

## PDA CCFL 구동을 위한 압전트랜스포머 용 PNW-PMN-PZT 세라믹스의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가에 따른 미세구조 및 압전특성

### Effects of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Addition on Microstructure and Piezoelectric Characteristics of PNW-PMN-PZT Ceramics for Piezoelectric Transformer Driving PDA CCFL

류주현<sup>1,a</sup>, 황락훈<sup>1</sup>, 김철희<sup>1</sup>, 오동언<sup>1</sup>, 장은성<sup>1</sup>, 정영호<sup>2</sup>, 홍재일<sup>3</sup>  
(Ju-Hyun Yoo<sup>1,a</sup>, Lak-Hoon Hwang<sup>1</sup>, Chul-Hee Kim<sup>1</sup>, Dong-On Oh<sup>1</sup>, Eun-Sung Jang<sup>1</sup>,  
Yeong-Ho Jeong<sup>2</sup>, and Jae-Il Hong<sup>3</sup>)

#### Abstract

PNW-PMN-PZT ceramics were fabricated with the variations of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition and their microstructural and piezoelectric characteristics were investigated. When the amount of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> increased, grain size decreased gradually. At 0.3wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> which is the same weight percent with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, maximum tetragonality(c/a) and density were shown due to the complexed doping effects. Also, this composition that showed Q<sub>m</sub> of 2,041, k<sub>p</sub> of 0.55, grain size of 2.5 $\mu$ m and  $\epsilon_r$  of 1704 were proper for high power application. Using this composition, Rosen-type piezoelectric transformer was fabricated as the size of 1 $\times$ 16 $\times$ 5mm<sup>3</sup> and its electrical characteristics were investigated with the variations of load resistance and driving frequency. At the resistance of 200k $\Omega$ , 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 $^{\circ}$ C were appeared at the piezoelectric transformer.

**Key Words** : Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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].

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

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 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 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

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.  
 $(\text{Pb}_{0.94}\text{Sr}_{0.06})[(\text{Ni}_{1/2}\text{W}_{1/2})_{0.02}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.07}(\text{Zr}_{0.51}\text{Ti}_{0.49})_{0.91}]\text{O}_3 + 0.5\text{wt}\%\text{PbO} + 0.3\text{wt}\%\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.25\text{wt}\%\text{CeO}_2 + X\text{wt}\%\text{Nb}_2\text{O}_5$  (여기서,  $X=0, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.3$ ).

조성에 따라 시료를 10<sup>4</sup>g까지 평량하여 아세톤을 분산매로 불침에서 24시간 혼합 분쇄하였고, 건조 후 알루미늄 도가니로 오븐에서 850℃에서 2시간 하소하였다. 하소 후 ball mill을 사용하여 24시간동안 재 분쇄하여 건조한 시료에 PVA(5wt% 수용액)를 첨가하여 1,000[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였고, 1230℃에서 2시간 소결하였다. 특성 측정을 위해 두께 1mm로 연마해 Ag paste를 도포하고 600℃에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편들은 120℃ 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 1×16×5mm<sup>3</sup>의 크기를 가지는 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 부하 저항 및 구동주파수에 따른 전기적 특성을 조사하였으며, 또한 0.6W급 PDA용 냉음극관(1.8mmφ×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<sub>2</sub>O<sub>5</sub>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.

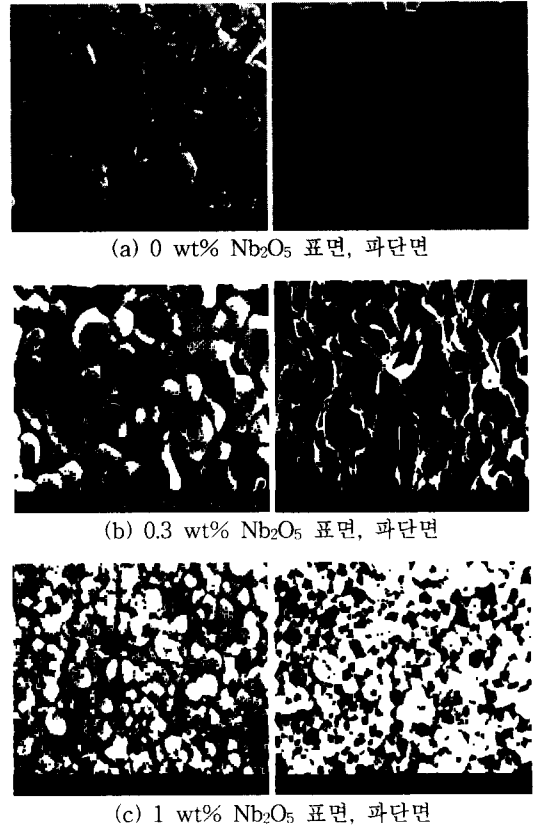


그림 1. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 미세구조(SEM).

