

열공압형 마이크로 펌프의 제작에 관한 연구

김 영 수, 양 상 식
아주대학교 전기전자공학부

A Study on the Fabrication of a Thermopneumatic micropump

Y. S. Kim, S. S. Yang
School of Electrical and Electronics Engineering Aju Univ.

Abstract - A thermopneumatic micropump with two micronozzles has been fabricated and tested. The actuator consists of a p+ diaphragm and a pyrex glass on which a microheater is deposited. Two micronozzles are fabricated on either side of a single silicon wafer and behave as a dynamic passive valves. The actuator and the micronozzle are assembled to make a micropump. The center deflection of the actuator diaphragm to step voltage input has been measured. The dynamic test has been performed by measuring the center deflection of the diaphragm under various input voltages and duty ratios. Also dynamic pumping test is performed. The measured built-up pressure between inlet and outlet of the micropump is 80 Pa for the actuation at 20V, 10 Hz.

시험은 레이저 변위계를 이용하여 박막의 중심 변위를 측정함으로써 수행된다. 일정 전압을 인가하면서 액류에이터 박막의 변위 응답을 측정하고, 구형파 전압을 인가하며 여러 가지 듀티비와 피크 전압에 대한 주파수 응답 특성을 측정한다. 마이크로노즐은 유체의 흐름을 조절하기 위한 것으로, 열공압형 구동기와 결합하여 그 펌핑 특성을 시험하였다.

1. 서 론

최근 화학물 분석 시스템이나 세포 융합 시스템 등 생물학, 화학 및 의학 분야로 응용 가능한 마이크로 펌프의 개발이 활발히 이루어지고 있다[1-3]. 마이크로펌프는 그 구동방식에 따라 정전형[4, 5], 열공압형[3, 6], 압전형[7, 8] 및 광구동형[9] 등으로 구분된다. 이 중 열공압형 펌프는 구동 전압이 낮고, 다른 구동 방식에 비해 액류에이터의 변위가 큰 장점이 있다[3, 6]. F. C. M. van de Pol 등은 2장의 웨이퍼와 붕규산 유리(Borosilicate glass)를 이용하여 열공압형 펌프를 제작하였는데, 양극 접합 외에 스퍼터링과 같은 여러 단계의 공정을 거쳐 제작하였다[6]. 기존에 제작되어진 열공압형 마이크로펌프는 이와 같이 공정이 어렵고, 구조가 복잡한 단점이 있다. 공학 및 의공학 분야로의 응용을 위해서는 펌프의 경박단소화가 중요하다.

이러한 점을 감안하여, 본 연구에서는 두 장의 실리콘 웨이퍼와 파이렉스 유리를 사용하여 구조가 간단하고 제작이 용이한 열공압형 액류에이터와 마이크로노즐을 제작하고 동작 특성을 시험하였다. 열공압형 액류에이터는 마이크로 허터가 증착된 파이렉스 유리와 p+ 박막으로 이루어진다. 액류에이터의 동작 특성

2. 마이크로 펌프의 제작

본 연구에서 열공압형 액류에이터의 제작에 사용한 웨이퍼는 두께 $450 \pm 10 \mu\text{m}$, 4 inch n형 (100) 실리콘 웨이퍼이다. 그림 1. (a)는 열공압형 액류에이터의 제작 공정도이다. 앞면에 박막의 진동공간(크기: $4 \text{mm} \times 4 \text{mm}$)을 형성하기 위하여 $10 \mu\text{m}$ 를 식각한다. 고체 확산원, BN1100을 이용하여 1100°C 에서 420 분간 선풍산한 후, BSG를 제거하고, 1000°C 에서 80 분간 열산화하여 $0.5 \mu\text{m}$ 의 산화막을 얻는다. $2 \mu\text{m}$ 두께의 p+ 박막을 얻기 위하여, EPW 용액을 이용한 비등방성 식각을 행하고 식각정지시 시편을 용액에서 꺼낸 후, 남아있는 산화막을 제거한다. 파이렉스 유리 위에 알루미늄을 증착한 뒤 사진식각 공정을 통하여 선 폭 70

