

수평방향 변위증폭을 위해 U-형상의 PZT 스트립과 지렛대 구조를 이용한 압전구동형 액추에이터의 설계, 제작 및 실험

서영호[†] · 이준형* · 이택민* · 최두선* · 황경현*

(2004년 6월 29일 접수, 2004년 10월 25일 심사완료)

Design, Fabrication and Test of Piezoelectric Actuator Using U-Shape PZT Strips and Lever Structure for Lateral Stroke Amplification

Young Ho Seo, Joon-Hyoung Lee, Taik-Min Lee, Doo-Sun Choi, and Kyung-Hyun Whang

Key Words : U-Shape PZT Actuator(U-형상 PZT 액추에이터), Lateral Actuation(수평구동), RF Switch (RF 스위치)

Abstract

We present lateral actuated piezoelectric actuator using U-shaped PZT strip and lever structure for the RF switch application. In the previous study of RF switch, they used horizontal contact switch fabricated by thin film metals. However, thin film metals could not generate large contact force due to low stiffness. In this work, we suggest lateral contact switch which makes large contact force by increasing stiffness. In addition, we use PZT actuator for the high force actuation. Generally actuator using thin film PZT moves to the vertical direction due to the neutral axis shift. Therefore we need lateral motion generation mechanism based on the thin film PZT actuator. In order to increase lateral motion of thin film PZT actuator, we use U-shaped PZT actuator using residual stress control. Also, thin film PZT actuator can generate very small lateral motion of $120 \times 10^{-6} \mu\text{m}/\text{V}$ for d_{31} mode, thus we suggest lever structure to increase stroke amplification. From the experimental study, fabricated PZT actuator shows maximum lateral displacement of $1 \mu\text{m}$, and break down voltage of the thin film PZT actuator is above 16V.

1. 서론

오늘날 MEMS 액추에이터는 광학용 소자, RF 소자, 디스플레이 장치, 나노 프로브장치, 마이크로 펌프, 각종 센서류 등 MEMS의 여러 분야에서 그 사용처가 광범위해지고, 그 수요 또한 증가하고 있다. 본 논문은 박막형 압전 액추에이터를 이용하여 수평방향 구동이 가능한 액추에이터에 관한 연구이며, 수평방향 구동을 위해서 U-형상의 PZT 스트립을 이용하였고, 또한 수평방향 구동변위를 증가시키기 위하여 지렛대 구조를 사용하였

다.

현재 미세 구동을 위해 MEMS 분야에서 널리 사용되어지는 방법은 크게 정전기력(Electrostatic)을 이용한 방식, 전자기력(Electromagnetic)을 이용한 방식, 열팽창(Thermal expansion)을 이용한 방식, 압전체(Piezoelectric)를 이용한 방식이 있다.

정전기력을 이용한 방식은 고정된 도체 전극 위에, 또 다른 전극을 일정 거리만큼 떨어뜨려 놓고, 두 전극 사이에 다른 극성의 전압을 걸어주게 되면, 서로 붙게 되는 원리를 이용한 것으로써 일반적으로 제작은 어렵지 않으나 수십 voltage 이상의 높은 전압이 필요하게 되며, 이때 움직이는 속도는 구조에 따라 1-200 μsec 의 시간이 걸린다. 전자기력을 이용한 방식은 코일 구조를 통해 자기장을 만드는, 전자석의 원리를 이용한 것으로써, 5volt 정도의 낮은 전압으로 구동이 가능하지만, 구조가 복잡하고, 커지게 되며 전력 소모가 수백 mW 정도에 이르게 된다. 열팽창을 이용한 방식

[†] 책임저자, 회원, 한국기계연구원 나노공정그룹
E-mail : yhseo@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7079 FAX : (042)868-7149

* 한국기계연구원

은 고체나 액체가 온도가 상승하면 부피가 팽창하는 원리를 이용한 것으로써, 5volt 정도의 낮은 전압으로 구동이 가능하지만 주변의 온도에 매우 민감하며, 전력소모 역시 수백 mW 정도이며, 결정적으로 구동 속도가 수십 msec 에 이를 정도로 느리다. 압전체를 이용한 방식은 전압을 걸어주면 부피가 팽창하는 압전체의 원리를 이용한 것으로써, 위에서 제시한 방법 중에 가장 구동 속도가 빠르며(100 nsec-1μsec), 구동 시 가장 큰 힘을 전달할 수 있으며, 낮은 전압으로의 구동이 가능하다. 하지만 strain 이 최대 0.1% 정도에 불과하여 MEMS 에 적용되는 경우 구동량이 수십 나노에서 수백 나노 정도에 지나지 않는 단점이 있다. 그러므로, cantilever 와 같은 구조부를 연결하여 그 이상의 변위 증폭을 꾀하여야 한다.

