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

Phạm Hoàng Hà

NGHIÊN CỨU TĂNG MẬT ĐỘ DÒNG TỚI HẠN CỦA HỆ SIÊU DẪN MgB_2 DẠNG KHỐI VÀ MÀNG KHI CÓ CHIẾU XẠ ION

Chuyên ngành: Vật lí nhiệt
Mã số: 9440130.07

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÍ HỌC

Hà Nội – 2025

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN

Người hướng dẫn khoa học:
1. HDC: PGS.TS. Trần Hải Đức
2. HDP: TS. Nguyễn Khắc Mẫn

Phản biện: GS.TS. Trần Hoài Nam
Viện Nghiên cứu tiên tiến Phenikaa - Đại học Phenikaa
Phản biện: PGS.TS. Hồ Khắc Hiếu
Đại học Duy Tân
Phản biện: PGS.TS. Trần Đăng Thành
Viện Khoa học Vật liệu - Viện HLKH&CN VN

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN
vào hồi giờ ngày tháng năm 20...

Có thể tìm hiểu luận án tại:
- Thư viện Quốc gia Việt Nam;
- Trung tâm Thư viện và Tri thức số, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

Chất siêu dẫn magiê boron dioxide (MgB_2), được phát hiện vào năm 2001, mang lại những lợi ích như nhiệt độ tới hạn cao, mật độ dòng điện cao, cấu trúc tinh thể đơn giản, chi phí thấp và các đặc tính bổ sung như hành vi không liên kết yếu, độ dài kết hợp lớn hơn và giảm dị hướng điện tử. Tuy nhiên, các ứng dụng thực tế của nó bị hạn chế do sự suy giảm nhanh chóng của từ trường. Luận án này tập trung vào việc cải thiện J_c của các mẫu màng và khối MgB_2, giải quyết hành vi liên kết yếu trong vật liệu siêu dẫn ở nhiệt độ cao, đòi hỏi các kỹ thuật phức tạp.

Trước hết, nghiên cứu nhằm mục đích chế tạo các mẫu số lượng lớn MgB_2 có hiệu suất siêu dẫn mạnh nhất. Bột MgB_2 tại chỗ được trộn với Mg và B, thiêu kết ở các thời điểm và nhiệt độ khác nhau. Điều kiện tối ưu để chế tạo các mẫu số lượng lớn MgB_2 với giá trị J_c cao nhất có thể được tìm thấy là MgB_2 + 0,5 Mg nguyên chỗ thiêu kết ở 1000 ° C trong 1 giờ.

Thứ hai, nghiên cứu đã điều tra sự tăng cường của J_c trong mẫu khối MgB_2 bằng cách thêm tạp chất, với sự tăng cường lớn nhất đạt được với sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3. Tăng cường J_c lớn nhất thu được cho mẫu với các phép bổ sung 5 wt.% B_4C + 2.0 wt.% Dy_2O_3.

Cuối cùng, nghiên cứu đã điều tra sự lắng đọng của màng mỏng MgB_2 chất lượng cao bằng cách sử dụng lắng đọng hơi vật lý-hóa học lai (HPCVD). Người ta phát hiện ra rằng việc chiếu xạ tối ưu các ion không từ tính vào màng MgB_2 với liều 5×10^{13} ion/cm^2 đã được chứng minh là tối ưu để cung cấp khả năng tăng cường J_c cao nhất.

Chương 1: GIỚI THIỆU

1.1. Siêu dẫn

1.1.1. Lịch sử và các cột mốc quan trọng

Siêu dẫn, một hiện tượng trong đó vật liệu mất điện trở dưới nhiệt độ tới hạn, được quan sát lần đầu tiên vào năm 1911 bởi Heike Kamerlingh Onnes. Nó dẫn đến việc phát hiện ra chất siêu dẫn trong các kim loại khác nhau vào những năm 1930, với các bước ngoặt quan trọng bao gồm hiệu ứng Meissner, phương trình London, lý thuyết Ginzburg-Landau và hiệu ứng Josephson.

1.1.2. Phân loại

Chất siêu dẫn được phân loại thành các nhóm loại I và loại II dựa trên hành vi của chúng trong từ trường. Chất siêu dẫn loại I, bao gồm khoảng ba mươi kim loại nguyên chất, thể hiện hiệu ứng Meissner đầy đủ, cho phép thâm nhập trường ngay cả ở trường thấp. Chất siêu dẫn loại II phản ứng khác nhau, với độ dài kết hợp xác định bán kính xoáy.

1.2. Động lực học xoáy trong chất siêu dẫn

1.2.1. Ghim thông lượng

Lực Lorentz được gây ra bởi các xoáy thông lượng trong chất siêu dẫn loại II, gây ra sự tiêu tán điện năng. Để ngăn chặn sự tiêu tán, cần có một lực chống lại lực Lorentz. Các khuyết tật trong chất siêu dẫn cung cấp các vị trí ghim xoáy và mật độ lực ghim (F_p) đại diện cho tổng lực tác dụng lên các đường thông lượng. Cải thiện mật độ khuyết tật có thể cải thiện J_c.

1.2.2. Mô hình trạng thái tới hạn của Bean

Mô hình trạng thái tới hạn của Bean được sử dụng để tính toán J_c của chất siêu dẫn từ các vòng trễ từ hóa. Các sợi bên trong được

bảo vệ bởi dòng dây tóc bên ngoài, chảy cho đến khi thông lượng đến lõi của mẫu. Mối quan hệ giữa từ hóa và J_c được biểu thị bằng $J_c = a\Delta M/d$

1.2.3. Mô hình Dew-Hughes

Dew-Hughes đã tạo ra một mô hình để mô tả ghim thông lượng trong chất siêu dẫn loại II, dựa trên hình học trung tâm ghim và tương tác đường thông lượng. Mô hình tính toán lực ghim trên một đơn vị thể tích, ΔW và η, và hệ số hiệu quả η. Độ cứng của mạng lưới thông lượng xác định độ bền của lực ghim. Quá trình ghim được xác định bằng một đường cong vẽ lực ghim thể tích chuẩn hóa chống lại từ trường giảm.

1.3. Lý thuyết ghim tập thể

Lý thuyết ghim tập thể là một nghiên cứu về sự tương tác giữa các xoáy xuyên thủng trong chất siêu dẫn loại II, tập trung vào sự phụ thuộc trường của J_c và cơ chế ghim thông lượng trong các mẫu HTS. Nó được đề xuất vào những năm 1980, giải thích cách các xoáy hình thành các hệ thống tập thể.

