



SPMS
2025



TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU

TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIV

Trường Đại học Tây Nguyên, Đắk Lắk, 05-07/11/2025



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

10.	NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC CHUYỂN ĐỔI PHẦN CỰC SÓNG ĐẠI RỘNG VÙNG DƯỚI 30 GHz ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG CHO ANTEN VI DẢI	36
	Trần Mạnh Cường, Nguyễn Thị Thủy, Phạm Văn Điện, Kiều Quang Duy, Vũ Duy Chiến, Vũ Đình Lâm, Phạm Văn Hải	
11.	NGHIÊN CỨU MÀNG MỎNG NiFe CÓ THÀNH PHẦN ĐỊNH HƯỚNG TỪ BIẾN THIÊN THEO CHIỀU DÂY	39
	Nguyễn Văn Tuấn, Nguyễn Khắc Bình, Đỗ Thị Hồng, Hồ Anh Tâm, Đỗ Thị Hương Giang	
12.	ANH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ THIÊU KẾT ĐẾN TÍNH CHẤT ẮP ĐIỆN CỦA BIẾN TỬ DẠNG Đĩa TRÊN NỀN PZT ĐỒNG PHA TẠP Nb, Sb	43
	Dụng Thị Hoài Trang, Trần Thành Văn, Lê Thị Liên Phương, Lê Trần Uyên Tú, Võ Thanh Tùng	
13.	NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO LĨNH KIỆN ĐIỆN TRỞ NHỎ DỰA TRÊN VẬT LIỆU PEROVSKITE CsPbBr ₃	47
	Nguyễn Đức Long, Phan Hà Minh, Hoàng Việt Hưng, Dương Thanh Tùng	
14.	ANH HƯỞNG CỦA PHA TẠP KIM LOẠI CHUYỂN TIẾP 3d (Mn, Ni, Co) ĐẾN CÁC TÍNH CHẤT CẤU TRÚC, TỪ VÀ ĐIỆN MÔI CỦA VẬT LIỆU BaTiO ₃	51
	Đào Xuân Trung Hiếu, Lê Duy Cương, Nguyễn Duy Xuân, Đỗ Chung Chiến, Phan Thanh Bình, Nguyễn Văn Tiến, Hồ Thị Anh	
15.	CẢI THIẾN TÍNH CHẤT SẮT ĐIỆN VÀ SẮT TỪ CỦA VẬT LIỆU MULTIFERROIC TỔ HỢP NỀN BZT-BCT ỨNG DỤNG PHẦN HỦY THUỐC NHUỘM TỔNG HỢP	55
	Lưu Thị Nhạn, Phạm Xuân Thảo, Ngô Thu Hương, Lê Việt Bảo, Chu Anh Đức, Đào Văn Hào, Vũ Thị Thủy, Đào Thị Thanh Tâm, Nguyễn Minh Hiếu, Đào Sơn Lâm	
16.	INFLUENCE OF FERROMAGNETISM ON FERROELECTRIC Ba(Zr,Ti)O ₃ MATERIALS VIA SOLID SOLUTION OF TrTiO ₃ (Tr = Fe, Co, Mn, Ni)	59
	Ngo Huyen Ngan, Nguyen Hoang Thoan, Han Ngoc Anh, Do Duc Tho, Nguyen Dang Co, Dang Duc Dung	
17.	CHẾ TẠO VÀ NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC VÀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA VẬT LIỆU MÀNG MỎNG BiFeO ₃ PHA TẠP Sm	63
	Ngô Thu Hương, Phạm Xuân Thảo, Đào Sơn Lâm, Đỗ Thị Kim Anh	
18.	ELECTRICAL PROPERTIES OF CoTiO ₃ -MODIFIED Ba(Zr,Ti)O ₃ SOLID SOLUTION STUDIED BY COMPLEX IMPEDANCE METHOD	67
	Truong The Truong, Tran Minh Quang, Nguyen Hoang Thoan, Dang Duc Dung	
19.	TENSILE STRENGTH OF 3D PRINTING SAMPLE AT DIFFERENT ORIENTATIONS USING STEREOLITHOGRAPHY METHOD	71
	Nguyen Hong Thang, Nguyen Hong Trong, Phạm Thị Hồng Nga	