본 연구에서는 압전체를 이용한 구동 방식을 이용하되, 수평방향으로 구동 시키기 위하여 U-형상으로 PZT 스트립을 제작하였고, 구동량을 10 배 정도 확대 시킬 수 있는 구동량 확대 기구를 설계하여 저전압으로도 가변형 광학요소 혹은 RF 부품에의 적용이 가능한 마이크로 액추에이터를 설계, 제작하고 측정하였다.

2. 수평방향 구동형 PZT 액추에이터 설계

일반적으로 박막형 PZT 액추에이터는 Fig. 1 에서 보듯이 하부구조체 위에 제작되어 증착층의 이동을 이용하여 액추에이터의 끝단이 수직방향으로 구동되게 하여 사용된다. 본 연구에서는 수평방향으로 박막형 PZT 액추에이터의 끝단이 수평방향으로 구동될 수 있도록 하기 위해서 Fig. 2 에서 보듯이 U-형상의 PZT 스트립을 제안하였다.

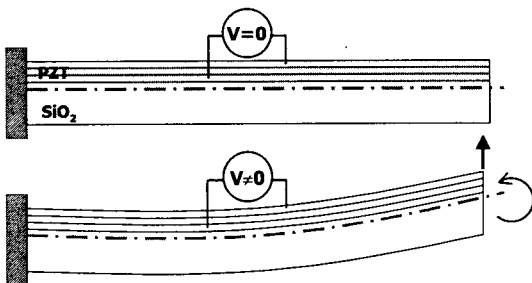


Fig. 1 Conventional thin film PZT actuator

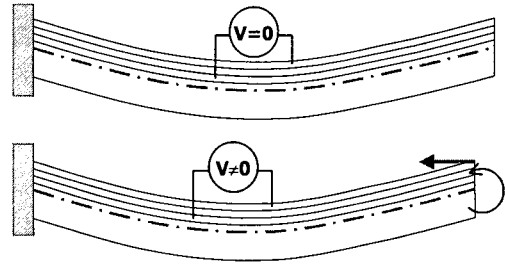


Fig. 2 Present U-shaped thin film PZT actuator

가공공정을 고려하여 최적의 곡률반경을 구하기 위하여 박막형 PZT 액추에이터의 힘은 끝단에 수직된 방향으로 생긴다는 가정을 통하여 수평방향의 힘과 수직방향의 힘의 비를 예측하였다. Fig. 3 은 박막형 PZT 액추에이터의 길이(2L)와 중심 높이(H)가 발생하는 힘의 수직 및 수평방향으로 크기에 미치는 영향을 파악하기 위한 간략한 모델이다. 이와 같은 모델을 바탕으로 액추에이터의 길이와 중심 높이가 변화에 따른 수평/수직 힘의 비를 구한 결과는 Fig. 4 에서 나타내고 있다. 이때, 설계에서의 최적은 반원 형상에 가까울수록 최적 조건이 형성됨을 나타내고 있다.

박막형 PZT 액추에이터를 이용할 경우 변위의 증폭이 필수적이다. 압전체의 경우 일반적으로 0.1%의 변위량을 최대라고 간주하며, 100μm의 압전체가 100nm의 변형을 일으킨다고 예측하고 있다. 이것은 광필터, 광스위치 등의 가변형 광소자에 사용하기에는 너무 작은 양이다. 변형량을 크게 하기 위하여 너무 커다란 PZT 액추에이터를 제작하는 것은 MEMS 부품의 장점을 모두 상쇄시키는 결과를 가져온다. 따라서 작은 구조 안에서 변형의 증폭이 필요하다. 변위의 증폭을 위해서 Fig. 5 과 같이 지렛대 원리를 이용하여 구동량 변위의 확대가 가능한 구조를 가진 지렛대형 액추에이터 설계를 통해 작은 구조 안에서 10 배 정도의 구동 변위의 증폭이 가능하도록 설계하였다.

