

압전 구동기를 이용한 마이크로 펌프의 제작

지영훈* · 양상식
아주대학교 전기전자공학부

Fabrication of a Micropump using Piezoelectric Actuator

Y. H. Ji. S. S. Yang.

School of Electrical and Electronic Engineering, AJOU University

Abstract

In this paper, a piezoelectric micropump is fabricated and tested. The micropump consists of an actuator and two micronozzles have been made of silicon. It contains a piezoelectric polymer which allows opening and closing of the valves electrically. The actuator and the two micronozzles are fabricated by the anisotropic etch using EPW. Then, the fabricated actuator and the valves are anodically bonded with the pyrex glass which consists of the inlet and the outlet channels. The measured deflection of the piezoelectric polymer is 54 μm at 1.6 kHz. The maximum pumping flow rate and the backward pressure of the micropump are 22 μl /min, 8.7 Pa at 10 Hz, respectively.

[12-13]으로 나눌 수 있다. 수동형은 T. Gerlach[5]에 따르면 정적 수동형 밸브와 동적 수동형 밸브로 분류되어진다. 정적 수동형 밸브는 정밀한 유량제어시 저주파 동작과 준비(stand-by)상태에서도 역방향 압력에 대한 누설 방지의 특성을 갖는다. 그렇지 만 정적 수동형 밸브는 복잡한 구조 및 움직이는 요소에 대한 꽤 큰 공간이 요구되어진다. 마이크로 펌프는 성능과 재현성의 향상을 위하여 보다 더 간단히 제작될 수 있어야만 한다. 따라서, 본 논문에서는 PVDF 필름을 구동부분으로 사용하는 압전형 구동기와 제작이 간단한 노즐형 마이크로 밸브를 제작한다. PVDF 필름과 제작된 펌프의 동작특성을 시험한다.

1. 서론

최근 마이크로 전자 기계 시스템을 여러 가지 분야에 응용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 화학물 분석 시스템이나 약품 전달기, 세포 융합 시스템 등 생물학, 화학 및 의학 분야로의 응용이 가능한 마이크로 펌프에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다[1-3]. 마이크로 펌프는 구동기의 구동방식에 따라 압전형[4-5], 열공압형[6], 정전형[7-8], 그리고 광 구동형[9] 등이 있다. 압전형 구동의 경우, 다른 구동방식보다 더 큰 변위를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 압전형 펌프는 박막의 유리위에 압전 세라믹을 접착시켜 구동한다. 압전 세라믹은 압전 폴리머인 PVDF 필름보다 강한 압전성과 탄성 강성 계수가 훨씬 높기 때문에 큰 힘을 낼 수 있지만 반면에 변위가 작다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 압전 세라믹보다 큰 변위를 가지며 제작단가도 싸고 크기와 모양의 핸들링이 용이한 PVDF 필름을 사용한다. 압전형 마이크로 펌프의 경우 박막위에 압전체를 붙이나, PVDF의 경우에는 직접 펌프의 기판에 에폭시 수지로 접착시킨다.

