

상변화를 이용한 열공압형 마이크로 펌프용 액추에이터 성능에 관한 연구

박 승인¹⁾, 황 준영²⁾, 이 상호²⁾, 강 경태²⁾, 강 희석²⁾, 장 재혁³⁾, 이 홍렬³⁾, 강 신일¹⁾

A study on the Thermopneumatic Actuator with Phase Change for Micro Pump

S. Park, J. Y. Hwang, S. Lee, K. Kang, H. Kang, J. Jang, H. Lee, S. Kang

Key words : Direct Methanol Fuel Cell(직접 메탄올 연료 전지), Phase Change(상변화), Micro Actuator(미세 구동기), Thermopneumatic(열공압)

Abstract : Recently, Direct Methanol Fuel Cell(DMFC) for portable devices has been received much attention because DMFC has a possibility of higher energy density than electrical batteries and smaller size than other fuel cells. This paper presents the fabrication and test of a thermopneumatic microactuator with a phase change for DMFC. A microactuator consists of an inlet, an outlet, a chamber, a heater and a sensor of resistance temperature detector(RTD). The microactuator is fabricated by the spin-coating process, the lithograph process, the deep RIE process and so on. The total size of microactuator is $20 \times 20 \times 0.5 \text{ mm}^3$. When the current is applied, the heater heats liquid in chamber. As a result, the liquid vaporizes. The response of temperature in the chamber was measured using thermocouple. The changed temperature is $3 \text{ }^\circ\text{C}$ for 5 sec at 0.032 W.

Nomenclature

V : voltage, V
T : temperature, $^\circ\text{C}$
P : power, W

1. 서 론

수소 대신에 액체형 연료인 메탄올을 연료로 사용하는 직접 메탄올 연료전지(DMFC)는 연료의 높은 에너지 밀도로 인하여 휴대용 전자 기기의 차세대 에너지원으로 주목받고 있다.⁽¹⁾

직접 메탄올 연료전지는 메탄올 연료와 공기 중의 산소가 반응하여 발전하는 연료전지 형태로 기존 연료전지와 다르게 연료 개질이 필요 없으며 수송 운반에 용이하고 80°C 이하의 조건에서 운전되므로 안전한 장점이 있지만, 휴대용 기기에서 응용되기 위해서는 에너지 밀도를 높이고 크기를 줄여야하는 제한을 받고 있다.⁽²⁾

따라서 본 논문에서는 직접 메탄올 연료전지 적용을 위해, 특히 반응과정에서 나오는 배출열을 이용하여 에너지 효율을 높이기 위해 상변화를 이용하는 열공압형 마이크로 펌프용으로 적합한 마이크로 액추에이터를 고려하여 설계하였다. 소형화를 위하여 마이크로 액추에이터의 제작은 MEMS (Micro Electronic Mechanical System) 기술을 이용하였다.^{(3),(4)}

2. 마이크로 액추에이터의 설계와 제작

2.1 마이크로 액추에이터의 구조

마이크로 액추에이터의 기본 구조는 그림 1 과

-
- 1) 연세대학교 대학원 기계공학과
E-mail : susfel@yonsei.ac.kr
Tel : (02)2123-2829 Fax : (02)362-2736
 - 2) 한국생산기술연구원
E-mail : jyhwang@kitech.re.kr
Tel : (041)589-8424 Fax : (041)589-8670
 - 3) 삼성전기(주)

같다. 마이크로 액츄에이터는 입구와 출구, 펌프 챔버, 히터, RTD (Resistance Temperature Detector) 센서로 구성되어 있고, PDMS Membrane을 마이크로 액츄에이터의 위에 붙여서 챔버를 밀봉하였다.⁽⁵⁾

