

강성제어 구조물을 이용한 수평구동형 박막 PZT 액츄에이터의 설계, 제작 및 특성평가

서영호*(한국기계연구원), 최두선(한국기계연구원), 이준형(한국기계연구원),
이택민(한국기계연구원), 제태진(한국기계연구원), 황경현(한국기계연구원)

Design, Fabrication and Characterization of Lateral PZT actuator using Stiffness Control

Y.H. Seo(KIMM), D.-S. Choi(KIMM), J.-H. Lee(KIMM), T.M. Lee(KIMM),
T.J. Je(KIMM), and K.H.Whang(KIMM)

ABSTRACT

We present a piezoelectric actuator using stiffness control and stroke amplification mechanism in order to make large lateral displacement. In this work, we suggest stiffness control approach that generates lateral displacement by increasing the vertical stiffness and reducing the lateral stiffness using additional structure. In addition, an additional structure of a serpentine spring amplifies the lateral displacement like leverage structure. The suggested lateral PZT actuator (bellows actuator) consists of serpentine spring and PZT/electrode layer which is located at the edge of the serpentine spring. The edge of the serpentine spring prevents the vertical motion of PZT layer, while the other edge of the serpentine spring makes stroke amplification like leverage structure. We have determined dimensions of the bellows actuator using ANSYS simulation. Length, width and thickness of PZT layer are $135\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$ and $0.4\mu\text{m}$, respectively. Dimensions of the silicon serpentine spring are thickness of $25\mu\text{m}$, length of $300\mu\text{m}$, and width of $5\mu\text{m}$. The bellows actuator has been fabricated by SOI wafer with $25\mu\text{m}$ -top silicon and $1\mu\text{m}$ -buried oxide layer. The bellows actuator shows the maximum $3.93\pm 0.2\mu\text{m}$ lateral displacement at 16V with 1Hz sinusoidal voltage input. In the frequency response test, the fabricated bellows actuator showed consistent displacement from 1Hz to 1kHz at 10V. From experimental study, we found the bellows actuator using thin film PZT and silicon serpentine spring generated mainly laterally displacement not vertical displacement at 16V, and serpentine spring played role of stroke amplification.

Key Words : 강성제어(Stiffness Control), 수평구동형 액츄에이터(Lateral actuator), 박막형 압전물질(Thin film PZT layer), RF MEMS(고주파 MEMS), 변위증폭(Strain Amplification)

1. 서론

최근 MEMS 액츄에이터는 optical switch, RF switch, display mirror actuator, micro-fluidic pump 등 MEMS 의 다양한 분야에 적용되고 있으며, 현재 제품화되고 있는 기술도 있다. 현재 MEMS 분야에서 주로 사용되고 있는 구동 원리는 크게 정전기력(Electrostatic), 전자기력(Electromagnetic), 열공압(Thermo-pneumatic), 그리고, 압전 효과(Piezoelectric)를 이용한 방법의 4 가지로 구분할 수 있다.

정전기력을 이용한 방식은 일반적으로 쉬운 제

작공정과 비교적 빠른 응답속도를 장점으로 하고 있으나 구조물이 작을 때는 수십 voltage 이상의 높은 전압이 필요하게 되며, 전압을 낮추기 위해서는 전극으로 사용되는 구조의 면적을 증가시켜야 하는 단점을 가지고 있다. 전자기력을 이용한 방식은 5volt 정도의 낮은 전압으로 구동이 가능하지만, 구조가 복잡하고, 커지게 되며 전력 소모가 수백 mW 정도에 달하는 단점을 가지고 있다. 열공압을 이용한 방식 역시 5 volt 정도의 낮은 전압으로 구동이 가능하지만, 전력소모가 수백 mW 정도에 달하며, 결정적으로 응답 속도가 수십 msec 정도로 아주

느리다는 단점을 가지고 있다. 압전 효과를 이용하는 방식은 MEMS 에 적용되고 있는 thin film 의 경우에는 빠른 응답 속도(100 nsec ~ 1 μsec)를 장점으로 하고 있으나, 변형율이 최대 0.1% 정도에 불과하여 일반적으로 thin film PZT 는 plate spring 과 함께 사용되어 기판에 대해 수직 변형을 일으키는 응용에 주로 사용되고 있다. 이러한 수직 변형은 thin film PZT 와 plate spring 사이의 중첩축 이동과 thin film PZT 의 수축에 의한 굽힘 모멘트에 의해서 발생하게 된다. Thin film PZT 를 사용하여 수평방향으로 구동하기 위해서는 이러한 수직 변형을 최소화하고 수평 변형을 최대화하는 구조가 필요하다.

