

PDA CCFL 구동을 위한 압전트랜스포머 용 PNW-PMN-PZT 세라믹스의 Nb₂O₅ 첨가에 따른 미세구조 및 압전특성

Effects of Nb₂O₅ Addition on Microstructure and Piezoelectric Characteristics of PNW-PMN-PZT Ceramics for Piezoelectric Transformer Driving PDA CCFL

류주현^{1,a}, 황락훈¹, 김철희¹, 오동언¹, 장은성¹, 정영호², 홍재일³

(Ju-Hyun Yoo^{1,a}, Lak-Hoon Hwang¹, Chul-Hee Kim¹, Dong-On Oh¹, Eun-Sung Jang¹,
Yeong-Ho Jeong², and Jae-Il Hong³)

Abstract

PNW-PMN-PZT ceramics were fabricated with the variations of Nb₂O₅ addition and their microstructural and piezoelectric characteristics were investigated. When the amount of Nb₂O₅ increased, grain size decreased gradually. At 0.3wt% Nb₂O₅ which is the same weight percent with Fe₂O₃, maximum tetragonality(c/a) and density were shown due to the complexed doping effects. Also, this composition that showed Q_m of 2,041, k_p of 0.55, grain size of 2.5μm and ε_r of 1704 were proper for high power application. Using this composition, Rosen-type piezoelectric transformer was fabricated as the size of 1×16×5mm³ and its electrical characteristics were investigated with the variations of load resistance and driving frequency. At the resistance of 200kΩ, maximum step-up ratio of 13.68 was shown. After driving PDA CCFL for 25 min using the inverter circuit, at driving frequency of 214.4kHz, input voltage of 31.78 V and input current of 21.1mA were measured at the input part of piezoelectric transformer. And then, output voltage of 293.2 V and output current of 2.2mA were shown at the output part of piezoelectric transformer. At the same time, efficiency of 96.2% and temperature rise of 3.6°C were appeared at the piezoelectric transformer.

Key Words : Nb₂O₅ addition, Piezoelectric transformer, Tetragonality

1. 서론

최근 들어, LCD Backlight용 인버터에 압전트랜스포머 채용이 확산됨에 따라 각 기업체, 연구소 및 학교에서 압전트랜스포머의 성능개선을 위하여 활발히 연구가 진행되고 있다[1,2].

압전트랜스포머는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이를 다시 기계적 에너지로 변환하는 소자로서 그 기계적 진동이 계속 반복되는 특징을 갖고 있기 때문에 압전특성에서 뛰어난 물론, 그레인 크기를 작게 하여 고 강도 특성이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 그레인 성장을 억제시키고, 압전특성을 향상시키기 위해서 첨가제인 Nb₂O₅를 기본 조성인 PNW-PMN-PZT에 첨가하여 그에 대한 미세 구조적, 유전, 압전 특성을 조사하여 압전트랜스포머 조성으로서 응용가능성을 조사하였다. 또한 우수한 특성을 보인 조성세라믹스를 이용하여 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 전기적 특성을 조사하고 압전트랜스포머를 채

1. 세명대학교 전기공학과
(충북 제천시 신월동 21-1)

2. 한전전력연구원
3. 동서울대학 전기공학과

a. Corresponding Author : juhyun57@semyung.ac.kr

접수일자 : 2003. 8. 11

1차 심사 : 2003. 9. 8

심사완료 : 2003. 11. 24

택한 인버터회로를 제작하여 PDA(personal digital assistants), CCFL(cold cathode fluorescent lamp)를 구동하여 응용가능성을 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험방법

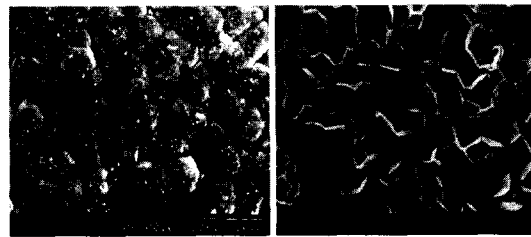
본 연구에서 사용한 조성식은 다음과 같다. $(Pb_{0.94}Sr_{0.06})[(Ni_{1/2}W_{1/2})_{0.02}(Mn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.07}(Zr_{0.51}Ti_{0.49})_{0.91}]O_3 + 0.5wt\%PbO + 0.3wt\%Fe_2O_3 + 0.25wt\%CeO_2 + Xwt\%Nb_2O_5$ (여기서, $X=0, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.3$).