1.3.1. Lý thuyết ghim tập thể cho chất siêu dẫn số lượng lớn

Cảm ứng từ trường trong ghim xoáy đơn độc lập với trường khi B nhỏ hơn trường chéo, trong khi ghim bó nhỏ xảy ra khi B > B_{sb}. Lý thuyết ghim tập thể nghiên cứu chất siêu dẫn loại II, hành vi xoáy và dao động nhiệt.

1.3.2. Lý thuyết ghim tập thể cho chất siêu dẫn màng mỏng

Larkin và Ovchinnikov đã giới thiệu ghim tập thể vào năm 1979, một phương pháp trong đó nhiều khuyết tật có thể làm thay đổi đáng kể động lực học xoáy. Phương pháp này giả định rằng các lực ghim riêng lẻ trên đường xoáy cộng lại tùy ý, với sự thay đổi

về mật độ và lực của khuyết tật xác định tổng lực cho một đoạn xoáy. Độ bền của mẫu có thể được đánh giá bằng cách sử dụng β số mũ.

1.4. Chất siêu dẫn MgB_2 và đối tượng thảo luận

1.4.1. Các thông số cơ bản

Năm 2001, nhóm nghiên cứu của Akimitsu đã phát hiện ra chất siêu dẫn trong magiê diboride (MgB_2) với $T_c \sim 39$ K, một bước đột phá trong lịch sử siêu dẫn. MgB_2 có cấu trúc tinh thể loại AlB_2 hình lục giác với nhóm không gian p6/mmm, chứa các lớp boron và magiê, và mạng lưới tổ ong than chì.

1.4.2. Cơ chế siêu dẫn trong MgB_2

MgB_2 là một chất siêu dẫn loại BCS qua trung gian phonon với cấu trúc phân lớp với hai khoảng trống năng lượng siêu dẫn. Trạng thái điện tử của nó ở mức Fermi được đặc trưng bởi liên kết nguyên tử boron thông qua các kết nối cộng hóa trị và liên kết kim loại. Hai khoảng trống năng lượng là do ghép nối electron trong dải 2D và khớp nối yếu trong 3D.

1.4.3. Tính chất của vật liệu siêu dẫn MgB_2

Nghiên cứu khám phá các đặc điểm của chất siêu dẫn MgB_2, tập trung vào độ dài kết hợp cao và độ sâu thâm nhập ở nhiệt độ thấp của chúng, nhưng cũng kiểm tra cấu trúc của chúng do oxy, carbon, hydro và phân bố boron không đồng đều, và các phương pháp chuẩn bị của chúng bao gồm carbon, hợp chất chứa carbon, silicon cacbua, titan, tantalia và zirconium.

1.4.4. Quang phổ Raman

Sự siêu dẫn của MgB_2 là do tương tác electron-phonon, với chế độ phonon E_{2g} là một chế độ hoạt động duy nhất. Chế độ hoạt

động Raman này, liên quan đến vận chuyển điện dải, có thể được nghiên cứu bằng cách sử dụng tán xạ Raman, cung cấp dữ liệu về đối xứng tinh thể, kích thước hạt và các chất gây ô nhiễm.

1.4.5. Ứng dụng tiềm năng của chất siêu dẫn MgB_2

Chất siêu dẫn nhiệt độ cao (HTS) và chất siêu dẫn MgB_2 phổ biến cho tấm chắn, tạo từ trường DC và động cơ công suất vừa/nhỏ. Chúng bẫy từ trường, nhẹ và có thể được chế tạo bằng các kỹ thuật như ép nóng và thiêu kết plasma tia lửa.

Hình 1.11–1.13 cho thấy thiết bị sản xuất MgB_2 số lượng lớn bằng kỹ thuật thiêu kết plasma ép cao, ép nóng và tia lửa, tạo ra các khối lớn, ổn định phù hợp với các ứng dụng thực tế.

1.4.5.1. Từ trường bị mắc kẹt (Nam châm bán vĩnh cửu)

Các khối MgB_2 và HTS từ hóa cung cấp nam châm gần như vĩnh cửu với từ trường cao, làm cho chúng phù hợp với các hệ thống lưu trữ năng lượng bánh đà. MT-YBCO bẫy từ trường 17,24 T nhưng có thể bị phá hủy bởi lực Lorentz. Số lượng lớn MgB_2 đơn giản hơn, ít tốn kém hơn và tiết kiệm thời gian, phù hợp với nhiều ứng dụng khác nhau.

1.4.5.2. Bộ giới hạn dòng điện lỗi

Bộ giới hạn dòng sự cố phi tuyến tính (FCL) hoạt động nhanh có thể hạn chế dòng điện lỗi cao trong hệ thống điện bằng cách tăng trở kháng. Vật liệu siêu dẫn có độ dẫn điện hoàn hảo và chuyển pha nhanh, khiến chúng trở nên lý tưởng cho các hệ thống điện. SFCL cảm ứng có thể bảo vệ các hệ thống dòng điện một chiều điện áp cao, đồng thời dòng điện mạch và sụt áp của chúng không bị ảnh hưởng bởi cài đặt tổng hợp và kích thước vòng.

1.4.5.3. Máy điện

Chất siêu dẫn thay thế dây kim loại trong máy điện, với những tiến bộ về đặc tính điện từ cho phép các phần tử rôto siêu dẫn số lượng lớn. Động cơ dựa trên chất siêu dẫn số lượng lớn MgB_2 ít tốn kém hơn và hiệu quả hơn, với các ứng dụng tiềm năng trong các hệ thống hydro lỏng.

1.4.5.4. Tấm chắn từ trường

Chất siêu dẫn MgB_2 số lượng lớn thể hiện các đặc tính che chắn từ tính tuyệt vời, làm cho chúng hữu ích để bảo vệ thụ động các thiết bị và trạm quỹ đạo khỏi bức xạ vũ trụ. Các thành phần cơ bản của chúng có thể tiếp cận rộng rãi và không chứa các nguyên tố quý tộc, độc hoặc đất hiếm. Các yếu tố che chắn, dựa trên vị trí đầu dò Hall, đạt giá trị cao nhất khoảng 105 ở đáy cốc.

