

주름진 박막을 전극으로 한 정전형 미세 구동기의 제작

김성운 양의혁 양상식
아주대학교 제어계측공학과

Fabrication of an Electrostatic Micro Actuator Using a Corrugated Diaphragm As an Electrode

Kim Sung Yoon Yang Eui Hyeok Yang Sang Sik
Dept. of Control and Instrumentation Engineering, AJOU University

ABSTRACT

In this paper, an electrostatic silicon micro actuator has been designed and fabricated using the micro machining technology. The actuator consists of two counter electrodes. One is an Al film deposited on a pyrex glass, and the other is a circular corrugated diaphragm with boron doped. The diaphragm is fabricated by boron etch stop technique using an anisotropic etchant, EPW.

1. 서론

집적회로 제조 기술의 발달로 센서와 기계 장치의 극소형화가 가능해짐에 따라 이들 요소들의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 세포 융합 시스템, 화학물 분석 시스템 등 의학 및 공학용으로 사용하기 위한 미세 펌프에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. [1~5] 미세 펌프는 크게 미세 구동기와 미세 밸브로 나눌 수 있다. 구동기는 여러가지 구동원으로 제작 가능한데, 본 연구에서는 교류 전원을 이용하여 구동되기 때문에 복잡한 구동원이나 구동회로가 필요하지 않은 정전형 구동기를 제작한다. 이러한 구동기를 제작하기 위해서는 평행 전극판을 형성하기 위한 양극 접합 기술[6~8] 및 미세 박막 제작기술이 필요하다. 또한 구동원으로 박막을 구동시키는 펌프의 구동방식을 응용하면 외부 압력에 대한 박막의 변위를 커패시턴스나 저항의 변화로 감지하는 압력 센서로도 응용할 수 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 붕소 확산 공정, 그리고 EPW 용액을 이용한 비등방성 식각법을[9~15] 이용하여, 붕소 식각 정지막과 유리판으로 구성된 미세 구동기(micro actuator)를 제작한다.

2. 구동기의 구조

본 연구에서는 평행한 두 개의 판 사이에 작용하는 힘으로 박막을 진동시켜 유체나 세포를 펌핑하는 정전형 구동기를 제작한다. 두 개의 평행한 판을 얻기 위하여 붕소가 도핑된 실리콘 박막과 유리에 증착된 알루미늄을 각각 마주보도록 제작한다. 주름진 박막(corrugated diaphragm)은 동그란 형태의 동심원으로 이루어지며 제작 후의 레이저 진동계를 이용한 측정을 위하여 박막의 중심에서 바깥으로 400 μ m 가량을 평행하

게 제작한다. 그림 1은 정전형 미세 구동기의 정면도와 측면도를 나타낸다.

진동을 위한 박막은 2 μ m 두께의 주름진 박막으로 구성된다. 이 박막은 정전력을 이용하여 구동된다. [16~17] 이 전기적인 힘은 두 전극 사이가 공기로 되어 있고 전기장의 방향이 수직이라는 가정하에 계산할 수 있다.

$$F = \frac{1}{2} \epsilon_0 V^2 \frac{A}{d^2}$$

여기서 ϵ_0 는 공기의 유전율, V는 두 판사이의 전위차, A는 판의 넓이, 그리고 d는 두 판 사이의 거리를 나타낸다. 공기층의 두께가 20 μ m이고 전체 면적이 3mm인 박막에 200V의 전압을 인가할 경우 힘의 크기는 3.9843[mN]이 된다. 평행한 두 판이 평행한 상태를 유지하며 힘을 받을때 판사이의 거리에 따른 힘의 분포는 그림 2와 같다.

