

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ THIÊU KẾT ĐẾN TÍNH CHẤT ÁP ĐIỆN CỦA BIẾN TỬ HÌNH XUYẾN TRÊN NỀN GỐM PZT

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

Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: tranthanhvan@husc.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/6/2026; ngày hoàn thành phản biện: 28/6/2026; ngày duyệt đăng: 30/6/2026

TÓM TẮT

Gốm áp điện trên nền PZT có các tính chất áp điện và điện môi đặc trưng, nhờ đó chúng được ứng dụng trong các biến tử phát và thu sóng siêu âm. Bài báo trình bày quy trình công nghệ chế tạo biến tử hình xuyên trên nền gốm PZT và nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết, thời gian ủ thiêu kết đến các tính chất của nó. Biến tử hình xuyên có đường kính ngoài 41,5 mm, đường kính trong 15,6 mm và bề dày 5,5 mm được chế tạo thành công bằng phương pháp truyền thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy ở nhiệt độ thiêu kết tối ưu là 1150°C ủ trong 2,5 giờ, gốm đạt tỷ trọng 7,75 g/cm³, kích thước hạt trung bình có giá trị từ 1,855 đến 2,809 μm, hằng số điện môi và tổn hao điện môi tại nhiệt độ phòng có giá trị tương ứng là 13325 và 0,01631, hệ số liên kết điện cơ k_p đạt 0,45 và hệ số áp điện d_{33} cỡ 310 pC/N. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở cho việc tối ưu hóa quy trình chế tạo biến tử trên nền gốm PZT, góp phần định hướng ứng dụng trong các thiết bị siêu âm, thủy âm.

Từ khóa: Áp điện, biến tử hình xuyên, nhiệt độ thiêu kết, PZT.

1. MỞ ĐẦU

Gốm áp điện chì zirconat titanat $\text{PbZr}_{0,52}\text{Ti}_{0,48}\text{O}_3$, (PZT) là một trong những vật liệu áp điện được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhờ có các tính chất áp điện, điện môi và sắt điện đặc trưng. Với khả năng chuyển đổi giữa năng lượng điện và cơ học, vật liệu PZT được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như cảm biến, điện tử, đầu dò và các biến tử phát, thu sóng siêu âm.

Tính chất của gốm PZT phụ thuộc đáng kể vào quy trình chế tạo, trong đó nhiệt độ thiêu kết và thời gian ủ là những thông số công nghệ có ảnh hưởng trực tiếp đến mật độ gốm, sự phát triển cỡ hạt và các tính chất điện môi, áp điện của vật liệu. Nhiều nghiên

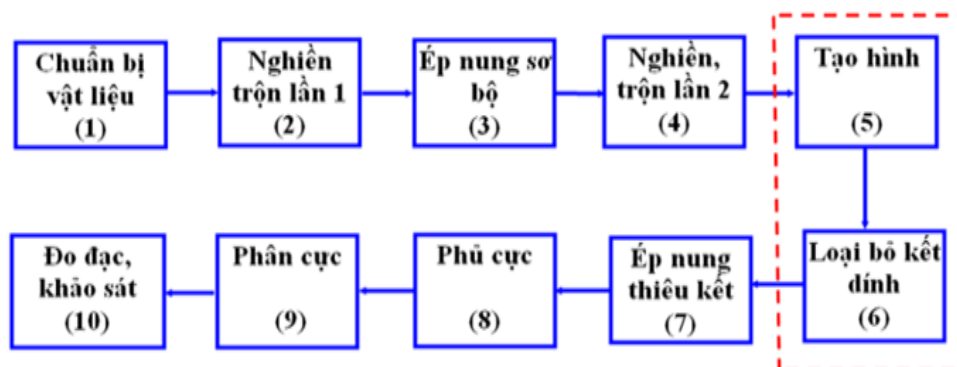
cứu đã chỉ ra rằng việc lựa chọn chế độ thiêu kết thích hợp có thể cải thiện đáng kể các tính chất của gốm PZT [1–5]. Bên cạnh đó, các chất hỗ trợ thiêu kết như CuO, Fe₂O₃ và Li₂CO₃ cũng được sử dụng nhằm nâng cao khả năng kết khối và cải thiện tính chất của vật liệu [6, 7].

Đối với các biến tử áp điện có hình dạng khác nhau, việc tối ưu hóa quy trình chế tạo và chế độ thiêu kết là cần thiết nhằm đảm bảo các đặc tính làm việc theo yêu cầu ứng dụng. Tuy nhiên, các nghiên cứu về chế độ thiêu kết đối với biến tử áp điện hình xuyên có kích thước lớn vẫn còn tương đối hạn chế.