마이크로 밸브는 작동방식에 따라 수동형[10-11]과 능동형

2. 펌프의 구조

그림 1은 마이크로 펌프의 전체구조를 보여주는 단면도이다. 상부 부분은 압전형 구동기이고, 하부 부분은 노즐형 마이크로 밸브이다. 압전형 구동기는 PVDF 필름과 펌프 몸체로 구성된다. 그림 2는 PVDF 필름의 구조를 나타낸다. 펌프 몸체의 크기는 $14 \times 14 \text{ mm}^2$ 이고 펌프 챔버의 크기는 $9.8 \times 9.8 \text{ mm}^2$ 이다. PVDF 필름의 무게는 2.74 mg이고, 크기는 $13 \times 13 \text{ mm}^2$ 이며 전압이 인가될 상부 층은 $9 \times 9 \text{ mm}^2$ 이다. 펌프 몸체에는 PVDF 필름과 접촉시 사용되는 에폭시 수지의 펌프 챔버내의 유입을 막기 위하여 50 μm 깊이의 V 그루브가 있다. 한 쌍을 이루는 밸브 다이의 크기는 $4180 \mu\text{m} \times 4180 \mu\text{m} \times 330 \mu\text{m}$ 이며 유체가 통과하는 마이크로 노즐의 슬릿 간격과 길이는 각각 175 μm 와 1050 μm 인 직사각형 구조이다. 전기화학 방전 가공 기술로 제작된 유로를 형성하는 파이렉스 유리(#7740)의 두께는 520 μm 이고, 입출력 유로의 크기는 대략 750 μm 이다. PVDF 필름의 상부 층에 교류 전압을 인가하면 PVDF 필름은 압전 효과에 의하여 변형을 일으키고 상하진동한다. 이때, PVDF 필름의 진동은 펌프 챔버내부의 부피와 압력 변화를 생성시킨다. 만약 지속적인 작용이 이루어지면 유체는 노즐을 통하여 흐르게 된다.

3. 마이크로 펌프의 제작 공정

본 연구에서의 펌프 몸체와 마이크로 노즐의 제작에 사용되는 웨이퍼는 양면으로 연마된 4 inch n형 (100) 실리콘 웨이퍼로 두께가 각각 $450 \pm 10 \mu\text{m}$ 와 $330 \pm 10 \mu\text{m}$ 이다. 구동기 몸체는 1000 °C에서 80 분간 습식산화로 0.5 μm 의 열산화막을 성장시킨 후 사진 식각 공정을 행한다. 구동기 웨이퍼의 비등방성 식각은 $115 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 (100) 실리콘 웨이퍼의 식각율이 $1.25 \pm 2 \mu\text{m}/\text{min}$ 인 EPW (Ethylendiamine : Pyrocatechol : DI Water = 250ml : 40g : 80ml) 용액을 사용하여 360 분 동안 식각한다. 또한, 구동기 몸체의 PVDF 필름이 접착될 부분은 에폭시 수지를 사용할 때 챔버내부로 수지가 흘러들어가는 것을 막기 위하여 깊이 50 μm 의 V 그루브를 생성한다. 제작된 구동기 몸체와 챔버로 사용될 구멍의 크기는 각각 $14 \times 14 \text{ mm}^2$ 와 $9.8 \times 9.8 \text{ mm}^2$ 이다. 바이오프 구조의 PVDF 필름 상부 층에 전압을 인가할 수 있도록 박막 테두리의 상부 층을 자르고 하부 층은 단순히 밀폐용 박막으로 사용한다.

마이크로 노즐은 식각 보호막으로 사용될 0.5 μm 의 산화막을 형성하고 양면 정렬을 위한 구멍과 마이크로 노즐 형성을 위하여 앞면의 산화막을 선택적으로 제거한 후, EPW 식각액으로 240 분 동안 식각하면 마이크로 노즐이 형성된다. 뒷면에 대해서도 같은 공정을 행하면 슬릿의 폭과 길이가 각각 175 μm 와 1050 μm 인 양방향의 마이크로 노즐이 형성된다. 그림 3은 제작된 마이크로 밸브의 사진이다. 파이렉스 유리(#7740)에 전기화학 방전 가공기술로 유로를 제작하고 펌프 몸체 및 노즐을 유로가 있는 파이렉스 유리와 정렬한 후 인가전압 800 V, 300 °C인 조건에서 양극접합한다. 마지막으로 PVDF 필름을 펌프 몸체에 에폭시 수지로 접착하여 펌프를 완성한다. 그림 4는 제작된 마이크로 펌프를 나타내며 에폭시 수지로 유로에 연결된 미세 모세관의 길이는 75 mm이고 내경은 1 mm이다.

