

멤스 기술을 이용한 대변형 바이모프 구동기

정원규*(연세대학교), 최석문(삼성전기), 김용준(연세대학교)

Large Displacement Bimorph Actuator Using MEMS Technology

Won-Kyu Jeung(Yonsei University.), Seog-Moon Choi(Samsung Electro-Mechanics Inc.),
Yong-Jun Kim(Yonsei University)

ABSTRACT

A new thermal bimorph actuator for large out-of-plane displacement is designed, fabricated and tested. The deflecting beam is composed of polyimide, heater, and polyvinyl difluorides with tetrafluoroethylene(PVDF-TrFE). The large difference of coefficient of thermal expansion(CTE) of two polymer layers (polyimide and PVDF-TrFE) can generate a large deflection with relatively small temperature rising. Compared to the most conventional micro actuators based on MEMS(micro-electro mechanical system) technology, a large displacement, over 1 mm at 20 mW, could be achieved. The proposed actuator can find applications where a large vertical displacement is needed while keeping compact overall device size, such as a micro zooming lens.

Key Words : Thermal Bimorph Actuator, MEMS, Polymer Actuator, Out-of-Plane Actuator,

1. Introduction

기존 MEMS 기술을 이용한 여러 가지 Type 의 Micro Actuator 들이 보고되었다. 이러한 Actuator 를 잠시 살펴보면 대표적인 것으로 세라믹 (Piezoceramic, PZT)이나 압전 필름(Polyvinyl difluorides, PVDF)등의 압전 재료를 이용한 구동기 [1], 정전력(Electro static force)을 이용한 구동기, 형상기억합금(Shape memory alloys)을 이용한 구동기[2], Voice coil motor(VCM)를 이용한 구동기, 일반적 Bimetal 을 이용한 Bimorph Type 의 구동기[3]~[4] 등이 주류를 이루었다. 이런 일련의 연구들이 많은 성과를 거두었음에도 불구하고 이를 실제 제품에 적용하는 데에는 많은 걸림돌이 내재되어 있다. 압전 구동기의 경우 압전 재료의 최대 변형률이 작기 때문에 작동 변위가 작고, 반복적으로 사용할 시에 피로 문제가 발생하며, 높은 작동전압 때문에 주변 장치가 복잡해지는 등의 문제점이 있다. 정전력을 이용한 구동기도 전체적으로 변위가 작고 제작공정이 비교적 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 형상기억합금을 이용한 구동기의 경우는 응답속도가 느리며, 많은 전력소모를 요한다는 단점이 있다.

일반적인 Bimorph Actuator 는 최대 변위가 아직 수 백 μm 정도에 머무르고 있다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이 중 마지막 Type 인 Bimorph Actuator 에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. Thermal Bimorph Actuator 는 비교적 간단한 구조 및 구동원리를 가지고 있고, 상대적으로 소비전력이 비교적 적다는 점, 저가로 제작이 가능하다는 점, 대변형이 가능하고 변위에 관계없이 일정한 힘을 낼 수 있다는 점 등을 장점으로 가지고 있다. 최근 전자제품의 초소형 초경량화 추세가 급속도로 진전됨에 따라 소형 경량의 특성을 유지하면서 mm 이상의 대변형이 가능한 구동기의 필요성이 날로 증대되고 있다. 일례로 소형 캠코더나 촬영이 가능한 핸드폰의 줌기능 구동기 등을 들 수 있겠다. 이에 본 논문에서는 대변형이 가능한 Thermal Bimorph Micro Actuator 를 제안하였다. 대변형을 이루기 위하여 3-D 시뮬레이션을 통하여 Deflection Characteristics 측면에서 유리한 Circular Type 의 Beam 을 채택하였고, 적은 온도변화로도 큰 변위를 낼 수 있도록 열팽창계수(Coefficient of Thermal Expansion - CTE) 차이가 큰 Polymer 를 사용하였다.

2. Design Consideration

2.1 Basic Concept of Bimorph Structure

구동기의 기본 개념은 Fig. 1 과 같다. 구조는 열팽창계수의 차이가 큰 두 개의 물질과 그 두 물질 사이에 Heater 가 내장되어 있는 구조로 되어있다(Fig. 1-(a)). Material 1 은 Material 2 보다 상대적으로 열팽창 계수가 작다. Heater 에서 열이 발생하면 열팽창계수가 상대적으로 큰 하부 Layer 는 상부 Layer 보다 늘어나는 변위가 크다. 두 Layer 가 고정되어 있으므로 결과적으로 그림 Fig. 1-(b)와 같이 굽힘 변위가 발생한다.