Trong nghiên cứu này, biến tử áp điện hình xuyên trên nền gốm PZT được chế tạo bằng phương pháp gốm truyền thống. Ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết và thời gian ủ đến vi cấu trúc, tính chất điện môi và tính chất áp điện của biến tử được khảo sát nhằm xác định chế độ thiêu kết tối ưu, góp phần hoàn thiện quy trình chế tạo và định hướng ứng dụng trong các thiết bị siêu âm và thủy âm.

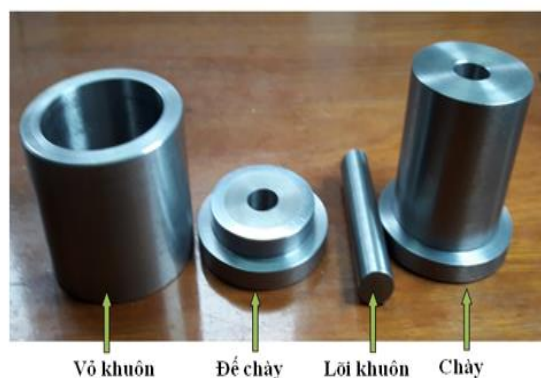
2. THỰC NGHIỆM

Biến tử hình xuyên được chế tạo trên nền gốm PZT theo công nghệ truyền thống có công thức tổng quát là PbZr_{0,52}Ti_{0,48}O₃ (PZT). Nguyên liệu ban đầu là các oxit PbO (99%), ZrO₂ (99%), TiO₂ (98%) của hãng Hàn Quốc. Hỗn hợp bột được cân với hợp thức mong muốn, nghiền trộn với ethanol trong 8 giờ bằng máy nghiền cọ xát, sau đó sấy khô và ép nung sơ bộ ở nhiệt độ 850°C trong 2 giờ. Hỗn hợp sau đó được nghiền với ethanol trong thời gian là 16 giờ sau đó sấy khô và ép nung thiêu kết ở các nhiệt độ cần khảo sát. Quy trình chế tạo biến tử có thể tóm tắt theo các bước như sơ đồ ở hình 1.



Hình 1. Quy trình công nghệ chế tạo biến tử.

Khuôn dùng để chế tạo mẫu biến tử hình xuyên được mô tả như ở hình 2.



Hình 2. Ảnh thực tế của khuôn ép biến tử hình xuyên.

Mỗi mẫu biến tử hình xuyên được ép với khối lượng khoảng 55 g, sau khi ép biến tử được thiêu kết thiêu kết ở các nhiệt độ khác nhau và ủ trong 2,5 giờ với tốc độ gia nhiệt 2°C/phút.

Biến tử hình xuyên sau khi chế tạo có đường kính ngoài 41,5 mm, đường kính trong 15,6 mm và bề dày 5,5 mm. Để khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ thiêu kết đến tính chất của biến tử trên nền gốm PZT, bột PZT sau khi nung sơ bộ được nghiền mịn, phối trộn với chất hỗ trợ thiêu kết 7% kl Li_2CO_3 , sau đó ép thành các mẫu dạng hình xuyên và thiêu kết ở các nhiệt độ 1100°C, 1150°C và 1200°C trong thời gian 2,5 giờ. Các mẫu được ký hiệu tương ứng là M1100, M1150 và M1200.

Sau khi xác định nhiệt độ thiêu kết tối ưu chúng tôi tiếp tục khảo sát ảnh hưởng của thời gian ủ nhiệt. Các mẫu được thiêu kết ở nhiệt độ tối ưu với thời gian ủ lần lượt là 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ và 3 giờ với ký hiệu tương ứng là M1, M2, M3 và M4. Sau khi thiêu kết, các mẫu được phủ điện cực và phân cực trong dầu silicon ở nhiệt độ 120°C dưới điện trường 30 kV/cm trong thời gian 30 phút.

Tỷ trọng của gốm được xác định bằng phương pháp Archimedes. Cấu trúc tinh thể được khảo sát bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD, D8 ADVANCE), vi cấu trúc được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM). Hằng số điện môi, tổn hao điện môi và phổ cộng hưởng được đo trên các hệ đo HIOKI 3532 và HP 4193A. Hệ số áp điện d_{33} được xác định bằng thiết bị YE2730A d_{33} Meter (Sinocera).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình ảnh của các mẫu biến tử sau khi thiêu kết ở nhiệt độ 1100°C, 1150°C, 1200°C trong thời gian 2,5 giờ được mô tả như ở hình 3.