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ THIÊU KẾT ĐẾN TÍNH CHẤT ÁP ĐIỆN CỦA BIẾN TỬ DẠNG ĐĨA TRÊN NỀN PZT ĐỒNG PHA TẠP Nb, Sb

Dặng Thị Hoài Trang, Trần Thành Văn, Lê Thị Liên Phương, Lê Trần Uyên Tú,
Võ Thanh Tùng*

Khoa Điện, Điện tử & Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học Huế, Đại học Huế,
Số 77 Nguyễn Huệ, Phường Thuận Hòa, Thành phố Huế

*Email: vttung@hueuni.edu.vn

Tóm tắt:

Biến tử dạng đĩa trên nền gốm $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,525}\text{Ti}_{0,475})_{0,970}\text{Nb}_{0,024}\text{Sb}_{0,006}\text{O}_3$ (PZTNS) được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn có đường kính 30 mm. Ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến cấu trúc, vi cấu trúc và tính chất áp điện của biến tử đã được nghiên cứu trong bài báo này. Biến tử thiêu kết tại các nhiệt độ khác nhau 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C và 1250 °C đều có cấu trúc tứ giác điển hình, có sự tồn tại đồng thời của hai pha tứ giác và mặt thoi. Tại nhiệt độ thiêu kết tối ưu là 1150 °C trong 2 giờ, biến tử thu được có cấu trúc hạt đồng đều, đạt các thông số tốt nhất, mật độ gốm ρ có giá trị là 7,74 g/cm³, hệ số áp điện d_{33} là 472 pC/N, hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t và hệ số phẩm chất Q_m có các giá trị tương ứng là 0,66; 0,59 và 88. Với các tính chất thu được, biến tử áp điện trên nền gốm PZTNS hứa hẹn sẽ là vật liệu tiềm năng trong việc chế tạo cảm biến, các thiết bị siêu âm và thủy âm.

Từ khóa: Biến tử, đĩa, nhiệt độ thiêu kết, PZTNS

GIỚI THIỆU

Gốm áp điện trên nền PZT là một vật liệu được các nhà nghiên cứu khoa học trong nước và quốc tế chú trọng nghiên cứu từ những năm 1950 vì chúng có các đặc trưng áp điện, điện môi, sắt điện tốt phù hợp với các ứng dụng trong các bộ truyền động, bộ chuyển đổi, lĩnh vực siêu âm, áp điện, điện tử ứng dụng, lĩnh vực y học, ... [1-4]. Tuy nhiên, để chế tạo các biến tử ứng dụng trên nền gốm PZT thì nhiệt độ thiêu kết của chúng khá cao. Các nhà khoa học trong và ngoài nước đã có nhiều công trình nghiên cứu để làm giảm nhiệt độ thiêu kết của như thay đổi thành phần của hệ gốm bằng cách pha thêm các loại tạp khác nhau vào nền PZT hoặc đưa vào các chất hỗ trợ thiêu kết [5, 6]. Một số công trình nghiên cứu cho thấy rằng, việc đồng pha tạp vào vật liệu nền tạo ra gốm có một số đặc trưng đáp ứng yêu cầu ứng dụng [7, 8]. Trong nghiên cứu này, khi đồng pha tạp Nb, Sb vào vật liệu nền PZT gốm tạo ra có các thông số áp điện cao cũng như nhiệt độ chuyển pha cao, từ đó chế tạo biến tử trên nền gốm chế tạo được ứng dụng vào thực tế.

Các biến tử ứng dụng có kích thước và hình dạng khác nhau, do đó quy trình chế tạo chúng cũng khác nhau. Có rất nhiều thông số ảnh hưởng đến quá trình chế tạo biến tử như nhiệt độ nung sơ bộ, nhiệt độ thiêu kết, thời gian ủ thiêu kết, thời gian giữ nhiệt, thời gian phân cực, điện trường áp đặt khi phân cực. Trong số đó, thì nhiệt độ thiêu kết là

một thông số quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất của vật liệu. Việc xác định được nhiệt độ thiêu kết tối ưu cho vật liệu nó quyết định đến độ đồng đều, độ xếp chặt cũng như xác định được các thông số áp điện, điện môi, sắt điện tối ưu của vật liệu.