4. 실험 및 결과

PVDF 필름의 동적 변위 측정을 위하여 KEYENCE LC-2400A 레이저 변위계를 이용한다. PVDF 필름의 상부 층에 교류 전압을 인가하면 PVDF 필름은 압전 효과에 의하여 변형을 일으키고 상하진동한다. 교류 전압은 Power op-amp(PA41)를 이용하여 인가한다. 그림 5는 PVDF 필름의 상부층에 peak-to-peak 100 V와 200 V의 교류 구형파 전압을 인가했을 때 10 Hz에서 10 kHz의 주파수에 따른 PVDF 필름의 중심 변위를 나타낸다. 이때, 측정된 변위는 peak-to-peak값을 나타낸다. 인가전압 100 V와 200 V의 첫 번째 공진주파수는 1.6 kHz이며 그 때의 변위는 각각 26 μm 와 54 μm 이다.

그림 5는 펌프의 유량 측정을 위한 측정 시스템의 블록도이다. 제작된 펌프의 특성 시험을 위하여 DI water 를 사용한다. 직접 밸브의 순방향으로 유체를 채울 경우, 펌프 챔버나 유로 내부에

공기 방울이 남게되는 문제점이 있다. 이러한 공기 방울은 펌프의 동작특성에 영향을 미치며 정확한 유량 측정을 어렵게 한다. 공기방울의 제거를 위해서 CO₂ 를 이용하여 priming한다. 본 연구에서는 2.3 kg/cm²의 압력으로 20 분 동안 priming을 행한 후 유로와 펌프 챔버에 물을 채운다. 어느 정도의 시간동안 물을 흘려 준 후에 펌프의 특성 시험을 시작한다. 이때, 입력측의 수면의 높이와 메스실린더에 있는 출력측의 유로의 높이는 같다. 이와 같이 역방향 압력이 없을 때 인가 전압 200 V, 10 Hz에서 측정된 마이크로 펌프의 유량은 22 $\mu\text{l}/\text{min}$ 이다.

펌프의 최대 압력 측정 실험은 유량 측정시 사용한 입력과 출력의 유로를 제거한 후 내경 1mm인 미세 모세관을 사용한다. 미세관 내부의 DI water가 평형을 이룰 때 즉 입력과 출력의 모세관의 기둥기차이에 의한 유량의 흐름이 없을 때까지 기다린 후 10 Hz의 200 V 교류 전압 인가시 출력측의 높이 변화를 측정한다. 구동한 결과 펌프의 최대 압력은 8.7 Pa이다.

5. 결론

본 논문에서는 압전형 구동기와 마이크로 노즐로 이루어진 압전형 마이크로 펌프를 제작하였다. 제작된 압전형 구동기의 중심 변위는 1.6 KHz 에서 54 μm 이고 10Hz에서 역방향 압력이 없을 때 펌프의 유량은 22 $\mu\text{l}/\text{min}$ 이고 펌프의 최대 압력은 8.7 Pa이다.

향후에는 PVdF 필름의 변위를 향상시키기 위하여 필름 자체의 구조적 변화와 펌프의 유량에 대한 마이크로 노즐의 최적 설계가 필요하다. 또한, 마이크로 펌프 챔버내의 압력 변화를 정성적으로 구하여 실험치와 비교, 분석이 요구된다.

Acknowledge

본 연구에 많은 도움을 준 양 의혁 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S. Nakagawa, S. Shoji and M. Esashi, "A Micro Chemical Analyzing System Integrated on a Silicon Wafer," IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, pp. 89-94, Napa Valley, U.S.A., Feb. 1990.
- [2] M. Esashi, S. Shoji and A. Nakano, "Normally Close Microvalve and Micropump Fabricated on a Silicon Wafer," IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, pp. 29-34, Salt Lake City, U.S.A., Feb. 1989.
- [3] Lammerink, T. S. J., Elwenspoek, M. and Fluitman, J. H. J. "Integrated Micro-Liquid Dosing System," IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, pp. 7-10, Fort Lauderdale, Florida, U.S.A., Feb. 1993.
- [4] E. Stemme and G. Stemme, A Novel Piezoelectric Valve-less Fluid Pump, Tech. Digest, IEEE Transducers '93, Yokohama,

Japan, June 7-10, 1993, 110-113.

