

측온저항체 온도센서가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 제작 및 특성

Fabrication and Characteristics of Hot-Film Type Micro-flowsensors Integrated with RTD

정 귀 상*, 홍 석 우**
(Gwiy-Sang Chung*, Seog-Woo Hong)**

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 Si membrane, in which MgO thin-film was used as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-film to SiO₂ layer. The MgO layer improved adhesion of Pt thin-film to SiO₂ layer without any chemical reactions to Pt thin-film under high annealing temperatures. Output voltages increased due to increase of heat-loss from sensor to external. The output voltage was 82 mV at N₂ flow rate of 2000 sccm/min, heating power of 1.2 W. The response time(τ : 63%) was about 50 msec when input flow was stepinput

Key words(중요용어) : Hot-film type(발열저항체형) flowsensor(유량센서), micro-heater(미세발열체), RTD(측온저항체 온도센서), Pt thin-film(백금박막), MgO thin-film(산화마그네슘 박막), Si membrane(실리콘 멤브레인), response time(시상수)

1. 서 론

유량/유속의 측정과 제어는 일상생활 및 산업 여러 분야에서 핵심적인 기술중의 하나이며, 최근에는 에너지 절약기술이나 각종 자동차 및 항공, 바이오 산업에서 그 필요성이 급격히 증가하고 있다.^[1-3] 유량센서는 측정원리에 따라 유체 역학적인 현상을 이용하여 유속을 측정하는 역학적 유량센서와 유속을 열

에너지의 변동이라는 이차적인 변환에 의해 측정하는 열형 유량센서의 형태로 크게 나눌 수 있다. 열형 유량센서에서 발열저항체를 이용하는 유량센서는 열선 유량계의 원리를 기판위에 구현한 것으로 열선 유량계보다 쉽게 제작이 가능할 뿐만 아니라 가격, 크기, 강도 그리고 응답시간에서 월등히 우수하다. 발열저항체형 유량센서 제작시 적절한 동작온도를 제어하기 위해서는 발열저항체의 특성이 중요하며 우수한 발열 특성 및 온도에 따라 선형적인 큰 저항변화율을 갖을 수록 유량센서의 감도 및 선택성이 뛰어나다. 따라서, 발열저항체형 마이크로 유량센서용 미세발열체의 제작시 화학적·열적 안정성이 우수하며 선형적 응답특성이 양호한 백금박막이 많이 이용되고 있다.^[4] 백금박막을 이용하여 Si기판위에 미세발열체를 제작할 경우, 백금박막의 SiO₂층에 대한 부착특성이 나쁘기 때문에 일부 금속물질을 매개층으로 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.^[5] 그러나 금속을 이용할 경우,

* 동서대학교 정보통신공학부 메카트로닉스공학전공
(부산광역시 사상구 주례동 산69-1번지
Tel : 051-320-1763, FAX : 051-320-2122,
E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr)

** 삼성종합기술원 MEMS Lab.
2000년 1월 10일 접수, 2000년 6월 19일 심사완료

백금박막의 결정화를 위한 1000°C 이상의 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 결정성과 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 고온에서 백금과의 반응을 피하면서 부착특성을 개선시키는 매개층으로 금속물질보다 유전체 물질이 보다 안정하다.^[6]

본 연구에서는, 먼저 Si 멤브레인위에 고온 열처리 과정에서 감지 및 발열체 물질인 백금박막과 반응을 피할 수 있으며 부착특성을 향상시킬 수 있는 MgO 박막을 매개층으로 사용한 백금박막형 미세발열체의 발열특성을 분석하였다. 또한, Si 멤브레인위에 백금박막형 미세발열체와 측온저항체 온도센서(RTD : resistance thermometer device)가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서를 제작하여 동작온도 및 유체의 종류에 따른 출력특성을 분석하였다. 그리고, 유량응답 측정시스템을 구성하여 스텝입력에 따른 유량센서의 응답특성을 측정·평가하였다.

