



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

30.	KHAO SÁT ĐẶC TÍNH TỬ CỨNG CỦA CÁC HỢP KIM ENTROPY CAO $\text{AlNiTiCuCo}_{35,6-1}\text{Fe}_{28,8-1}$	115
	Nguyễn Xuân Trường, Vương Khả Anh, Vương Thị Kim Oanh, Nguyễn Văn Đóa, Trần Bảo Trung, Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Văn Vương	
31.	NGHIÊN CỨU, CHẾ TẠO BIẾN THỂ XUNG SỬ DỤNG BẰNG VÔ ĐỊNH HÌNH TỬ MỀM	119
	Ngô Đức Minh, Phạm Văn Thành, Nguyễn Hoàng Linh, Phạm Thanh Phong, Nguyễn Đăng Vương, Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Nguyễn Ngọc Đình	
32.	TỔNG HỢP HẠT NANO TiO_2 BẰNG PHƯƠNG PHÁP SOL-GEL VÀ ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG SỬ DỤNG TRONG KEM CHỐNG NẮNG	123
	Dương Ngọc Linh, Đỗ Đức Thọ, Lưu Thị Lan Anh, Phạm Văn Thắng, Nguyễn Hữu Lâm	
33.	CHẾ TẠO HẠT NANO CoFe_2O_4 ỨNG DỤNG HẤP PHỤ KHÍ ĐỘC VÔ CƠ	127
	Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Khắc Mẫn, Nguyễn Văn An, Nguyễn Thành Vinh, Trần Văn Đáng, Bùi Thị Hằng, Nguyễn Thị Lan, Nguyễn Văn Quy	
34.	NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU $\text{SrFe}_{11,3}\text{Ni}_{0,2}\text{O}_{19}$	131
	Trần Thị Việt Nga, Nguyễn Vũ Minh Sơn, Tống Minh Thắng, Trần Vũ Diễm Ngọc, Trần Quang Đạt, Nguyễn Tuấn Linh, Đỗ Thị Hồng, Nguyễn Văn Duy	
35.	NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU $\text{ZnO/NiFe}_2\text{O}_4$	135
	Trần Thị Việt Nga, Tống Minh Thắng, Đinh Thị Tho, Tô Thanh Loan, Nguyễn Anh Đức	
36.	ẢNH HƯỞNG CỦA TẠP CuO ĐẾN TÍNH CHẤT ĐIỆN CỦA GỐM KHÔNG CHỈ TRÊN CƠ SỞ KNN	139
	Lê Trần Uyên Tú, Vũ Thị Thu Thương, Trần Thành Văn, Lê Thị Liên Phương, Dụng Thị Hoài Trang, Võ Thanh Tùng	
37.	STABILITY AND SELECTIVITY OF PART-PER-BILLION LEVEL NO_2 GAS SENSOR BASED ON SnO_2 NANOWIRES	143
	Tran Nguyen Anh Quan, Nguyen Duc Hoa, Nguyen Van Duy, Nguyen Phu Hung, Nguyen Duc Chinh	
38.	TÍNH CHẤT TỬ VÀ TỬ NHIỆT CỦA $\text{La}_{0,7}\text{Ca}_{0,3}\text{MnO}_3$ PHA TẠP Sn	147
	Kim T. H. Mỹ, Nguyễn Minh Hiếu, Trần Đăng Thành, Đỗ Hùng Mạnh, Đinh Thanh Khán, Đặng Ngọc Toàn, Phan Thế Long	
39.	NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO KEM TAN NHIỆT NỀN SILICON CHỨA VẬT LIỆU LAI h- BN/Au	151
	Mai Thị Phương, Đỗ Tuấn, Nguyễn Văn Tú, Trần Văn Hậu, Nguyễn Thị Văn Anh, Nguyễn Thị Huyền, Nguyễn Thanh Hà, Lê Hồng Duyên, Phạm Văn Trinh, Hoàng Anh Sơn, Phan Ngọc Minh, Bùi Hùng Thắng	

