

PDMS 를 이용한 대변형 마이크로 스테이지의 최적화 설계

¹안준형, ¹이지창, ²박찬용, ²최보영, ²이동원,
¹전남대학교대학원 기계공학과, ²전남대학교 기계시스템공학부
E-mail: mems@chonnam.ac.kr

Optimization of large displacement micro-stage based on PDMS

¹Jun-Hyung Ahn, ¹Ji-Chang Lee, ²Chan-Yong Park, ²Bo Young Choi, ²Dong-Weon Lee
¹Graduate School of Mechanical Engineering, Chonnam National University,
²School of Mechanical Systems Engineering, Chonnam National University,

Abstract

We propose a new structure of micro-stages based on polydimethylsiloxane(PDMS). Several structure of the micro-stage are designed and optimized using a finite element. One of the designed micro-stage has a maximum displacement of about 500 μm at 300 $^{\circ}\text{C}$. The optimized design is proven to be very useful for actuators that require a large displacement.

1. 서론

마이크로머시닝 기술을 기반으로 하는 마이크로스테이지는 여러개의 구동기, 센서 및 제어 시스템으로 구성 되어 있으며, 서브-마이크론 이하의 분해능을 가지는 마이크로스테이지의 구현은 반도체 산업에서 직접화된 반도체 생산의 기본 조건이 될 뿐만 아니라, 표면형상을 관찰하는 STM 및 AFM 등 그 응용범위가 광범위하다. 마이크로스테이지의 정밀도는 기존의 기계적 구동기로는 구현하기가 어려워 최근에 정전기력(1), 전자기력, 열변형(2) 및 압전소자를 이용하는 방법들이 많이 연구 되고 있다. 그러나 이러한 구동기들은 구동 변위의 한계성을 가지고 있으며 또한, 정전기력(3)을 이용한 마이크로스테이지 제작의 경우 SOI 웨이퍼를 사용하기 때문에 고비용이 요구되며, 공정 중에 먼지가 들어 갈 경우 마이크로스테이지가 작동을 하지 않는 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 PDMS 를 구동기 재료로 이용하여 새로운 마이크로스테이지의 최적화 설계를 제안 하였으며, 구동방식으로는 열팽창을 이용하여 마이크로스테이지의 자유로운 구동환경 및 다른 시스템과 유동성있게 집적화 할 수 있으며, 또한 위치 정밀 제어가 가능 하면서 대변형을 가지는 마이크로스테이지를 최적화 설계하였다.

2. 본론

마이크로스테이지의 대변형을 위하여 새로운 구동 메커니즘 및 최적화 설계를 위하여 다양한 구조들을 제안 하였으며 비교적 재현성이 우수하고, 알루미늄 보다 (23 ppm)약 11 배, Polyimide(55ppm)보다 약 6 배 큰 열팽창 계수(약 310ppm / $^{\circ}\text{C}$)를 가지며, 쉽게 노화되지 않는 성질 때문에 반복구동에 강한 내성을 갖는 PDMS (Poly

di-methyl siloxane, Sylgard $^{\circledR}$ 184 Silicon Elastomer)를 구동기(4) 재료로 선택하여 위치 정밀 제어가 가능하면서 대변형이 가능한 마이크로스테이지를 최적화 설계하였다. 또한, PDMS 를 구조물로 이용한 마이크로스테이지의 제작 가능성을 알아보기 위하여 다양한 감광막(Photoresist, PR)을 이용하여 패턴을 제작한 후, 패턴 위에 PDMS 를 코팅하였다. 코팅 후 부드러운 고무칼을 이용하여 PDMS 를 제거한 후 대기중에서 24 시간 동안 PDMS 를 경화시켰으며, 표면 위쪽에 남아있는 잔류 PDMS 를 제거하기 위하여 반응성 이온 식각 장비를 이용하였다. 그림 1 에는 개략적인 실험공정 도 및 잔류 PDMS 및 감광막(Photoresist, PR)을 제거한 후 광학 현미경을 이용하여 PDMS 구조물을 나타내었다. 이러한 기초실험을 바탕으로 최적화 설계된 구조에 SU-8 을 이용하는 마이크로스테이지 제작 가능성 검토를 완료 하였다.

3. 마이크로스테이지 설계의 최적화 및 해석

마이크로스테이지의 크기는 2,000 μm \times 2,000 μm 이다. 설계된 구조는 삼각형 구조, 삼각형+지지대 구조 및 삼각형+홈 구조이며, 각각의 설계된 구조는 유한 요소 해석을 통하여 최적의 구조를 찾아 내었으며, 최적화된 마이크로스테이지의 개략적인 모습을 그림 2 에 나타내었다. 최대 변위량을 보인 구조는 삼각형 구조 앞단에 지지대를 만든 구조로써 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 약 150 μm 의 대변형을 보였으며, 이 구조는 다른 구조에 비해 약 2 배 정도 큰 변위량을 가짐을 알 수 있었다. 그 이유로는 구동기의 전체적인 모습이 삼각형이 층을 이루고 있는 모양의 앞단에 지지대를 만든 구조로써 Joule heating 시 구동기의 비틀림을 억제하며, 또한 삼각형의 변들이 꼭지점을 중심으로 힘의 평형에 의하여 앞쪽 방향으로 이동하게 되며, 이러한 이동은 삼각형의 한 부분에서 만이 아니라 겹겹이 쌓여 있는 삼각형에서 각각 일어나기 때문이라고 고려된다. 본 연구에서 최적화 설계된 마이크로스테이지의 변위량은 기존 열변형 마이크로스테이지의 구동범위 보다 약 3 배 정도 변위량이 증가한것이다. 그림 3 에는 최적화 설계된 구조를 유한 요소 해석으로 해석한 결과를 나타내었다. 또한, 그림 4 에는 상온에서 ~ 300 $^{\circ}\text{C}$ 로 온도 변화에 따른 마이크로스테이지의 변위량을 나타내었다. 온도가 증가 할 수록 변위량이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었으며, 히터부의

