

## CẢI TIẾN CÔNG NGHỆ VÀ NGHIÊN CỨU MỘT TÍNH CHẤT VẬT LÝ CỦA HỆ GỐM BNKT ĐỒNG PHA TẠP ZnO VÀ SnO<sub>2</sub>

Mai Kim Ngọc<sup>1,2</sup>, Nguyễn Ngọc Thanh<sup>1,3</sup>, Nguyễn Trường Thọ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

<sup>2</sup> Trường THPT Phan Bội Châu, Pleiku, Gia Lai

<sup>3</sup> Trường THPT Chu Văn An, Krông Pa, Gia Lai

\*Email: ntthokh@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/10/2019; ngày hoàn thành phản biện: 4/10/2019; ngày duyệt đăng: 20/12/2019

### TÓM TẮT

Hệ gốm Bi<sub>0,5</sub>(Na<sub>0,8</sub>K<sub>0,2</sub>)<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> – xZnSnO<sub>3</sub> (BNKT– xZS) là hệ gốm không chì có cấu trúc perovskite được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn thuyề thống. Cấu trúc hình thái học của BNKT– ZS được quan sát thông qua ảnh SEM với các biên hạt kết dính nhau với mật độ xếp chặt cao. Ảnh hưởng của pha tạp ZnSnO<sub>3</sub> lên tính chất điện của hệ gốm cũng được khảo sát. So với BKNT không pha tạp, tính chất hệ gốm được cải thiện tại cùng nhiệt độ thiêu kết là 1050°C. Với nồng độ ZnSnO<sub>3</sub> tối ưu là 0,75% mol và nhiệt độ thiêu kết tại 1050°C tính chất điện của hệ gốm là tốt nhất: mật độ gốm 6,0g/cm<sup>3</sup>, hệ số liên kết điện cơ  $k_p = 0,23$ , hằng số điện môi  $\epsilon_r = 1059$ , nhiệt độ thiêu kết giảm 100°C so với BNKT không pha tạp thiêu kết tại 1150°C

**Từ khóa:** Hệ gốm không chì, áp điện, sự phân cực.

### 1. MỞ ĐẦU

Vật liệu áp điện không chì đang được nghiên cứu rộng rãi nhằm thay thế vật liệu áp điện Pb(Zr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>)O<sub>3</sub> (PZT) và ứng dụng các bộ nhớ tích hợp, siêu âm và cảm biến,... Tuy nhiên tính chất vật lý của các gốm áp điện không chì vẫn chưa thể bằng hệ gốm PZT với nhiệt độ chuyển pha Curie cao ( $T_C \approx 193^\circ\text{C}$ ), độ phân cực dư khá lớn ( $P_r \approx 20\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ) dưới dạng đường trễ sắt điện  $P$ – $E$  bão hòa, hệ số áp điện tốt ( $d_{33} \approx 590\text{ pC}/\text{N}$ ) và hệ số liên kết điện cơ bề mặt lớn ( $k_p \approx 0,63$ ) [1,2] Do đó, việc lựa chọn thành phần và cải tiến công nghệ chế tạo vẫn là các giải pháp chính để nâng cao tính chất vật lý của các gốm không chì.

Sodium bismuth titanate Na<sub>0,5</sub>Bi<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> (NBT) là loại hệ vật liệu không chì có tính chất điện môi và áp điện tốt, với nhiệt độ  $T_C$  cao ( $\approx 320^\circ\text{C}$ ), phân cực dư  $P_r \approx 38$

*Cải tiến công nghệ và nghiên cứu một tính chất vật lý của hệ gốm BNKT đồng pha tạp ZnO và SnO<sub>2</sub>*

$\mu\text{C}/\text{cm}^2$ [3]. Tuy nhiên, phạm vi nhiệt độ hoạt động của loại vật liệu này thấp, tính chất áp điện có thể bị mất trên nhiệt độ 200°C. Điều này là do quá trình chuyển pha ở nhiệt độ thấp, xuất hiện sự bất thường trong tính chất điện môi từ pha sắt điện sang pha phản sắt điện. Nhiều nỗ lực nghiên cứu đã được thực hiện để tăng cường tính chất áp điện và điện môi của NBT bằng cách thay thế ion khác nhau tại vị trí A hoặc B, nhưng một số nghiên cứu chỉ ra sự thay thế hoặc pha tạp làm giảm giá trị  $T_d$  của vật liệu.[4,5,6]

