

## SOI 멤브레인과 트렌치 구조상에 제작된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 특성

### Characteristics of Hot-Film Type Micro-Flowsensors Fabricated on SOI Membrane and Trench Structures

정귀상\*, 김미옥\*\*, 남태철\*\*  
(Gwiy-Sang Chung\*, Mi-Mok Kim\*\*, Tae-Chul Nam\*\*)

#### Abstract

This paper describes on the fabrication and characteristics of hot-film type micro-flowsensors integrated with Pt-RTD(resistance thermometer device) and micro-heater on the SOI(Si-on-insulator) membrane and trench structures, in which MgO thin-film was used as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-film to SiO<sub>2</sub> layer. Output voltages increased due to increase of heat-loss from sensor to external. The output voltage was 250 mV at N<sub>2</sub> flow rate of 2000 sccm/min, heating power of 0.3 W. The response time( $\tau$ : 63%) was about 42 msec when input flow was step-input. The results indicate that micro-flowsensors with the SOI membrane and trench structures have properties of a high-resolution and low consume power.

**Key Words** : Hot-film type, flowsensor, micro-heater, RTD, Pt thin-film, MgO thin-film, SOI membrane, trench, response time

#### 1. 서론

최근에 정확하며 신속한 유량/유속의 계측제어 기술은 메카트로닉스 산업에서 핵심기술이며 에너지 절약기술이나 자동차, 조선, 항공, 가전 그리고 의료 분야 등에서 초미소영역의 유동 계측제어를 위한 고속응답, 저소비전력형 유량/유속센서의 필요성이 증가하고 있다[1-3]. 유량센서는 측정원리에 따라 유체

역학적인 현상을 이용하여 유속을 측정하는 유체 역학적 유량센서와 유속을 열 에너지의 변동이라는 2차적인 변환에 의해 측정하는 열형 유량센서로 나눌 수 있다. 특히, 발열저항체형 박막 유량센서는 열선 유량계의 원리를 기판상에 구현한 것으로 열선 유량계보다도 제작이 간단하며 가격, 크기, 강도 그리고 응답속도가 대단히 우수하다. 특히, 마이크로머시닝기술을 이용하여 유량/유속의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있을 뿐만 아니라 속도, 방향 그리고 유체의 종류와 압력 등 여러 가지를 동시에 계측할려는 연구도 진행되고 있다[4-6].

열형 유량센서의 경우, 정확한 동작온도제어와 고 감도를 얻기 위해서는 온도센서와 미세발열체의 집적화가 요구된다[7]. 현재, Si 멤브레인은 양호한 전기적, 기계적 특성때문에 마이크로머시닝분야에 널리

\* : 동서대학교 정보시스템공학부  
(부산광역시 사상구 주례동 산 69-1,  
Fax : 051-320-2122  
E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

\*\* : 영남대학교 전자공학과  
2001년 2월 26일 접수, 2001년 4월 16일 1차심사완료  
2001년 5월 4일 2차심사완료, 2001년 6월 18일 3차심사  
완료, 2001년 7월 18일 4차심사완료

리 사용되고 있는 기관이다. 그러나, Si의 높은 열전도성과 미세발열체의 열적 영향때문에 외부회로에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 미세발열체 제작시 외부와의 열적 절연을 통한 열손실 감소 및 저전력 소비를 통한 발열특성을 향상시키기 위하여 NON( $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 박막 유전체 멤브레인과 캔틸레바 및 브릿지 등의 공중 부유구조상에 poly-Si, NiFe Alloy, NiCr, Pt/Ti, Pt/Cr, Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Pt/MgO 등의 박막을 이용한 열형 유량센서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[8-11]. 그러나, NON박막 멤브레인과 공중 부유구조상에 제작된 센서는 발열특성이 우수하지만, 기계적 충격에 약하며 집적화 마이크로머시닝에 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서, 외부와의 열적 절연에 의한 열손실의 감소와 높은 열전도도를 가진 Si의 열적 격리기술은 고감도, 고속응답, 저소비전력형 마이크로 유량센서를 개발하는데 있어서 중요한 기술이다.