본 연구에서는 강성제어 구조물을 사용하여 수직방향 강성을 키우고 수평방향 강성을 줄여 이와 같은 효과가 나타나도록 하였다.

2. 동작원리 및 제작공정

기존의 박막 PZT 액츄에이터는 평판형 스프링을 사용하여 중첩축의 이동에 의한 굽힘모멘트를 발생시켜 수직방향 변위를 일으키게 된다. 박막 PZT 를 이용한 수평구동형 액츄에이터의 개발은 Bow 액츄에이터(MIT)등 몇몇 연구기관에서 수행되었다. 그러나 이러한 액츄에이터들은 수평변위 뿐만 아니라 수직변위까지 함께 발생시킨다는 단점이다. 본 연구에서는 수직방향 강성을 증가시키는 동시에 수평방향 강성을 줄여 수평방향 변위만 지배적으로 만들어 낼 수 있도록 강성제어 구조물을 이용한 수평구동형 액츄에이터를 제안하였다. 또한 강성제어 구조물을 설계할 때, 부채살 구조를 이용하여 수평변위를 증폭하는 효과도 동시에 얻고자 하였다. 제안된 수평구동형 PZT 액츄에이터(Bellows 액츄에이터)는 Fig.1 에서 보듯이 사형(serpentine) 스프링의 끝 박막 PZT 를 위치시켜 사형 스프링의 한쪽 끝단에서는 PZT 에 의한 수축을 반대쪽 끝단에서는 부채살처럼 변위를 증폭시키도록 제작되었다.

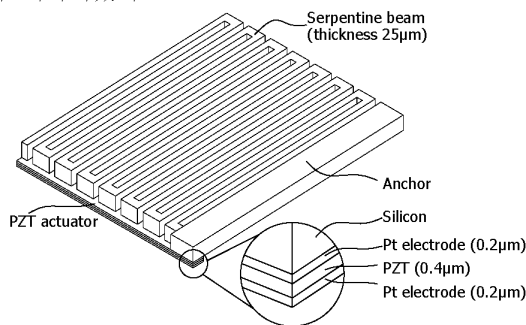


Fig.1 Perspective view of the lateral PZT actuator based on stiffness control and stroke amplification. (Bellows actuator)

Fig.2 는 동작원리를 나타내는 개략도이며, 전압을 인가했을 경우, Fig.2(b)와 같이 serpentine spring 의 한쪽 끝이 부채살처럼 펼쳐서 수평변위를 증폭하게 된다.

모든 설계는 ANSYS 해석을 통하여 치수를 결정하였으며, 수평변위 대비 수직변위를 최소화하는 조건에서 PZT 층의 치수는 길이, 넓이, 그리고 두께가 각각, 135μm, 20μm 그리고 0.4μm 로 선정하였고, 사형 스프링의 길이, 넓이 그리고 두께는 각각 300μm, 5μm, 그리고 25μm 로 결정하였다. Fig.3 은 설계된 bellows 액츄에이터의 제작공정을 나타내는 그림이다.

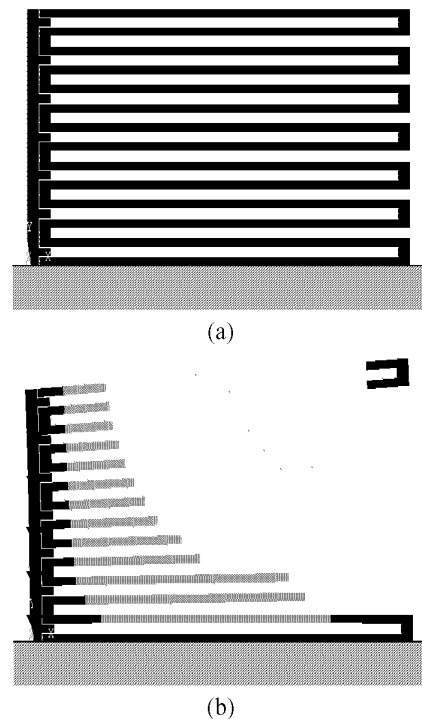


Fig.2 Working principle of the present bellows actuator: (a) Voltage OFF; (b) Voltage ON.

