

THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: PHẠM HOÀNG HÀ
2. Giới tính: Nam
3. Ngày sinh: 05/08/1999
4. Nơi sinh: Hải Phòng
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: 3484/QĐ-ĐHKHTN ngày: 15/12/2021
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo (nếu có):
7. Tên đề tài luận án: Nghiên cứu tăng mật độ dòng tới hạn của hệ siêu dẫn MgB_2 dạng khối và màng khi có chiếu xạ ion
8. Chuyên ngành: Vật lý nhiệt
9. Mã số: 9440130.07
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học:
 - HDC: PGS.TS. Trần Hải Đức
Cơ quan công tác: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội
 - HDP: TS. Nguyễn Khắc Mẫn
Cơ quan công tác: Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:
 - 11.1. Mục đích và đối tượng nghiên cứu của luận án
 - 11.1.1. Mục đích nghiên cứu
 - Nghiên cứu và chế tạo mẫu MgB_2 dạng khối, tối ưu hoá điều kiện chế tạo mẫu trong phạm vi nghiên cứu nhằm tăng mật độ dòng tới hạn.
 - Nghiên cứu và chế tạo mẫu MgB_2 dạng khối dựa trên điều kiện đã được tối ưu trong phạm vi nghiên cứu, pha tạp với tỷ phần khác nhau nhằm tìm ra tỷ phần pha tạp tăng mật độ dòng tới hạn mạnh nhất.
 - Nghiên cứu và chế tạo mẫu MgB_2 dạng màng mỏng, chiếu xạ các loại ion với các tính chất vật lý và thông số kỹ thuật đáp ứng tiêu chuẩn, tổng hợp và đưa ra phương án tối ưu để cải thiện mật độ dòng tới hạn.
 - 11.1.2. Đối tượng nghiên cứu: Mẫu MgB_2 dạng khối và mẫu MgB_2 dạng màng mỏng
 - 11.2. Các phương pháp nghiên cứu đã sử dụng
 - 11.2.1. Phương pháp chế tạo mẫu
 - Mẫu MgB_2 dạng khối được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn.
 - Mẫu MgB_2 dạng màng mỏng được chế tạo bằng phương pháp HPCVD. Việc chiếu xạ ion được thực hiện bởi máy gia tốc tại Khoa Vật lý – Trường Đại học Khoa học tự nhiên.

11.2.2. Phương pháp phân tích tính chất mẫu MgB₂ dạng khối và màng mỏng

- Cấu trúc tinh thể sẽ được khảo sát thông qua các phép đo: Nhiễu xạ tia X (XRD), hiển vi lực từ (MFM), phân tích phổ Raman, phân tích phổ hấp thụ tia X (XAS).
- Các tính chất siêu dẫn sẽ được khảo sát thông qua các phép đo: Đo điện trở suất phụ thuộc nhiệt độ bằng phương pháp bốn mũi dò sử dụng hệ PPMS khảo sát T_c của hệ mẫu; Đo điện trở suất phụ thuộc nhiệt độ trong điều kiện có từ trường bằng phương pháp bốn mũi dò sử dụng hệ PPMS, từ đó ngoại suy giá trị B_{c2} của các mẫu MgB₂; Đường cong từ hóa (MH) bằng hệ đo PPMS, từ đó tính toán mật độ dòng tới hạn (J_c) của hệ mẫu.
- Các phương pháp xử lý số liệu: Số liệu sẽ được xử lý chủ yếu thông qua công cụ lập trình Matlab. Đồng thời kết hợp với các phần mềm khảo sát chuyên dụng như Fullprof cho xử lý kết quả XRD.

11.3. Các kết quả chính và kết luận

11.3.1. Các kết quả chính

- Đối với mẫu MgB₂ dạng khối, khi được chế tạo ở điều kiện *ex-situ* MgB₂ nguyên chất + 0.5 mol Mg thiêu kết ở 1000 °C trong 1 giờ, giá trị J_c của mẫu được tăng mạnh nhất. Cụ thể, ở từ trường ngoài bằng 0.1 T, giá trị J_c đạt khoảng 1.2×10^5 A/cm², gấp khoảng 5 lần so với mẫu ở các nghiên cứu khác (2.4×10^4 A/cm²). Khi so sánh với các nghiên cứu trước đó, J_c của mẫu này gấp khoảng 3.2 lần tại từ trường ngoài bằng 0.5 T, khoảng 2.3 lần tại từ trường ngoài bằng 1 T, khoảng 1.3 lần tại từ trường ngoài bằng 1.5 T và khoảng 1.2 lần tại từ trường ngoài bằng 2 T.
- Dựa trên điều kiện chế tạo trên, việc pha tạp đồng thời với tỷ phần 5 wt.% B₄C + 2,0 wt.% Dy₂O₃ tiếp tục tăng cường giá trị J_c . Tại các giá trị từ trường ngoài trong khoảng từ 0.1 – 2 T, giá trị J_c của mẫu này tăng gấp khoảng 1.5 - 3.2 lần so với các mẫu đã được pha tạp trong các nghiên cứu trước đó.
- Đối với mẫu MgB₂ dạng màng mỏng, bằng việc chiếu xạ ion Sn²⁺ với liều lượng 5×10^{13} ions/cm² và năng lượng 2 MeV, J_c của mẫu này đạt giá trị 2.5×10^6 A/cm² ở từ trường ngoài bằng 0.1 T, tăng gấp 2.5 lần so với các kết quả đã được công bố trước đó (1×10^6 A/cm²). Đặc biệt, so với các kết quả trước đây, giá trị J_c tăng gấp khoảng 25 lần ở từ trường ngoài bằng 1.5 T và khoảng 1000 lần ở từ trường ngoài bằng 2 T.

