〈기술논문〉 DOI:10.3795/KSME-B.2008.32.3.231

마이크로 압전변압기 제작 및 전기-기계적 특성 분석

김성곤* · 서영호** · 황경현* · 최두선†

(2007년 6월 28일 접수, 2007년 12월 5일 심사완료)

Fabrication and Electro-Mechanical Characteristic Analysis of Piezoelectric Micro-transformers

Seong Kon Kim, Young Ho Seo, Doo-Sun Choi and Kyung-Hyun Whang

Key Words : Piezoelectric Micro-Transformer(마이크로 압전변압기), PZT Thin Film(PZT 박막), MEMS, Energy Supply Device(에너지 공급 소자)

Abstract

For the applications which need a micro-power supply such as thin and flat displays, micro-robot, and micro-system, it is especially necessary to integrate the passive components because they typically need more than 2/3 of the space of the conventional circuit. Therefore, we have designed and fabricated a novel piezoelectric micro transformer using the PZT thin film and MEMS technologies for application to the energy supply device of the micro-systems. The dimensions of the micro-transformer is 1000 ㎛ × 400 ㎛ × 4.8 ㎛ (length × width × thickness). The dynamic displacement of around 9.2 ± 0.064 ㎛ was observed at 10 V. The dynamic displacement varied almost linearly with applied voltage. The average voltage gain (step-up ratio) was approximately 2.13 at the resonant frequency (F_r=8.006 KHz) and load resistance (R_L) of 1 MΩ.

1. 서 론

최근 크게 주목되고 있는 압전변압기[1]는 압전 세라믹스의 에너지 변환특성을 이용하는 형식의 변압기로서, Fig. 1과 같이 장방형의 시편에 대해 1차측(driving part)과 2차측(generating part)의 치수(dimension)에 의존하여 승압비(step up ratio)가 결정된다. 특징으로는 소형으로 높은 승압비를 얻을 수 있고, 박형으로 제작 가능하며 고주파수화가 가능하다. 이러한 장점 때문에 현재 형광등과 노트북 LCD backlight 구동의 변압기로 사용되고 있다. 또한 21 세기 지식정보시대에 요구되는 미래첨단제품들은 극소형, 고밀도, 대용량, 고속, 다기능, 저전력형으로 연구개발이 진행되고 있다. 이에 마이크로 시스템에 필요한 에너지를 공급하기 위해서는 기존의 압전변압기(bulk type, multilayer type)를 박막화하여 시스템에 집적시키는 것이 필요하다. 그러나 현재 마이크로 시스템에 공급되는 에너지가 macroscopic 소자에 의해 공급되고 있는데 이는 마이크로 시스템의 2/3 이상을 차지하고 있어[2] 에너지공급소자(energy supply device)의 초소형화 및 집적화가 절실히 필요한 실정이다.

† 책임저자, 회원, 한국기계연구원 나노공정장비연구센터
E-mail : choids@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7124 FAX : (042)868-7149
* 한국기계연구원 나노공정장비연구센터
** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부

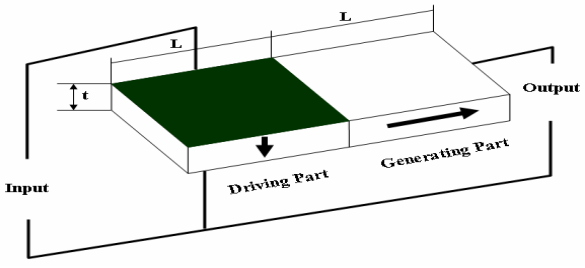

Fig. 1 The schematic view of the bulk type piezoelectric transformer

이에 마이크로 시스템이나 마이크로 엑추에이터의 크기와 비슷한 크기의 마이크로 에너지 공급소자(압전변압기)의 연구들이 수행[2] 되고 있으나 시스템에 적용하기 위해서는 소자의 변압 효율 개선 및 마이크로 시스템에 집적화 할 수 있는 소자 개발 및 공정 기술개선이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서 PZT 박막과 MEMS 기술을 이용하여 마이크로 시스템에 집적화 시킬 수 있는 고효율 마이크로 압전변압기를 설계 및 제작하여 전기 및 기계적 특성을 측정하였다.

