

PZT-마이크로 변압기 제작과 특성 분석

The Fabrication and Characteristics of microtransformer using PZT-based ceramics

김철수, 김성곤, 박정호, 이상렬
(Cheol Su Kim, Seong Kon Kim, Jeong Ho Park, Sang Yeol Lee)

Abstract

A great deal of attention has been focused on the application of miniaturized piezoelectric transformers to the low power source for the microsystem. The dielectric and piezoelectric properties of $Pb(Mn,W,Sb,Nb)O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ ceramics have been investigated on different calcination(750°C~950°C) and sintering(1100°C~1300°C) temperatures. The perovskitic phase was formed by the solid phase reaction of the oxides. Anisotropic (k_t/k_p) properties of electromechanical coupling coefficient and piezoelectric coefficient have been proven to be depending on processing temperatures. The value of electromechanical coupling factor of $k_p > 0.51$ and a mechanical quality factor of $Q_m > 2000$ were obtained. The piezoelectric transformer was prepared using this ceramics with the composition of $Pb(Mn,W,Sb,Nb)O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$. We studied the influence of different processing temperature on the microstructure and piezoelectric properties of complex PZT-based ceramics. and the characteristic of piezoelectric transformer.

Key Words : PZT, Piezoelectric, Transformer, Tape casting, Microsystem

1. 서론

21세기 지식정보시대에 요구되는 미래첨단제품의 특성은 극소형, 고밀도, 대용량, 고속, 다기능, 저전력형으로 예상된다. 최근 기술선진국의 연구개발 역시 이러한 고부가가치 첨단제품의 경박 단소화 기술개발에 집중하고 있으며, 광기전 복합부품의 극소화를 통해 성능 및 가격 경쟁력의 향상은 물론 에너지와 자원의 경제적 활용을 동시에 추구하고 있다. 기존의 전력 공급용 전력 변화 회로인 인덕터, 변압기경우도 이러한 미래첨단제품의 특성에 있어 많은 문제점들을 가지고 있다. 기존의 권선형 변압기는 소형화할 경우 변환효율이 크게 저하되고 전자 노이즈의 발생으로 주변회로에 오동작을 일으키는 요인으로 작용하며 손실 증가로 고주파화가 곤란한 문제점을 지니고 있다. 이를 실현하기 가장 곤란한 것이 바로 코일부분으로써, 2개의 마주보는 코일로 구성되는 기존의 권선형 변압기는 소형화할 경우 변환효율이 크게 저하되고 전자 노이즈의 발생으로 주변회로에 오동작을 일으키는 요인으로 작용하며 손실 증

가로 고주파화가 곤란한 문제점을 지니고 있다.

이에 대해 최근 크게 주목되고 있는 압전 변압기는 (1-2) 압전 세라믹스의 에너지 변환특성을 이용하는 형식의 변압기로서, 장방형의 시편에 대해 1차측과 2차측의 dimension에 의존하여 승압비가 얻어진다. 특징으로는 소형으로 높은 승압비가 결정되고, 두께 2mm 이하의 박형으로 제작가능하며, 고주파수화가 가능하다. 이러한 장점 때문에 현재 형광등 및 노트북 LCD Backlight 구동의 변압기로 사용되고 있다.(3-5)

본 연구에서는 이런 압전변압기의 장점을 이용하여 마이크로 시스템에 사용할수 있는 소형의 전력회로를 만들고자 한다. 먼저 우수한 압전 특성을 조사하기 위하여 소결온도에 1100°C에서 1300°C까지 변화시켜 가며 압전특성을 관찰하였다. 이렇게 구한 최적의 조건을 가지고 마이크로 두께를 가지는 변압기를 제작하여 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 테스트 시편의 제작

압전 변압기용 재료로서는 기본적으로 높은 승압비를 발생시키기 위하여 전기 기계결합계수 k_{31} , k_{33} , 및 큐리 온도가 높으며 진동에 의해 자체 발열적고, 기계적 강

