

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

Phạm Thế An

**NGHIÊN CỨU TĂNG MẬT ĐỘ DÒNG TỚI HẠN CỦA HỆ
SIÊU DẪN NHIỆT ĐỘ CAO Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O SỬ DỤNG
TÂM GHIM TỪ CÓ CẤU TRÚC NANO**

Chuyên ngành: Vật lí nhiệt

Mã số: 9440130.07

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội – 2023

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

Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Lưu Tuấn Tài, PGS.TS. Trần Hải
Đức

Phản biện: GS.TS. Nguyễn Huy Dân, Viện Khoa học Vật liệu, Viện
Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Phản biện: GS.TS. Nguyễn Phúc Dương, Trường Vật liệu, ĐHBKHN

Phản biện: PGS.TS. Hồ Khắc Hiếu, Đại học Duy Tân

Luận án đã được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ họp
tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN vào hồi 15 giờ 00
ngày 01 tháng 12 năm 2023

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

TÓM TẮT

Mục tiêu của luận án nghiên cứu một cách có hệ thống ảnh hưởng của việc bổ sung tâm ghim từ đến việc tăng cường mật độ dòng tới hạn (J_c) và cải thiện cơ chế ghim từ thông trong chất siêu dẫn đa tinh thể $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$. Đặc biệt, hệ mẫu siêu dẫn đa tinh thể $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ đã được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn, nhiều loại tâm ghim có kích thước nano khác nhau, bao gồm các sai hỏng dạng điểm, hạt nano không từ tính và hạt nano có từ tính, đã được pha tạp vào các mẫu BPSCCO để nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của chúng. Đồng thời lý thuyết ghim tập hợp và mô hình Dew-Hughes đã được áp dụng để khảo về các đặc tính ghim từ và những cải thiện đối với J_c trong hệ Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (BPSCCO).

CHƯƠNG I: TỔNG QUAN

1.1. GIỚI THIỆU

1.1.1. Lịch sử siêu dẫn

Nghiên cứu về siêu dẫn đã cho nhiều khám phá quan trọng trong lĩnh vực vật lý chất rắn và đang tiếp tục là lĩnh vực nghiên cứu nhận được nhiều quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới.

1.1.2. Các thông số tới hạn

J_c là một thông số tới hạn quan trọng đối với truyền tải điện và tạo ra từ trường.

1.1.3. Phân loại chất siêu dẫn

Chất siêu dẫn loại II là vật liệu có tính ứng dụng cao được đặc trưng bởi B_{c2} và hiện tượng ghim từ thông. Nghiên cứu về J_c và các xoáy từ trong chất siêu dẫn nhiệt độ cao (chất siêu dẫn loại II có $T_c > 77$ K) là một lĩnh vực nghiên cứu sôi động và đầy tiềm năng.

1.2. ĐỘNG HỌC XOÁY TỪ TRONG SIÊU DẪN LOẠI II

Lý thuyết ghim tập hợp là lý thuyết hữu ích mô tả động học của xoáy từ và cơ chế ghim trong chất siêu dẫn đã được áp dụng rộng rãi trong các chất siêu dẫn loại II.

Mô hình Dew-Hughes cho cơ chế ghim từ thông trong chất siêu dẫn loại II được áp dụng trong luận án này bằng cách xem xét loại tương tác, loại tâm ghim và cấu trúc hình học tâm ghim.

1.3. CÁC NGHIÊN CỨU GẦN ĐÂY VỀ DÂY SIÊU DẪN THỂ HỆ THỨ NHẤT

Chất siêu dẫn nhiệt độ cao Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) đã được coi là vật liệu đầy hứa hẹn cho các ứng dụng công nghiệp và năng lượng. Pha siêu dẫn thông thường có trong BSCCO dạng khối: Bi-2201, Bi-2212 và Bi-2223 với T_c lần lượt là ~ 20 K, 80 K và 110 K. Trong luận án này, tỷ lệ Bi:Pb được duy trì ở mức 1,6:0,4 để đạt được T_c cao nhất. Các nghiên cứu về ứng dụng của BSCCO đã tập trung vào việc cải thiện mật độ dòng tới hạn (J_c) và từ trường tới hạn cao (B_{c2}). Việc bổ sung các tâm ghim có cấu trúc nano đã được chứng minh là có hiệu quả để đạt được J_c và B_{c2} cao trong chất siêu dẫn BSCCO ở một hoặc hai nhiệt độ đo mà không cần đến các lý thuyết vi mô.

1.4. ĐỘNG LỰC NGHIÊN CỨU CỦA LUẬN ÁN

Nghiên cứu có hệ thống về cải thiện J_c và phân tích chi tiết về cơ chế ghim từ trong BSCCO với việc bổ sung các tâm ghim có cấu trúc nano sẽ được thực hiện. Các loại tâm ghim có cấu trúc nano khác nhau đã được đưa vào chất BSCCO. Lý thuyết ghim tập hợp và mô hình Dew-Hughes sẽ được áp dụng để kiểm tra cơ chế ghim, cấu trúc hình học

của các tâm ghim nhằm cung cấp cái nhìn sâu sắc về nguồn gốc của việc cải thiện của J_c .