조성에 따라 시료를 10^4g 까지 평량하여 아세톤을 분산매로 불빛에서 24시간 혼합 분쇄하였고, 건조 후 알루미늄 도가니로 오븐에서 $850^\circ C$ 에서 2시간 하소하였다. 하소 후 ball mill을 사용하여 24시간동안 재 분쇄하여 건조한 시료에 PVA(5wt% 수용액)를 첨가하여 $1,000[kg/cm^2]$ 의 압력으로 성형하였고, $1230^\circ C$ 에서 2시간 소결하였다. 특성 측정을 위해 두께 1mm로 연마해 Ag paste를 도포하고 $600^\circ C$ 에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편들은 $120^\circ C$ 실리콘유 속에서 $30[kV/cm]$ 의 전계를 인가하여 분극하였고, 24시간 후 특성을 측정하였다. 압전특성을 조사하기 위해 전기기계결합계수 및 기계적 품질계수 등을 IRE규정에 따라 Impedance Analyzer(HP 4294A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 산출하였다. 우수한 압전특성을 보인 조성을 사용하여 $1 \times 16 \times 5mm^3$ 의 크기를 가지는 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 부하저항 및 구동주파수에 따른 전기적 특성을 조사하였으며, 또한 0.6W급 PDA용 냉음극관($1.8mm\phi \times 67mm$)을 이전 연구에서 개발한 one-chip microprocessor, MOSFET, VCO 등으로 구성된 구동회로[3]를 사용하여 25분간 실제 구동시켜 그에 따른 전기적 특성을 조사하였다.

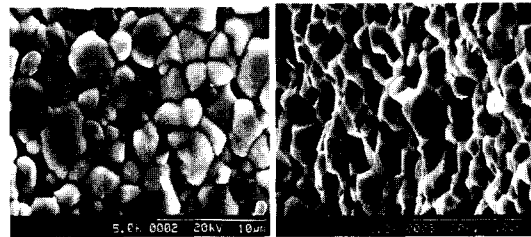
3. 결과 및 고찰

3.1 시편의 물성

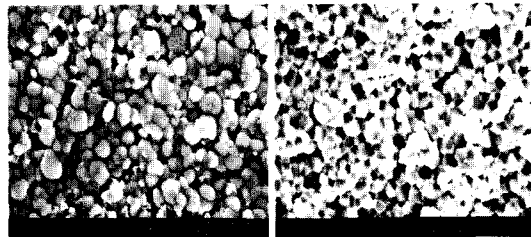
그림1은 Nb_2O_5 를 첨가함에 따른 미세구조로서, 첨가량이 증가함에 따라 그레인 크기가 점차 감소됨을 알 수 있었다. 표면과 파단면을 별도로 살펴 보았는데 일반적으로 표면보다 파단면의 그레인 크기가 작게 나타났다. 이는 표면에서 열적인 에너지가 다소 높기 때문으로 해석된다.



(a) 0 wt% Nb_2O_5 표면, 파단면



(b) 0.3 wt% Nb_2O_5 표면, 파단면



(c) 1 wt% Nb_2O_5 표면, 파단면

그림 1. Nb_2O_5 첨가에 따른 미세구조(SEM).

Fig. 1. Microstructure as a function of Nb_2O_5 addition.

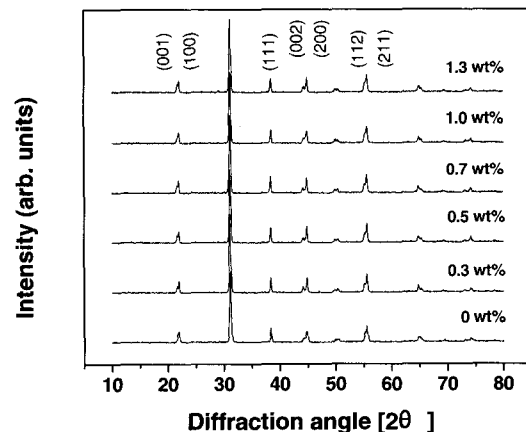


그림 2. Nb_2O_5 첨가에 따른 X선 회절모양(XRD).

Fig. 2. X-ray diffraction pattern as a function of Nb_2O_5 addition.

그림2는 Nb₂O₅첨가에 따른 X선 회절모양(XRD)을 나타낸 것이다. XRD 결과로부터 계산된 c/a 값은 표1에서 볼 수 있는 바와 같이 0.3wt%에서 c/a가 가장 크게 나타났다. 그림3은 첨가량에 따른 소결밀도를 나타낸 것으로서, 역시 0.3wt%에서 가장 높은 밀도를 얻었으며, 그보다 과잉 첨가 시에는 점차 밀도가 감소하게 나타났다.

