

Ba 치환된 PMN-PT-PZ계 세라믹스의 압전 및 변위특성

지승한* · 이농헌* · 박광현** · 박종국** · 이덕출***
*경원대 · **삼척산업대 · ***인하대

A Study on Piezoelectric and Strain Properties Using PMN-PT-PZ Ceramics with Ba Substitution

Seung-han Ji* · Neung-Heon Lee* · Kwang-Hyun Park** · Chong-Gook Park** · Deok-Chool Lee***
*Kyung Won Univ · **Sam-Cheok Industrial Univ · ***Inha Univ

Abstract

Piezoelectric Actuator samples were fabricated using PMN-PT-PZ ceramics with Barium substitution, and the strain properties of them were investigated. The largest Piezoelectric coefficient and electro-mechanical coupling coefficient were observed at the sintering temperature 1250°C, Barium 5mol%. In the case of Multilayered specimens, they showed considerable strain and small hysteresis than single round type.

I. 서론

최근 광학, 천문학 또는 정밀 가공등의 분야에서 서브 마이크로 정도의 정밀도로서 광로 길이 및 위치를 조정하는 미소 변위 제어소자에 대한 요구가 집중하고있다.¹⁾

현재 미소 변위 소자로 각광 받고 있는 것중의 하나가 세라믹 압전 액츄에이터이다. 이것은 압전체의 전왜 효과를 이용해서 전기 에너지를 기계에너지로 변환하여 부하의 운동을 전기적으로 제어하는 디바이스로 고속, 고정밀도의 제어가 가능하며 낮은 소비 전력 및 저잡음 등의 특성을 갖추고 있다.²⁾ 압전 액츄에이터 재료는 우선 압전 d정수가 큰 것이 요구되는데, 이를 위해서는 전기기계결합계수가 크고 비유전율이 큰 재료가 요망 된다. 그래서 요즘은 조성변태상경계(morphotropic phase boundary, MPB)부근에서 유전성 및 압전성이 최대가 된다는 사실에 입각하여³⁾ 용도에 따라서 기본 조성을 선택할수 있고 여러가지 특성을 변화시키기 용이하며 조성변태상경계가 넓다는 장점을 지닌 3성분계 압전 세라믹스가 많이 이용되고 있다.⁴⁾ 본 연구에서는 압전 액츄에이터 재료로서 위의 조건들에 부합된다고 생각되는 3성분계 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$ 조성 세라믹스에 상온에서의 유전율과 전기기계결합계수 값을 높이는 효과를 가진 Ba를 Pb자리에 치환시켜 시편을 제조한 후, 시편의 유전 및 압전특성을 측정 분

석한 다음 압전 액츄에이터를 제작하여 압전 액츄에이터 재료로서의 응용 가능성을 조사하였다.

II. 실험 방법

2-1. 시편의 제작

본 실험에서는 PMN-PT-PZ세라믹스의 상태로 부터 전기적 특성이 우수한 조성변태상경계 부근의 조성을 선택하였다. 이때 조성식 0.375PMN-0.370PT-0.255PZ에 소량의 Ba를 Pb에 치환하였으며, 치환량은 각각 0, 2.5, 5, 7.5 mol%로 변화시켰다. 물성 측정용 시편은 일반 소성법을 사용하여 하소까지 마친 분말을 알루미늄 유발에 넣어 분쇄한 후 원통형 금형($\phi 12mm$)에서 0.7[gr]씩 넣어 1[ton/cm²]의 압력으로 성형 하였다. 소결은 1200~1280 °C에서 1시간동안 행하였으며, 이후에 전극 처리를 하여, 100°C의 Silicon oil 내에서 3KV/mm의 전계를 가하여 분극 처리하였다. 적층형의 제작 공정도는 그림 1에 나타내었다. 본 실험에서는 적층형제작에 있어 Tape Casting에 의한 Dr. Blade법을 이용하였다. 적층형은 하소까지 끝난 분말을 표준망체(#170)를 통해 입도를 균일하게 한 후 binder를 첨가시켜 24시간 불 밀링하였다. 그후 deairing을 한 다음 Dr. Blade법을 이용하여 시트를 뽑았다. Silk Screen법으로 내부 전극 Pt를 도포하여 Cutting 한 후 적층하였다. 적층된 시편을 3중 도가니에 넣은 후 분위기 분말을 사용하여 1250°C에서 소결시켰다. 소결체는 Silver Paste로 외부 전극 도포후 80°C의 Silicon oil 내에서 3KV/mm의 전계를 5분간 가하며 분극 처리 하였다.

