

초소형 마이크로 압전변압기 제작 및 특성 분석

김성곤*, 서영호, 최두선, 황경현 (한국기계연구원)

Fabrication and Characteristic Analysis of Piezoelectric Micro-Transformer

Seong Kon Kim*, Young Ho Seo, Doo-Sun Choi, and Kyung-Hyun Whang
(Korea Institute of Machinery & Materials)

ABSTRACT

Piezoelectric transformers based on lead zirconate titanate(PZT) have been received considerable interest because of their wide potential applications in transformer, oscillator, resonance sensor, actuator, acoustic transducer, as well as active slider for hard disk drives. However, for the applications which need a small power supply such as thin and flat displays, micro-robot, 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. So, we have fabricated the piezoelectric micro-transformer to supply energy for micro-systems using PZT thin films and MEMS technologies.

Key Words : Piezoelectric micro-transformer (마이크로 압전변압기), PZT thin film (PZT 박막), MEMS

1. 서론

최근 크게 주목되고 있는 압전변압기(1)는 압전 세라믹스의 에너지 변환특성을 이용하는 형식의 변압기로서 장방향의 시편에 대해 1 차축 (driving part) 과 2 차축 (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 지식 정보시대에 요구되는 미래첨단제품의 특성은 극소형, 고밀도, 대용량, 고속, 다기능, 저전력형으로 연구개발이 진행되고 있다. 이에 마이크로 시스템에 필요한 에너지를 공급하기 위해서는 기존의 압전변압기 (bulk type, multilayer type)를 박막화 하여 시스템에 집적시키는 것이 필요하다.

그러나 현재 마이크로 시스템에 공급되는 에너지가 macroscopic 소자에 의해 공급되고 있는 데 이는 마이크로 시스템의 2/3 이상을 차지하고 있어(2) 에너지공급소자 (energy supply device) 의 마이크로화 및 집적화가 절실히 필요한 실정이다.

그래서 마이크로 시스템이나 마이크로 액추에이터의 크기와 비슷한 크기의 마이크로 에너지 공급소자를 집적화 하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다.(2) 그러나 실용화하기 위해서는 소자의 특성 향상을 위한 설계 및 제작공정의 개선이 필요한 실정이다.

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

2. 마이크로 압전변압기 설계 및 제작

박막형 마이크로 압전변압기 벌크형 압전변압기의 변압원리(3,4)와 같으며 크기는 1000 $\mu\text{m} \times 400 \mu\text{m} \times 4.8 \mu\text{m}$ (length \times width \times thickness)로 설계되

었다. Figure 1 은 디자인된 마이크로 압전변압기의 개략도 이다.

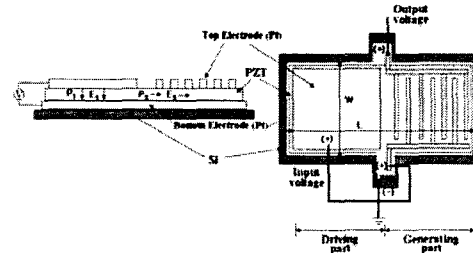


Fig. 1 The schematic view of the piezoelectric micro-transformer.

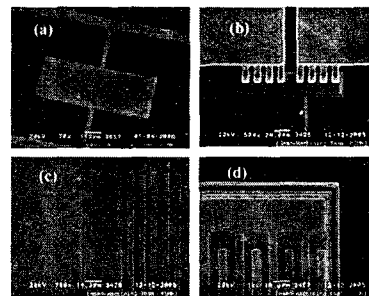


Fig. 2 SEM images of the fabricated micro-transformer: (a) Overall view; (b) Enlarged view of the PZT layer and contact pads; (c) Enlarged view of the center of the micro-transformer; (d) Enlarged view of the edge of the micro-transformer.

제작공정은 4 μm -top 그리고 1 μm -buried oxide 를 가진 SOI 기판으로 제작되었다. 상부 및 하부 전극은 Pt (0.2 μm)를 스퍼터링 공정을 이용하여 증착하였고, PZT(0.4 μm)는 스펀 코팅 공정을 이용하여 증착하였다. 증착된 PZT 솔루션의 조성비는

52/48(Zr/Ti) 이고 600°C에서 결정화 시켰다. 상부전극(Pt)과 PZT 박막층은 건식식각 공정을 이용하여 패터닝 하였고 접합패드는 lift-off 공정을 이용하여 패터닝 하였다.

