

붕소 식각 정지층을 이용한 두 개의 한 방향 실리콘 미세 밸브의 제작

서정덕 양의혁 양상식
아주대학교 제어계측공학과

Fabrication of Two One-Way Silicon Micro Valves using Boron Etch Stop Layer

Seo Jeong Deok Yang Eui Hyeok Yang Sang Sik

Dept. of Control and Instrumentation Engr., AJOU University

Abstract

In this paper, a silicon microvalve has been fabricated using micromachining technology. The valve consists of the several thin silicon diaphragms which are designed to open and close depending on the pressure difference. It is supposed to pass fluids in only one direction. The thin diaphragms are fabricated by boron etch stop using an anisotropic etchant, EPW. The fabricated valve has been tested for various pneumatic pressure. According to the experimental results, the slit width of the valve increases as the pneumatic pressure increases.

1. 서론

마이크로머시닝(micromachining) 기술을 이용한 미세 전자기계 시스템(Micro Electro Mechanical Systems)의 발전은 3차원적 구조를 가진 가속도 센서, 압력 센서, 바이오 센서 등의 센서와 모터, 밸브 및 펌프 등의 구동기 개발로 이어지고 있다.^[1-3] 극소형 기계장치들이 집적되고 소형화 되어 대량 생산될 경우 원가 절감 및 신뢰도 향상 등이 기대될 뿐만 아니라 미세 유량 조절, 세포 조작 등 마이크로 시스템으로의 응용이 가능하게 된다. 최근에는 화학물 분석 시스템이나 세포 융합 시스템 등 화학 및 의학 분야로 응용 가능한 미세 펌프의 개발이 활발히 이루어지고 있다.^[4-5] 미세 펌프를 이루는 요소로는 미세 구동기와 미세 밸브가 있다. 이 중 미세 밸브는 유체 및 미생물체 수송에 유용하므로 많은 연구가 이루어지고 있다.^[6-8] 미세 밸브는 크게 수동형과 능동형으로 나눌 수 있고, 구동원에 따라 분류하면 공압형, 정전형, 열, 전자형 등이 있다.

미세 밸브는 보통 두 개 이상의 웨이퍼, 또는 한개의 웨이퍼와 파이렉스 유리를 접합하여 제조되고 있다.^[6-9] L. Smith 등은 단일 웨이퍼를 이용한 수동형 밸브를 제작하였다.^[10] 이 밸브는 선택적인 p-확산에 따른 EPW와 KOH 비등방성 식각액의 확산된 붕소의 농도에 따른 실리콘 식각율의 차이에 의하여 제조되었다. 그러나, 이 방법은 제작시 붕소 도핑농도와 식각액의 조건에 따라서 두 박막 사이의 간격 조절이 어렵게 된다.

이러한 점을 감안하여, 본 연구에서는 두 박막 사이의 간격 조절을 쉽게 할 수 있는 공정기술을 개발하고 박판화된 웨이퍼를 사용하여 두 개의 한 방향 밸브를 단일 웨이퍼에 집적한다. 박판화된 웨이퍼를 사용하면 미세 펌프의 제작시 밸브를 구동기 내에 들어갈 수 있게 하여 펌프의 부피를 줄일 수 있으며, 구동기와 밸브의 접합시 각각을 유리하고 접

합하여 만들 수 있으므로 공정이 어려운 실리콘-실리콘 접합대신 비교적 접합하기 쉬운 양극 접합(anodic bonding)으로 제작이 가능하다.

2. 밸브의 구조

미세 밸브는 그림 1과 같이 단일 웨이퍼를 사용하여 한 다이(die) 내에 각각 반대 방향의 입구 및 출구를 이루는 두 개의 밸브가 한 쌍을 이루도록 한다. 다이의 크기는 $3000\mu\text{m} \times 3000\mu\text{m} \times 330\mu\text{m}$ 이며 밸브 한 개의 크기는 $1420\mu\text{m} \times 895\mu\text{m} \times 330\mu\text{m}$ 두 박막 사이의 간격은 $25\mu\text{m}$ 이다. 한 개의 밸브는 서로 같은 방향으로 기울어진 두 개의 실리콘 박막으로 되어 있고, 이 사이로 유체 또는 미생물체가 통과되도록 하였다. 이러한 구조는 밸브를 통과하게 될 물체에 따라 두 박막 사이의 간격을 적절히 설계할 수 있고, 단일 웨이퍼내에 여러 개의 밸브를 동시에 제작할 수 있으며, 제작 공정이 간단하다는 장점이 있다.

