

Fe₂O₃ 가 첨가된 0.4Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ 세라믹스에서의 PZ/PT비 변화에 따른 유전 및 압전 특성

백중후^a, 임은경, 김세기, 이미재, 지미정, 최병현
요업기술원

Dielectric and Piezoelectric Properties of Fe₂O₃-Added 0.4Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ Ceramics with Variation of Zr/Ti Ratio

Jong-Hoo Paik^a, Eun-Kyeong Lim, Sei-Ki Kim, Mi-Jae Lee, Mi-Jung Jee, Byung-Hyun Choi,
KICET

Abstract : 본 연구에서는 Fe₂O₃ 를 첨가한 Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃-Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ 세라믹스에서 Zr/Ti 비 변화에 따른 소결 및 압전, 유전특성을 조사하였다. 0.4Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃+0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃+0.25Wt% Fe₂O₃ 계에서 Zr/(Ti+Zr)비(x)를 0.39에서 0.42까지 변화시킨 조성을 1100 - 1250°C 온도에서 2시간 소결하여 이의 결정구조 및 미세조직을 분석하였고, 압전, 유전 특성 및 RAINBOW 액추에이터로의 응용을 조사하였다. 1150°C에서 소결한 0.405 조성(x)에서 유전상수(ϵ_r) = 4669, 전기기계결합계수(kp) = 0.75, 압전상수(d₃₃) = 810 pC/N의 우수한 특성 값을 나타내었으며, 닥터블레이드법에 의해 RAINBOW 액추에이터를 제작하여 변위특성을 조사하였다.

Key Words : piezoelectric, actuator, dielectric, Zr/Ti ratio, sintering

1. 서 론

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]

특히 진동 모터, 광학기기등과 같이 대변위와 고하중을 필요로 하는 장치에는 변위가 크고 발생력이 큰 압전 액추에이터의 개발 필요성이 대두되고 있다.[2]

따라서 본 연구에서는 제조공정이 간단하고 변위와 발생력이 큰 RAINBOW(Reduced And Internally Biased Oxide Wafers) 액추에이터를 제조하고자 하였다. 이때 사용한 조성은 압전 특성이 우수한 PNN-PZ-PT계를 선택하였으며, 압전정수와 전기기계결합계수를 증가시키기 위해서 Fe₂O₃ 를 첨가제로 사용하여 Zr/(Zr+Ti) 비에 따른 압전 및 전기적 특성을 조사하였다. 이때 제조된 조성으로 환원온도를 변화시켜 RAINBOW(Reduced And Internally Biased Oxide Wafers) 액추에이터를 제작한 후 인가전압에 따른 변위특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 분말원료는 시약급이며, 전자 저울을 사용하여 원료분말을 ±0.1 mg의 오차범위에서 정밀하게 평량하였다. 습식 혼합된 시료는 100-150°C에서 건조한 후, 850°C에서 2시간 하소하였다. 하소분말은 분쇄, 건조 후에 밀축 성형하여 지름 13mm인 disc 시편을 만들었다. 성형시편들은 1100 - 1250°C에서 2시간동안 소결하였으며, 이때 승온속도는 분당 5°C로 하였다. 소결된 시편은 silver

paste로 전극 처리하였으며, 처리된 시편은 120°C의 실리콘 절연유 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)과 광학현미경(Olympus SZ-60)으로 분석하였다. 전기적 특성은 공진-반공진법으로 측정, 계산하였으며 압전정수(d₃₃)는 Piezo d₃₃ Tester(American Piezo Ceramics, Pennebaker Model 8000)로 측정하였다. 전계에 대한 미소변위측정은 비접촉 레이저 (MTI Instruments, Microtrak 7000)방식으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 0.4Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃+0.25Wt% Fe₂O₃ (x, =0.39, 0.395, 0.40, 0.405, 0.41, 0.415, 0.42) 조성에서의 x에 따른 X-선 회절 결과를 나타내었다.

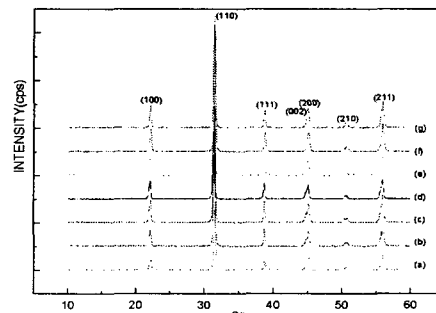


그림 1. 0.4Pb(Ni_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.6Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃+0.25Wt%Fe₂O₃ X선 회절패턴, (a) x=0.39, (b) x=0.395, (c) x=0.4, (d) x=0.405, (e) x=0.41, (f) x=0.415, (g) x=0.42..

그림에서 2θ=45°부근의 상방정상 (200)면과 정방정

상의 (200),(002)면을 살펴보면 x가 0.41 조성까지는 분리된 회절선이 나타나는 것으로 보아 정방정상이 우세한 결정구조로 볼 수 있으며, 전체적으로 x가 증가함에 분리된 회절선이 하나로 중첩됨에 따라 상경계(Morphotropic Phase Boundary) 조성에서 멀어지면서 상정방성이 증가하고 있음을 알 수 있다.[3] 또한 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 2차 상인 pyrochlore($2\theta=28^\circ$ 부근에서 관찰) 상은 전체 조성에서 관찰되지 않았다.