CHƯƠNG 2: THỰC NGHIỆM

2.1. CHẾ TẠO MẪU

2.1.1 Chế tạo mẫu đa tinh thể Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O

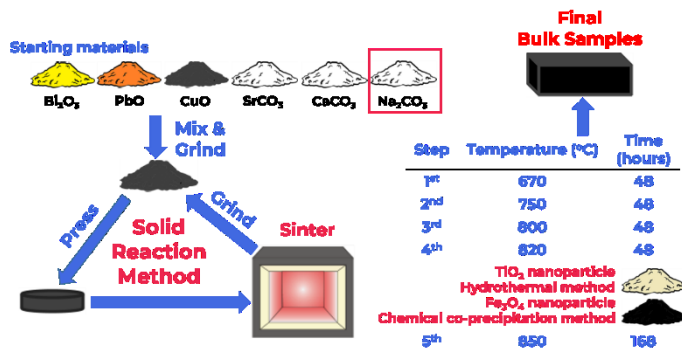
Mẫu với công thức hóa học $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn thông thường.

2.1.2. Chế tạo hạt nano

Hạt nano TiO_2 bán dẫn được chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt. Hạt nano Fe_3O_4 từ tính được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa hóa học.

2.1.3. Pha tạp các tâm ghim vào các mẫu đa tinh thể Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O

Quá trình chế tạo hoàn chỉnh được minh họa trong Hình. 2.1.



Hình 0.1. Quy trình chế tạo loạt mẫu minh họa

2.2. KHẢO SÁT MẪU

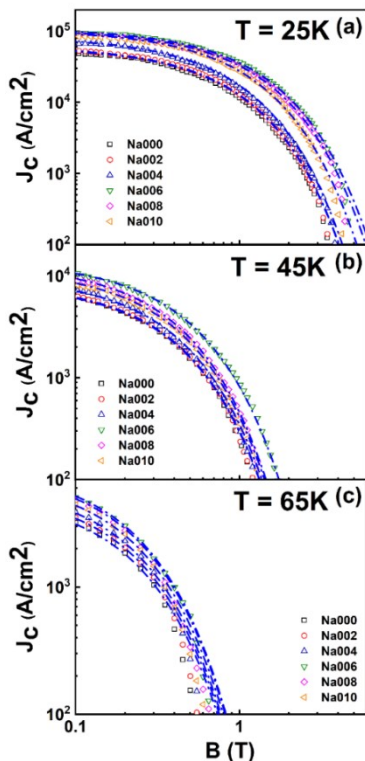
Các mẫu được khảo sát thông qua các phép đo TEM, XRD, SEM, XAS, bốn mũi dò và PPMS.

**CHƯƠNG 3: CẢI THIỆN MẬT ĐỘ DÒNG TỚI HẠN
TRÊN HỆ SIÊU DẪN NHIỆT ĐỘ CAO
Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} SỬ DỤNG HIỆU ỨNG THAY
THỂ Na**

3.1. HÌNH THÀNH CÁC PHA SIÊU DẪN

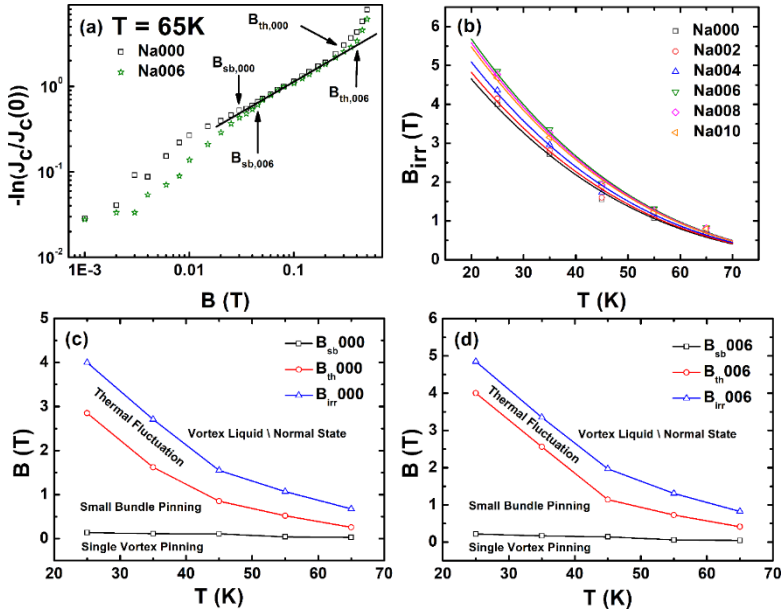
Tất cả các mẫu chế tạo đều thể hiện rõ sự hình thành pha siêu dẫn Bi-2223 và Bi-2212. Không có pha tạp chất nào được phát hiện.

3.2. CẢI THIỆN J_c



Hình 0.4. Sự phụ thuộc từ trường của J_c của tất cả các mẫu và lý thuyết ghim tập hợp ở (a) 65 K, (b) 45K và (c) 25 K. Các đường nét đứt

là các đường cong khớp hàm sử dụng phương trình (1.2) J_c được tăng cường trên tất cả các mẫu, đạt cực đại trên mẫu Na006, sau đó giảm đối với các mẫu Na008 và Na010. Việc mở rộng vùng ghim đơn xoáy và vùng ghim bó nhỏ sẽ góp phần cải thiện các đặc tính ghim từ thông trong mẫu Na006, được tạo ra bởi bởi sự thay thế Na.