3. 밸브의 제작

밸브의 제작에 사용된 웨이퍼는 $\rho = 10 \sim 20\Omega\text{cm}$ 인 4 inch N형 (100) 웨이퍼로 두께가 $330 \pm 10\mu\text{m}$ 이다. 두께가 얇고 균일한 박막을 얻기 위하여 붕소 식각 정지층을 이용한다. EPW 식각액에 붕소 도핑 농도가 $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이상이면 EPW용액에 의한 p-실리콘의 식각율이 50분의 1 이하로 떨어지게 된다.^[11] 이 원리를 이용하여 미세한 박막을 정확한 두께로 제조할 수 있다. 붕소 확산에 필요한 최적 조건을 얻기 위하여 SUPREM 시뮬레이션을 통하여 시간과 온도를 시뮬레이션하고 이를 토대로 하여 확산 공정을 행한 후 Ethylenediamine : Pyrocatechol : DI Water 를 250 ml : 40 g : 80 ml 으로 혼합하여 $112 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 390분 동안 식각하여 박막을 제조한다. 박막의 두께가 $3\mu\text{m}$ 가 되도록 하기 위하여는, 박막 표면으로부터 $3\mu\text{m}$ 떨어진 점에서의 EPW 식각액에 의한 실리콘 식각율이 50분의 1 이하로 떨어지게 되는 붕소 도핑 농도를 얻어야 한다. SUPREM 시뮬레이션 결과 1100°C 에서 420분의 붕소 확산 공정 후 1000°C 에서 80분 후확산하면, 표면저항 $2,856\Omega/\square$, 표면으로부터 $3\mu\text{m}$ 인 점

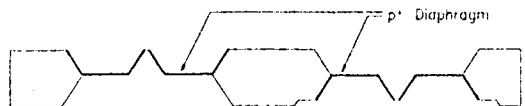


그림 1 실리콘 미세 밸브의 구조

에서의 붕소 도핑농도가 $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 인 박막을 얻을 수 있다. 밸브 제작 공정 순서는 그림 2와 같다.