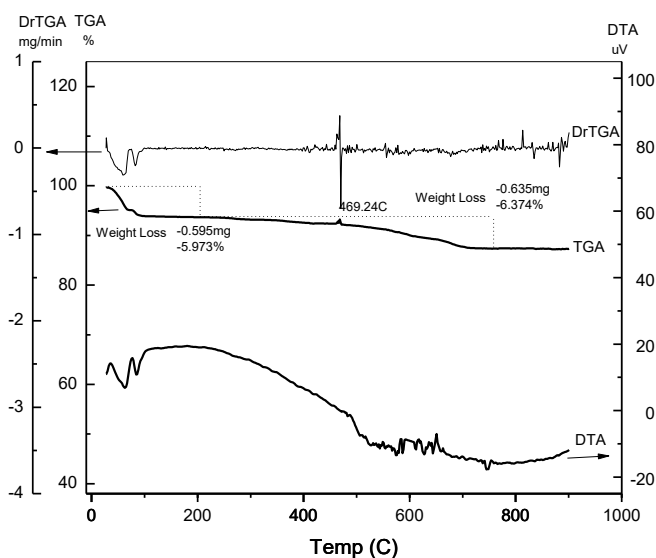
Potassium bismuth titanate  $\text{K}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$  (KBT) là loại vật liệu áp điện có nhiệt độ Curie (380°C) cao hơn NBT, trong đó cho thấy sự chuyển tiếp pha thứ hai từ pha tứ giác sang giả lập phương. Sự kết hợp hai hệ KBT và NBT là một giải pháp được mong đợi để cải thiện tính chất áp điện của cả hệ [7]. Tuy nhiên, thành phần Bismuth trong hỗn hợp tạo BNKT là dễ bay hơi, làm giảm tính chất của gốm [8,9].

Năm 2013 Hyoungh-Su Han và các cộng sự đã nghiên cứu tính chất áp điện và điện giảo khi pha tạp Sn vào hệ gốm không chì BNKT với lượng pha tạp Sn 8%–BNKT thu được hệ số  $Q_m$  cao [10]. Sự tồn tại pha lỏng của liên kết Sn–Bi hi vọng giảm giảm được nhiệt độ thiêu kết của BNKT cũng như làm giảm lượng bay hơi của Bi làm tăng tính chất áp điện cho hệ.

Trong bài báo này chúng tôi trình bày một số khảo về về tính chất điện môi và áp điện của hệ vật liệu BNKT đồng pha tạp ZnO và SnO<sub>2</sub>

## 2. THỰC NGHIỆM

Công thức của vật liệu cần nghiên cứu là  $\text{Bi}_{0,5}(\text{Na}_{0,8}\text{K}_{0,2})_{0,5}\text{TiO}_3 - x\text{ZnSnO}_3$ , trong đó  $x = 0,25\%$ ;  $0,50\%$ ;  $0,75\%$  và  $1,00\%$ . Sử dụng vật liệu ban đầu là bột oxit  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$  (độ tinh khiết  $\geq 99\%$ ). Tiến hành phân tích giản đồ phân tích nhiệt (TG–DTA) của bột BNKT–ZS (hình 1) để xác định nhiệt độ nung sơ bộ cho BNKT–ZS. Trong quá trình tăng nhiệt độ từ nhiệt độ phòng đến 900°C có sự thay đổi khối lượng của vật liệu.



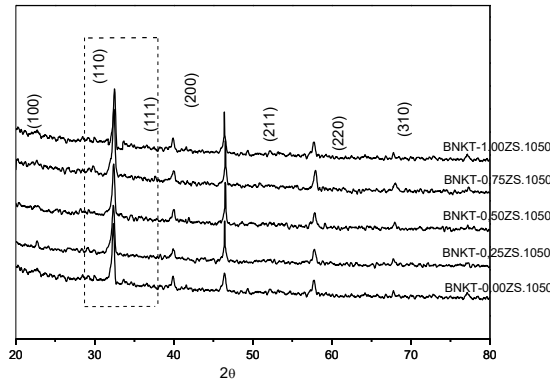
**Hình 1.** Đường cong TGA và DTA của bột BNKT–ZS với tốc độ gia nhiệt 10°C/phút.