순수한 Pb(ZrTi)O₃ 세라믹스는 PbO 휘발에 기인한 p type conductivity를 가지며, K, Fe와 같은 억셉터 불순물 첨가에 따라서 carrier 농도는 증가하는 반면 La, Ce, Nb와 같은 도너 불순물 첨가에 따라서는 carrier 농도는 감소한다. 순수한 Pb(ZrTi)O₃ 세라믹스에 Nb₂O₅ 첨가는 도너 불순물 첨가로 작용하여 Pb-vacancy를 유발하여 격자를 왜곡시켜 c/a값을 낮추고, carrier 농도 감소에 의한 비저항 증가로 분극효율 증대시켜 전기기계결합계수를 높이는 반면, 내부 바이어스 전계의 감소로 기계적 품질계수를 낮추는 작용을 하는 것으로 알려진바 있다[4,5].

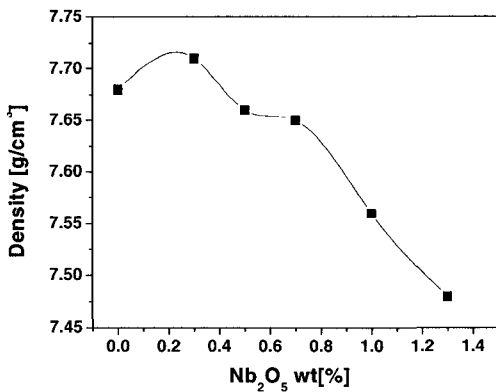


그림 3. Nb₂O₅첨가에 따른 밀도.
Fig. 3. Density as a function of Nb₂O₅ addition.

본 연구결과 그림 4, 5, 6에서 볼 수 있듯이 소량의 Nb₂O₅ 첨가 시, 유전상수, 전기기계결합계수, 품질계수가 개선된 결과가 나타났는데, 이러한 현상은 PZT계 세라믹스에 각각 억셉터, 도너로서 작용하는 Fe₂O₃와 Nb₂O₅를 단일과 복합 첨가한 Takahasi[6]의 실험에서 Fe₂O₃와 Nb₂O₅의 단독 첨가는 각각 억셉터, 도너로서 작용하였고, 같은 첨가 비율을 가지는 Fe₂O₃와 Nb₂O₅의 복합 첨가는 PZT 세라믹스의 유전 및 압전특성에 거의 영향을

미치지 않은 결과로 볼 때, Fe₂O₃와 같은 비율인 0.3wt% Nb₂O₅에서 Fe₂O₃, CeO₂, Nb₂O₅(억셉터+도너+도너)의 복합치환의 효과로 유전 및 압전특성이 peak를 보였으나 0.3wt% Nb₂O₅ 이후로는 과량의 첨가 및 복합첨가 효과의 감소로 압전특성이 감소한 것으로 여겨진다. 0~0.3wt% Nb₂O₅ 첨가 사이에서는 0.3wt%Fe₂O₃, 0.25wt%CeO₂와의 동일 첨가 비율에서 떨어져 복합첨가 효과가 감소할 것으로 사료되며, 또한 표 1에서 볼 수 있듯이 0~0.3wt% Nb₂O₅ 사이에서는 2.5 μ m보다 큰 입경을 가질 것으로 사료되어 고강도, 고출력 특성이 요구되는 압전트랜스포머로서는 적합하지 않을 것으로 사료된다.

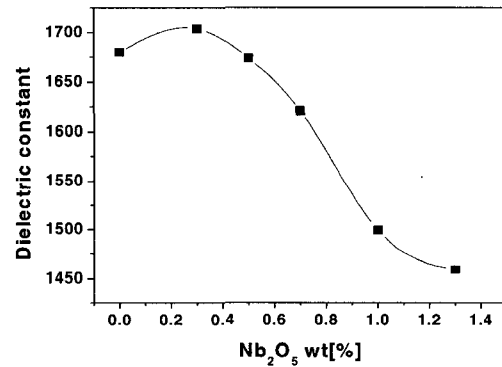


그림 4. Nb₂O₅첨가에 따른 유전상수.
Fig. 4. Dielectric constant with Nb₂O₅ addition at room temperature.

