

미소 유량 측정을 위한 마이크로 전자 유량계의 제작

윤현중*, 김근영, 정옥찬, 양상식
아주대학교 전자공학부

Fabrication of a Micro Magnetic Flowmeter for Micro Flow Rate Measurement

Hyeun-Joong Yoon*, Geun-Young Kim, Ok-Chan Jeong, Sang-Sik Yang
School of Electrical and Electronics Engineering Ajou University

Abstract - This paper presents the fabrication of a micro electromagnetic flowmeter for liquid flow rate measurement. The flowmeter consists of a silicon flow channel with two electrodes and two permanent magnets. The micro flow channel and the detection electrodes are fabricated by the anisotropic etching of two silicon substrates and the metal evaporation process respectively. If conductive fluid passes through a magnet field, electromotive force is generated and detected by two electrodes. When the flow rate is 2.6 ml/sec, the measured output voltage is 7.4 mV.

이고, 여기서 k 는 비례상수이다. 이 때, 부피 유량은 내경, D 와 평균 유속, v 로부터 식 (2)와 같이 표기할 수 있다.

$$Q = Av = \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \cdot v \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)로부터 발생하는 전압에 따른 유량은

$$Q = \left(\frac{\pi D}{4kB}\right) \cdot e \quad (3)$$

이다. 식 (3)에서 실험적으로 얻는 k 를 이용하여 기전력, e 를 측정하여 유량을 구할 수 있다. 발생된 기전력은 유체가 흐르는 관 양쪽에 있는 전극으로 검출한다.

1. 서 론

의료 기기나 미소 유체 소자 등에서 미소 유량을 측정하기 위해서는 소형의 유량 센서가 필요하다. 최근 마이크로머시닝 기술이 발달함에 따라 이러한 소형의 유량 센서들이 연구되고 있다. 소형 유량 센서의 작동 방식으로는 열선식[1], 차압식[2-3], 이온 발생식[4] 등이 있다. 열선식은 열선이 약하고 주위 온도의 영향을 받기 쉽고, 차압식은 압저항 물질을 사용하므로 주위 온도의 영향을 받기 쉽고 압력 손실이 있으며, 이온 발생식은 정전하 발생으로 인한 문제점이 있다. 이에 비해 전자 유량계는 열발생이 없고, 압력 손실이 거의 없으며, 응답 속도가 빠른 장점을 가지고 있다. 또한 액체의 전기 전도율이 $1 \mu S/cm$ 이상이면 액체의 온도, 압력, 밀도, 점도의 영향을 받지 않고 유량을 측정할 수 있다 [5]. 이러한 장점을 가진 전자 유량계를 마이크로머시닝 기술을 이용하여 소형화한다면 온도의 영향을 받지 않고 압력 손실이 거의 없는 마이크로 전자 유량계를 제작할 수 있다. 마이크로 전자 유량계는 일정한 세기의 자장에서 유체를 흘리면 되기 때문에 다른 방식의 유량계보다 구조와 제작 공정이 간단하다.

본 논문에서는 패러데이의 전자기 법칙을 응용한 마이크로 전자 유량계를 제작한다. 실리콘 기판에 이방성 식각을 이용하여 유로를 제작하고 Cr/Au를 증착하여 검출용 전극을 만든 후, 영구 자석을 붙여 마이크로 전자 유량계를 완성한다. 제작한 마이크로 전자 유량계에 유량을 변화시키면서 전압을 측정하여 특성을 시험한다.

2. 전자 유량계의 원리

그림 1은 전자 유량계의 원리를 나타낸다. 내경이 D 인 관이 자속밀도가 B 인 자장 내에 있을 때 관속으로 전도성 유체가 v 의 평균 속도로 흐르면, 자장과 속도에 직각 방향으로 발생하는 기전력, e 는

$$e = kB D v \quad (1)$$

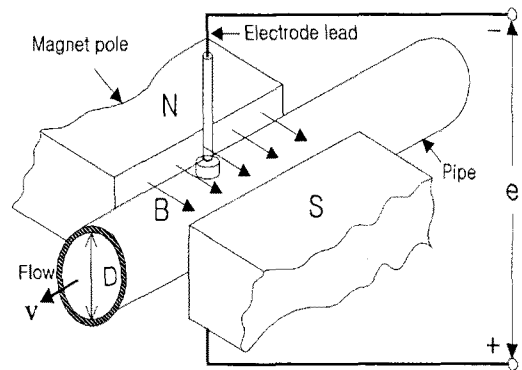


그림 1. 전자 유량계의 원리.