2-2. 측정

분극 처리된 시편을 LCR-meter를 사용하여 외부용역 T=0에서의 비유전상수 ϵ_r 을 구했으며, 전기기계결합계수와 기계적품질계수는 IRE. 규정에 따라 정전압 회로를 이용하여 공진 주파수와 반공진 주파수를 측정한 후 ω 가 1이

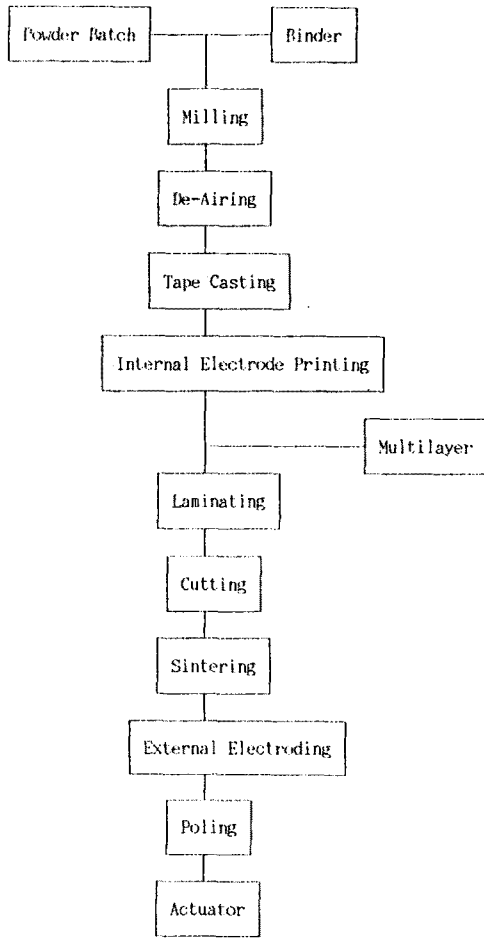


그림 1 적층형의 제조 공정도

한 근사식을 이용하여 계산하였다. 압전계수는 Piezo d_{33} meter를 사용하여 주파수 100Hz, 압력 0.3 Newton에서 측정하였다. 변위 특성 측정은 polyimid foil strain gauge를 이용하였으며, 변위를 Dynamic strain amp.로 검출하여 X-Y recoder 로 나타냈다.

III. 실험 결과 및 고찰

3-1. 유전 및 압전 특성

표 1은 소결온도 1250°C에서 Ba의 치환량에 따른 유전 및 압전특성을 나타내었다. Ba 5mol%이내에서는 첨가량이 증가할수록 비유전 상수도 비례하여 증가함을 알수있다. 이는 첨가량이 증가 할수록 결정립내부의 기공 및 미 반응 물질등이 fluxing effect에 의해 이동도가 커져 결정입계 층으로 이동함에 따라 고유전상의 균질한 결정립을 형성하기 때문이라 생각된다. 전기기계결합계수는 Ba 5mol%일때 0.55로 가장크게 나타났으며, 이에 비례하여 압전계수도 증가 하였다.

표 1. Ba 치환량에 따른 유전 및 압전특성(1250°C)

Ba 치환량 (mol%)	유전상수 (ϵ_r)	유전손실 ($\tan \delta$)	Kp	d_{33} (10^{-12} C/N)	Q_m
0	1700.4	0.020	0.40	366	242.8
2.5	1779.7	0.023	0.39	402	221.3
5	3121	0.021	0.55	500	58.7
7.5	2600	0.029	0.39	410	80.19

표 2는 Ba 5mol%치환된 시편의 소결온도에 따른 유전 및 압전특성을 나타내었다. 소결온도의 증가에 따라 그래인 (강유전상 성분)크기의 증가로 인해 비유전 상수도 비례적으로 증가함을 보였다. 압전계수는 1250°C일때 500×10^{-12} C/N의 비교적 큰 값을 나타내었다.

표 2. 소결온도에 따른 유전 및 압전특성(Ba 5mol%)

소결온도 [°C]	유전상수 (ϵ_r)	유전손실 ($\tan \delta$)	Kp	d_{33} (10^{-12} C/N)	Q_m
1200	1900	0.03	0.48	150	82
1250	3420	0.023	0.55	500	58.7
1280	3800	0.022	0.54	490	58

3-2. 변위 특성

그림 2는 Ba 5mol%치환된 단판형에 D, C전계인가시 소결온도에 따른 변위특성을 표시하였다. 전계가 클수록 변위량이 크게 나타났으며, 그중 소결온도 1250°C에서 변위특성이 가장 크게 나타났다.

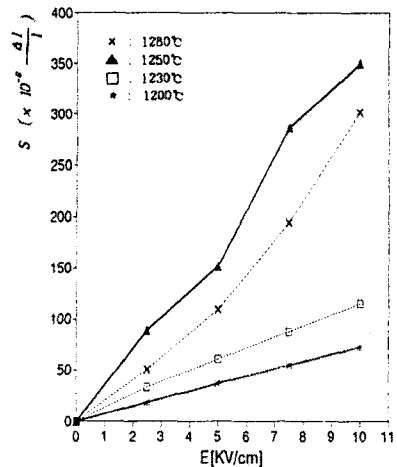


그림 2. 소결온도에 따른 변위특성

그림 3은 적층수 및 전압변화에 따른 변위특성을 나타내었다. 그림에서도 알수 있듯이 변위량이 적층수와 전압에 비례하여 증가함을 보였다.