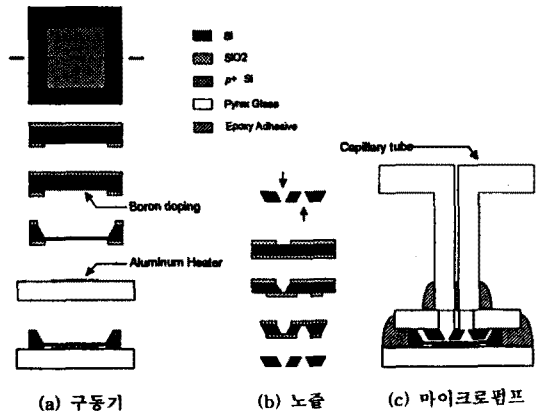


그림 1. 열공압형 마이크로펌프의 제작 공정도.

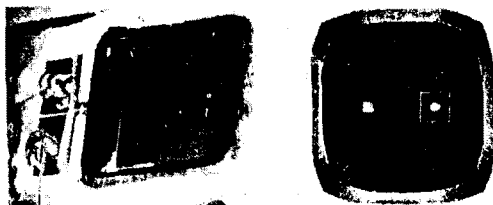
μm, 길이 65.2 μm, 두께 약 0.5 μm인 마이크로 히터를 제작한다. 상온에서의 알루미늄 히터의 저항 값은 110~130 Ω이다. 마이크로 노즐의 제작은 330 μm, 4 inch n 형 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용한다. 그림 1. (b)는 마이크로노즐의 제작공정도이다. 식각 보호막으로 사용될 열산화막을 0.5 μm형성하고 앞면의 산화막을 선택적으로 제거한 후, EPW 용액을 이용한 비등방성식각을 통해 피라미드형 유로를 형성한다. 뒷면에 대해서도 같은 공정을 통해 피라미드형 유로를 형성한다. 제작되어진 노즐의 작은 쪽 구멍의 크기는 약 150 μm이다. 그림 1. (c)는 마이크로 펌프의 조립 단면도이다. 먼저, 마이크로 노즐을 유로가 형성된 파이렉스 유리와 양극 접합 공정을 통해 접합한다. 다음으로, 예폭시 수지를 이용하여 알루미늄 저항이 증착된 파이렉스 유리와 p+ 박막이 제작된 실리콘을 접합하고 파이렉스 유리와 양극접합된 마이크로노즐을 결합한다. 마지막으로, 모세관을 예폭시 수지를 이용해 파이렉스 유로에 적절히 접합함으로써 열공압형 마이크로 펌프의 제작을 마친다. 그림 2는 제작된 액류에이터와 마이크로노즐의 사진이다. p+ 박막 아래로 마이크로 히터가 보인다.

3. 액류에이터의 동작특성 시험

마이크로 히터에 전압이 인가되면 히터의 온도가 증가함에 따라 공동 내의 공기가 팽창함으로써 박막이 휘게 된다. 제작된 액류에이터의 정적 및 동적 변위 측정을 위하여 KEYENCE LC-2400A 레이저 변위계를 이용한다. 그림 3은 액류에이터의 박막 변위 측정시스템을 나타낸다. 액류에이터 박막의 변위는 오실로스코프를 통해 레이저 변위계로부터 샘플링 되어 시리얼 인터페이스로 PC에 저장되고 분석된다.

그림 4는 마이크로 히터에 10 초 간 전압을 인가한 후 전압을 끊었을 때의 박막의 움직임 측정된 것이다. 박막의 변위 응답 시상수는 전압을 가할 때 0.8 ~ 1 초이고 전류를 끊었을 때 0.3 ~ 0.4 초로 상승 대 하강 응답 시상수 비율이 약 3 대 1 정도임을 알 수 있다.

