

p+ 박막을 전극으로 한 정전형 마이크로 구동기의 제작

°한 상우 양 의 혁 양 상 식
아주대학교 제어계측공학과

Fabrication of an Electrostatic Micro Actuator Using p+ Diaphragm As an Electrode

°Sang-Woo Han Eui-Hyeok Yang Sang-Sik Yang
Dept. of Control and Instrumentation Eng., AJOU University

ABSTRACT

In this paper, an electrostatic micro-actuator is fabricated using flat p+ diaphragm. To avoid the buckling of the flat p+ diaphragm, the processes are designed appropriately. The fabrication processes of the actuator are the anisotropic etching with EPW, the boron diffusion process, Al deposition and the silicon to glass bonding using the negative photoresist. The distance between the p+ and Al electrodes is 10 μ m, and the thickness of the p+ diaphragm is 2 μ m. The measurement of the characteristic of the actuator is performed at 50V. The center displacement of the diaphragm is 1.5 μ m at 10Hz. In comparison with the experimental data of the actuator with corrugated diaphragm, it is confirmed that the actuator with flat diaphragm is more effective than that with corrugated one in the small deflection region.

1. 서 론

반도체 소자 제조 기술을 이용한 마이크로 모타, 구동기, 센서 등의 전자 기계소자의 마이크로화는 이미 외국에서 활발히 진행되고 있으며, [1~4] 최근 국내에서도 세포 융합 시스템, 화학물 분석 시스템 등 의학 및 공학용으로 응용 가능한 마이크로 밸브 및 구동기 제작에 관한 연구가 시작되고 있다. [5, 6] 마이크로 구동기는 그 구동방식에 따라 여러가지로 구분할 수 있으며, 정전형[4, 7] 및 열공압형[8] 등으로 구분된다. 본 연구에서는 마이크로 펌프를 이루는 구성요소인 마이크로 정전형 구동기를 제작하고 그 특성을 조사한다. 정전형 구동기의 구동은 두 전극사이에 전압을 인가하였을 때 두 전극 사이에 발생하는 정전력을 이용한다. 이러한 전극은 일반적으로 알루미늄이 증착된 파이렉스 유리 와 박막이 형성된 웨이퍼를 양극접합(anodic bonding)기술[9]을 이용하여 접합함으로써 형성된다. 정전형 구동기의 가장 큰 약점은 큰 구동 전원을 필요로 한다는 것이다. 어느 정도 이상의 큰변위 영역에서는 평평한 박막에 비하여 주름진 박막이 같은 전압하에서 큰변위를 보인다. [10~12] 그러나 큰 변위를 얻기 위해서는 매우 큰 구동전압을 필요로 하기 때문에 정전형 구동에는 불리하다. 이론적으로, 낮은 전압으로 구동하는 저변위 영역에서는 같은 전압하에서, 주름진 박막보다 평평한 박막으로 더 큰 변위를 얻을 수 있다.

박막을 저변위 영역에서 구동시킬 경우, 전극간의 거리를 줄임으로써 박막의 변위를 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 평평한 p+ 박막을 전극으로 하는 정전형 구동기를 제작한다. 평평한 박막은 제조 공정후에 잔류응력으로 인하여 박막에 좌굴현상(buckling)이 발생하게 되는데, 박막의 제조시 좌굴이 발생하지 않도록 공정을 적절히 설계하여야 한다. 제작된 구동기에 대해서는, 레이저 진동계를 이용하여 정현파 인가 전압의 주파수를 변화시키면서 박막의 동작특성을 시험한다.

2. 구동기의 구조 및 설계

본 연구에서 제작한 평평한 박막을 가진 구동기의 전체 구조는 그림 1과 같다. 웨이퍼의 앞면에 p+ 를 도핑하고 뒷면에서 식각을 행하여 박막과 알루미늄이 증착된 파이렉스 유리 와 접합하여 구동기를 이룬다. 알루미늄 전극과 박막사이에 전압을 인가하면 두 전극사이에 정전력이 발생하여 박막이 알루미늄 전극쪽으로 휘게 되고, 교류 전압을 가하게 되면 박막이 진동하게 된다. 박막이 평평한 경우에 박막의 중심 변위와 박막에 주어지는 압력간의 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다. [10]

$$\frac{Pa^4}{Eh^4} = A_p \left(\frac{y}{h} \right) + B_p \left(\frac{y}{h} \right)^3 \quad (1)$$

$$A_p = \frac{16}{3(1-\nu^2)}$$

$$B_p = \frac{7-\nu}{3(1-\nu^2)}$$

이 때 P는 압력, E는 탄성계수, a는 박막의 반경, h는 박막의 두께, y는 박막의 중심 변위, 그리고 ν 는 Poisson 비를 나타낸다. 구동기의 두 전극 사이에