1.4.6. Cải tiến mật độ dòng điện tới hạn của chất siêu dẫn khối MgB_2

MgB_2 là một vật liệu đầy hứa hẹn cho các ứng dụng thương mại và công nghiệp do độ dài kết hợp cao, hành vi không liên kết yếu và cấu trúc tinh thể lục giác đơn giản. Các nhà nghiên cứu đã phát triển các phương pháp để tạo ra các trung tâm ghim giả tạo cho các ứng dụng từ trường cao. Các khối MgB_2 tại chỗ được thiêu kết ở các nhiệt độ và thời gian khác nhau, với các chất phụ gia như Mg và B làm tăng mật độ dòng điện tới hạn. Các nghiên cứu gần đây cho thấy J_c tự phát triển của các mẫu khối MgB_2 trong khoảng $2 – 4 \times 10^4$ A/cm^2.

1.4.7. Tăng cường mật độ dòng điện tới hạn của chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2

1.4.7.1. Tăng cường mật độ dòng điện tới hạn của chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2 bằng cách sử dụng các lớp đệm

Nghiên cứu điều tra việc ghim thông lượng của màng MgB_2 trên băng hastelloy đệm với độ dày lớp SiC khác nhau. Kết quả cho thấy sự phụ thuộc trường được cải thiện của J_c với độ dày lớp SiC tăng lên. Sự không phù hợp mạng tinh thể giữa màng MgB_2, lớp đệm ZnO và chất nền Hastelloy ảnh hưởng đáng kể đến hành vi phonon.

1.4.7.2. Tăng cường mật độ dòng điện tới hạn của chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2 bằng cách sử dụng chiếu xạ ion

Màng MgB_2 mang lại những ưu điểm như T_c cao, chiều dài kết hợp lớn, cấu trúc tinh thể đơn giản, chi phí thấp và $J_c(0)$ cao. Tuy nhiên, việc sử dụng thực tế của chúng bị hạn chế bởi $J_c(B)$ nhanh chóng rơi xuống từ trường. Bức xạ ion đã được nghiên cứu để tạo ra các vị trí ghim nhân tạo trong vật liệu siêu dẫn, cải thiện J_c và B_{c2} trong trường trong MgB_2, chất siêu dẫn dựa trên sắt và cuprate T_c cao.

1.4.8. Chủ đề thảo luận

Chất siêu dẫn MgB_2 cung cấp chi phí thấp, hai khoảng cách năng lượng, cấu trúc tinh thể đơn giản và J_c tự trường cao, nhưng các ứng dụng thực tế của nó bị hạn chế do từ trường J_c suy giảm nhanh chóng.

Luận án nhằm mục đích tăng cường J_c của khối MgB_2 và màng mỏng. Cấu trúc tổng thể của luận án này như sau:

- Điều kiện chế tạo cho chất siêu dẫn khối MgB_2 tinh khiết cho thấy T_c và J_c cao. Thêm 0,5 mol Mg và thiêu kết ở 1000 ◦C trong 1 giờ, mẫu S5 cho thấy giá trị thấp nhất của T_c, trong khi tăng cường J_c của nó đạt được giá trị cao nhất.

- Tăng cường J_c của khối lượng MgB_2 bằng cách đồng bổ sung B_4C và Dy_2O_3. Sự kết hợp của B_4C và Dy_2O_3 có thể cải thiện kết nối hạt, giúp tăng cường B_{c2} và J_c
- Tăng cường J_c cao nhất của màng mỏng MgB_2 bằng cách chiếu xạ ion. Chiếu xạ ion Sn cho thấy sự cải thiện J_c ở 5 và 20 K; J_c tối đa đạt được đối với mẫu 5×10^{13} nguyên tử/cm^2.

Chương 2: PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Chế tạo mẫu số lượng lớn MgB_2

2.1.1. Chế tạo mẫu số lượng lớn MgB_2 tinh khiết

Các mẫu số lượng lớn MgB_2 được chuẩn bị bằng phương pháp tại chỗ hoặc tại chỗ. Phản ứng tại chỗ liên quan đến việc nấu chảy các hạt Mg và khuếch tán chúng thành các hạt B, dẫn đến J_c cao và khớp nối giữa các hạt mạnh. *Ex-situ* MgB_2 có hệ số đóng gói cao hơn nhưng khớp nối xen kẽ yếu hơn. Xử lý nhiệt cải thiện kênh dòng điện từ hạt này sang hạt khác và tối đa hóa sản xuất pha MgB_2.

Nghiên cứu liên quan đến việc trộn MgB_2 *tại chỗ* với 0,5 mol Mg để tạo ra các mẫu bổ sung Mg. Trong các mẫu MgB_2 số lượng lớn, 1,5 mol Mg và 2 mol B đã được thêm vào. Thiêu kết được thực hiện ở 600 và 700 ◦C trong 1 giờ, 3 giờ ở 700 ◦C và 1 giờ ở 1000 ◦C.

2.1.2. Mẫu MgB_2 đồng thời pha thêm B_4C và Dy_2O_3

Bột magiê diboride (MgB_2) được lấy từ Alfa Aesar và trộn với 0,5 mol Mg. Tỷ lệ phần trăm trọng lượng khác nhau của B_4C được thêm vào các mẫu MgB_2, dẫn đến các mẫu khác nhau. Hỗn hợp được xay, nén thành viên tròn và xử lý nhiệt ở 900 ◦C trong

1 giờ. Quá trình xử lý bột được tiến hành trong không khí. Các mẫu được liệt kê trong Bảng 2.2. Quá trình này liên quan đến mài, nén và xử lý nhiệt.

2.2. Chế tạo mẫu màng mỏng MgB_2

2.2.1. Hệ thống lắng đọng hơi vật lý hóa học lai (HPCVD)

Phương pháp lắng đọng hơi vật lý-hóa học lai (HPCVD) được sử dụng để tạo ra màng mỏng MgB_2, duy trì độ ổn định nhiệt động lực học ở nhiệt độ cao. Quá trình này bao gồm một buồng khóa tải, lò sưởi, lò phản ứng, đầu vào khí, dòng chảy, áp suất, nhiệt độ và hệ thống xả, sử dụng diboran làm khí tiền chất boron và các mảnh magiê làm nguồn.

2.2.2. Sự phát triển của màng mỏng MgB_2 trên nền Al_2O_3

Quá trình phát triển màng mỏng MgB_2 bao gồm việc làm sạch buồng bằng khí Ar, lấp đầy nó bằng một bộ hấp dẫn, chất nền và chip magiê. Dưới khí hydro xung quanh, chất nền và phoi được nung nóng cảm ứng, tạo thành lớp phủ mỏng. Al_2O_3 đơn tinh thể được sử dụng do cấu trúc hình lục giác của nó. Chế độ tăng trưởng Volmer-Weber tạo thành các cấu trúc cột, yêu cầu các mẫu siêu dẫn để điều tra tác động rối loạn.