ẢNH HƯỞNG CỦA TẠP CuO ĐẾN TÍNH CHẤT ĐIỆN CỦA GỐM KHÔNG CHÌ TRÊN CƠ SỞ KNN

Lê Trần Uyên Tú^{1,*}, Vũ Thị Thu Thương^{1,2}, Trần Thành Văn¹, Lê Thị Liên Phương¹,
Dương Thị Hoài Trang¹, Võ Thanh Tùng¹

¹Khoa Điện, Điện tử & Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học Huế, Đại học Huế,
Số 77 Nguyễn Huệ, Phường Thuận Hóa, Thành phố Huế

²Trường THPT Nguyễn Bình Khiêm, huyện Chư Sê, Tỉnh Gia Lai

*Email: tulettranuyen@hucuni.edu.vn

Tóm tắt:

Gốm $(K_{0.41}Na_{0.59})(Nb_{0.94}Sb_{0.06})O_3 + x\%kl\ CuO$ (KNNS + x Cu, $0 \leq x \leq 0,1$) được chế tạo bằng phương pháp truyền thống có cải tiến. Sự ảnh hưởng của CuO đến nhiệt độ thiêu kết, cấu trúc pha, hình thái bề mặt và tính chất áp điện của gốm $(K_{0.41}Na_{0.59})(Nb_{0.94}Sb_{0.06})O_3$ (KNNS) đã được nghiên cứu chi tiết. Kết quả thực nghiệm cho thấy việc pha tạp CuO đã cải thiện vi cấu trúc của gốm KNNS, đồng thời tạp CuO đã làm "cứng hoá" hệ vật liệu nền thông qua việc giảm tổn hao điện môi ($\tan\delta$) và tăng cường đáng kể hệ số phẩm chất cơ học (Q_m). Ngoài ra, việc pha tạp CuO đã cải thiện tính chất áp điện ở nhiệt độ thiêu kết thấp. Gốm KNNS đạt được các tính chất điện khá tốt với $k_p = 0,32$, $k_t = 0,34$, $e_{31} = 978$, $\tan\delta = 0,023$, $P_r = 15\ \mu C/cm^2$ và $E_c = 4,50\ kV/cm$ ở nhiệt độ thiêu kết là $1050\ ^\circ C$ và hàm lượng CuO là $0,075\ \%kl$, cho thấy gốm KNNS là ứng cử viên đầy hứa hẹn cho các ứng dụng siêu âm.

Từ khóa: Vật liệu không chì, KNN, tạp CuO

GIỚI THIỆU

Hiện nay, các hợp gốm không chì trên nền $(Na,K)NbO_3$ (KNN), $Bi_{0.5}(Na_{0.5}K_{0.5})TiO_3$ (BKNT) và $BaTiO_3$ [1-3] được biết đến là các nhóm vật liệu thân thiện với môi trường đầy triển vọng. Trong đó, gốm trên nền KNN đã thu hút sự quan tâm đáng kể của các nhà khoa học và là một trong những vật liệu gốm được nghiên cứu nhiều nhất do các tính chất cơ điện đầy hứa hẹn của chúng, như nhiệt độ Curie cao ($T_C > 420\ ^\circ C$), hệ số liên kết cơ điện cao ($k_p > 0,4$), hằng số áp điện cao ($d_{31} > 200\ pC/N$) [1, 4, 6].

