

열공압력 구동 방식의 PDMS 마이크로 밸브의 제작

김진호, 김주호, 김용상
 명지대학교 전기공학과

Fabrication of Thermopneumatic-Actuated PDMS Microvalve

Jin-Ho Kim, Ju-Ho Kim, Yong-Sang Kim
 Dept. of Electrical Eng, Myongji University

Abstract - 본 연구에서 제안하는 마이크로 밸브는 열공압 방식으로 구동되고 제작비용이 저렴한 indium tin oxide (ITO) 및 polydimethylsiloxane (PDMS)로 제작되었다. 제안된 마이크로 밸브의 구조는 ITO 히터, SU-8 층, PDMS membrane, 그리고 PDMS 채널로 구성되어 있다. 제작된 열공압 구동기의 PDMS membrane의 변위는 현미경의 초점 거리의 변화로 측정하였으며 히터에 160mW 전력 인가 시 변위는 대략 132 μ m이다. 마이크로 밸브의 히터에 인가된 전력에 따른 유량 측정은 DI water를 사용하여 측정하였고 inlet 압력은 1.2kPa를 인가하여 측정하였다. 히터 인가 전력이 영일 경우 채널 폭이 200 μ m와 400 μ m인 마이크로 밸브의 유량은 각각 대략 36 μ l/min과 110 μ l/min 이었다. 채널 폭이 200 μ m와 400 μ m인 마이크로 밸브의 유량은 히터 인가 전력이 각각 70mW와 160mW에서 영이 되었다.

PDMS 채널 층으로 구성되어 있다. SU-8 층은 열공압력 챔버를 형성하고 있고 그 내부의 공기 팽창으로 PDMS membrane의 변위가 생기는 구조이다. PDMS 채널 층에는 inlet과 outlet에 hole이 형성되어 있고 내경이 1mm인 실리콘은 튜브가 연결되어 있다. 그림 1(b)는 PDMS 채널 층의 평면도이며 채널의 폭은 200 μ m, 400 μ m로 제작 하였고 밸브 seat의 지름은 1.2mm이다.

1. 서 론

마이크로 밸브는 micro-TAS (Micro Total Analysis System)를 포함하는 바이오 및 화학 응용분야에서 중요한 유체 제어 디바이스로 주목을 받고 있다. 이러한 마이크로 밸브의 개발은 실리콘을 이용하는 표면 및 벌크 미세 가공 기술을 이용하여 주로 발전해 왔다.[1~4] 이러한 실리콘 유체 제어 디바이스는 제작비용이 비싼 단점을 가지고 있다. 또한 마이크로 밸브의 대부분의 구조는 membrane으로 채널을 막아 유량을 제어하는 것이다. 이러한 마이크로 밸브는 마이크로 펌프와는 다르게 membrane의 큰 변위가 필요하다.[5] 이런 측면에서 실리콘 membrane은 큰 변위를 가지기 쉽지 않고 누설유량이 있다는 큰 단점을 지니고 있다.

본 연구에서 제안 하는 마이크로 밸브의 구조는 비용이 매우 저렴한 물질로 구성되어 있고 공정도 매우 간단하다. 채널과 membrane을 모두 polydimethylsiloxane (PDMS)를 사용하여 제작 하였기 때문에 실리콘에 비해 물딩 대량 생산이 가능하고 물질 및 공정비용 모두가 저렴하다.[6] 히터는 indium tin oxide (ITO)를 사용하여 제작하였으므로 히터로 흔하게 사용되는 금에 비해 가격이 매우 저렴하다. 이런 측면에서 micro-TAS는 일회용으로 사용되는 응용분야가 많으므로 매우 좋은 장점을 가진다. 또한 마이크로 밸브의 membrane을 PDMS로 제작하면 flexible한 특성이 있어 변위가 크고 누설유량이 없을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 제안된 마이크로 밸브를 제작 하였고 제작된 마이크로 밸브의 PDMS membrane의 변위를 측정하였다. 그리고 히터의 전력 인가에 따른 유량을 측정 분석하였다.