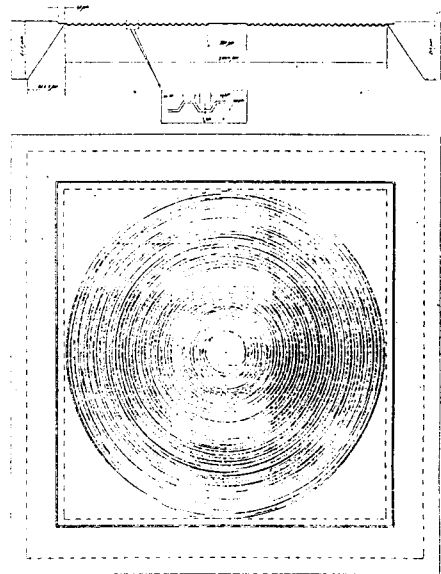


그림 1 정전형 미세 구동기의 구조

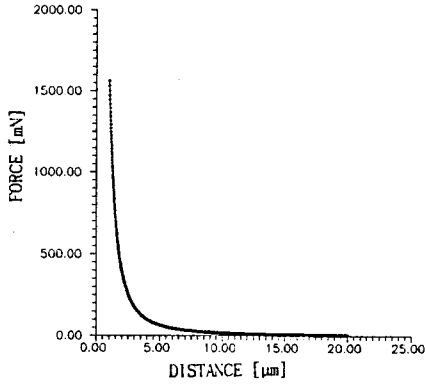


그림 2 두 전극의 거리에 대한 힘의 세기

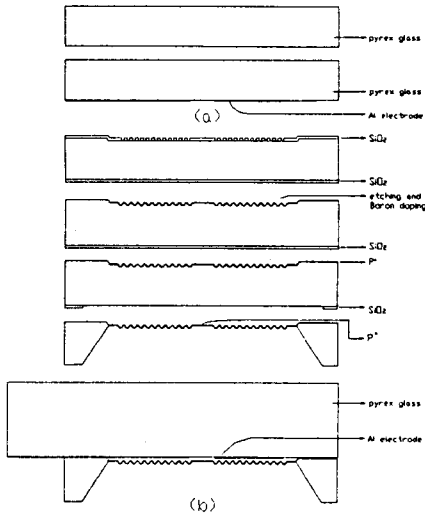


그림 3 구동기의 제작 공정 순서도

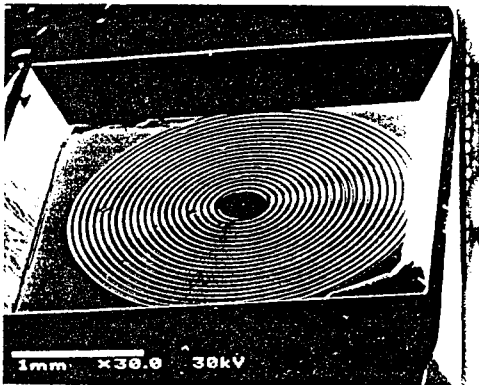


그림 4 제작된 주름진 박막의 뒷면 SEM 사진

3. 구동기의 제작

3.1 진동 박막의 제작

큰 변위를 얻기 위해서는 박막의 형태를 주름진 형태 (corrugation)로 제작하여야 한다. [18~20] 이 주름진 박막은 KOH 수용액으로 식각하며 붕소 식각 정지막으로 구성된다. P' 박막을 이용한 방법은 균일한 두께의 박막을 제작하는 데 유용하다. EPW 용액을 사용할 경우 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도에서 실리콘과의 식각률이 크게 차이가 난다. [21] 이런 식각률의 차이를 이용하여 식각 정지막을 제작할 수 있다. 그림 3은 구동기의 제작 공정 순서도이다. 먼저 박막의 진동 공간 형성을 위한 얇은 식각이 수행된다. 얇은 식각은 KOH를 이용하여 식각하는데 60℃에서 60분 동안 20μm를 식각한다. 이때 KOH 수용액의 식각율은 0.33μm/min이다. KOH 수용액의 식각에서는 자석 막대(magnetic stirrer)를 이용하여 용액을 순환시켜 주어야 하며 용액의 순환이 잘 이루어지지 않은 경우에는 식각 표면이 불균일하게 되어 식각 표면에 많은 힐락(hill lock)과 작은 구멍(hole)이 형성된다. 또한 자석 막대, 비이커, 캐리어(carrier) 등의 세척에 주의하여야 한다. 진동 공간의 식각시 뒷면의 산화막은 PR를 사용하여 보호한다. 식각액은 KOH : Iso-Propanol : H₂O 를 3 : 2 : 1의 비율로 혼합하여 사용한다. Iso-Propanol은 식각시 KOH의 증발을 막아 일정한 조성비를 유지하기 위하여 첨가한다. 박막의 진동 공간을 형성한 후 주름진 박막을 위한 식각을 수행한다. KOH 수용액을 이용하여 60℃에서 60분간 20μm를 식각함으로써 주름진 형태의 모든 면들이 20μm를 유지하도록 제작하였다. 또한 중심 부분을 측정기기인 레이저 진동기의 빛의 지름 크기 만큼 평평한 모양으로 제작한다. 이는 레이저의 모든 빛이 전 반사 되도록 하기 위함이다. 사진식각공정시 박막의 진동 변위를 식각한 후이기 때문에 PR의 코팅(coating)시 스피너(spinner)의 분당 회전수를 3000rpm으로 하여 PR이 고르게 코팅되도록 한다.