Tuy nhiên, những khó khăn trong quá trình tổng hợp gốm trên nền KNN liên quan chặt chẽ đến tính dễ bay hơi của các ion natri và kali trong quá trình thiêu kết ở nhiệt độ cao, khiến gốm chế tạo được khó tạo đồng nhất thực và có đặc trưng điện không như mong đợi [5]. Do đó, việc nghiên cứu giải pháp làm giảm sự bay hơi của kim loại kiềm trong quá trình thiêu kết đóng vai trò quan trọng, ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng của gốm đã chế tạo. Một trong những phương pháp đơn giản để giảm nhiệt độ thiêu kết là sử dụng các tạp có điểm nóng chảy thấp, chẳng hạn như ZnO, CuO, LiF, BiFeO₃, và Bi₂O₃ [8, 9], hoặc kết hợp các tạp chất với một thành phần khác của gốm nền KNN để tạo thành pha lỏng tại điểm eutectic, chẳng hạn như CuO-Pb và ZnO-Nb. Việc sử dụng các chất hỗ trợ thiêu kết

này làm giảm đáng kể nhiệt độ thiêu kết, cải thiện mật độ sắp xếp hạt và cấu trúc vi mô của vật liệu thông qua sự hình thành pha lỏng trong quá trình thiêu kết làm tăng tính chất điện của gốm. Hơn nữa, các nghiên cứu gần đây cho thấy tạp CuO không những có thể làm giảm nhiệt độ thiêu kết của gốm trên cơ sở KNN mà còn tác động đến sự chuyển pha cấu trúc của vật liệu nền, dẫn đến sự điều chỉnh đồng thời nhiệt độ chuyển pha T_{R-O} và T_{O-T} về nhiệt độ phòng hình thành vùng biến pha tứ giác - mặt thoi (R-T) và tăng cường các tính chất điện của gốm trên nền KNN [10, 11]. Nhóm tác giả Wang và cộng sự đã công bố việc pha tạp $0,45\ mol\% CuO$ vào gốm $0,95Na_{0.5}K_{0.5}NbO_3-0,05LiSbO_3$ có thể đạt được mật độ tương đối cao $98,53\ \%$ ở nhiệt độ thiêu kết thấp $1060\ ^\circ C$, với tính áp điện nổi trội với $d_{31} = 175\ pC/N$, $k_p = 0,46$ và hệ số phẩm chất cơ học ($Q_m = 41$) [11].

Do đó, ở báo cáo này chúng tôi tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tạp CuO đến nhiệt độ thiêu kết và sự cải thiện tính chất điện hệ gốm không chì $(K_{0.41}Na_{0.59})(Nb_{0.94}Sb_{0.06})O_3$ (KNNS).

THỰC NGHIỆM

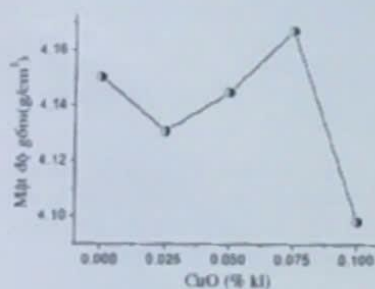
Gốm $(K_{0.41}Na_{0.59})(Nb_{0.94}Sb_{0.06})O_3 + x\%kl\ CuO$ (KNNS + x Cu, $x = 0,0, 0,025, 0,05, 0,075$ và $0,1$) được tổng hợp bằng phương pháp truyền thống. Nguyên liệu ban đầu bao gồm K_2CO_3 , Na_2CO_3 , Sb_2O_3 và Nb_2O_5 , với độ tinh khiết $\geq 99\ \%$, được

nghiên trộn trong 20 giờ bằng máy nghiền hành tinh với bi ZrO_2 trong etanol và nung sơ bộ ở nhiệt độ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 3 giờ. Sau đó, tạp CuO với các tỉ lệ khối lượng (0, 0,025, 0,05, 0,075 và 0,1 %) lần lượt được thêm vào hỗn hợp thu được, tiếp tục nghiền trộn lần hai trong 20 giờ và ép với áp lực $1,5\text{ T/cm}^2$ thành các mẫu dạng đĩa dày 1,5 mm và đường kính 12 mm. Các mẫu sau khi ép định hình được thiêu kết với tốc độ gia nhiệt $5\text{ }^{\circ}\text{C/phút}$ đến nhiệt độ $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, lưu trong 4 giờ sau đó được làm nguội trong lò.