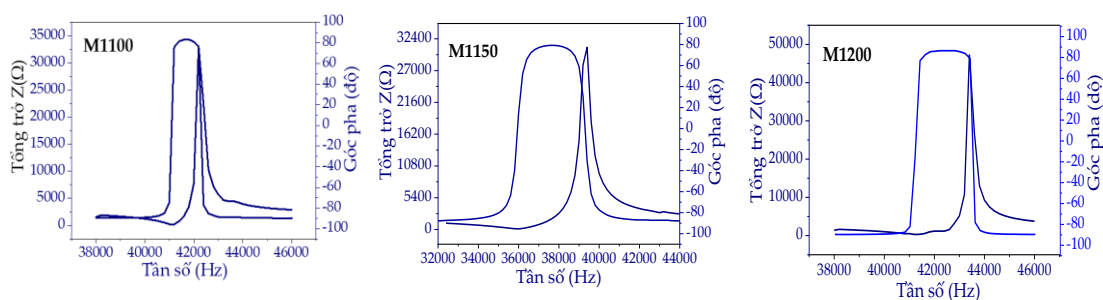
Hình 3. Hình ảnh các mẫu biến tử sau khi thiêu kết theo nhiệt độ M1100, M1150, M1200.

Sau khi xử lý bề mặt biến tử, chúng tôi xác định tỷ trọng gốm với kết quả như trình bày ở bảng 1. Theo đó, gốm thiêu kết tại nhiệt độ 1150°C trong 2,5 giờ có tỷ trọng gốm lớn nhất.

Bảng 1. Tỷ trọng và hệ số liên kết điện cơ k_p các mẫu gốm M1100, M1150, M1200.

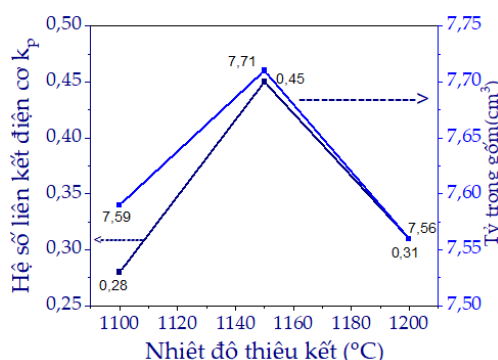
TT	Mẫu	Hệ số liên kết điện cơ k_p	Tỷ trọng gốm (g/cm ³)
1	M1100	0,28	7,59
2	M1150	0,45	7,71
3	M1200	0,31	7,56

Phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính của các biến tử thiêu kết ở 1100°C, 1150°C, 1200°C trong thời gian 2,5 giờ được thể hiện như ở hình 4.



Hình 4: Phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính của các mẫu M1100, M1150, M1200.

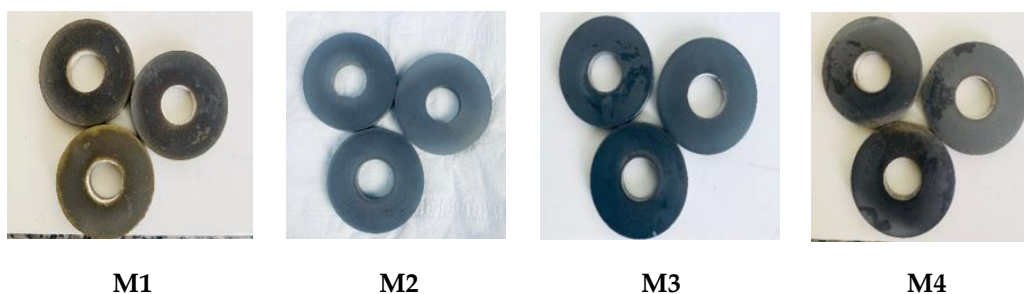
Từ phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính, chúng tôi xác định được hệ số liên kết điện cơ k_p theo các nhiệt độ thiêu kết khác nhau như ở bảng 1 và vẽ đồ thị mô tả sự phụ thuộc của tỷ trọng gốm và hệ số liên kết điện cơ của biến tử các nhiệt độ thiêu kết khác nhau như ở hình 5.



Hình 5. Sự phụ thuộc của hệ số liên kết điện cơ k_p và tỷ trọng gốm theo nhiệt độ thiêu kết của các mẫu M1100, M1150, M1200.

