

PNST세라믹스의 유전 및 변형특성에 관한 연구

A Study on the Dielectric and Strain Properties of PNSNT Ceramics

김진수, 이덕출**

(Jin-Soo Kim, Duck-Chool Lee)

Abstract

The solid solutions of the $Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})_{0.57}Ti_{0.43}O_3$ system were prepared. In the PNSNT system, it had been known that two-phase region between the rhombohedral and tetragonal phases was observed between 0.425 of PT at room temperature. In this paper, Fe_2O_3 -doped 0.57PSN-0.43PT composition was prepared by conventional method. The dielectric and strain properties were examined using an computerized measuring apparatus, and the resonance characteristics were measured using an impedance gain phase analyzer. We got the data of dielectric constant, dielectric loss, piezoelectric coefficient, piezoelectric voltage coefficient, frequency constant, strain constant, mechanical quality factor and electromechanical coupling factor.

1. 서 론

압전 특성이 우수한 2성분계 세라믹스로는 PZT, PZN-PT, PMN-PT 등에 대하여 주로 많은 연구가 되어 왔으나, $Pb(Sc_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ 재료에 $PbTiO_3$ 를 고용시킨 PNSNT 2성분계에 대한 연구 논문은 최근에 몇 편 발표되었다. PSN은 페로브스카이트 구조를 갖는 전형적인 relaxor ferroelectrics이며 큐리 온도는 약 $90^\circ C$ 정도임이 G. A. Smolenskii 등에 의하여 1958년 최초로 발표 되었다[1]. 이어서 Tennery 등은 1968년에 PSN에 $PbTiO_3$

를 고용시킨 PNSNT에 대한 논문을 발표하였는데[2], rhombohedral과 tetragonal 상이 분리되는 MPB는 42.5 mol%의 PT 부근임을 알아냈다. 이 상경계 부근에서의 큐리 온도는 $260^\circ C$ 정도로 높게 나타남도 연구 발표하였다. 그리고 1993년에 Y. Yamashita는 상경계 부근에서의 PNSNT 조성에 niobium을 첨가하여 압전 특성을 조사하였다[3]. 또한 scandium을 첨가하였을때와의 강유전 특성 과도 비교한 결과를 발표하였다[4]. 뒤이어 1994년 M.Adachi 등은 two-step calcining 방법으로 PNSNT를 제조하여 압전 및 유전 특성 등에 대하여 연구하였다[5].

따라서, 본 연구에서는 MPB 부근에서의 PNSNT 2성분계 조성에 Fe_2O_3 를 wt%별로 doping 하였을때의 유전, 압전 및 strain 특

* 한국교원대학교 기술교육과 조교수
(충북 청원군 강내면 다락리 산7번지
jskim@cc.knue.ac.kr)

** 인하대학교 전기공학과 교수

성 등에 대하여 연구한 결과이다.

2. 실험 방법

시편을 제조하게 위하여 사용한 raw materials은 PbO , Sc_2O_3 , Nb_2O_5 , TiO_2 이며 $Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})_{0.57}Ti_{0.43}O_3$ 의 조성이 되도록 혼합한 후, Fe_2O_3 를 $PNST+xFe_2O_3$ ($x=0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$)와 같은 중량별로 첨가하여 6종류의 시편을 준비하였다. 일반적인 산화물 혼합법에 의하여 ball-milling하여, $150^\circ C$ 에서 건조시킨 후, $850^\circ C$ 에서 2시간 동안 calcining한 후, $1\text{ton}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 forming하여, $600^\circ C$ 에서 binder를 burn-out시킨 후, $1250^\circ C$ 에서 sintering하였다. 시편의 양면에 전극 처리 후, $120^\circ C$ 에서 $2.5\text{kV}/\text{mm}$ 의 직류 전계를 15분 동안 가하여 poling하였다. 준비된 시편의 크기는 두께 0.84mm 이고 직경 12.9mm 의 디스크형으로 하였으며, LCR meter 등을 사용하여 유전 상수와 유전 손실 값을 측정하였고, 압전 계수, 전압 계수, 주파수 상수, 전기기계결합계수, 기계적품질계수 등을 구하였으며, S-E loop를 측정하기 위하여 DSP lock-in 증폭기, 고전압 DC 증폭기, IBM PC 등을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

PSNT 2성분계의 각 조성에 따른 MPB와 상전이 온도와의 관계를 나타낸 것은 Tenner의 논문에서 있다[2]. 그리고 온도 조절기와 LCR meter 및 PC를 사용하여 특정한 시편의 각 조성별로 온도에 따른 유전 상수의 변화는 이미 발표한 논문에서[6] 설명을 하였는데, 큐리 온도는 $270^\circ C$ 부근으로 나타났으며 측정 주파수가 증가함에 따라 유전 상수는 감소하는 전형적인 강유전 특성을 나타내었다.