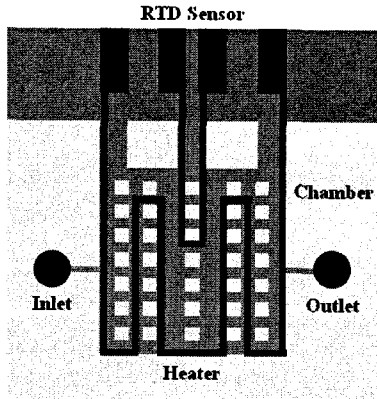


Fig. 1 The structure of micro actuator

2.2 마이크로 액츄에이터의 동작 원리 와 설계

히터에 전압을 인가하면 밀봉된 챔버 안의 액체가 가열되어서 상변화를 일으키고 챔버의 부피가 팽창하게 된다. 팽창된 챔버의 부피는 탄성이 높은 PDMS Membrane을 바깥쪽으로 팽창시켜서 마이크로 펌프의 구동력을 발생시킨다. 인가전압을 끊으면 가열되었던 공기가 식으면서 부피가 줄어들게 되고 팽창되었던 PDMS Membrane은 다시 원래 상태로 돌아오게 된다. 이때 마이크로 액츄에이터 주위의 공기온도가 상온이라면 상변화를 일으키기 위해 많은 에너지를 액체에 가해 주어야 하지만 직접 배탈을 연료전지의 동작온도인 80 °C에서는 상대적으로 적은 에너지를 가열해 주어도 상변화를 일으킬 수 있으므로 마이크로 액츄에이터의 효율을 높일 수 있다.

제작한 상변화를 이용한 열공압형 마이크로 펌프용 액츄에이터는 $20 \times 20 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 의 크기로 설계를 하였다. 액체를 밀봉하고 있는 챔버의 크기는 가로 10 mm, 세로 10 mm이며, 챔버 안의 Island의 크기는 가로 0.4 mm, 세로 0.4 mm이고 Island사이의 거리는 0.1 mm로 Island들은 각각 일정하게 챔버 안에 위치시켰다. 챔버의 전면적을 서펜타인 형태로 고르게 덮는 저항은 가로 0.1 mm, 세로 180 mm, 두께 200 nm이며 저항은 1800 Ω이다. RTD 센서는 가로 0.1 mm, 세로 20 mm, 두께 200 nm이며 저항은 190 Ω이다.

2.3 마이크로 액츄에이터의 제작

그림 3 은 이 액츄에이터의 제작공정도이다. 4 인치 P타입 (100) 실리콘 웨이퍼 위에 Furnance를 사용하여 실리콘 옥사이드를 5000 Å 증착하였

다. 실리콘 옥사이드는 Photo Resist와 함께 에칭 공정 진행시 실리콘 웨이퍼를 보호하는 보호막 역할을 하여 정확한 형상의 Actuator 제작을 돕는다.

챔버 및 입구와 출구를 형성시키기 위하여 PR (AZ-1512)를 실리콘 웨이퍼 위에 1 μm 두께로 균일하게 입힌 후에 Photolithography 작업을 실시한다. RIE (Reactive Ion Etching) 장비에서 PR을 마스크로 사용하여 실리콘 옥사이드를 제거한 후에 패턴의 언더컷을 줄이기 위하여 Deep RIE을 사용하여 실리콘을 5 μm 에칭하였다. 에칭을 하여서 챔버를 형성한 후에 다음 단계로 히터를 형성시키기 위해 백금을 실리콘 위에 증착시켰다. 이때 에칭한 면 위에 백금을 바로 증착할 경우에는 바닥면과 절연이 되지 않아서 원하는 저항을 갖는 히터를 제작할 수 없으므로 우선 CVD (Chemical Vapor Deposition) 장비를 사용하여 실리콘 옥사이드를 에칭한 면 위에 증착시켜 주고, 포토리소그래피 작업을 통하여 PR을 선택적으로 코팅하였다. 그 후에 E-Beam Evaporator를 사용하여 Ti, Pt 순서로 증착하였다. 백금만을 증착할 경우에는 실리콘 옥사이드와 접착이 좋지 않아서 공정 후에 저항이 떨어질 위험이 있으므로 접착력을 높이기 위하여 실리콘 옥사이드와 백금에 모두 접착력이 좋은 Ti를 Adhesion Layer로 사이에 깔아 주었다. 웨이퍼 전체에 고르게 백금이 증착된 상태에서 PR을 녹이는 아세톤에 담겨 주면 PR이 떨어지면서 PR위에 올라가 있는 백금은 함께 떨어지게 되고 실리콘 옥사이드 위에 올라가 있는 백금은 남게 되어서 자연히 히터형성을 갖게 된다.

세 번째, 네 번째 공정은 첫 번째 사용했던 공정과 동일한 순서로 진행시키는데 포토리소그래피 작업을 통하여 PR을 형성시킨 후에 PR을 마스크로 사용하여 실리콘 옥사이드를 제거하고 Deep RIE를 사용하여 실리콘을 에칭하여서 입구, 출구를 형성시켰다.

다시성을 통하여 웨이퍼 전체에 형성시킨 여러 개의 마이크로 액츄에이터를 하나씩 잘라 준 후에 PDMS Membrane을 본딩하여서 마이크로 액츄에이터를 완성하였다.

