

대변위용 액추에이터 응용을 위한 $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3-PbZrO_3$ 세라믹스에서의 유전 및 압전 특성

김창일^a, 임은경, 백종후, 임종인, 이영진
요업(세라믹)기술원

Dielectric and Piezoelectric Properties of $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3-PbZrO_3$ Ceramics for Actuator Applications

Chang-IL Kim, Eun-Kyeong Lim, Jong-Hoo Paik, Jong-in Lim, Young-Jin Lee
Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

Abstract : 본 연구에서는 초음파 모터 등의 고효율 액추에이터에 응용 가능한 $0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ 조성시스템에 소결온도를 달리하여 압전, 유전특성 및 미세구조에 관해 고찰하였다. 본 조성을 1200 °C 온도에서 2, 4, 6, 8시간 소결하여 시편을 제조하였으며 이의 결정구조 및 미세조직을 분석하였다. 소결시간 증가에 따라 전기기계결합계수와 기계적품질계수는 증가하였으며, 압전상수는 Zr/(Zr+Ti)비 0.390까지 증가하였으나 그 이상 증가함에 따라 감소하였다. 압전특성은 1200 °C에서 4시간 소결한 Zr=0.390인 조성에서 $\epsilon_r = 4487$, $k_p = 0.72$, $d_{33} = 710$, $Q_m = 109$ 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 motor의 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 $0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ 조성시스템의 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 %) 이며, 전자 저울을 사용하여 원료분말을 ±0.1 mg의 오차범위에서 정밀하게 평량하였다. 습식 혼합된 시료는 100~150 °C에서 건조한 후, 850 °C에서 2시간 하소하였다. 하소분말은 분쇄, 건조후에 일축 성형하여 지름 13 mm인 disc 시편을 만들었다. 성형시편들은 1200 °C에서 2, 4, 6, 8 시간동안 소결하였으며, 이때 승온속도는 분당 5 °C로 하였다. 소결된 시편은 silver paste로 전극 처리하였으며, 처리된 시편은 120 °C의 실리콘 절연유 내에서 2.5 kV/mm

의 직류 전류계를 15분 인가하여 분극처리 하였다. 소결 시편의 상 합성과 결정구조 등은 XRD (Mac Science KFX-987228-SE)로 분석하였으며, 시편의 미세구조는 주사 전자현미경(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

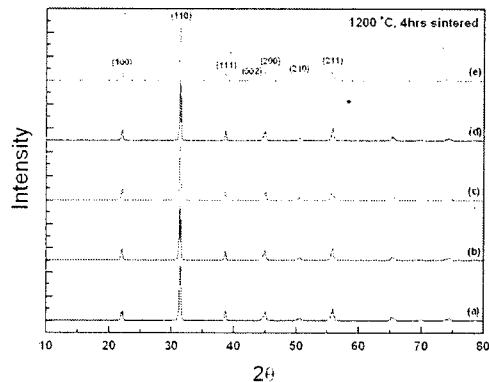


그림 1.X- ray diffraction pattern of $0.4 Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ sintered at 1200 °C for 4 h (a) $x=0.380$. (b) $x=0.385$. (c) $x=0.390$. (d) $x=0.395$, (e) $x=0.400$

그림 1은 1200 °C에서 4 시간 소결한 $0.4Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ 조성시스템에 Zr/(Zr+Ti)비, x 에 따른 X-선 회절 결과를 나타내었다. 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 2차 상인 pyrochlore($2\theta=28^\circ$ 부근에서 관

찰) 상은 전체조성에서 관찰되지 않았으며, 잘 합성된 것을 알 수 있다.

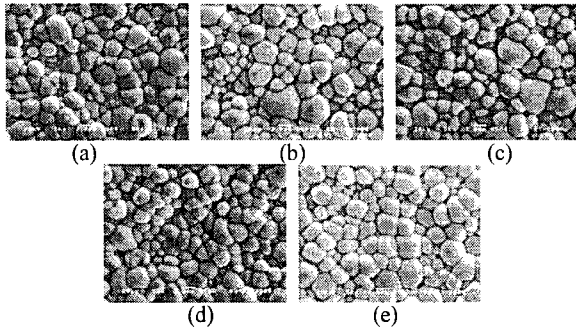


그림 2. SEM image of $0.4 \text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{3/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ sintered at 1200 °C for 4 h (a) $x=0.380$, (b) $x=0.385$, (c) $x=0.390$, (d) $x=0.395$, (e) $x=0.400$

그림 2는 1200 °C에서 4시간 소결한 PNN-PZT 조성에서의 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 비에 따른 주사전자 현미경(SEM) 사진이다. $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 비가 증가함에 따라 입경의 크기가 다양하다가 0.400으로 갈수록 점점 균일해 짐을 알 수 있었다.