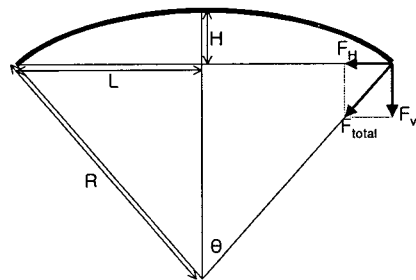


Fig. 3 Ratio of horizontal force and vertical force in thin film PZT actuator

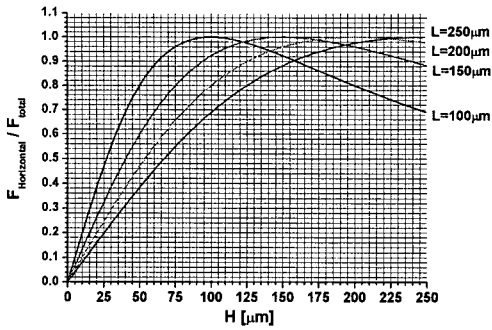


Fig. 4 Ratio of horizontal force and vertical force with varying center height of H

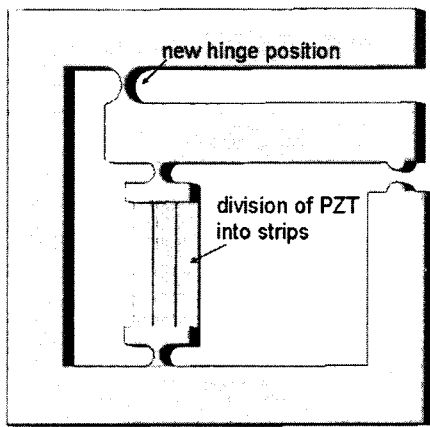


Fig. 5 Concept design of lever type lateral MEMS actuator

Fig. 5는 설계된 수평방향 구동형 박막형 PZT 액추에이터의 개략도를 나타내고 있다. PZT 스트립의 크기는 $450\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 이며 지렛대의 길이 $370\mu\text{m}$ 이 지렛대에 의한 변위 증폭률은 16 배가 되도록 설계하였다. PZT 액추에이터를 U-형상으로 만들기 위해서는 본 연구에서는 PZT 자체의 잔류응력을 이용하였다. 따라서, PZT 액추에이터의 중심높이는 실제 예측하기는 힘든 상태이므로 제작 후 중심높이는 측정하기로 하였다. 설계된 액추에이터를 바탕으로 박막형 PZT 액추에이터가 U-형상이 아닌 평판형인 경우, 전기-구조 복합장 해석을 수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 보듯이 평판형 PZT 액추에이터를 사용할 경우, 수직방향 힘에 의해서 액추에이터 전체가 뒤틀어짐을 확인할 수 있다.

3. 제작 및 실험 결과

Fig. 7은 본 PZT 액추에이터의 제작공정도를 나타낸다. 본 공정에서 구조부는 SU8을 사용하였고,

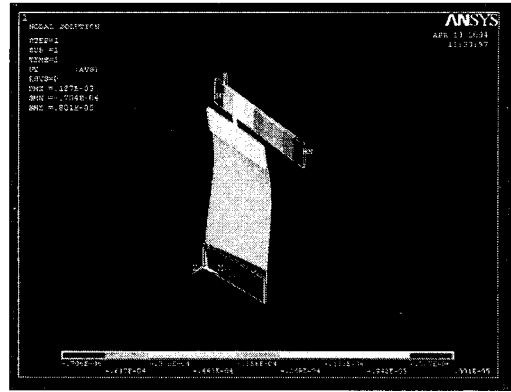


Fig. 6 ANSYS analysis of plain PZT actuator with lever structure

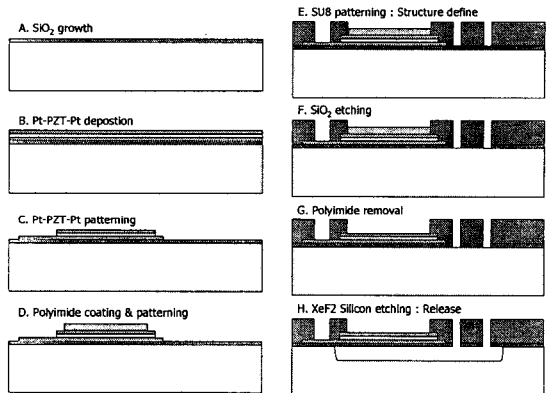


Fig. 7 Fabrication process

PZT 부는 상하전극으로 Pt를 사용하였다.

