

## 평면 코일을 이용한 전자 구동기 제작

정현구<sup>\*</sup>, 권기영, 정옥찬, 양상식  
아주대학교 전자공학부

### Fabrication of an Electromagnetic Actuator with the Planar Coil

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

**Abstract** - This paper presents the fabrication of an electromagnetic micro actuator consisting of a Parylene diaphragm with a spiral copper coil and a permanent magnet. The copper coil is fabricated by electroplating and patterning. The frequency response of the actuator are obtained using a laser vibrometer. When the input voltage is 3 V, the DC deflection is 5  $\mu\text{m}$ , and the resonance frequency is about 35 Hz. Also, the mechanical sensitivity of the actuator diaphragm is 69  $\mu\text{m}/\text{V}$ .

구동기의 박막의 크기는  $4 \times 4\text{mm}^2$  이고 두께는 5  $\mu\text{m}$  이다.

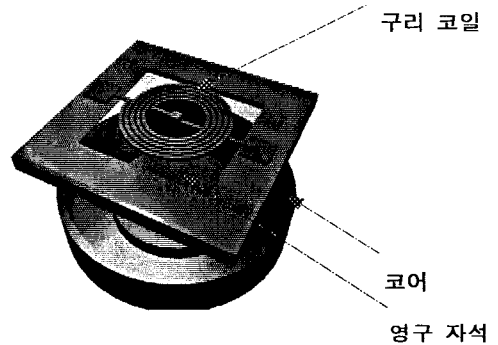


그림 1. 마이크로 구동기의 구조

#### 1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술의 발달로 각종 의료 기기와 미소 유량 제어에 위하여 마이크로 펌프 및 밸브 등 미소 유체 소자의 개발이 진행되어 왔다. 이러한 미소 유체 소자의 유량 제어를 위해 미소 유체 이송용 마이크로 구동기가 필요하며, 그 구동 방식으로는 열공압형, 정전형, 압전형, 전자 구동 등이 있다. 열공압 방식의 경우에는 공동내의 공기를 가열과 냉각의 반복 작업으로 구동하는 방식으로 저전압으로 큰 변위를 얻을 수 있으나, 반복 구동의 주기가 길며, 공동내의 발생하는 고온으로 인하여 응용 범위에 제한이 있다. 정전형 구동 방식과 압전형 구동 방식인 경우에는 고속 응답인 반면 고전압이 필요하다는 단점이 있다. 전자 구동 방식은 저전압에서 큰 변위를 얻을 수 있고 주파수 응답이 빠르다는 장점이 있다[1]. 그러나, 참고문헌 [1]에서는 상용화된 구리 코일을 사용하여 구동기를 제작하였다. 구동기의 크기를 줄이기 위해서는 전기도금을 이용한 코일 제작 방법이 필요하다[2-4]. Ryu 등은 전기 도금을 이용한 마이크로 전자 구동기를 제작하고, 구동기 변위 시험을 수행하였다[5]. 그러나, 수십 MPa의 잔류인장응력을 갖고 있는 p+ 박막을 구동기 박막으로 사용으로 인하여 큰 변위를 얻을 수 없었으며 박막 중앙의 코일 단자와 리드 선을 접착제로 연결하였다.

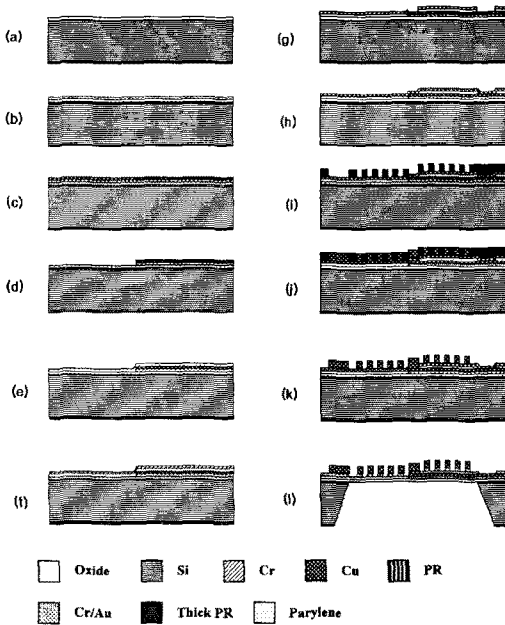
본 논문에서는 인체에 적합한 재료인 파릴린을 구동기 박막으로 이용하고, 전기도금방법을 이용하여 코일을 제작하여 전자 구동기를 제작한다.