2. 마이크로 압전변압기 설계 및 제작

박막형 마이크로 압전변압기는 벌크형 압전변압기의 변압원리[3,4]와 같으며 크기는 1000 ㎛ × 400 ㎛ × 4.8 ㎛ (length × width × thickness)로 설계되었다.

Figure 2에서 보여지는 것과 같이 구동부 (driving part)에 교류전압이 인가되면 소자의 공진 주파수에서 역압전효과에 의해 소자의 공진이 발생한다. 이때 발진부(generating part)에서는 소자의 진동에 의해 발생된 압전효과에 의해 출력단에 전압이 발생한다.

발진부의 상부 전극은 IDT(interdigitated electrode) 로 설계하였으며 이는 발진부에서 d_{33} 모드를 이용하여 큰 변위 및 고출력을 얻기 위해 설계하였다. IDT 전극의 폭과 갭은 각각 10 ㎛로 설계하였다.

Figure 2는 디자인된 마이크로 압전변압기의 개략도 이다. 제작공정은 Fig. 3과 같이 4 μm-top silicon 그리고 1μm-buried oxide를 가진 SOI 기판으로 제작되었다. 상부 및 하부 전극은 Pt (0.2 ㎛)를 스퍼터링 공정을 이용하여 증착하였고, PZT (0.4 ㎛)는 스핀 코팅 공정을 이용하여 증착하였다. 증착된 PZT 솔루션의 조성비는 52/48 (Zr/Ti)이고 600℃에서 결정화 시켰다. 상하부 전극(Pt)과 PZT 박막층은 건식식각 공정을 이용하여 패터닝 하였고 접합패드는 lift-off 공정을 이용하여 패터닝 하였다.

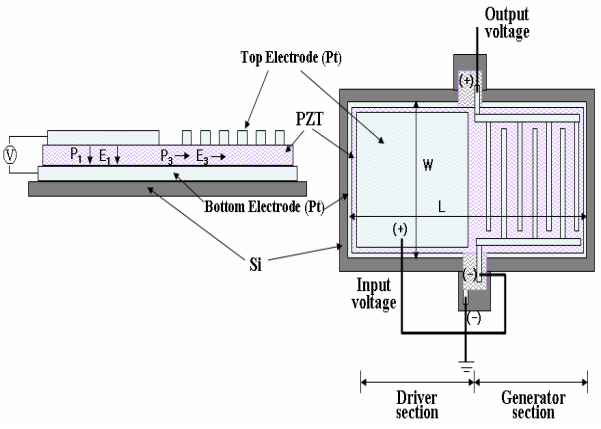

Fig. 2 The schematic view of the piezoelectric micro-transformer

또한 소자를 release 시키기 위해 handle silicon과 buried oxide layer를 DRIE 공정과 HF solution(BOE)를 이용하여 각각 제거하였다.

Figure 4는 증착된 PZT 박막의 히스테리시스 곡선(hysteresis loop)이다. PZT 박막의 잔류 분극(Pr)과 항전계(Ec)는 각각 10 μC/cm^{2}와 20 KV/cm로 측정되었다.

