T.Huong, H.Srikanth, M.H.Phan (2019), “Magnetocaloric microwires for energy efficiency magnetics refrigeration”, *Hanoi International Symposium on Advanced Materials and Devices (HISAMD 2019)* January 10-12, 2019, Hà Nội, Việt Nam
- [10] N.T.M.Duc, H.X.Shen, S.Jiang, N.T.Huong, J.F.Sun, M.H.Phan (2018), “Magnetic and Magnetocaloric Behaviors in Gd<sub>50</sub>Al<sub>25</sub>Co<sub>25</sub>/FeNi Core/Shell Structured Microwires”, *The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018)* June 3-7 2018, Jeju, Korea
- [11] N.T.M.Duc, N.T.Huong, M.H.Phan (2016), “The effect of doping concentration on structural properties and magnetic properties of the manganite (La<sub>0,5</sub>Pr<sub>0,5</sub>)<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> system (with x=0;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5)”, *International Workshop on Advanced Materials and Nanotechnology (IWAMN 2016)* November 3-5, 2016, Hà Nội, Việt Nam
- [12] N.T.M.Duc, N.T.K.Van, N.T.Huong, M.Kurusu, K. Konishi, N.H.Hong (2015), “Structure and magnetic properties of RMnO<sub>3</sub> system”, *The International Workshop on Nanoscience and Nanotechnology: Opportunities for Academia & High Tech Industry, Joint 4th Asia-Pacific Chemical and Biological Microfluidics Conferences (IWNN-APCBM 2015)*, November 2-4, 2015, Đà Nẵng, Việt Nam

**Người hướng dẫn luận án**

Ngày tháng năm  
**Nghiên cứu sinh**

## INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: NGUYEN THI MY DUC
2. Sex: Female
3. Date of birth: April 28, 1984
4. Place of birth: Thua Thien - Hue Province
5. Admission decision number: Decision No. 4860/QĐ-ĐHKHTN, dated on 24/11/2014 by Rector of VNU University of Science.
6. Changes in academic process:
  - Decision No. 4067/QĐ-ĐHKHTN, dated on 01/12/2016 on adjusting the supervisor of the doctoral thesis.
  - Decision No. 596/QĐ-ĐHKHTN, dated on 06/03/2018 on time extension of the research training course and the thesis defense for the PhD. student.
  - Decision No. 4728/QĐ-ĐHKHTN, dated on 28/12/2018 on time extension of the research training course and the thesis defense for the PhD. student.
7. Official thesis title: Exploring the magnetocaloric effects in perovskite manganite and Gd-containing alloy microwires
8. Major: Solid State Physics
9. Code: 9440130.02
10. Supervisors: Assoc.Prof.Dr. Ngo Thu Huong; Prof.Dr. Phan Manh Huong
11. Summary of the new findings of the thesis:
  - ◆ We have successfully fabricated perovskite samples  $RE\text{MnO}_3$  ( $RE = \text{La, Pr}$ ) and  $(\text{La}_{0.5}\text{Pr}_{0.5})_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$  with  $x = 0-0.5$ . The structural and magnetic properties of the samples were systematically characterized, showing the optimal magnetic property for the  $x = 0.4$  composition.
  - ◆ The magnetocaloric effect and critical behavior of LPBMO were studied. A detailed analysis of the critical exponents indicates a long-range ferromagnetic interaction below  $T_C$  but a short-range interaction above  $T_C$ , causing the ferromagnetic-paramagnetic (FM–PM) phase transition to broaden and consequently enhancing the relative cooling power (RCP). Although perovskite manganites are cost-effective and easy to be fabricated, their MCE characteristics do not fulfil the requirements of an active magnetic refrigerator (AMR).
  - ◆ Having studied the structural, magnetic properties, magnetocaloric effect, and unusual critical behavior of the melt-extracted amorphous  $\text{Gd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Al}_{20}$  microwires, we have achieved the larger RCP values of these microwires as compared to GdFeAl alloys or ribbons or even  $\text{Gd}_{60}\text{Co}_{20}\text{Al}_{20}$  microwires. The coexistence of ferromagnetic (Gd-Gd, Fe-Fe) and antiferromagnetic (Gd-Fe) interactions resulted in the broadened FM-PM transition and hence the enhanced RCP.
  - ◆ We have systematically investigated the structural, magnetic properties, magnetocaloric effect, and critical exponents of melt-extracted amorphous  $\text{Gd}_{50}(\text{Co}_{69.25}\text{Fe}_{4.25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5})_{50}$  microwires. The combination of a soft ferromagnetic  $\text{Co}_{69.25}\text{Fe}_{4.25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5}$  alloy component with Gd creates a novel class of magnetocaloric microwires possessing a higher  $T_C$  than that of Gd-Co-Al microwires while retaining a large RCP. The obtained critical exponents of the  $\text{Gd}_{50}(\text{Co}_{69.25}\text{Fe}_{4.25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5})_{50}$  microwires are close to those of systems exhibiting long-range ferromagnetic interactions below  $T_C$  and short-range interactions above  $T_C$ , similar to LPBMO.

♦ We have designed and characterized the structural, magnetic properties, and magnetocaloric effect of melt-extracted  $\text{Gd}_{73.5}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5}/\text{GdB}_6$  microwires, with  $\text{GdB}_6$  nanocrystals (~10 nm) embedded in an amorphous  $\text{Gd}_{73.5}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5}$  matrix. The large MCE and RCP make these composite microwires a very attractive candidate for active magnetic cooling applications.