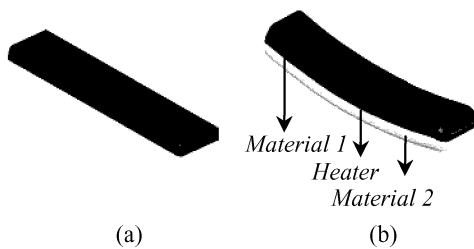


Fig. 1 Schematic Diagram of Bimorph Structure

본 논문에서는 Thermal conductance 가 비교적 작아 Thermal Insulation 에 유리하고 Flexibility 가 있어 대변형 구동이 용이한 Polymer 를 이용하여 구동기를 제작하였다. 열팽창 계수가 큰 물질로는 PVDF-TrFE 를 사용하였고, 열팽창 계수가 작은 물질로는 Polyimide 를 사용하였다(Table 1 참조).

Table 1. CTE of some materials

Material	Coefficient of Thermal Expansion [10 ⁻⁶ /K]
Si	2.6
SiO ₂	0.4
Si ₃ N ₄	2.8
SiC	3.5
Poly-Si	2.33
Al	23
Au	14.3
Pt	8.9
Cu	16.7
Ni	12.8
Pb	28.7
Polyimide	3
PVDF-TrFE	122

<American Institute of Physics Handbook>

열원으로서 Thermal Insulation 을 위하여 두 개의 Polymer 사이에 알루미늄 히터를 내장하는 구조를

채택하였다. 알루미늄 히터에 전류가 흐르면 Joule Heating 에 의해 열이 발생하고 이 열은 Beam 의 굽힘 변위를 유발한다.

2.2 Design & Simulation

소형의 Device 크기를 유지하면서 대변형의 구동 변위를 확보하기 위해 Fig. 2 등과 같은 Beam 구조가 고려되었다. 시뮬레이션 결과 Square Type(Fig. 2-(a))의 Beam 구조보다 Circular Type(Fig. 2-(b))의 Beam 구조가 구동 특성 측면에서 유리하여 채택하였다(Fig. 3 참조).

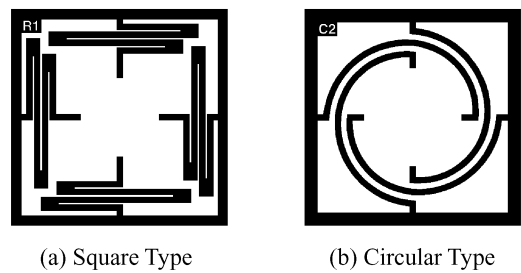


Fig. 2 Designs for Large Displacement Out-Of-Plane Actuator



Fig. 3 Simulation Data for Suggested Beam Structure

최종적으로 제안된 구동기의 개념도는 Fig. 4 와 같다. Fig. 4 와 같이 Movable Platform 은 구동기의 중간위치에, Beam 의 한쪽 끝단에 고정되어 있다. 본 논문에서는 수직 변위의 측정을 위하여 Glass Mirror 를 Movable Platform 으로 사용하였다. Glass Mirror 는 향후 적용 예에 따라 광학 렌즈나 Micro Valve 등으로 대체될 수 있다.