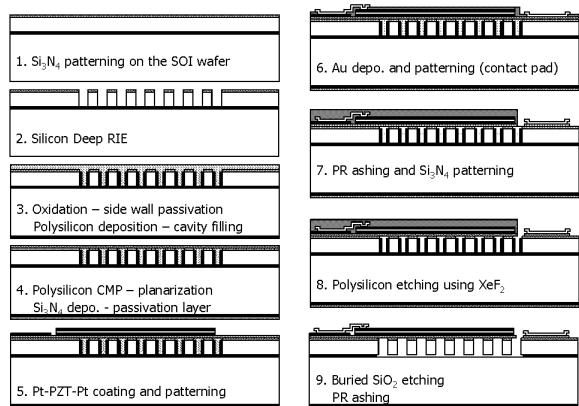


Fig.3 Fabrication process of the bellows actuator.

제안한 bellows 액츄에이터는 $25\mu\text{m}$ -top 실리콘 파, $1\mu\text{m}$ -buried 실리콘 산화막을 가진 SOI 웨이퍼를 사용하여 제작하였다. Spin coating 공정을 통하여 PZT gel 이 코팅되므로 serpentine spring 을 SOI wafer 에 형성한 다음 스프링 사이를 채워 평탄화 공정을 사용하였다. 본 연구에서는 polysilicon 을 증착하여 채우고 CMP 를 통해서 평탄화를 시켰다. Thin film PZT 를 패터닝한 후에 polysilicon 을 XeF₂ 를 사용하여 제거하고 마지막으로 BOE 를 사용하여 구조물을 release 시켰다. 이와 같은 공정을 통해서 제작된 구조물의 현미경 사진과 SEM 사진을 Fig.4 에 나타내었다.

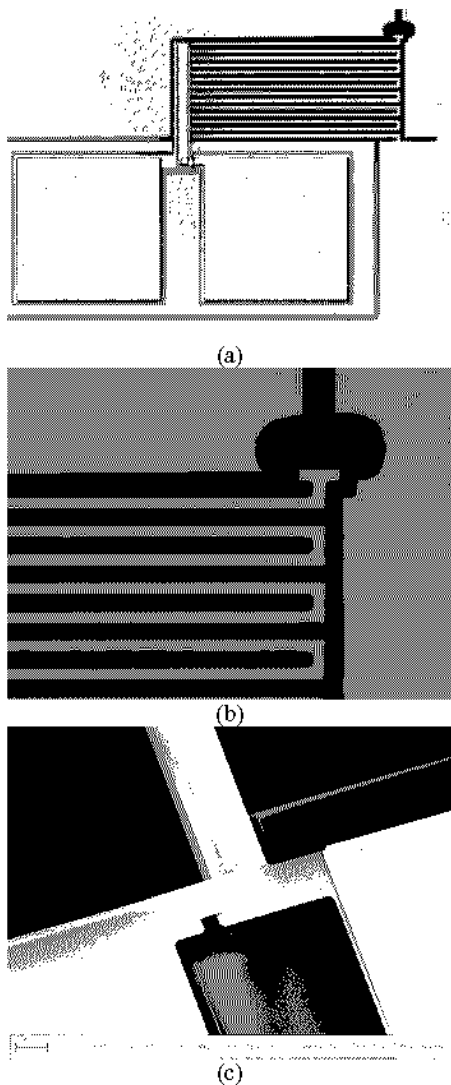


Fig.4 SEM and microscope photographs of the fabricated bellows actuator: (a) Overall view; (b) Enlarged view of the end of the bellows actuator; (c) Enlarged view of the PZT layer and contact pads.

3. 실험결과

제작된 bellows 액츄에이터의 수평 변위를 측정하기 위해서 Fig.5 와 같이 실험장치를 구성하였다. 수평구동 변위는 레이저 간섭계를 사용하여 측정되었으며, Fig.6 은 1Hz 의 입력 전압에 대해서 전압의 변화에 따른 bellows 액츄에이터의 변위를 레이저 간섭계로 측정한 결과를 나타낸다. Fig.6 에서 보듯이 제작된 bellows 액츄에이터는 16V 에서 약 $4\mu\text{m}$ 의 최대 변위를 나타내었다. 16V 이상의 전압에서는 thin film PZT 가 break down 되었다. 또한 구동 전압의 주파수 변화에 따른 구동특성을 확인하기 위해서 1kHz 까지 구동 주파수를 변화시켰으며, Fig.7 은 500Hz, 10V 입력에 대한 수평 변위를 나타내고 있다. 실험결과 1kHz 까지 수평 변위는 일정하게 유지되었다. 본 연구에서는 실험결과로부터 강성제어 구조물을 이용하는 bellows 액츄에이터가 수직 변위보다는 수평 변위를 위주로 일으키는 것을 확인한 동시에 부채살 효과로 수평 변위가 증폭됨을 확인하였다.