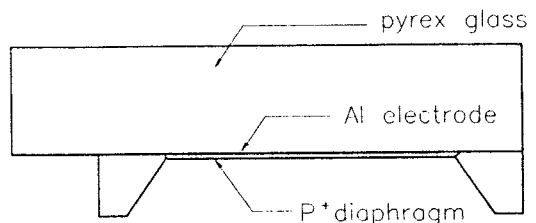


그림 1. 구동기의 전체 구조

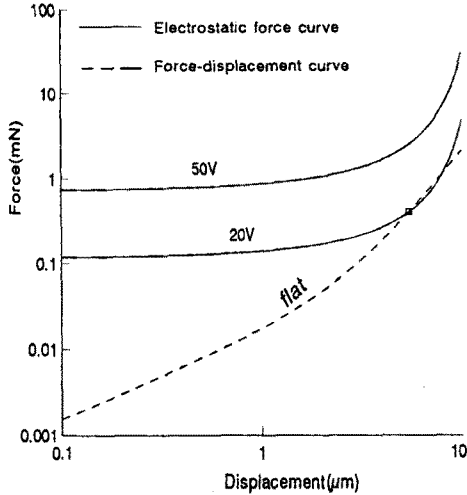


그림 2. 직류 전압 인가시 박막의 변위 대 힘
는 공기층과 절연체가 있으며, 절연체로는 음성감광막
(negative PR)을 사용하였다. 이 두 전극간에 전압을
인가하였을 때 두 전극간에 발생하는 정전력은 다음과
같다.

$$F = \frac{\epsilon_0}{2} \left(\frac{\epsilon_2 d_1}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2} \right)^2 \epsilon_1 V^2 \frac{A}{d_1^2} \quad (2)$$

여기서 ϵ_0 는 공기의 유전율, ϵ_1 는 공기의 비유전율,
 ϵ_2 는 절연체의 비유전율, V 는 두 전극 사이의 전위
차, A 는 전극의 넓이이며, d_1 은 두 전극 사이의 공
기층의 두께, d_2 는 절연체의 두께이다.

본 연구에서는 $a=1500\mu\text{m}$, $h=2\mu\text{m}$, $d_1=10\mu\text{m}$, $d_2=1\mu\text{m}$
로 설계하였고, p^+ 박막의 E 와 ν 는 각각 1.9×10^{11} ,
0.25이다. 또 ϵ_2 는 1.4이다. 그림 2는 DC 인가 전압
이 20V, 50V 일 때의 정전력 곡선들과 식(1)의 곡선을
그린 것이다. 그림에서 교차점은 평형점을 의미한다.
그림에 의하면 직류 50V를 인가하면 박막 중심이 반대
편 전극에 붙을 것으로 예측된다.

3. 구동기의 제작

본 연구에서 제작한 구동기의 박막은 제작의 용이성
에 중점을 두어 설계되어 있다. p^+ 박막은 n형 웨이
퍼의 붕소 농도가 $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이상이면 이방성 식각용
액인 EPW(E:P:W=250mℓ:40g:80mℓ)에 의한 식각율이
1/100 이하로 감소하는 성질을 이용하여 제작된
다.[13] 앞면에 붕소를 고농도로 도핑하고 뒷면에서
식각을 행하여 박막을 형성한다. 이와 같은 p^+ 박막
은 그 제작과정에서 산화 및 여러 번의 열처리 과정을
거치게 되므로 제작된 박막 내에는 박막의 두께 방
향으로 분포가 다른 잔류응력이 생기게 된다.[14,15]
식각의 보호층으로 사용되는 앞면의 산화막과 p^+ 층의
접합면 근처에서의 잔류응력과 p^+ 박막 아랫부분에서
의 잔류응력 차이는 크다. 이로 인하여 p^+ 박막에 좌
굴이 생기게 된다. 또한 좌굴이 크기 때문에 파이렉
스 유리와의 접합시 파이렉스 유리에 증착된 알루미늄
과 붙을 가능성이 있으며, 박막의 진동공간이 줄어든
다. 본 연구에서는 구동기의 박막을 좌굴이 없도록
적절한 공정으로 제작하였다. 그림 3은 평평한 박막
을 가진 구동기의 제작공정도이다. 먼저 정렬 홀