박막의 형성을 위하여 식각할 때 앞면과 뒷면을 정합하여야 한다. 뒷면의 식각을 위한 정렬 키를 만들기 위하여 정합 구멍을 앞면에서 식각한다. 정렬 키를 만들기 위하여 앞면에서 760μm의 식각 창을 형성하여 125℃ EPW 용액에서 530분 식각하면, 뒷면의 정렬 키는 100μm의 정사각형 모양으로 형성된다. 붕소 식각 정지막 형성을 위하여 확산 공정을 행한다. 확산 공정은 고체 확산원 BN 1100을 사용하여, 1100℃에서 10시간 정도의 선확산 후 1시간의 후확산을 수행한다. 앞면 공정이 완료되면 뒷면에서 사진 식각 공정을 통하여 패턴을 형성한 후 125℃ EPW수용액에서 535분 식각한다. 식각된 박막은 2μm의 균일한 박막을 이룬다. 그림 4는 제작된 주름진 박막의 뒷면 SEM 사진이다.

3.2 양극 접합

양극 접합에 필요한 전극 및 회로의 제작과 실험을 통하여 최적의 접합 상태를 얻을 수 있는 조건을 설정한다.

실리콘과 유리의 접합 원리는 다음과 같다. 높은 온도를 이용하여 유리 내의 양전하인 Na⁺ 이온과 음전하의 이동을 가능하게 한 다음, 강한 전기장으로 이들 이온을 표면으로 이동시킨다. 이동된 음전하는 실리콘에 인가된 + 전극쪽으로 강하게 끌리게 되어 실리콘과 유리를 큰 힘으로 누르는 효과를 얻게 된다. 이때 실리콘과 유리의 표면에 존재하는 산소 분자들과 Si 원자가 결합하여 Si-O-Si 구조를 형성하게 되며 양전하인 Na⁺는 유리 표면에 인가된 - 전극판으로부터 음이온과 결합하여 Na⁻ 분자가 되어 유리 표면에 형성된다. 전기장이 인가되면 Na⁺ 이온이 전기의 이동을 유발시켜 순

간적으로 큰 전류가 흐르게 된다. Na^+ 이온이 - 전극 쪽으로 모이게 되면 공핍층이 형성되기 때문에 흐르는 전류의 양이 줄어들게 된다. [22] 이 흐르는 전기의 양을 관찰함으로써 접합의 여부를 확인할 수 있다.

본 실험에서는 800V, 300°C에서 접합을 수행하였다. 접합은 수 초 이내에 수행되며, 접합이 이루어진 부분은 짙은 갈색으로 변하며 음극쪽으로 나트륨의 생성이 관찰된다.

4. 결론

본 논문에서는 표준 반도체 제조공정과 비등방성 식각 기술을 이용하여 정전형 실리콘 미세 구동기를 제작하였다. 제작된 구동기는 기본적으로 주름진 박막과 전극으로 구성된다. 주름진 박막은 동심원 형태로 넓이가 20 μm 이다. 전체 박막의 모양은 정사각형이며 그 중심에 주름진 박막이 있다. 붕소 식각 정지막을 이용하여 제작된 박막은 두께가 매우 균일함을 알 수 있다.

추후 제작된 박막과 파이렉스 유리를 양극 접합 기술을 이용하여 접합한 후 레이저 진동계를 이용한 측정이 수행될 예정이다.