#### 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 발생하는 로렌츠 힘으로 구동된다. 실험에 사용된 영구 자석은 직경과 두께가 각각 6 mm와 0.8 mm이다. 이때 자기력을 집중시키기 위해 코일 주위에 코어를 접합한다.

#### 3. 마이크로 구동기 제작 공정

그림 2는 파릴린 박막과 코일의 제작 공정을 나타낸다. 330  $\mu\text{m}$  두께의 4인치 (100)방향의 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용한다. 식각 보호막인 열산화막 위에 135  $^{\circ}\text{C}$ 에서 2 시간 동안 2.5  $\mu\text{m}$  두께의 파릴린 증착 공정을 수행한다. 평면 코일을 제작하기 위해 두 번의 전기도금이 필요하다. 첫 번째 전기도금은 코일의 내부 전극을 외부로 연결하기 위한 공정이고, 두 번째 전기도금은 코일을 제작하기 위한 공정이다. 1 차 전기도금을 위한 seed layer로써 400Å/3000Å 두께의 Cr/Au층을 증착 및 패터닝한다. PR(AZ1512)을 패터닝 후 사진공정을 통해 전기도금 몰드(mold)를 형성하고, 구리를 1  $\mu\text{m}$  두께로 전기 도금한 후 seed layer인 Cr/Au를 식각한다. 코일의 전극과 구리코일의 전기적 절연층으로 2.5  $\mu\text{m}$  두께의 파릴린을 증착하고, 파릴린을 건식 식각한다. 이때, 식각 보호막으로 Cr 층을 사용한다. 2 차 도금을 위해 seed layer층을 증착하고, 두꺼운 PR을 패터닝 후 사진 공정으로 고단면비를 갖는 전기도금 몰드를 형성하고, 구리를 4  $\mu\text{m}$  두께로 전기 도금한 후 Cr/Au를 제거한다. 마지막 공정으로써, EPW 식각 용액을 이용하여 박막이 형성될 때까지 식각을 수행한다. 이때, 열산화막에 의한 자동 식각 방지 방법을 이용하여 EPW 수용액으로 식각하고, 실리콘 상부의 Cr/Au 층을 식각 보호막으로 이용한다. 그림 3은 제작된 마이크로 구동기의 사진이다. 코일의 폭과 간격은 80  $\mu\text{m}$ 이다. 제작된 코일의 저항은 2.1  $\Omega$ 이고, LCR meter를 이용한 인덕턴스는 100 Hz에서 11  $\mu\text{H}$ 이다.



- (a) thermal oxidation & parylene deposition
- (b) seed layer(Cr/Au) evaporation
- (c) PR patterning & 1st electroplating
- (d) PR & seed layer removal
- (e) Parylene deposition
- (f) Cr evaporation
- (g) Cr patterning & parylene etching
- (h) Seed layer(Cr/Au) evaporation
- (i) Thick PR patterning & development
- (j) 2st electroplating & thick PR removal
- (k) thick PR removal
- (l) back side etching and seed layer(Cr/Au)

그림 2. 구동기의 제작 공정도.

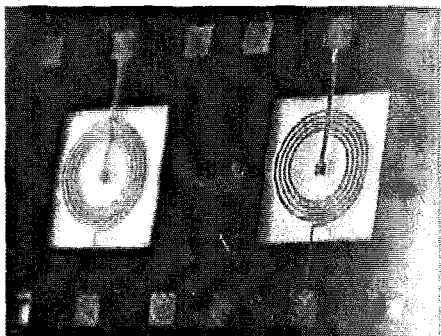


그림 3. 제작된 구동기.

#### 4. 동특성 시험

그림 4는 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 측정

으로부터 박막의 변위를 측정한다. 그림 5는 3 V의 전압을 인가하였을 때, 측정된 구동기의 변위 주파수 응답 곡선이다. 이 때, 영구자석은 구동기 박막으로부터 2.6 mm 떨어져 있다. 구동기의 공진 주파수는 35 Hz이고, DC 변위는 5  $\mu\text{m}$ 이다. 그림 6은 인가전압의 변화에 따른 구동기 DC 변위를 나타낸다. 인가 전압이 3 V 이상에서 구동기의 변위가 발생하고, 제작된 소자의 기계적 감도를 인가 전압에 대한 파릴린 박막의 변위로 표현하였을 때, 10 Hz와 35 Hz에서의 기울기는 각각 69  $\mu\text{m}/\text{V}$ 와 247  $\mu\text{m}/\text{V}$ 이다. 코일에 흐르는 평균 전력은 13.3 mW이다.