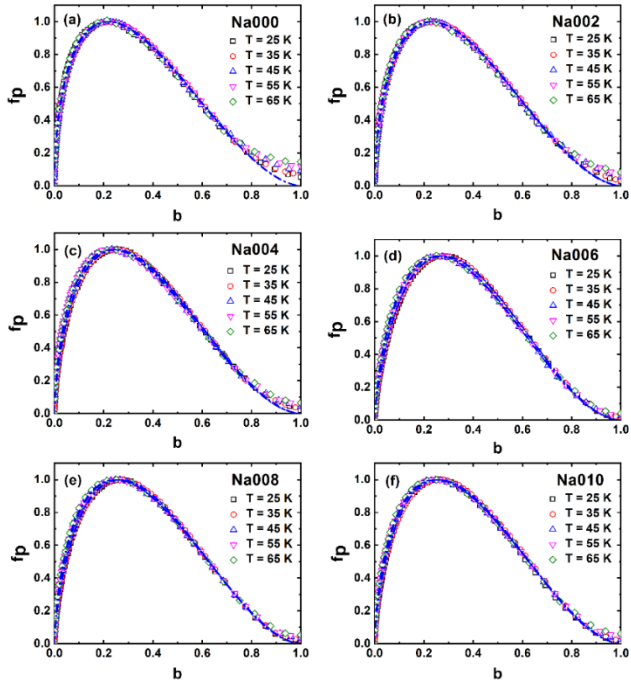


Hình 3.5. (a) Sự phụ thuộc trường của $-\ln(J_c(B)/J_c(0))$ của mẫu Na000 và Na006 ở 65 K. (b) Sự phụ thuộc nhiệt độ của B_{irr} của tất cả các mẫu ở các nhiệt độ khác nhau. Các đường liền nét là các đường cong khớp hàm sử dụng phương trình. (3.1). (c) Sơ đồ pha B-T của mẫu Na000. (d) Sơ đồ pha B-T của mẫu Na006

3.3. TÍNH CHẤT GHIM TỪ THÔNG

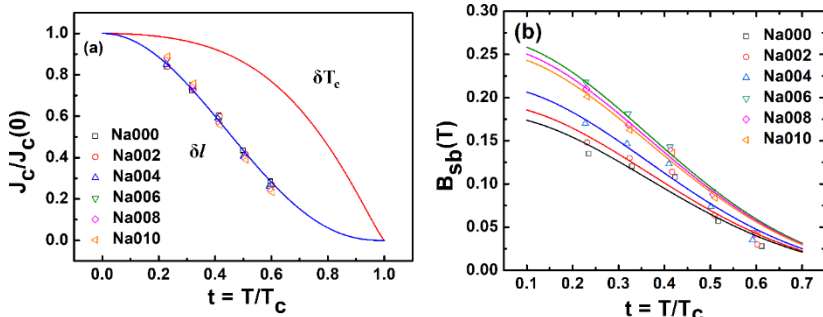
Trên Hình 3.8, giá trị p và q cực đại đạt được trên mẫu Na006 lần lượt là 0,70 và 1,92, cho thấy tương tác lõi là cơ chế ghim chiếm ưu thế

trong tất cả các mẫu. Sự hình thành các sai hỏng giống điểm 0D được tạo ra do sự thay thế một phần Na đã được chứng minh là mang lại sự tăng cường J_c . Trong Hình 3.9, kết quả so sánh $J_c/J_c(0)$ và B_{sb} so với t sử dụng lý thuyết ghim tập hợp cho thấy rằng cơ chế ghim δl chiếm



ưu thế.

Hình 0.8. Mô hình ghim từ ở tất cả các nhiệt độ đo được của các mẫu (a) Na000, (b) Na002, (c) Na004, (d) Na006, (e) Na008 và (f) Na010. Các đường nét đứt là các đường cong khớp hàm sử dụng phương trình. (1.7).



Hình 0.9. (a) Mật độ dòng tới hạn chuẩn hóa $J_c(t)/J_c(0)$ phụ thuộc nhiệt độ rút gọn t của tất cả các mẫu; (b) Trường tới hạn (B_{sb}) so với nhiệt độ rút gọn của tất cả các mẫu. Các đường liền nét là các đường cong khớp hàm sử dụng phương trình 1.5.

3.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Trong chương này, cơ chế ghim từ trong chất siêu dẫn $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ đã được nghiên cứu một cách có hệ thống. Người ta nhận thấy rằng sự phụ thuộc từ trường của J_c ở các nhiệt độ khác nhau nằm trong khoảng từ 65 K đến 25 K được tăng cường đáng kể nhờ sự thay thế Na thông qua việc tạo ra sai hỏng dạng điểm. Sự phụ thuộc từ trường của J_c đã được mô tả rõ ràng bằng cách sử dụng lý thuyết ghim tập hợp. Sơ đồ pha B-T đã được xây dựng. Các đặc tính ghim từ được cải thiện trong các mẫu được thay thế Na được thể hiện rõ khi so sánh các giá trị của p , q và b_{peak} theo mô hình Dew-Hughes.

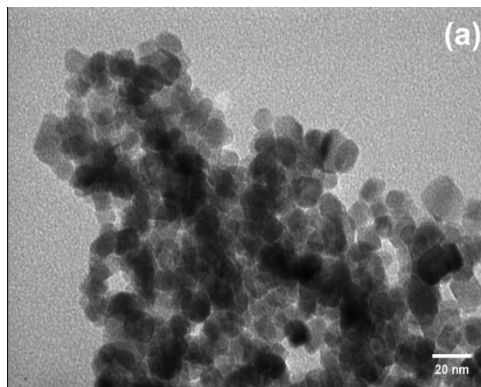
CHƯƠNG 4: CẢI THIỆN MẬT ĐỘ DÒNG TỚI HẠN TRÊN HỆ SIÊU DẪN NHIỆT ĐỘ CAO

$\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ BẰNG BỔ SUNG CÁC HẠT NANO TiO_2 KHÔNG TỪ TÍNH

4.1. TÍNH CHẤT CỦA HẠT NANO

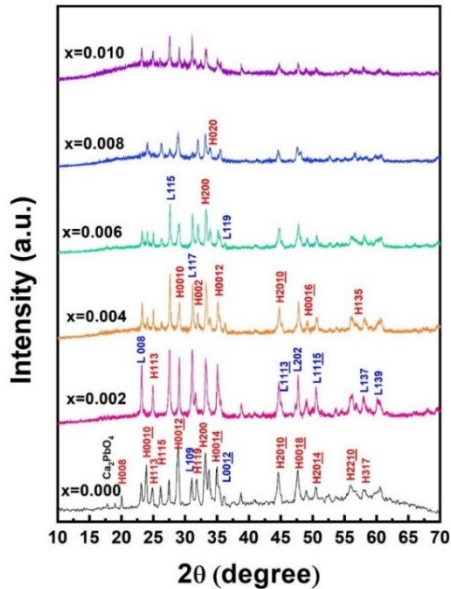
Kích thước trung bình của hạt nano TiO_2 là khoảng 12 nm khi được

kiểm tra bằng ảnh TEM.