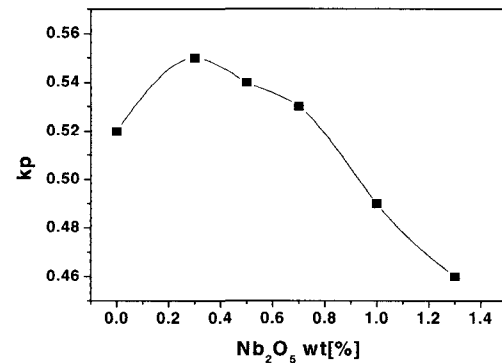


그림 5. Nb₂O₅첨가에 따른 전기기계 결합계수.
Fig. 5. Electromechanical coupling factor kp as a function of Nb₂O₅ addition.

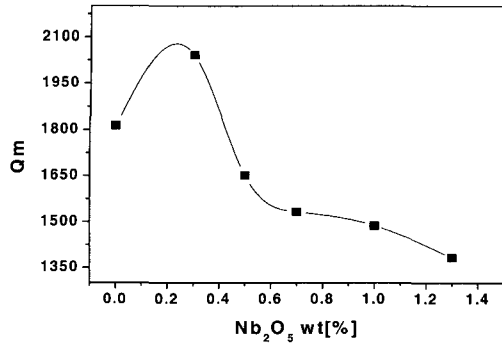


그림 6. Nb₂O₅첨가에 따른 기계적 품질계수.
Fig. 6. Mechanical quality factor(Qm) as a function of Nb₂O₅ addition.

앞으로 (역셉터+도너+도너), (역셉터+역셉터+도너)등의 복합첨가 효과를 조사할 예정이다. 위의 Nb₂O₅ 첨가에 따른 PNW-PMN-PZT 세라믹스의 특성 변화를 종합해보면, Nb₂O₅의 첨가량을 0, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.3wt%으로 증가시키에 따라서 grain size가 4.09->2.5->1.85->1.49->1.11-> 0.94 μ m로 크게 감소하는 반면, 압전특성은 다소 증가 후 감소하며, 0.7wt%의 Nb₂O₅ 이후로는 압전트랜스포머 조성으로 적용하기에 적합하지 못한 특성을 보이고 있다. 따라서, PDA용 CCFL 구동을 위한 압전트랜스포머에 적합한 높은 압전특성을 가지며 또한 고강도, 고효율의 fine ceramics의 관점으로 볼 때, 0, 0.3, 0.5, 0.7wt% Nb₂O₅ 첨가사이에서 가장 좋은 압전특성을 보이고, 2.5 μ m로 적당한 grain size를 가지는 0.3wt%첨가가 가장 우수하다 하겠다.

표 1. Nb₂O₅첨가에 따른 물성 및 압전특성.
Table 1. Physical and piezoelectric properties as a function of Nb₂O₅ content.

Nb ₂ O ₅ [%]	Density [g/cm ³]	Dielectric constant	kp	Qm	Grain size [μ m]	Tetra- gonality
0	7.68	1680	0.52	1814	4.09	1.0128
0.3	7.71	1704	0.55	2041	2.50	1.0161
0.5	7.66	1674	0.54	1651	1.85	1.0150
0.7	7.65	1621	0.53	1533	1.49	1.0139
1	7.56	1499	0.49	1488	1.11	1.0139
1.3	7.48	1459	0.46	1383	0.94	1.0128

3.2 압전트랜스포머 및 PDA CCFL 구동 특성
그림 7은 0.3wt% Nb₂O₅가 첨가된 조성을 사용

하여 1×16×5mm³의 크기의 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 부하저항 및 구동주파수에 따른 승압비를 나타낸 것이다. 그림 7에서 보여진 부하저항 및 주파수에 따른 승압비 특성에서 보여진 것처럼 일반적인 압전트랜스포머의 특성[7-9]과 부합하였으며, 부하저항 200k Ω 에서 13.68의 최대 승압비를 보였다. 또한, one-chip microprocessor, MOSFET, VCO, 압전트랜스포머 등으로 구성된 구동회로를 사용하여 실제 0.6W급 PDA CCFL을 25분 구동하였다. 이 때 구동 주파수 214.4kHz에서, 입력전압 31.78V, 입력전류 21.1mA, 출력전압 293.2V, 출력전류 2.2mA로 안정적으로 나타내었으며, 압전트랜스포머는 96.2%의 효율과 3.6 $^{\circ}$ C의 온도상승을 보였다. 그림 8은 인버터회로를 사용하여 PDA CCFL을 점등시킨 사진이다.

