

NGHIÊN CỨU HIỆU ỨNG ĐIỆN-TỪ TRÊN MỘT SỐ VẬT LIỆU MULTIFERROIC CẤU TRÚC ABO₃ DẠNG ĐƠN CHẤT VÀ COMPOSITE

TỔNG QUAN

Vật liệu đơn pha sắt điện và đơn pha sắt từ đã thâm nhập vào mọi lĩnh vực của khoa học - công nghệ và đã đóng vai trò hết sức quan trọng đối với sự phát triển của xã hội loài người trong thế kỷ XX. Tuy nhiên, điện tử học kinh điển đã thể hiện một số mặt hạn chế, bất cập và đang đứng trước những thách thức lớn cả về mặt nguyên lý vật lý và chi phí kinh tế để sản xuất linh kiện. Trong những năm gần đây, nhiều hiện tượng vật lý mới trong các hệ vật liệu điện, từ có các đặc trưng kích thước giới hạn đã mở ra khả năng phát triển hàng loạt linh kiện điện tử có tính mới về căn bản. Các năm 1988, 1993 và năm 2004 trở thành những mốc thời gian gắn liền với những phát hiện ra vật liệu từ điện trở GMR, CMR, vật liệu bán dẫn pha từ loăng có nhiệt độ chuyển pha sắt từ trên nhiệt độ phòng và vật liệu điện môi có hằng số điện môi khổng lồ tương ứng. Hai trong số các phát hiện trên đã được trao giải thưởng Nobel vật lý trong những năm gần đây. Tuy vậy vẫn còn đó nhiều vấn đề chưa được giải quyết thỏa đáng như: hiện tượng từ điện trở khổng lồ trong vật liệu manganite; các hiện tượng điện từ trong các hệ vật liệu kích thước nano mét, các hệ thấp chiều có thêm đóng góp của các pha từ cạnh tranh mạnh khác... Tương tác điện từ sẽ càng lý thú nhưng phức tạp và thách thức hơn khi trong vật liệu multiferroic đồng tồn tại hai phân cực điện và phân cực từ, nghĩa là vật liệu đồng biểu hiện cả tính chất sắt từ và sắt điện. Sẽ có rất nhiều thiết bị tổ hợp ứng dụng những hiệu ứng lý thú của vật liệu multiferroic như: nguyên tố nhớ nhiều trạng thái, thiết bị cộng hưởng sắt từ điều khiển bởi điện trường, bộ chuyển đổi với module áp điện có tính chất từ và bộ lưu dữ liệu, MRAMs, FeRAMs...[3-5;7-10]. Vật liệu multiferroic trở thành đối tượng quan tâm thu hút không chỉ vì tính phức tạp và lý thú của bản chất vật lý của chúng mà còn thu hút vì khả năng thu nhỏ linh kiện, tăng mật độ linh kiện, tăng tốc độ hoạt động và mở ra khả năng chế tạo các linh kiện tổ hợp nhiều chức năng trên cùng một chip.

Vì những tính chất đặc biệt và khả năng ứng dụng to lớn này, vật liệu multiferroic ngày càng được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu một cách mạnh mẽ. Các hướng nghiên cứu liên quan đến vật liệu multiferroic như: vật liệu gốm tổ hợp dạng khối và màng mỏng tồn tại đồng thời cả hai tính chất sắt điện sắt từ; các hợp chất sắt điện pha kim loại chuyển tiếp; các hợp chất perovskite... được đặc biệt quan tâm nghiên cứu. Hàng năm có hàng trăm công trình được công bố liên quan đến tối ưu hóa công nghệ chế tạo vật liệu; mối liên quan giữa thành phần vật liệu, bán kính ion của các ion thành phần và cấu trúc vật liệu với các tính chất điện từ; cơ chế tương tác từ (tính cạnh tranh pha từ, trạng thái bất thỏa từ, trạng thái thủy tinh spin và động học từ trong các hệ điện từ-spin tương quan mạnh); đặc biệt về cơ chế dẫn truyền điện tử và hiệu ứng nhớ điện trở trong các vật liệu đa pha điện từ. Cho đến nay, một số phòng thí nghiệm trên thế giới đã chế tạo thành công vật liệu multiferroic dạng đơn chất và tổ hợp có hệ số từ điện lớn. Gần đây nhất, vào năm 2009 Nail và Mahendian đã thu được hệ số từ điện rất lớn trong vật liệu $\text{Bi}_{0.7}\text{Sr}_{0.15}\text{Ba}_{0.15}\text{FeO}_3$ ($\Delta E_H = 2.1 \text{ mV/cm Oe}$). Đây là giá trị của hệ số từ điện lớn nhất thu được trên các vật liệu multiferroic dạng đơn chất tính đến thời điểm công bố năm 2009.

