

액추에이터 응용을 위한 Fe₂O₃ 와 MnO₂ 첨가에 따른 Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ 세라믹스에서의 유전 및 압전 특성

임은경^a, 백중후, 김창일, 신범승, 임종인, 이영진, 최병현
 요업기술원

Effects of Fe₂O₃ and MnO₂ Additives on Dielectric and Piezoelectric Properties of Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ Ceramics for Actuator Applications

Eun-Kyeong Lim, Jong-Hoo Paik, Chang-IL Kim, Bum-Seung Shin, Jong-in Lim, Young-Jin Lee, Byung-Hyun Choi
 Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

Abstract : 본연구에서는 초음파 모터 등의 고출력 액추에이터에 응용 가능한 0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - 0.6Pb(Zr_{0.405}Ti_{0.595})O₃ + 0.25wt% Fe₂O₃ 조성시스템에 MnO₂ (0~1wt.%)첨가하여 압전, 유전특성 및 미세구조에 관해 고찰하였다. 본조성을 1125 ~ 1175℃ 온도에서 2시간 소결하여 시편을 제조하였으며 이의 결정구조 및 미세조직을 분석하였다. MnO₂첨가량 증가에 따라 압전 상수와 전기기계결합계수는 감소하였으며, 기계적 품질계수는 0.5 wt% 첨가시까지 증가하였으나 첨가량이 그 이상 증가함에 따라 감소하였다. 압전특성은 1125℃에서 소결한 MnO₂ 0.5wt%조성에서 $\epsilon_r = 2040$, $k_p = 0.66$, $d_{33} = 504$, $Q_m = 438$ 의 우수한 특성을 나타내었다.

Key Words : piezoelectric, ultrasonic motor, dielectric, Actuator, MPB

1. 서론

압전 및 전왜 세라믹을 이용한 압전 액추에이터 (piezoelectric actuator)는 미세 변위조절이 용이하기 때문에 정밀한 제어가 요구되는 광학기기, 반도체 장치, 소형 모터 등의 주요부품으로 사용되고 있다.[1]

초음파 모터에 있어서 압전 소재의 기능은 rotor에 기계적 진동을 주는 액추에이터의 기능을 한다. 따라서 초음파 모터에 있어서 rotor의 회전력과 회전속도를 좌우하는 압전 소재가 가장 중요한 역할을 하고 있다. 보다 우수한 모터 특성을 갖기 위하여서는 고효율 압전 소재가 요구되어 지고 있다.[2-3]

따라서 본 연구에서는 압전 특성이 우수한 0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - 0.6Pb(Zr_{0.405}Ti_{0.595})O₃ + 0.25wt% Fe₂O₃ 조성시스템에 MnO₂ (0~1wt.%)첨가하여 결정구조, 유전 및 압전 특성에 대하여 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

출발물질로 사용한 분말원료는 PbO (Aldrich, 99.9%), Nb₂O₅ (Aldrich, 99.9%), NiO (고순도 화학, 99.9%), ZrO₂ (Aldrich, 99%), TiO₂ (고순도 화학, 99.9%), Fe₂O₃ (Aldrich, 99%), MnO₂ (Aldrich, 99%)를 이며, 전자 저울을 사용하여 원료분말을 ±0.1 mg의 오차범위에서 정밀하게 평량하였다. 습식 혼합된 시료는 100-150℃에서 건조한 후, 850℃에서 2시간 하소하였다. 하소분말은 분쇄, 건조후에 일축 성형하여 지름 13mm인 disc 시편을 만들었다. 성형시편들은 1125 - 1175℃에서 2시간동안 소결하였으며, 이때 승온 속도는 분당 5℃로 하였다. 소결된 시편은 silver paste로

전극 처리하였으며, 처리된 시편은 120℃의 실리콘 절연체 내에서 2.5KV/mm의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 하였다. 소결시편의 상 합성과 결정구조 등은 XRD(Mac Science KFX-987228-SE)로 분석하였으며, 시편의 미세구조는 주사전자현미경(SEM- Topcon SM-300)으로 분석하였다. 전기적 특성은 공진-반공진법으로 측정, 계산하였으며 압전정수(d_{33})는 Piezo d_{33} Tester(American Piezo Ceramics, Pennebaker Model 8000)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

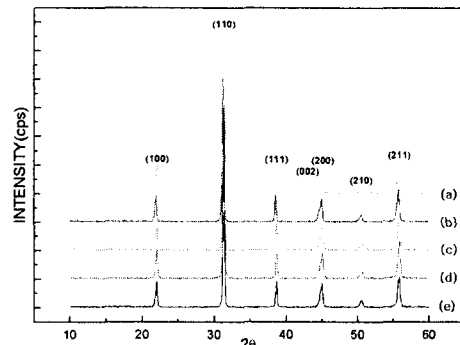


그림 1. 0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - 0.6Pb(Zr_{0.405}Ti_{0.595})O₃ + 0.25wt% Fe₂O₃ + x wt% MnO₂ X선 회절패턴, (a) x=0, (b) x=0.25, (c) x=0.5, (d) x=0.75, (e) x=1

그림1은 1125℃에서 2 시간 소결한 0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.6Pb(Zr_{0.405}Ti_{0.595})O₃+0.25wt% Fe₂O₃ 조성시스템에 MnO₂ (x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1wt.%)첨가에서의 x에 따른 X선 회절 결과를 나타내었다.

특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 2차 상인 pyrochlore($2\theta=28^\circ$ 부근에서 관찰) 상은 전체조성에서 관찰되지 않았으며, 잘 혼합된 것을 알 수 있다.