온도 변화에 따른 서플부분의 체적 변화가 없는 것을 해석 결과 알 수 있었다. 그림 5 에는 최대 변위량을 보인 삼각형+지지대 구조의 두께 를 50 μm ~ 100 μm 까지 변경하여 100 $^{\circ}\text{C}$ 로 Joule heating 시 변위량을 나타내었다. 그러나 두께의 변화에 따른 변위량의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 PDMS 를 이용하여 새로운 마이크로스테이지를 최적화 설계하고, 구동기 구조의 변화 및 온도, 두께를 변경하면서 위치 정밀 제어가 가능하면서 대변위가 가능한 마이크로스테이지 구조를 유한 요소 해석 결과 찾아 내었다. 세가지 구조 중에서 삼각형의 앞단에 각각 지지대를 만든 구조가 가장 큰 변위량을 보였으며, 이 구조는 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 약 150 μm 의 변위량을 보여 다른 구조에 비해 약 2 배 정도의 큰 변위량을 보였으며, 기존 열변형 마이크로스테이지 보다 약 3 배 정도 큰 변위량을 보였다.

참고문헌

1. H.Xie, Y.Pan, G.K.Fedder, Microelec System, 450-457, (2003)
2. K.C.Lee, S.S.Lee, Sensors and Actuators A, 37-43,(2004)
3. X.Chen, D. W. Lee, Proc. 10th Int. Sym. on Technology or Next Generation Vehicle & Machine, 101-106, (2007)
4. T. Ebefors, E. Kalvesten, Sensors and Actuators A 67 199-203 (1998)

감사의 글

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임 (Grant ROA-2007-000-10157-0).

그림 1. 실험 공정 순서도

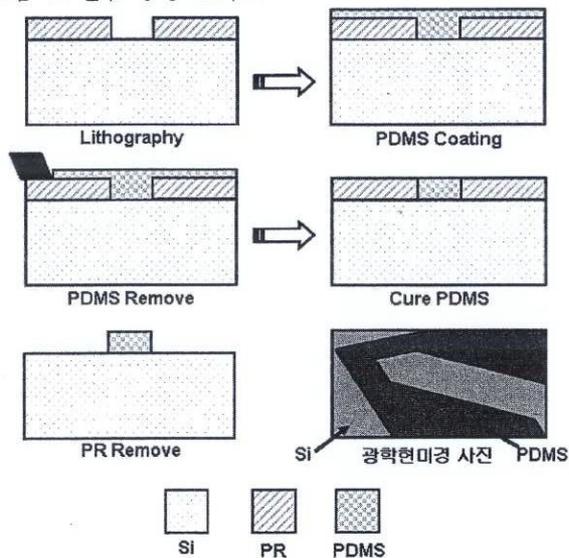


그림 2. 최적화 설계된 마이크로스테이지 개략도

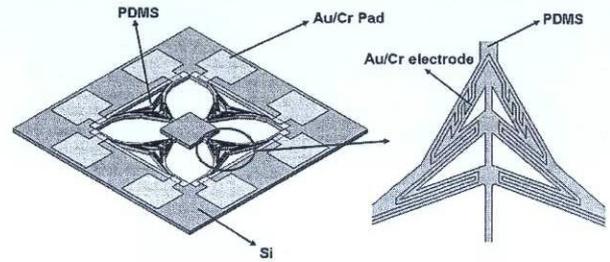


그림 3. 100 $^{\circ}\text{C}$ 로 Joule heating 시 최적화 설계된 구조의 유한 요소 해석 결과

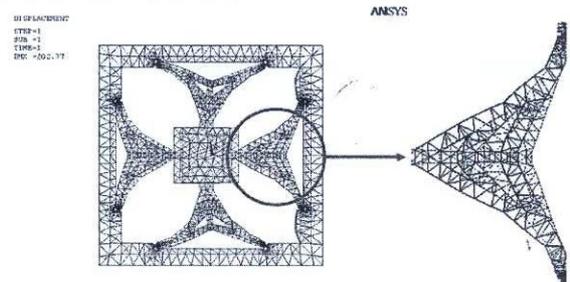


그림 4. 최적화 설계된 구조의 온도에 따른 변위량

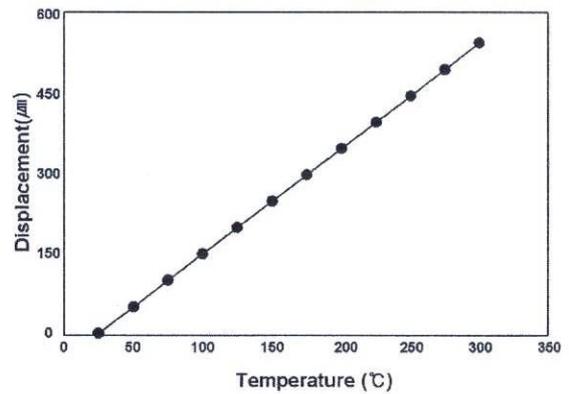


그림 5. 100 $^{\circ}\text{C}$ 로 Joule heating 시 최적화 설계된 구조의 두께 변화에 따른 변위량