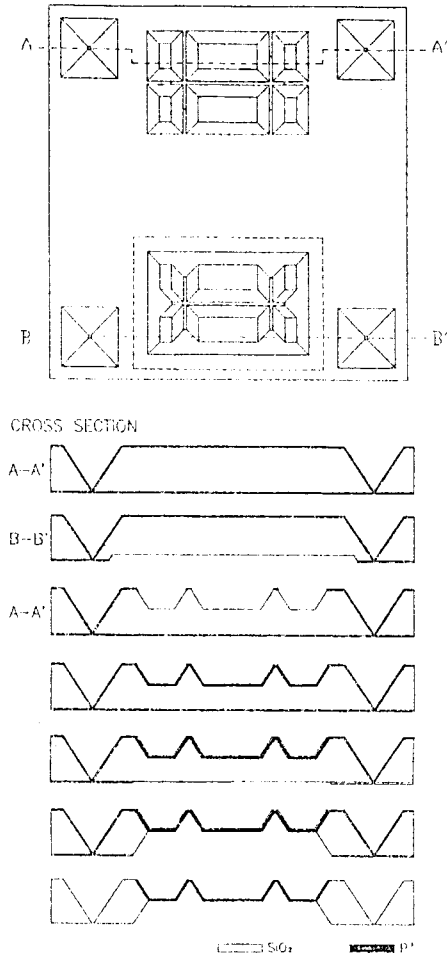


그림 2 밸브의 제작 공정

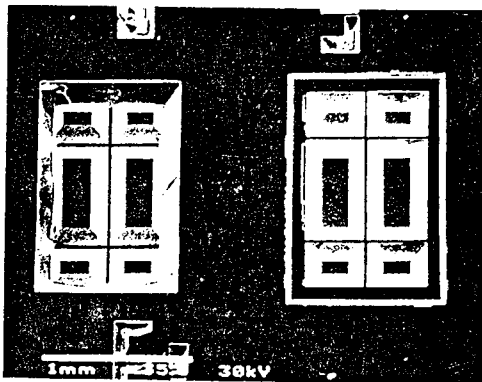


그림 3 실리콘 미세 밸브의 SEM 사진

1000°C에서 80분동안 습식산화로 열산화막을 성장시킨 후 양면 정렬구멍 형성을 위한 사진식각공정을 행한다. 정렬구멍이 형성되도록 EPW 식각액의 식각율을 계산하여 충분한 시간을 식각한다. 밸브가 움직일 수 있는 공간 형성을 위하여 양면 정렬을 사용하여 사진식각공정을 행한 후 112 ± 2 °C에서 60분동안 EPW 식각액을 이용하여 50μm를 식각한다. 열산화막을 모두 제거한 다음 다시 1000°C 200분 동안 습식산화로 열산화막을 성장시킨다. 이 때 산화막의 두께는 다음 공정에서 비등방성 식각시 식각 마스크 및 붕소 확산공정시의 마스크로 필요한 산화막 두께를 계산하여 결정한다. 사진식각공정 후 165분동안 140μm의 비등방성 식각을 행한다. 식각 정지막으로 사용하기 위한 붕소 식각 정지층을 형성하기 위하여 선택적으로 붕소 확산 공정을 BN1100을 사용하여 1100°C에서 7시간 선풍산 한 다음, BSG를 제거하고 후확산하여 비등방성 식각시 마스크로 작용할 산화막을 성장시킨다. 최종 밸브 형성을 위하여 반대면의 산화막을 제거한 다음 112 ± 2 °C에서 390분동안 비등방성 식각액을 이용하여 식각한다. 그림 3은 완성된 실리콘 미세 밸브의 SEM 사진이다.

4. 성능 분석 및 고찰

그림 4는 측정 장치를 나타낸다. 측정 장치는 압력 공급기, 미세 압력 조절 밸브, 압력계, 현미경 등으로 구성되며 압력 변화에 따른 두 박막 사이의 간격 변화를 측정한다.

측정에 사용된 미세 밸브는 길이 690μm, 박막의 두께 3μm, 두 박막 사이의 간격 22μm이고 깊이는 198μm이다. 성능 분석은 미세 압력 조절밸브를 조절하여 챔버내의 압력을 변화시키면서 실리콘 밸브의 두 박막 사이가 벌어지는 정도를 측정한다. 압력변화는 0~1기압까지 0.05기압 단위로 변화시킨다. 그림 5는 밸브에 0.6기압을 인가했을 경우의 밸브의 윗면을 관찰한 광학 현미경 사진이고, 그림 6는 1기압 인가시의 광학 현미경 사진이다. 그림 5와 6은 길이가 690μm, 두께가 3μm인 박막이 그 중간 부분에서 최대로 벌어짐을 보여준다. 이때 양 모서리에서는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그림 7은 챔버내의 압력을 0~1기압으로 0.05기압 단위로 변화시키면서 관찰한 두 박막사이의 간격을 나타낸 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 0.3기압을 기점으로 비선형적 응답이 나오는 것을 알 수 있다. 압력에 따른 두 박막 사이 간격의 변화율은 0에서 0.3기압까지의 측정에서는 $8.3 \mu\text{m}/0.1 \text{bar}$ 로 나타내며, 0.3~1기압에서는 $4.1 \mu\text{m}/0.1 \text{bar}$ 이다.

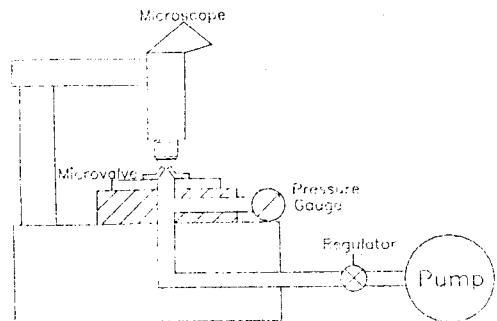


그림 4 측정 장치

5. 결론

미생물체 수송을 목적으로 새로운 구조의 밸브를 제작하고 그 동작특성을 관찰하였다. 서로 같은 방향으로 기울어진 두 개의 실리콘 박막 사이로 미생물체 및 유체가 통과되도록 하였다. 챔버내의 압력이 높아짐에 따라 박막의 중간 부분에서 최대로 휘어지며 양 모서리에서는 변화가 거의 없다. 이 밸브는 간단한 반도체 제조 공정기술로 제작이 가능하며 단일 웨이퍼에 두 개의 한 방향 밸브를 집적하여 여러개의 밸브를 동시에 제작할 수 있다. 이러한 구조를 이용하여 밸브를 제작할 때, 용도에 따라 두 박막 사이의 간격을 다르게 설계함으로써, 미세 유량 조절이 가능한 밸브를 얻을 수 있다.

추후 유량에 대한 실험을 하여 누선량을 측정하고, 반대 방향으로의 압력 인가시 유량과 두 박막 사이의 간격변화에 대한 실험을 한다. 밸브 구조를 1차형으로 간단하게 개선하여 압력 변화에 대하여 유량과 두 박막 사이의 간격 변화를 알아본다.