본 연구에서는, SOI(Si-on-insulator) 멤브레인과 트랜치 구조상에 고온 열처리 과정에서 감지 및 발열체 물질인 백금박막과 반응을 피할 수 있으며, 부착특성을 향상시킬 수 있는 MgO 박막을 매개층으로 사용한 백금박막형 미세발열체와 측온저항체 온도센서(RTD : resistance thermometer device)가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 제작공정, 동작온도 및 유체의 종류에 따른 출력특성을 분석하였다. 그리고, 유량응답 측정시스템을 구성하여 스텝 입력에 따른 유량센서의 응답특성을 측정·평가하였다.

## 2. 제 작

본 연구에서는 SOI 멤브레인과 트랜치 구조의 열적 절연을 가정하고 유량센서를 설계하였다. 2차원 FDM 시뮬레이션은 미세발열체의 형태를 경계조건으로 멤브레인 구조에서 외부로의 전도에 의한 열전달을 해석하였다. 여기서 멤브레인 구조상의 열해석에서 가장 중요시되는 열전도에 의한 열손실을 중심으로 전도되는 열량을 Fourier법칙을 이용하여 시뮬레이션하였다. 또한, 시뮬레이션에서 가해진 전원은 발열체에서 일정하게 소비되며, 인가전력 0.6 W 기준으로 주변온도는 20°C로 가정했다. 따라서, 트랜치 갭수, 폭, 간격 등의 변수에 따른 최적의 유량센서를 설계하였다[12]. 그림 1은 SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 설계 및 제작된 유량센서의 표면사진과 단면도를 도식적으로 나타낸 것이다.

그림 2는 SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 백금

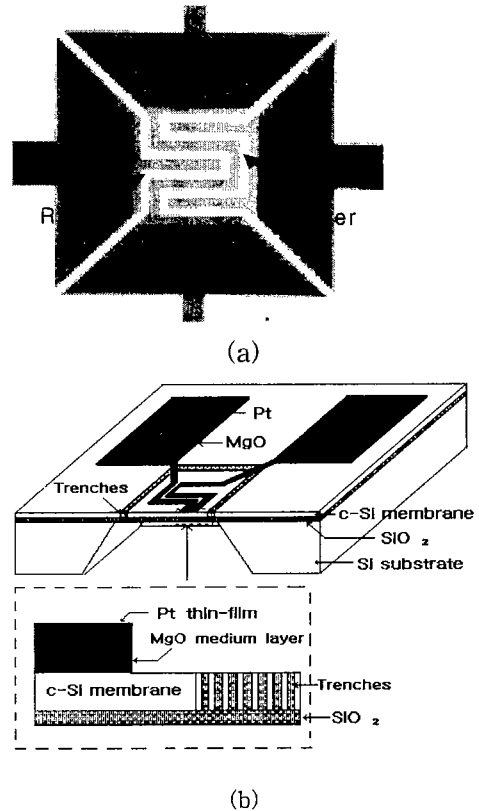


그림 1. SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 Pt-RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 (a) 표면사진과 (b) 단면도.

Fig. 1. (a) Surface photograph of hot-film type micro-flowsensors integrated with Pt thin-film type micro-heater and RTD on SOI membrane and trench structures, and (b) a cross-sectional view.

박막형 미세발열체와 RTD가 집적화된 마이크로 유량센서 제작공정순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 2000 Å의 열산화막과 10.0 μm의 SDB(Si-wafer direct bonding) SOI기관을 사용하여 먼저, 열전달에 의한 열손실을 막기 위해 이방성 식각(TMAH 20 w%, 80°C)기술로 멤브레인 텀 부분에 깊이 : 10 μm, 폭 : 15 μm 그리고 간격 : 15 μm의 트랜치를 형성하였다[13]. 또한, 트랜치에 1 μm의 SiO<sub>2</sub>와 SOG(spin-on-glass)성분으로 채워서 열적 절연 및 기계적 특성을 향상시켰다. 다음에는 미세발열체와 RTD를 트랜치 구조내에 형성하였다. 고온 열처리시 매개층과의 반응을 피할 수 있으며 절연특성이 우수하고, 백금의 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라 특히, 마이크로머시