Lúc đầu khối lượng mẫu là 100%, khi tăng dần nhiệt độ lên khoảng 100°C sự bốc hơi nước làm giảm nhanh khối lượng của hệ, sau đó tiếp tục giảm dần do sự bay hơi của các chất trong thành phần ở các nhiệt độ cao hơn. Từ khoảng nhiệt độ 670°C khối lượng của hợp chất bão hòa, sự giảm khối lượng tương đối tuyến tính và ổn định. Trên phổ DTA xuất hiện các đỉnh thu nhiệt và tỏa nhiệt tại khoảng nhiệt độ 650°C đến 800°C. Kết hợp sự suy giảm của khối lượng theo giản đồ TGA và DTA, điều này chỉ ra rằng khoảng tạo pha cho nhiệt độ BNKT–ZS nằm trong vùng 650°C đến 850°C thì bắt đầu hình thành BNKT. Để đảm bảo việc chuyển pha ở mẫu, hỗn hợp bột được nung sơ bộ ở nhiệt độ 850°C

Hệ vật liệu được ép thành những viên tròn có đường kính 12 mm và độ dày 1,5 mm. Sau đó, những viên này được cho vào cốc sứ phủ kín bằng bột nhôm sau đó nung thiêu kết ở nhiệt độ 1000, 1050, 1070 và 1150°C trong 2 giờ. Mật độ của gốm được đo bằng phương pháp Archimedes. Mẫu được phân cực trong dầu silicone ở 120°C với điện trường áp đặt là 30 kVcm<sup>-1</sup> trong 30 phút, sau đó làm lạnh xuống nhiệt độ phòng. Sự kết tinh của vật liệu được phân tích từ giản đồ nhiễu xạ (XRD) phân tích (D8 ADVANCE Bruker) ở nhiệt độ phòng. Cấu trúc hình thái học cũng đã được kiểm tra bởi kính hiển vi điện tử quét (SEM; JSM-6340F). Các tính chất áp điện được xác định bằng các tần số cộng hưởng và phản cộng hưởng sử dụng máy phân tích trở kháng (RLC Hioki 3532).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

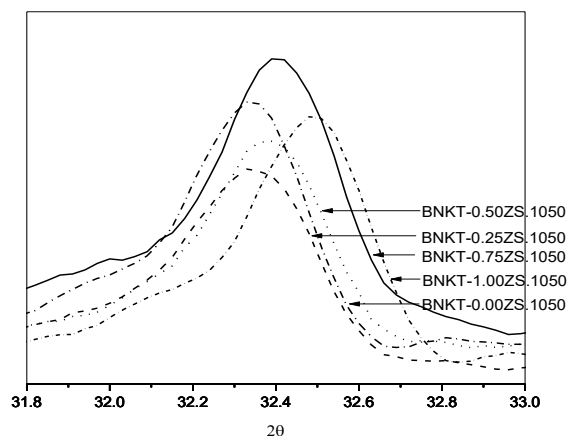
Hình 2 cho thấy giản đồ nhiễu xạ X-ray của gốm BNKT-ZS được thiêu kết ở nhiệt độ 1050°C trong 2h.



Hình 2. Phổ nhiễu xạ của gốm BNKT-ZS tại nhiệt độ 1050°C

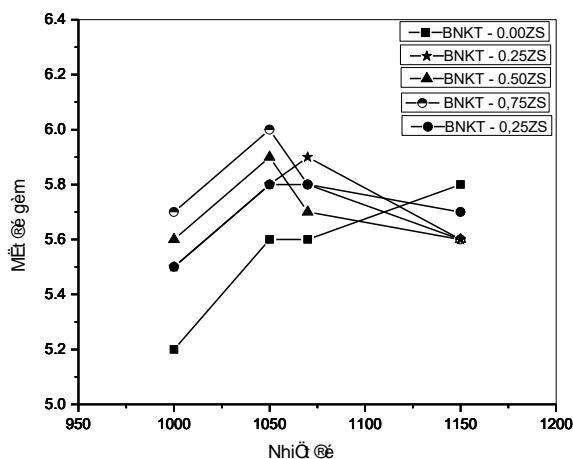
Hệ gốm có cấu trúc đơn pha perovskite, không tồn tại các pha tạp và độ kết tinh của gốm cao. Để quan sát rõ hơn về sự ảnh hưởng của pha tạp, chúng tôi chọn đỉnh (110) phóng đại để khảo sát như ở hình 3.