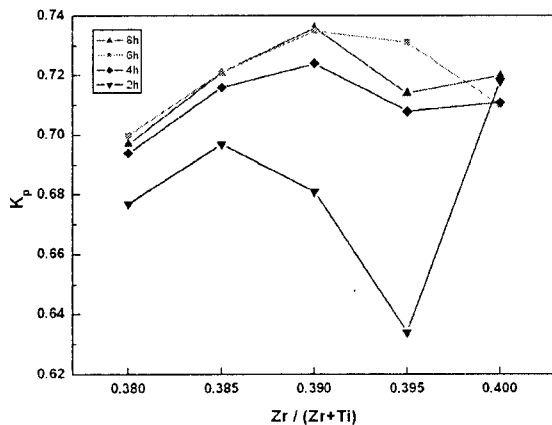


그림 3. Electromechanical coupling factor (k_p) of $0.4 \text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{3/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$

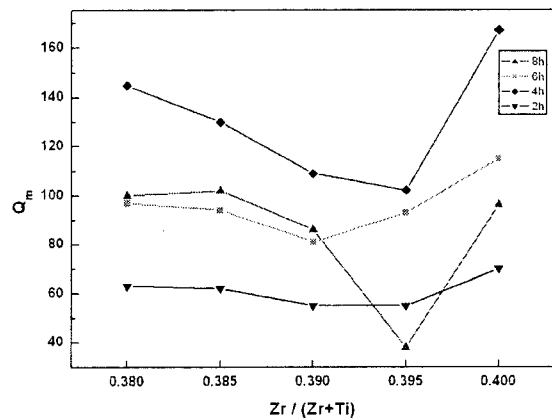


그림 4. Mechanical quality factor (Q_m) of $0.4 \text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{3/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$

그림 3과 그림 4는 PNN-PZT 조성에서의 소결시간에 따른 전기기계결합계수(k_p)와 기계적 품질계수(Q_m)를 나타내

었다. 전기기계결합계수는 소결시간이 증가함에 따라 높게 나타났다. 기계적 품질계수(Q_m)는 4시간 소결한 시료가 가장 큰 값을 나타냈으며 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 비가 증가함에 따라 차차 감소하다가 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 비 0.395 이후로 증가하는 경향을 나타냈다.

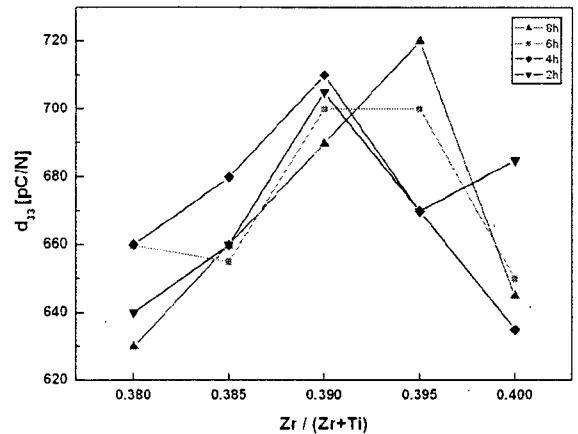


그림 5. Piezoelectric constant (d_{33}) of $0.4 \text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{3/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$

그림 5는 기본 조성에서의 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 에 따른 압전상수(d_{33})를 나타낸 것으로 $\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Ti})$ 비가 0.390에서 증가함에 따라 증가후 감소하는 경향을 보이고 있다. 압전상수는 전기기계결합계수(k_p)와 유전상수에 의해 주로 결정되어 지는데, 그림3에서 나타낸 x 에 따른 전기기계결합계수(k_p)의 변화와 유사한 형태를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서 $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/2}\text{Nb}_{3/2})\text{O}_3 - 0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ 조성에서 x 와 소결시간에 따른 압전 특성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4시간 소결한 시료의 기계적 품질계수(Q_m)가 가장 큰 값을 나타내었다.
2. 1200 °C에서 4시간 소결한 PNN-PZT $x=0.390$ 인 조성에서 $\epsilon_r = 4487$, $K_p=0.724$, $d_{33} = 710$, $Q_m = 109$ 우수한 특성을 나타내었다.
3. 개발된 조성을 가지고 대변위용 압전 세라믹 액츄에이터의 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