닝기술을 위한 미소패턴 형성이 쉬우며 내열성이 우수한 MgO 박막을 매개층으로 사용했다[14]. 또한, 화학적·열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 백금을 이용하여 400×400 μm<sup>2</sup> 크기의 활성 영역을 갖는 백금박막형 미세발열체와 RTD를 동일 기관상에 집적화하였다[15-16]. Pt-RTD와 미세발열체는 고주파 스퍼터링법으로 백금과 MgO를 각각 1 μm, 1000 Å 증착한후 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 행했다. 마지막으로 이방성 식각기술로 500×500 μm<sup>2</sup> 크기의 SOI 멤브레인을 제작하였다. 그리고 Pt-paste를 이용하여 Pt-wire를 패드부분에 bonding하여 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성을 대류에 의한 영향을 최소화한 분위기에서 제어가 가능한 밀폐 시스템내에서 분석하였다. 또한, 유량측정은 MFC를 이용하여 유량을 정확히 제어하였다. 제작된 유량센서는 동작온도 및 유체

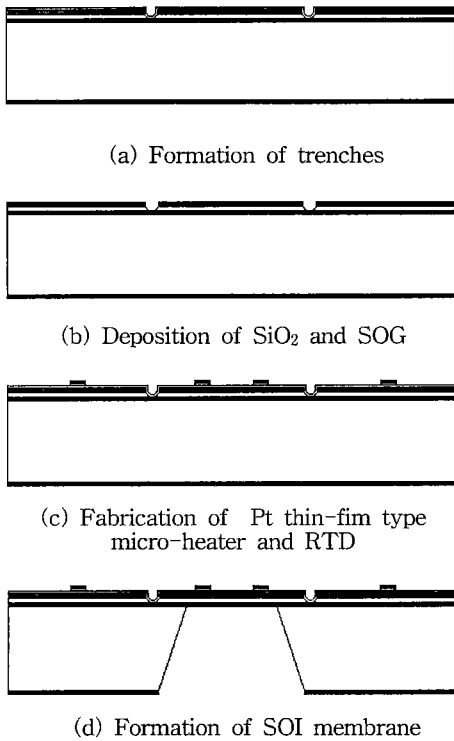


그림 2. SOI 멤브레인과 트랜치를 갖는 발열저항체형 마이크로 유량센서의 제작과정 순서도.  
**Fig. 2.** Fabrication process sequence of hot-film type micro-flow sensors with trenches on the SOI membrane.

의 종류에 따른 유량센서의 출력특성을 분석했으며, 랑응답 측정시스템을 구성하여 스텝입력에 따른 유량센서의 응답특성을 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 유체의 흐름을 측정하기 위한 유량센서의 홀더 구조를 도식적으로 나타낸 것이다. TO-5를 이용하여 고정했으며, 주위와의 열적 차단을 위해 테프론을 사용하였다. 또한, 출력신호를 얻기 위해 RTD와 외부회로의 저항을 브릿지구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다.

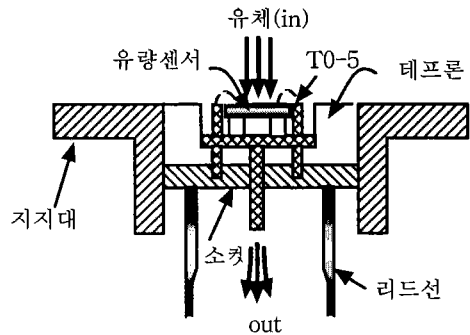
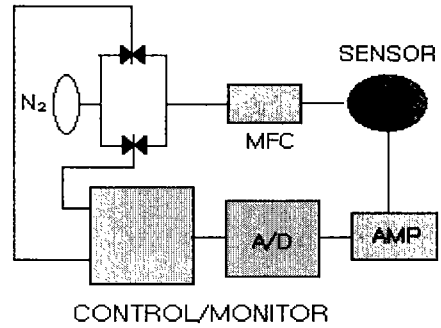


그림 3. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 패키징 단면도.  
**Fig. 3.** A cross-sectional view of package of hot-film type micro-flow sensors.