2.2.3. Chiếu xạ ion màng mỏng MgB_2

MgB_2 dày 412 nm được tạo ra trên chất nền Al_2O_3 cắt c bằng kỹ thuật lắng đọng hơi vật lý-hóa học lai. Các hạt magiê có độ tinh khiết cao được nung nóng đến 700 ◦C và khí B_2H_6 được cung cấp. Hệ thống máy gia tốc pelletron song song HUS-5SDH-2 được sử dụng để chiếu xạ ion. Chiếu xạ năng lượng thấp tăng cường J_c và $\mu_0 H_{c2}$ *trong* trường, trong khi chiếu xạ ion nặng

nhanh tăng cường J_c trong chất siêu dẫn dựa trên sắt và axit T_c cao.

2.3. Phương pháp đo lường

2.3.1. Nhiễu xạ tia X (XRD)

Nhiễu xạ tia X (XRD) là một phương pháp được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc tinh thể vật liệu. Mô hình Bruker D8 Advance được sử dụng để xác định màng mỏng và khối MgB2. Nghiên cứu đã sử dụng Định luật Bragg và dữ liệu XRD để xác định nền, phù hợp hồ sơ, tinh chỉnh, xác định pha và tính toán hằng số mạng tinh thể.

2.3.2. Hệ thống đo tính chất vật lý (PPMS)

2.3.2.1. Độ nhạy DC

Các phép đo độ nhạy cảm được thực hiện bằng cách sử dụng trường dòng điện một chiều trên bề mặt bằng cách sử dụng từ kế mẫu rung của hệ thống Quantum Design PPMS EverCool II. Nhiệt độ tới hạn (T_c) được đo trong khoảng từ 10 đến 50 K bằng cách sử dụng điều kiện làm mát zerofeld.

2.3.2.2. Điện trở suất so với đo nhiệt độ

Các đặc tính vận chuyển của màng rời và màng mỏng MgB_2 được đo bằng cách sử dụng hệ thống đo tính chất vật lý (PPMS) với từ trường lên đến ±9 Tesla và thay đổi nhiệt độ từ 1,9 K đến 400 K. Chức năng điện trở suất của hệ thống được sử dụng để đo vận chuyển điện.

2.3.2.3. Từ hóa so với đo trường

Hệ thống đo tính chất vật lý (PPMS) được sử dụng để từ hóa màng mỏng và khối MgB_2, với độ phân giải nhỏ hơn 10-8 emu. Hệ thống, không chứa đông lạnh, sử dụng máy lạnh lạnh, nam

châm siêu dẫn và đầu dò đo lường. Mô hình trạng thái tới hạn của Bean được sử dụng để tính toán Jc từ vòng trễ từ hóa.

2.3.3. Quang phổ Raman

Hệ thống quang phổ Micro-Raman WITec được sử dụng để đo phổ Raman của khả năng siêu dẫn của MgB_2, tiết lộ rằng tần số hoạt động của chế độ E_{2g} ảnh hưởng đến dao động T_c, xác nhận lý thuyết BCS.

2.3.4. Đo lực magnetic

Nghiên cứu nhằm mục đích xác định giá trị tuyệt đối của lực ghim đối với các xoáy Abrikosov đơn lẻ và khám phá giá trị tuyệt đối được phân giải không gian của độ sâu thâm nhập London bằng cách sử dụng một He-4 MFM đặc biệt với khả năng nam châm vectơ.

Chương 3: CHẾ TẠO CHẤT SIÊU DẪN MgB2 TINH KHIẾT DẠNG KHỐI

Chương này điều tra các đặc tính siêu dẫn của các mẫu khối MgB_2 trong các điều kiện khác nhau. Các mẫu tại chỗ được trộn với Mg và B, thiêu kết ở các thời điểm và nhiệt độ khác nhau, và quang phổ Raman được sử dụng để nghiên cứu khớp nối electron-phonon (EPC). Giá trị EPC thấp nhất được tìm thấy là 1,094 đối với mẫu MgB_2 được thêm với 0,5 mol Mg và thiêu kết ở 1000 ° C trong một giờ. Lý thuyết ghim tập thể cho thấy ghim δT_c là cơ chế ghim thông lượng chủ yếu trên tất cả các mẫu khối MgB_2.

Nghiên cứu này điều tra tác động của việc thêm Mg và B vào khối MgB_2 tại chỗ, được thiêu kết ở các nhiệt độ và thời gian

khác nhau, đối với sự dịch chuyển do nhiệt độ gây ra (T_c), dẫn truyền khớp (J_c) và lực ghim thể tích (F_p). Quang phổ Raman được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của các tính chất phonon riêng lẻ đối với T_c. Kết quả cho thấy sự dịch chuyển do Mg và B gây ra, cùng với nhiệt độ thiêu kết, ảnh hưởng đáng kể đến cơ chế T_c, J_c và F_p.

3.1. Ảnh hưởng của điều kiện chế tạo mẫu đến T_c của chất siêu dẫn khối MgB_2

Độ siêu dẫn của các mẫu được xác định bởi T_c, ổn định ở 38,5 K và giảm xuống 38,1 K đối với mẫu S5. Các chất bổ sung như Mg và tăng nhiệt độ thiêu kết có thể làm giảm nhiệt độ chuyển tiếp, nhưng các mẫu S5 có T_c thấp nhất.

Sự thay đổi của biến dạng và rối loạn cấu trúc cục bộ do biến dạng gây ra đã ảnh hưởng đáng kể đến sự biến đổi T_c của MgB_2, có thể là do phản ứng không hoàn chỉnh giữa Mg và B trong quá trình xử lý nhiệt. Các hạt MgB_2 tại chỗ có thể làm giảm tốc độ hình thành pha. Quang phổ Raman được sử dụng để hiểu sự thay đổi T_c trong các mẫu MgB_2.

3.2. Giải thích nguyên nhân có thể gây ra sự thay đổi giá trị của T_c của chất siêu dẫn khối MgB_2

Các thay đổi T_c của chất siêu dẫn MgB_2 là do biến dạng mạng tinh thể và tương tác electron-phonon. Các phép đo phổ Raman cho thấy sự gia tăng cường độ đỉnh E_{2g} và giảm nửa chiều rộng do bổ sung Mg và B. Biến dạng mạng tinh thể, khớp nối cường độ cao và tương tác phonon-phonon có thể giải thích cho sự thay đổi này. Việc bổ sung Mg và B làm giảm giá trị T_c và EPC, dẫn đến tỷ lệ tạp chất tăng cao và ảnh hưởng đáng kể đến phổ Raman.

