

PSN-PT 세라믹스의 진동레벨 특성

지승한\*, 전석환\*\*, 박성현\*\*, 이능현\*\*, 이상훈\*\*\*, 추순남†, 김용혁‡, 이덕출‡‡  
 \*한양전력, \*\*경원대, \*\*\*재능대학, †경원전문대, ‡‡인하대

Characteristics of vibrational level to PSN-PT ceramics

S.H. Ji\*, S.H. Chun\*\*, C.H. Park\*\*, N.H. Lee\*\*, S.H. Lee\*\*\*, S.N. Chu†, Y.H. Kim‡, D.C. Lee‡‡  
 \*Hanyang Co., \*\*Kyungwon University, \*\*\*Jaeneung College, †Kyungwon College, ‡‡Inha University

**Abstract** - In this paper, High quality factor and fine dielectric loss was resulted on specimen added 0.5wt% MnO<sub>2</sub> after compared and analyzed dielectric and piezoelectric properties following that added each 0~0.9wt% of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and MnO<sub>2</sub> on dopant at PSN-PT in two material disposition ceramics with research still is not completed to material investigation to increase high power piezo-electric actuator device efficiency. And, a measuring method and the experimetal results of the temperature rise under the high vibrational velocity are also described.

였다. 가소된 분말은 다시한번 불밀을 이용하여 48시간 분쇄하였다. 이후, 얻어진 합성분말에 5mass% polyvinylalcol의 바인더 수용액을 첨가하여 직경 9mm, 높이 30mm의 원주형의 틀에 100MPa로 프레스 성형하였다. 성형체를 마그네시아 도가니에 넣고 600℃에서 2시간동안 바인더 소거를 하고 1250℃의 공기중에서 3시간 소결하였다. 소결체는 400grit SiC 분말을 이용하여 두께 0.84mm로 연마하고 양표면에 은전극을 도포하여 소결하였다. 분극을 시키기 위해 120℃의 실리콘 오일 중에서 2.5kV/mm의 직류전계를 10분 인가하였다. 분극후, 전극양단을 단락시켜 24시간 에이징시켰다.

1. 서 론

최근 연구되고 있는 초음파 모터<sup>1)</sup>와 압전 트랜스 등은 고효율용 압전 액츄에이터 디바이스<sup>2)</sup>로서 문제가 되고 있는 것이 소신호 레벨에서의 낮은 유전체손도 하이 파워에서는 발열에 의한 유전체손이 현저히 크게 나타나고 있다. 발열에 의한 높은 유전체손은 작은 기계적 품질계수 Q<sub>m</sub>을 갖기 때문에 유전체손(tan δ)이 작고 기계적 품질계수 Q<sub>m</sub>이 높은 재료가 요구된다. 신호처리 디바이스와 센서의 분야에서는 고결합, 높은 Q와 안정성이 있는 재료가 요구되고 있고 강력 초음파 분야에서는 높은 진동레벨이 요구되고 있어 현재 재료개발이 진행중에 있다. 종래의 강력 초음파 디바이스의 재료로써 PZT재료는 기본적인 도나와 억셉트 원소를 함유하고 있지 않기 때문에 극소량의 도나와 억셉트 도판트의 첨가에 의해 PZT세라믹스의 성질이 크게 영향을 받는다.<sup>3)</sup> 그리고 기본조성에 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>원소를 포함하고 있는 PSN-PT에 다시 도나(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)와 억셉트(Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 도판트를 첨가한 연구결과를 Yamashita에 의해 보고되고 있다.<sup>4)</sup>

본 논문은 작은 유전체손과 큰 기계적 품질계수를 얻기 위해서 연구단계에 있는 0.57Pb(Sc<sub>1/2</sub> Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-0.43PbTiO<sub>3</sub>세라믹스에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가하여 유전체 및 압전특성의 진동 레벨 특성을 조사하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

2.1.1 시료제작

0.57PSN-0.43PT 조성의 원료분말로는 PbO(99.9%), Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99.9%), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(99.9%), TiO<sub>2</sub>(99+%)을 이용하였다. 첨가물로는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99+%), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(99.9%), MnO<sub>2</sub>(99+%)을 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9wt%로 각각 첨가하였다. 시료의 제작은 우선 분말을 조합한후 PE병내에 지르코니아 볼로 24시간 습식혼합하였다. 건조한 혼합분말을 850℃에서 2시간 가소하