Fig. 8과 Fig. 9은 제작된 수평 구동형 박막형 PZT 액추에이터의 SEM 사진과 지렛대 부분을 확대한 사진을 각각 나타낸다. Fig. 8에서 보듯이 PZT 액추에이터는 원하는 대로 잔류응력에 의해서 초기 변형을 일으켜 U-형상으로 제작되었음을 확인할 수 있다. 여기서 중심 높이의 제어는 박막의 잔류응력과 박막의 길이에 의해 결정된다. 박막의 잔류응력은 PZT의 Crystallization 공정의 온도와 PZT sol/gel 성분과 상하부의 전극으로 사용된 Pt의 공정조건에 의해 결정되며, 본 연구에서는 상용 PZT sol/gel에 해당하는 recipe로 제작된 것을 사용하였으며, 측정된 잔류응력은 $85 \pm 20\text{MPa}$ 이며, Pt는 $518 \pm 26\text{MPa}$ 이다. 본 실험에서 제작된 PZT 액추에이터의 수평방향 변위를 측정하기 위해서 고해상도 CCD 카메라를 사용하였다. 수직방향과 수평방향으로의 움직임을 각각 관찰하였다.

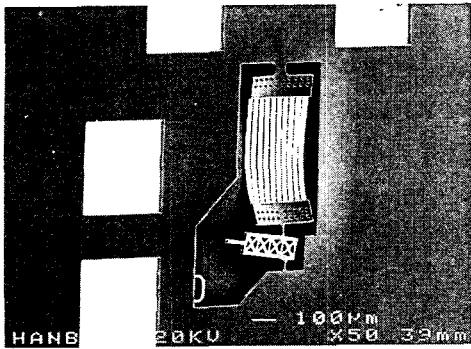


Fig. 8 SEM photography of the fabricated U-shape PZT actuator with lever structure

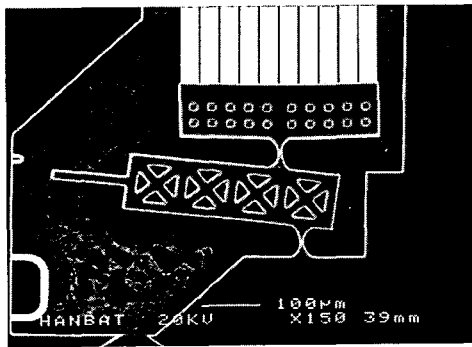


Fig. 9 Enlarged SEM photo of lever structure

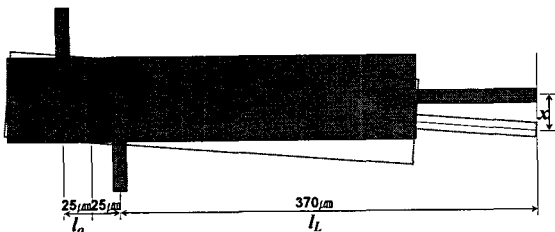


Fig. 10 Schematic view of stroke amplification using lever

Fig. 10 은 수평변위 증폭을 위해 제작된 지렛대 부분의 개략도를 나타내고 있으며, 지렛대의 끝단 변위, x ,는 지렛대의 길이 l_L 과 힌지 사이의 거리 l_o 의 비율에 의해서 결정이 된다. 측정된 거리는 l_o 와 l_L 가 각각 $25\mu m$ 와 $370\mu m$ 로 측정되었으며, 예상되는 증폭률은 15.8 배이다.

Fig. 11 은 제작된 U-형상의 박막형 PZT 액추에이터의 길이방향 프로파일을 나타내고 있다. 잔류응력에 의해 U-형상으로 제작되었음을 확인할 수 있고, 중심변위는 약 $10\mu m$ 정도이다. Fig. 11 은 제작된 액추에이터의 전압변화에 따른 수평방향 변위 측정 결과이다. 실험에서 5V 이상의 전