3. 마이크로 전자 유량계의 구조

그림 2는 마이크로 전자 유량계의 구조를 나타낸다. 마이크로 전자 유량계는 V-홈 모양의 유로를 갖는 2장의 실리콘 웨이퍼 기판과 하부 기판 위에 증착된 Cr-Au 검출용 전극, 그리고 한 쌍의 영구 자석 등으로 구성된다. 그림 2와 같이 상부 기판과 하부 기판을 접합하기 위해 정렬 구멍이 있다. 유로의 전기적인 절연은 열산화막을 이용한다. 일정한 자기장을 위하여 기판 양쪽에 영구 자석을 붙인다. 영구 자석의 직경과 두께는 각각 6 mm과 0.8 mm 이고 중심 표면에서의 자속의 세기는 3000 gauss이다. 마이크로 전자 유량계의 전체 크기는 $15 \times 15 \times 3 \text{ mm}^3$ 이고 유로의 단면적은 0.5 mm^2 이다.

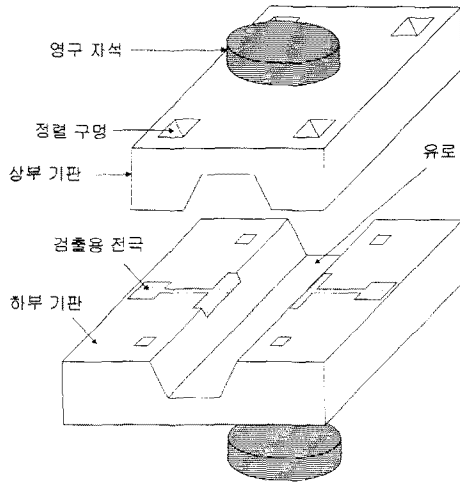


그림 2. 마이크로 전자 유량계의 구조.

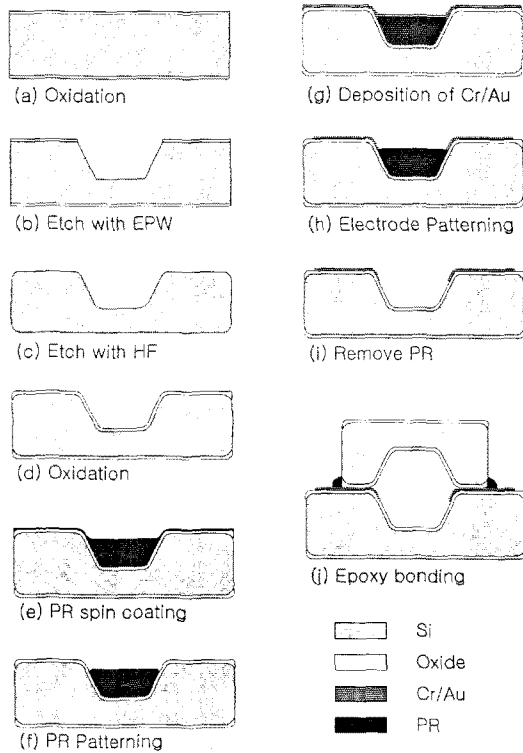


그림 3. 마이크로 전자 유량계의 제작 공정.

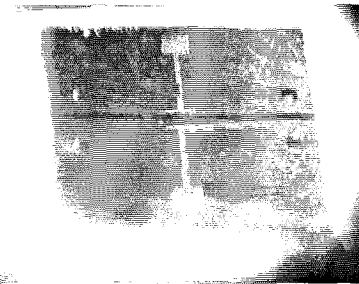
4. 마이크로 전자 유량계의 제작

그림 3은 마이크로 전자 유량계의 제작 공정 순서를 나타낸다. 마이크로 전자 유량계의 제작에 사용된 웨이퍼는 두께가 $525 \pm 10 \mu\text{m}$ 인 n형 <100> 실리콘 웨이퍼이다. 실리콘 웨이퍼 위에 $0.7 \mu\text{m}$ 두께의 열산화막을 성장시킨다. 유로를 형성하기 위하여 산화막을 패터

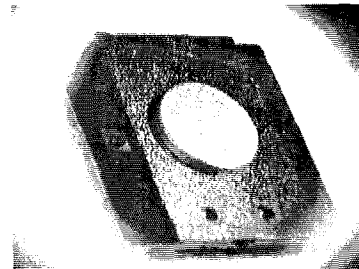
닝한 후, EPW (Ethylendiamine : Pyrocatechol : DI Water = 250ml : 40g : 80ml) 수용액을 이용하여 실리콘 기판의 상부를 $350 \mu\text{m}$ 식각한다. 등방성 식각액인 HF(49%)를 이용하여 이방성 식각으로 생긴 유로의 날카로운 모서리를 식각한다. 이러한 touch-off 방식의 식각으로 검출용 전극이 증착시 식각 모서리 부분에서의 전기적 단락을 방지한다. 유로에 전기적인 절연층을 형성하기 위하여 $1 \mu\text{m}$ 두께의 열산화막을 성장하고, 유로의 식각 경사면에 금속 전극을 입히기 위하여 유로 위에 PR을 입힌 후, 전극이 형성될 부분을 제외한 나머지 식각된 유로에 PR을 남긴다. Cr/Au를 증착 및 패터닝한 후, 유로에 채워져 있었던 PR을 제거하여 검출용 전극을 제작한다. 마지막 공정으로 상부 기판과 전극이 있는 하부 기판을 에폭시로 접합하여 마이크로 전자 유량계를 완성한다. 그림 4는 제작된 마이크로 전자 유량계의 사진이다. 그림 4(a)는 상부 기판의 사진이고 그림 4(b)는 검출용 전극이 있는 하부 기판의 사진이다. 그림 4(c)는 완성된 마이크로 전자 유량계의 사진이다. 접합된 상부 기판과 하부 기판 위에 한 쌍의 영구 자석이 있다.