* 연세대학교 전기전자공학과
(서울시 서대문구 신촌동 134,
Fax: 02-392-4230
E-mail : wind@yonsei.ac.kr)

도가 높은 조성이 요구된다.(6) 이상의 조건을 만족시키는 압전 세라믹스를 제작하기 위하여 PZT를 기본 조성으로 하여 실험을 행하였다. 이때 조성의 상경계영역(MPB)을 결정하기 위해 전기로의 온도를 50℃씩 변화시켜가며 하소를 하였다. 각 원료분말을 10⁻³g 까지 정확하게 평량하였으며, 각각의 물질을 혼합 조성비에 맞춘 후 분류한 시료를 mixing bottle에 에탄올, 3φ, 5φ, 15φ ball과 함께 넣은후 24시간동안 ball-mill로 혼합 및 분쇄한다. 혼합, 분쇄된 시료를 110℃ oven속에서 24시간동안 완전히 건조시킨후 건조된 시료를 약사발에 담고 잘게 분쇄한 후 mesh로 걸러낸다. 걸러진 시료를 알루미늄 도가니속에 넣고 furnace에서 750℃~950℃에서 4시간 동안 하소시켰다. 소결시 샘플의 밀도를 높게 하기 위해서는 파우더의 크기가 작은 것이 우수하므로, 하소가 끝난 파우더를 다시 Ball milling을 48시간동안 하여 입자를 곱게 한다. 이후 바인더를 4wt%첨가하여 혼합한후 건조시키고, 건조시킨 파우더를 가지고 샘플을 만들기 위해 디스크형태의 몰더속에 파우더를 넣고 2 ton/cm²의 압력으로 pressing을 한다. 그리고, 성형된 시료를 전기로에 넣고 소결한다. 이때 온도는 1100℃~1300℃로 2시간동안 소결시킨다. 이렇게 소결시키면 15 mm 정도의 직경을 갖는 디스크 형태를 얻을수 있다. polishing machine을 이용하여 디스크형태의 샘플의 두께가 1mm가 되도록 연마한다. 형성된 sample을 초음파 세척기를 이용하여 세척을 하고, silk screen을 이용하여 압전체의 양쪽면을 silver로 전극 처리한다. hot-plate로 100℃, 10분 동안 건조시킨후, 전극처리된 sample을 furnace에 넣고 600℃, 30분 동안 소부시킨다. 시편을 분극하기 위해 110℃의 실리콘 오일속에서 3 kV/mm의 DC 전계를 30분간 인가하였으며 분극 완료후 24시간 경과된후 압전 및 유전특성을 측정하였다.

2.2 마이크로 변압기 제작

위에서 구한 최적의 조건을 가지고 기존의 테이프 캐스팅 방법을 이용하여 마이크로 두께를 가진 변압기를 제작하였다. 먼저 Slurry를 만들기 위해 파우더와 바인더를 62:38로 섞고 점도를 맞춘후, 닥터 브레이드 방법을 사용하여 70μm두께의 green sheet를 제작하였다. green sheet 3장을 적층하여 hot press 한후 600℃에서 4시간동안 burn out 한후 이것을 다시 1100℃에서 소결하였다. 그런후 표면을 곱게 연마한후 100μm두께의 변압기로 만든다. silver paste를 사용하여 전극을 형성한후에 3 kV/mm의 DC 전계를 30분간 인가하여 분극처리하였다. 변압기의 특성을 관찰하고 임피던스 어널라이저로(HP4015) 공진피크를 관찰하고 입력전압에 따른 출력 전압을 관찰하였다.