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến cấu trúc, vi cấu trúc và tính chất áp điện của gốm trên nền PZTNS. Những kết quả nghiên cứu này kì vọng sẽ góp phần định hướng cho các nghiên cứu ứng dụng về lĩnh vực áp điện, đặc biệt là lĩnh vực siêu âm, thủy âm.

THỰC NGHIỆM

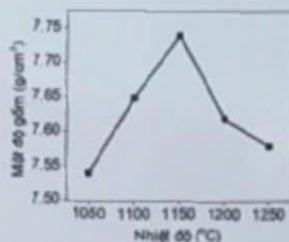
Gốm chế tạo có công thức chung là: $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,525}\text{Ti}_{0,475})_{0,970}\text{Nb}_{0,024}\text{Sb}_{0,006}\text{O}_3$ (kí hiệu là PZTNS) được chế tạo theo phương pháp phản ứng pha rắn từ các oxit ban đầu là PbO (99 %), ZrO₂ (99 %), TiO₂ (98 %), Nb₂O₅ (99,9 %) và Sb₂O₃ (99,9 %). Hỗn hợp ban đầu được cân theo tỉ lệ mong muốn sau đó được nghiền trộn với ethanol trong thời gian là 20 giờ bằng máy nghiền bi năng lượng cao, sau đó được sấy khô và ép nung sơ bộ ở nhiệt độ 850 °C trong thời gian 2 giờ. Hỗn hợp sau khi nung sơ bộ được xử lý và nghiền trộn thiêu kết với ethanol trong thời gian 20 giờ. Bột sau khi sấy khô được trộn với chất kết dính PVA sau đó ép thành các biến tử dạng đĩa với khuôn có đường kính 37 mm và nung theo các nhiệt độ cần khảo sát. Để thuận tiện trong quá trình khảo sát, chúng tôi sử

dùng các kí hiệu M1050, M1100, M1150, M1200, M1250 tương ứng với các biến từ dạng đĩa thiếu kết ở các nhiệt độ 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C và 1250 °C trong thời gian 2 giờ. Các biến từ sau khi thiếu kết được xử lý bề mặt, phủ điện cực và phân cực với điện trường 3 kV/cm ở nhiệt độ 120 °C trong thời gian 30 phút để khảo sát các tính chất điện môi, áp điện.

Mật độ gốm của các biến từ được xác định bằng phương pháp Archimedes, cấu trúc của các biến từ được nghiên cứu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (D8 ADVANCE). Vi cấu trúc của chúng được xác định bằng ảnh hiển vi điện tử quét (SEM). Các tính chất điện môi, áp điện được xác định từ các hệ đo tự động hóa HIOKI 3532, Impedance HP 4193A. Hệ số d_{31} được đo trên thiết bị YE2730A d33 meter -Sinocera.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mật độ gốm của các biến từ thiếu kết ở các nhiệt độ 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C và 1250 °C được thể hiện như ở Hình 1.



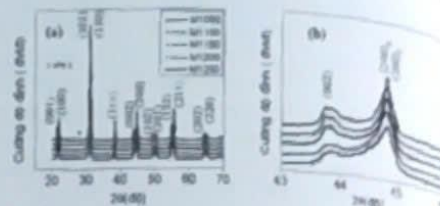
Hình 1. Sự phụ thuộc của mật độ gốm vào nhiệt độ thiếu kết của các biến từ trên nền gốm PZTNS

Hình 1 chỉ ra rằng, mật độ gốm của biến từ phụ thuộc vào nhiệt độ thiếu kết, khi tăng dần nhiệt độ thiếu kết từ 1050 °C đến 1250 °C, mật độ gốm của biến từ tăng dần và đạt giá trị lớn nhất khi thiếu kết ở nhiệt độ 1150 °C, có giá trị tương ứng là 7,74 g/cm³. Khi tiếp tục tăng nhiệt độ thiếu kết trên 1150 °C thì mật độ gốm của biến từ giảm dần. Điều này có thể là do khi thiếu kết ở nhiệt độ cao, chỉ bay hơi tạo ra các lỗ hổng làm giảm mật độ của gốm [9].

Hình 2 mô tả phổ XRD của các mẫu M1050, M1100, M1150, M1200, M1250.