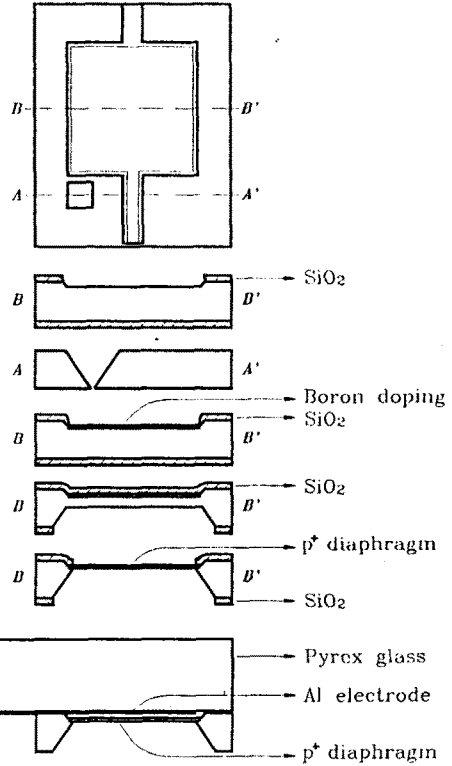


그림 3. 구동기의 제작 공정도

(align hole)을 식각한 후 앞면에 p^+ 를 도핑한다. 확
산 공정으로, 1100°C 에서 10시간의 선확산
(predeposition)을 행하고, 1000°C 에서 1시간의 후확
산을 행하면 표면으로부터 약 $2\mu\text{m}$ 인 곳의 붕소농도가
 $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이 된다. 마지막으로 뒷면 깊은 식각 공정
시에 앞면으로부터 대략 $22\mu\text{m}$ 정도를 남겨두고 실리콘
웨이퍼를 식각한다. 그 다음 앞면의 p^+ 층을 보호하
고 있는 산화막을 제거하고 나머지 $20\mu\text{m}$ 를 식각한다.
이와 같이 하여 p^+ 층의 뒷면에 있는 큰 응력층을 제
거하게 되어 좌굴이 없는 $2\mu\text{m}$ 두께의 평평한 박막을
얻을 수 있다. 마지막으로 알루미늄이 증착된 파이렉
스 유리와의 접합을 이용하여 접합함으로써 좌굴
이 없는 평평한 박막의 구동기를 완성하게 된다.

4. 측정 및 결과

본 연구에서 제작한 구동기의 측정에는 레이저 진동
계를 이용한다. 그림 4는 측정 시스템의 블럭도이다.
두 전극에는 송압기를 이용해서 전압을 증폭하여 인가
해 주고 인가 전압의 주파수를 변화시키면서 레이저
진동계의 출력을 측정한다. 그림 5는 평평한 박막과
알루미늄 전극간에 50V의 정전압 전압을 인가했을 때
의 주파수에 따른 박막의 변위를 나타낸다. 측정에 사
용된 구동기 박막의 크기는 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 이며, 박막의 두
께는 $2\mu\text{m}$, 박막과 알루미늄 전극간의 거리는 $10\mu\text{m}$ 이
다.

측정은 9Hz~40kHz 범위에서 수행한다. 그림에서
10Hz일때 박막의 변위가 $1.5\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 주파
수가 증가할수록 박막의 진폭은 감소함을 볼 수 있
고, 약 15kHz 부근에 공진점이 있음을 알 수 있다.
전극간의 거리가 $30\mu\text{m}$ 이고, 구동전압이 67V일 때 주름