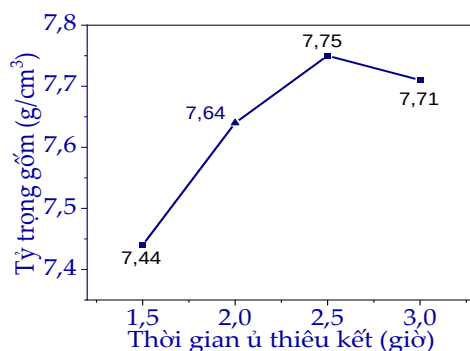
Kết quả khảo sát cho thấy rằng, khi tăng dần nhiệt độ thiêu kết từ 1100°C đến 1150°C thì tỷ trọng gốm và hệ số liên kết điện cơ k_p của các biến tử tăng dần và đạt giá trị cực đại tại nhiệt độ thiêu kết 1150°C, với giá trị hệ số liên kết điện cơ k_p là 0,45 và tỷ trọng cỡ 7,71 g/cm^3 . Khi tiếp tục tăng nhiệt độ nung thiêu kết lên 1200°C thì hệ số liên kết điện cơ k_p và tỷ trọng gốm giảm dần, điều này có thể là do sự bay hơi của chì trên bề mặt mẫu khi nung ở nhiệt độ cao, dẫn đến sự hình thành các lỗ hổng làm giảm tỷ trọng gốm. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của Cheng, nhóm tác giả cho rằng khi thiêu kết ở nhiệt độ cao sự bay hơi của chì tạo ra các lỗ khuyết oxy làm giảm tỷ trọng của gốm [8, 9].

Trên cơ sở đó, chúng tôi kết luận rằng nhiệt độ thiêu kết tối ưu cho biến tử hình xuyên là 1150°C trong thời gian 2,5 giờ. Từ đó, khảo sát ảnh hưởng của thời gian ủ thiêu kết đến các tính chất của biến tử. Hình ảnh các mẫu biến tử M1, M2, M3 và M4 sau khi thiêu kết theo thời gian ủ được mô tả như hình 6.



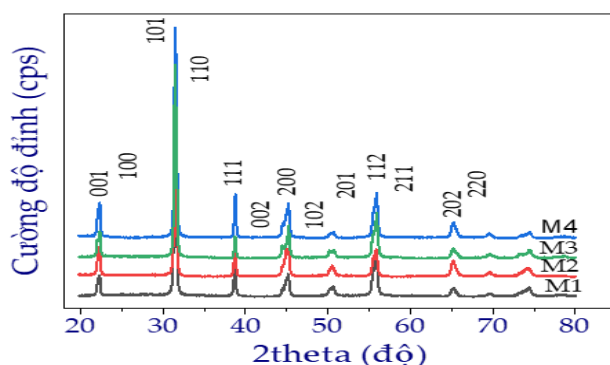
Hình 6: Hình ảnh các mẫu biến tử hình xuyên theo thời gian ủ thiêu kết.

Sự phụ thuộc của tỷ trọng gốm của các mẫu theo thời gian ủ thiêu kết được mô tả như hình 7. Kết quả cho thấy rằng, khi tăng dần thời gian ủ thiêu kết, tỷ trọng gốm tăng dần và mẫu M3 (ủ thiêu kết trong 2,5 giờ) có giá trị lớn nhất (7,75 g/cm^3).



Hình 7. Sự phụ thuộc của tỷ trọng theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4.

Hình 8 mô tả phổ nhiễu xạ tia X của các mẫu M1, M2, M3 và M4 trong khoảng góc 2θ từ 20° đến 70° .

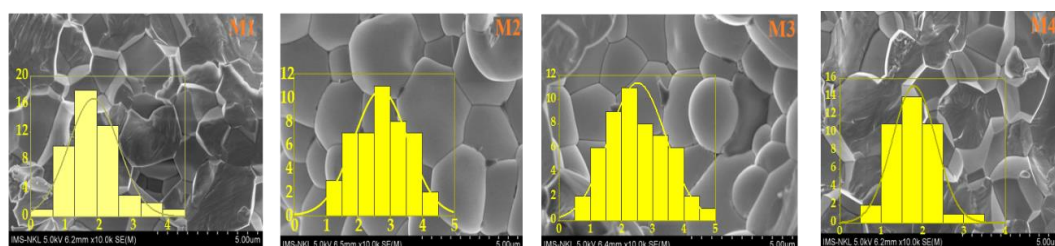


Hình 8. Phổ nhiễu xạ tia X theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4.