Hình 0.1. Ảnh TEM của hạt nano TiO_2

4.2. HÌNH THÀNH CÁC PHA SIÊU DẪN

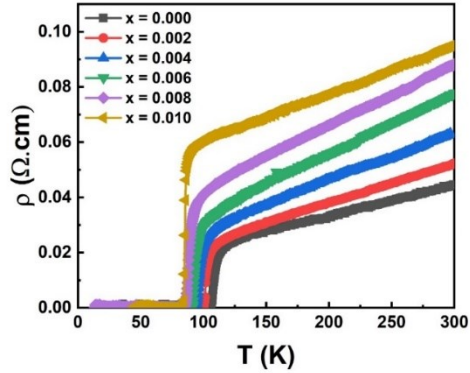


Hình 0.2. Giảm độ XRD của mẫu $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$, với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006, 0,008$ và $0,010$.

Các giá trị tỉ phần pha cho thấy %Bi-2223 đã giảm, trong khi đó %Bi-2212 lại tăng đơn điệu khi tăng hàm lượng TiO_2 . Kết quả khảo sát tỉ phần pha và kích thước tinh thể cho thấy hạt nano TiO_2 làm chậm quá trình hình thành pha Bi-2223. Các hằng số mạng nằm trong khoảng $a = b = 5,395 \pm 0,007 \text{ \AA}$ và $c = 37,07 \pm 0,01 \text{ \AA}$ liên quan đến cấu trúc tứ giác.

4.3. TƯƠNG QUAN GIỮA BIẾN ĐỔI CẤU TRÚC ĐỊA PHƯƠNG VÀ NHIỆT ĐỘ TỐI HẠN

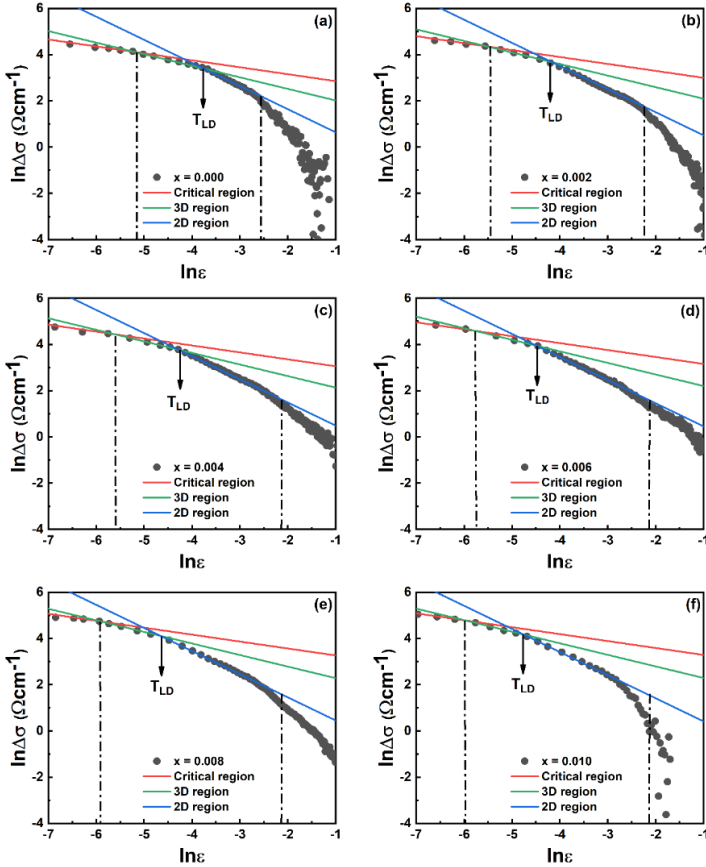
4.3.1. Nhiệt độ tới hạn



Hình 0.4. Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở suất của các mẫu $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$, với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006, 0,008$ và $0,010$

Sự chuyển pha siêu dẫn đã được quan sát thấy trong tất cả các mẫu. T_c của các mẫu đã giảm khi bổ sung TiO_2 . ρ_0 tăng dần với $x = 0,002, 0,004$. Từ $x = 0,006$, giá trị ρ_0 tăng mạnh hơn; khi $x = 0,010$, ρ_0 cao hơn khoảng ba lần so với mẫu không pha tạp.