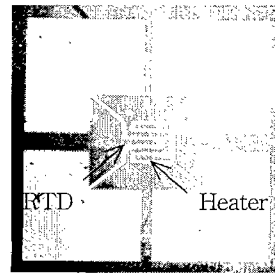
2. 실험

본 연구에서는 비저항이 약 4~5 Ωcm, 두께 530 μm의 p(100)으로 열산화막을 3000Å 성장된 Si기판을 사용하였다. SiO₂와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 반응성 rf 마그네트론 스퍼터링법으로 매개층 MgO 박막을 1000Å 증착시킨 후, 순차적으로 미세발열체와 RTD 물질인 백금박막은 rf 마그네트론 스퍼터링법으로 1.0 μm 증착시켰다.^[7] 매개층 MgO 박막의 열처리 특성 및 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 열처리(1000°C, 120분)를 거친 후 four-point probe, α-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 또한, 외부와의 열차단과 열손실을 줄이기 위해 TMAH 20 wt.% 이방성 식각용액을 80°C로 유지하면서 Si 멤브레인을 제작하였다.^[8] 표 1은 매개층 MgO 박막 그리고 미세발열체와 RTD로 사용된 백금박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 요약한 것이다.

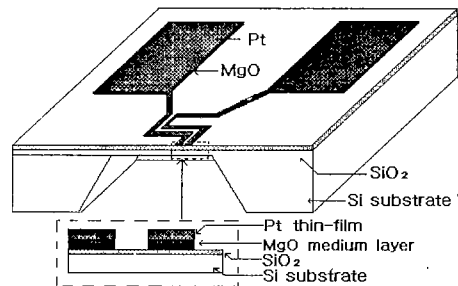
그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 표면사진 및 단면도를 나타낸 것이다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 1000°C, 120분 열처리를 행한 후, 그 특성을 분석하였다. 또한, Pt-paste를 이용하여 Pt-wire를 패드부분에 bonding하여 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성을 대류에 의한 영향을 최소화한 분위기에서 제어가 가능한 밀폐 시스템내에서 분석하였으며, 유량측정은 MFC를 이용하여 유량을 정확히

표 1. MgO와 Pt 박막의 증착 및 열처리 조건
Table 1. The deposition and annealing conditions of Pt and MgO thin-films, respectively

증착박막	MgO 박막	Pt 박막
타겟	MgO (2" diameter)	Pt (2" diameter)
기판 온도	상온	상온
스퍼터링 Gas Flow Rate	Ar : 72 sccm O ₂ : 8 sccm	Ar : 80 sccm
초기 진공	1×10 ⁻⁶ Torr 이하	1×10 ⁻⁶ Torr 이하
Working 진공	20 mTorr	5 mTorr
입력 Power	150 W	90 W
후열처리 조건 (for 120min, in N ₂)	1000°C	1000°C



(a)



(b)

그림 1. Si 멤브레인위에 백금박막형 미세발열체와 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 Si membrane and (b) a cross-sectional view.

제어하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Si 멤브레인위에 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 저항변화율을 나타낸 것이다. 저항변화율은 질소 분위기인 furnace에서 상온에서 400°C까지의 온도범위에서 측정하였다. 제작된 RTD의 TCR값은 백금 벌크에 가까운 3927 ppm/°C의 평균값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과, 1°C당 0.7 ppm/°C로 매우 선형성이 우수한 특성을 얻었다.^[7, 9]

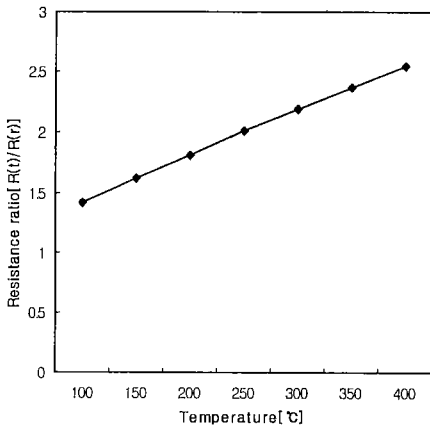


그림 2. Si 멤브레인위에 제작된 박막형 Pt-RTD의 저항변화율.

Fig. 2. Resistance ratio of thin-film type Pt-RTD fabricated on the Si membrane.

그림 3은 알루미늄기판과 Si 멤브레인위에 MgO^[10]와 Cr 박막^[5]을 각각 매개층으로 이용하여 제작된 백금박막형 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. 크롬을 매개층으로 사용했을 경우, 700°C 이상 열처리시 크롬과 백금의 부작용이 나빠지고, 백금의 고유특성을 얻지 못한다. 그러나 알루미늄기판과 Si기판위에 MgO 박막을 매개층으로 사용하여 각각 제작된 미세발열체는 열처리를 1000°C까지 할 수 있으므로 백금의 결정화에 따른 고유특성이 개선되기 때문에 저전력에서도 양호한 발열특성을 가졌다.^[4] 또한, Si 멤브레인과 알루미늄기판위에 각각 제작된 미세발열체를 비교할 경우, 0.6W의 낮은 인가전력에서는 거의 동일한 180°C의 발열특성을 나타내었다.^[6] 더구나 Si 멤브레인을 사용할 경우, 외부와의 열적 차단효과 때문에 1.2W의

높은 인가전력에서 50°C 이상 발열특성이 우수하였다.