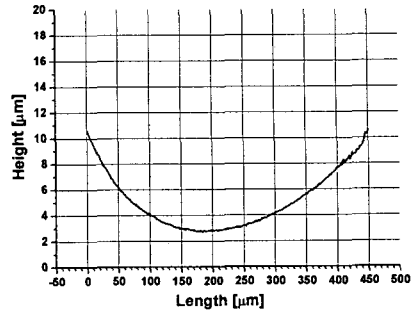


Fig. 11 Profile of the fabricated U-shaped thin film PZT actuator

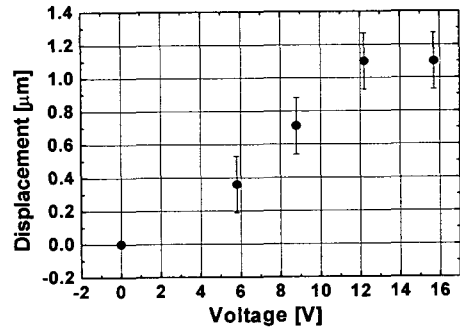


Fig. 12 Lateral displacement of U-shape PZT actuator with varying driving voltage

전압에서 지렛대 구조가 움직이기 시작하였고, 반면에 16V~17V 이상의 전압에서는 PZT 액추에이터가 breakdown 되었다. 전압이 10V 이상 가해졌을 때, 수평방향의 변위 뿐만 아니라 수직방향으로의 변위가 발행되었다. Fig. 12 에서 보듯이 전압을 증가시켜도 수평방향으로의 변위는 $1.1\mu m$ 부분에서 포화 되었는데, 이는 구조체로 사용한 PR 구조물이 잔류응력에 의해 인장응력을 받고 있어서 탄성한계에 도달하여 더 이상 움직이지 않는 것으로 판단된다.

좀더 정확하게 그 이유를 확인하기 위해서는 지렛대 구조와 액추에이터 구조를 분리하여 제작하여 그 성능을 측정하면 가능할 것이다. 실험결과를 살펴보면, 5V 와 10V 사이에서 제작된 U-형상 박막형 PZT 액추에이터는 수평방향으로 구동하였음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 RF 스위치의 액추에이터에 응

용하기 위한 수평구동형 박막형 PZT 액추에이터의 설계, 제작 및 시험에 대하여 기술하였다. 기존의 RF 스위치들은 대부분 수직 방향의 접촉 방식을 채택하고 있고, 대부분 구조체가 두겹지 않은 막으로 이루어져 있어서, 액추에이터로부터 힘을 충분히 전달 받지 못한다. 이로 인해, 접촉력이 상대적으로 작게 되어, 접촉저항을 줄이기 위한 접촉압력을 내기 위해 접촉 면적을 줄일 수밖에 없게 된다. 따라서, 본 연구에서는 효과적인 힘의 전달이 가능한 수평 방향의 접촉 방식과 상대적으로 큰 힘을 낼 수 있는 PZT 액추에이터를 사용하고자 한다. 그러나 박막형 PZT 액추에이터의 경우에는 중립축 이동을 통한 수직방향 변위를 얻을 때 주로 사용하게 된다. 따라서 수평방향으로 구동을 위해서는 수직방향으로의 변위를 줄여야만 한다. 수직방향으로의 변위를 줄이고 수평방향으로의 변위를 증가시키기 위해서 박막형 PZT 액추에이터를 U-형상이 되도록 제작하였다. 또한 PZT 액추에이터의 경우 인가전압에 대해 $120 \times 10^{-6} \mu\text{m}/\text{V}$ 의 수평구동 변위를 나타내므로, 수평방향 변위를 증폭시키기 위해서 지렛대 구조를 추가하였다.

제작된 U-형상 PZT 액추에이터의 지렛대 끝단의 전압변화에 대한 수평방향 변위는 약 $1 \mu\text{m}$ 였으며, 12V 이상의 전압에서 변위가 포화되어 나타났다. 본 연구에서는 U-형상의 PZT 액추에이터를 통해서 수평방향 구동이 가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 KIMM-MIT 기술협력사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- (1) Rebeiz, G.M. and Muldavin, J.B., 2001, "RF MEMS Switches and Switch Circuits," *IEEE Microwave magazine*, pp. 59~71.
- (2) Tom Campbell, 2001, "MEMS Switch Technology Approaches the Ideal Switch," *Applied Microwave and Wireless*, pp. 100~107.
- (3) Kim, S.G. and Koo, M.K., 2000, "Design of a Microactuator Array Against the Coupled Nature of MEMS Systems Processes," *Annals of CIRP*, Vol. 49, No. 1.