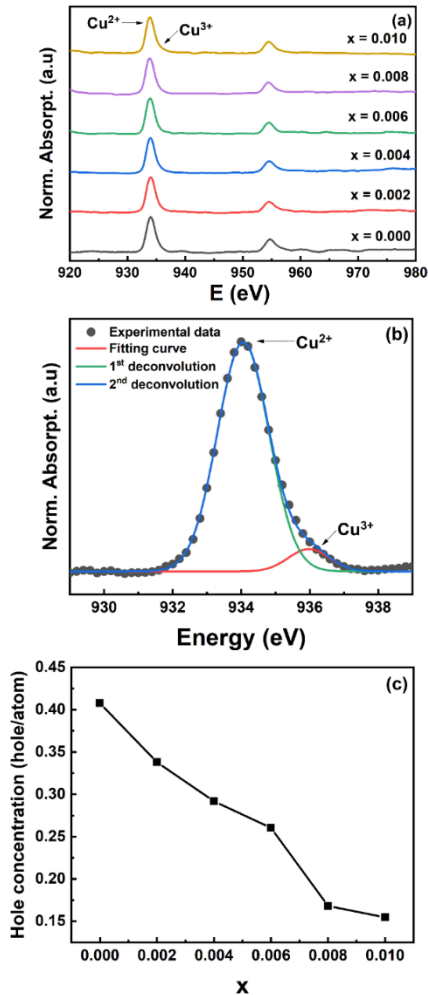
4.3.2. Biến động của vùng trường trung bình



Hình 0.5. Biểu đồ logarit kép của độ dẫn dư theo nhiệt độ rút gọn của $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$ mẫu (a) $x = 0$, (b) $x = 0,002$, (c) $x = 0,004$, (d) $x = 0,006$, (e) $x = 0,008$ và (f) $x = 0,010$. Các đường liền màu đỏ, lục và lam tương ứng với vùng tới hạn, vùng 3D và 2D Từ Hình 4.4, độ dài kết hợp và khoảng cách hiệu dụng giữa các mặt phẳng Cu được ước tính và cho thấy sự tăng lên khi hàm lượng pha

tạp tăng lên. Kết quả này giải thích sự suy giảm tính chất siêu dẫn của vật liệu trên mặt phẳng CuO_2 .

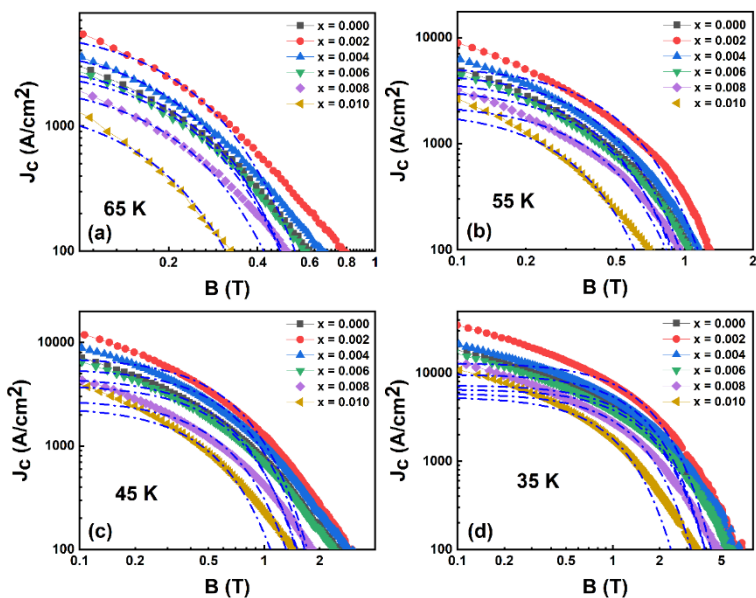
4.3.3. Biến đổi cấu trúc địa phương



Hình 0.8. (a) Phổ XANES Cu K của các mẫu $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$, với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006,$

0,008 và 0,010. (b) Hóa trị đồng của tất cả các mẫu
 Phổ Cu L2,3 của tất cả các mẫu được vẽ trong Hình 4.5(a). Nồng độ
 hạt tải trong các mặt phẳng dẫn được tính toán từ phổ XANES của Cu
 L2,3. Hai đỉnh chính xuất hiện ở khoảng 933 và 955 eV đối với tất cả
 các mẫu. Trong Hình 4.5(b), hàm tựa Voigt được sử dụng để khớp các
 đỉnh L3 để tìm tỷ lệ Cu^{2+} và Cu^{3+} , từ đó ước tính nồng độ lỗ trống (p).
 p thu được giảm khi tăng nồng độ bổ sung TiO_2 như trong Hình 4.5(c),
 điều này phù hợp cho sự suy giảm quan sát được của T_c .

4.4. Cải thiện J_c



Hình 10. Sự phụ thuộc từ trường của J_c của các mẫu
 $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$, với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006,$
 $0,008$ và $0,010$ tại (a) 65 K, (b) 55 K, (c) 45 K và (d) 35 K. Các
 đường chấm gạch là những đường cong khớp hàm của lý thuyết
 ghim tập hợp.

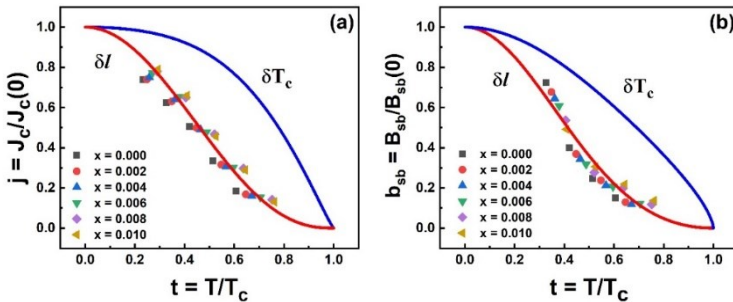
Các cải thiện J_c thu được ở lượng pha tạp $x = 0,002$ và $x = 0,004$ mẫu. Hơn nữa, khi tất cả các mẫu được so sánh, J_c giảm chậm hơn theo từ trường ngoài trên các mẫu này.