Từ phổ nhiễu xạ tia X của các biến tử thiêu kết tại nhiệt độ 1150°C trong thời gian 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ và 3 giờ có thể nhận định rằng, tất cả các mẫu đều có cấu trúc perovskite ABO_3 , không tồn tại pha thứ hai. Trong khoảng 2θ từ 20° đến 70° , các mẫu gốm đều có cấu trúc tứ giác điển hình, các vạch kép xuất hiện tại các vị trí ứng với góc 2θ khoảng 22° , 31° , 45° và vạch đơn tại 38° . Trong các hệ vật liệu trên nền PZT, các pha thuần tứ giác, mặt thoi và pha hỗn hợp tứ giác – mặt thoi được xác định bằng cách phân tích các đỉnh nhiễu xạ: (002)T (tứ giác), (200)R (mặt thoi) và (200)T (tứ giác) với góc 2θ trong khoảng từ 43° đến 46° trong giản đồ nhiễu xạ tia X. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu về phổ nhiễu xạ tia X của nhóm tác giả Boutarfaia và WeiPeng [9, 10].

Để đánh giá sự phân bố của các hạt trên bề mặt gốm của các mẫu nung ở nhiệt độ 1150°C trong thời gian ủ 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ và 3 giờ, các mẫu gốm sau khi thiêu kết được tiến hành chụp ảnh hiển vi điện tử quét SEM.

Hình 9 là ảnh SEM thể hiện vi cấu trúc của mẫu gốm thiêu kết ở nhiệt độ 1150°C và ủ trong thời gian là 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ và 3 giờ.

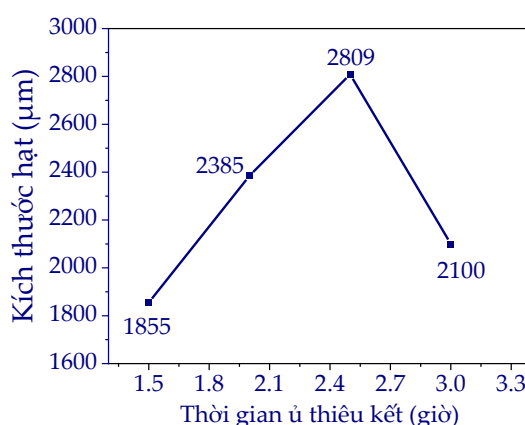


Hình 9. Ảnh SEM của các mẫu theo thời gian ủ thiêu kết khác nhau.

Kết quả ảnh SEM chỉ ra rằng các hạt gốm xếp tương đối chặt, thể hiện rõ biên hạt, tuy nhiên kích thước của các hạt chưa thực sự đồng đều và từ ảnh SEM, chúng tôi xác định được kích thước hạt trung bình của các mẫu như ở bảng 2 và vẽ đồ thị sự phụ thuộc của kích thước hạt vào thời gian ủ.

Bảng 2. Kích thước hạt trung bình của các mẫu (μm).

Mẫu	M1	M2	M3	M4
Kích thước hạt trung bình (μm)	1.855	2.385	2.809	2.100



Hình 10: Kích thước hạt trung bình theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4.

Kết quả cho thấy rằng, khi tăng dần thời gian ủ thiêu kết, kích thước hạt trung bình của các mẫu tăng dần theo thời gian ủ thiêu kết, tại nhiệt độ 1150°C ủ 2,5 trong giờ, biến tử có kích thước hạt trung bình lớn nhất. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu về mật độ gốm, tại nhiệt độ 1150°C ủ trong 2,5 giờ, gốm có kích thước đồng đều hơn, các hạt gốm xếp chặt hơn.

Để khảo sát ảnh hưởng của thời gian ủ thiêu kết đến một số tính chất của biến tử, mẫu sau khi thiêu kết được xử lý, phủ cực và phân cực. Hình ảnh các biến tử sau khi phủ điện cực được thể hiện như hình 11.



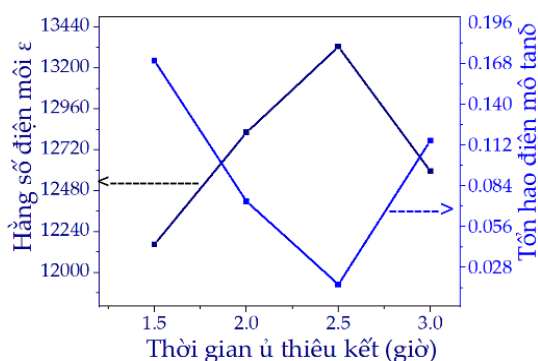
Hình 11. Hình ảnh của biến tử sau khi phủ cực.

