

주름진 박막을 갖는 평면 코일을 이용한 전자 구동기 제작

정현구*, 정은찬, 양상식
아주대학교 전자공학부

Fabrication of an Electromagnetic Actuator with the Corrugated Parylene Diaphragm

Hyun-Ku Jeong, Ok-Chan Jeong, Sang-Sik Yang
School of Electronics Engineering, Ajou University

Abstract - This paper presents the novel fabrication of an electromagnetic micro actuator with a corrugated diaphragm and a flat one. The actuator consists of a Parylene diaphragm with a spiral copper coil and a permanent magnet. The copper coil is fabricated by electroplating and patterning. As the further works, the frequency response of the actuator are obtained by using a laser vibrometer and the static deflection of the actuator diaphragm are measure by using laser displacement meter. The corrugated diaphragm is expected to be better than the flat one with respect to the actuator performance.

1. 서 론

마이크로머시닝 기술의 발달과 더불어 마이크로 펌프, 마이크로 밸브와 같은 다양한 종류의 유체 소자에 대한 개발이 진행되고 있다. 마이크로 펌프는 적은 dead volume을 갖도록 마이크로머시닝 기술을 이용하여 구현할 수 있으며, 수 $\mu\text{l}/\text{min}$ 의 미소 유량의 정확한 조절이 가능하다.

일반적인 개념의 마이크로 펌프는 정전형, 열공압형, 압전형 등과 같은 여러 가지 구동 방법을 이용한 구동기와 외팔보형, 플랩형, 다이어프램형 등의 수동형 밸브로 구성된다. 마이크로 펌프의 성능은 구동기 박막의 재질과 크기, 그리고 구동력에 의하여 제한되고, 또 응용 범위도 제약받는다. 정전형 펌프인 경우, 구동기의 변위는 두 대면 전극사이의 간극에 제한된다. 또, 대변위를 얻기 위하여 가동 박막의 크기 혹은 대면 전극의 형상을 달리 하더라도 수십 V의 인가전압이 필요하고, 유체 펌핑시에는 전기분해의 현상이 발생할 위험이 있으므로 가스 펌프로 그 응용 범위가 제한된다.

구동기의 변위 특성은 구동기 박막의 기계적 성질에 따라 달라지게 되는 데, 고온의 열처리 혹은 불순물 주입 등의 제작 공정 중에 생성되는 잔류응력에 큰 영향을 받게 된다. 앞서 언급한 여러 가지 구동방법에 따른 구동기의 효율을 극대화하기 위하여, 박막 제조 공정상에 발생하는 잔류응력과 그리고 구동기 박막의 변형에 따라 발생할 수 있는 응력을 완화할 수 있는 박막의 설계가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 연구자들이 박막을 주름진 형태로 제작하였으며, 다양한 미소 소자 제작에 응용하였다[1-6]. 정전형인 경우[4]에는 미세한 간극사이의 공기 감쇠로 인하여 주름진 박막이 편평한 박막 보다 큰 이득을 없었으나, 열공압형인 경우[6]에는 정적 변위 특성($\mu\text{m}/\text{V}$)이 대략 3 배정도 우수하다는 실험적 결과를 얻었다. 즉, 소변위 영역에서 보다는 대변위 영역에서 주름진 구조의 잔류응력 완화 효과가 크다고 판단된다. 그러나, 열공압형인 경우에는 마이크로 히터에서 발생하는 열로 인하여 마이크로 펌프 응용에 제한성이 있다. 그러나, 참고문헌 [4]와 [6]에서의 구동기 박막인 p^+ 실리콘 박막은 반복 구동에 따른 피로함복으로 인하여 펌프의 수명이 다른 재질의 사용에 비하여

짧다고 사료된다.

본 논문에서는 주름진 박막과 편평한 박막을 갖는 전자 구동기의 제작 공정을 확립하고, 두 가지 종류의 박막을 갖는 전자구동기를 제작한다. 전자 구동기는 전기 도금 방법을 이용한 평면 구리 코일을 제작과, 파릴린 박막의 증착, 그리고 금속 증착 공정으로 제작하고, 영구 자석을 이용하여 전자 구동 시험을 수행한다.