Đầu tiên, trong chế độ đơn xoáy, trong đó các xoáy được ghim riêng lẻ, $J_c(B)$ gần như bằng phẳng. Trên $x = 0,002$ và $x = 0,004$, cung này của $J_c(B)$ rộng hơn, điều này có thể chứng tỏ sự gia tăng về số lượng tâm ghim. Với từ trường cao hơn, mật độ xoáy trở nên lớn hơn mật độ tâm ghim; sau đó, các xoáy bắt đầu được ghim tập hợp lại với nhau. Do đó, việc mở rộng vùng ghim đơn xoáy và vùng ghim tập hợp có thể được giải thích bằng sự xuất hiện của các sai hỏng nano dưới dạng các tâm ghim nhân tạo bổ sung. Các tâm ghim nhân tạo này cũng cho thấy khả năng ghim tập hợp tốt thông qua việc mở rộng vùng bó nhỏ.

4.5. TÍNH CHẤT GHIM TỪ

4.5.1. Cơ chế ghim từ

Tâm ghim tự nhiên được xác định là các biên hạt trên mẫu không pha tạp và cơ chế ghim δl là phù hợp đối với loại tâm này. Trong Hình 4.7, kết quả so khớp $J_c/J_c(0)$ và $B_{sb}/B_{sb}(0)$ so với t bằng cách sử dụng lý thuyết ghim tập hợp cho thấy rằng cơ chế ghim δl chiếm ưu thế.

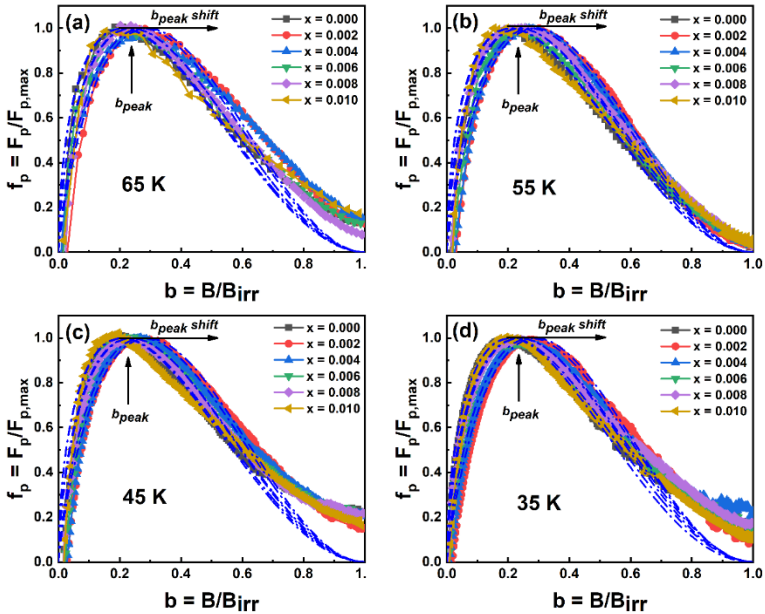


Hình 0.11. (a) Sự phụ thuộc nhiệt độ rút gọn của (a) J_c chuẩn hóa và (b) B_{sb} chuẩn hóa của các mẫu $(Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta})_{1-x}(TiO_2)_x$,

với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006, 0,008$ và $0,010$. Các đường liền nét là các đường cong khớp hàm theo cơ chế ghim δl và cơ chế ghim δT_c .

4.5.3. Xác định tâm ghim từ

So với khoảng cách liên xoáy từ $d = 1,07(\Phi_0/B)1/2$, kích thước trung bình của hạt nano TiO_2 nhỏ hơn kích thước trong tất cả phạm vi từ trường được khảo sát. Do đó, hình dạng của tâm được thỏa mãn là tâm ghim dạng điểm. Do đó, các hạt nano TiO_2 pha tạp hoạt động như các điểm tương tác lỗi dạng thường được bổ sung trên các mẫu pha tạp, tương ứng với $p = 1$ và $q = 2$ trong mô hình Dew-Hughes.



Hình 0.13. Mật độ lực ghim từ chuẩn hóa phụ thuộc vào từ trường ngoài rút gọn của các mẫu $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$, với $x = 0, 0,002, 0,004, 0,006, 0,008$ và $0,010$ với mô hình Dew-Hughes ở (a) 65 K, (b) 55 K, (c) 45 K và (d) 35 K. Các đường nét đứt là các

đường cong khớp bằng phương trình. 1.7.

4.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

Ảnh hưởng của hạt nano TiO_2 đến cấu trúc, hình thái, tính chất tới hạn và mật độ dòng tới hạn của chất siêu dẫn $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ đã được nghiên cứu một cách có hệ thống. Độ dẫn dư theo phân tích lý thuyết A-L và L-D cho thấy vùng trường trung bình bị dao động bởi TiO_2 với độ dài kết hợp trực c và khoảng cách hiệu dụng giữa các mặt phẳng CuO_2 ngày càng tăng. Sự giảm cả hóa trị Cu và nồng độ lỗ trống trên mẫu pha tạp đã được khảo sát bằng cách sử dụng phổ XANES Cu K và Cu L2,3. $J_c(B)$ được tăng cường với hàm lượng pha tạp thích hợp $x = 0,002, 0,004$. Các giá trị của B_{sb} và B_{lb} được ước tính cho tất cả các mẫu ở 65, 55, 45 và 35 K. Kết quả cho thấy sự mở rộng của vùng bó nhỏ và lớn với lượng hạt nano TiO_2 thích hợp. Các phân tích $j(t)$ cho thấy rằng cơ chế ghim δl là cơ chế ghim chiếm ưu thế trong tất cả các mẫu. Việc tăng của tham số khớp p tăng trên các mẫu $x = 0,002$ và $0,004$ cho thấy các tâm ghim bổ sung là các tâm ghim dạng điểm tương tác lỗi loại thường.