Hằng số điện môi và tổn hao điện môi trung bình của các mẫu theo nhiệt độ phòng được chúng tôi tính toán như ở bảng 3.

Bảng 3. Hằng số điện môi và tổn hao điện môi trung bình tại nhiệt độ phòng của các mẫu theo thời gian ủ thiêu kết M1, M2, M3 và M4.

Mẫu	M1	M2	M3	M4
Hằng số điện môi ϵ	12166	12822	13325	12595
Tổn hao điện môi $\tan\delta$	0,17003	0,07336	0,01631	0,11511

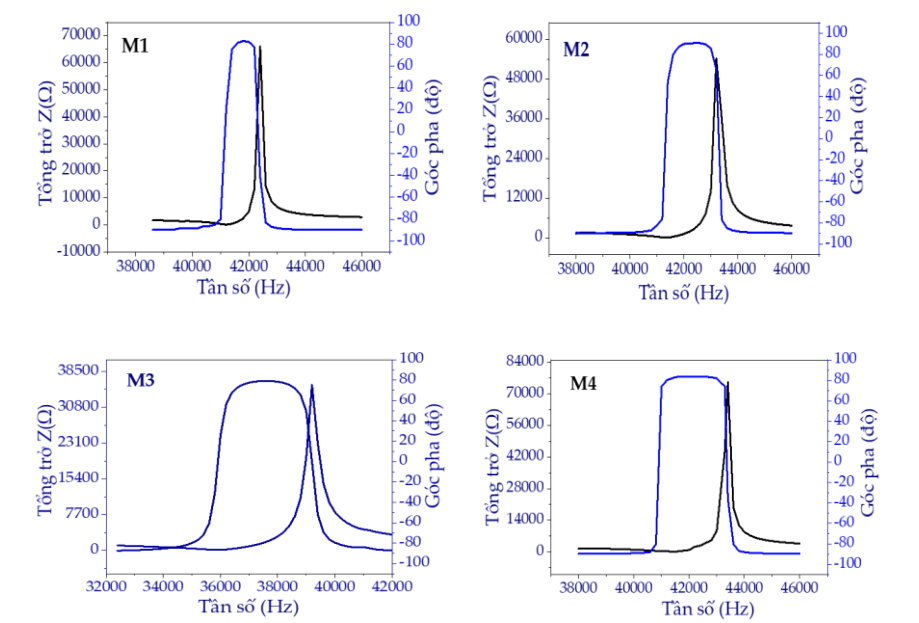
Trên cơ sở các số liệu thu được, chúng tôi vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hằng số điện môi và tổn hao điện môi của các mẫu M1, M2, M3 và M4 theo các thời gian ủ thiêu kết khác nhau như hình 12.



Hình 12. Sự phụ thuộc của hằng số điện môi và tổn hao điện môi theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4.

Hình 12 cho thấy, khi tăng thời gian ủ thiêu kết thì hằng số điện môi tại nhiệt độ phòng tăng dần trong khi đó tổn hao điện môi giảm dần, tại thời gian ủ thiêu kết 2,5 giờ, hằng số điện môi đạt giá trị lớn nhất 13325 và tổn hao điện môi đạt giá trị nhỏ nhất 0,01631. Khi tiếp tục tăng thời gian ủ thiêu kết thì hằng số điện môi giảm dần và tổn hao điện môi tăng dần. Như vậy có thể giải thích theo hiệu ứng kích thước hạt và phù hợp với ảnh SEM của các mẫu biến tử theo thời gian ủ thiêu kết [11].

Để xác định tính chất áp điện của các mẫu gốm M1, M2, M3 và M4, chúng tôi tiến hành khảo sát phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính biểu diễn sự phụ thuộc của tổng trở Z và góc pha θ vào tần số đo của các mẫu thiêu kết ở 1150°C và ủ trong 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ, và 3 giờ như hình 13.



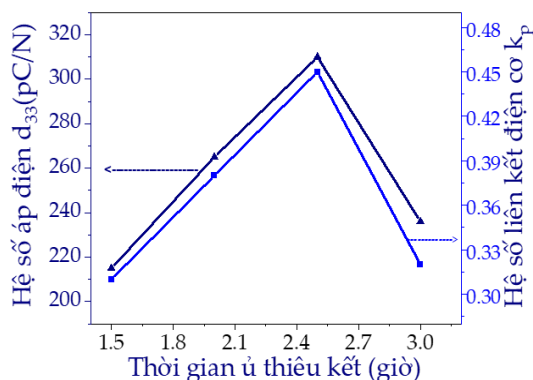
Hình 13. Phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính của các mẫu gốm theo thời gian ủ thiêu kết M1, M2, M3 và M4.