3.3. Ảnh hưởng của điều kiện chuẩn bị mẫu đến J_c của chất siêu dẫn khối MgB_2

Nghiên cứu cho thấy việc bổ sung Mg và B vào chất siêu dẫn nhiệt độ cao giúp tăng cường cơ chế ghim thông lượng, dẫn đến tăng J_c trong các điều kiện chế tạo khác nhau. Kết quả cho thấy J_c được tăng cường trong các mẫu S3, S4, S5, S6 và S7 ở tất cả các nhiệt độ và các trường được nghiên cứu. Mẫu S5 cho thấy sự cải thiện cao nhất, trong khi J_c giảm chậm dưới trường áp dụng. Nghiên cứu cũng phát hiện ra rằng việc thêm Mg và B mở rộng chế độ của các bó nhỏ và lớn, cải thiện J_c ở từ trường bên ngoài cao.

Giá trị J_c của các mẫu số lượng lớn MgB2 tăng lên đáng kể khi thiêu kết ở 1000 °C trong một giờ. Giá trị J_c đạt 6×10^5 A/cm^2, cao gấp 17 lần so với các mẫu nghiên cứu trước đây. Giá trị J_c cao hơn 26 lần ở 0,5 T, cao hơn 13 lần ở 1 T, cao hơn 21 lần ở 1,5 T và cao hơn 17 lần ở 2 T.

3.4. Ảnh hưởng của điều kiện chuẩn bị mẫu đến cơ chế ghim thông lượng của chất siêu dẫn khối MgB_2

Nghiên cứu khám phá cơ chế ghim thông lượng trong chất siêu dẫn khối MgB_2 bằng cách thêm Mg và B, tập trung vào những cải tiến trong J_c. Tương tác lõi là tương tác trung tâm ghim xoáy hiệu quả nhất trong chất siêu dẫn loại II. Có hai cơ chế ghim chính: ghim δl và ghim δT_c. Kết quả đã xác nhận tính ưu việt của cơ chế ghim δT_c trong tất cả các khối MgB_2 ở các nhiệt độ khác nhau.

3.5. Ảnh hưởng của điều kiện chuẩn bị mẫu đến hình dạng của các tâm ghim trong chất siêu dẫn khối MgB_2

Nghiên cứu khám phá tác động của việc thêm Mg và B vào các mẫu số lượng lớn MgB_2 đối với việc ghim thông lượng, tập trung vào sự phụ thuộc từ trường của F_p. Mô hình Dew-Hughes được sử dụng để nghiên cứu các trung tâm ghim thông lượng bổ sung. Nghiên cứu cho thấy rằng việc bổ sung Mg và B, cùng với nhiệt độ và thời gian thiêu kết, tăng cường khớp nối hạt và tự thiêu kết trạng thái rắn, tăng cường ghim bề mặt lõi trong chất siêu dẫn khối MgB_2.

Kết luận Chương 3

Nghiên cứu điều tra cấu trúc cục bộ và tính chất siêu dẫn của các mẫu khối MgB_2 tại chỗ trong các điều kiện khác nhau. Các đặc tính electron-phonon (e-ph) và siêu dẫn của các mẫu khối MgB_2, chẳng hạn như T_c, J_c và F_p, đã được kiểm tra. Kết quả cho thấy T_c không đổi đối với mẫu S1–S3, giảm ở mẫu S5 và tăng ở mẫu S6–S7. Hằng số EPC, được xác định bởi quang phổ Raman, tác động đáng kể đến hành vi chuyển tiếp siêu dẫn. J_c tăng cao nhất trong mẫu S5, nguyên chất *ex-situ* MgB_2 + 0,5 Mg (1000 °C – 1 giờ). Việc bổ sung Mg và B làm tăng J_c(B) và điều kiện thiêu kết, cho thấy sự phát triển của các chế độ bó nhỏ và lớn. Mô hình Dew–Hughes được sử dụng để hiểu vai trò của việc bổ sung Mg và B trong quá trình ghim thông lượng.

Chương 4: CẢI TIẾN MẬT ĐỘ DÒNG ĐIỆN TỚI HẠN CỦA MẪU KHỐI MgB_2 VỚI SỰ BỔ SUNG B_4C VÀ Dy_2O_3

Nghiên cứu tập trung vào việc cải thiện khớp nối hạt (J_c) của gốm MgB_2 bằng cách thêm oxit đất hiếm (REO) và cacbon (C) để tạo ra các trung tâm ghim thông lượng hiệu quả. Boron cacbua (B_4C)

có thể được sử dụng làm tiền chất để tạo thành MgB_2 pha tạp C với J_c phụ thuộc vào trường cao. Vật liệu ReO như Dy_2O_3 cũng có thể làm tăng J_c. Nghiên cứu có kế hoạch sử dụng cả B_4C và Dy_2O_3 để tăng J_c của MgB_2 tại chỗ.

Chương này tổng hợp các chất siêu dẫn khối MgB_2 với B_4C và Dy_2O_3, xác nhận MgB_2 là pha chủ yếu. Các đặc tính được đặc trưng bởi các phép đo điện trở suất và từ hóa, với các bổ sung tối ưu tăng cường B_{c2} và J_c. Ghim δl được xác định là cơ chế chiếm ưu thế.

Nghiên cứu này đã điều tra tác động của việc thêm Mg, Dy_2O_3 và B_4C vào gốm sứ MgB_2, tập trung vào cấu trúc tinh thể và tính chất siêu dẫn. Cơ chế ghim được phân tích bằng cách sử dụng lý thuyết ghim tập thể, với các tương tác lõi thúc đẩy các biến đổi không gian ngẫu nhiên trong nhiệt độ chuyển tiếp (ghim δT_c) và dao động trong đường tự do trung bình mang điện tích (ghim δl) trong chất siêu dẫn nhiệt độ cao. Cơ chế ghim chiếm ưu thế được tìm thấy là cùng tồn tại của *ghim* δl và δT_c. Việc bổ sung B_4C và Dy_2O_3 có thể cải thiện khả năng kết nối hạt và tăng cường $\mu_0 H_{c2}$ và J_c.