Tại nhiệt độ 1050°C, sau khi pha tạp 0,25% ZS, cường độ đỉnh không cao, vì sự thay đổi cấu trúc của BNKT ảnh hưởng đến sự kết tinh của vật liệu. Tiếp tục tăng lượng pha tạp ZS thì cường độ đỉnh tăng dần, và đến 0,75%ZS thì đạt cực đại. Tuy nhiên, sau đó lại giảm cùng với lượng tăng của ZS, sự kết tinh giảm dần. Sự dịch chuyển đỉnh sang phải của các mẫu pha tạp chứng tỏ rằng có ảnh hưởng của sự pha tạp vào trong hệ, mặc dù pha tạp một lượng nhỏ về khối lượng.



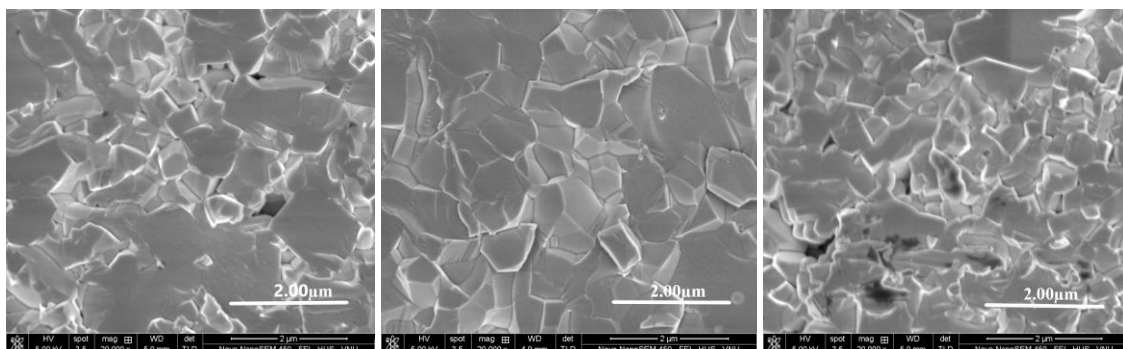
Hình 3. Sự mở rộng của đỉnh (110)

Sự phụ thuộc của mật độ gốm BNKT-ZS vào nhiệt độ thiêu kết được hiển thị trong hình 4. Có thể thấy rằng mật độ gốm BNKT-ZS thay đổi phụ thuộc vào nhiệt độ thiêu kết và nồng độ của ZnSnO<sub>3</sub>



Hình 4. Sự phụ thuộc mật độ gốm BNKT–ZS vào nhiệt độ thiêu kết.

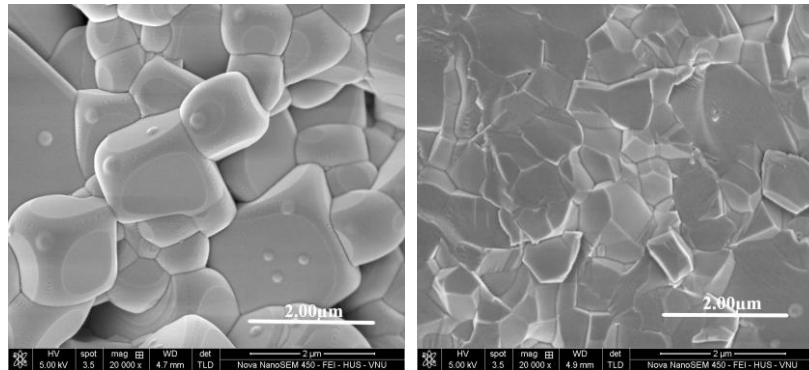
Mật độ gốm tăng khi tăng lượng  $\text{SnZnO}_3$  và nhiệt độ thiêu kết. Mật độ gốm đạt cực đại ( $\rho = 6,0 \text{ g/cm}^3$ ) ở nồng độ 0,75%  $\text{ZnSnO}_3$  tại nhiệt độ thiêu kết ở  $1050^\circ\text{C}$ , và sau đó giảm dần. Mật độ gốm giảm dần khi nhiệt độ thiêu kết lớn hơn  $1050^\circ\text{C}$ , nguyên nhân có thể là do sự bay hơi của  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  trong quá trình thiêu kết ở nhiệt độ cao hơn. Theo kết quả trên, nhiệt độ thiêu kết tối ưu của  $(1-x)$  BNKT–ZS là  $1050^\circ\text{C}$ .