2. 제안된 마이크로 밸브의 구조

그림 1은 제안된 마이크로 밸브의 구조를 보여준다. 그림 1(a)는 마이크로 밸브의 단면도이며 유리 층, ITO히터, SU-8 층, PDMS membrane, 그리고

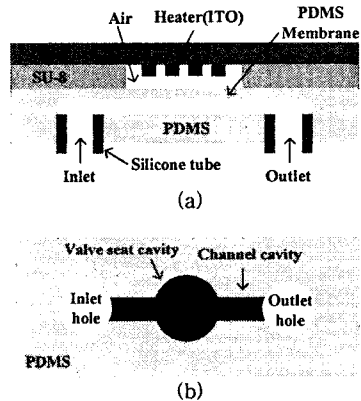


그림 1 (a) 제안된 마이크로 밸브의 단면도, (b) PDMS 층의 평면도.

3. 실험

그림 2는 제안된 마이크로 밸브의 제작 공정을 나타내고 있다. 제작 공정은 크게 네 부분으로 히터 제작 공정, PDMS 채널 층 공정, PDMS membrane 공정, 그리고 조립 공정이다. 첫째, 그림 2(a)와 같이 ITO 히터 공정은 소다 유리 기판에 ITO를 sputter 장비를 사용하여 0.17 μ m 두께로 증착하였다. 증착된 ITO의 면저항은 10 Ω /□이다. ITO 위에 AZ-1512 PR을 1.8 μ m 두께로 코팅 후 현상하였다. ITO 히터를 패턴하기 위해 FeCl₃/HCl 용액에 20분 동안 ITO를 에칭하였다. 그림 3은 제작된 ITO 히터를 보여주는 SEM 사진이다. 열공압 챔버를 제작하기 위해 ITO 히터가 있는 소다 유리 기판 위에 SU-8을 200 μ m 두께로 스핀 코팅 후 현상하여 구조물을 제작하였다. 두 번째, 그림 2(b)와 같이 PDMS 채널 층 공정은 실리콘 기판 위에 SU-8을 80 μ m 두께로 코팅 후 증착하였다. PDMS A, B 타입 용액을 10:1로 잘 섞은 후 SU-8이 패턴된 실리콘 기판 위에 붓는다. PDMS curing은 상온에서 24시간 동안 실시하였고, curing이 끝난 후 조심스럽게 실리콘 기판으로부터 PDMS 채널 층을 분리하였다. 세 번째 공정은 그림 2(c)와 같이 PDMS membrane 공정이다. 실리콘 기판 위에 PDMS를 65 μ m 두께로 스핀 코팅 하였고 60°C에서 2시간 동안 curing 하였다. PDMS membrane과 PDMS 채널 층에 reactive ion

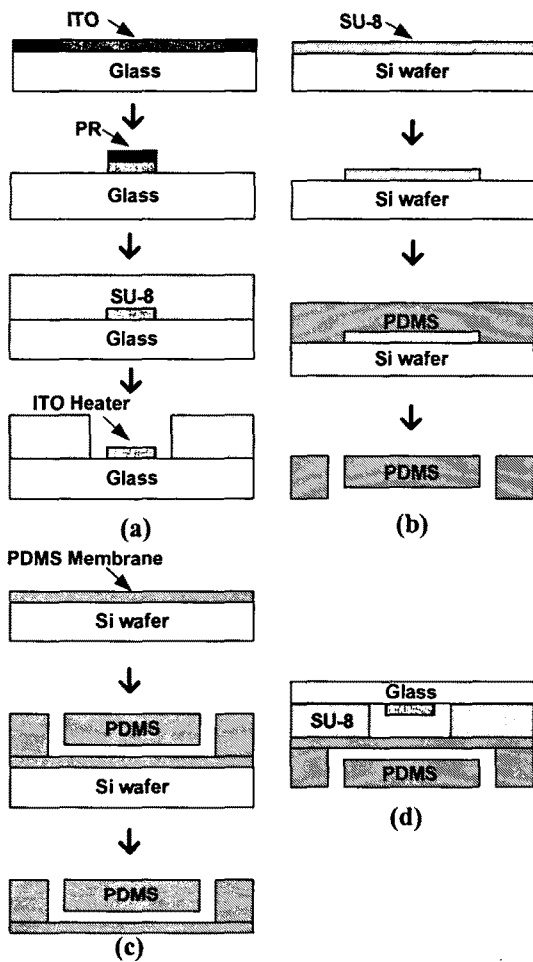


그림 2 제안된 마이크로 밸브의 제작 공정. (a) ITO 히터 구조물 제작 공정, (b) PDMS 채널 층 공정, (c) PDMS membrane 공정, (d) 조립 공정.