2. 전자 구동기의 구조와 구동 원리

그림 1은 마이크로 구동기의 구조를 보여준다. 구동기는 스파이럴 형태의 구리 코일과 구동기 박막인 파릴린 박막, 영구 자석 등으로 구성된다. 구동기는 영구 자석의 자장 내에서 구리 코일에 흐르는 전류로 인해 발생되는 로렌츠 힘으로 구동된다. 실험에 사용된 영구 자석은 직경과 두께가 각각 4.2 mm와 1.5 mm이다. 이때 자기력을 집중시키기 위해 코일 주위에 코어를 접합한다. 구동기의 박막의 크기는 $4 \times 4\text{mm}^2$ 이고 두께는 4 μm 이다.

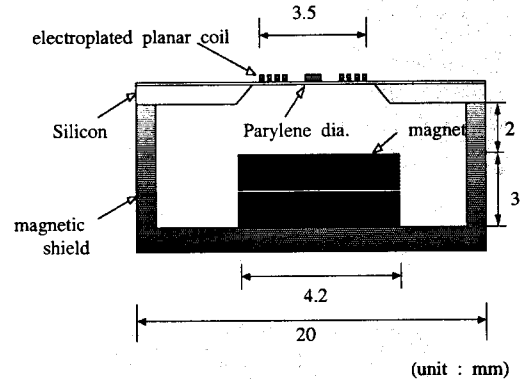
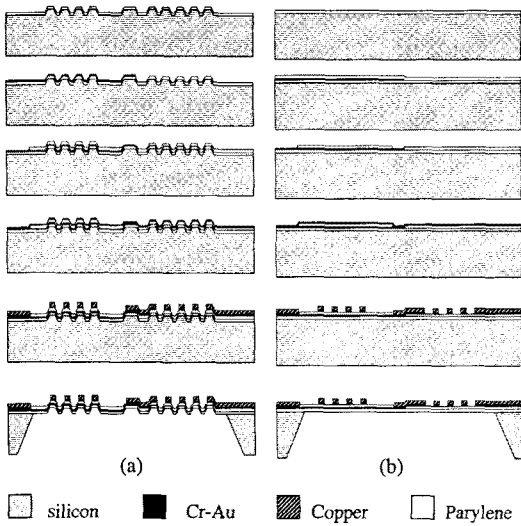


그림 1. 마이크로 구동기의 구조

3. 마이크로 구동기 제작 공정

그림 2는 파릴린 박막과 코일의 제작 공정을 나타낸다. 330 μm 두께의 4인치 (100)방향의 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용한다. 주름진 구조의 박막을 위해 실리콘 웨이퍼를 스파이럴 형태로 10 μm 의 깊이의 얇은 식각을 한다. 이때 얇은 식각된 코일간의 폭과 간격은 각각 80 μm 이고, 변위 측정을 위한 박막 중앙의 편평한 부분은 정사각형 형태이며, 한변의 길이는 400 μm 이다. 그림 3은 실리콘 기판의 주름 식각 후 사진이다. 식각 보호막인 열산화막 위에 상온에서 약 1.7 μm 두께의 파릴린 증



- 1) thermal oxidation and Parylene deposition
- 2) Cr-Au evaporation/patterning and Parylene deposition
- 3) Al passivation and Parylene etching and Al removal
- 4) Cr-Au evaporation
- 5) Thick PR patterning and Cu electroplating and thick PR removal
- 6) Cr-Au evaporation and back side etching and Cr/Au removal

그림 2. 구동기의 제작 공정도.

- (a) 주름진 박막
(b) 편평한 박막

착 공정을 수행한다. 코일의 내부 전극은 Cr/Au(400Å/3000Å)를 증착하여 패터닝한다. 내부 전극이 얇은 식각된 부분을 통과하게 되어 Step Coverage의 문제가 생긴다. 이 문제를 해결하기 위해 두꺼운 PR(AZ 4620)로 전극을 패터닝한다. 코일의 전극과 구리코일의 전기적 절연층으로 대략 2.3 μm 두께의 파릴린을 증착하고, 파릴린을 전식 식각한다. 이때, 식각 보호막으로 Al층을 사용한다. 전기 도금을 위한 seed layer로써 Cr/Au를 증착하고, 두꺼운 PR(AZ 4620)을 패터닝한 후 사진 공정으로 고단면비를 갖는 전기 도금 몰드를 형성하고, 구리를 12 μm 두께로 전기 도금한 후 Cr/Au를 제거한다. 그림 4는 구리 도금 후 사진이다. 마지막 공정으로써, EPW 식각 용액을 이용하여 박막이 형성될 때까지 식각을 수행한다. 이때, 열산화막에 의한 자동 식각 정지 방법을 이용하여 EPW 수용액으로 식각하고, 실리콘 상부의 Cr/Au 층을 식각 보호막으로 이용한다. 그림 5는 제작된 전자 구동기의 사진이다. 코일의 폭과 간격은 각각 80 μm이다. 제작된 코일의 저항은 0.5 Ω이고, LCR meter를 이용한 인덕턴스는 2.2 μH이다.