4.1. Cấu trúc tinh thể của chất siêu dẫn khối MgB_2 với sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3

Các mẫu XRD của mẫu MgB_2 với 0,5 mol Mg được thêm vào và các nồng độ khác nhau của Dy_2O_3 và B_4C cho thấy cấu trúc tinh thể hình lục giác, có thể là do sự kết hợp oxy trong quá trình chuẩn bị mẫu. B_4C làm giảm các đỉnh MgB_2 và MgO, trong khi B_4C và Dy_2O_3 làm tăng chúng.

4.2. Ảnh hưởng của sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đối với T_c của chất siêu dẫn khối MgB_2

Cấu trúc tinh thể của khối MgB_2 với sự cộng đồng của B_4C và Dy_2O_3 được kiểm tra, cho thấy các biến thể trong quá trình chuyển tiếp siêu dẫn và giá trị T_c. Nhiệt độ tới hạn (T_c) giảm khi hàm lượng cộng dồn tăng lên và chiều rộng chuyển tiếp mở rộng khi hàm lượng cộng dồn tăng lên. Mẫu S5-1 có T_c là 38.57 K, trong khi mẫu S5-4 có T_c là 34.70 K.

4.3. Ảnh hưởng của sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đối với B_{c2} của chất siêu dẫn dạng khối MgB_2

Nghiên cứu đã kiểm tra ảnh hưởng của B_4C và Dy_2O_3 đối với trường tới hạn trên của các mẫu MgB_2. Nó phát hiện ra rằng chiều rộng chuyển tiếp siêu dẫn tăng lên theo cường độ từ trường. Liều thuốc tối ưu là 5 wt.% B_4C. Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của B_{c2} cho thấy độ cong dương, được cho là do siêu dẫn hai dải của MgB_2.

Các nghiên cứu trước đây cho thấy các mẫu khối MgB_2 được pha tạp với SiC kích thước nano, ống nano carbon, B_4C và Dy_2O_3 có giá trị B_{c2} trên 15 T. Mẫu MgB_2 + 0,5 mol Mg + 5wt.% B_4C (S5-2) có giá trị B_{c2} cao hơn.

4.4. Ảnh hưởng của sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đến việc cải thiện J_c của chất siêu dẫn khối MgB_2

Hình 4.3 hiển thị các vòng trễ MH của các mẫu ở các nhiệt độ khác nhau, với các vòng rộng hơn cho thấy J_c tăng lên trong các điều kiện sản xuất khác nhau.

Sự phụ thuộc trường của từ hóa của các mẫu được đo ở 10 K bằng cách sử dụng mô hình Bean đã sửa đổi. J_c tự trường của

mỗi mẫu được xác định từ các vòng trễ từ hóa. Mẫu MgB_2 tinh khiết có J_c tự trường là 19 kA/cm², trong khi việc bổ sung Mg (mẫu S5-1) làm tăng nó. Các mẫu S5-3, S5-4 và S5-6 cho thấy giá trị J_c được cải thiện dưới từ trường.

Giá trị J_c của mẫu có cộng 5 wt.% B_4C + 2.0 wt.% Dy_2O_3 cải thiện 1.5 – 3.2 lần khi chịu trường 0.1 đến 2 T ở 10 K, như thể hiện trong Bảng 4.2.

Lý thuyết ghim tập thể giải thích hành vi xoáy trong chất siêu dẫn nhiệt độ cao bằng cách thay đổi ảnh hưởng của từ trường đối với J_c. Mẫu S5-5 cho thấy giá trị B_{sb} và B_{lb} tăng lên, cho thấy hiệu quả của các trung tâm ghim bổ sung.

4.5. Ảnh hưởng của sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đến cơ chế ghim thông lượng của chất siêu dẫn khối MgB_2

Ghim lõi được phân thành hai loại chủ đạo: δl và δT_c. δl là do sự thay đổi của đường đi tự do trung bình mang điện tích gần các vị trí khiếm khuyết, trong khi δT_c có liên quan đến sự dao động của tham số Ginzburg-Landau. Sự phụ thuộc của J_{sv} vào nhiệt độ giảm t khác nhau từ ghim δl đến δT_c. Mối quan hệ giữa B_{sb} và J_{sv} là B_{sb}–$j_{sv}B_{c2}$. Sự cùng tồn tại của các cơ chế ghim δl và δT_c đã được quan sát thấy trong các mẫu, tương tự như MgB_2 khối pha tạp chất. Vai trò của ghim δT_c rõ rệt hơn ở các vùng có nhiệt độ cao hơn.

4.6. Ảnh hưởng của sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đến hình học của các tâm ghim trong chất siêu dẫn khối MgB_2

Nghiên cứu đã kiểm tra tác động của việc thêm B_4C và Dy_2O_3 vào các mẫu số lượng lớn MgB_2, tập trung vào đặc tính ghim của chúng. Mô hình Dew-Hughes dự đoán ghim bề mặt lõi và điểm

lõi bình thường, với việc ghim tương quan với lõi chiếm ưu thế. Việc bổ sung B_4C và Dy_2O_3 có thể tăng cường kết nối giữa các hạt MgB_2.

Kết luận Chương 4

Nghiên cứu điều tra các đặc tính ghim thông lượng được cải thiện của các mẫu khối MgB_2 được pha tạp B_4C và Dy_2O_3, cho thấy các biến dạng mạng tinh thể nhỏ. Sự gia tăng J_c lớn nhất được quan sát thấy trong mẫu với sự kết hợp đồng 5% trọng lượng B_4C và 2,0 trọng lượng % Dy_2O_3. Sự gia tăng lớn nhất trong B_{c2} được quan sát thấy trong mẫu với 5 wt.% B_4C. Cơ chế ghim chủ đạo là ghim δl, với các trung tâm ghim hai chiều liên quan đến ranh giới hạt. Những phát hiện này có thể được sử dụng để nâng cao các thông số sản xuất cho các mẫu số lượng lớn MgB_2.

Chương 5: CẢI TIẾN MẬT ĐỘ DÒNG ĐIỆN TỚI HẠN CỦA MÀNG MỎNG MgB2 VỚI ION Sn^{2+} CHIẾU XẠ

Chiếu xạ ion tác động đáng kể đến J_c và B_{c2} trong trường của MgB_2, với chất siêu dẫn cuprate T_c cao thường được cải thiện do các hỏng hóc cột dọc theo rãnh ion. Các khuyết tật trong chất siêu dẫn loại II làm gián đoạn chuyển động xoáy, làm tăng các đặc tính siêu dẫn thiết yếu như J_c và B_{c2} trong trường. Hiểu được tác động của đứt gãy đối với siêu dẫn là rất quan trọng đối với sự phát triển khoa học và áp dụng công nghệ.

