자기변형 박막을 이용한 마이크로 펌프의 제작과 시험

서지훈*, 정옥찬, 양상식
아주대학교 전자공학부

Fabrication and Test of a Micro Pump with a Magnetostrictive diaphragm

Jee Hoon Seo*, Ok Chan Jeong, Sang Sik Yang
School of Electronics Engineering, Ajou University

Abstract - In this paper, the fabricaton of a micropump with two giant magnetostrictive films of Sm-Fe and Tb-Fe is presented. The pump consist of one silicon wafer and one cover glass. The micropump consists of an actuator diaphragm, a paired nozzle and diffuser, and two through holes. The Struture of the micropump is fabricated by the chemical vapor deposition, the etching and the sputtering of the magnetostrictive films. The deflection of the actuator measured diaphragm is measured by using the laser vibrometer and the flow rate of the micropump is observed by using a video microscope.

1. 서 론

왕복운동형 마이크로 펌프는 대개 구동 박막과 밸브 또는 노즐과 디퓨저로 구성된다. 마이크로 구동기의 구동방식에는 여러 가지 종류가 있는데, 정전 구동인 경우, 큰 변위를 얻으려면 높은 인가 전압이 필요하고, 외란에 의하여 두 전극이 달라 붙는 경우가 발생할 수 있다는 단점이 있다. 또, 열공압 방식 구동의 경우에는 큰 변위를 얻을 수는 있으나, 반복 구동의 주기가 길며, 펌프 내에 발생하는 고온으로 인하여 응용 범위에 제한이 있다[1]. 자기변형 구동의 경우는 에너지 밀도가 높고, 변형에 요구되는 반응시간이 짧으며, 사용 시간과 횟수에 따른 특성의 열화가 거의 없다는 장점을 가지고 있다[2].

제작이 용이한 구동 박막으로는 $p+$ Si 박막과 폴리실리콘 박막 등이 있다. $p+$ 실리콘으로 구동기 박막을 제작할 경우, 박막의 잔류 인장 응력이 커서 변위가 작은 단점이 있다[3]. 폴리실리콘은 잔류 인장 응력이 비교적 작아서 변위가 상대적으로 크다.

Quandt와 Honda 등은 자기 변형 박막을 이용하여 외팔보 혹은 박막 형태의 미소 구동기에 관한 연구를 수행하였다[4-5]. Quandt는 50 ㎛ 두께의 실리콘 외팔보 구조에 자장을 수평 방향으로 인가하여 변위를 측정하였다[4]. 자화 정도에 따라서 늘어나는 성질을 갖는 10 ㎛ 두께의 TbDyFe 자기 변형 박막을 증착한 외팔보의 최대 변위는 200 ㎛이었다. 또, 박막 형태의 구동기 변위는 FEM 시뮬레이션 방법으로 계산되었다. 지름이 12.5 ㎜인 원형 박막에 대하여 자기변형 박막이 증착되지 않은 내부 영역의 반경이 0.5 ㎜일 때 최대의 변위를 갖게 되고, 자성체가 없는 영역이 증가할수록 변위는 점차적으로 줄어들게 된다. 전면이 자성체로 증착된 경우의 수직 변위는 최대 변위의 93 % 정도이다. Honda는 Polyimide 외팔보 구조에 1 ㎛두께의 Tb-Fe 와 Sm-Fe을 증착하고, 수평 방향으로 1000 Oe 크기의 자장을 인가하였을 때, 외팔보의 변위가 270 ㎛로 포화되었다[5].

본 논문에서는 자기변형효과가 큰 희토류계 자기 변형 재료를 폴리실리콘 박막에 증착하여 구동기를 제작한다. 노즐과 디퓨저 및 구동기로 구성된 마이크로 펌프를 제작하고 제작된 펌프의 성능을 시험한다.

2. 구조 및 구동 원리

그림 1은 마이크로 펌프의 개략도를 나타낸다. 실리콘 기판의 중앙에는 구동기 박막과 펌프 챔버가 있고, 펌프 챔버의 좌우에는 노즐과 디퓨저가 연결되어 있다. 그림 2는 구동기 기판의 하면도를 나타낸다. 노즐과 디퓨저 끝의 입구와 출구는 모세관으로 통하는 연결부이다. 펌프 챔버의 크기는 8 × 8 ㎟ 이다. 노즐과 디퓨저의 길이는 4100 ㎛이고 원추각은 7.8° 이다.