그림4는 각각의 적층수에 대해 시편의 온도변화에 따른 변위특성을 나타내었다. 그림에서 보는것처럼 온도 변화에 따른 변위특성은 모든 시편에 있어서 온도변화에 별로 큰 영향은 받고 있지않음을 알 수있다.

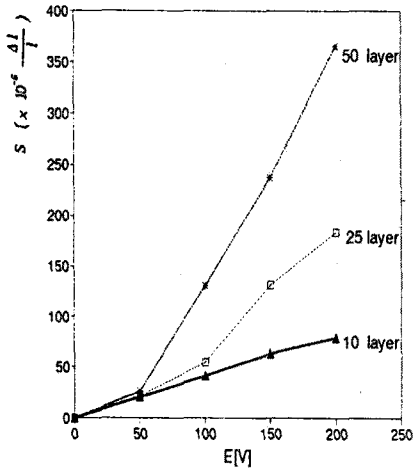


그림 3. 적층수에 따른 변위특성

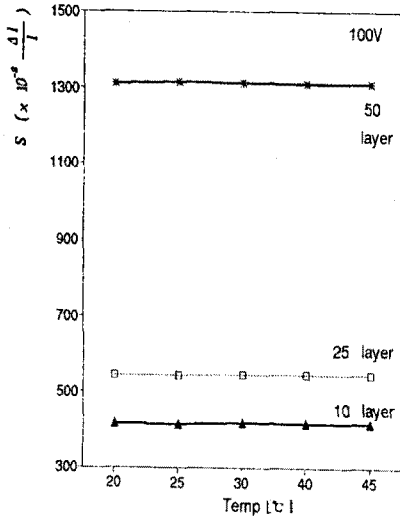


그림 4. 적층형의 온도에 따른 변위 특성

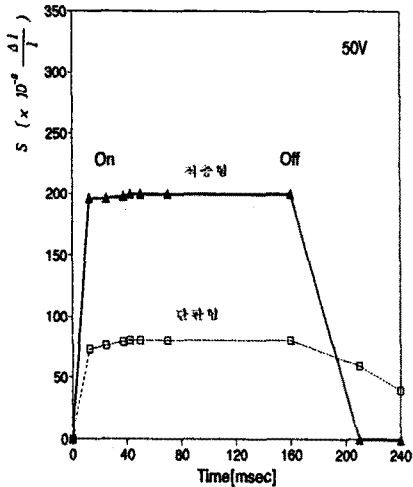


그림 5. 단판형과 적층형의 응답시간

그림5에는 단판형과 적층형(10층)시편에 있어서 인가전압의 on-off시 시간응답특성을 보였다. 시간 변화에 따라 단

판형과 적층형시편은 변위량의 변화없이 일정하였으며 단판형과 적층형 시편의 on-off시 응답속도에서 상승시간은 각각 37ms, 12ms로 적층형이 단판형보다 빠른 응답특성을 보였으며, 전압 off시 단판형의 경우에는 큰 잔류변위가 관측되었다.

V. 결론

본 연구에서는 0.375PMN-0.370PT-0.255PZ기본조성에 소량의 Ba을 Pb에 치환한 시편으로 유전 및 압전 특성을 조사하여 압전 액츄에이터 재료로서의 가능성을 조사하였다. 또한, 최적 소결조건을 선택하여 적층형 압전 액츄에이터를 제작하고, 그에 따른 변위특성 등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ba을 5mol%치환하고 소결온도를 1250℃로 하였을때 유전 및 압전특성이 가장 크게 관측되었다.
2. 단판형시편의 경우 소결온도 및 인가전계의 증가에 따라 변위량이 크게 관측되었고, 변위이력 현상 또한 크게 관측되었다.
3. 적층형시편의 경우 전압 및 적층수의 증가에 따라 변위량이 크게 관측되었으며 또한 변위이력현상이 작게 관측되었다.
4. 단판형과 적층형 시편 모두 온도특성이 양호 하였다.
5. 전압 on-off시의 시간응답특성은 적층형이 단판형보다 양호하였다.

참고 문헌

1. 内野研二: 壓電/電歪 アクチュエータ -基礎から応用まで-, 森北出版
2. 이농현, 이덕출: 압전 ACTUATOR와 그 응용, 대한 전기학회지, (1991)
3. M.Suga & M.Tsusuki: Jap. J. of Appl. phys., 23, (6), pp. 765-773 (1984)
4. P. J. Jorgensen & R. C. Anderson, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 50, No. 11, pp. 553-558, (1967)
5. 田中哲郎, 岡崎清: "壓電セラミックス材料" 學獻社 P.132-140 (1972)