Fig. 1. Microstructure as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition.

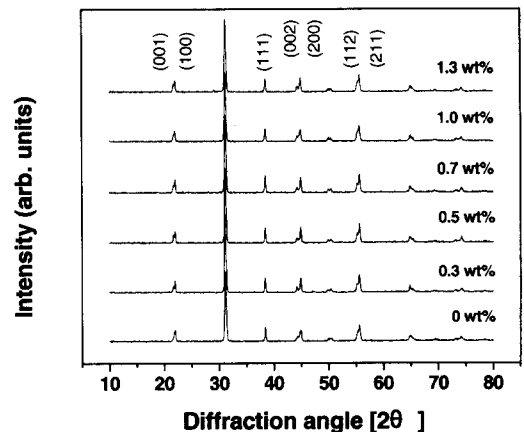


그림 2. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 X선 회절모양(XRD).

Fig. 2. X-ray diffraction pattern as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition.

그림2는 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 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)O<sub>3</sub> 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)O<sub>3</sub> 세라믹스에 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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].

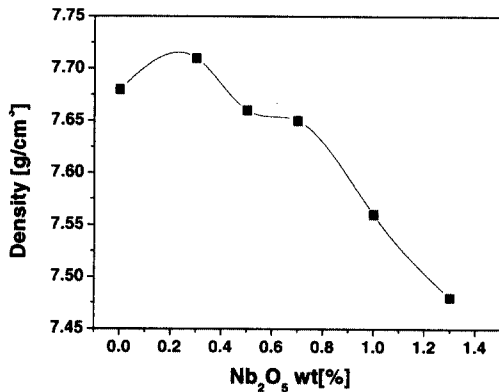


그림 3. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 밀도.  
Fig. 3. Density as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition.

본 연구결과 그림 4, 5, 6에서 볼 수 있듯이 소량의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가 시, 유전상수, 전기기계결합계수, 품질계수가 개선된 결과가 나타났는데, 이러한 현상은 PZT계 세라믹스에 각각 억셉터, 도너로서 작용하는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 단일과 복합 첨가한 Takahasi[6]의 실험에서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 단독 첨가는 각각 억셉터, 도너로서 작용하였고, 같은 첨가 비율을 가지는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 복합 첨가는 PZT 세라믹스의 유전 및 압전특성에 거의 영향을

미치지 않은 결과로 볼 때, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 비율인 0.3wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>에서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(억셉터+도너+도너)의 복합치환의 효과로 유전 및 압전특성이 peak를 보였으나 0.3wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 이후로는 과량의 첨가 및 복합첨가 효과의 감소로 압전특성이 감소한 것으로 여겨진다. 0~0.3wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가 사이에서는 0.3wt%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.25wt%CeO<sub>2</sub>와의 동일 첨가 비율에서 떨어져 복합첨가 효과가 감소할 것으로 사료되며, 또한 표 1에서 볼 수 있듯이 0~0.3wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 사이에서는 2.5 $\mu$ m보다 큰 입경을 가질 것으로 사료되어 고강도, 고출력 특성이 요구되는 압전트랜스포머로서는 적합하지 않을 것으로 사료된다.

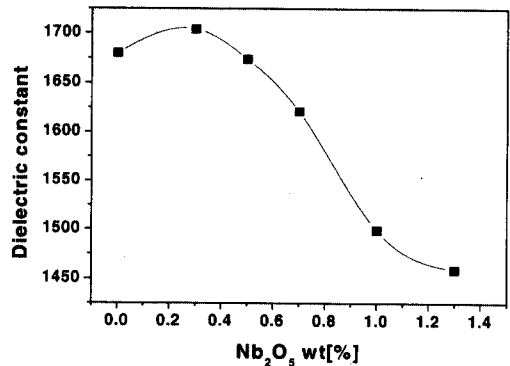


그림 4. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 유전상수.  
Fig. 4. Dielectric constant with Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition at room temperature.

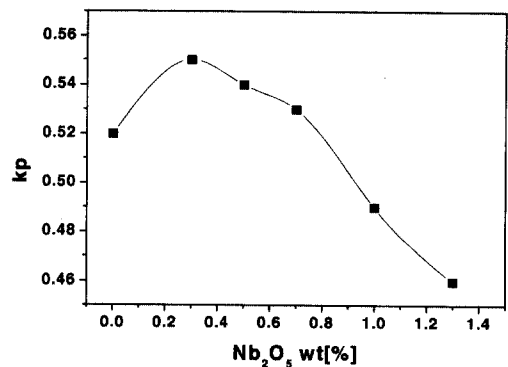


그림 5. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 전기기계 결합계수.  
Fig. 5. Electromechanical coupling factor kp as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition.