Cùng với xu hướng nghiên cứu này, trong một vài năm trở lại đây nhiều tập thể các nhà khoa học ở Viện Khoa học Vật liệu - Viện KH&CNVN, Trường ĐH Công nghệ – ĐHQG Hà Nội, Khoa Vật lý - ĐH Sư phạm Hà Nội... cũng đã tiến hành nhiều nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm nhằm tìm hiểu cơ chế vật lý cũng như tìm kiếm công nghệ chế tạo các vật liệu có các tính chất mong muốn và đã thu được nhiều kết quả đáng khích lệ. Từ năm 2008 trở lại đây, nhóm nghiên cứu của chúng

tôi cũng đã bắt đầu tập trung nghiên cứu chế tạo vật liệu multiferroic dạng đơn chất và composite, bước đầu thu được một số kết quả nhất định, đã đóng góp được phần nào đó để giải thích các hiện tượng của vật liệu multiferroic. Mục đích hiện tại của các nhà khoa học là sớm đưa vật liệu này vào ứng dụng trong thực tế. Tuy nhiên, trước khi triển khai đưa vật liệu này vào ứng dụng, vẫn còn tồn đọng khá nhiều vấn đề về công nghệ cũng như tính chất cần được giải quyết một cách chi tiết và triệt để. Một trong những vấn đề đó là việc tìm kiếm cấu trúc đơn giản, hợp lý để dễ dàng cho việc chế tạo vật liệu, đây đang là một trong những vấn đề then chốt trong lĩnh vực nghiên cứu này. Tiếp theo đó là việc liên kết và điều khiển lẫn nhau của các tính chất điện và từ của vật liệu này bằng việc thay đổi cấu trúc hoặc tham số cấu trúc, đặc biệt là bằng tác động của ngoại vi như từ trường, điện trường, nhiệt độ... Đây cũng là những vấn đề chính mà nhóm nghiên cứu của chúng tôi mong muốn được đi sâu nghiên cứu.

Chúng tôi hi vọng rằng với thiết bị sẵn có của Phòng thí nghiệm vật lý chất rắn tại Bộ môn Vật lý kết hợp với Phòng thí nghiệm Trọng điểm của Viện KH Vật liệu, với kinh nghiệm thu được trong thời gian qua của nhóm nghiên cứu cùng với sự hợp tác nghiên cứu trong và ngoài nước, đề tài sẽ được thực hiện và hoàn thành một cách xuất sắc. Kết quả nghiên cứu của đề tài hứa hẹn sẽ được công bố trên các tạp chí khoa học trong nước và Quốc tế. Đây cũng là cơ hội tốt để mở rộng sự hợp tác nghiên cứu với các trung tâm lớn trong nước và Quốc tế, đặc biệt là với Hàn quốc, Đài Loan... những quốc gia có nền khoa học và công nghệ đang phát triển mạnh mẽ.

MỤC TIÊU

- Chế tạo thành công các mẫu vật liệu multiferroic cấu trúc ABO₃ dạng đơn chất và composite bằng phương pháp phản ứng pha rắn và nghiền cơ năng lượng cao. Chế tạo thành công mẫu màng mỏng vật liệu trên cơ sở sử dụng các mẫu vật liệu multiferroic từ dạng gốm khối đã chế tạo làm bia cho kỹ thuật bốc bay bằng chùm tia laser. Khống chế nhiệt độ và thời gian thích hợp để thu được vật liệu sạch pha, vật liệu có kích thước hạt mong muốn trong vùng hàng chục nano mét đến hàng trăm nano mét.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của điện trường, từ trường và nhiệt độ lên các đặc trưng điện từ. Trên cơ sở các kết quả thực nghiệm đánh giá trật tự điện tích, trật tự spin, cơ chế đồng tồn tại và cạnh tranh của tương tác điện - từ trong các vật liệu multiferroic có cấu trúc ABO₃ dưới dạng đơn chất và composite khi có tác dụng của điện trường và từ trường.