자기 변형 박막이 증착된 박막에 정현파 자장을 반경방향으로 인가하면 구동기 박막은 진동하게 되며 노즐과 디퓨저의 유동 방향에 따른 유량의 차이로 인해 한 방향으로 순(net)유량이 생긴다. 즉, 박막의 운동으로 입구에서 출구로 유체가 흐르게 된다.

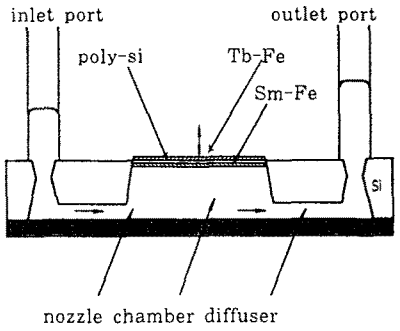

그림 1. 마이크로 펌프의 개략도.

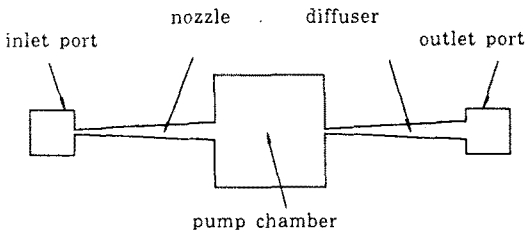

그림 2. 구동기 기판 하면도.

3. 제작 공정

본 논문에서 마이크로 펌프 제작에 사용되는 웨이퍼는 n형 (100) 실리콘 웨이퍼로 두께가 525 ± 10 ㎛이고, 구동기의 박막은 균일한 두께의 박막을 제작하는 데 용이한 폴리실리콘을 사용한다. 그림 4는 자기변형 박막을 이용한 마이크로 펌프의 제작 공정 순서를 나타낸다. 먼저, 0.5 ㎛ 두께의 열산화막을 성장시키고, 2 ㎛ 두께의 폴리실리콘을 증착한다. 그리고 PSG와 질화막을 각각 1 ㎛와 0.1 ㎛씩 증착한다. 펌프 챔버와 유체 입·출구 부분을 EPW (Ethylendiamine : Pyrocathecol : DI Water = 250 ㎖ : 40 g : 80 ㎖) 수용액을 이용하여 115 ℃에서 325 분간 약 325 ㎛을 식각한다. 식각 보호막을 제거할 때, 질화막인 경우에는 RIE로 패터닝하고, 산화막은 BOE로 제거한다. 다시 뒷면의 보호막을 패터닝하여 노즐, 디퓨저, 펌프 챔버, 입·출구 등을 동시에 식각하여 제작한다. 이 때 열산화막층에 의하여 식각이 정지된다. 모든 구조가 형성되면 BOE로 처리하여 질화막과 잔류하는 열산화막을 제거한다. 그리고, 박막의 상부에는 양의 자기 변형치를 갖는 TbFe을, 하부에는 음의 자기 변형치를 갖는 SmFe을 각각 1.5 ㎛ 두께로 스퍼터로 증착한다. 그림 5는 제작된 폴리실리콘 박막을 갖는 구동기의 사진이다. 제작된 실리콘 기판과 파이렉스 유리를 에폭시로 접합하여 마이크로 펌프를 완성한다.

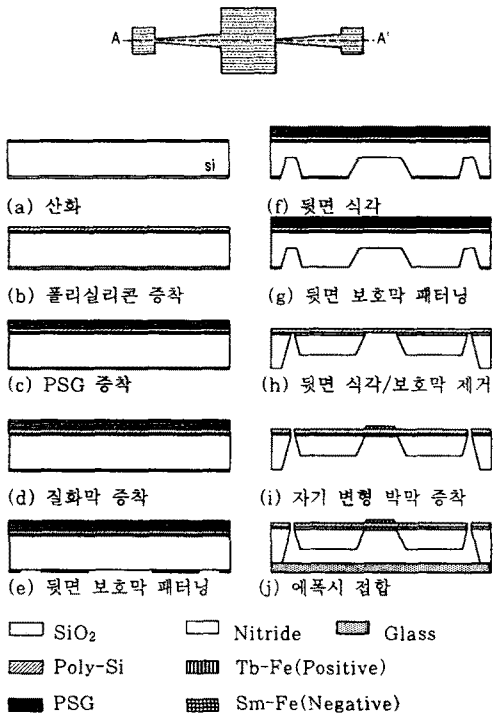

그림 4. 자기변형 박막 마이크로 펌프의 공정도.