11.3.2. Kết luận

- Điều kiện chế tạo mẫu để tăng J_c nhiều nhất là *ex-situ* MgB₂ nguyên chất + 0.5 mol Mg thiêu kết ở 1000 °C trong 1 giờ.
- Sự tăng cường J_c lớn nhất thu được đối với mẫu MgB₂ có pha tạp 5 wt.% B₄C + 2.0 wt.% Dy₂O₃.
- Điều kiện để J_c tăng mạnh nhất là khi mẫu màng mỏng MgB₂ được chiếu xạ bằng ion Sn²⁺ với liều lượng 5×10^{13} ions/cm².

12. Các hướng nghiên cứu tiếp theo:

- Khảo sát tính chất siêu dẫn của mẫu MgB₂ dạng khối có pha tạp.
- Khảo sát tính chất siêu dẫn của mẫu MgB₂ dạng màng mỏng được chiếu xạ ion từ tính.

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

- **Ha H. Pham**, An T. Pham, Phi Thi Huong, Nguyen Hoang Nam, Nurhidayah M. Hapipi, Soo Kien Chen, Muralidhar Miryala, Dzung T. Tran, Jungseek Hwang, Yu Seong Seo, Dang T. B. Hop, Nguyen Thanh Binh, and Duc H. Tran. (2023). Role of electron–phonon coupling in the superconducting state of MgB₂ polycrystals fabricated at different conditions. *Ceramics International*, 49(21), 34053–34061.

<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2023.08.105>

- **Ha H. Pham**, Tien Le, An T. Pham, Won Nam Kang, Nguyen H. Nam, Do T. K. Anh, Nguyen Hoang Anh, Hoo Keong Peh, Soo Kien Chen, Nguyen K. Man, Vuong Thi Anh Hong, Hanoh Lee, Tuson Park, Le Viet Cuong, Phan Hai, Nguyen Quang Huy, and Duc H. Tran (2024). Improved flux pinning properties of Mg exceed MgB₂ ceramics with B₄C and Dy₂O₃ additions. *Ceramics International*, 50(23), 51509–51515.

<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2024.10.069>

- **Ha H. Pham**, Tien Le, The Nghia Nguyen, Nguyen Hoang Nam, Nhung T. Nguyen, Min Kyun Sohn, Dae Joon Kang, Tuson Park, Jinyoung Yun, Yeonkyu Lee, Jeehoon Kim, Duc H. Tran, and Won Nam Kang (2023). Correlation between electron-phonon coupling and superconductivity of Sn²⁺ ion irradiated MgB₂-thin films. *Ceramics International*, 49(12), 20586–20593.

<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2023.03.188>

TM. Tập thể hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

PGS.TS. Trần Hải Đức

Hà Nội, ngày tháng.....năm 2025

Nghiên cứu sinh
(Ký và ghi rõ họ tên)

Phạm Hoàng Hà

INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: PHAM HOANG HA
2. Sex: Male
3. Date of birth: 05/08/1999
4. Place of birth: Haiphong, Vietnam
5. Admission decision number: 3484/QĐ-ĐHKHTN dated 15/12/2021 by University of Science, Vietnam National University
6. Changes in academic process
7. Official thesis title: Enhancements of critical current density of MgB₂ bulk and film samples using ion irradiation technique
8. Major: Thermophysics
9. Code: 9440130.07
10. Supervisors:
 - Assoc. Prof. Tran Hai Duc
University of Science, Vietnam National University
 - Dr. Nguyen Khac Man
School of Materials Science and Engineering, Hanoi University of Science and Technology
11. Summary of the new findings of the thesis:
 - 11.1. *Research methods*
 - 11.1.1. Research purpose
 - Research and manufacture MgB₂ bulk samples, optimize sample manufacturing conditions within the research scope to increase critical current density.
 - Research and manufacture MgB₂ bulk samples based on optimized conditions within the research scope, doped with different ratios to find the doping ratio that increases the critical current density the most.
 - Research and manufacture MgB₂ thin film samples, irradiate various ions with physical properties and technical parameters meeting standards, synthesize and propose optimal solutions to improve critical current density.
 - 11.1.2. Research object
 - MgB₂ bulk samples
 - MgB₂ thin film samples
 - 11.2. *Research methods*
 - 11.2.1. Sample preparation method
 - MgB₂ bulk samples was prepared by solid-state reaction method.
 - MgB₂ thin film samples were fabricated by HPCVD method. Ion irradiation was performed by accelerator at Faculty of Physics – VNU University of Sciences.