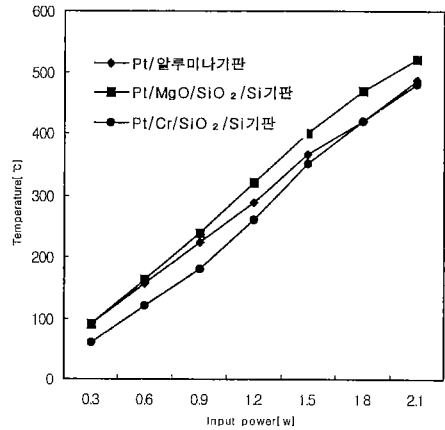


그림 3. 인가전력 및 기판에 따른 백금박막형 미세 발열체의 발열특성.

Fig. 3. Thermal characteristics of Pt thin-film type micro-heater according to input power and substrates.

그림 4는 유체의 흐름을 측정하기 위한 유량센서의 홀더 구조를 나타낸 것이다. TO-5를 이용하여 고정했으며 주위와의 열적 차단을 위해 테프론을 사용하였다. 또한, 출력신호를 얻기 위해 RTD와 외부 회로의 저항을 브릿지구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다.

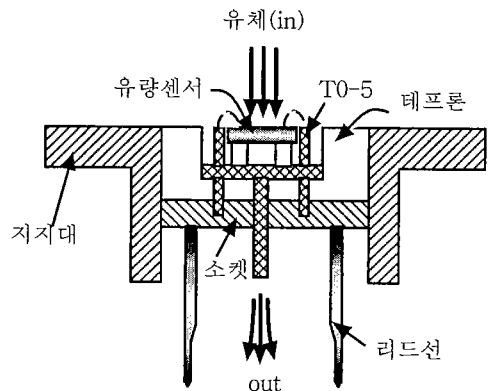
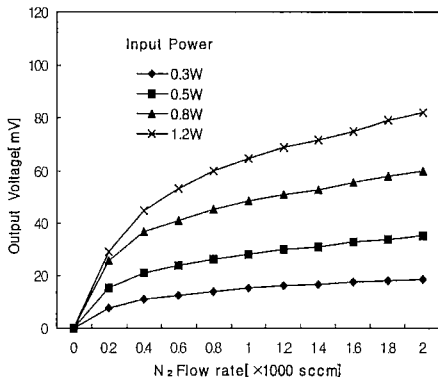


그림 4. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 패키징 단면도.

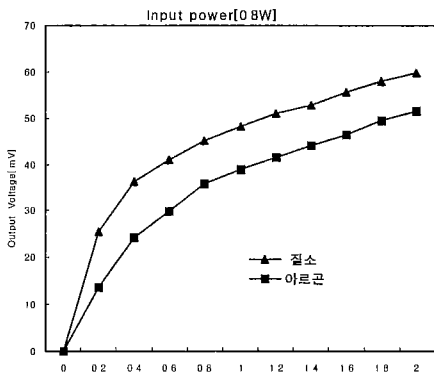
Fig. 4. A cross-sectional view of package of hot-film type micro-flowsensors.

그림 5는 Si 멤브레인위에 제작된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 인가전력과 유체에 따른 출력

특성을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 유량센서의 발열체 인가전력(0.3, 0.5, 0.8, 1.2 W)에 따라 유량을 200~2000 sccm에서 200 sccm 단계로 나누어 출력전압을 측정하였다. 미세발열체의 우수한 발열특성과 온도에 따른 저항변화율이 큰 Pt-RTD 특성에 의해 인가전력 1.2 W, 2000 sccm 조건에서 82 mV의 출력전압을 얻을 수 있었다. 그림 5(b)는 미세발열체에 인가전력을 0.8 W 인가하였을 때, 질소와 아르곤의 유량에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. 질소가 아르곤보다 높은 열전도도를 가지고 있기 때문에 발열체로부터 유체로의 많은 열전도가 생기고 따라서, 미세발열체의 저항변화가 커지기 때문에 출력값이 높게 나타났다.