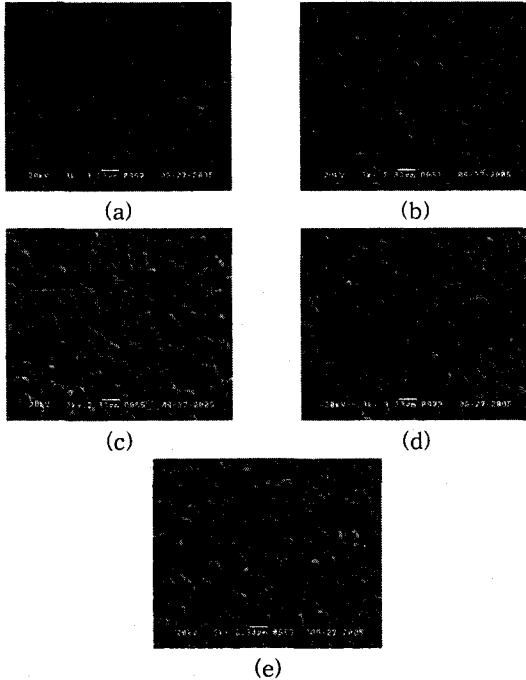


그림 2. $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_{0.405}\text{Ti}_{0.595})\text{O}_3 + 0.25\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + x \text{ wt}\% \text{MnO}_2$ SEM 사진, (a) $x=0$, (b) $x=0.25$, (c) $x=0.5$, (d) $x=0.75$, (e) $x=1$

그림 2는 1125°C 에서 2시간 소결한 PNN-PZT+Fe+Mn 조성에서의 MnO_2 첨가량에 따른 주사전자 현미경(SEM) 사진이다. 첨가량이 증가함에 따라 입경이 약간 증가하는 것을 알 수 있으며, Mn가 첨가하지 않은 조성 ($x=0$)에서는 전체적으로 평균 입경이 $2\mu\text{m}$ 정도로 상대적으로 작게 나타났으나, Mn가 첨가한 조성에서는 입경이 증가하여 평균 $3\sim 4\mu\text{m}$ 의 결정립을 보였다.

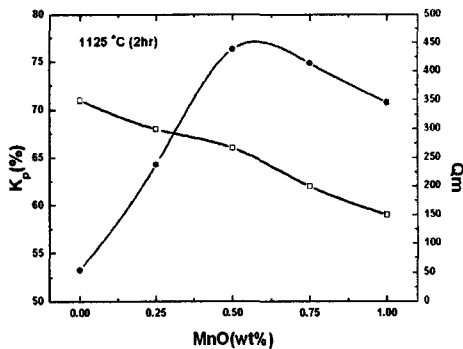


그림 3. MnO_2 첨가량에 따른 k_p 와 Q_m

그림 3은 PNN-PZT+Fe+Mn조성에서의 MnO_2 첨가량에 따른 전기기계결합계수(k_p) 및 기계적 품질계수(Q_m)을 나타내었다. 전기기계결합계수는 MnO_2 첨가량 따라 완만하

게 감소하는 경향을 보이고 있으며, 기계적 품질계수(Q_m)는 반대로 $x=0.5$ 첨가시까지 증가하였으나 그 이상 첨가 시 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이것은 Mn이 acceptor 로 작용하기 때문에 나타나는 결과이다.

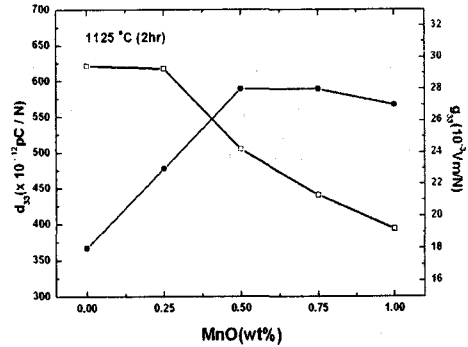


그림 4. MnO_2 첨가량에 따른 압전정수(d_{33})

그림4는 기본 조성에서의 x 에 따른 압전상수(d_{33})와 전압상수(g_{33})를 나타낸 것으로 x 가 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 압전상수는 전기기계결합계수(k_p)와 유전상수에 의해 주로 결정되어지는데, 그림 3에서 나타낸 x 에 따른 전기기계결합계수(k_p)의 변화와 유사한 형태를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서 $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_{0.405}\text{Ti}_{0.595})\text{O}_3 + 0.25\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + x \text{ wt}\% \text{MnO}_2$ 조성에서 x 에 따른 압전 특성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. x 가 증가함에 따라 기계적 품질계수(Q_m)은 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.
2. 1125°C 에서 소결한 PNN-PZT+Fe+ $0.5\text{wt}\% \text{MnO}_2$ 조성에서 $\epsilon_r = 2,040$, $K_p = 0.66$, $d_{33} = 504$, $Q_m = 438$ 우수한 특성을 나타내었다.
3. 개발된 조성을 가지고 고출력 압전 세라믹 액추에이터의 실용가능성을 제시하였다.

참고 문헌

- [1] Gene H. Haertling "Ferroelectric Ceramics : History and Technology" J. Am. Soc. 82[4]797-818, 1999
- [2] "Comments on the Practical Use of Piezoactuators" PiezoMech Incorporated
- [3] Hiromu Ohuchi, "Piezoelectric and Structural Properties of $\text{Pb}(\text{Yb}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-PbZrO}_3$ Ceramics" Journal of the European Ceramic Society 19 ,pp.1191~1195, 1999