Figure 5는 제작된 마이크로 압전변압기의 SEM 사진이다. SEM 사진에서 보여지는 것과 같이 PZT 박막의 잔류응력으로 인해 소자의 양쪽 끝 단 부분이 휘어졌음을 확인 할 수 있었다.[5]

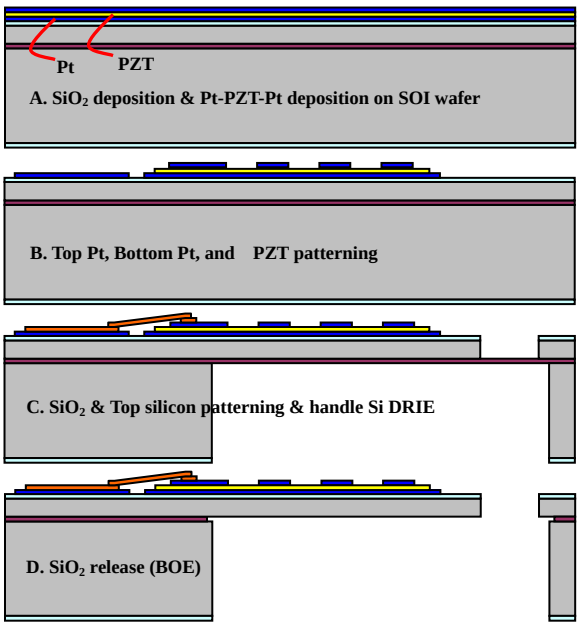

Fig. 3 Fabrication process of the piezoelectric micro-transformer

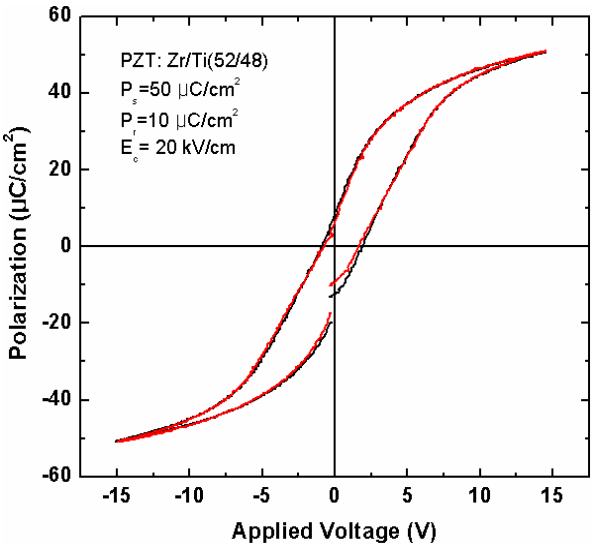

Fig. 4 Hysteresis loops of PZT thin films

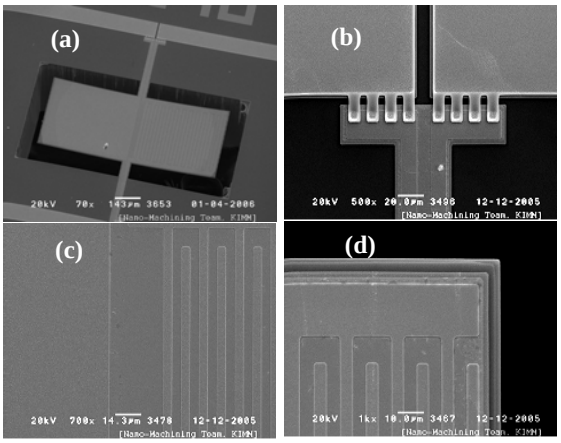

Fig. 5 SEM images of the fabricated micro-transformer: (a) Overall view; (b) Enlarged view of the PZT layer and contact pads; (c) Enlarged view of the center of the micro-transformer; (d) Enlarged view of the edge of the micro-transformer

3. 실험결과

PZT 박막의 잔류 응력에 의해 소자의 양쪽 끝단 부분의 초기변위량을 측정하기 위해 Fig. 6과 같이 laser interferometer(Zygo Inc.)를 이용하여 측정하였다. 구동부(driving part, Fig. 6(a))와 발진부[generating part, Fig. 6(b)]의 초기변위량은 각각 18.5 ㎛, 16.3 ㎛로 측정되었다.