11.2.2. Method for analyzing properties of MgB₂ samples in bulk and thin film form

The crystal structure will be investigated through the following measurements:

- X-ray diffraction (XRD).
- Magnetic force microscopy (MFM).
- Raman spectroscopy.
- X-ray absorption spectroscopy (XAS).

Superconducting properties will be investigated through the following measurements:

- Measuring temperature-dependent resistivity by the four-probe method using the PPMS system to investigate T_c of the sample system.
- Measuring temperature-dependent resistivity under magnetic field conditions by the four-probe method using the PPMS system, from which the B_{c2} value of the MgB₂ samples is extrapolated.
- Magnetization curve (MH) using the PPMS measurement system, from which the critical current density (J_c) of the sample system is calculated.

11.3. Major results and conclusions

11.3.1. The major results

- For the MgB₂ bulk samples, when fabricated in the ex-situ condition of Pure *ex-situ* MgB₂ + 0.5 Mg sintered at 1000 °C for 1 h, the J_c value of the sample increased the most. Specifically, at the field of 0.1T, the J_c value reached about 1.2×10^5 A/cm², about 5 times higher than that of the samples in other studies (2.4×10^4 A/cm²). When compared with previous studies, the J_c of this sample was about 3.2 times higher at the field of 0.5 T, about 2.3 times higher at the field of 1 T, about 1.3 times higher at the field of 1.5 T, and about 1.2 times higher at the field of 2 T.
- Based on the above fabrication conditions, the coaddition with a ratio of 5 wt.% B₄C + 2.0 wt.% Dy₂O₃ further enhances the J_c value. At the field in the range of 0.1 – 2 T, the J_c value of this sample increases about 1.5 - 3.2 times compared to the doped samples in previous studies.
- For the MgB₂ thin film samples, by irradiating Sn²⁺ ions with a dose of 5×10^{13} ions/cm² and an energy of 2 MeV, the J_c of this sample reached a value of 2.5×10^6 A/cm² at an external magnetic field of 0.1 T, about 2.5 times higher than the previously published results (1×10^6 A/cm²). In particular, compared with the previous results, the J_c value increased about 25 times at the field of 1.5 T and about 1000 times at the field of 2 T.

11.3.2. Conclusions

- The sample fabrication condition to increase J_c the most is Pure *ex-situ* MgB₂ + 0.5 Mg sintered at 1000 °C for 1 h.
- The greatest J_c enhancement was obtained for the sample with 5 wt.% B₄C + 2.0 wt.%

Dy₂O₃.

- The condition for the strongest increase in J_c was when the MgB₂ thin film sample was irradiated with Sn²⁺ ions at a dose of 5×10^{13} ions/cm².

12. Further research directions:

- Investigation of superconductivity of doped bulk MgB₂ samples.
- Investigation of superconductivity of thin film MgB₂ samples irradiated with magnetic ions.

13. Thesis-related publications:

- **Ha H. Pham**, An T. Pham, Phi Thi Huong, Nguyen Hoang Nam, Nurhidayah M. Hapipi, Soo Kien Chen, Muralidhar Miryala, Dzung T. Tran, Jungseek Hwang, Yu Seong Seo, Dang T. B. Hop, Nguyen Thanh Binh, and Duc H. Tran. (2023). Role of electron–phonon coupling in the superconducting state of MgB₂ polycrystals fabricated at different conditions. *Ceramics International*, 49(21), 34053–34061.
<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2023.08.105>
- **Ha H. Pham**, Tien Le, An T. Pham, Won Nam Kang, Nguyen H. Nam, Do T. K. Anh, Nguyen Hoang Anh, Hoo Keong Peh, Soo Kien Chen, Nguyen K. Man, Vuong Thi Anh Hong, Hanoh Lee, Tuson Park, Le Viet Cuong, Phan Hai, Nguyen Quang Huy, and Duc H. Tran (2024). Improved flux pinning properties of Mg exceed MgB₂ ceramics with B₄C and Dy₂O₃ additions. *Ceramics International*, 50(23), 51509–51515.
<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2024.10.069>
- **Ha H. Pham**, Tien Le, The Nghia Nguyen, Nguyen Hoang Nam, Nhung T. Nguyen, Min Kyun Sohn, Dae Joon Kang, Tuson Park, Jinyoung Yun, Yeonkyu Lee, Jeehoon Kim, Duc H. Tran, and Won Nam Kang (2023). Correlation between electron-phonon coupling and superconductivity of Sn²⁺ ion irradiated MgB₂-thin films. *Ceramics International*, 49(12), 20586–20593.
<https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2023.03.188>

Date:

On behalf of academic supervisors

PhD. Student