

전자력을 이용한 실리콘 막의 구동

김용성*, 안시홍, 김용권
서울대학교 전기공학부

Driving silicon membrane with electromagnetic force

Yong-Sung Kim*, Si-Hong Ahn, Yong-Kweon Kim
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - Silicon membrane to be used for micropump is fabricated and the deflection of the membrane driven by the electromagnetic force is measured. Silicon and glass are anodic bonded and Si is thinned. Silicon membrane is fabricated by the glass etching. The gold pattern can be protected against HF by the washing and fixing process under the glass etching process. The electromagnetic force is gained by the magnetic field driven by the current flowing through two coils. Deflection of the silicon membrane has a tendency of increasing with the increase of the driving current.

있고 두께는 30 μ m이다. 실리콘 막 부분과 boss의 지름은 각각 30mm, 5mm이고, boss와 chamber의 두께는 520 μ m이다.

1. 서 론

마이크로머싱 기술의 발달과 더불어 마이크로 밸브, 마이크로 펌프 및 유량 센서와 같은 미세 디바이스를 접목한 마이크로 유체 시스템에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 마이크로 유체 시스템의 중요한 이점은 미세한 양의 유체를 정밀하게 조절하여 이동시킬 수 있다는 점이다. 이 가운데 특히 마이크로 펌프에 관해서는 미세한 유량을 인체에 주입하기 위한 의료용 장비나 잉크젯 프린터 헤드용의 용도와 맞물려 매우 활발한 연구가 이루어지고 있다. 마이크로 펌프는 구동방식에 따라 다양한 종류가 있는데, 정전형, 압전형, 전자기형, 열팽창형, 열공압형 등 움직이는 부분이 있는 펌프와 EHD 펌프와 같이 움직이는 부분이 없는 펌프가 있다. 이 중에서 가장 활발히 연구가 진행되고 있는 분야는 막을 움직여서 유체를 이동시키는 membrane 펌프이다 [1], [2].

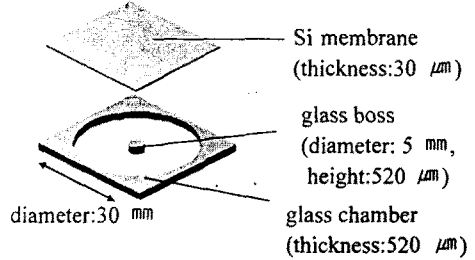


그림 1. 실리콘 막의 구조

본 논문에서는 전자기형 마이크로 펌프에서 사용될 단결정 실리콘 막을 제작하고 만들어진 막의 인가 전류에 대한 변위를 측정한다. 실리콘 막은 실리콘과 glass를 anodic bonding하고, 실리콘 면을 얇게 만든 후에 glass를 식각하여 원형으로 제작한다. 막의 모양이 원형일 경우에는 주어진 힘에 대한 막의 변위가 막의 중심을 기준으로 점대칭이 된다. 따라서 대칭축을 통과하는 하나의 지름에서의 변위만 고려하면 되는 편리함이 있다. 이러한 이유로, 원형 패턴을 살릴 수 있는 glass 식각을 통하여 막을 제작하였다. 제작된 실리콘 막의 구동은 막에 장착된 코일과 그것을 감싸는 코일에 전류를 흘려주어서 생기는 자력에 의한 전자력으로 막을 움직이는 방식을 취한다. 전자력에 의하여 막을 구동할 때에는 막이 큰 힘을 얻기에 용이하고 따라서 막의 변위를 크게 할 수 있다. 본 논문에서는 인가 전류에 대한 실리콘 막의 변위를 측정하였다.

2.2 실리콘 막의 제작

실리콘 막의 제작 공정을 그림 2에 나타내었다.

2. 본 론

2.1 실리콘 막의 구조

실리콘 막은 glass chamber와 anodic bonding 되어

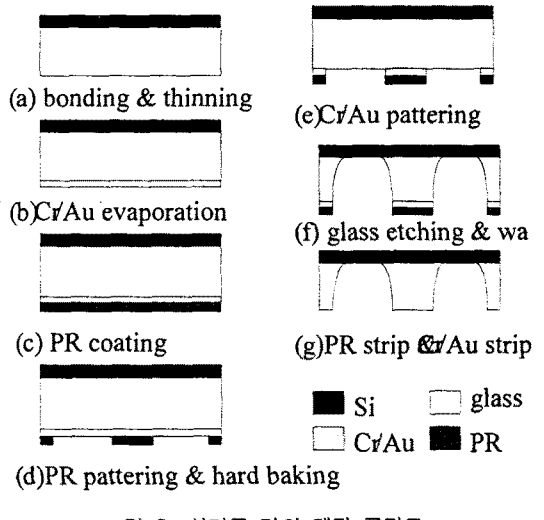


그림 2. 실리콘 막의 제작 공정도

막으로 쓰일 실리콘 wafer와 chamber를 이룰 glass wafer는 anodic bonding으로 접합한다. anodic bonding후에 실리콘 부분을 얇게 가공하여 최종적으로 막으로 쓰이게 하였다. chamber 부분이 되는 glass wafer는 Cr/Au layer로 patterning하여 HF로 식각하는데, 실리콘 부분이 완전히 드러날 때까지 glass를 식각하여 막과 chamber 부분을 완성한다.