이는 PZT를 박막으로 증착하고 최종 소자의 두께가 매우 얇기 때문에 PZT의 잔류 응력에 의한 휨 현상이 발생하였다, 그러나 잔류응력에 의한 휨 현상이 크지 안으며, 전기적 특성을 얻기 위해 소자에 공진 주파수를 인가하고 소자가 진동하는 현상을 이용하여 전압을 발생시키는 원리이기 때문에 잔류응력에 의해 소자의 작은 휨 현상은 소자의 전기적 특성 및 기계적 변위에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

Figure 7은 laser interferometer(Polytec Inc.)를 이용하여 제작된 소자의 구동부 변위를 측정한 결과이다. 정현파 100 Hz를 인가하고 인가 전압(applied voltage)을 변화 시켜가며 소자의 변위를 측정한 결과, 인가 전압에 따라 거의 선형적으로 변위가 증가함을 확인 할 수 있었다.

소자의 승압비는 소자의 기계적인 변위와 비례하기 때문에 변압기의 인가전압에 따라 변압기의 변위가 선형적으로 증가함은 곧 전압의 인가량에 따라 변위를 조절함으로써 승압비를 제어할 수 있다. 인가 전압이 10 V 일 때 최대 변위는 9.2 ± 0.064 ㎛로 측정되었다.

제작된 마이크로 압전변압기의 공진 주파수는 8.006 KHz로 측정 되었다. Figure 8은 주파수에

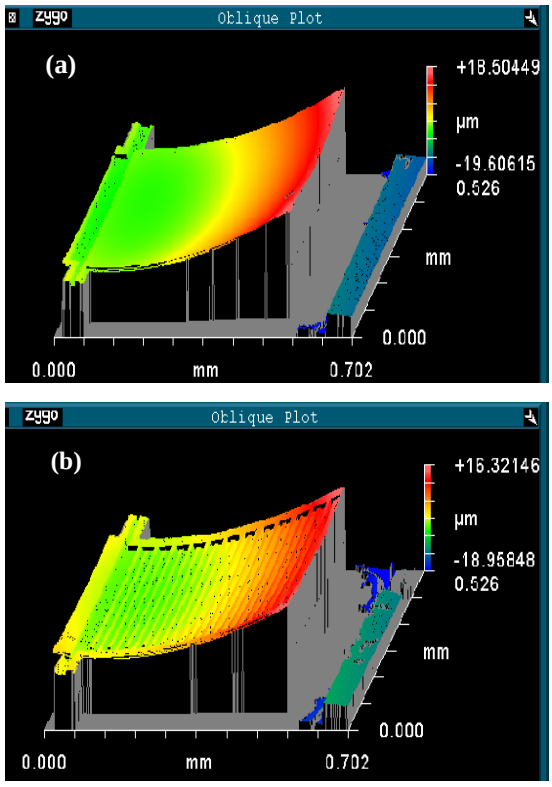

Fig. 6 The magnitude of the bending displacement of the micro-transformer measured using the laser interferometer (Zygo Inc.): (a) driving part (around 18.5 ㎛) and (b) generating part (around 16.3 ㎛)

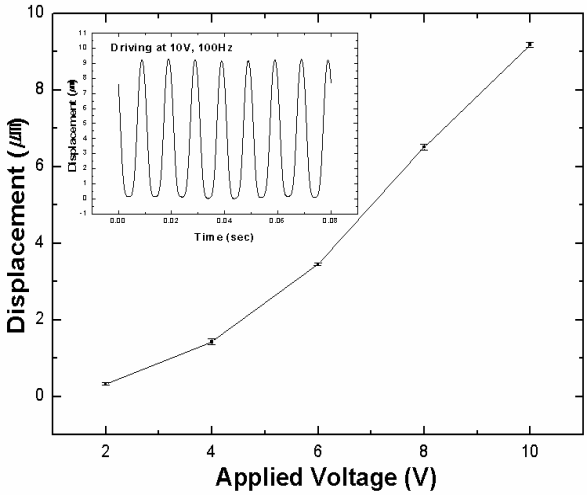

Fig. 7 The measured displacement of the driving part for varying voltage of 100 Hz driving signal. The insert presents displacement vs. time curve at 10 V

따른 마이크로 압전변압기의 승압비를 측정한 결과이다. 공진주파수에서 약 2.13배의 승압비를 얻었다.