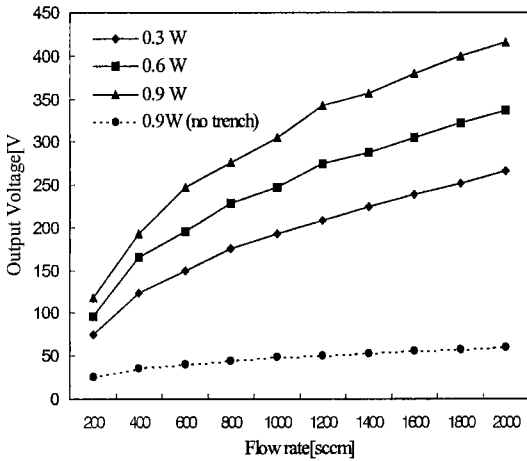
그림 4는 SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 제작된 유량센서의 인가전력 및 유체의 종류에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 SOI 멤브레인과 트랜치 구조의 열손실 감소와 열적 격리에 의해 미세발열체의 발열특성이 향상되고 이로 인해 유량센서의 출력특성이 향상되었다. Si 멤브레인상에 제작된 유량센서의 출력특성이 0.3 W에서 60 mV의 출력값을 가졌지만[16], 열손실 감소를 위한 SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 제작된 유량센서는 같은 조건하에서 250 mV의 높은 출력값을 가졌다. 그림 4(b)는 유체의 종류에 따른 유량센서의 출력특성을 나타낸 것이다. 인가전력을 0.3 W로 고정하여 측정 한 결과, 질소가 아르곤보다 높은 열전도도를 가지고 있기 때문에 발열체에서 많은 열손실이 생기므로 RTD의 저항변화율이 커지기 때문에 출력값이 높게

나타났다.

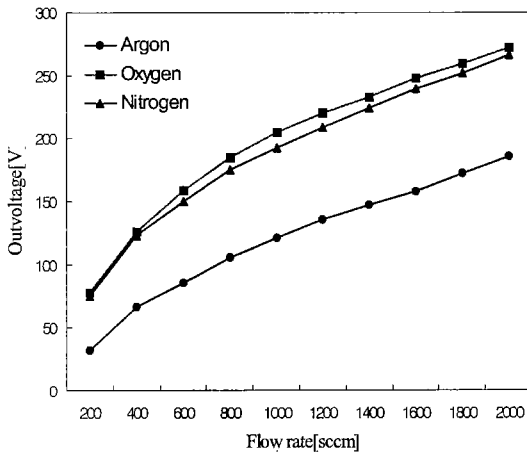
그림 5(a)은 발열저항체형 마이크로 유량센서의 응답특성 측정용 시스템의 블록 다이어그램이며, 그림 5(b)은 스텝입력에 따른 제작된 유량센서의 응답특성을 나타낸 것이다. 200-400 sccm 단계로 밸브를 제어하여 스텝입력을 인가하였으며, 스텝입력에 따른 유량센서의 출력을 AMP로 증폭하여 A/D컨버터를 통하여 컴퓨터로 모니터링하였다. 알루미늄기판



(a)



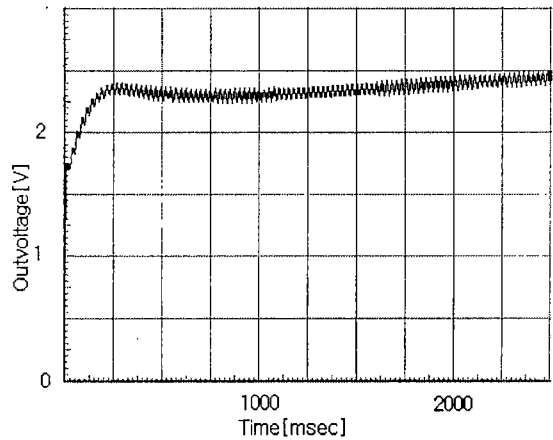
(a)



(b)

그림 4. (a) 인가전압 및 (b) 유체에 따른 제작된 유량센서의 출력특성.

Fig. 4. Output characteristics of fabricated hot-film type micro-flowsensors according to (a) input power and (b) kinds of fluid.



(b)

그림 5. (a) 응답특성 측정용 시스템의 블록 다이어그램과 (b) 스텝입력에 따른 제작된 마이크로 유량센서의 응답시간.

Fig. 5. (a) A block diaphragm of system for response characteristics and (b) the response time of fabricated micro-flow sensors according to step-input.