- [5] T. Gerlach and H. Wurmus, Working Principle and Performance of the Dynamic Micropump, IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, Amsterdam, the Netherlands, Jan. 29-Feb.2, 1995, 221-226.
- [6] F. C. Pol, H. T. G. Lintel, M. Elwenspoek, and J. H. J. Fluitman, A Thermopneumatic Micropump Based on Micro-engineering Techniques, Proc., IEEE Transducers '89, 2, Montreux, Switzerland, June 25-30, 1989, 198-202.
- [7] R. Zengerle, M. Richter, F. Brosinger, A. Richter, and H. Sandmaier, Performance Simulation of Micromachined Membrane Pumps, Tech. Digest, IEEE Transducers '93, Yokohama, Japan, June 7-10, 1993, 106-109.
- [8] E. H. Yang, S. S. Yang, S. W. Han, S. Y. Kim, "Fabrication and Dynamic Testing of Electrostatic Actuators with p+ silicon Diaphragms," Sensors and Actuators, A, 50, pp.151-156, 1995
- [9] H. Mizoguchi, M. Ando, and T. Takagi, "Design and Fabrication of a Light Driven Micropump," IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, pp. 31-38, Travemunde, Germany, Feb. 1992.
- [10] J. Tiren, L. Tenez, and B. Hök, A Batch-Fabricated Non-Reverse Valve With Cantilever Beam Manufactured by Micromachining of Silicon, Sensors and Actuators, 18, (1989), 389-396.
- [11] L. Smith and B. Hök, A Silicon Self-Aligned Non-Reverse Valve, IEEE Transducers '91, Montreux, Switzerland, June 24-27, 1991, 1049-1051.
- [12] M. Esashi, S. Shoji, and A. Nakano, Normally Close Microvalve and Micropump Fabricated on a Silicon Wafer, IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, Salt Lake City, USA., Feb. 20-22, 1989, 29-34.
- [13] T. Ohnstein, T. Fukiura, J. Ridley, and U. Bonne, Micromachined Silicon Microvalve, IEEE Microelectromechanical Systems Workshop, Napa Valley, USA., Feb. 11-14 1990, 95-98.

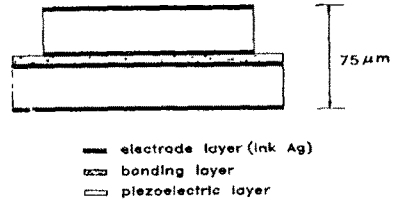


그림 2. PVDF 필름의 구조



그림 3. 마이크로 밸브의 확대사진



그림 4. 마이크로 펌프의 확대사진

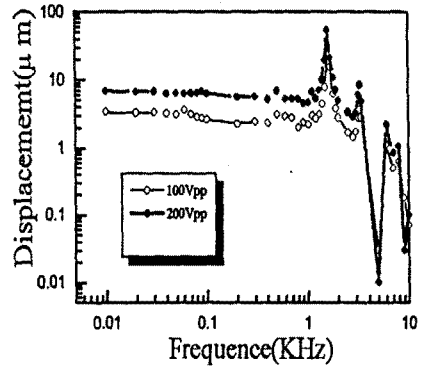


그림 5. 구동 주파수에 따른 박막 변위

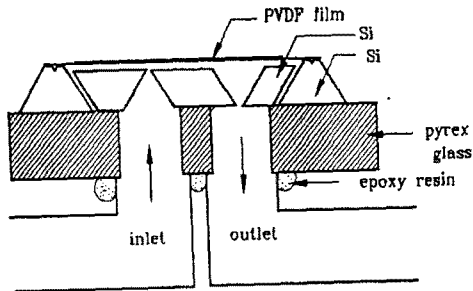


그림 1. 마이크로 펌프의 단면도

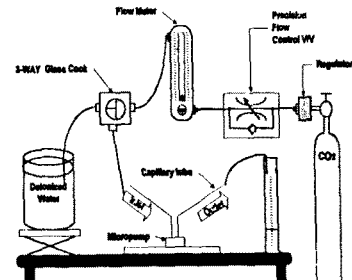


그림 6. 펌프 유량 측정 시스템