ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: **Dương Thị Thanh Nhàn** 2. Giới tính: Nữ
3. Ngày sinh: 15/10/1984 4. Nơi sinh: Nghệ An
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: 4992/QĐ-ĐHKHTN ngày 27/12/2023
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo (nếu có):
7. Tên đề tài luận án: **Nghiên cứu cấu trúc tinh thể và các thông số tới hạn của vật liệu siêu dẫn MgB_2 bằng phương pháp pha tạp và chiếu xạ ion**
8. Chuyên ngành: Vật lý Nhiệt 9. Mã số: 9440102.07
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Trần Hải Đức
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:

+ *Mục đích:* Cải thiện các thông số tới hạn của chất siêu dẫn, từ đó nâng cao các đặc tính siêu dẫn của chúng trong từ trường cao, hướng tới các ứng dụng thực tiễn trong các dây và băng siêu dẫn.

+ *Đối tượng:* vật liệu siêu dẫn MgB_2 dạng khối và màng mỏng

+ *Các phương pháp nghiên cứu đã sử dụng:*

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 bốc bay hóa lý kết hợp HPCVD. Thực hiện chiếu xạ ion bằng máy gia tốc.

Phương pháp phân tích mẫu: Phân tích phổ nhiễu xạ tia X (XRD); phân tích hiển vi lực nguyên tử (AFM); phân tích phổ Raman; Phân tích đường cong từ độ phụ thuộc nhiệt độ (M-T), đường cong từ độ phụ thuộc từ trường (M-H) thu được từ hệ đo các tính chất vật lý (PPMS). Sử dụng mẫu hình Bean tính toán mật độ dòng tới hạn (J_c). Sử dụng mô hình Dew-Hughes xác định cơ chế ghim chiếm ưu thế.

+ *Các kết quả chính*

- Khảo sát ảnh hưởng của việc bổ sung Mg và SiC đến cấu trúc tinh thể và tính siêu dẫn của các mẫu khối MgB_2. Giá trị nhiệt độ tới hạn T_c của các mẫu khối MgB_2 duy trì ở mức trên 37 K - chênh lệch khoảng 1 K so với mẫu nguyên chất, 2 K so với giá trị lý thuyết - cho thấy đây là kết quả vượt trội trong việc duy trì T_c. Ngoài ra, giá trị từ trường tới hạn trên B_{c2} và mật độ dòng tới hạn J_c của tất cả các mẫu khối MgB_2 sau khi bổ sung Mg + SiC đều được cải thiện

- Khảo sát ảnh hưởng của việc chiếu xạ ion Nb đến cấu trúc tinh thể và các thông số tới hạn của màng mỏng MgB_2. Quá trình chiếu xạ không chỉ duy trì được độ kết tinh của màng MgB_2, mà còn giúp duy trì và cải thiện các thông số tới hạn. Cụ thể, sự biến dạng mạng tinh thể dẫn đến việc giảm nhẹ T_c nhưng giá trị này vẫn duy trì trên mức 36 K. Đồng thời, J_c tăng lên trong vùng từ trường cao, cho thấy sự chuyển dịch một phần cơ chế ghim thông lượng từ ghim bề mặt thông thường sang ghim điểm thông thường sau khi chiếu xạ.

- Khảo sát ảnh hưởng của việc chiếu xạ ion Ni lên cấu trúc tinh thể và các thông

số tới hạn của màng MgB_2. Với cùng điều kiện chiếu xạ, mức độ suy giảm độ kết tinh ở màng MgB_2 chiếu xạ ion Ni cao hơn so với màng chiếu xạ ion Nb. Do cấu trúc tinh thể bị biến dạng nhiều hơn, nhiệt độ tới hạn T_c đã giảm nhiều hơn, tuy nhiên vẫn duy trì ở mức trên 32 K. Mức cải thiện J_c cao hơn ở màng MgB_2 chiếu xạ ion Ni được thể hiện qua giá trị cường độ ghim từ thông β (β ~ 0.67 tại 5 K, tiệm cận giá trị lý thuyết của cơ chế ghim mạnh là β = 0.5). Kết quả này cho thấy sự chuyển đổi từ cơ chế ghim yếu sang ghim tương đối mạnh. Việc chuyển đổi một phần cơ chế ghim từ ghim bề mặt thông thường sang ghim điểm thông thường sau khi chiếu xạ đã chứng minh rằng J_c có thể được cải thiện trong vùng từ trường cao.