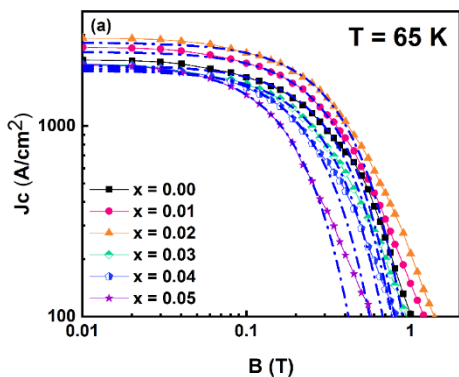
CHƯƠNG 5: CẢI THIỆN MẬT ĐỘ DÒNG TỚI HẠN TRÊN HỆ SIÊU DẪN NHIỆT ĐỘ CAO

$\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ BẰNG BỔ SUNG CÁC HẠT NANO TỪ TÍNH Fe_3O_4

5.1. TÍNH CHẤT CỦA HẠT NANO

Các hạt nano được phát hiện chủ yếu ở dạng hình cầu và kích thước trung bình của nó là khoảng 19 nm được chứng minh qua hình ảnh TEM (không được hiển thị ở đây).

nhất thu được trên mẫu $x = 0,02$.

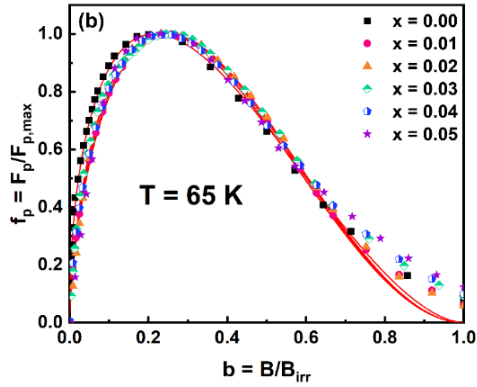


Hình 0.4. Sự phụ thuộc từ trường của J_c ở 65 K với vùng bó nhỏ phù hợp với thang logarit kép của các mẫu

5.4. THUỘC TÍNH GHIM TỪ

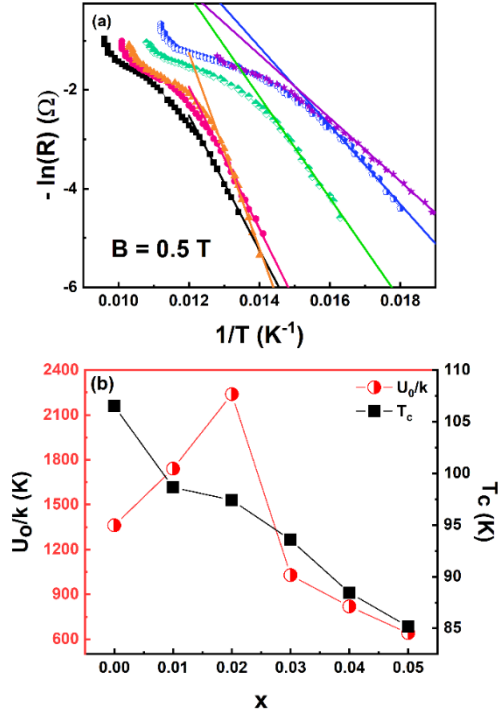
5.4.1. Tâm ghim từ

Đối với các mẫu $x = 0,01$ và $0,02$, giá trị của p tăng từ 0,5537 lên 0,6523 và 0,6695, và giá trị của b_{peak} tăng lần lượt từ 0,2168 lên 0,2459 và 0,2508, cả hai đều thể hiện cơ chế ghim dạng điểm ($b_{peak} = 1/3$).



Hình 0.5. (a) Sự phụ thuộc trường chuẩn hóa của f_p ở 65 K, với mô hình Dew–Hughes phù hợp với các mẫu $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})_{1-x}(\text{Fe}_3\text{O}_4)_x$ với $x = 0, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04$ và $0,05$

5.4.2. Cải thiện thế năng ghim



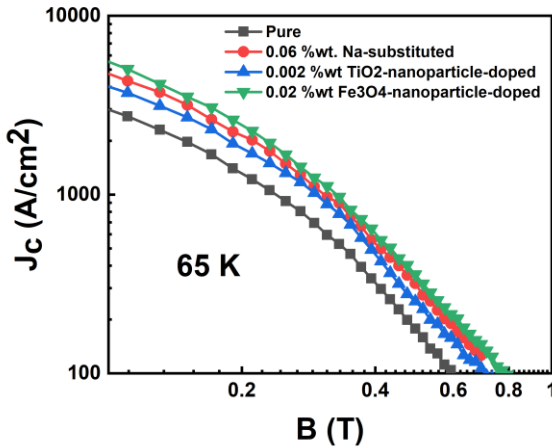
Hình 0.6. (a) Đồ thị Arrhenius ở 0,5T, và (b) Thế năng ghim theo T_c của các mẫu $(Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta})_{1-x}(Fe_3O_4)_x$, với $x = 0, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04$ và $0,05$.

U_0 của khối Bi-2223 đã được cải thiện. Các lý do có thể có cho những cải thiện này là do: (i) lực ghim từ được cải thiện và (ii) năng lượng hoạt hóa U_0 được tăng cường.

5.5. SO SÁNH TÁC DỤNG CỦA HIỆU ỨNG THAY THẾ, CÁC HẠT NANO KHÔNG TỪ TÍNH VÀ KHÔNG TỪ TÍNH LÊN MẬT ĐỘ DÒNG TỐI HẠN CỦA SIÊU DẪN GỒM $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$

Kết quả cho thấy sự tăng cường cao nhất của J_c đạt được khi bổ sung

hạt nano từ tính Fe_3O_4 với $x = 0,02$.