액류에이터의 동적 특성시험을 위하여, 합수 발생기를 이용하여 FET를 스위칭함으로써 마이크로 히터에 구형파 전압을 인가하며 오실로스코프를 통하여 변위 파형을 측정한다. 그림 5는 20 V 구형파 전압에 대해 듀티비를 변화시키며, 박막의 변위를 측정된 결과이다. 측정된 주파수 대역에서 전체적으로 듀티



(a) 열공압 구동기 (b) 마이크로노즐

그림 2. 제작된 구동기와 노즐의 확대 사진.

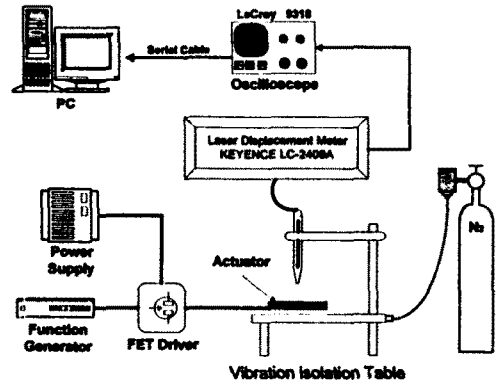


그림 3. 액류에이터 박막의 변위 측정 시스템.

비가 20 %일 때 변위가 작고, 60 %일 때 변위가 큼을 알 수 있다. 그림 6은 듀티비가 60 %일 때 여러 가지 인가 전압의 제곱에 대한 변위계의 출력 비를 나타낸 것이다. 실험중 알루미늄 히터의 저항은 5 % 이내로 변하므로, 그림 6의 종속은 입력 전력에 대한 출력 변위비로 볼 수 있다. 입력 전력에 대한 박막 변위의 효율 면에서 볼 때 전체적으로 20 V일 때가 우수하고, 25, 30 V일 때 효율이 크게 떨어짐을 알 수 있다.

4. 마이크로 펌프의 동작특성 시험

제작된 열공압형 마이크로펌프의 성능 시험을 위하여 그림 7과 같이 장치하였다. 펌프 챔버내의 공기방울 형성을 방지하기 위하여 CO₂ 기체를 이용 모든 유로와 펌프의 챔버를 프라이밍한다. 과도한 CO₂ 압력은 액류에이터의 박막을 손상시킬 수 있으므로 레귤레이터와 정밀 유량 밸브를 이용하여 적절히 압력과 유량을 조절해 주어야한다. 0.4 기압, 2.5 ml/min으로 15 분에서 20 분 정도 프라이밍한 후 CO₂를 잠그고 3-WAY 밸브를 이용 D.I. Water를 유로 전체에 공기방울이 생기지 않게 채운다. 그런 다음, 모세관과 연결된 유로를 제거한 후 모세관 입구와 출구의 수위차가 같아 질 때까지 기다린다. 입, 출구의 수위차가 같아진 상태에서 인가전압을 20 V에서 10 Hz로 유량이 없을 때까지 구

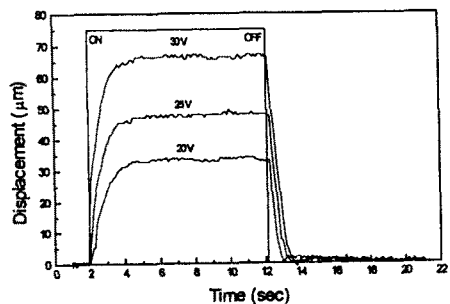


그림 4. 10초간 전압을 인가하였을 때 액류에이터 박막의 변위 응답

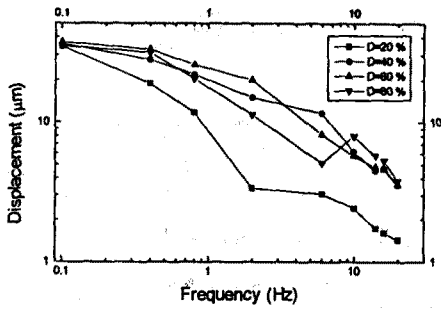


그림 5. 인가전압이 20 V일 때 듀티비에 따른 액츄에이터 박막 변위의 주파수 응답.