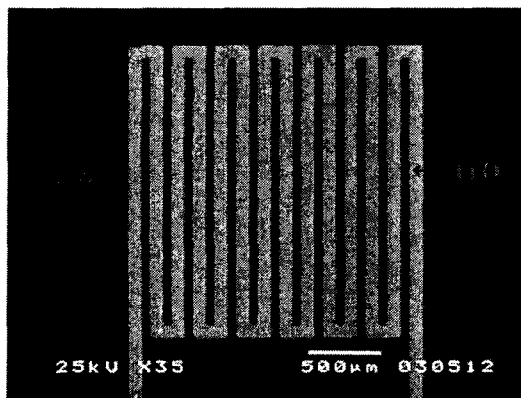


그림 3 제작된 ITO 히터의 SEM 사진.

etching(RIE)을 사용하여 산소 플라즈마를 처리한 후 즉시 접착을 실시하고 조심스럽게 실리콘 기판을 분리하였다. 이러한 공정을 통해 PDMS 채널 위에 PDMS membrane이 있는 구조물을 제작할 수 있었다. 마지막

으로 그림 2(d)와 같이 조립 공정은 PDMS 구조물과 히터 구조물을 에폭시로 접착하여 제안된 마이크로 밸브를 완성하였다.

PDMS membrane의 변위를 측정하기 위해서 실리콘 위에 PDMS membrane을 스핀 코팅한 후 히터 구조물과 에폭시로 접착 후 실리콘 기판을 분리하는 방법으로 변위 측정용 구동기를 완성하였다. membrane의 변위를 측정하기 위해서 현미경을 사용하였으며 membrane의 중앙부분에 초점을 맞춘 후 초점거리의 변화로 측정하였다.

제작된 마이크로 밸브의 특성은 히터에 인가되는 전력에 따른 유량 특성을 측정하였고 테스트 유체는 DI water를 사용하였다. inlet 압력은 1.2kPa를 인가하여 측정하였고 유량은 outlet 튜브의 유체와 공기 경계면의 이동거리로 측정하였다.

4. 결과 및 토의

그림 4는 제작된 변위 측정용 구동기의 히터에 인가되는 전력의 변화에 따른 PDMS membrane의 변위를 보여주고 있다. 인가 전력이 2mW에서 280mW로 증가함에 따라 PDMS membrane의 변위는 약 10µm에서 190µm까지 증가함을 관찰할 수 있다. 이러한 현상을 통해 인가 전력으로 마이크로 밸브의 유량 제어가 용이함을 알 수 있다. 제작된 마이크로 밸브의 채널 및 밸브 seat의 깊이는 80µm이다. 그러므로 제작된 마이크로 밸브가 유량을 영으로 제어하기 위해선 80µm 이상의 변위가 생겨야 한다. 그림 4에서 관찰할 수 있듯이 인가 전력이 약 68mW에서 대략 80µm의 변위가 생겼다.

그림 5는 인가 전력의 변화에 따른 유량의 변화를 나타내고 있다. 동일한 inlet 압력 조건에서 채널의 폭이 200µm와 400µm인 마이크로 밸브는 각각 인가 전력이 영일 때의 유량은 약 36µl/min 과 110µl/min 이다. 이것은 채널의 폭의 차이로 인한 유량의 차이이다. 두 마이크로 밸브의 유량은 인가 전력이 점점 증가함에 따라 서서히 감소하다 일정 인가 전력에 도달하면 완전히 영이 되는 것을 관찰 할 수 있다. 이것은 그림 4에서도 관찰할 수 있듯이 인가 전력의 증가에 따라 membrane의 변위가 증가하기 때문이다. 이런 특성을 통해 본 연구에서 제작된 마이크로 밸브는 유량의 on/off 뿐만 아니라 유량의 크기의 제어도 용의하다는 것을 관찰할 수 있다. 채널이 200µm인 마이크로 밸브는 인가 전력이 71mW에서, 채널이 400µm인 마이크로 밸브는 인가 전력이 160mW에서 완전히 유량이 영이 되는 것을 관찰할 수 있다. 이와 같이 두 마이크로 밸브의 유량을 off 시키기 위한 소모 전력이 서로 다른 것은 그림 4에서 알 수 있