Hình 0.7. Sự phụ thuộc từ trường của J_c của chất siêu dẫn $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ được thay thế Na, pha tạp hạt nano TiO_2 và hạt nano Fe_3O_4

KẾT LUẬN

Trong luận án này, việc tìm hiểu vấn đề mật độ dòng tới hạn và cơ chế ghim trong chất siêu dẫn Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O đã được thực hiện. Những kết quả chính của luận án này, việc cải thiện J_c trong chất siêu dẫn BPSCCO, có thể tóm tắt như sau:

Các đặc tính ghim từ được cải thiện trong các mẫu được thay thế Na được thể hiện rõ khi so sánh các giá trị phù hợp của p , q và b_{peak} theo mô hình Dew-Hughes. Dữ liệu thu được cũng cho thấy sự gia tăng của tâm ghim dạng điểm và sự suy giảm của tâm biên giới hạt do sự thay thế Na. Đặc biệt, cơ chế ghim δl được phát hiện là cơ chế ghim chiếm ưu thế đối với các mẫu, liên quan đến sự biến đổi không gian trong đường đi tự do trung bình của các hạt tải.

Đối với các chất siêu dẫn BPSCCO có bổ sung các hạt nano TiO_2

không từ tính, $J_c(B)$ của các mẫu được tăng cường nhờ hàm lượng pha tạp thích hợp $x = 0,002, 0,004$. Kết quả cho thấy sự mở rộng của vùng bó nhỏ và bó lớn với lượng hạt nano TiO_2 vừa đủ. Các phân tích $j(t)$ cho thấy rằng cơ chế ghim δl là cơ chế ghim chiếm ưu thế trong tất cả các mẫu. Việc tham số khớp p tăng trên các mẫu $x = 0,002$ và $0,004$ cho thấy các tâm ghim bổ sung là các tâm ghim dạng điểm tương tác lõi loại thường. Ngoài ra, mối tương quan chặt chẽ giữa các biến đổi cấu trúc địa phương và sự thay đổi T_c của BPSCCO đã được nghiên cứu. Việc giảm cả hóa trị Cu và nồng độ lỗ trống trên mẫu pha tạp được khảo sát bằng cách sử dụng phổ XANES Cu K-edge và Cu L2,3-edge liên quan chặt chẽ đến sự giảm T_c .

Đối với các mẫu BPSCCO có bổ sung hạt nano Fe_3O_4 từ tính, mức tăng J_c thu được với $x = 0,01$ và $0,02$. Những lý do có thể cho những cái thiện này được cho là do: (i) lực ghim được cải thiện và (ii) và năng lượng hoạt hóa được tăng cường. Sự xuất hiện của các tâm ghim dạng điểm tương tác lõi loại thường bổ sung trong các mẫu pha tạp đã được xác nhận bằng cách sử dụng mô hình Dew–Hughes. Điều thú vị là, việc bổ sung các hạt nano từ tính được kết luận là mang lại những cái thiện mạnh nhất về J_c trong số các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

- [1] **An T. Pham**, Dzung T. Tran, Duong B. Tran, Luu T. Tai, Nguyen K. Man, Nguyen T. M. Hong, Tien M. Le, Duong Pham, Won-Nam Kang, Duc H. Tran (2021), *Journal of Electronics Materials* 50, pp. 1444-1451.
- [2] Dzung T. Tran, **An T. Pham**, Ha H. Pham, Nhung T. Nguyen, Nguyen H. Nam, Nguyen K. Man, Won-Nam Kang, I-Jui Hsu, Wantana Klysubun, Duc H. Tran (2021), *Ceramics International* 47(12), pp. 16950-16955.
- [3] **An T. Pham**, Dzung T. Tran, Ha H. Pham, Nguyen H. Nam, Luu T. Tai, Duc H. Tran (2021), *Materials Letters* 298, pp. 130015(1-5).
- [4] **An T. Pham**, Dzung T. Tran, Linh H. Vu, Nang T.T. Chu, Nguyen Duy Thien, Nguyen H. Nam, Nguyen Thanh Binh, Luu T. Tai, Nguyen T.M. Hong, Nguyen Thanh Long, Duc H. Tran (2022), *Ceramics International* 48(14), pp. 20996–21004.
- [5] **An T. Pham**, Linh H. Vu, Dzung T. Tran, Nguyen Duy Thien, Wantana Klysubun, T. Miyanaga, Nguyen K. Man, Nhan T.T. Duong, Nguyen Thanh Long, Phong V. Pham, Nguyen Thanh Binh, Duc H. Tran (2023), *Ceramics International* 49(7), pp. 10506-10512.
- [6] Tran Tien Dung, **Pham The An**, Tran Ba Duong, Nguyen Khac Man, Nguyen Thi Minh Hien, Tran Hai Duc (2021), *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics* 37(4), pp. 1-10.
- [7] **An T. Pham**, Thao V. Nguyen, Yen T. Pham, Duc H. Tran, Nguyen K. Man, Dang T. B. Hop (2019), *Proceedings of The 4th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology*, pp. 17-20.
- [8] **An T. Pham**, Duc V. Ngo, Duc H. Tran, Nguyen K. Man, Dang T. B. Hop (2019), *Proceedings of The 4th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology*, pp. 36-39.
- [9] **An T. Pham**, Dzung T. Tran, Luu T. Tai, Nhung T. Nguyen, Nguyen K. Man, Dang T. B. Hop, Phung Manh Thang, Duc H. Tran (2022), *Proceedings of The 12th Vietnam National Conference of Solid Physics and Materials Science*, pp. 19-22.