Cấu trúc tinh thể và hình thái bề mặt của các mẫu được kiểm tra bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD, D8 ADVANCE) và kính hiển vi điện tử quét (SEM, Hitachi S-4800). Mật độ của các mẫu được đo bằng phương pháp Archimedes. Tiếp theo, các mẫu gốm được phủ điện cực bạc trên hai bề mặt và nung ở $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 15 phút để đo tính chất điện môi bằng máy đo trở kháng RLC (HIOKI 3532). Các tính chất điện của gốm được kiểm tra bằng phương pháp Sawyer-Tower. Các mẫu sau đó được phân cực trong dầu silicon ở $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ với điện trường áp đặt 35 kV/cm trong 25 phút để đo các tính chất áp điện của chúng.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

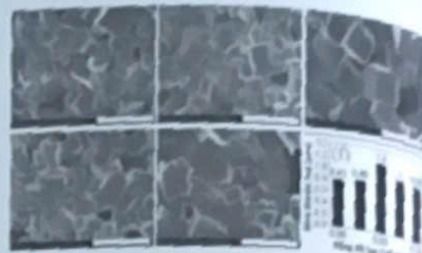
Kết quả tính mật độ gốm của các mẫu gốm KNNS + x Cu, x = 0,0; 0,025; 0,05; 0,075 và 0,1 được trình bày ở Hình 1. Kết quả ở Hình 1 cho thấy, tương ứng với nồng độ x của Cu tăng mật độ gốm của KNNS + x Cu thay đổi và đạt giá trị cực đại ($4,17\text{ g/cm}^3$) tại nồng độ x = 0,07 mol, sau đó giảm mạnh. Như vậy, có thể nhận định rằng tạp Cu đã ảnh hưởng đến mật độ gốm của vật liệu KNNS. Với x = 0,075 mol, gốm có mật độ lớn nhất.



Hình 1: Mật độ gốm KNNS + x Cu sau khi thiêu kết

Sự gia tăng mật độ gốm có thể do gốm được kết tinh tốt với kích thước hạt đồng đều và xếp chặt cùng với sự co ngót vì nhiệt trong quá trình thiêu kết. Kết quả này phù hợp với công bố của López-

Juárez và cộng sự [5]. Hơn nữa, Zhang và cộng sự đã cho rằng sự tồn tại pha lỏng tại điểm eutectic của Cu-Nb ở $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ có thể là điều kiện thuận lợi để gốm hình thành có hệ số xếp chặt cao và mật độ gốm lớn trong quá trình thiêu kết [6]. Kết quả và cấu trúc của gốm được biểu diễn ở Hình 2.



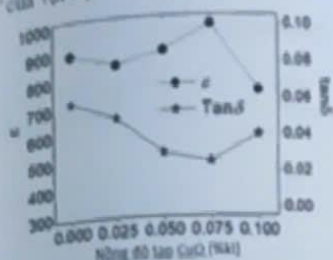
Hình 2: Ảnh SEM và phân bố kích thước hạt của gốm KNNS + x Cu ở các giá trị x khác nhau: (a) 0,0, (b) 0,025, (c) 0,05, (d) 0,075, và (e) 0,10 và (f) kích thước hạt