그림 1은 PSNT 조성에 Fe_2O_3 의 첨가량에 따른 분극 전과 분극 후의 유전 상수 값을

나타낸 것이다. 분극 전보다 분극 후의 유전 상수 값이 증가하였으며, Fe_2O_3 가 $0.1\text{wt}\%$ 첨가 되었을때 유전 상수 값은 2551로 가장 큰 값을 나타냈다. 그 이후의 첨가량부터 감소하는 이유는 Fe원자의 첨가에 의한 acceptor 효과 때문에 유전 상수가 감소하는 것이라 생각된다.

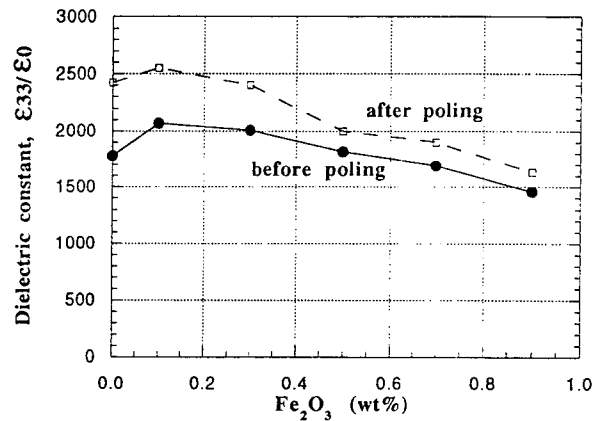


Fig 1. Dielectric constant before and after poling in Fe_2O_3 -doped PSNT ceramics

그림 2는 PSNT 조성에 Fe_2O_3 의 첨가량에 따른 분극 전과 분극 후의 유전 손실 값을 나타낸 것이다. 분극 전보다 분극 후의 유전 손실 값이 감소하였으며, Fe_2O_3 가 $0.3\text{wt}\%$ 첨

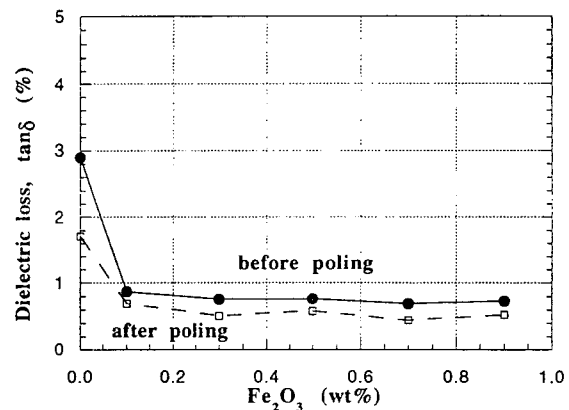


Fig 2. Dielectric loss before and after poling in Fe_2O_3 -doped PSNT ceramics

가 되었을 때 유전 손실 값은 0.51%로 매우 낮게 나타났다. 그 이유는 donar dopant인 Nb_2O_5 첨가시는 유전 손실이 증가하는 반면에 acceptor dopant인 Fe_2O_3 첨가시는 유전 손실이 감소하는 것으로 생각된다.

그림 3은 PSNT 조성에 Fe_2O_3 의 첨가량에 따른 압전 계수 d_{33} 와 전압 계수 g_{33} 값을 나타낸 것이다. Fe_2O_3 의 첨가량이 증가함에 따라 d_{33} 값은 감소하였는데, 0.1wt%의 Fe_2O_3 가 첨가 되었을 때 390 [pC/N]으로 가장 높은 값을 나타냈다. 전압계수 g_{33} 는 반대로 Fe_2O_3 의 첨가량이 증가함에 따라 약간씩 증가하였는데 0.5wt%의 Fe_2O_3 가 첨가되었을 때 $20.6 [10^{-3}V_m/N]$ 이 되었다.