Chương này thảo luận về tác động của bức xạ 2 MeV Sn^{2+} đối với màng MgB_2 được phát triển trên chất nền Al_2O_3. Nghiên cứu đã sử dụng kỹ thuật lắng đọng hơi vật lý-hóa học lai và hệ thống máy gia tốc pelletron song song HUS-5SDH-2 để tiếp xúc với 2

ion Sn năng lượng MeV với các liều lượng khác nhau, xác định phạm vi dự kiến trung bình và các sự kiện thiệt hại của chúng.

Quang phổ Raman được sử dụng để điều tra những thay đổi trong T_c và B_{c2} trong màng MgB_2, một chất siêu dẫn được tạo điều kiện thuận lợi bởi phonon. Nghiên cứu cho thấy sự dịch chuyển chiếu xạ ion là điều cần thiết để sửa đổi T_c, J_c trong trường và B_c. Nghiên cứu cũng kiểm tra mối quan hệ giữa EPC từ phân tích Raman và các tính chất siêu dẫn, tiết lộ mối quan hệ giữa B_{c2} và các trường tới hạn nhiệt động lực học.

5.1. Ảnh hưởng của chiếu xạ ion Sn^{2+} đến T_c và RRR của màng mỏng MgB_2

Nghiên cứu đã kiểm tra sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở suất của mẫu để xác định siêu dẫn của chúng. Kết quả cho thấy tất cả các mẫu đều thể hiện hành vi kim loại ở nhiệt độ cao, với sự chuyển đổi siêu dẫn xảy ra khi nhiệt độ giảm đều đặn. Các mẫu được chiếu xạ cho thấy sự giảm điện trở suất (T_c) do biến dạng mạng tinh thể trong màng MgB_2. Chiếu xạ ion đã thay đổi T_c bằng cách thay đổi kết cấu cục bộ và biến đổi cấu trúc do biến dạng gây ra, chẳng hạn như biến dạng và lộn xộn của mạng tinh thể.

Tỷ lệ điện trở dư (RRR) đo độ tinh khiết và cấu trúc của chất siêu dẫn dựa trên sự phụ thuộc vào nhiệt độ. Mẫu 7E13 có giá trị T_c thấp nhất ở mức 30,47 K, với giá trị RRR giảm khi liều ion tăng, có thể do rối loạn mạng tinh thể sau khi chiếu xạ.

5.3. Ảnh hưởng của chiếu xạ ion Sn^{2+} đến tính chất ghép nối electron-phonon của chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2

Tán xạ Raman được sử dụng để nghiên cứu chế độ phonon E_{2g} trong MgB_2, một chất siêu dẫn qua trung gian phonon. Quang

phổ Raman của phim chiếu xạ Sn^{2+} cho thấy các đỉnh ở 750 cm^{-1} và 792 cm^{-1}, với ảnh hưởng yếu đến nhiệt độ tới hạn. Khi liều chiếu xạ tăng lên, mật độ phonon của các đỉnh trạng thái tăng lên. Mối quan hệ giữa tín hiệu Raman và tính chất siêu dẫn được giải thích bởi công thức McMillan và lý thuyết Bardeen-Cooper-Schrieffer.

5.4. Ảnh hưởng của chiếu xạ ion Sn^{2+} đến việc cải thiện J_c của chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2

Nghiên cứu khám phá sự tăng cường của J_c *trong trường* trong màng mỏng MgB_2 ở 10 K. Các bộ phim nguyên sơ có một J_c đáng kể ở trường không, biến mất nhanh chóng trong từ trường. Chiếu xạ ion Sn2+ đã cải thiện đáng kể J_c trong trường, phù hợp với giá trị của mẫu nguyên sơ ở 1,33 T. Mẫu 5E13 cho thấy giá trị J_c tốt nhất ở 10 K, với trường không thể đảo ngược tăng hơn ba lần từ 2,23 lên 6,49 T.

Giá trị J_c của các mẫu màng mỏng MgB_2 được tìm thấy là $2,5\times10^6$ A/cm^2 khi chiếu xạ các ion Sn^{2+} với liều lượng 5×10^{13} ion/cm^2 và 2 MeV, giá trị cao hơn 2,5 lần so với các giá trị được báo cáo trước đó.

5.5. Ảnh hưởng của bức xạ ion Sn^{2+} đối với B_{c2} của chất siêu dẫn màng mỏng MgB2

Nghiên cứu khám phá ảnh hưởng của bức xạ Sn^{2+} đối với B_{c2} của các mẫu MgB_2 trong từ trường. Nó phát hiện ra rằng Mẫu 5E13 là lưu loát tối ưu để tăng B_{c2}, trong khi các mẫu nguyên sơ có $B_{c2}(0)$ nguyên sơ là 5.889 T. Chiếu xạ Sn^{2+} tăng cường $B_{c2}(0)$ nhưng ức chế ức chế T_c. Nghiên cứu cho thấy rằng một lớp siêu dẫn tăng cường các đặc tính siêu dẫn trong khi giảm T_c.

Các nghiên cứu trước đây cho thấy các màng MgB_2 được chiếu xạ bằng ion He và Co có giá trị $\mu_0 H_{c2}$ lần lượt là 8,9 và 9,5 T. Chiếu xạ ion Sn^{2+}, ở liều 5×10^{13} ion/cm^2 và 2 MeV, có giá trị B_{c2} là 12,941 T.

5.6. Quan sát màng mỏng lõi xoáy magnec MgB_2 trước và sau bức xạ ion Sn^{2+}

Nghiên cứu đã sử dụng một đầu dò ^{4}He tự chế để đo độ dốc lực từ trong các mẫu siêu dẫn. Các xoáy đồng nhất đã được quan sát thấy trong các mẫu Nb và MgB_2 nguyên sơ , trong khi mẫu 5E13 cho thấy sự không đồng nhất. Gradient lực phản ứng Meissner được sử dụng để sàng lọc từ trường. Các mẫu nguyên sơ và 5E13 có độ sâu thâm nhập lớn hơn.