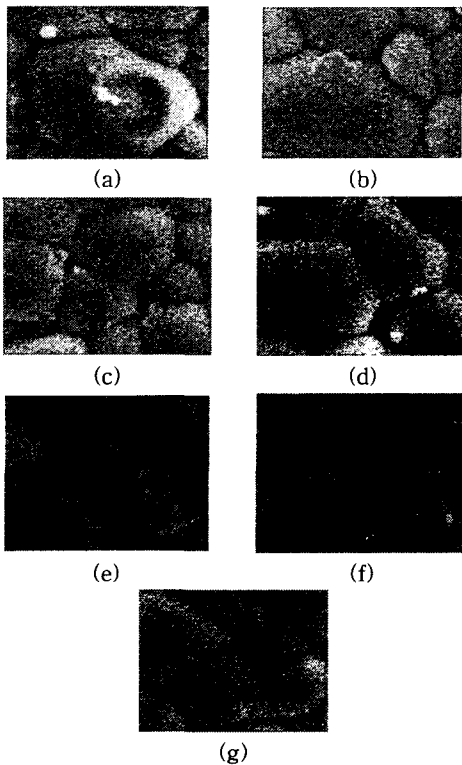


그림 2. $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3+0.25\text{Wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 SEM 사진, (a) $x=0.39$, (b) $x=0.395$, (c) $x=0.4$, (d) $x=0.405$, (e) $x=0.41$, (f) $x=0.415$, (g) $x=0.42$

그림 2는 1150°C 에서 2시간 소결한 PNN-PZT+0.25Wt% Fe_2O_3 조성에서의 x 변화에 따른 주사전자 현미경 사진들로서 그림에 나타난 바와 같이 전체적으로 평균 입경이 $3-4\mu\text{m}$ 정도로 일정한 결정립과 입도분포를 나타내고 있다.

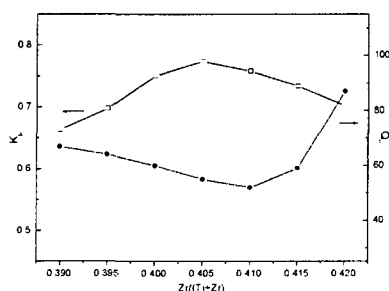


그림 3. $\text{Zr}/(\text{Ti}+\text{Zr})$ 에 따른 k_p 와 Q_m

그림3는 기본조성에서의 $\text{Zr}/(\text{Ti}+\text{Zr})$ 에 따른 k_p 와 Q_m 를 나타낸 것이다. k_p 는 0.405 조성까지 증가하였다가 그 이상 조성에서 감소하였다. 0.405 조성부근에서 분극 가능한 축이 공존하는 상경계 영역에서 분극특성이 향상됨에 따라 전기기계결합계수가 증가한 것으로 보인다.

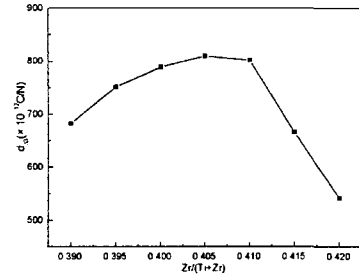


그림 4. $\text{Zr}/(\text{Ti}+\text{Zr})$ 에 따른 압전상수(d_{33})

그림4는 기본 조성에서의 x에 따른 압전상수(d_{33})를 나타낸 것으로 x가 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며 0.405 조성에서 최대값을 나타내었다가 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 압전상수는 전기기계결합계수(k_p)와 유전상수에 의해 주로 결정되어지는데, 그림3에서 나타낸 x에 따른 전기기계결합계수(k_p)의 변화와 유사한 형태를 보여주고 있다.

지금까지 PNN-PZT 조성에서의 x에 따른 압전특성의 변화를 살펴 보았으며, 가장 우수한 특성을 보인 $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.6\text{Pb}(\text{Zr}_{0.405}\text{Ti}_{0.595})\text{O}_3+0.25\text{Wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ 조성을 선택하여 RAINBOW actuator를 제조하였다.

4. 결론

본 연구에서 $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.6\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3+0.25\text{Wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ 조성에서 x에 따른 압전 특성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. $0.4\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.6\text{Pb}(\text{Zr}_{0.405}\text{Ti}_{0.595})\text{O}_3+0.25\text{Wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ 조성이 상 경계 조성임을 확인하였으며, 이 조성에서 ϵ_r , K_p , d_{33} 값이 최대값을 나타내었다.
2. 1150°C 에서 소결한 PNN-PZT+0.25Wt% Fe_2O_3 조성은 $\epsilon_r = 4,669$, $K_p=0.75$, $d_{33} = 810$, $Q_m = 55$ 의 우수한 특성을 나타내었다.
3. 개발된 조성을 가지고 RAINBOW 액추에이터를 제작하여 우수한 변위특성을 확인하였다.

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 $\text{Pb}(\text{Yb}_{1-x}\text{Nb}_{1-x})\text{O}_3-\text{PbZrO}_3$ Ceramics" Journal of the European Ceramic Society 19 ,pp.1191~1195, 1999