2.1.2 측정

소결체의 밀도는 아르키메데스법에 의해 측정하였다. 미세구조의 관찰은 원판시료의 파단면을 다이아몬드 미립자로 연마후, 염산으로 에칭하여 주사형 전자현미경(SEM)에 의해 행하였다. 각 조성에 대한 유전상수와 유전손의 온도 의존성은 25~300℃의 범위에서 온도를 변화시키며 항온항습조 중에서 LCR 메타(SR715)를 이용하여 측정하였다. D-E 히스테리시스의 관찰은 Saw-Tower회로를 이용하여 0.1Hz의 삼각파를 인가하여 행하였다. 압전정수의 측정은 30℃ 항온조중에서 벡터 임피던스 분석기(HP-4192A)를 이용하여 공진 반공진법에 의해 행하였다. 진동레벨 특성은 제동요량 보상형 회로를 이용한 정전류 구동법에 의해 진동자의 진동 속도 v<sub>0</sub>를 결정하였다. 진동자의 공진시의 온도상승 ΔT는 진동용력이 최대가 되는 진동부분에 열전대를 접촉시켜 온도가 정상상태로 도달한후에 측정하였다. 그림 1은 진동속도를 구하기 위한 자동측정 시스템의 블록도를 나타내었다.

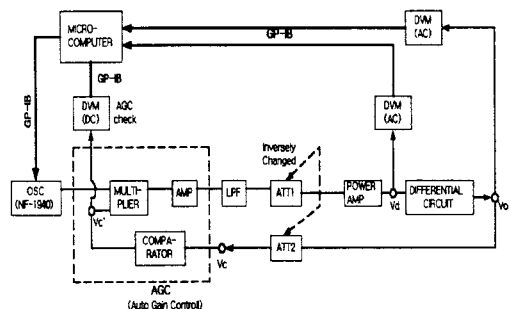


그림 1. 자동측정 시스템  
 Fig. 1 Automatic measurement system

2.2 실험결과 및 고찰

(1-x)PSN-xPT 조성의 온도에 따른 상경계를 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 0.425 ≤ x ≤ 0.45의 범위에서 양면체정계와 정방정계가 보이고 있다. 따라서, 본

연구에서는 상경계 부근의 조성인 0.57PSN-0.43PT 조성을 선택하여  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 를 각각의 첨가량 (0~0.9wt%)에 대해 유전 및 압전특성을 연구하였다.

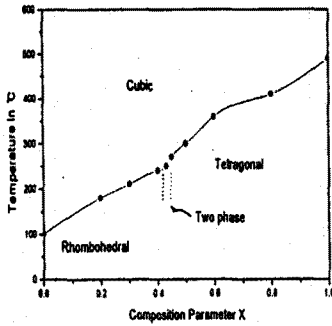


그림 2.  $(1-x)\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$  시스템에 있어서의 x에 대한 상전이 온도 관계  
Fig. 2 Phase transition temperature vs. x for the  $(1-x)\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$  system

그림 3에서는 각 조성에 대한 소결체의 밀도를 나타내었다. 1250°C에서 소결한 시편에서는 이론 밀도의 96% 이상의 값을 나타내었다. 첨가물의 증가에 따라서 균질한 결정립에 의한 높은 밀도를 나타내지만, 과잉 첨가에 의한 액상 형성과 입자성장으로 감소하는 것으로 나타났다.

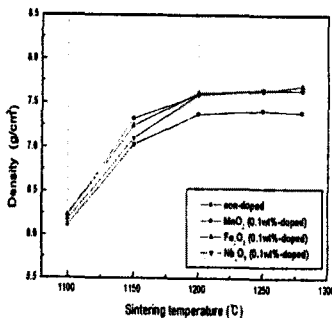


그림 3. 소결 온도별 밀도  
Fig. 3 Density of Sintering Temperature

그림 4은 온도에 대한 첨가물의 유전상수와 유전손실을 나타낸다.