NỘI DUNG

- Chế tạo các mẫu vật liệu dạng khối, hạt nano và composite bằng phương pháp phản ứng pha rắn kết hợp với nghiền cơ năng lượng cao. Chế tạo các mẫu vật liệu cấu trúc nano dạng màng mỏng bằng phương pháp bốc bay chùm tia laser.

- Khảo sát các quy trình chế tạo vật liệu nhằm tìm ra quy trình chế tạo thích hợp, độ lặp lại cao và vật liệu thu được đáp ứng tốt các yêu cầu nghiên cứu của đề tài.

- Khảo sát cấu trúc, phân tích pha tinh thể trên cơ sở phân tích số liệu nhiễu xạ tia X mẫu bột, mẫu màng và phổ tán xạ Raman. Phân tích và đánh giá hình thái học, kích thước hạt thông qua ảnh SEM.

- Thực hiện các phép đo khảo sát các đặc trưng điện, từ và quang học của vật liệu nhằm nghiên cứu, đánh giá mức độ tương tác giữa hai pha sắt điện và sắt từ, quá trình hồi phục của các phân cực điện và phân cực từ trong các mẫu vật liệu đã chế tạo.

- Thiết lập được mối tương quan điện - từ thông qua tỷ phần đóng góp của hai pha sắt điện/sắt từ khi có tác dụng của điện trường và từ trường.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Chế tạo vật liệu gốm dạng khối bằng phương pháp nghiền cơ năng lượng cao và phản ứng pha rắn. Chế tạo vật liệu kích thước nano bằng phương pháp nghiền cơ năng lượng cao và bốc bay bằng chùm tia laser.

Khảo sát và phân tích đánh giá hình thái, cấu trúc pha của vật liệu trên cơ sở phân tích phổ nhiễu xạ tia X và ảnh hiển vi điện tử quét (SEM). Kết hợp với phổ tán xạ Raman để đánh giá kích thước hạt và cấu trúc của vật liệu gốm và màng mỏng.

Sau khi có các thông tin cần thiết về cấu trúc pha, độ sạch pha vật liệu, hình thái học và những thông tin bổ trợ chúng tôi thực hiện các phép đo điện từ như: đo đường từ nhiệt $M(T)$ trong cả hai chế độ FC và ZFC, điện trở $R(T)$, điện dung $C(T)$, đường từ hoá $M(H)$ và từ trở $R(H)$ trong từ trường cao (đến 2 Tesla) ở các nhiệt độ khác nhau trong toàn dải nhiệt độ từ 5K lên đến nhiệt độ cần thiết để đánh giá nhiệt độ chuyển pha sắt điện và sắt từ, đánh giá cơ chế từ hoá cũng như cơ chế dẫn phụ thuộc trật tự spin trong vật liệu.

HIỆU QUẢ KTXH

- Việc thực hiện đề tài sẽ góp phần nâng cao năng lực nghiên cứu của chủ nhiệm đề tài và nhóm nghiên cứu. Bên cạnh đó quá trình thực hiện và kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ góp phần đào tạo đội ngũ cán bộ nghiên cứu trẻ, xây dựng và phát triển các nhóm nghiên cứu thuộc chuyên ngành vật lý chất rắn, công nghệ nano và quang học quang phổ của ĐH Thái Nguyên.

- Kết quả nghiên cứu của đề tài hứa hẹn sẽ được công bố trên các tạp chí khoa học trong nước và Quốc tế. Đây cũng là cơ hội tốt để mở rộng sự hợp tác với các trường và trung tâm nghiên cứu trong nước. Đặc biệt là sự mở rộng hợp tác Quốc tế trong nghiên cứu vì trong quá trình nghiên cứu đề tài này chúng tôi sẽ hợp tác với một số nhóm nghiên cứu tại Hàn quốc và Đài Loan, những quốc gia có nền khoa học và công nghệ đang phát triển mạnh mẽ.

ĐƠN VỊ SỬ DỤNG

Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học - ĐHTN