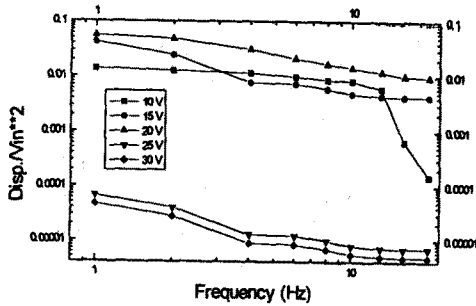


그림 6. 여러 가지 인가전압의 제곱에 대한 변위계의 출력전압비.

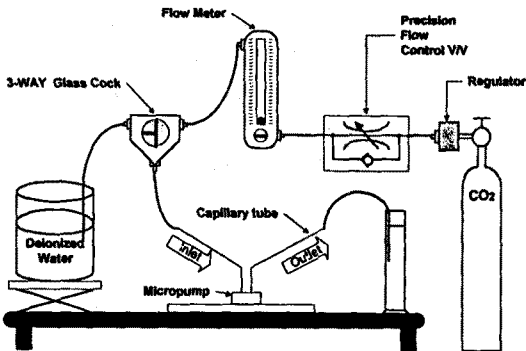


그림 7. CO₂ 프라이밍을 위한 장치도

동한 결과 80 Pa의 출구와 입구의 압력차를 얻었다.

5. 결 론

열공압 펌프를 간단한 공정을 통하여 제작하고, 액츄에이터와 펌프의 성능을 시험하였다. 액츄에이터의 정상상태 박막 변위를 측정된 결과, 박막의 변위 응답 시상수가 일정함을 알 수 있었다. 마이크로 히터에 구형파 전압의 주파수를 1 Hz에서 20 Hz까지 변화시키며 액츄에이터 박막의 동적 변위 특성을 시험하였다. 인가전압과 듀티비에 따른 박막의 변위 응답을 비교한 결과, 각각 20 V, 60 %일 때가 변위가 크고 입력전력 면에서도 효

율이 큼을 알 수 있었다. 마이크로펌프를 이용한 유체 펌핑 실험에서는 인가전압을 20 V, 10 Hz로 액츄에이터를 구동하여 80 Pa의 출구와 입구의 압력차를 얻었다.

추후에는 열공압형 액츄에이터의 공동 내 압력변화에 따른 박막 변위를 정성적으로 구하고 실험치와 비교, 분석하여 마이크로펌프에 응용할 예정이다. 그리고 챔버의 입, 출구 압력을 변화시켜 가며 여러 가지 구동 전압과 주파수에 대한 유량 곡선을 얻을 예정이다.

Acknowledgement

본 연구에 많은 도움과 조인을 아끼지 않은 양의혁 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] J. Branebjerg, and P. Gravesen, "A New Electrostatic Actuator Providing Improved Stroke Length and Force," *IEEE Microelectromechanical Systems Workshop*, pp. 6-11, Travemünde, Germany, Feb. 1992.
- [5] R. Zengerle, A. Richter and H. Sandaier, "A Micro Pump with Electrostatic actuation," *IEEE Microelectromechanical Systems Workshop*, pp. 19-24, Travemünde, Germany, Feb. 1992.
- [6] F. C. M. van de Pol, D. G. J. Wonnink, M. Elwenspoek and J.H.J. Fluitman "A Thermopneumatic micropump based on Microengineering techniques," *Sensors and Actuators*, A21-29, pp. 198-202, 1990.
- [7] K. Lkuta, A. Kawahara, and S. Yamazumi, "Miniature Cybernetic Actuators Using Piezoelectric Devices," *IEEE Microelectromechanical Systems Workshop*, pp. 131-136, Nara, Japan, Feb. 1991.
- [8] T. Gerlach and H. Wurmus, "Working Principle and Performance of the Dynamic Micropump," *IEEE Microelectromechanical Systems Workshop*, pp. 221-226, Amsterdam, Netherlands, Feb. 1995.
- [9] H. Mizoguchi, M. Ando, and T. Takagi, "Design and Fabrication of a Light Driven Micropump," *IEEE Microelectromechanical Systems Workshop*, pp. 31-38, Travemünde, Germany, Feb. 1992.