Từ phổ cộng hưởng dao động theo phương bán kính ở hình 13, chúng tôi xác định được tần số cộng hưởng và tần số phản cộng hưởng từ đó tính toán hệ số liên kết điện cơ k_p , hệ số áp điện d_{33} của các mẫu và được tổng hợp như ở bảng 4.

Bảng 4. Tần số cộng hưởng, phản cộng hưởng, hệ số liên kết điện cơ k_p và hệ số áp điện d_{33} theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu gốm M1, M2, M3 và M4.

Mẫu	Tần số cộng hưởng $f_r(\text{Hz})$	Tần số phản cộng hưởng $f_a(\text{Hz})$	Hệ số liên kết điện cơ k_p	Hệ số áp điện $d_{33}(\text{pC/N})$
M1	3290	3419	0,31	215
M2	3490	3710	0,38	265
M3	3590	3920	0,45	310
M4	3290	3430	0,32	236

Trên cơ sở số liệu ở bảng 4, chúng tôi vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hệ số liên kết điện cơ k_p và hệ số áp điện d_{33} theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4 như ở hình 14.



Hình 14. Sự phụ thuộc của hệ số liên kết điện cơ k_p và hệ số áp điện d_{33} theo thời gian ủ thiêu kết của các mẫu M1, M2, M3 và M4.

Hình 14 cho thấy rằng, khi tăng dần thời gian ủ thiêu kết, hệ số liên kết điện cơ k_p và hệ số áp điện d_{33} tăng dần, tại mẫu M3 ứng với nhiệt độ nung ở 1150°C và ủ trong thời gian 2,5 giờ, mẫu có các giá trị tối ưu nhất với hệ số liên kết điện cơ k_p là 0,45 và hệ số áp điện d_{33} là 310 pC/N. Khi tiếp tục tăng thời gian ủ lên 3 giờ thì hệ số liên kết điện cơ k_p và hệ số áp điện d_{33} giảm dần theo thời gian ủ thiêu kết. Từ các kết quả trên có thể kết luận rằng, 2,5 giờ là thời gian ủ thiêu kết tối ưu cho biến tử hình xuyên có đường kính ngoài 41,5 mm, đường kính trong 15,6 mm và bề dày 5,5 mm. Điều này có thể giải thích rằng, thời gian thiêu kết quá dài dẫn đến sự bay hơi quá mức của chì, do đó hình thành các lỗ hổng trong cấu trúc làm giảm mật độ gốm và tính chất áp điện của gốm.