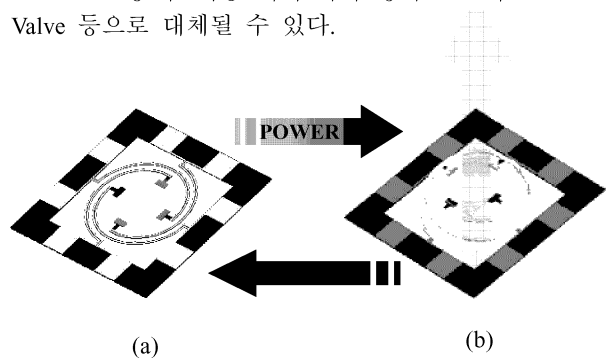


Fig. 4 Schematic Diagram of Out-of-Plane Movement for Proposed Actuator

3. Fabrication Process

Fig. 5는 대변형이 가능한 Thermal Bimorph 구동기를 만들기 위한 전반적인 공정 개략도를 나타낸다. 먼저 <1,0,0>의 결정방향을 가지는 Silicon Wafer 양면에 Oxide를 $1\ \mu\text{m}$ Thermal deposition 한 후 TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide) 용액을 이용하여 Silicon $30\ \mu\text{m}$ 만 남기고 이방성 습식 에칭한다. 이로서 Anchor 부분을 형성한다(a). 에칭된 반대면에 Polyimide(PI2611D from Dupont Co.)를 $900\ \text{rpm} / 45\ \text{seconds}$ 의 공정조건으로 spin coating 한 후 $350\ \text{C} / 1\ \text{Hr}$ 조건으로 Curing 하여 Polyimide Layer를 형성한다(b). Evaporator를 이용하여 Al을 증착하고 일반적인 Photolithography 공정과 습식 에칭을 이용하여 Embedded Heater를 형성한다(c). N-dimethyl acetamide(DMAc) Solution에 용해된 PVDF-TrFE(Kynar 7201 from ATOFINA Co.)를 $2000\ \text{rpm} / 20\ \text{seconds}$ 의 공정조건으로 spin coating 한 후 $95\ \text{C} / 15\ \text{min}$ soft-baked 한다. $160\ \text{C} / 2\ \text{Hrs}$ 의 Hard-bake를 통하여 PVDF-TrFE Layer를 형성한다(d). Beam 형성을 위해 건식 식각 시 Mask로 사용될 Al Barrier를 Evaporator를 이용하여 증착하고 Patterning 한다(e). Bimorph Beam Structure를 구성하기 위하여 O_2 / CF_4 gas를 이용하여 Polymer를 건식 식각한다(f). UV Epoxy를 사용하여 movable platform(Glass Mirror)을 Beam의 한쪽 끝단에 고정시킨다(g). O_2 / SF_6 gas를 이용하여 Silicon($30\ \mu\text{m}$)을 건식 식각하여 Beam을 Release 한다(h). Fig. 6은 완성된 Thermal Bimorph 구동기이다.

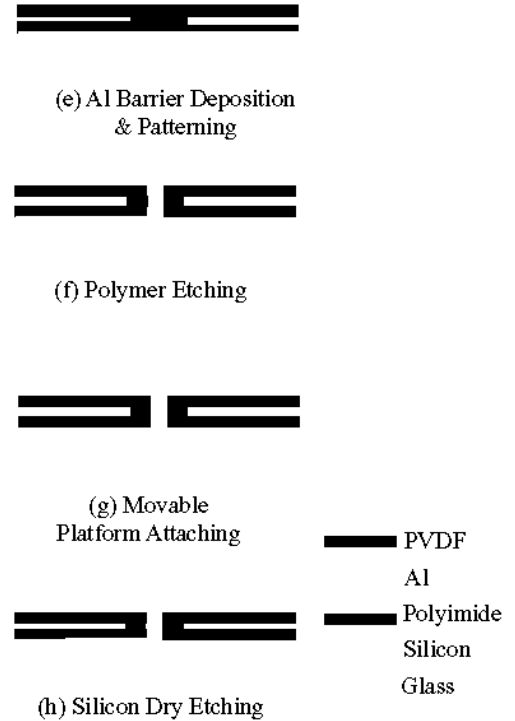
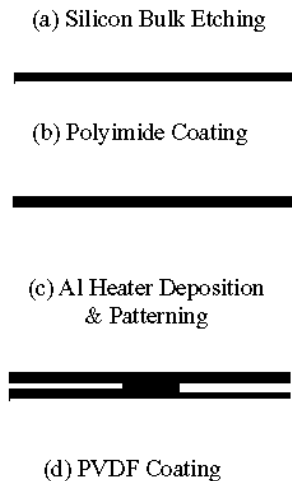


Fig. 5 Simplified Fabrication Process

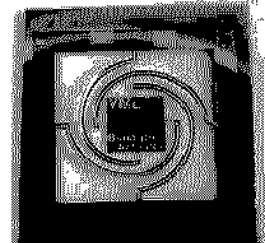


Fig. 6 Realized thermal bimorph actuator.