Hình 5. Ảnh SEM của a) BNKT–0,25ZS, b) BNKT–0,75ZS, c) BNKT–1,00ZS thiêu kết tại  $1050^\circ\text{C}$ .

Dựa vào hình 5 chỉ ra sự phụ thuộc kích thước hạt của mẫu vào nồng độ ZS, ta thấy tại nồng độ  $x = 0,25$ , đa số các hạt có kích thước nhỏ, bắt đầu xuất hiện sự kết dính của các biên hạt tại một số vùng, tuy nhiên không đều nhau và có nhiều lỗ hổng nhỏ, vì vậy mật độ gốm của mẫu nung thiêu kết tại nhiệt độ này không cao. Đối với mẫu pha tạp ZS với nồng độ  $x = 0,75$ , các hạt tương đối đồng đều, khả năng xếp chặt cao và kích thước của hạt lớn hơn và các hạt sắp xếp thành từng đám liên kết với nhau. Mật độ hạt cao và gần như không xuất hiện các khuyết tật lỗ hổng trong cấu trúc hạt. Điều này phù hợp với kết quả của sự khảo sát mật độ gốm đạt giá trị lớn nhất ở nhiệt độ này. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ lên  $x = 1,00$ , các hạt gần như tách rời nhau, kích thước không đồng đều, số lượng lỗ hổng tăng lên một lượng lớn vì vậy mật độ của gốm giảm. Tại nồng độ pha tạp cao, cấu trúc hợp chất bị phá vỡ, đồng nhất hợp chất giảm.

Cải tiến công nghệ và nghiên cứu một tính chất vật lý của hệ gốm BNKT đồng pha tạp ZnO và SnO<sub>2</sub> cùng với đó lượng bay hơi của Bi càng nhiều, đóng góp vào việc giảm mật độ trung bình của gốm.

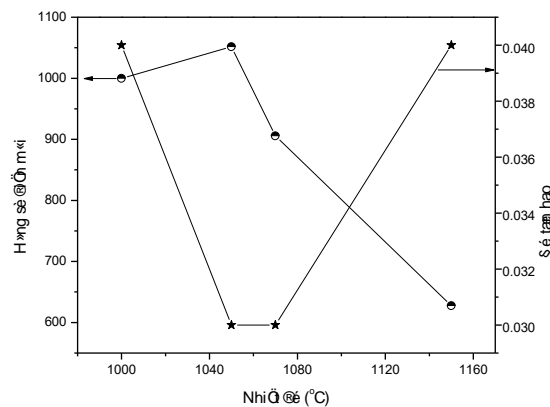


Hình 6. Ảnh SEM của a) BNKT-1150°C, b) BNKT-0,75ZS.1050°C.

Hình 6 hiển thị kích thước hạt cũng như cấu trúc bề mặt của vật liệu gốm BNKT không pha tạp được thiêu kết tại nhiệt độ 1150°C và BNKT pha tạp 0,75ZS thiêu kết tại 1050°C. Với BNKT không pha tạp, các hạt hình thành biên pha tương đối rõ rệt và đồng đều nhau về kích thước kèm theo đó mật độ gốm tương đối cao. So với BNKT không pha tạp, BNKT-0,75ZS.1050 có kích thước hạt nhỏ hơn, tuy nhiên xuất hiện sự liên kết chặt chẽ giữa các hạt, các biên pha gần như dính liền vào nhau, chính điều này làm tăng mật độ gốm mặt dù nung thiêu kết ở tại nhiệt độ thấp hơn.