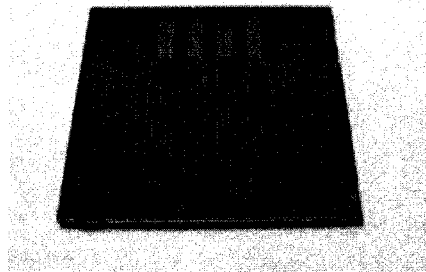


Fig. 2 The photograph of micro actuator

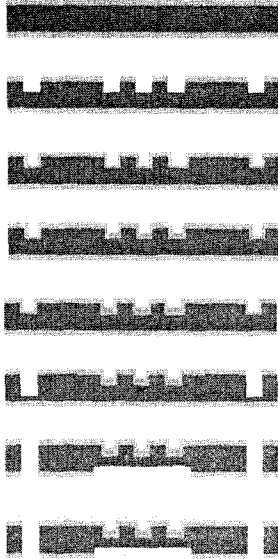


Fig. 3 The fabrication process flow of micro actuator

3. 히터 성능실험과 결과

3.1 실험장치 및 조건

마이크로 액츄에이터의 가열 냉각 특성 실험을 수행하였다. 그림 4는 마이크로 액츄에이터의 냉각 특성 실험 장치를 개략적으로 나타낸 그림이다. Multi controller, Voltage controller, Computer, Oscilloscope, Card edge connector, thermocouple 로 이루어지며, 전압을 각각 12, 18, 24 V로 인가하고 듀티비를 각각 25, 50, 75%로 조절하여 마이크로 히터에 다양한 종류의 전력을 공급하면서 마이크로 액츄에이터의 온도 변화를 측정하였다.

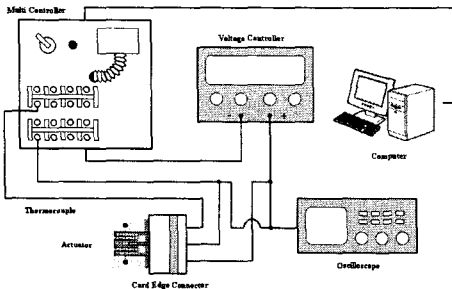


Fig 4. Schematic illustration of measurement setup

3.2 결과 및 고찰

그림 5는 주변온도(청색선)가 22 °C인 마이크로 액츄에이터에 24 V 전압을 각각 25, 50, 75%의 듀티로 인가하였을 때의 마이크로 액츄에이터의 온도 특성(적색선)이다. 그림에서 볼 수 있듯이 듀티가 증가하면 공급 에너지가 증가하므로 마이크로 액츄에이터의 기저 온도가 증가한다. 한편, 기저 온도와 최고 온도의 차이는 50%의 경우가 약 3°C로서 25%, 75%의 경우에 해당하는 약 2 °C에 비하여 높다.

그림 6은 주변 온도가 50 °C인 경우에 대하여 동일한 실험을 수행한 결과를 나타낸 그림이다. 주변온도가 25 °C인 그림 5와 비교하여 보면, 주변온도 상승에 따라 마이크로 액츄에이터의 온도가 증가하였으나, 듀티에 따른 주변온도와 액츄에이터 기전온도의 차이나 모듈 온도의 변화 폭은 주변 온도에 상관없이 동일한 경향을 보일 뿐만 아니라 유사한 수치를 갖음을 알 수 있다.

그림 7은 주변 온도가 25 °C인 마이크로 액츄에이터에 다양한 전압을 50%의 듀티로 인가하였을 때의 온도 특성이다. 동일한 듀티에서 인가된 전압이 증가된 경우 역시 동일한 전압에서 듀티가 증가하는 것과 마찬가지로 공급 에너지가 증가하게 되므로 액츄에이터의 기저 온도가 증가하는 현상은 동일하게 나타난다. 그러나 이 경우 더욱 흥미로운 점은, 듀티 변경 시와는 달리, 전력이 증가함에 따라 기저 온도와 최고 온도의 차이도 함께 증가한다는 사실이다.