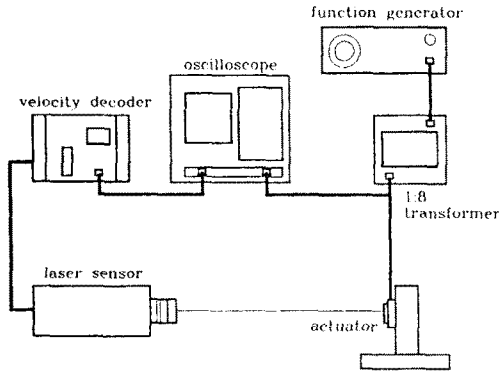


그림 4. 측정 시스템의 블록도

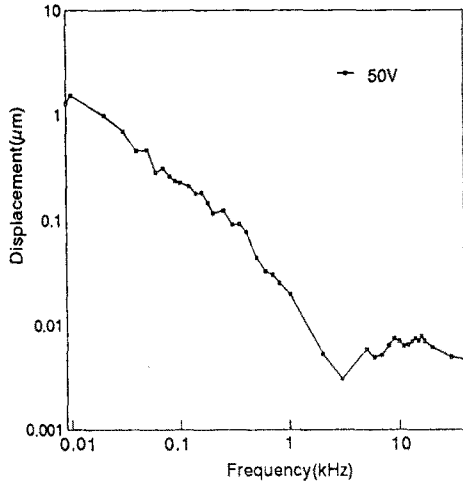


그림 5. 주파수에 따른 박막의 변위

진 박막을 이용한 구동기의 경우[5], 그 변위가 0.2kHz에서 0.18 μm 인 것과 비교하면 큰 변위를 얻었다. 그러나, 2절에서 예측한 직류에서의 변위 10 μm 보다 훨씬 작은 이유는 p+ 박막 내의 잔류 인장응력 때문인 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 p+ 식각정지층을 이용하여 좌굴이 없는 평평한 정전형 미세 구동기를 제작하고 그 특성을 조사하였다. 정전형 구동기는 균일한 두께의 박막과 알루미늄 전극으로 이루어진다. 제작된 정전형 구동기의 두 전극간 50V의 정현파 전압을 인가할 때 10Hz에서 박막의 변위가 1.5 μm 이었다. 구동기의 전극으로 평평한 박막을 사용하면, 주름진 박막을 사용할 때 보다 잔류 인장응력의 영향을 받기는 하나 전극간의 평균 거리를 줄일 수 있고, 낮은 구동 전압에서는 변위가 큰 장점이 있음을 확인하였다.

이 구동기는 추후 미세 밸브와 결합하여 액체를 이용한 특성시험을 거쳐 세포 수술이나 미세 유량조절 등에 응용할 수 있다.

6. 참고문헌

[1] S. Nakagawa, S. Shoji and M. Esashi, "A Micro Chemical Analyzing System Integrated on a

Silicon Wafer," IEEE-MEMS Workshop, pp.89-94, Napa Valley, U.S.A., 1990.

- [2] M. Esashi, S. Shoji and A. Nakano, "Normally Close Microvalve and Micropump Fabricated on a Silicon Wafer," IEEE-MEMS Workshop, pp. 29-34, Salt Lake City, U.S.A., 1989.
- [3] L. M. Roylance and J. B. Angell, "A Batch-Fabricated Silicon Accelerometer," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-26, pp. 1911-1917, Dec. 1979.
- [4] R. Zengerle, A. Richter and H. Sandmaier, "A Micro Pump with Electrostatic actuation," IEEE-MEMS Workshop, pp.19-24, Germany, Feb. 1992
- [5] 김성운, 양의혁, 양상식, "주름진 박막을 전극으로 한 정전형 미세 구동기의 제작" 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 207 - 209, 1993.
- [6] 서정덕, 양의혁, 양상식, "봉소 식각정지층을 이용한 두 개의 한 방향 실리콘 미세 밸브의 제작," 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.210-212, 1993.
- [7] R. Zengerle, M. Richter, A. Richter and H. Sandmaier, "Performance Simulation of Microminiaturized Membrane Pumps," Solid-State Sensors and Actuators, pp.106-109, Germany, 1993.
- [8] F. C. M. Van De Pol, H.T. G. Van Lintel, M. Elwenpoex and J. H. J. Fluitman, "A Thermo-pneumatic Micropump Based on Micro-engineering Techniques" Transducer '89, Digest pp. 198-202, Netherlands, 1989.
- [9] M. Esashi, A. Nakano, S. Shoji and H. Hebiguchi, "Low-Temperature Silicon-to-Silicon Anodic Bonding with Intermediate Low Melting Point Glass," Transducer '89, Digest pp.931-934, Montreux, Switzerland, June, 1989.
- [10] C. J. Van Hullera, K. J. Gabriel and H. Fujita, "Large Deflection Performance of Surface Micromachined Corrugated Diaphragms," Transducer '91, Digest pp.1014-1017, Tokyo Japan.
- [11] J. H. Jetman, "The Fabrication and Use of Micromachined Corrugated Silicon Diaphragm," Transducer '89, Digest pp.988-992, Montreux, Switzerland, June, 1989.
- [12] Y. Zhang and K. D. Wise, "Performance of Non-Planar Silicon Diaphragms under Large Deflections," IEEE-MEMS Workshop, pp.284-288, Florida, U.S.A., Feb. 1993.
- [13] H. Seidel, "The Mechanism of Anisotropic Silicon Etching and its Relevance for Micromachining," Transducers '87 Digest, pp.120-125, Tokyo, Japan, June 1987.
- [14] F. Maseeh and S. D. Senturia, "Plastic Deformation of Highly Doped Silicon," Transducer '89, Digest pp.861-865, Montreux, Switzerland, June, 1989.
- [15] X. Ding, W. H. Ko and J. M. Mansour "Residual Stress and Mechanical Properties of Boron-doped p+ Silicon Films," Transducer '89, Digest pp.866-871, Montreux, Switzerland, June, 1989.