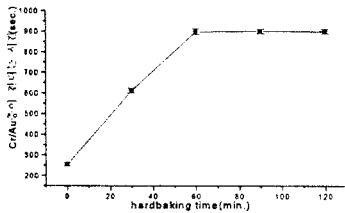


그림 3. 완성된 실리콘 막

실리콘 막을 제작할 때 생기는 가장 큰 문제점은 HF에 대한 passivation layer로써의 Cr/Au 층이 식각시에 손상된다는 점이다. 식각 중간에 Cr/Au 층이 손상되어 의도하지 않은 부분의 glass가 식각되는 현상이 나타나는데, PR의 hardbaking 시간, 금의 증착 두께 조절등으로 보완 될 수 있다.

2.2.1 PR의 hardbaking 시간

증착하는 금의 두께를 일정하게 한 상태에서 wafer에 도포하는 PR의 hardbaking 시간을 증가시키면, HF에 의한 glass 식각시 PR이 Cr/Au층을 보호하는 시간이 길어짐을 알 수 있다. 그러나 60분 이상 bake를 하면 그 시간에 있어서 별다른 차이점을 보이지 않는다. glass는 상온에서 49%의 HF로 식각한다.

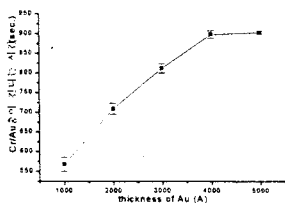


(bake 온도: 110° C, Cr/Au 두께 300Å/4000Å)

그림 4. PR의 hardbaking 시간과 Cr/Au층이 식각시에 걸리는 시간

2.2.2 Cr/Au 층의 증착두께

glass patterning을 위하여 Au를 증착할 때, wafer와의 점착력을 높이기 위하여 Cr/Au를 연속적으로 증착한다. HF로 glass를 식각하는 도중, passivation layer인 Cr/Au 층이 HF안에서 쉽게 벗겨지는 경향을 보이는데, 증착된 금의 두께가 두꺼울수록 Cr/Au 층이 견디는 정도가 나아지는 것을 알 수 있다. 그러나, 금의 증착 두께가 4000Å 이상이면 거의 같은 시간에 벗겨지는 것을 알 수 있다.



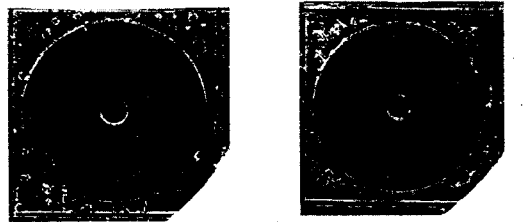
(PR hardbake 시간 : 60분)

그림 5. 증착된 금 두께에 따른 Cr/Au층이 식각에 견디는 시간

2.2.3 glass 식각

glass 식각시의 가장 큰 문제는 앞에서 말한바와 같이 Au layer의 증착두께와 PR의 hard baking 시간을 조절하더라도 식각 시작 후 15분정도 지나면 Cr/Au layer가 심하게 훼손되어 원하지 않는 곳이 식각된다는 점이다. 그림 6에 HF에 의한 glass 식각시간에 따라 Cr/Au층이 벗겨지는 모습이 나와있다. 식각 시작 후 15분이 지나자 금 부분이 들고 일어나기 시작하고(a), 20분이 지나면 glass부분이 드러난다(b), 30분이 지나면서 금이 벗겨진 부분에서 glass의 식각이 시작되어(c), 결국 glass chamber 부분이 손상되었다(d). (a),(b),(c),(d) 네 시편은 모두 같은 시간에 식각을 시작했고, 일정시간이 지나면 식각을 중단하였다.