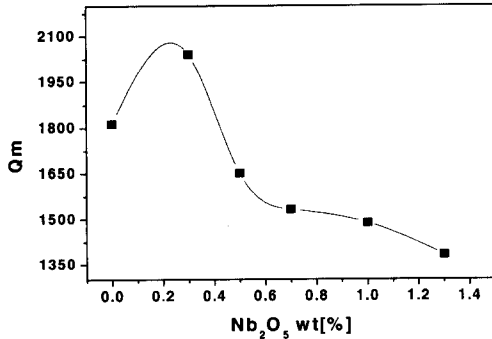


그림 6. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 기계적 품질계수.

Fig. 6. Mechanical quality factor(Q<sub>m</sub>) as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition.

앞으로 (억셉터+도너+도너), (억셉터+억셉터+도너)등의 복합첨가 효과를 조사할 예정이다. 위의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가에 따른 PNW-PMN-PZT 세라믹스의 특성 변화를 종합해보면, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 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 $\mu$ m로 크게 감소하는 반면, 압전특성은 다소 증가 후 감소하며, 0.7wt%의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 이후로는 압전트랜스포머 조성으로 적용하기에 적합하지 못한 특성을 보이고 있다. 따라서, PDA용 CCFL 구동을 위한 압전트랜스포머에 적합한 높은 압전특성을 가지며 또한 고강도, 고출력의 fine ceramics의 관점으로 볼 때, 0, 0.3, 0.5, 0.7wt% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가사이에서 가장 좋은 압전특성을 보이고, 2.5 $\mu$ m로 적당한 grain size를 가지는 0.3wt%첨가가 가장 우수하다 하겠다.

표 1. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>첨가에 따른 물성 및 압전특성.

Table 1. Physical and piezoelectric properties as a function of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content.

Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Dielectric constant	kp	Q <sub>m</sub>	Grain size [ $\mu$ m]	Tetragonality
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% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 첨가된 조성을 사용

하여 1×16×5mm<sup>3</sup>의 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 $\Omega$ 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.

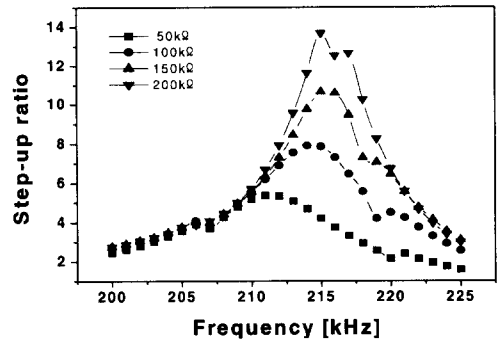


그림 7. 부하저항과 주파수에 따른 승압비.

Fig. 7. Step-up ratio as a function of load resistance and frequency.

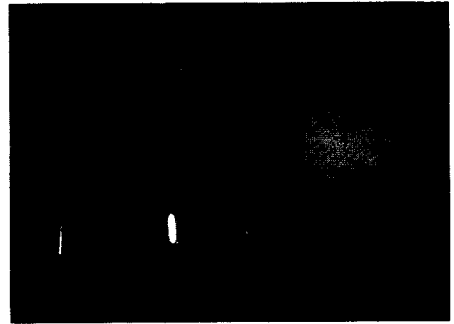


그림 8. 압전트랜스포머를 채택한 인버터에 의해 점등된 CCFL.

Fig. 8. The CCFL lamp lit by inverter manufactured using piezoelectric transformer.

#### 4. 결론

본 연구에서는 PNW-PMN-PZT 조성세라믹스에  $Nb_2O_5$ 를 첨가하여 첨가량에 따른 유전 및 압전 특성을 조사하였으며, 또한  $1 \times 16 \times 5 mm^3$ 의 크기의 Rosen형 압전트랜스포머로 제작하여 전기적 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $Nb_2O_5$ 를 첨가함에 따라 그레인 크기가 점차 감소하였으며, 0.3wt%  $Nb_2O_5$ 첨가에서 c/a가 가장 크게 나타났다.
2.  $Fe_2O_3$ 와 같은 0.3wt%  $Nb_2O_5$ 첨가에서 복합치환의 효과로 가장 높은 물질 및 압전특성을 보였으며, 이때 기계적 품질계수 2041, 전기기계결합계수 0.55, 그레인 크기  $2.5 \mu m$ , 유전상수 1704로서 압전트랜스포머용 조성으로서 가장 적합한 특성을 나타냈다.
3. 부하저항이 증가함에 따라 승압비는 점차 증가하였으며, 부하저항  $200 k\Omega$ 에서 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  $3.6^\circ C$ 의 온도상승을 보였다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선, "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고효율 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  $Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$  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.