그림 5. 제작된 노즐·디퓨저의 사진.

4. 특성 시험

그림 6은 구동기의 정적 변위 측정을 위한 실험 장치이다. 그림 7은 제작된 자기변형 박막에 반경 방향의 자장을 인가하면서 현미경 초점 조절법을 이용하여 측정한 구동기 박막 중심부의 정적 변위를 나타낸다. 자장의 증가에 따라 박막의 변위가 선형적으로 증가하며 인가 자속 밀도가 1000 gauss일 때 박막 중심의 변위는 약 10 ㎛이다. 1200 gauss 이상에서는 포화되는 경향을 보일 것으로 예상된다

그림 8은 반경 방향의 인가 자장에 따른 구동기의 동적 변위 측정을 위한 장치도를 나타낸다. 함수발생기에서 발생된 정현파 신호에 따라 FET 여진기는 정현파 전류를 코일에 공급한다. 전류의 크기는 공급 전원에 의해 조절된다. 인가 자기장에 의하여 구동기가 진동하면 레이저 진동계를 이용하여 속도를 전압 신호로 변환하고 오실로스코프(LeCroy 9310)를 이용하여 측정 주파수에서의 속도 성분을 전압으로 검출하게 된다.

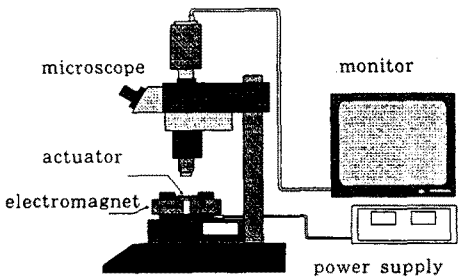

그림 6. 구동기의 정적변위 측정 장치.

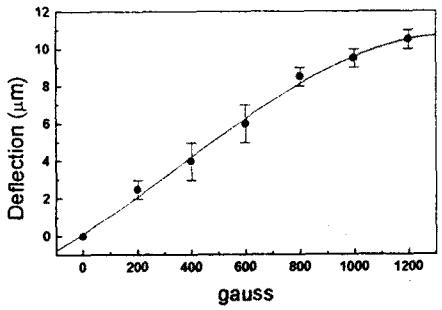

그림 7. 인가된 자장에 따라 측정된 구동기의 정적변위.

자속 밀도의 최고치가 1800 gauss일 때 다양한 인가 주파수에 대하여 레이저 진동계를 이용하여 구동기의 박막 중심부의 피크-피크 변위를 측정한 결과는 그림 9와

같다. 마이크로 펌프의 공동 내에 물이 채워져 있을 때(after priming)가 공기로 채워져 있을 때(before priming)보다 변위가 훨씬 작다. 두 경우 모두 주파수가 증가할수록 변위가 감소하게 된다.

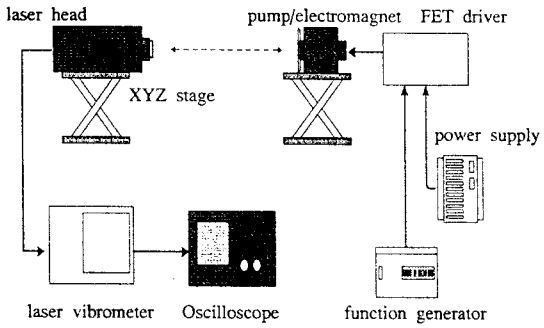

그림 8. 인가 자장에 따른 구동기의 동적 변위 측정 시험 장치.

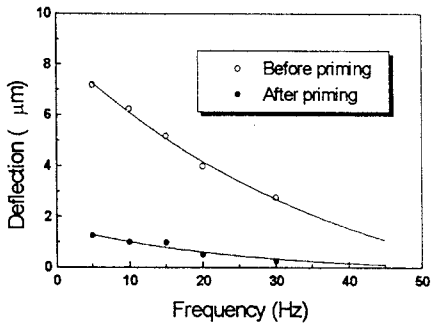

그림 9. 주파수 변환에 따른 구동기 박막의 동적 변위.