과 Si 멤브레인상에 각각 제작된 발열저항체형 유량센서의 응답시간( $\tau$  : 63%)은 100, 50 msec 정도로 평가되고 있다[2, 16]. SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 MgO 박막을 매개층으로 이용해서 RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 응답시간은 약 42 msec로 크게 개선됨을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에

RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서를 제작하여 인가전력 및 유체에 따른 출력특성을 분석하였다. 또한, 응답측정 시스템을 구성하여 유량센서의 응답특성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 제작된 발열저항체형 유량센서는 유체의 종류 및 유량에 따른 특성분석 결과, 열전도도가 높은 유체일수록 그리고 유량의 양이 클 수록 센서내의 발열체로부터 빼앗아 가는 열량이 많아져 출력특성이 크게 개선되었다.

(2) 제작된 유량센서는 열손실 감소에 따른 저전력에서도 동작특성이 우수하였고, 인가전력 0.3 W에서 250 mV의 높은 출력특성으로 감도와 선형성이 향상되었다.

(3) 스텝입력에 따른 제작된 유량센서의 응답시간은 42 msec의 빠른 응답특성을 나타내었다.

따라서, Si 멤브레인과 트렌치 구조상에 MgO 박막을 매개층으로 하여 백금박막형 RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서는 고감도, 저소비전력 그리고 고속응답 특성때문에 미소변화 유량/유속 계측제어분야에 매우 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 더구나, 본 연구의 SOI 멤브레인과 트렌치 구조상에 MgO 박막을 매개층으로 이용한 백금박막형 미세발열체는 큰 열적 용량, 저소비전력, 고속응답 그리고 센서의 어레이화에 용이하기 때문에 마이크로 열형 센서 및 액추에이터 분야에 유용하게 응용 가능할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

[1] R. G. Jonson et. al., "A highly sensitive silicon chip microtransducer for air flow and differential pressure application", *Sensors & Actuators A*, Vol. 11, pp. 63-72, 1987.

[2] M. Sekimura et. al., "Monolithic Si air flow sensors for low velocity sensing", *Transducers '87*, pp. 356-359, 1987.

[3] T. Q. Yi et. al., "Integrated multi-function sensors for flow velocity temperature and vacuum measurements", *Sensors & Actuators*, Vol. 19, pp. 3-11, 1989.

[4] P. M. Sarro, "Sensor technology strategy in silicon", *Sensors & Actuators A*, Vol. 31, pp. 138-143, 1992.

[5] M. A. Gajda, et. al., "Application of thermal Si sensors on membranes", *Sensors & Actuators A*, Vol. 49, pp. 1-9, 1995.

[6] G. S. Chung, et. al., "The fabrication of Pt microheater using aluminum oxide as medium layer and it's characteristics", *Sensors & Materials*, Vol. 10, No. 5, pp. 251-261, 1998.

[7] G. S. Chung et. al., "Fabrication and characteristics of hot-film type micro flowsensors integrated with RTD", *J. KIEEME*, Vol. 13, pp. 612-616, 2000.

[8] M. Parameswaran et. al., "Micromachined thermal radiation emitter from a commercial CMOS process", *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 13, No. 2, pp. 57-59 1991.

[9] E. Yoon et. al., "An integrated mass flow sensor with one-chip CMOS interface circuitry", *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. 39, No. 6, pp. 1376-1386, 1992.

[10] J. W. Garderer et. al., "Interated array sensors for detection organic solvents", *Sensors & Actuators B*, Vol. 26-27, pp. 135-139, 1995.

[11] U. Dibbern, "A substrate for thin-film gas sensors in microelectronic technology", *Sensors & Actuators B*, Vol. 2, pp. 63-70, 1990.

[12] G. S. Chung et. al., "The fabrication of micro-heaters with low consumption power using SOI and trench structures and its characteristics", *J. KIEEME*, Vol. 14, pp. 228-233, 2001.

[13] G. S. Chung, "Anisotropic Etching Characteristics of Silicon in TMAH:IPA:Pyrazine Solutions", *Sensors & Materials*, Vol. 12, pp. 133-142, 2000.

[14] G. S. Chung et. al., "Fabrication and characteristics of RTD(resistance thermometer device) for micro thermal sensors", *J. Korean Sensors Society*, Vol. 9, pp. 171-176, 2000.

[15] G. S. Chung et. al., "Formation of platinum thin-film for RTD temperature sensors", *J. KIEEME*, Vol. 9, pp. 911-917, 1996.

[16] G. S. Chung et. al., "Fabrication of micro-heater flowsensors using membrane structure and its characteristics", *J. KIEEME*, Vol. 11, pp. 996-1000, 1998.