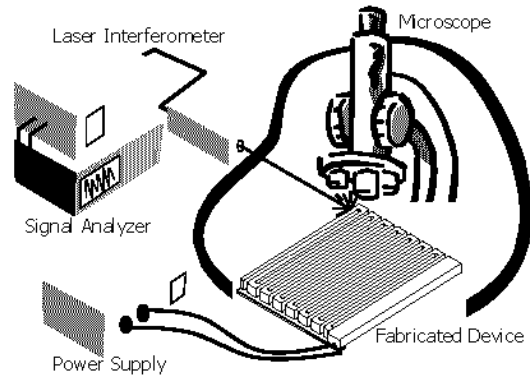


Fig.5 Experimental apparatus for the measurement of the lateral displacement using laser interferometer.

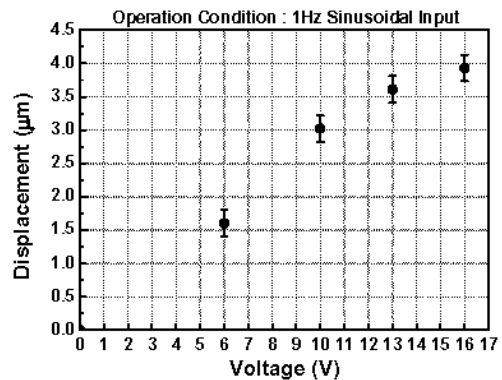


Fig.6 Measured lateral displacement for varying applied voltage with 1Hz sinusoid.

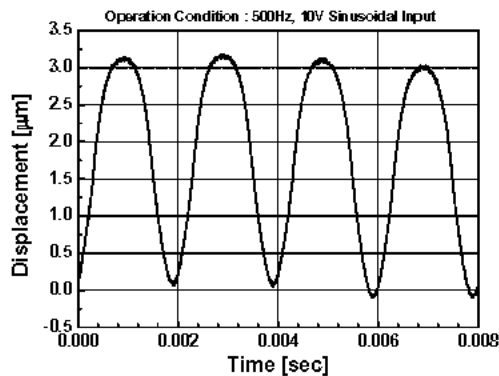


Fig.7 Measured lateral displacement for varying frequency of the input voltage with 10V and 500Hz sinusoid.

4. 결론

본 연구에서는 수평방향 구동량을 증가시키기 위하여 강성체어기법과 변위증폭 메커니즘을 압전 구동형 액츄에이터를 설계, 제작 및 특성평가를 수행하였다. 제작된 bellows 액츄에이터는 16V 에서 약 4 μ m 의 최대 변위를 나타내었으며, 구동 주파수 변화에 따른 수평변위의 측정을 통해 1kHz 까지 수평변위는 일정하게 유지됨을 확인 하였다. 결론적으로 개발한 bellows 액츄에이터는 저전압에서 큰 수평변위를 형성하므로 RF switch, optical switch, 그리고 optical grating 등에 적용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 KIMM-MIT 국제협력사업의 일환인 “Tunable Optical Device 용 마이크로 액츄에이터 기술개발 사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. W.C.-K. Tang, “Electrostatic Comb Drive for Resonant Sensors and Actuator Applications,” *Doctoral Dissertation*, University of California at Berkeley, 1990.
2. R. Legtenberg, *et. al.*, “Electrostatic Curved Electrode Actuators,” *Proc. IEEE MEMS Conference*, Netherlands, 1995, pp.37-42.
3. G.M.Rebeiz and J.B.Muldavin, RF MEMS switches and switch circuits, *IEEE Microwave magazine*, Dec., 59-71 (2001).
4. H. A. Tilmans, MEMS components for wireless communications, *EUROSENSORS XVI*, Sep. (2002).
5. G. H. Haertling, Rainbow Ceramics: A New Type of Ultra-High-Displacement Actuator, *Am. Ceram Soc Bull*, Vol 73, No. 1, 93-96 (1994).
6. Y. Sugawara, K. Onitsuka, S. Yoshikawa, Q. C. Xu, R. E. Newnham, and K. Uchino, Metal-Ceramic Composite Actuators, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 75, No. 4, 996-998 (1992).
7. I. Schiele and B. Hillerich, Comparison of lateral and vertical switches for application as microrelays, *J. Micromech. Microeng.*, 146-150 (1999).
8. N.J. Conway and S.-G. Kim, “Large-Strain, Piezoelectric, In-Plane Micro-Actuator,” *IEEE MEMS Conference*, Netherlands, 2004, pp.454-457.