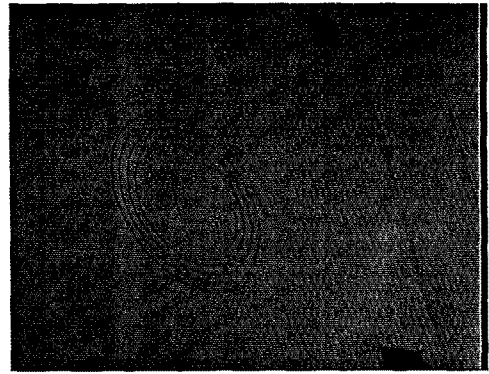


그림 3. 실리콘 기판의 주름 식각 후 사진.

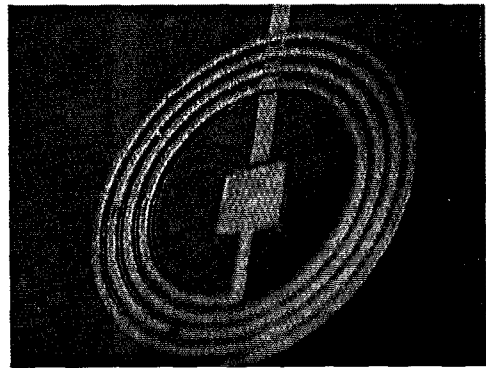
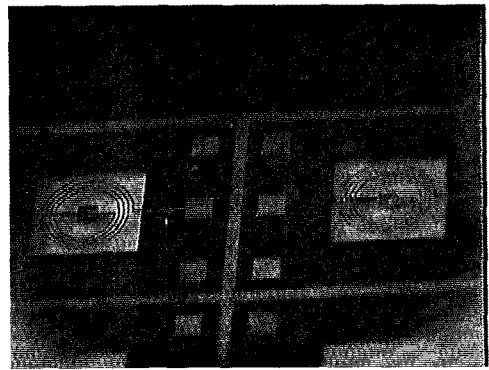
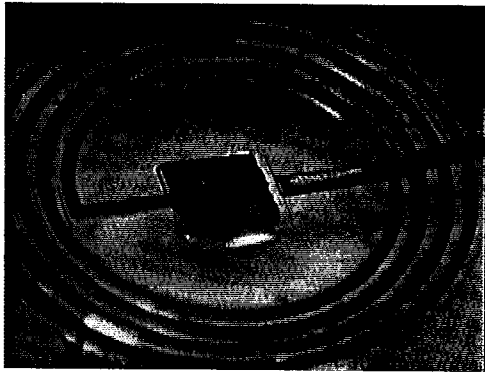


그림 4. 12 μm 두께의 구리 도금 후 사진.



(a) 편평한 박막(좌측)과 주름진 박막(우측)을 갖는 구동기의 사진.



(b) 주름의 확대 사진.

그림 5. 제작된 구동기.

4. 결 론

본 논문에서는 전기 도금 방법을 이용하여 파릴린 박막 위에 마이크로 구리 코일을 제작하고, 영구 자석을 장착하여 전자 구동기를 제작하였다. 구동기의 박막은 잔류응력 완화 구조인 주름진 구조와 이와 비교를 위한 편평한 박막을 갖는 두가지 종류로 제작하였다.

추후, 주름진 박막을 갖는 구동기의 잔류응력 완화 효과를 시험하기 위하여 공압을 이용한 박막의 정적변위 특성 시험을 수행하고, 편평한 박막과 주름진 박막의 기계적 감도를 평가할 계획이다. 또, 다양한 주파수 변화에 따른 구동기의 변위 주파수 응답 시험을 통하여 두 종류의 구동기의 동특성을 시험할 계획이다.