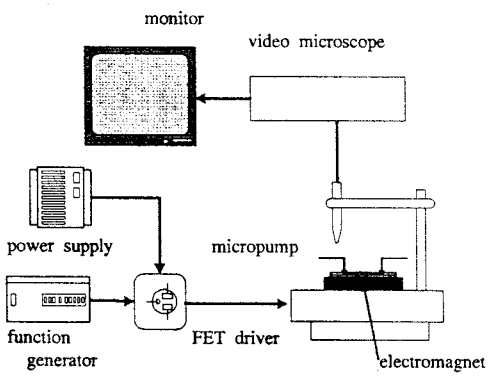

그림 10. 유량 시험을 위한 장치도.

그림 10은 펌프의 유량 실험을 하기 위한 장치도이다. 그림 11은 인가된 자속 밀도의 크기가 1800 gauss일 때 임의의 시간 동안 액면의 이동을 관찰하여 계산된 유량을 보여준다. 주파수가 증가할수록 유량은 감소하게 되고, 2 Hz에서 유량은 0.018 ㎕/min이다.

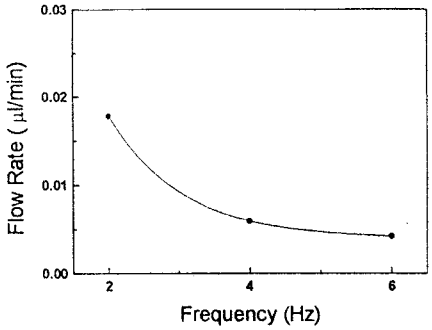

그림 11. 주파수 변화에 따른 유량 시험 결과.

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술에 의한 자기 변형 박막 마이크로 펌프를 제작하고, 그 특성을 평가하였다. 자기 변형 재료를 이용한 구동기와 노즐·디퓨저를 한 웨이퍼에 제작함으로써 구조를 간단하게 하고 제작 공정을 줄일 수 있었다. 구동기 박막의 변위 시험과 펌프의 유량 시험을 수행하였다.

향후 마이크로 펌프 및 구동기의 구조를 개선하여 제작한다면 성능이 향상될 수 있다. 또, 자기 변형 소재를 이용한 마이크로 펌프는 미세 유량 제어 장치, 미생물 조작장치, 화학물 감지 시스템 분야와 약물 투여 시스템등 생물학, 화학 및 의학분야에 걸쳐 널리 응용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] O. C. Jeong and S. S. Yang, "Fabrication and Drive Test of a Thermopneumatic Micropump with the Corrugated Diaphragm," *ICEE 98*, pp. 902-905, 1998.

[2] S. H. Lim, Y. S. Choi, S. H. Han, S. R. Lee, H. J. Kim, T. Shima and H. Fujimori,"Magnetostriction of Tb-Fe-(B) Thin Flims fabricated by RF Magnetron Sputtering," *IEEE Trans. on Magn.*, 32 (5) p. 4770, 1996.

[3] E. H. Yang, S. S. Yang, O. C. Jeong, "Fabrication and Electrostatic Actuation of Thin Diaphragms," *KSME International Journal*, Vol. 12, No. 2, pp. 161-169, 1998.

[4] E. quandt, K. Seemann, "Fabrication of Giant Magnetostrictive Thin Film Actuators," *Proc. IEEE MEMS 95*, 1995, pp. 273-277.

[5] T. Honda, K. I. Arai, and M. Yamaguchi, "Fabrication of Actuators using Magnetostrictive Thin Films," *Proc. IEEE MEMS 94*, Oiso, Japan, 1994, pp. 51-56.

본 논문의 저자들은 자기변형 박막의 증착, 정적 변위 측정 및 여러 가지 조언으로 도움을 주신 KIST의 임상호 박사님과 정상훈, 최규길님께 감사합니다.

본 논문은 선도기술개발사업(자기변형 박막 가공 및 응용기술) 3차년도('97-'98) 연구비 지원에 의해 수행되었음.