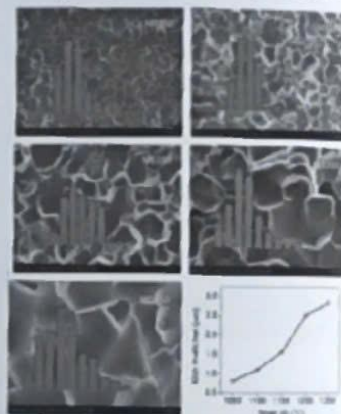
Phổ XRD cho thấy rằng, tất cả các biến từ chế tạo được đều có cấu trúc peroskit ABO_3 điển hình, tuy nhiên khi thiếu kết biến từ ở nhiệt độ cao trên 1150 °C thì có sự xuất hiện của pha lạ với cường độ rất bé. Trong khoảng góc 2θ từ 20°-70° (Hình 2(a)),

các biến từ đều có cấu trúc tứ giác với vạch nhiễu xạ đơn tại góc 2θ cỡ 38° và xuất hiện vạch nhiễu xạ kép tại các góc 2θ cỡ 22°, 31°, 45°, 55°. Khi 2θ 43°-46° (Hình 2(b)), trên phổ nhiễu xạ của các mẫu đều có sự tách đỉnh (200) thành (200)_h và (200)_v trong cấu trúc tồn tại đồng thời hai pha tứ giác và lục giác. Kết quả nghiên cứu này cũng phù hợp với nghiên cứu của các nhóm tác giả Zhao và Cheng, Guo và cs. [10-12].



Hình 2. Phổ XRD của các biến từ trên nền PZTNS theo nhiệt độ thiếu kết (a) 20°-70°, (b) 43°-46°

Ảnh hưởng của nhiệt độ thiếu kết đến cấu trúc của biến từ được khảo sát thông qua các ảnh SEM như ở Hình 3. Kết quả ảnh SEM cho thấy rằng, vi cấu trúc của các biến từ phụ thuộc vào nhiệt độ thiếu kết. Từ ảnh SEM, chúng tôi xác định được kích thước hạt trung bình của các mẫu và vẽ đồ thị mô tả sự phụ thuộc của kích thước hạt vào nhiệt độ thiếu kết như Hình 3. Kết quả cho thấy rằng, khi tăng dần nhiệt độ thiếu kết, kích thước hạt trung bình của các mẫu tăng dần theo nhiệt độ thiếu kết. Tại nhiệt độ 1150 °C, biến từ thu được có các hạt gốm có kích thước đồng đều hơn, xếp chặt hơn. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu về mật độ gốm.

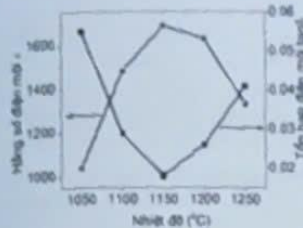


Hình 3. Ảnh SEM của các biến từ theo các nhiệt độ thiếu kết khác nhau

Từ những kết quả nghiên cứu về mật độ, cấu trúc vi cấu trúc của các biến từ, chúng tôi đưa ra một

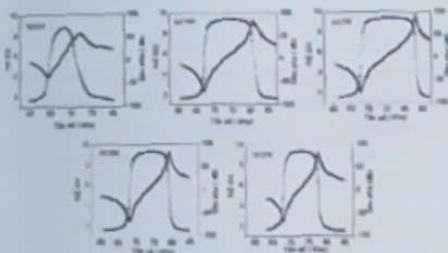
định ban đầu nhiệt độ thiêu kết 1150 °C là nhiệt độ thiêu kết tối ưu cho biến từ dạng đĩa trên nền gốm PZTNS, từ đó chúng tôi tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến tính chất điện môi, áp điện của các mẫu.

Ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến tính chất điện môi của biến từ tại nhiệt độ phòng được thể hiện như ở Hình 4.