3. 실험 결과

먼저 조성의 MPB영역을 관찰하기 위해 하소 온도를 750℃에서 950℃까지 변화 시켜가면서 XRD로 그림 1, 2와 같이 온도 변화에 따른 XRD 피크의 이동을 관찰하였다. XRD 모양을 보면 45도 부근의 능면체정상의(200)면과 정방정상의(002), (200) 면에 대한 피크를 분석하여 상경계(MPB)영역을 알수 있다, 분리된 피크를 나타낼때는 정방정상이 우세한 결정구조로 볼 수 있으며, 분리된 피크가 하나로 중첩됨에 따라 능면체상으로 전이되며 능면체상과 정방정상이 공존하는 조성변태 상경계(MPB)영역 조성을 이루고 있음을 알수 있다. 관찰한 결과 850℃에서pyroclore상이 없는 피크를 관찰할수 있었으며, 가장 상경계(MPB)영역에 피크가 위치함을 알수 있었다

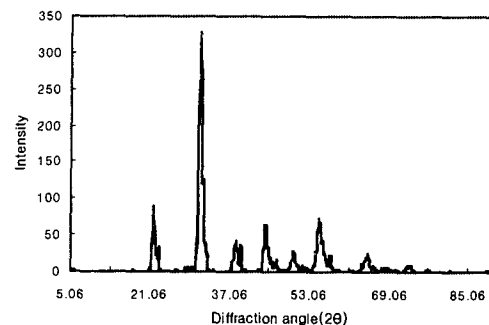


그림 1. 800℃에서 하소한 파우더의 X선 회절

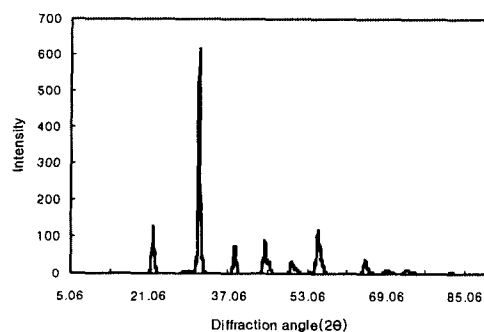


그림 2. 850℃에서 하소한 파우더의 X선 회절

그리하여 850℃에서 4시간동안 하소한 파우더를 가지고 소결온도에 따른 압전 및 전기적 특성을 관찰하고자. 소결온도를 1100℃에서 1130℃까지 50℃간격으로 변화시켜 가면서 압전 특성을 관찰 하였다. 또한 샘플표면의 구조적 특성을 관찰하고자 샘플의 표면을 곱게 연마한후 thermal 에칭을 하고 SEM 으로 관찰하였다. 그림

3에서~그림 7로 알수 있듯이 소결 온도가 증가할수록 그레인은 증가하였다. 그러나 온도가 높아 질수록 내부 기공이 많이 발생하는 것을 알수 있었다.