HF에 대한 glass의 식각률은 12 μ m/min인데, Cr/Au층이 손상되므로 한 번에 glass 두께만큼 식각할 수 없다. glass 식각시에 10분 정도가 경과하면 Cr/Au층은 약간의 충격에도 벗겨질 정도로 변해간다. 식각되는 glass 부분도 뿌연 우유빛을 띄며 약해지는데, 시편을 HF에서 꺼내어 DI water에 5분 가량 담가두면 약해졌던 Cr/Au층이 안정화되는 모습을 보인다. 이 때 뿌옇게 변한 glass 부분을 흐르는 물에 노출시키면 Cr/Au층은 손상되지 않으며 뿌옇게 된 glass는 깨끗이 씻겨나간다. 다시 식각이 되지 않은 glass층이 드러나게 되고, 이러한 과정을 반복하면 Cr/Au층의 훼손없이 실리콘 막 구조물을 완성할 수 있다.



(a)

(b)



(c)

(d)

(금 두께 : 4000Å, 60분 hard bake)

그림 6. 시간에 따른 Cr/Au 층의 손상
(a)15분경과 (b)20분경과 (c)30분경과 (d)40분 경과

2.3 실리콘 막의 구동

제작된 실리콘 막은 코일에 흘러주는 전류로 생기는 자계에 의한 전자력으로 움직이게 된다. 코일과 코일 사이에 생기는 힘은 다음과 같이 표시된다 [3].

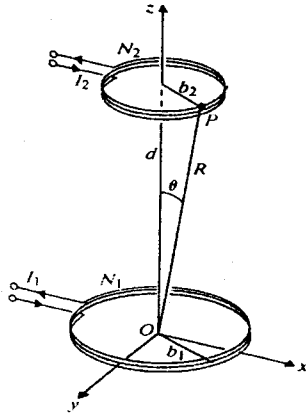


그림 7. 전류가 흐르는 두 코일간의 전자력

$$f = \frac{3i_1 i_2 \mu N_1 N_2 \pi b_1^2 b_2^2 d}{2(d^2 + b_2^2)^{\frac{5}{2}}} \quad (1)$$

i_1, i_2 는 coil의 전류이고, N_1, N_2 는 coil의 turn 수, b_1, b_2 는 coil의 반지름, d 는 coil 간의 거리이다. 실리콘 막의 중심에서의 변위 w 는 다음과 같이 표현된다. [4]

$$(w)_{r=0} = \frac{P}{16\pi D} \left(b^2 \log \frac{b}{a} - \frac{3}{4} b^2 + a^2 \right) \quad (2)$$

a, b 는 각각 막과 보스의 반지름을 나타내며, F 는 인가된 힘이다. r 은 막의 대칭축으로부터의 거리를 나타내고, D 는 flexural rigidity로서, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ 로 표시된다. E 와 ν 는 각각 Young's modulus와 Poisson ratio이고, h 는 막의 두께이다.

(2)식에서 F 는 coil의 전자력과 같으므로

$$F = f = \frac{3i_1 i_2 \mu N_1 N_2 \pi b_1^2 b_2^2 d}{2(d^2 + b_2^2)^{\frac{5}{2}}} \quad \text{이다. 따라서 막의 중심}$$

에서의 변위는 coil에 흐르는 전류의 곱에 비례한다.

3. 측정 및 실험결과

3.1 DC 전류에 따른 막의 최대 변위

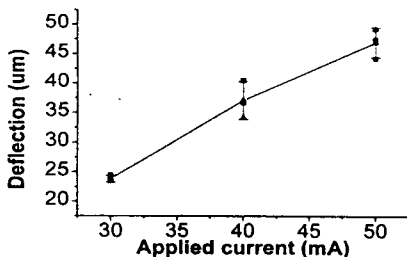


그림 8. 직류전류의 세기와 막의 최대변위와의 관계

두 코일간에 흐르는 전류의 크기를 같게 하고 직류 전류를 흘려 주었을 때, 실리콘 막의 중심에서의 변

위를 레이저 변위계로 측정하였다. 식 (1), (2)에서 막의 변위는 두 코일의 전류의 곱에 비례하는데, 두 코일의 전류의 세기를 크게 하였을 때 막의 변위가 증가함을 보이고 있다.

3. 결 론

전자력에 의하여 구동하는 마이크로 펌프에서 사용할 실리콘 막을 제작하였고, 제작된 실리콘 막의 인가전류에 대한 최대 변위를 측정하였다. glass 식각 중 Cr/Au 층이 손상되는 현상에 대하여 보완책을 제시하였고, 전류의 세기가 클수록 막의 최대 변위가 증가하는 것을 보았다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Stehr, S. Messner, H. Sandmaier, R. Zengerle, "A New Micropump With Bidirectional Fluid Transport And Selfblocking Effect", Proc. MEMS '96, pp.485-490
- [2] M. Stehr, H. Gruhler, H. Straatmann, S. Messner, H. Sandmaier, R. Zengerle, "The Selfpriming VAMP", Transducers '97, pp.351-352
- [3] David K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", Addison Wesley, 1989
- [4] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill, 1959