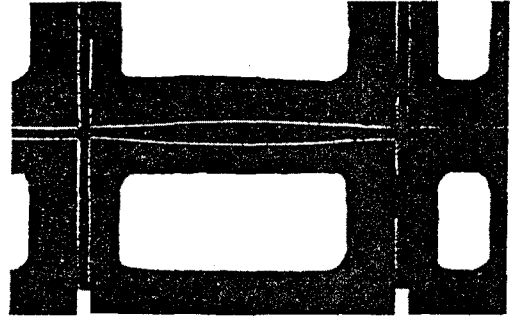


그림 5 0.6기압 인가시 광학 현미경 사진

6. 참고문헌

1. L. M. Roylance and J. B. Angell, "A Batch - Fabricated silicon Accelerometer," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-26, pp.1911-1917, Dec. 1979.
2. 양 의 혁, 양 상 식, "압저항 가속도계를 위한 실리콘 공진자에 관한 연구," 전기학회 논문지, 제 41권 10호, pp. 1164-1171, 1992.10.
3. T. Ohnstein, T. Fukiura, J. Ridley and U. Bonne, "Micromachined Silicon Microvalve," IEEE-MEMS Workshop, pp.95-98, Napa Valley, U.S.A., Feb., 1990.
4. Masuda, S., Washizu, M. and Nanba, T., "Novel Method of Cell Fusion in Field Constriction Area in Fluid Integrated Circuit," IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 25, pp. 732~737.1989.
5. Nakagawa, S., Shoji, S. and Esashi, M., "A Micro Chemical Analyzing System Integrated on a Silicon Wafer," IEEE-MEMS Workshop, pp. 89~94, Napa Valley, U.S.A. 1990
6. S. Shoji, B. V. Schoot, N. R. and M. Esashi, "Smallest DEAD Volume Microvalves for Integrated Chemical Analyzing Systems," Transducers '91 Digest, pp. 1052-1055, Tokyo/Montreux, Japan/Switzerland, June., 1991.
7. M. Esashi, "Integrated Micro Flow Control Systems," Transducers '89 Digest, pp.161-167, Montreux, Switzerland, June., 1989.
8. 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.
9. T. S. J. Lammerink, M. Elwenspoek and J. H. J. Fluitman, "Integrated Micro-Liquid Dosing System," IEEE-MEMS Workshop, pp.254-259, Fort Lauderdale, Florida, Feb., 1993.
10. J. Tiren, L. Tenerz and B. Hök, "A Batch-Fabricated Non-Reverse Valve With Cantilever Beam Manufactured By Micromachining Of Silicon," Sensors And Actuators, Vol 18, pp.389-396, 1989.
11. L. Smith and B. Hök, "A Silicon Self-Aligned Non-Reverse Valve," Transducers '91 Digest, pp.1049-1051, Tokyo/Montreux, Japan/Switzerland, June., 1991.
12. H. Seidel, "The Mechanism of Anisotropic Silicon Etching and its Relevance for micromachining," Transducers '87 Digest, pp.120-125, Tokyo, Japan, June., 1987.

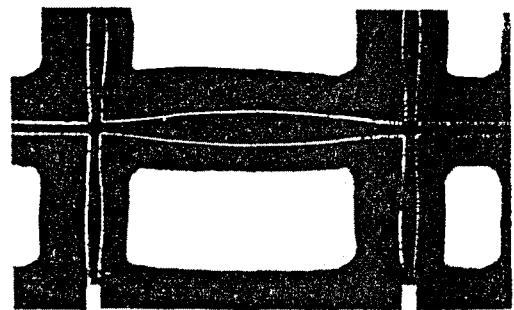


그림 6 1기압 인가시 광학 현미경 사진

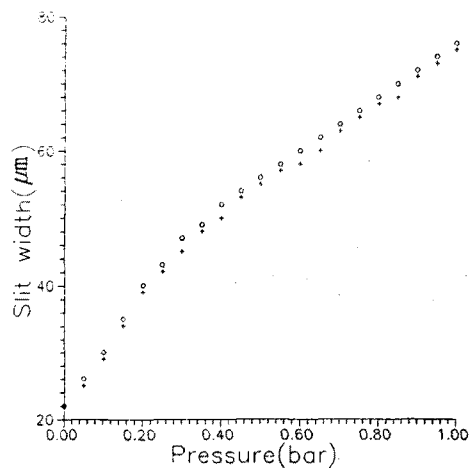


그림 7 공기 압력에 대한 두 박막 사이의 간격