- Các giá trị J_c trong từ trường - kết quả quan trọng nhất của luận án này - đều được cải thiện ở cả mẫu khối và mẫu màng MgB_2 sau khi bổ sung vật liệu hoặc chiếu xạ. Giá trị J_c của mẫu khối MgB_2 có bổ sung Mg và SiC được cải thiện trong vùng từ trường thấp; điều này có thể phản ánh thực tế rằng cơ chế ghim bề mặt đóng vai trò chủ đạo trong các mẫu khối. Đáng chú ý là J_c của màng MgB_2 chiếu xạ ion Nb và Ni lại được cải thiện trong vùng từ trường cao, có thể do sự chuyển dịch nhẹ sang cơ chế ghim điểm thông thường. Mức cải thiện J_c mạnh hơn dường như đạt được với phương pháp chiếu xạ ion Ni; điều này có thể được giải thích bởi mật độ khuyết tật điểm cao hơn trong màng dưới dạng các vệt ion (ion-tracks), biến dạng mạng tinh thể.

+ *Kết luận:* cải thiện tính chất siêu dẫn của vật liệu MgB_2 thông qua phương pháp pha tạp và chiếu xạ ion như:

- *Duy trì tốt nhiệt độ tới hạn T_c sau khi pha tạp, chiếu xạ*
- *Phát hiện cơ chế dịch chuyển ghim thông lượng bằng chiếu xạ ion*
- *Phát hiện cơ chế ghim tương đối mạnh khi sử dụng ion Ni*
- *Giải mã bản chất cải thiện J_c mạnh hơn bằng vệt ion*
- *Xác định các ngưỡng liều lượng chiếu xạ cho kết quả cải thiện J_c tốt nhất.*

12. Các hướng nghiên cứu tiếp theo: có thể mở rộng nghiên cứu tối ưu hoá và hệ thống hoá việc cải thiện mật độ dòng tới hạn trong vật liệu siêu dẫn MgB_2 cho những ứng dụng thực tiễn.

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

- "Local structure, electron-phonon coupling and flux pinning properties in MgB_2 thin film using the irradiation of Nb", *Ceramics International* (2026), 52,18, 33406-33414.
- "Effects of SiC and Mg co-addition on the superconducting and microhardness properties of MgB_2", *Ceramics International* (2025), 51, 19(A), 27457-27464.
- "Effects of Ni irradiation on electron-phonon coupling and flux pinning in MgB_2 film via Raman spectroscopy", *J. Appl. Phys.* (2025) 138, 073901.
- "Effects of Ion Irradiations on Crystal Structure and Superconducting Properties of MgB_2 Films", *VNU Journal of Science: Mathematics-Physics* (2025), 41(3), 99-106.

Hà Nội, ngày 05 tháng 10 năm 2026

Cán bộ hướng dẫn	**Nghiên cứu sinh**
PGS.TS. Trần Hải Đức	**Dương Thị Thanh Nhàn**

INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: Duong Thi Thanh Nhan 2. Sex: Female
3. Date of birth: 15/10/1984 4. Place of birth: Nghe An
5. Admission decision number 4992/QĐ-ĐHKHTN dated 27/12/2023 by VNU-Hanoi University of Science.
6. Changes in academic process:
7. Official thesis title: **Investigation of the crystal structure and critical parameters of MgB_2 superconductors through addition and ion irradiation.**
8. Major: Thermal Physics 9. Code: 9440102.07
10. Supervisors: Assoc.Prof., Dr. Tran Hai Duc
11. Summary of the new findings of the thesis

+*Purpose:* To enhance the critical parameters of MgB_2 superconductors, thereby improving their properties in high-field for practical applications such as superconducting wires and tapes.

+ *Objects:* MgB_2 bulks and thin-films.

+*Research methods:*

- *Methods for fabricating samples:* MgB_2 bulks were fabricated by the solid-phase reaction method. MgB_2 films were fabricated by the HPCVD method. The ion irradiation was performed utilizing a HUS-5SDH-2 tandem accelerator.

- *Methods for analyzing sample properties:* X-ray diffraction (XRD) Atomic force microscopy (AFM); Raman spectroscopy; Temperature-dependent magnetization (M-T) and field-dependent magnetization (M-H) curves were acquired via a Physical Property Measurement System (PPMS). J_c were evaluated through the Bean model; pinning mechanisms are investigated by the Dew-Hughes model.