Hình 4. Sự phụ thuộc của hằng số điện môi và tổn hao điện môi tại nhiệt độ phòng của các mẫu M1050, M1100, M1150, M1200, M1250

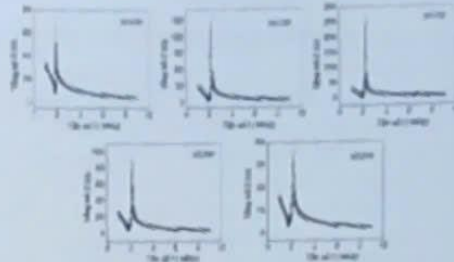
Hình 4 cho thấy rằng, khi tăng dần nhiệt độ thiêu kết thì hằng số điện môi tại nhiệt độ phòng tăng dần trong khi đó tổn hao điện môi giảm dần, tại nhiệt độ thiêu kết là 1150 °C, hằng số điện môi đạt giá trị lớn nhất, tổn hao điện môi đạt giá trị nhỏ nhất với các giá trị tương ứng là 1686 và 0,018. Khi tiếp tục tăng nhiệt độ thiêu kết thì hằng số điện môi giảm dần và tổn hao điện môi tăng dần. Điều này có thể giải thích theo hiệu ứng kích thước hạt, kết quả này phù hợp với kết quả phân tích ảnh SEM của các biến từ theo nhiệt độ nung.



Hình 5. Phổ cộng hưởng theo phương bán kính của các mẫu M1050, M1100, M1150, M1200, M1250

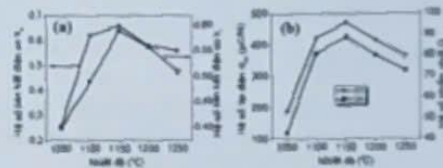
Để khảo sát tính chất áp điện của biến từ theo các nhiệt độ thiêu kết khác nhau, chúng tôi tiến hành khảo sát phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính và theo phương bề dày của các biến từ thiêu kết tại các nhiệt độ 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C và 1250 °C như mô tả ở Hình 5 và Hình 6. Phổ cộng hưởng theo phương bán kính được đo trong khoảng tần số từ 55 kHz đến 90 kHz với bước đo 0,2 kHz ở điện thế 0,5 V trên hệ đo Hioki 3532

và phổ cộng hưởng theo phương bề dày được đo ở khoảng tần số từ 1-9 MHz với bước đo 20 kHz trên hệ đo Impedance HP 4193A.



Hình 6. Phổ cộng hưởng theo phương bề dày của các mẫu M1050, M1100, M1150, M1200, M1250

Từ các phổ dao động, cặp tần số cộng hưởng và phản cộng hưởng ứng với trường hợp Z đạt cực đại và cực tiểu được xác định. Dựa vào chuẩn áp điện (IRE6), IRE87, các hệ số liên kết điện cơ theo phương bán kính k_p và theo phương bề dày k_t của các biến từ thiêu kết tại các nhiệt độ khác nhau được tính toán. Sự phụ thuộc vào nhiệt độ thiêu kết của hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t , hệ số áp điện d_{33} và hệ số phẩm chất Q_m được mô tả như ở Hình 7.



Hình 7. Sự phụ thuộc của hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t (a); hệ số áp điện d_{33} và hệ số phẩm chất Q_m của biến từ theo nhiệt độ thiêu kết (b).

Đồ thị Hình 7 chỉ ra rằng hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t ; hệ số áp điện d_{33} và hệ số phẩm chất Q_m của biến từ phụ thuộc vào nhiệt độ thiêu kết, khi nhiệt độ thiêu kết tăng dần từ 1050° đến 1150 °C, hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t , hệ số áp điện d_{33} và hệ số phẩm chất Q_m của biến từ cũng tăng dần và đạt giá trị cao nhất tại nhiệt độ 1150 °C, với các giá trị tương ứng là 0,66, 0,59, 472 pC/N và 88. Khi tiếp tục tăng nhiệt độ thiêu kết thì các giá trị k_p , k_t , d_{33} và hệ số phẩm chất Q_m giảm dần. Điều này có thể giải thích là tại nhiệt độ 1150 °C, biến từ có mật độ gốm lớn nhất, cấu trúc gốm ổn định, nó làm tăng hiệu quả chuyển động của các ion trong mạng tinh thể, làm tăng tính chất áp điện của vật liệu.