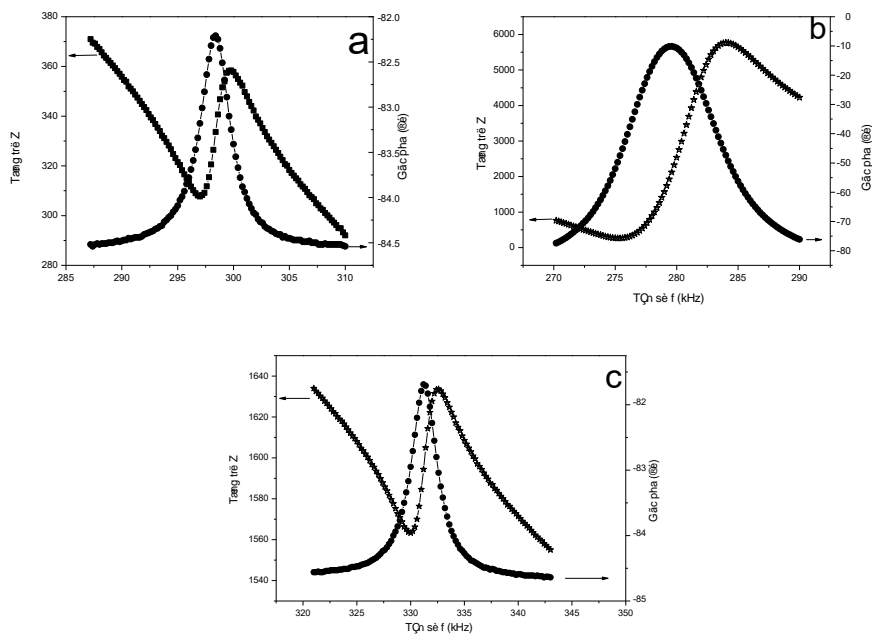
Như vậy, gốm BNKT-0,75ZS nung thiêu kết tại 1050°C có mật độ lớn, liên kết hạt chặt chẽ hơn, và hầu như không xuất hiện các lỗ trống trong cấu trúc gốm so với các thành phần khác khi thay đổi nồng độ pha tạp ZS khác nhau

Hình 7 hiển thị sự phụ thuộc của hằng số điện môi  $\epsilon_r$  ở nhiệt độ phòng và độ tổn hao điện môi  $\tan\delta$  tại 1kHz của gốm BNKT-ZS vào nhiệt độ thiêu kết khác nhau. Hằng số điện môi  $\epsilon_r$  tăng khi nhiệt độ thiêu kết tăng và đạt giá trị cực đại là 1059 tại 1050°C với  $x = 0,75$  và sau đó giảm dần. Kết quả cho thấy hệ gốm BNKT-0,75ZS có hằng số điện môi cao và độ tổn hao điện môi thấp.

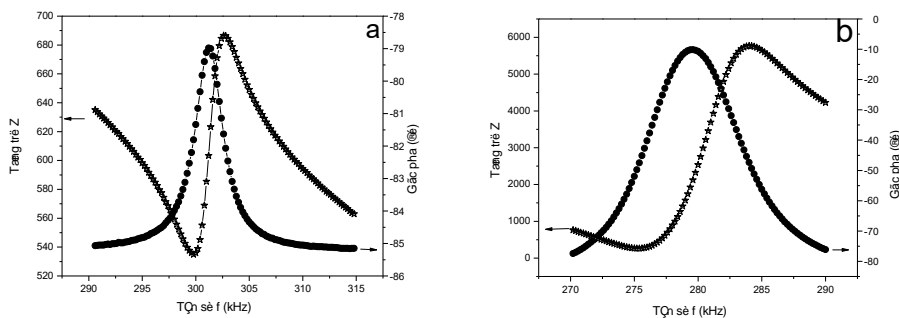


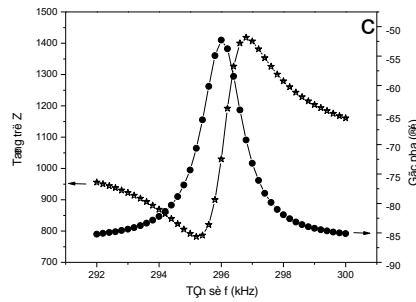
Hình 7. Sự phụ thuộc hằng số điện môi và độ tổn hao điện môi vào nhiệt độ nung thiêu kết