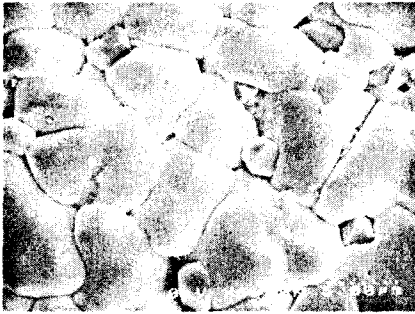


그림 3. 1100°C 소결

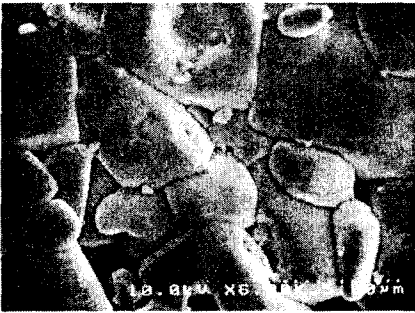


그림 4. 1150°C 소결

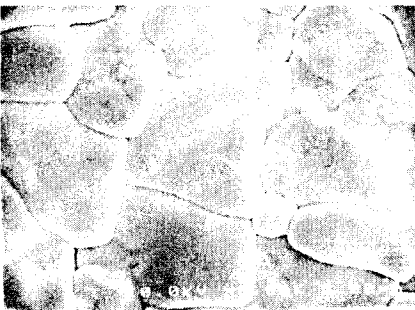


그림 5. 1200°C 소결

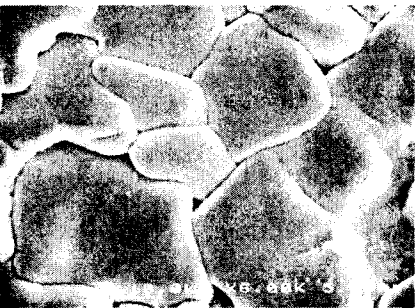


그림 6. 1250°C 소결

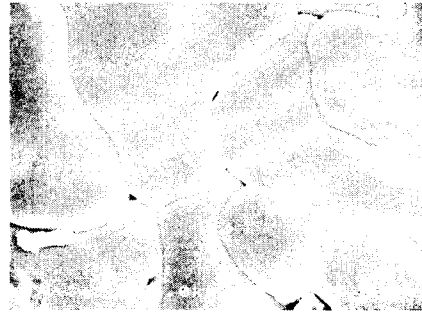


그림 7. 1300°C 소결

압전 세라믹의 전기적 특성 및 압전 특성을 관찰하기 위해 임피던스어널라이저를(HP 4025) 사용하였다. 그림 8에서 기계적 품질계수의 경우, 소결온도가 1200°C로 갈수록 점점 감소하다가 그이상이 되면 증가를 하였는데, 이는 샘플 내부의 PbO 휘발이 1200°C이하에서는 지배적이다가 그이상의 온도가 되면 그레인의 성장이 향상되어 PbO휘발 보다 우세하여졌기 때문인 것으로 사료된다. 전기기계결합계수는 1100°C에서 최대값을 나타내었지만 1100°C~1300°C 까지 거의 미세한 변화를 보였다.

표1. 소결온도에 따른 압전특성

	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C	1300°C
f_r (kHz)	162.06	170.00	167.00	162.00	161.38
R_o (Ω)	2.43	2.64	3.93	2.98	2.88
f_a (kHz)	181.88	190.00	190.68	185.00	182.31
C (nF)	0.954	0.999	0.778	0.993	0.933
Δf (kHz)	19.82	20.00	23.68	23.00	20.93
k_p	0.513	0.504	0.546	0.546	0.526
Q_m	2056.6	1780.0	1337.4	1423.3	1696.3

전기기계결합계수는 1200°C에서 0.55의 최대값을 가졌으나 다른 온도와 비교시 크게 차이가 나지는 않았으나, 소결온도의 경우는 1100°C일때 2,056의 값을 가졌다. 위의 결과로 가장 우수한 압전특성을 보이는 조건으로 1100°C를 들수 있다. 이는 전기기계결합계수에 비해 기계적 품질 계수가 다른 소결온도에 비해 1100°C에서 월등히 우수했기 때문이다. 최대값의 특성이 나온 1100°C에서의 공진주파수 f_r 은 162 kHz, 공진 저항 : 2.43 Ω , C : 0.954 nF, k_p : 0.513 이며 Q_m 2,056으로 나타났다.

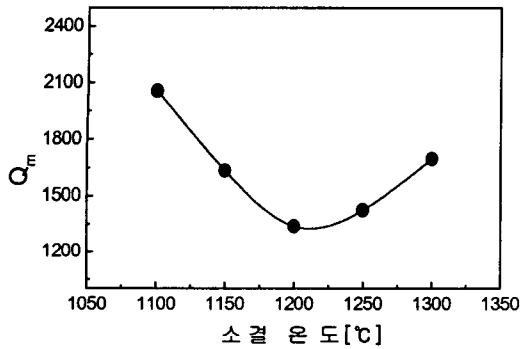


그림 8. 소결온도에 따른 기계적품질계수 Q_m

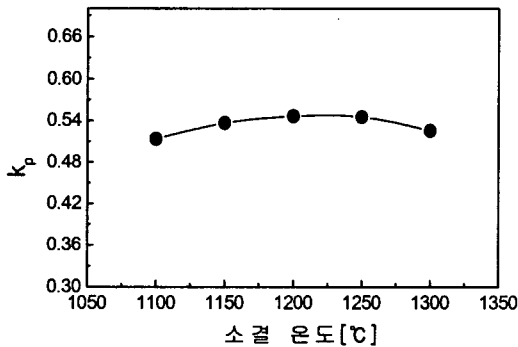


그림 9. 소결온도에 따른 전기기계결합계수 k_p

이렇게 구한 최적의 조건을 가지고 100 μ m 두께의 마이크로 변압기를 만들어 주파수 특성 및 승압특성을 관찰하였다. 그림 10은 제작한 변압기의 주파수 응답을 나타낸 그림이다.