The research results of this thesis have been published in 4 articles of ISI journals (1 paper in *Intermetallics* (ISI, Q1), 2 papers in *Journal of Alloys and Compounds* (ISI, Q1), and 1 paper in *Journal of Electronic Materials* (ISI, Q2)); 2 papers in domestic journals and 6 reports and abstracts in national and international symposiums.

12. Paractical applicability, if any:

The designed Gd-based alloy microwires are highly applicable in advanced magnetic cooling devices, owing to their outstanding magnetic and magnetocaloric properties. Creating the composite microwires with weak antiferromagnetic nanocrystals embedded in an amorphous ferromagnetic matrix represents a novel approach for enhancing the magnetocaloric effect of magnetic alloy microwires.

13. Future research directions, if any

Investigations into the magnetocaloric effect of alloy microwires with different components that possess various Curie temperatures for magnetic refrigeration application at different temperature regions. Designs of new magnetic beds composed of MCE wire arrays and laminate structures would also be an interesting approach.

14. Thesis-related publications:

[1] N.T.M.Duc, C.M.Hung, N.T.Huong, and M.H.Phan, “Magnetic interactions and magnetocaloric effect in  $(\text{La}_{0.5}\text{Pr}_{0.5})_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{MnO}_3$ : Effect of A-site co-doping”, *Journal of Electronic Materials* 49 (2020), pp 2596-2607 (ISI, Q2)

[2] N.T.M.Duc, H.X. Shen, O. Thiabgoh, N.T.Huong, J.F.Sun, and M.H.Phan, “Melt-extracted  $\text{Gd}_{73.5}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5}/\text{GdB}_6$  ferromagnetic/antiferromagnetic microwires with excellent magnetocaloric properties”, *Journal of Alloys and Compounds*, 818 (2020), 153333 (ISI, Q1)

[3] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, O.Thiabgoh, J.L.Sanchez Llamazares, C.F.Sanchez-Valdes, N.T.Huong, J.F.Sun, H.Srikanth, and M.H.Phan, “Enhanced refrigerant capacity and Curie temperature of amorphous  $\text{Gd}_{60}\text{Fe}_{20}\text{Al}_{20}$  microwires”, *Journal of Alloys and Compounds* 807 (2019), 151694 (ISI, Q1)

[4] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, O.Thiabgoh, J.L.Sanchez Llamazares, C.F.Sanchez-Valdes, N.T.Huong, J.F.Sun, H.Srikanth, and M.H.Phan, “Critical magnetic and magnetocaloric behavior of amorphous melt-extracted  $\text{Gd}_{50}(\text{Co}_{69.25}\text{Fe}_{4.25}\text{Si}_{13}\text{B}_{13.5})_{50}$  microwires”, *Intermetallics* 110 (2019), 106479 (ISI, Q1)

[5] Nguyen Thi My Duc, Ngo Thu Huong, Phan Manh Huong, The influence of ferromagnetic metal on Curie temperature  $T_C$  of Gd-based magnetocaloric microwires, Solid State Physics and Material Science Conference ‘s proceedings SPMS - 2019 (Quynhon, Vietnam), pages 98 – 102

[6] N.T.M.Duc, M.Kurisu, K.Konishi, M.H.Phan, N.T.Huong, “Structure and magnetic properties of  $\text{REMnO}_3$  system”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol. 32, No. 4 (2016), pages 6-11

- [7] Nguyen Thi My Duc, Ngo Thu Huong, Research the influence of rare earth ion on structural and magnetic properties of maganite perovskite, *Journal of Science and Education, University of Science and Education, The University of Danang*, No. 20(03) (2016) pages 1-6
- [8] Nguyen Thi My Duc, Ngo Thu Huong, Structural and magnetic properties of  $(La_{0.5}Pr_{0.5})_{1-x}Ba_xMnO_3$  perovskite maganite ( $x = 0; 0.2$  and  $0.4$ ), *Proceedings on National Conference for Young Scientist in Pedagogical Universities 2016* (Hochiminh city, Vietnam), pages 905-914
- [9] N.T.M.Duc, H.X.Shen, E.Clements, N.T.Huong, H.Srikanth, and M.H.Phan, “Magnetocaloric microwires for energy efficiency magnetics refrigeration”, *Hanoi International Symposium on Advanced Materials and Devices (HISAMD 2019)*, January 10-12, 2019, Hanoi, Vietnam
- [10] N.T.M.Duc, H.X.Shen, S.Jiang, N.T.Huong, J.F.Sun, and M.H.Phan, “Magnetic and Magnetocaloric Behaviors in  $Gd_{50}Al_{25}Co_{25}/FeNi$  Core/Shell Structured Microwires”, *The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018)*, June 3-7, 2018, Jeju, Korea
- [11] N.T.M.Duc, N.T.Huong, M.H.Phan, “The effect of Ba doping on the structure and magnetic properties of the  $(La_{0.5},Pr_{0.5})_{1-x}Ba_xMnO_3$  system ( $x=0;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5$ )”, *International Workshop on Advanced Materials and Nanotechnology (IWAMN 2016)*, November 3-5, 2016, Hanoi, Vietnam
- [12] N.T.M.Duc, N.T.K.Van, N.T.Huong, M.Kurisu, K. Konishi and N.H.Hong, “Structure and magnetic properties of the  $RMnO_3$  system”, *The International Workshop on Nanoscience and Nanotechnology: Opportunities for Academia & High Tech Industry, Joint 4th Asia-Pacific Chemical and Biological Microfluidics Conferences (IWNN-APCBM 2015)*, November 2-4, 2015, Danang, Vietnam

Date: .....

**Supervisor**

**PhD Student**