Chúng tôi tiến hành đo phổ dao động cộng hưởng của mẫu tại nhiệt độ phòng để xác định tính chất áp điện của hệ gốm. Hình 8 thể hiện phổ dao động cộng hưởng của mẫu theo các nhiệt độ khác nhau, nhiệt độ thiêu kết ảnh hưởng đến hệ số liên kết điện cơ. Hằng số liên kết điện cơ ( $k_p$ ), hệ số phẩm chất ( $Q_m$ ) thay đổi phụ thuộc vào nồng độ  $ZnSnO_3$  (hình 9). Hằng số liên kết điện cơ và hệ số phẩm chất của gốm BNKT-ZS cải tiến rõ rệt, giá trị cực đại của  $k_p$  là 0,23,  $Q_m$  là 155 với nồng độ  $x = 0,75$  và nhiệt độ thiêu kết  $1050^\circ C$ . Điều này có thể liên quan đến tính mật độ gốm và sự bay hơi của Bi. Trong suốt quá trình thiêu kết, sự hình thành pha lỏng làm tăng cường mật độ và kích thước hạt, dẫn đến làm giảm mật năng lượng và cải thiện các tính chất điện.



**Hình 8.** Phổ dao động cộng hưởng của các mẫu a) BNKT-0,75ZS.1000, b) BNKT-0,75ZS.1050, c) BNKT-0,75ZS.1070





Hình 9. phổ dao động cộng hưởng của các mẫu a) BNKT-0,25 ZS.1050, b) BNKT-0,75 ZS.1050, c) BNKT.1ZS.1050.

#### 4. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã chế tạo thành công hệ gốm  $\text{Bi}_{0,5}(\text{Na}_{0,8}\text{K}_{0,2})_{0,5}\text{TiO}_3 - x\text{ZnSnO}_3$  với  $x = 0,25; 0,50; 0,75; 1,00$  ở nhiệt độ thiêu kết khác nhau. Gốm BNKT-0,75ZS thiêu kết ở 1050°C trong 2 h có cấu trúc đơn pha perovskite. Thông qua ảnh SEM cho thấy các biên hạt gần như liền kề nhau, các hạt kết dính thành đám lớn, mật độ xếp chặt cao. Trong nghiên cứu này, hệ gốm được nung thiêu kết ở nhiệt độ thấp hơn tại 1050°C lại thể hiện tính chất điện tốt nhất do sự bay hơi lượng lớn của  $\text{Bi}^{3+}$  với sự gia tăng của nhiệt độ thiêu kết. Trong suốt quá trình thiêu kết, sự hình thành pha lỏng được thể hiện ở các biên hạt làm tăng cường mật độ và kích thước hạt và cải thiện các tính chất điện. Tính chất vật lý của mẫu BNKT-0,75ZS.1050 được thể hiện qua các thông số như hệ số điện môi  $\epsilon = 1059$ , hệ số áp điện liên kết điện cơ  $k_p = 0,23$ ,  $Q_m = 155$ . So với hệ gốm BNKT thì các tính chất điện của mẫu BNKT-ZS.1050 được cải thiện và giảm nhiệt độ thiêu kết từ 1150°C xuống còn 1050 °C.



## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí từ đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo với mã số B2019-DHH-13

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B. Jafe, W. Cook, H. Jafe (Eds.), piezoelectric ceramics, Academic Press, New York (1971).
- [2]. Chun-Huy Wang, J Ceram. Soc. Jpn. Vol. 117, 2009, pp 693–697.
- [3]. X. Wang, H. Lai-Wa Chan, C.L. Choy,  $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-Ba}(\text{Cu}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3$  lead-free piezoelectric ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 86 (2003) 1809– 1811.
- [4]. Z. Yang, Y. Hou, B. Liu, L. Wei, Structure and electrical properties of  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ -doped  $0.82\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-}0.18\text{Bi}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{TiO}_3$  ceramics, Ceram. Int. 35 (2009) 1423–1427.
- [5]. D. Lin, D. Xiao, J. Zhu, P. Yu, Piezoelectric and ferroelectric properties.
- [6]. Y. Li, W. Chen, Q. Xu, J. Zhou, Y. Wang, and H. Sun, “Piezoelectric and dielectric properties of  $\text{CeO}_2$ -doped  $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.44}\text{K}_{0.06}\text{TiO}_3$  lead-free ceramics”, Ceramics International, 95–99, 2007
- [7]. Amir Ullah, Aman Ullah, Ill Won Kim, Dae Su Lee, Soon Jong Jeong and Chang Won Ahn, J. Am. Ceram. Soc. Vol. 97, 2014, pp 2471–2478.
- [8]. Ho-Hua Chung, Cheng-Fu Yang, Kai-Huang Chen and Chien-Chen Diao, Materials Chemistry and Physics. Vol. 110, 2008, pp 311–315.
- [9]. Chun-Huy Wang, J Ceram. Soc. Jpn. Vol. 117, 2009, pp 693-697.
- [10]. H-Su Han, W. Jo, J.K Kang, C.W. Ahn, I. W. Kim, K. K. Ahn, and J.S. Lee Incipient piezoelectrics and electrostriction behavior in Sn-doped  $\text{Bi}_{1/2}(\text{Na}_{0.82}\text{K}_{0.18})_{1/2}\text{TiO}_3$  lead-free ceramics, journal of Applied Physics 113, 154102 (2013).