우선, 0.57PSN-0.43PT의 큐리점은 271.5°C로 최대 유전상수가 33000을 나타내었다. 이것은 Maruyama의 결과와 같은 경향을 나타내었다. 또,  $\text{MnO}_2$ 가 0.1wt% 첨가한 경우는 큐리점이 270°C에서 최대의 유전상수인 31316을 나타내었고,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 경우는 0.1wt% 첨가에서 큐리점이 265°C로 최대 유전상수는 34039을 나타내었다.  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 의 경우는 0.1wt% 첨가에 큐리점이 260°C로 최대 유전상수는 30806을 나타내었다. 이와 같이, 각각의 첨가물에 있어 전형적인 강유전특성을 나타내었다. 특히,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 의 경우는 첨가물의 증가에 따라서 완화형 유전체의 특성을 보였다.

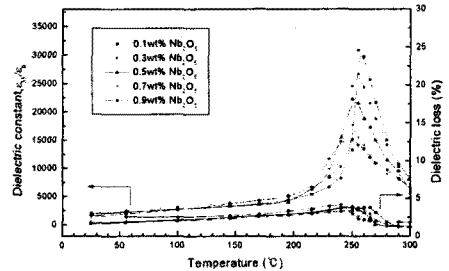
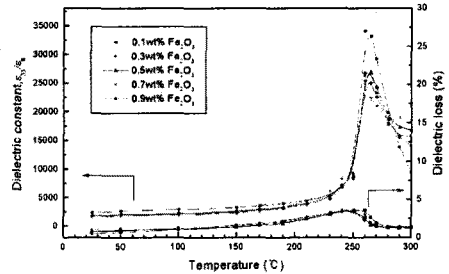
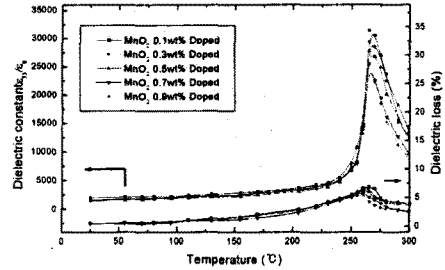


그림 4. 도판트 첨가량에 따른 유전상수와 유전손실의 온도의존성

Fig. 4 Temperature dependence of the dielectric constant and dielectric loss as a function of dopant addition

상온에서의 유전손실은  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 를 첨가한 세라믹스에서 최소값을 나타내었다. 유전손실이 최대가 되는 온도가 존재하는 것은 강유전상에서 상유전상으로의 전이가 원인으로 생각된다. 또, 큐리 온도 이상에서 온도가 증가함에 따라 유전분산이 일어나는데, 이것은 첨가량의 증가로 유전체손이 증가하는 것으로 생각되어진다. 즉,  $T > T_c$ 에서 최대 분산특성을 나타내는 유전체손은 전자전도의 이온전도가 증가하는 것이 원인인 것으로 유추된다.

그림 5에서 기계적 품질계수  $Q_m$ 의 변화를 나타내었다. 0.5wt%의  $\text{MnO}_2$ 에서 기계적 품질계수  $Q_m$ 은 273의 최대치를 나타내었고, 전기기계 결합계수  $k_p$ 는 60%가 되어  $k_p$ 가 최대치를 나타내는  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 보다 약간 감소하지만,  $Q_m$ 은 크게 증가하는 것이 확인되었다. 이것은 액셀터의 첨가에 의해 산소 공극자점을 일으켜, 이 산소 공극자점에 의해 단위셀의 왜곡과 수축이  $Q_m$ 의 증가에 기인하는 것으로 생각되어진다.<sup>5)</sup> 즉, 액셀터의 첨가에 의한  $Q_m$ 값의 증가로  $d_{33}$ 와  $k_p$ 값이 감소하는 것으로 생각된다.

그림 6은 각 조성에서  $Q_m$ 값이 높은 조성을 선택하여 고효율 특성(진동레벨 특성)을 비교하여 나타내었다.