+ *Major results and conclusions*

- *The major results*

First, the influence of co-additions of Mg and SiC on crystal structure and superconductivity of MgB_2 bulks were studied. The pure MgB_2 and (y wt.% SiC + Mg + MgB_2) bulks were prepared using the solid-state reaction methods. The value of T_c of the MgB_2 bulks gradually decreased after the addition; however, these values remain above 37 K, nearly the value of the pure sample (38.09 K), with the difference approximately 1 K. This is an outstanding result in maintaining T_c. Additionally, the value of B_{c2} and J_c in all of the bulk samples after addition were higher than that of pure bulk.

Second, the effects of Nb-ions irradiation on crystal structure and critical parameters of MgB_2 films were investigated. The pristine MgB_2 films with the average thickness of ~ 400 nm were fabricated by the HPCVD system in high quality (without impurity phases). After irradiation by Nb-ions (the energy = 1 MeV, ion beam was accelerated perpendicularly to the surface of films and the doses ranged from $3 \cdot 10^{13}$ ions/cm^2 to $9 \cdot 10^{13}$ ions/cm^2), the structure variations were investigated. The results not

only can irradiation maintain the MgB_2 crystallinity in irradiated films, but the critical parameters also were maintained and improved. In detail, the lattice distortions lead to a slight reduction of the T_c from 39.56 K (pristine) to 36.25 K ($9 \cdot 10^{13}$ ions/cm^2), which still remains above 36 K. Meanwhile, there were enhancements of the J_c in high fields, indicated by the partial shift of the pinning mechanism from normal surface pinning to normal point pinning after irradiation. The investigation also found out the best enhancement of J_c achieved in the dose $3 \cdot 10^{13}$ ions/cm^2.

Third, the impactions of Ni-ions irradiation on crystal structure and critical parameters of MgB_2 films were investigated. With the same irradiated conditions, the degradation of the crystallinity in the Ni-ion irradiated MgB_2 films seems higher when compared to Nb-irradiated films. The obvious evidence was revealed through the PDOS appearance in the Raman spectrum with the clearly higher peaks when the doses of irradiation rise. As a result of more structure distortions, the decrease in T_c from 39.56 K (pristine) to 32.5 K (9×10^{13} ions/cm^2) was witnessed, however still maintained above 32 K. The higher enhancements of J_c in the Ni-ion irradiated MgB_2 films were revealed by comparing the value of pinning strength β, (β ~ 0.67 at 5 K, which approached the theoretical value of strong pinning β = 0.5). The finding might indicate the shift from weak to relatively strong pinning. The partial shift of the pinning mechanism from normal surface pinning to normal point pinning after irradiation was proven J_c can enhance in high fields. This investigation also finds out the best enhancement of J_c achieved in the dose 3×10^{13} ions/cm^2.

Overall, values of in-field J_c - *which are the most important results in this dissertation* - were enhanced in both MgB_2 bulks and films after addition or irradiation. The J_c in the Mg-added MgB_2 bulks were enhanced in the range of the lower field, which possibly reflected the fact that surface pinning was dominant in the bulk samples. Interestingly, the J_c in the Nb- and Ni-ion irradiated MgB_2 films improved in the high field, which might be attributed to the slight shift to normal point pinning. The stronger enhancement of J_c seems to be obtained in the Ni-ion irradiation, which might be explained by the higher density of the point defects in the films in the form of ion-tracks, lattice distortions.

- *Conclusions*

+ *Remarkable retention of the critical temperature T_c after addition or irradiation*

+ *Discovery of a shift in the flux-pinning mechanism through ion irradiation*

+ *Discovery of relatively strong pinning induced by Ni ions*

+ *Elucidation of the stronger J_c enhancement via ion tracks*

+ *Precise determination of the irradiation-dose thresholds yielding the best J_c enhancement.*

12. Further research directions: future research might expand the investigations in optimization and systematization of improving in superconductors for practical application.

13. Thesis-related publications:

- “Local structure, electron-phonon coupling and flux pinning properties in MgB_2 thin film using the irradiation of Nb”, *Ceramics International* (2026),), 52,18, 33406-33414.
- “Effects of SiC and Mg co-addition on the superconducting and microhardness properties of MgB_2”, *Ceramics International* (2025), 51, 19(A), 27457-27464.
-“Effects of Ni irradiation on electron-phonon coupling and flux pinning in MgB_2 film via Raman spectroscopy”, *J. Appl. Phys.* (2025) 138, 073901.
- “Effects of Ion Irradiations on Crystal Structure and Superconducting Properties of MgB_2 Films”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics* (2025), 41 (3), 99-106.

Date: 05/10/2026

Supervisor	**PhD. Student**
Assoc. Prof. Dr. Tran Hai Duc	**Duong Thi Thanh Nhan**