## TECHNOLOGY IMPROVEMENTS AND STUDY OF A NUMBER OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BNKT CERAMIC CO-DOPING $\text{ZnO}$ AND $\text{SnO}_2$

**Mai Kim Ngoc, Nguyen Ngoc Thanh, Nguyen Truong Tho\***

Department of Physics, University of Science, Hue University

\*Email: ntthokh@hueuni.edu.vn

### ABSTRACT

$\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.8}\text{K}_{0.2})_{0.5}\text{TiO}_3 - x\text{ZnSnO}_3$  (BNKT-xZS) ceramics are fabricated by traditional solid state phase reaction method at  $1000^\circ\text{C}$  to  $1150^\circ\text{C}$ . The morphological structure

*Cải tiến công nghệ và nghiên cứu một tính chất vật lý của hệ gốm BNKT đồng pha tạp ZnO và SnO<sub>2</sub>*

of BNKT-ZS is shown high density with bounded grain boundaries through scanning electron microscope (SEM) images. The effect of Co-doping ZnO and SnO<sub>2</sub> on the electrical properties of the BNKT ceramic system improved compare with non-doped BKNT at the sintering temperature of 1050°C. The optimal ZnSnO<sub>3</sub> concentration of 0.75% mol and sintering temperature at 1050°C, the electric properties of the BNKT-xZS system obtained high electromechanical coupling factor of  $k_p = 0.23$ , dielectric constant  $\epsilon_r = 1059$  and mechanical quality factor of  $Q_m = 155$

**Keywords:** BNKT, Lead-free piezoelectric ceramics, Piezoelectric properties



**Mai Kim Ngọc** sinh ngày 04/5/1982 tại Bình Định. Bà tốt nghiệp cử nhân ngành Vật Lý – Kỹ thuật công nghệ năm 2004 tại trường Đại học Quy Nhơn – Bình Định. Từ năm 2004 đến nay, bà công tác tại Trường THPT Phan Bội Châu, Pleiku, Gia Lai và hiện đang là tổ phó chuyên môn tổ Vật Lý – Kỹ thuật công nghệ của trường.



**Nguyễn Ngọc Thanh** sinh ngày 17/05/1985 tại Nghệ An. Ông tốt nghiệp cử nhân ngành Vật Lý năm 2007 tại trường Đại học Quy Nhơn – Bình Định. Từ năm 2007 đến nay, ông công tác tại Trường THPT Chu Văn An, Krông Pa, Gia Lai và hiện đang là giáo viên giảng dạy môn Vật Lý thuộc tổ chuyên môn Hóa – Vật Lý – Công nghệ của trường.



**Nguyễn Trường Thọ** sinh ngày 26/08/1976 tại Thừa Thiên Huế. Ông tốt nghiệp cử nhân ngành Vật lý năm 1999 và thạc sĩ chuyên ngành Vật lý Chất rắn tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế vào năm 2003. Ông nhận học vị tiến sĩ năm 2010 tại Đại học Osaka, Nhật Bản. Ông đã công bố được 15 bài báo ISI từ năm 2007 đến 2020, trong đó 9 bài báo thuộc danh mục SCI. Ông đang là thành viên phản biện cho tạp chí Materials Science and Engineering B thuộc danh mục SCI. Từ năm 2000 đến nay, ông công tác tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

*Lĩnh vực nghiên cứu:* Vật liệu sắt điện dưới dạng màng mỏng và gốm.