(a) 상부 기판



(b) 하부 기판



(c) 완성된 마이크로 전자 유량계.

그림 4. 제작된 마이크로 전자 유량계의 사진.

5. 마이크로 전자 유량계의 특성 시험

참고 문헌

그림 5는 유량을 측정하기 위한 장치를 나타낸다. 제작된 마이크로 전자 유량계의 입·출구에 모세관을 연결하여 에폭시로 접합한 후, 모세관에 고무 튜브를 연결한다. 그림 5와 같이 펌프를 통해 물을 일정하게 공급한다. 유량은 펌프에 연결되어 있는 속도 제어기로 변화시킨다. 이 때 사용하는 유체는 수돗물을 사용한다. 수돗물의 전도율은 $100\sim 200\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 이다. 신호를 증폭하고 노이즈를 제거하기 위하여 차동 증폭기와 차단 주파수가 10 Hz 인 필터를 이용한다. 그림 6은 유량의 변화에 따른 기전력을 나타낸다. 발생된 기전력은 유량의 변화에 따라 2 차 함수적으로 증가하였다.

- [1] Branebjerg, J. et al., "A micromachined flow sensor for measuring small liquid flows," *Proceedings of IEEE International Conference on Transducers*, San Francisco, pp. 41-46, 1991.
- [2] M. Richter, M. Wackerle, P. Woias, B. Hillerich, "A novel flow sensor with high time resolution based on differential pressure principle," *Proceedings IEEE Micro Electro mechanical Systems Workshop*, Orlando, Florida, U.S.A., pp. 118-123, 1999.
- [3] V. Gass, B. H. van der Schoot, N. F. de Rooij, "Nanofluid Handling by Micro-flow-sensor based on Drag Force Measurements," *Proceedings IEEE Micro Electro mechanical Systems Workshop*, Fort Lauderdale, Florida, Feb. 7-10, 1993.
- [4] A. Richter, et al., "The Electrohydrodynamic Micro Flow Meter," *Proceedings of IEEE International Conference on Transducers*, San Francisco, pp. 935-938, 1991.
- [5] James, W. G., "An A-C induction flow meter," *ISA Proceedings*, Vol. 6, pp. 5-10, 1951.

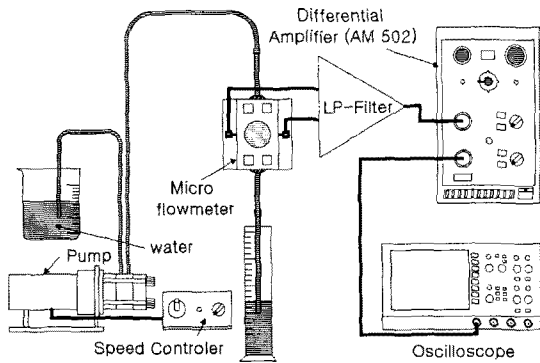


그림 5. 유량 측정 장치.

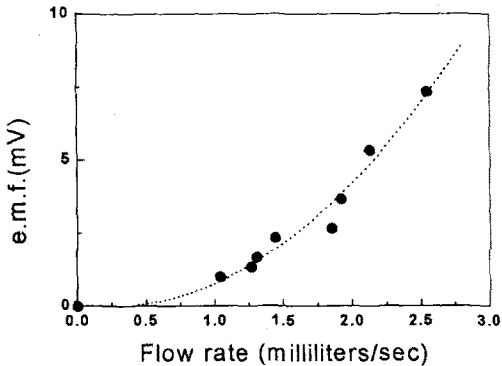


그림 6. 유량에 따른 기전력.

6. 결 론

본 논문에서는 패러데이 전자기 유도 법칙을 응용한 마이크로 전자 유량계를 제작하였다. 마이크로 전자 유량계는 V-홈 모양의 유로를 갖는 두 기판과 검출용 전극, 그리고 영구 자석으로 구성된다. 유로에 일정한 세기의 자장을 가한 후, 유량을 변화시키면서 기전력의 변화를 측정하였다.

향후, 더 작은 유량에서의 기전력의 변화 및 유로의 크기에 따른 기전력의 변화에 대한 연구가 필요하다.