Cấu trúc vi mô và hình thái bề mặt của gốm KNNS + x Cu (x = 0,0; 0,025; 0,05; 0,075 và 0,1) được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), thể hiện trong Hình 2. Kết quả cho thấy kích thước hạt tăng và độ xốp giảm khi hàm lượng CuO tăng. Ở mẫu x = 0,075 (Hình 2d), các hạt gốm liên kết chặt chẽ, hầu như không xuất hiện lỗ rỗng, chứng tỏ vai trò của CuO như một chất hỗ trợ thiêu kết hiệu quả. Theo Hình 2f, kích thước hạt trung bình của gốm dao động trong khoảng $0,81\text{--}1,2\text{ }\mu\text{m}$, với phân bố hạt tập trung chủ yếu tại đỉnh của đường cong Gauss (Hình 2a–e). Khảo sát kích thước hạt cho thấy gốm chế tạo bằng phương pháp thiêu kết truyền thống đạt kích thước hạt nhỏ, phân bố đồng đều và mật độ cao. Mẫu KNNS + 0,075 kl% CuO thiêu kết ở $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ có kích thước hạt lớn nhất ($1,2\text{ }\mu\text{m}$) và mật độ $4,66\text{ g/cm}^3$ được dự đoán sẽ hữu tính chất điện ưu việt.

Sự cải thiện cấu trúc vi mô của gốm có thể được giải thích dựa trên cơ chế tác động của chất hỗ trợ thiêu kết CuO. Kết quả này khẳng định CuO đã ưu hóa quá trình thiêu kết và cấu trúc vi mô, qua đó nâng cao mật độ của mẫu gốm, phù hợp với nhận định của Liu và cộng sự [7].

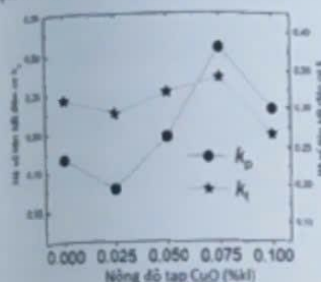
Sự phụ thuộc của hằng số điện môi (ϵ) và hệ số áp điện của gốm KNNS + x Cu (x = 0,0; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1) được minh họa trong Hình 3. Kết quả cho thấy, khi hàm lượng CuO tăng từ 0,0 đến 0,075, giá trị tanô giảm dần và đạt cực tiểu 0,01 tại x = 0,075, sau đó tăng trở lại khi x vượt quá giá trị này. Sự suy giảm của tanô ở giai đoạn đầu, được cho là liên quan đến hiệu ứng “làm cứng” của tạp

Cu thể, sự tương đồng về bán kính ion giữa Cu^{2+} và các ion ở vị trí B (Nb^{5+} , Sb^{5+} hay Sb^{3+}) trong mạng tinh thể tạo điều kiện hình thành các lỗ khuyết oxy nhằm trung hòa điện tích, từ đó tăng cường mức độ "cứng" của vật liệu và giảm tổn hao điện môi.



Hình 3: Hằng số điện môi ϵ và tổn hao điện môi của gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$ ở các giá trị x khác nhau

Đôi với hằng số điện môi ϵ , giá trị ban đầu giảm nhẹ tại $x = 0,023$, sau đó tăng và đạt cực đại (~ 978) ở $x = 0,075$ trước khi giảm trở lại khi hàm lượng CuO tiếp tục tăng. Hiện tượng này có thể được giải thích bởi giới hạn hòa tan của ion Cu^{2+} trong nền KNNS; cụ thể, tại nồng độ 0,075 %kl CuO, vật liệu đạt mật độ tối ưu với cấu trúc vi mô dày đặc, từ đó biểu hiện tính chất điện môi vượt trội.

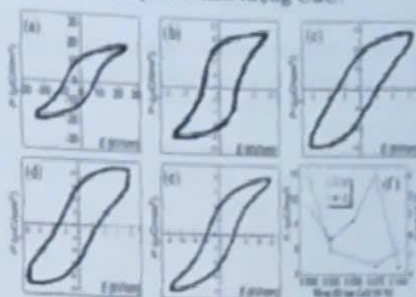


Hình 4: Hệ số liên kết điện cơ k_p và k_t của gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$ ở các giá trị x khác nhau