4. KẾT LUẬN

Biến tử áp điện hình xuyên trên nền gốm PZT đã được chế tạo thành công bằng phương pháp gốm truyền thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy chế độ thiêu kết có ảnh hưởng rõ rệt đến cấu trúc, vi cấu trúc và các tính chất điện của biến tử. Chế độ thiêu kết tối ưu được xác định ở 1150°C trong thời gian ủ 2,5 giờ, tại đó gốm đạt tỷ trọng 7,75 g/cm³, hằng số điện môi 13325, tổn hao điện môi 0,01631, tần số cộng hưởng 3590 Hz, phản cộng hưởng 3920 Hz, hệ số liên kết điện cơ k_p = 0,45 và hệ số áp điện d_{33} = 310 pC/N. Những kết quả thu được góp phần hoàn thiện quy trình chế tạo biến tử áp điện hình xuyên trên nền gốm PZT và là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về thiết kế, chế tạo và ứng dụng các biến tử áp điện công suất có kích thước lớn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài Khoa học và công nghệ cấp cơ sở mã số ĐHKH2026A - 002.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trương, V. C., Đỗ, P. A., Lê, Q. T. D., Đặng, A. T., Đỗ, V. O., Nguyễn, T. Q. L., Lê, T. D., & Ngô, N. T. (2015). *Nghiên cứu chế tạo các vật liệu áp điện mềm dùng trong biến tử thủy âm*. In Kỷ yếu Hội nghị Vật lý Chất rắn và Khoa học Vật liệu Toàn quốc lần thứ 9 (SPMS-2015) (pp. 322–327).
- [2] Lê, T. D., Trần, T. P., Đinh, T. T. T., Võ, V. B., Mai, T. T. T., Trần, T. T., & Trương, V. C. (2016). *Nghiên cứu chế tạo gốm áp điện dùng trong đầu dò của máy dò cá, đo độ sâu*. In Kỷ yếu Hội nghị Vật lý Thừa Thiên Huế 2016 (Paper No. NC/96-2016).
- [3] Đỗ, V. O., Dũng, T. H. T., Trương, V. C., Lê, T. U. T., Lê, P. Đ., & Võ, T. T. (2023). *Nghiên cứu, chế tạo hệ gốm áp điện mềm ứng dụng trong các đầu dò thủy âm*. In Proceedings of the 8th International Conference on Applied and Engineering Physics (ICAEP-8), Ben Cat, Binh Duong, Vietnam. ISBN 978-604-357-246-9.
- [4] Jaffe, B., Roth, R. S., & Marzullo, S. (1954). *Piezoelectric properties of lead zirconate–lead titanate solid-solution ceramics*. Journal of Applied Physics, 25(6), 809–810.
- [5] K.V. Kochunov, G.A. Konoplev, N.D. Mukhin and D.A. Chigirev (2019). *Investigation of photoelectric properties of CuO / PZT heterostructures in the visible and near IR regions*. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1400, Issue 6, 1742, doi 10.1088/1742- 596/1400/6/066054.
- [6] S. Y. Zhao, J. J. Bian, (2023). *Effects of Li_2CO_3 –CuO addition on the sintering behavior, dielectric and piezoelectric properties of PZT ceramics*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics.
- [7] Dao Anh Quang, Le Dai Vuong (2022). *Enhanced piezoelectric properties of Fe_2O_3 and Li_2CO_3 co-doped $\text{Pb}[(\text{Zr}_{0.48}\text{Ti}_{0.52})_{0.8}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.125}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.075}]\text{O}_3$ ceramics for ultrasound transducer applications*. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, Volume 7, Issue 2, 100436
- [8] Cheng, S. Y., Fu, S. L., & Wei, C. C. (1987). *Low temperature sintering of PZT ceramics*. Ceramics International, 13(4), 223–231.
- [9] A. Boutarfaia, C. Boudaren, A. Mousser & S. E. Bouaoud (1995). *“Study of Phase Transition Line of PZT Ceramics by X-Ray Diffraction”*. Ceramics International 21, 391-394.
- [10] Wei Peng, Bin Wang, Jianglei Chang, Zhen Liu, Genshui Wang, Shuxiang Dong (2024). *“Giant piezoelectricity of PNN-PIN-PT ceramics via domain engineering”*. Journal of the European Ceramic Society. [https:// doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.03.009)
- [11] C.H. Wang, S.J. Chang, P.C. Chang (2004). *“Effect of sintering conditions on characteristics of PbTiO_3 – PbZrO_3 – $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ – $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ”*. Materials Science and Engineering B 111, 124–130.

THE EFFECT OF THE SINTERING REGIME ON THE PIEZOELECTRIC PROPERTIES OF RING-SHAED TRANSDUCERS ON PZT CERAMIC – BASED

Tran Thanh Van*, Dung Thi Hoai Trang, Le Thi Lien Phuong,
Le Tran Uyen Tu, Vo Thanh Tung

Faculty of Electronics, Electrical Engineering and Material Technology,
University of Sciences, Hue University

* Email: tranthanhvan@husc.edu.vn

ABSTRACT

PZT-based piezoelectric ceramics exhibit outstanding piezoelectric and dielectric properties, making them widely suitable for ultrasonic transmitting and receiving transducers. This paper presents the fabrication process of a ring-shaped transducer based on PZT ceramics and investigates the effects of sintering temperature and sintering dwell time on its material properties. A ring-shaped transducer with an outer diameter of 41.5 mm, an inner diameter of 15.6 mm, and a thickness of 5.5 mm was successfully fabricated using conventional ceramic processing. The experimental results indicate that, under the optimum sintering condition of 1150°C with a dwell time of 2.5 h, the ceramic achieved a bulk density of 7.75 g/cm³ and an average grain size from 1.855 μm to 2.809 μm . At room temperature, the dielectric constant and dielectric loss were 13,325 and 0.01631, respectively. The electromechanical coupling coefficient k_p reached 0.45, while the piezoelectric charge coefficient d_{33} was approximately 310 pC/N. These findings provide a basis for optimizing the fabrication process of PZT-based ring transducers and contribute to their application in ultrasonic and underwater acoustic devices.

Keywords: Piezoelectricity; ring-shaped transducer; sintering temperature; PZT.