4. Experimental Results

측정에 사용된 구동기의 크기는 $9.7\ \text{mm} \times 9.7\ \text{mm}$ 에 두께 $23\ \mu\text{m}$ 이다. 제작된 구동기에 전압을 인가한 후 발생하는 움직임을 레이저 변위 측정기와 광학 현미경을 사용하여 측정하였으며 측정 장치의 구성은 Fig. 7과 같다. 최대 구동변위는 기준면으로부터 수직방향으로 $2.2\ \text{mm}$ 의 수직변위가 측정되었다. Fig. 8은 교류 전원을 인가하였을 시 수직 구동 변위를 나타내고 있다. 전원은 Signal Analyzer를 이용하여 $6\ \text{Hz}$ 의 Sine Wave를 인가하였고 측정은 레이저 변위 측정기를 사용하였다. Fig. 9는 직류 전원을 인가하였을 시 수직 구동 변위를

나타내고 있다. 전원은 Power Supply 를 이용하여 4 V 를 인가하였고 측정은 광학 현미경을 이용하여 측정하였다. 직류, 교류 모두 입력 전력에 따라 변위가 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

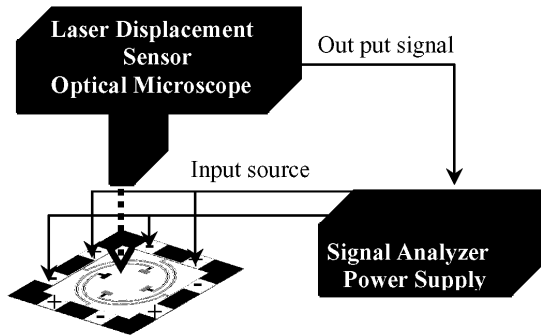


Fig. 7 Schematic Diagram of Test Apparatus.

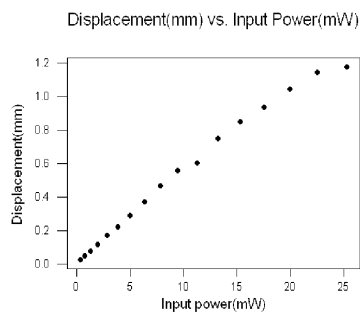


Fig. 8 Displacement vs. input power (AC)

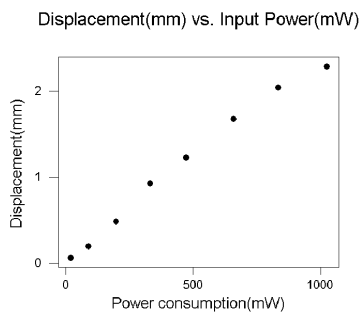


Fig. 9 Displacement vs. input power (DC)

4. Conclusion

대변형 구동이 가능한 Micro Actuator 로서 AI Heater 가 내장된 PVDF-TrFE 와 Polyimide 로 이루어진 Circular Type 의 Thermal Bimorph Actuator 가 제안되었다. 제안된 Actuator 는 Out-of-Plane 구동이 가능하고 기준면으로부터 최대 2.29 mm 의 변위를

얻었다. 간단한 MEMS 공정을 이용하여 초소형, 초경량으로 제작될 수 있으며 저가이고 대량생산에 용이하다. 제작된 구동기는 소형의 크기를 유지하면서 수직방향의 대변위가 필요한 초소형 캠코더나 핸드폰의 Zoom Unit, Micro Valve, Optical Switch, Display 등에 적용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

Microfabrication was carried out in the Yonsei Microsystems Lab. And Samsung Electro-mechanics micro gyro team Fab. The authors would also like to thank gyro team members.

Reference

1. Conway, N.J. Sang-Gook Kim, "Large-strain, piezoelectric, in-plane micro-actuator" Micro Electro Mechanical Systems, 2004. 17th IEEE International Conference on. (MEMS) , 25-29 Jan. 2004 Pages:454 – 457.
2. Bhuiyan, M.M.I. Haga, Y. Esashi, M. "Large displacement optical switching mechanism using SMA microactuator and magnetic latch" Micro Electro Mechanical Systems, 2004. 17th IEEE International Conference on. (MEMS) , 25-29 Jan. 2004, Pages:61 – 64.
3. Rashidian, B. Allen, M.G. "Electrothermal microactuators based on dielectric loss heating" MEMS '93, Proceedings 'An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Systems'. IEEE. , 7-10 Feb. 1993, Pages:24 – 29.
4. Riethmuller, W. Benecke, W. "Thermally excited silicon microactuators" Electron Devices, IEEE Transactions on , Volume: 35 , Issue: 6 , June 1988 Pages:758 – 763.