Các thông số áp điện của gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$ với ($x = 0,0; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1$) được thể hiện trong Hình 4 cho thấy, việc pha tạp CuO đã cải thiện đáng kể hệ số liên kết điện cơ k_p và k_t . Ở hàm lượng CuO thấp (0,025 %kl), giá trị k_p giảm nhẹ xuống 0,13 so với mẫu không pha tạp, do hiệu quả của chất hỗ trợ thiếu kết CuO chưa được phát huy, dẫn đến mật độ gốm thấp và hệ số liên kết điện cơ hạn chế. Khi hàm lượng CuO vượt quá 0,025 %kl, k_p và k_t tăng nhanh, đạt giá trị cực đại lần lượt 0,32 và 0,34 tại $x = 0,075$, trước khi giảm trở lại. Sự cải thiện này được cho là nhờ hiệu ứng phát triển kích thước hạt, giúp tăng hiệu suất phân cực do chuyển đổi miền dễ dàng [8, 9]. Ngoài ra, quá trình pha tạp CuO còn ảnh hưởng đến sự chuyển pha cấu trúc của gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$, điều chỉnh nhiệt độ chuyển

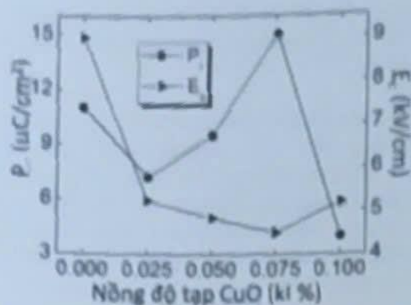
pha T_{0-1} qua đó tối ưu hóa hiệu suất phân cực ở nhiệt độ này để cải thiện các tính chất áp điện của chúng [10, 11].

Các đường trễ sắt điện của gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$ ($x = 0,0; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1$) được đo tại tần số 1 kHz và nhiệt độ phòng nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc pha tạp CuO đến tính chất sắt điện (Hình 5). Kết quả cho thấy tất cả các mẫu đều có đặc trưng sắt điện điển hình, trong đó mức độ bão hòa trễ phụ thuộc rõ rệt vào hàm lượng CuO.



Hình 5. (a-e) Các đường trễ P-E của các mẫu $\text{KNNS} + x\text{Cu}$

Dựa vào các chu trình đường trễ thu được như ở Hình 5, sự phụ thuộc của điện trường kháng và phân cực dư của các mẫu gốm $\text{KNNS} + x\text{Cu}$ vào nồng độ tạp lần lượt được xác định và biểu diễn ở Hình 6. Mẫu $\text{KNNS} + 0,025\text{Cu}$ cho thấy độ bão hòa trễ kém, với độ phân cực dư (P_r) thấp hơn ($1 \mu\text{C}/\text{cm}^2$) và trường kháng từ (E_c) cao hơn 9 kV/cm so với mẫu $\text{KNNS} + 0,0\text{Cu}$. Khi hàm lượng CuO vượt quá 0,025 %kl, giá trị P_r tăng nhanh, đạt cực đại $15,0 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ tại $x = 0,075$ trước khi giảm trở lại (Hình 5f). Trong khi đó, giá trị điện trường kháng E_c của hệ gốm có xu hướng giảm đáng kể khi đưa tạp CuO vào hệ nền KNNS. Điện trường kháng đạt giá trị cực tiểu là $E_c = 4,50 \text{ kV}/\text{cm}$ ứng với hàm lượng CuO 0,075 %kl sau đó tăng nhẹ cùng xu hướng gia tăng nồng độ tạp (Hình 5f). Đây cũng chính là cơ sở làm gia tăng đặc trưng điện cho hệ vật liệu $\text{KNNS} + x\text{Cu}$; rằng là khi điện trường kháng càng giảm tức là độ linh động của các domain càng tăng, chúng dễ dàng được định hướng lại bởi điện trường ngoài làm tăng cường các thông số áp điện của vật liệu. Xu hướng biến thiên của các thông số sắt điện phù hợp với sự thay đổi của các tính chất điện môi và áp điện, cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa các cơ chế này. Sự gia tăng P_r được lý giải bởi sự cải thiện mật độ và vi cấu trúc của gốm nhờ tác dụng hỗ trợ thiếu kết của CuO, từ đó tăng hiệu suất phân cực do sự quay của các domain trở nên dễ dàng hơn.