또한 소자를 release 시키기 위해 폴리실리콘과 buried oxide layer 를 XeF₂ 와 HF solution(BOE)를 이용하여 제거하였다. PZT 박막의 잔류 분극 (Pr)과 항전계 (Ec)는 각각 10 μC/cm²과 20 KV/cm 측정되었다. Figure 2 는 제작된 마이크로 압전변압기의 SEM 사진이다. SEM 사진에서 보여지는 것과 같이 PZT 박막의 잔류응력으로 인해 소자의 양쪽 끝 단 부분이 휘어졌음을 확인 할 수 있다.(5)

3. 실험 결과

PZT 박막의 잔류 응력에 의해 소자의 양쪽 끝 단 부분의 초기변위 폭을 측정하기 위해 laser interferometer (Zygo Inc.)를 이용하여 관찰하였다. 구동부(driving part)와 발전부(generating part)의 초기변위 값은 각각 18.5, 16.3 μm 로 측정되었다. 이는 앞서 서술한 바와 같이 PZT 박막의 잔류응력에 의한 것으로 소자의 전기적 특성 및 기계적 변위에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다. Figure 3 은 laser interferometer (Polytec Inc.)를 이용하여 제작된 소자의 변위를 측정된 결과이다. 정현파 100 Hz 를 인가하고 인가 전압 (applied voltage) 을 변화 시키며 소자의 변위를 측정된 결과 인가 전압에 따라 거의 선형적으로 변위가 증가함을 확인 할 수 있었고, 인가 전압이 10 V 일 때 최대 변위는 9.2 ± 0.064 μm 로 측정되었다.

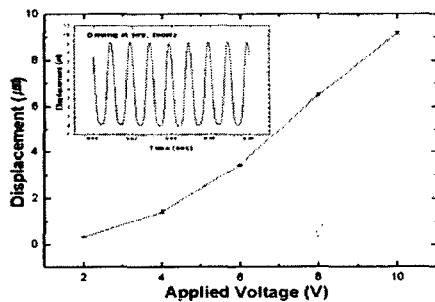


Fig. 3 The measured displacement for varying voltage of 100 Hz driving signal. The insert presents displacement vs. time curve at 10 V.

제작된 마이크로 압전변압기의 공진 주파수는 8.006 KHz 로 측정 되었다. Figure 4 는 주파수에 따른 마이크로 압전변압기의 승압비를 측정된 결과이다. 공진주파수에서 약 2.13 배의 승압비를 얻었다. 그러나 예상된 승압비 보다 다소 낮은 결과를 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 위해

서는 상부전극과 PZT 박막의 인터페이스에 버퍼층을 증착하여 확산에 의한 변압 특성 저하를 최소화하고 상부전극의 전극 구조를 개선함으로써 승압특성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

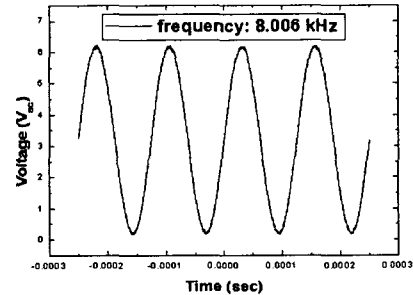


Fig. 4 The step-up ratio of micro-transformer at the resonant frequency (input voltage: 3 V_{ac})

4. 결론

본 연구에서는 PZT 박막과 MEMS 기술을 이용하여 마이크로 시스템에 집적화 시킬 수 있는 박막형 마이크로 압전변압기 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 2.13 배의 승압비를 얻었다. 또한 큰 변위에 따른 변압기의 승압비를 향상시키기 위해서는 상부전극과 PZT 박막 인터페이스에 버퍼층을 증착하여 space charge 를 감소시키고 상부전극 구조를 개선함으로써 마이크로 변압기의 큰승압비를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 이는 마이크로 시스템의 에너지공급소자로 이용 및 마이크로 시스템에 집적화가 가능함을 알 수 있다.

후기

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

참고문헌

1. Kuang, A. X., Chai, L. Y., Hu, G. H., Pan, S. N., and Zhou, T. S., IEEE Int. Symp. Appl. Ferroelectric, 6th, 1986, pp. 689-692.
2. Vasic, D., Sarraute, E., Costa, F., Sangouard, P., and Cattani, E., Sens. Actuators, A, 2005, pp.317-324.
3. Rosen, C. A., Proceedings of the Electronic Comp. Symp., 1956, pp. 205-211.
4. Ueda, M., Satho, M., Ohtsu, S., and Wakatuski, N., IEEE Ultrasonics Symp., Tucson, AZ, USA, 20-23 October 1992, pp. 977-980.
5. Jeon, Y. B., Sood, R., Jeong, J.-H., and Kim, S.-G., Sens. Actuators, A, 2005, pp. 16-22.
6. Stolichnov, I., Tagantsev, A., Setter, N., Cross, J. S., and Tsukada, M., Appl. Phys. Lett. 74, 1999, pp.3552-3554.