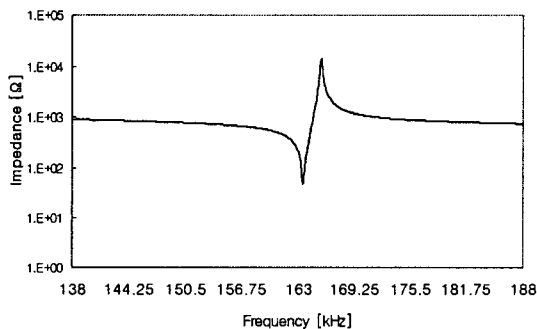


그림 10. 마이크로 두께를 가지는 변압기의 주파수에 따른 임피던스

이때의 공진 주파수는 f_r 은 163 kHz 였으며, 반공진 주파수 f_a 는 166 kHz였다. 공진주파수의 임피던스는 52 Ω 였다. 변압기의 승압 특성을 측정하고자, 입력 전압을 3V인가시 출력전압은 32V로 11배의 승압이 이루어졌다.

4. 결론

본 연구에서는 소결온도를 1100 $^{\circ}$ C에서 1300 $^{\circ}$ C까지 변화시켜가면서 이에 따른 압전 특성을 관찰하였다. 기계적 품질계수의 경우 소결온도에 따른 특성의 변화가 크게 일어났으나, 전기기계결합계수의 경우는 소결온도에 따라 미세한 변화만을 보였다. 소결온도가 1100 $^{\circ}$ C에서 기계적 품질 계수는 2056의 최대값을 가졌으며, 이때의 전기기계결합계수는 0.51의 값을 가졌다. 이렇게 구한 최적의 조건을 가지고 100 μ m 두께의 변압기를 제작하였다. 이때의 공진 주파수는 f_r 은 163 kHz 였으며, 반공진 주파수 f_a 는 166 kHz였다. 공진주파수의 임피던스는 52 Ω 였다. 변압기의 승압특성의 경우 11배의 승압이 이루어졌다.

감사의 글

본 내용은 과학기술부 21세기 프론티어개발사업 중 "지능형마이크로시스템개발사업단"의 연구비 지원을 받아 수행한 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] C. A. Rosen, "Ceramic Transformer and Filters", Proc. Electronic Comp. Symp., 205-211, 1956
- [2] A. X. Kuang, L. Y. Chai, G. H. Hu, S. N. Pan and T. S. Zhou. "Piezoelectric Ceramic Transformer High Voltage Power Supply", IEEE, Int. Symp. Appl. Ferroelectric., 6th, 689-692, 1986
- [3] J. H. Kim, D. Y. Han, and M. H. Nam, "Analysis of a Three Layered Piezoelectric Ceramic Transformer Filter", IEEE Trans. Circuit & Systems-I, Vol. 42. No. 6, 307-13, 1995
- [4] S. Hirose and H. Shimizu, "An Advanced Design of Piezoelectric Transformer for High Voltage Source", IEEE Ultrasonic Symposium Proc., Vol. 1, 471-75, 1989.
- [5] W. Wersing, M. Schnoeller, and H. Wahl, "Monolithic Multilayer Piezoelectric Ceramics", Ferroelectrics, Vol. 68, 145-56, 1986.
- [6] Wu, L., Liang, C. K. and Shieu, C. F., "Piezoelectric properties of (Pb, Sr)(Zr, Ti, Mn, Zn, Nb)O3 piezoelectric ceramics. J. Mat. Sci., 1991, 26, 4439-4444.