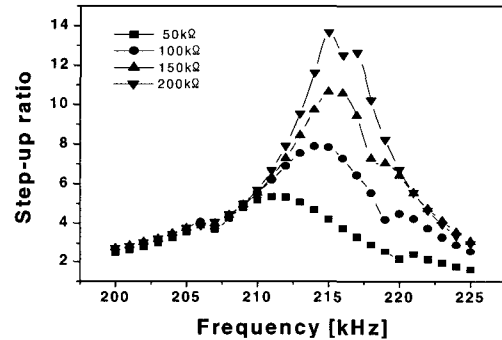


그림 7. 부하저항과 주파수에 따른 승압비.
Fig. 7. Step-up ratio as a function of load resistance and frequency.

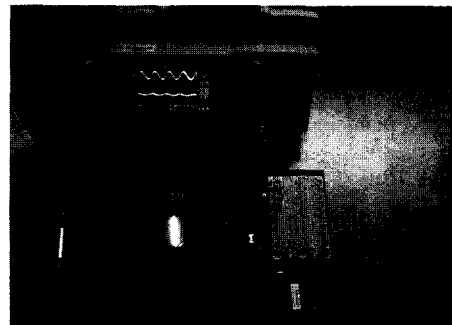


그림 8. 압전트랜스포머를 채택한 인버터에 의해 점등된 CCFL.
Fig. 8. The CCFL lamp lit by inverter manufactured using piezoelectric transformer.

4. 결론

본 연구에서는 PNW-PMN-PZT 조성 세라믹스에 Nb₂O₅를 첨가하여 첨가량에 따른 유전 및 압전 특성을 조사하였으며, 또한 1×16×5mm³의 크기의 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 전기적 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Nb₂O₅를 첨가함에 따라 그레인 크기가 점차 감소하였으며, 0.3wt% Nb₂O₅첨가에서 c/a가 가장 크게 나타났다.
2. Fe₂O₃와 같은 0.3wt% Nb₂O₅첨가에서 복합치환의 효과로 가장 높은 물성 및 압전특성을 보였으며, 이때 기계적 품질계수 2041, 전기기계결합계수 0.55, 그레인 크기 2.5μm, 유전상수 1704로서 압전트랜스포머용 조성으로서 가장 적합한 특성을 나타냈다.
3. 부하저항이 증가함에 따라 승압비는 점차 증가하였으며, 부하저항 200kΩ에서 13.68의 최대 승압비를 보였다.
6. one-chip microprocessor, MOSFET, VCO 압전트랜스포머 등으로 구성된 구동회로를 사용하여 0.6W급 PDA CCFL을 25분 동안 구동하였을 때 구동 주파수 214.4kHz에서, 입력전압 31.78V, 입력전류 21.1mA, 출력전압 293.2V, 출력전류 2.2mA를 안정적으로 나타내었으며, 압전트랜스포머는 96.2%의 효율과 3.6℃의 온도상승을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 산자부 에너지관리공단 학진 과제(Grant No: 2002-E-EL03-P-08-0-000-2003)로 이루어졌으며 에너지관리공단에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김중선, "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고출력 압전 트랜스포머의 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 4호, p. 286, 2000.
- [2] J. H. Yoo, S. K. Min, J. I. Hong, S. J. Suh, and S. C. Ur, "Microstructural and piezoelectric characteristics of PSN-PMN-PZT ceramics produced by attrition milling"

Trans. on EEM., Vol. 2, No. 3, p. 18, 2001.

- [3] L. H. Hwang, E. S. Jang, W. Y. Nam, J. H. Yoo, D. O. Oh, M. T. Cho, I. S. Ahn, and J. I. Hong, "Fabrication and Characteristics of PDA CCFL Driving Circuits for Piezoelectric Transformer using PNW-PMN-PZT Ceramics", The 20th meeting on FMA, 30-A-4, 2003.
- [4] B. Jaffe, W. R. Cook and H. Jaffe, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press London, p. 154, 1971.
- [5] Yuhuan Xu, "Ferroelectric Materials and Their Application", Elsevier Science Publishers, p. 135, 1991.
- [6] S. Takahashi, "Internal bias field effects in lead zirconate-titanate ceramics doped with multiple impurities", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 20, p. 95, 1981.
- [7] O. Ise, K. Satoh, and Y. Mamiya, "High power characteristics of piezoelectric ceramic in Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃-PbZrO₃ system", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, No. 9B, 1999.
- [8] J. H. Yoo, K. H. Yoon, S. M. Hwang, S. J. S, J. S. Kim, and C. S. Yoo, "Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp", Sensor and Actuators, Vol. A 2884, p. 1, 2001.
- [9] J. H. Yoo, K. H. Yoon, Y. W. Lee, S. J. S, J. S. Kim, and C. S. Yoo, "Electrical characteristics of the contour-vibration mode piezoelectric transformer with ring/dot electrode area ratio", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, No. 5A, 2000.