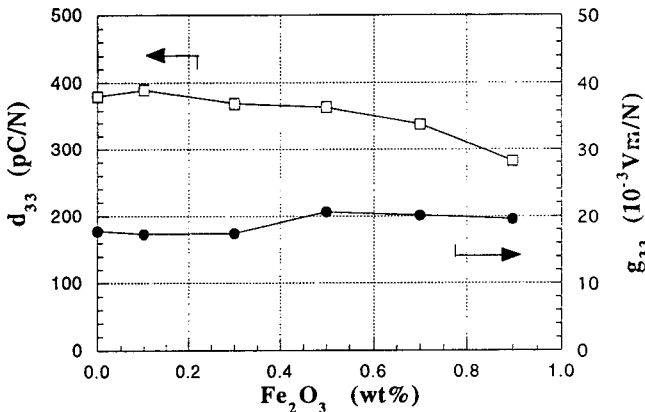


Fig 3. Piezoelectric coefficient d_{33} and piezoelectric voltage coefficient g_{33} in Fe_2O_3 -doped PSNT ceramics

그림 4는 PSNT 조성에 Fe_2O_3 의 첨가량에 따른 전기기계결합계수 k_p , k_t , 기계적품질계수 Q_m 값을 나타낸 것이다.

경방향의 전기기계결합계수 k_p 는 Fe_2O_3 가 0.3wt% 첨가되었을 때 57.7%로 가장 높게 나타났으며, 기계적품질계수 Q_m 은 296.9로 나타났다.

그림 5는 PSNT 조성에 Fe_2O_3 의 첨가량에 따른 시편에 대하여 인가 전기에 따른 변형 (strain) 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보

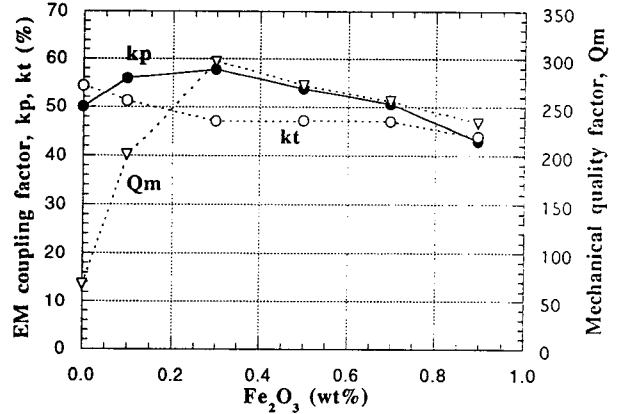


Fig.4. Mechanical quality factor Q_m , electromechanical coupling factor k_p , k_t in Fe_2O_3 -doped PSNT ceramics

는 바와 같이 0.1wt%의 Fe_2O_3 가 첨가되었을 때 가장 큰 strain값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

2성분계인 $Pb(Sc_{0.5}Nb_{0.5})_{0.57}Ti_{10.43}O_3$ 조성에 Fe_2O_3 를 wt%별로 첨가하여 유전, 압전 및 변형 특성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 분극 후의 시편의 유전 상수는 0.1wt% 첨가시 최대 2551이 되었고, 유전 손실은 0.3wt% 첨가시 최소 0.51%가 되었다. 압전 계수 d_{33} 는 0.1wt% 첨가시 390[pC/N]이었고, 전압계수 g_{33} 는 0.3wt% 첨가시 $20.6 \times 10^{-3} V_m/N$ 으로 가장 높게 나타났다. 기계적품질계수 Q_m 은 0.3wt% 첨가시 최대 296.9가 되었고, 전기기계결합계수 k_p 는 최대 57.7%가 되었다. S-E 루프에서 0.1wt%의 Fe_2O_3 가 첨가시 strain이 가장 크게 나타났다.