5. 향후 연구 계획

5.1 정특성 시험

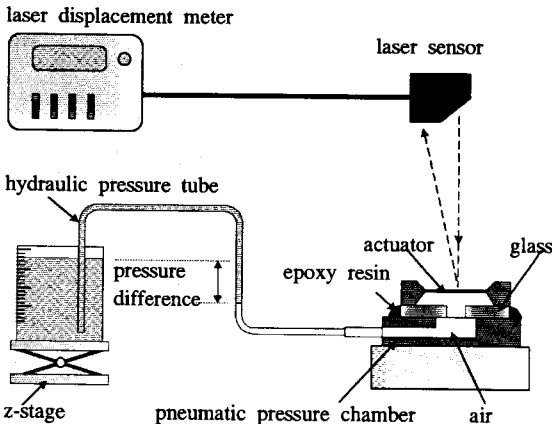


그림 6. 구동기 박막의 정특성 측정 시스템의 개략도.

그림 6는 마이크로 구동기의 정적 변위를 측정하기 위한 측정 시스템의 개략도이다. 수압차에 의하여 구동기

박막에 일정한 압력을 인가하게 되면, 구동기 박막은 위로 변형을 일으키고, 레이저 변위계를 이용하여 공압에 따른 변위를 측정한다. 다양한 압력 변화에 따른 주름진 박막과 편평한 박막의 변위를 측정하고, 이로부터 각각의 구동기 박막에 대한 기계적 감도를 얻을 수 있으리라 사료된다. 또, 정특성 시험 결과로부터 파릴린 박막의 평균 잔류응력의 크기와 영률 등과 같은 기계적 물성치 추정도 가능하리라 사료된다.

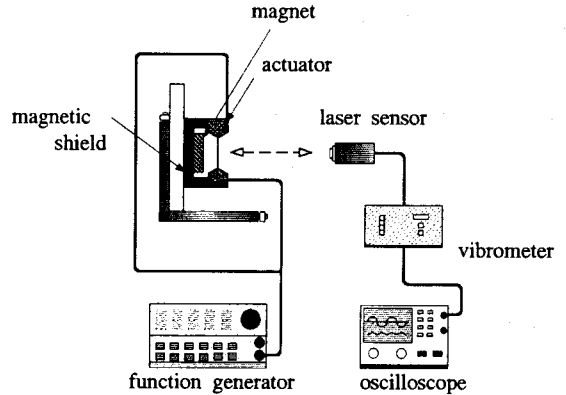


그림 7. 구동기 박막의 동특성 측정 시스템의 개략도.

그림 7는 마이크로 구동기의 변위를 측정하기 위한 측정 시스템의 개략도이다. 두 전극에 교류 정현파 전압을 인가하고, 주파수를 변화시키면서 레이저 진동계 (Polytec OFV352 sensor head with OFV2600 controller)를 이용한 구동기 박막 중심의 속도를 측정으로부터 박막의 변위를 측정한다. 주름진 박막을 갖는 구동기와 편평한 박막을 갖는 구동기의 차단주파수와 DC 변위 이득에 대한 정보를 얻을 수 있으리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. R. Scheeper, W. Olthuis, and P. Bergveld, "The Design, Fabrication, and Testing of Corrugated Silicon Diaphragm," *IEEE/ASME Jour. MEMS*, Vol. 3, pp. 36-42, 1994.
- [2] J. H. Jerman, "The fabrication and Use of the Micromachined Corrugated Silicon Diaphragm," *Sensors and Actuators A21-23*, pp. 988-992, 1990.
- [3] C. A. Rich and K. D. Wise, "An 8-bit Microflow Controller Using Pneumatically-Actuated Microvalves," *Proc. IEEE MEMS Workshop*, Orlando, Florida, USA, Jan. 17-21, 1999, pp. 130-134.
- [4] E. H. Yang, S. S. Yang and O. C. Jeong, "Fabrication and Electrostatic Actuation of Thin Diaphragms," *KSME Int. Journal*, Vol. 12, No. 2, pp. 161-169, 1998.
- [5] J. H. Jerman and D. J. Clift, "Miniature Fabry-Perot Interferometers Micromachined in Silicon for Use in Optical Fiber WDM Systems," *Tech. Digest of Transducers '91*, Montreux, Switzerland, Jan. 24-27, 1991, pp. 372-375.
- [6] O. C. Jeong and S. S. Yang, "Fabrication of a Thermopneumatic Microactuator with a Corrugated p+ Silicon Diaphragm," accepted for the publication in *Sensors and Actuators A*, 1999.