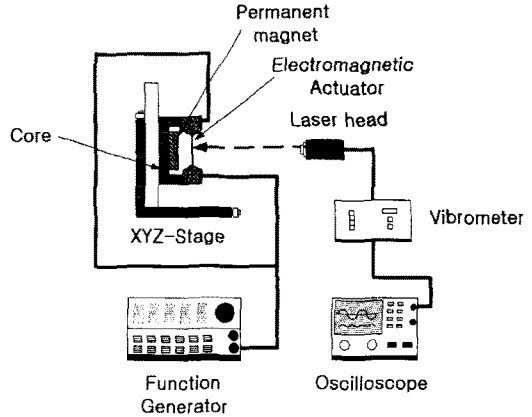


그림 4. 구동기 박막 변위 측정 시스템의 개략도.

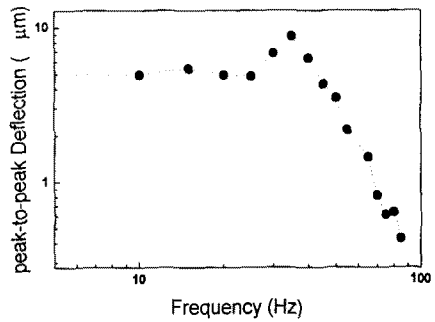


그림 5. 3 V 인가 전압에 대한 변위 주파수 특성.

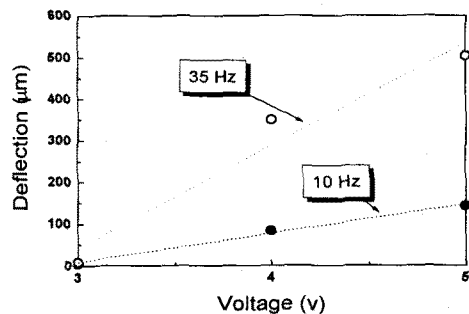


그림 6. 인가 전압에 따른 구동기 박막 변위

## 5. 결 론

본 논문에서는 전기 도금 방법을 이용하여 파릴린 박막 위에 마이크로 구리 코일을 제작하고, 영구 자석을 이용하여 전자 구동 시험을 수행하였다. 입력 전압에 따른 구동기의 변위 시험과 다양한 주파수에 따른 변위 주파수 응답을 측정하였다.

추후, 주름진 구조를 구동기 박막을 제작하여 잔류응력 완화 효과로 인한 저전압에서 큰 변위를 낼 수 있는 구동기를 제작하고, 구동기의 영구 자석과의 거리에 따른 전자력의 변화를 고려한 최적의 전자구동기를 제작할 계획이다. 이러한 전자 구동 방식의 구동기는 수동형 밸브와 접합하여 마이크로 펌프에 응용할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] K, H, Kim, S, Y, Kim, O, C, Jeong, S, S, Yang, "Fabrication of a Micropump Using an Electromagnetic Actuation," Proceedings of the 1st Korean MEMS Conference, April 17, pp. 37-41, 1999.
- [2] Daniel J, Sadler, Wenjin Zhang, Chong H, Ahn, "Micromachined Semi-Encapsulaed Spiral Inductors for Micro Electro Mechanical Systems(MEMS) Applications," IEEE Transactions on Magnetics, vol, 33, No, 5, September, pp. 3319-3321, 1997.
- [3] Z, M, Hejazi, "Accurate Distributed Inductance of Spiral Resonators," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol, 8, No, 4, April, pp. 164-166, 1998.
- [4] J, Y, Park, "Packaging-Compatible Micromachined Magnetic Devices: Integrated Passive Components And Modules," Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technology, December, 1997.
- [5] J. C. Ryu, T. G. Kang, Y, H, Cho, "Electromagnetic Microactuators with the Electroplated Planar Coil Driven by Radial Magnetic Field," Proceedings of the 1st Korean MEMS Conference, April 17, pp. 29-36, 1999.