참고문헌

- G.A.Smolenskii et al., Sov. Phys. Solid State, 1, 150, (1958)
- V.J.Tennery, JACS, 51, 12, 671-674 (1968)

3. Y. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys. 33, 8, 4652-4656 (1994)
4. Y. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys. 32, 11A, 5036-5040 (1993)
5. M. Adachi *et al.* Jpn J. Appl. Phys. 33, 9B, 5420-5422 (1994)
6. 김진수 외, 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문, 149-152 (1997)

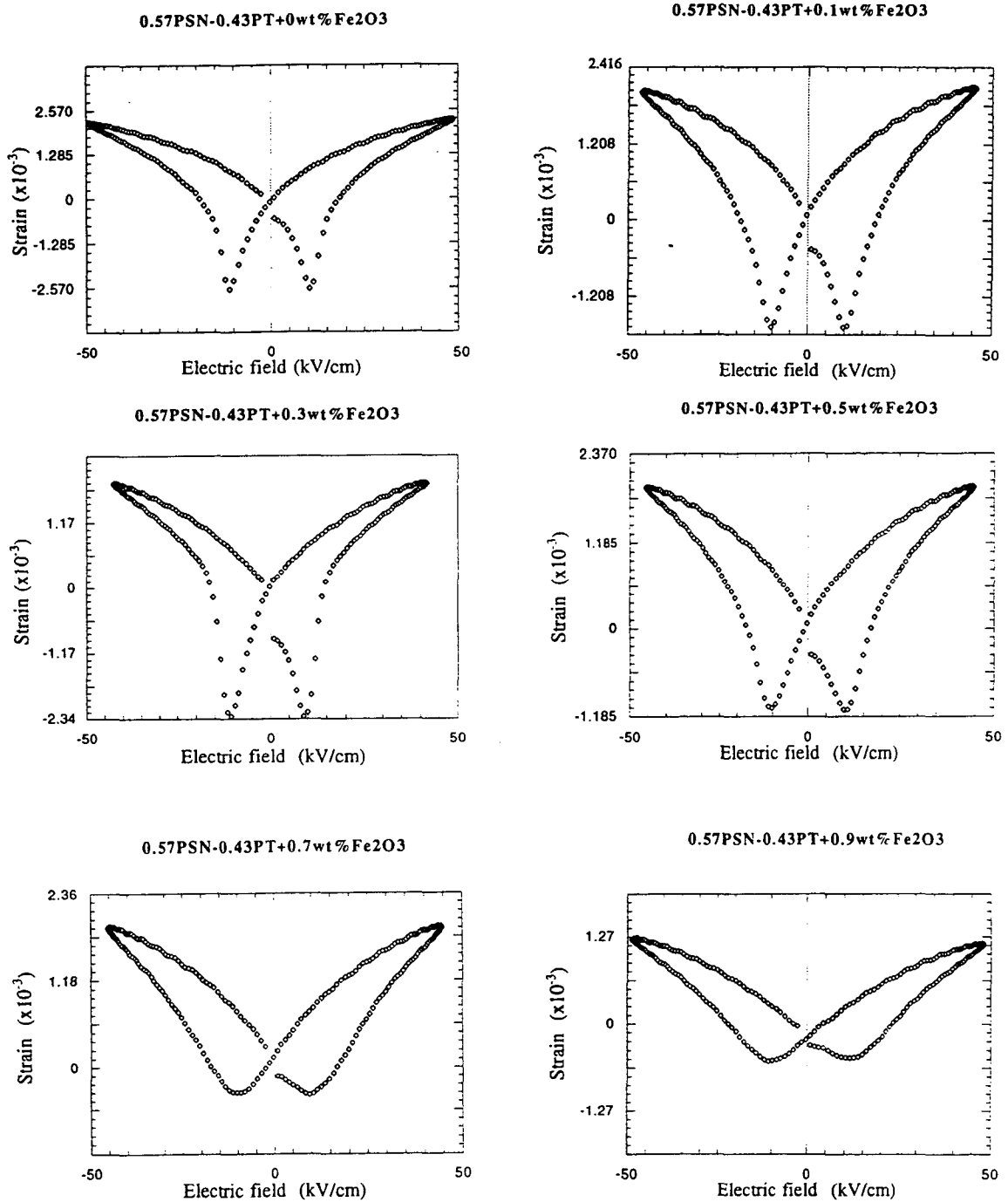


Fig.5. The S-E loops in Fe₂O₃-doped PSNT ceramics