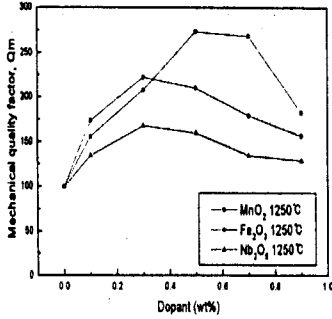


그림 5. 도펀트 첨가량에 따른 0.57PSN-0.43PT세라믹스의 기계적 품질계수

Fig.5 Mechanical quality factor of 0.57PSN-0.43 PT ceramics as a function of dopant addition

여기에서 진동속도  $v_0$ 는 다음식으로부터 결정되어진다.

$$v_0 = \sqrt{2\pi f_0 U_m}$$

( $U_m$ : 공진시 진동자의 진동진폭,  $f_0$ : 공진주파수)

진동레벨의 증대와 함께 발열량도 증대한다. 여기에서 진동자의 발열의 주된 원인이 진동손실에 있다는 것이 보고 되어지고 있다.<sup>6)</sup> 또한, 진동레벨이 어느 일정치에 도달하면 입력 전기 에너지의 대부분이 열에너지로 발산되어짐에 의해 진동레벨을 그 이상으로 크게하는 것이 불가능하게 된다. 그러한 이유로 진동손실을 감소시키기 위한  $Q_m$ 값이 큰 재료가 필요하다.

본 연구에서도  $Q_m$ 이 최대를 나타내는 0.5wt%의  $MnO_2$ 에서 진동속도에 따른  $\Delta T$ 가 최소가 됨을 알수 있다. 이상의 결과에서 0.5wt%의  $MnO_2$ 를 첨가한 0.57PSN-0.43PT의 조성에서 압전특성이 약간 감소하지만, 최대 기계적 품질계수와 최소 진동손실을 나타내었다.

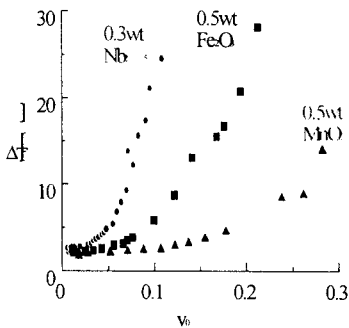


그림 6. 0.57PSN-0.43PT에 0.3wt% $Nb_2O_5$ , 0.5wt%  $Fe_2O_3$ , 0.5wt% $MnO_2$ 를 첨가할때의 진동속도에 대한 온도 증가도

Fig. 6 Temperature rise vs. vibration velocity for 0.57PSN-0.43PT doped with 0.3wt%  $Nb_2O_5$ , 0.5wt% $Fe_2O_3$  and 0.5wt% $MnO_2$

2성분계 세라믹스에서 상경계 근처의  $0.57Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})O_3-0.43PbTiO_3$ 조성을 이용한 세라믹스에  $MnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Nb_2O_5$ 의 첨가량(0~0.9wt%)에 따른 유전 및 압전특성과 진동레벨 의존성에 대해 조사하였다.

1. 1250°C에서 소결한 성형체의 밀도는 이론밀도의 96%이상의 값을 나타내었다.
2. 전기기계 결합계수  $k_p$ 는 0.5wt%의  $Nb_2O_5$ 를 첨가한 경우에 61.5%의 최대치를 나타내었고 0.5wt%의  $MnO_2$ , 0.5wt%의  $Fe_2O_3$ 를 첨가한 경우에는 약간 감소하였다.
3. 기계적 품질계수  $Q_m$ 은 0.5wt%의  $MnO_2$ 에서  $Nb_2O_5$ 보다 큰 값을 나타내었다.
4. 진동레벨 특성은 각 첨가물에 의존하고 있고  $MnO_2$ 을 0.5wt%첨가한 조성에서 발열이 최소가 됨을 알수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] S. Ueha and Y. Tomikawa, "Ultra sonic Motors -Theory and Applications", Oxford, New York, 1993.
- [2] S. Takahashi, "Ferroelectric Ceramics", eds. N. Setter and E. L. Colla, Birkhauser Verlag, Basel, p. 249 1993.
- [3] R. B. Atkin et al., "Point defects and sintering of lead zirconate-titanate," J. Am. Ceram. Soc., Vol. 54, No. 5, pp. 265-270, 1971
- [4] Y. Yamashita, "Piezoelectric properties of Ni-doped  $Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})_{1-x}Ti_xO_3$  ceramics material the morphotropic phase boundary," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 8, pp. 4652-4656, 1994
- [5] H. Ouchi et al., J. Am. Ceram. Soc., Vol. 49, No. 11, pp. 577-582, 1966.
- [6] S. Takahashi and S. Hirose, "Vibration-Level Characteristics of Lead-Zirconate-Titanate Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, No. 9B, pp. 3055-3057, 1992

### 3. 결 론