Hình 6. Phân cực dư P_r và điện trường kháng E_c của gốm KNNS+ x Cu ở các giá trị x khác nhau

Từ các kết quả ở trên có thể kết luận rằng tạp CuO bên cạnh việc đóng vai trò là chất hỗ trợ giảm nhiệt độ thiêu kết còn có khả năng làm cứng hoá vật liệu, cải thiện các đặc trưng điện của hệ gốm KNNS; mở ra cơ hội phát triển hệ vật liệu không chỉ trên nền KNN tiếp cận định hướng ứng dụng trong lĩnh vực siêu âm.

KẾT LUẬN

Gốm KNNS + xCu ($x = 0,0-0,1$) đã được chế tạo thành công bằng phương pháp phản ứng pha rắn truyền thống. Nghiên cứu đã phân tích chi tiết ảnh hưởng của CuO đến quá trình thiêu kết, hình thái bề mặt và các đặc trưng điện của vật liệu. Kết quả cho thấy, việc sử dụng CuO như một chất trợ thiêu kết có tác dụng rõ rệt trong việc nâng cao tính chất điện của gốm KNNS, qua đó mở rộng tiềm năng ứng dụng cho các thiết bị áp điện. Ở điều kiện thiêu kết 1050°C và hàm lượng CuO 0,075 %kl, gốm KNNS đạt được các tính chất điện tổng thể tối ưu với $k_p = 0,32$, $k_t = 0,34$, $\epsilon = 978$, $\tan\delta = 0,023$, $P_r = 15,0 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ và $E_c = 4,50 \text{ kV}/\text{cm}$, điều này cho thấy mẫu gốm KNNS + 0,075 Cu là một ứng cử viên cho các ứng dụng điện.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin chân thành cảm ơn 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. Y. Cheng, S. Guan, Q. Wang, X. Wu, J. Jiang, Z. Tan, J. Zhu, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 6978–6986 (2024).
2. P.D. Gio, L.D. Vuong, L.T.U. Tu, *J. Mater. Mater. Electron*, 32, 13738–13747 (2021).
3. D.A. Tuan, V.T. Tung, L.D. Vuong, N.H. Vuong, L.T.U. Tu, *J. Electron. Mater.*, 47, 6297–6300 (2018).
4. A. Iacomini, S. Garroni, G. Mulas, S. Enni, L. Cappai, M. Mureddu, C. Cau, A. Garcia, L. Pardo, *Open. Ceram*, 9, 100247 (2022).
5. R. López-Juárez, F. González-García, M.J. Villafuerte-Castrejón, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron*, 27, 7369–7373 (2016).
6. L. Zhang, E. Martinez, A. Caro, X.-Y. Liu, M.J. Demkowicz, *Modell. Simul. Mater. Sci. Eng.*, 3, 025005 (2013).
7. C. Liu, D.-Q. Xiao, J.-G. Wu, Z. Wang, F.-X. Li, T. Huang, J.-G. Zhu, *Ferroelectrics*, 458, 75–80 (2014).
8. D.A. Quang, L.D. Vuong, *J. Science: Adv. Mater. Devices*, 7, 100436 (2022).
9. P.D. Gio, H.T.T. Hoa, *J. Mater. Sci. Chem. Eng.*, 2, 20 (2014).
10. S.-J. Park, H.-Y. Park, K.-H. Cho, S. Nahm, H.-G. Lee, D.-H. Kim, B.-H. Choi, *Mater. Res. Bull.*, 45, 3580–3586 (2008).
11. H. Wang, X. Zhai, J. Xu, C. Yuan, C. Zhao, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron*, 24, 2469–2472 (2013).

**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