5.8. So sánh hiệu ứng pha tạp đối với J_c của chất siêu dẫn khối MgB_2 và hiệu ứng chiếu xạ ion trên J_c của màng mỏng MgB_2

Nghiên cứu đã kiểm tra một cách có hệ thống tác động của các điều kiện chế tạo đối với J_c của các mẫu số lượng lớn MgB_2, cho thấy rằng MgB_2 + 0,5 Mg nguyên chất tại chỗ thiêu kết ở 1000 °C trong 1 giờ làm tăng J_c nhiều nhất. Nghiên cứu cũng khám phá ảnh hưởng của doping đối với J_c, với sự tăng cường lớn nhất đạt được với 5% trọng lượng% B_4C + 2,0 trọng lượng% Dy_2O_3. Nghiên cứu cũng tập trung vào chất siêu dẫn màng mỏng MgB_2, với sự gia tăng mạnh nhất được quan sát thấy khi chiếu xạ các ion $Sn^{2+.}$

Kết luận Chương 5

Nghiên cứu giải thích sự thay đổi của electron-phonon và tính chất siêu dẫn trong các mẫu màng mỏng MgB_2 bằng cách chiếu xạ các ion Sn^{2+}. Nghiên cứu cho thấy mối tương quan cao giữa

chế độ E_{2g} và T_c, cho thấy chế độ E_{2g} mong muốn trong MgB_2. Hành vi của quá trình chuyển tiếp siêu dẫn bị ảnh hưởng đáng kể bởi hằng số EPC, cho thấy cường độ rối loạn ảnh hưởng đến quá trình siêu dẫn của MgB_2. Giá trị của T_c giảm dần, trong khi giá trị của J_c và B_{c2} tăng lên và đạt mức tối đa ở 5E13. Hơn nữa, sự đối lập giữa giá trị cao của B_{irr} và giá trị thấp của β có thể cải thiện giá trị J_c. Nghiên cứu cho thấy màng mỏng MgB_2 được chiếu xạ bằng các ion Sn^{2+} hấp dẫn cho các ứng dụng năng lượng.

KẾT THÚC

Luận án hiện tại đi sâu vào nghiên cứu về mật độ dòng điện tới hạn và cơ chế ghim thông lượng trong chất siêu dẫn MgB_2. Những phát hiện chính của luận án này, bao gồm những tiến bộ trong J_c trong chất siêu dẫn MgB_2, có thể được tóm tắt như sau:

Ban đầu, việc chế tạo các mẫu số lượng lớn MgB_2 được tối ưu hóa bằng cách sử dụng kỹ thuật phản ứng trạng thái rắn thông thường. Bằng cách điều chỉnh việc bổ sung các nguyên liệu ban đầu của Mg và B cũng như nhiệt độ thiêu kết, nhiệt độ tới hạn (T_c), mật độ dòng điện tới hạn (J_c) và mật độ lực ghim thông lượng (F_p) của khối MgB_2 đã được phát hiện là khác nhau. Sự thay đổi của T_c được tìm thấy có liên quan đến sự thay đổi tương ứng trong khớp nối electron-phonon và sự hình thành mật độ phonon của trạng thái của các mẫu được thăm dò bởi phổ Raman. Những cải tiến của J_c được cho là do những cải tiến của kết nối hạt, được cho là hoạt động hiệu quả như các trung tâm ghim 2D bằng cách sử dụng mô hình Dew-Hughes. Do đó, điều kiện chế

tạo mẫu tối ưu để tăng J_c là MgB_2 + 0,5 Mg thiêu kết ở 1000 °C trong 1 giờ.

Để cải tiến hơn nữa J_c của khối MgB_2, việc bổ sung tạp chất thích hợp vào khối MgB_2 phản ứng trạng thái rắn đã được thực hiện. Bằng cách áp dụng các điều kiện chế tạo tối ưu của MgB_2, các đặc tính ghim thông lượng được cải thiện của các mẫu khối MgB_2 với sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đã được nghiên cứu. Tăng cường J_c lớn nhất ~ 1.5 – 3.2 lần trong khoảng 0,1 đến 2 T ở 10 K thu được cho mẫu có 5 wt.% B_4C + 2,0 wt.% Dy_2O_3. Thú vị hơn, sự đồng bổ sung của B_4C và Dy_2O_3 đã được chứng minh là cung cấp các cải tiến của B_{c2}, với B_{c2} tối đa đạt được đối với mẫu khối MgB_2 được thêm vào 5 wt.% B_4C lên đến 1,6 - 1,7 lần. Những cải tiến về kết nối hạt và sự thống trị của các trung tâm ghim 2D trong khối lượng MgB_2 được thêm vào B_4C và Dy_2O_3 cũng được tiết lộ bằng cách sử dụng mô hình Dew-Hughes. Các bằng chứng có thể là lý do cho việc cải tiến J_c và B_{c2}.

Để đáp ứng hơn nữa ứng dụng liên quan đến năng lượng của MgB_2, các màng mỏng MgB_2 gần như đơn tinh thể đã được chế tạo bằng cách sử dụng kỹ thuật HPCVD. J_c của màng MgB_2 được phát hiện cao hơn nhiều so với khối MgB_2 và cơ chế ghim chiếm ưu thế vẫn được xác định là các trung tâm ghim 2D. Việc bổ sung các loại trung tâm ghim khác nhau được thực hiện bằng cách sử dụng kỹ thuật chiếu xạ ion. Các ion Sn^{2+} được chiếu xạ vào và dự kiến sẽ đi qua hoàn toàn các màng MgB_2. Bằng chứng về sự hình thành các khuyết tật giống như điểm ở dạng đường ray ion hoặc sự không hoàn hảo của tinh thể được chỉ ra bởi sự thay đổi trong các đỉnh XRD và Raman E_{2g}. Bằng cách thay đổi liều ion

Sn^{2+} từ 2×10^{12} đến 7×10^{13} ion/cm^2, sự cải tiến rõ ràng của J_c và B_{c2} đã đạt được, chúng là ~ 2,5 - 1000 lần trong khoảng 0,1 đến 2 T ở 20 K và 1,4 - 1,5 lần, tương ứng. Độ bền ghim - thu được bằng cách sử dụng lý thuyết ghim tập thể - của các màng MgB_2 được chiếu xạ Sn^{2+} đã được cải thiện. Cơ chế ghim đã thay đổi một chút từ ghim 2D sang ghim 1D như gợi ý của mô hình Dew Hughes, có thể bắt nguồn từ các khuyết tật giống như điểm. Các nghiên cứu về quá trình chiếu xạ để cải thiện các thông số tới hạn của chất siêu dẫn có thể được mở rộng với các loại ion khác nhau.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

[1]. **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). 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

[2]. **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

[3]. **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). 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