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến cấu trúc, vi cấu trúc và tính chất áp điện của biến từ, chúng tôi kết luận rằng nhiệt độ thiêu kết tối ưu cho biến từ dạng đĩa có

đường kính 30 mm trên nền gốm PZT đồng pha tạp Nb, Sb là 1150 °C và ủ trong thời gian là 2 giờ.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chế tạo thành công biến từ dạng đĩa có đường kính 30 mm trên nền PZT với công thức $\text{Pb}(\text{Zr}_{0,525}\text{Ti}_{0,475})_{0,970}\text{Nb}_{0,024}\text{Sb}_{0,006}\text{O}_3$ bằng phương pháp phản ứng pha rắn và khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến cấu trúc, vi cấu trúc và một số tính chất điện của biến từ. Tại nhiệt độ thiêu kết tối ưu là 1150 °C và ủ trong thời gian 2 giờ thì biến từ thu được có các thông số tốt nhất, mật độ gốm p có giá trị là 7,74 g/cm³ hệ số áp điện d_{33} là 472 pC/N, hệ số liên kết điện cơ k_p , k_t và hệ số phẩm chất Q_m có các giá trị tương ứng là 0,66; 0,59 và 88. Hi vọng những kết quả nghiên cứu ban đầu về biến từ trên nền PZTNS sẽ đóng vai trò nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo về ứng dụng thực tế của gốm áp điện này trong chế tạo cảm biến, thiết bị siêu âm và thủy âm.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Đề tài nghiên cứu Khoa học và công nghệ quốc gia "Nghiên cứu, chế tạo biến từ áp điện ứng dụng trong các thiết bị thủy âm-siêu âm" đã hỗ trợ kinh phí để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. G.H. Haertling, Ferroelectric ceramics: history and technology, *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 82, pp. 797-818 (1999).
2. H. Jaffe, Piezoelectric ceramics, *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 41, pp. 494-498 (1958).
3. Y. Xu, *Ferroelectric materials and their applications*: Elsevier (2013).
4. B. Noheda, D. Cox, G. Shirane, R. Guo, B. Jones, and L. Cross, Stability of the monoclinic phase in the ferroelectric perovskite $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$, *Physical Review B*, vol. 63, p. 014103 (2000).
5. C. Wang, L. Ning, M. Wang, Y. Li, and F. Li, Modified $\text{Pb}(\text{Mg}_{1-x}\text{Nb}_{2x})\text{O}_3 - \text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ceramics with high d_{33} , large Q_m and high V_{33} , *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 373, p. 115361 (2024).
6. T. Promjun, N. Funsueb, and A. Ngamjarurapan, Effect of Nb, Ta and Sb addition on structure and electrical properties of PZT ceramics, *Materials Today: Proceedings*, vol. 17, pp. 1602-1606 (2019).
7. N. Luo, Q. Li, and Z. Xia, Effect of $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ modification on dielectric and piezoelectric properties of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1-x}\text{Nb}_{2x})\text{O}_3 - \text{PbZr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48}\text{O}_3$ ceramics, *Materials Research Bulletin*, vol. 46, pp. 1333-1339 (2011).
8. J. Chen, Z. Yao, Z. Yuan, Z. Ma, H. Hao, M. Cao, et al., Tracking high-performance $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Sb}_{1/2})\text{O}_3 - \text{Pb}(\text{Zr}_{0,48}\text{Ti}_{0,52})\text{O}_3$ piezoelectric ceramics near morphotropic phase boundary, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 35, p. 1646 (2024).
9. S. Mahajan, O. Thakur, and C. Prakash, Effect of sintering temperature on structural and piezoelectric properties of PNN-PZT ceramics, *Defence Science Journal*, vol. 57, pp. 23-28 (2007).
10. S. Zhao, H. Wu, and Q. Sun, Study on PSN-PZN-PZT quaternary piezoelectric ceramics near the morphotropic phase boundary, *Materials Science and Engineering: B*, vol. 123, pp. 203-210 (2005).
11. Y. Guo, W. Ma, and F. Zhang, The effect of PSN content on MPB of $0.3\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - 0.7\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ system, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 27, pp. 1520-1527 (2016).
12. J. Chen, Z.-Z. Du, Y.-T. Yang, and H. Hu, The electrical properties of low-temperature sintered $0.07\text{Pb}(\text{Sb}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - 0.93\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ multilayer piezoceramic actuator, *Ceramics International*, vol. 47, pp. 15195-15201 (2021).

**TUYỂN TẬP BÁO CÁO
HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU
TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIV**

**SPMS
2025**

ISBN: 978-604-357-427-2



SÁCH KHÔNG BÁN