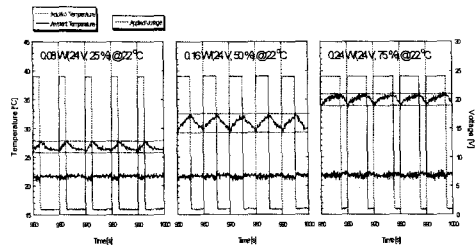


Fig 5. Temperature variation of the micro actuator with various duty ratio. (Voltage 24 V, Ambient T 22 °C)

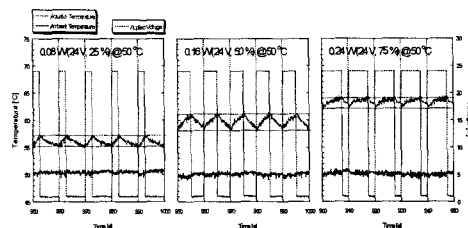


Fig 6. Temperature variation of the micro actuator with various duty ratio (Voltage 24 V, Ambient T 50 °C)

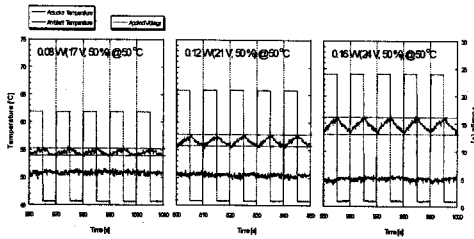


Fig 7. Temperature variation of the micro actuator with various voltage (Duty 50%, Ambient T 50 °C)

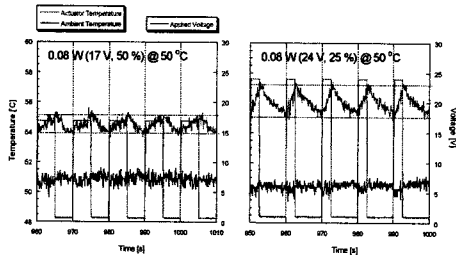


Fig 8. Temperature variation of the micro actuator for the same power with various voltage and duty ratio (Power 0.08 W, Ambient T 50 °C)

이러한 특성을 좀 더 알아보기 위하여, 동일한 전력을 히터에 공급하되, 전압과 듀티가 서로 다른 경우에 대한 결과를 그림 8에 나타내었다. 동일한 0.08 W의 전력을 공급하였음에도 불구하고, 순간 전력이 높은 고전압 저듀티의 경우가 가열에 의한 온도 변화가 크게 나타났다. 이러한 결과로부터 동일한 전력을 소모하더라도 순간 전력을 높이도록 마이크로 액추에이터를 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 상변화를 이용한 열공압형 마이크로 펌프용 액추에이터를 제작하고 히터의 특성을 분석하였다. 상변화를 이용한 열공압형 마이크로 펌프는 밀봉된 챔버 안의 액체를 기체로 변화시키는 상변화와 직접 대탄을 연료전지의 반응과정에서 나오는 반응열을 이용하여, 펌프의 효율을 향상시켜서 저 전력을 소비하는 장점을 갖는다. 제작된 마이크로 액추에이터의 크기는 $20 \times 20 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 이며, 백금을 사용하여 중착한 히터는 가로 0.1 mm, 세로 180 mm, 두께 200 nm이며 1800 Ω 의 저항을 보였다. 기저 온도가 다르더라도 히터에 의한 챔버의 온도 변화는 같은 비를 보였고, 이는 반응열을 이용하여 높은

기저 온도에서 마이크로 액추에이터를 작동시키더라도 적은 에너지를 사용하여 상변화를 일으킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 짧은 시간에 고전력으로 가열할 경우, 동일한 평균 전력 소모에도 불구하고 응답 특성이 개선됨을 확인하였다. 향후 본 소자에 노즐부를 붙여서 펌프의 압력 및 유량을 측정할 계획이다.

후기

본 연구는 에너지 관리 공단의 에너지·자원기술 개발 사업의 일환인 “모바일 기기용 마이크로 연료전지 시스템 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 원중옥, 강용수, 2001, “나노기술을 활용한 소형 연료전지 연구 동향”, *Prospectives of Industrial Chemistry*, Vol4, No.6, pp. 51-56
- [2] James Larminie, Andrew Dicks, 2003, "Fuel Cell Systems Explained", pp.152-160
- [3] Wooyoung Sim, Hyeunjoong Yoon, Okchan Jeong, Sangsik Yang, 2003, "A phase change type micropump with aluminum flap valves" *Journal of micromechanics and microengineering*, Vol13, No2, pp.286-294
- [4] Tsai, Jr-Hung, Lin, Liwie, "A thermal bubble actuated micronozzle diffuser pump" 2002, *Journal of microelectromechanical systems*, Vol11, No6, pp665-671
- [5] Park, H, Pak, J. J, Son, S. Y, Lim, G, Song, I, 2003, "Fabrication of a micro-channel integrated with inner sensors and the analysis of its laminar flow characteristic", *Sensor and Actuators. A*, Vol103, No.3, pp.317-329