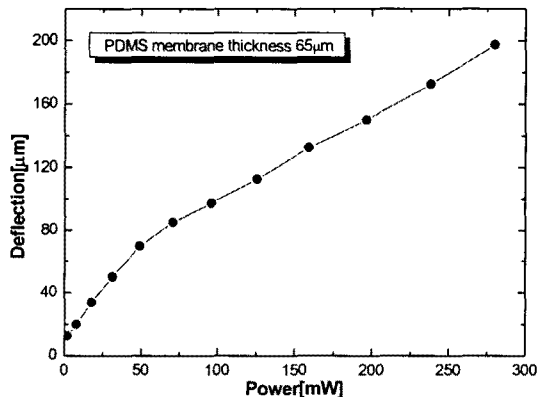


그림 4 인가 전력에 따른 PDMS membrane 변위.

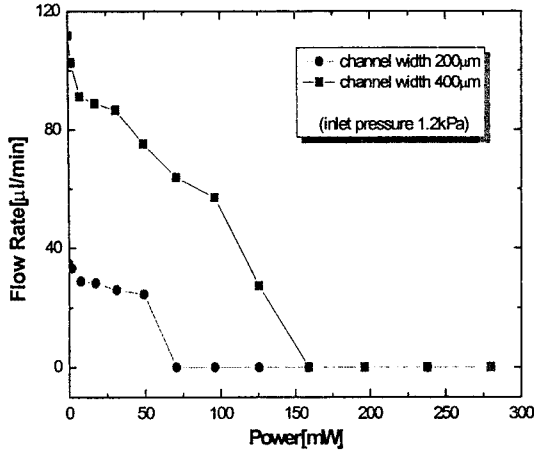


그림 5 인가 전력에 따른 유량 특성.

듯이 68mW 에서 membrane의 변위는 이미 80 μ m에 도달하였지만 채널이 400 μ m인 마이크로 밸브의 유량이 채널이 200 μ m인 마이크로 밸브에 비해 크므로 membrane이 밸브 seat를 완전히 닫기 위해선 더 많은 전력이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 가격이 저렴한 PDMS 층과 ITO 히터로 구성되어 있는 마이크로 밸브를 제작하고 특성을 분석하였다. 제안된 마이크로 밸브는 매우 간단하게 제작할 수 있었고 특성도 우수하였다. 제작된 마이크로 밸브는 유량의 on/off 뿐만 아니라 유량의 크기 제어도 잡힘을 확인할 수 있었다. 제작된 마이크로 밸브의 히터에 인가된 전력이 영일 경우 채널 폭이 200 μ m와 400 μ m인 마이크로 밸브의 유량은 각각 대략 36 μ l/min과 110 μ l/min 이었다. 채널 폭이 각각 200 μ m와 400 μ m인 마이크로 밸브의 유량은 히터 인가 전력이 각각 70mW와 160mW에서 영이 되었다.

[참 고 문 헌]

[1] Nelsimar Vandelli, Donald Wroblewski, Margo Velonis, and Thomas Bifano, "Development of a MEMS Microvalve Array for Fluid Flow Control", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 7, No. 4, 395~403, 1998

[2] Mircea Capanu, James G. Boyd, IV, and Peter J. Hesketh, "Design, Fabrication, and Testing of a Bistable Electromagnetically Actuated Microvalve", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, No. 2, 181~189, 2000

[3] Hidekuni Takao, Makoto Ishida, and Kazuaki Sawada, "A Pneumatically Actuated Full In Channel Microvalve With MOSFET Like Function in Fluid Channel Networks", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 11, No. 5, 421~426, 2002

[4] Edwin T. Carlen and Carlos H. Mastrangelo, "Surface Micromachined Paraffin Actuated Microvalve", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 11, No. 5, 408~420, 2002

[5] Xing Yang, Charles Grosjean, and Yu-Chong Tai, "Design, Fabrication, and Testing of Micromachined Silicone Rubber Membrane Valves", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 8, No. 4, 393~402, 1999

[6] Robin H. Liu, Qing Yu, and David J. Beebe, "Fabrication and Characterization of Hydrogel Based Microvalves", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 11, No. 1, 45~53, 2002