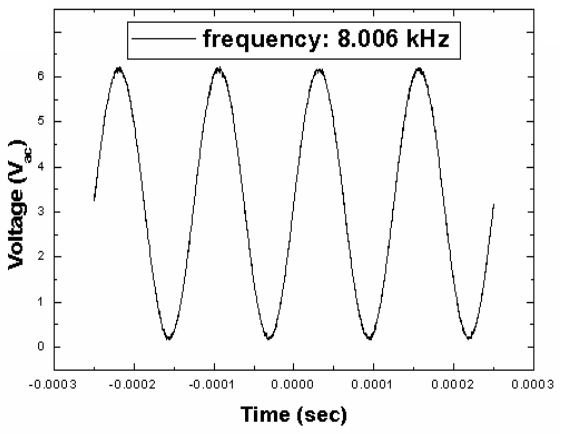

Fig. 8 The step-up ratio of micro-transformer at the resonant frequency (input voltage: 3 V_{ac})

그러나 다소 낮은 승압비를 얻었는데 이는 마이크로 압전변압기의 상부 전극과 PZT 박막의 인터페이스 부분에서 전극물질(Pt)의 확산에 의한 entrapped space charge[6] 의해 PZT 박막의 승압 특성이 감소한 것으로 사료된다.

이에 마이크로 압전변압기의 승압특성을 개선하기 위해서는 상부전극과 PZT 박막의 인터페이스에 버퍼층을 증착하여 확산에 의한 변압 특성 저하를 최소화함으로써 승압특성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PZT 박막과 MEMS기술을 이용하여 마이크로 시스템에 집적화 시킬 수 있는 박막형 마이크로 압전변압기를 설계 및 제작하여 전기 및 기계적 특성을 측정 하였다.

본 연구에서 제작된 소자의 측정 결과, 제안된 마이크로 압전변압기는 저 전압에서 큰 변위를 발생함을 확인 하였고 소자의 공진주파수에서 2.13배의 승압비를 얻었다.

또한 큰 변위에 따른 변압기의 승압비를 향상시키기 위해서는 상부전극과 PZT 박막 인터페이스에 버퍼층을 증착하여 spcace chage를 감소시킴으로써 마이크로 변압기의 큰 승압비를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 이는 마이크로 시스템에 집적 가능한 에너지공급소자로 적용 가능함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원으로 수행되는 기반조성연구사업의 일환인 “KIMM-MIT 해외 과학기술협력센터 운영사업”의 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

(1) Kuang, A. X., Chai, L. Y., Hu, G. H., Pan, S. N. and Zhou, T. S., 1986, *IEEE Int. Symp. Appl. Ferroelectric*, 6th, pp. 689~692.

(2) Vasic, D., Sarraute, E., Costa, F., Sangouard, P and Cattan, E., 2005, *Sens. Actuators, A*, pp.317~324.

(3) Rosen, C. A., 1956, *Proceedings of the Electronic Comp. Symp*, pp. 205~211.

(4) Ueda, M., Satho, M., Ohtsu, S and Wakatuski, N., 1992, *IEEE Ultrasonics Symp*, Tucson, AZ, USA, 20-23 October pp. 977~980.

(5) Jeon, Y. B., Sood, R., Jeong, J. H and Kim, S.G., 2005, *Sens. Actuators, A,* pp. 16~22.

(6) Stolichnov, I., Tagantsev, A. Setter, N. J. Cross, S and Tsukada, M., 1999, *Appl. Phys.* Lett. **74**, pp. 3552~3554.