5. 참고 문헌

- [1] 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, UT, U.S.A., Feb., 1989.
- [2] Axel Richter and Hermann Sandmaier, "An Electrohydrodynamic Micropump," IEEE - MEMS Workshop, pp.99-104, Napa Valley, California, February, 1990.
- [3] A. Richter, A. Plettner, K. A. Hofmann, and H. Sandmaier, "Electrohydrodynamic Pumping and Flow Measurement," IEEE-MEMS Workshop, pp.271-276, Nara, Japan, Feb. 1991.
- [4] F. C. Van De Pol, H. T. G. Van Lintel, M. Elwenspoek and J. H. J. Fluitman, "A Thermopneumatic Micropump Based on Micro - engineering Techniques," Tech. Digest, Transducers, Montreux, Switzerland, pp. 198-202, June 1989.
- [5] J. A. Folta, N. F. Raley and E. W. Hee, "Design, Fabrication and Testing of A Miniature Peristaltic Membrane Pump," Solid-State Sensor and Actuator Workshop, pp.186-189, South Carolinar, U.S.A., June 1992.
- [6] J.B.Lasky, IBM General Technology Division, Essex Junction, Vermont 05452, "Wafer Bonding for Silicon - on - Insulator Technologies," Appl. Phys. Lett. Vol.48, pp.78-80, No.16, Jan. 1986.
- [7] C. Harendt, H. G. Graf, E. Penteker and B. Höffinger, "Wafer Bonding: Investigation and In - Situ Observation of The Bond Process," Transducer ' 89 Digest pp. 927-930, Montreux, Switzerland, June 1989.
- [8] 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.
- [9] D. B. Lee, "Anisotropic Etching of Silicon," J. Appl. Phys., Vol. 40, pp.4569 - 4575, Oct. 1969.
- [10] E. Bassous, "Fabrication of Novel Three - Dimensional Microstructures by the Anisotropic Etching of (100) and (110) Silicon," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-25, pp.1178-1185, Oct. 1978.
- [11] X. P. Wu, Q. H. Wu and W. H. Ko, "A Study on Deep Etching of Silicon Using EPW," Transducers '85 Digest, pp. 291-29 Philadelphia, U.S.A, June 1985.
- [12] K. E. Bean, "Anisotropic Etching of Silicon," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-25, pp. 1185-1193, Oct. 1978.
- [13] Ernest Bassous, "Fabrication of Novel Three - Dimensional Microstructures by the Anisotropic Etching of (100) and (110) Silicon," IEEE, Vol. 25, No.10, pp.1178-1185, Oct. 1978.
- [14] Samuel K. Clark, Kensall D. Wise, "Pressure Sensitivity in Anisotropically Etched thin - Diaphragm Pressure Sensors," IEEE, Vol.26, No.12, pp.1887-1896, Dec. 1979.
- [15] 양 의혁, 양 상식, "압저항 가속도계를 위한 실리콘 공진자에 관한 연구," 전기학회 논문지, Vol.41 NO 10, pp.1164-1172, 1992
- [16] K. J. Gabriel, O. Tabata, K. Shimaoka, S. Sugiyama, H. Fujita, "Surface - Normal Electrostatic/Pneumatic Actuator," IEEE - MEMS Workshop, pp. 128-132, Travemünde, Germany, Feb. 1992.
- [17] K. Sato, M. Shikida, "Electrostatic Film Actuator with A Large Vertical Displacement," IEEE - MEMS Workshop, pp.1-5, Travemünde, Germany Feb. 1992.
- [18] J.H.Jerman, "The Fabrication and use of Micromachined Corrugated Silicon Diaphragms," Transducer ' 89, Digest, pp.988-992, Montreux, Switzerland, June. 1989.
- [19] 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.
- [20] V. L. Spiering, S. Bouwstra, R. M. E. J. Spiering, and M. Elwenspoek, "On-Chip Decoupling Zone for Package - Stress Reduction," Transducer ' 91 pp. 982 - 985 University of Twente, The Netherlands.
- [21] F. Maseeh and S. D. Senturia, "Plastic deformation of highly doped silicon," Transducer ' 89 pp. 861-865 Cambridge, MA, U. S. A.
- [22] Y. Kanda, K. Matsuda, C. Murayama and J. Sugaya, "The Mechanism of Field - Assisted Silicon - Glass Bonding," Transducers ' 89 Digest pp. 939 - 943, Montreux, Switzerland, June. 1989.