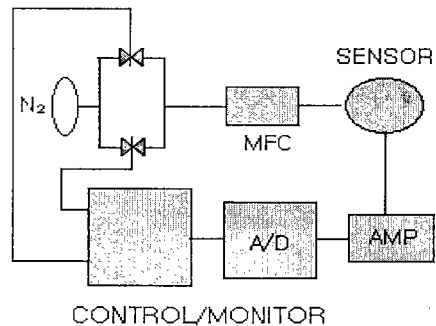
(a)



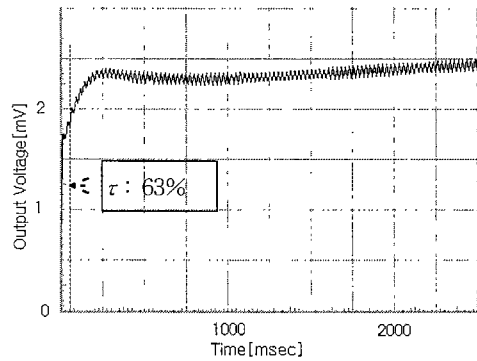
(b)

그림 5. (a) 인가전력 및 (b) 유체에 따른 제작된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 출력특성.
Fig. 5. Output characteristics of fabricated hot-film type micro-flowsensors according to (a) input power and (b) kinds of fluid.

그림 6(a)은 발열저항체형 마이크로 유량센서의 응답특성 측정용 시스템의 블록 다이어그램이며, 그림 6(b)은 스텝입력에 따른 제작된 유량센서의 시상수를 나타낸 것이다. 200~400 sccm 단계로 밸브를 제어하여 스텝입력을 인가하였으며, 스텝입력에 따른 유량센서의 출력을 AMP로 증폭하여 A/D컨버터를 통하여 컴퓨터로 모니터링하였다. 알루미늄기판 위에 제작된 발열저항체형 유량센서의 시상수(τ : 63%)는 100 msec 정도로 평가되고 있다.^[2] 본 연구에서의 Si 멤브레인위에 MgO 박막을 매개층으로 이용해서 RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 시상수는 약 50 msec로 크게 개선됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. (a) 응답특성 측정용 시스템의 블록 다이어그램과 (b) 스텝입력에 따른 제작된 마이크로 유량센서의 시상수.
Fig. 6. (a) A block diagram of system for response characteristics and (b) the response time of fabricated micro-flow sensors according to stepinput.

4. 결 론

본 연구에서는 마그네트론 스퍼터링법으로 각각 순차적으로 증착된 매개층 MgO와 백금박막의 열처리 에 따른 전기적·물리적 특성을 분석하였다. 또한, Si 멤브레인위에 매개층 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 백금박막형 RTD와 미세발열체를 제작한 후, TCR값과 미세발열체의 발열특성을 평가하였다. 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 화학적 반응 없이 백금의 부착특성을 개선시켰으며, 1000°C 이상의 고온 열처리에서도 완벽한 절연특성과 박막의 결정성 향상으로 전기적 특성이 크게 개선되었다. 또한, 백금박막형 RTD와 미세발열체는 넓은 온도범위에서 백금 벌크에 상응하는 TCR값과 1.5 watt에서 400°C의 큰 열적 용량, 저소비전력의 미세 발열체를 제작할 수 있다. 그리고, RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서는 큰 출력특성과 50 msec의 빠른 응답특성을 가졌다. 따라서, Si 멤브레인위에 MgO 박막을 매개층으로 하여 백금박막형 RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서는 유량/유속 계측제어분야에 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 더구나, 본 연구의 Si 멤브레인위에 제작된 미세발열체는 큰 열적 용량, 저소비전력, 고속응답 그리고 센서의 어레이화에 용이하기 때문에 마이크로 열형 센서 및 액츄에이터 분야에 유용하게 응용 가능할 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] R. G. Jonson and R. E. Higash, "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 and S. Shirouzu, "Monolithic Si air flow sensor for low velocity sensing", *Transducers 87*, pp. 356-359, 1987.
- [3] T. Q. Yi and H. J. Biao, "Integrated multi-function sensor for flow velocity temperature and vacuum measurements", *Sensors & Actuators*, vol. 19, pp. 3-11, 1989.
- [4] G. S. Chung and S. S. Noh, "Fabrication of micro-heater flowsensors using membrane structure and its characteristics", *J. KIEEME*, vol. 11, pp. 996-1000, 1998.
- [5] S. H. Lee, I. C. Sub and Y. K. Sung, "A thermal properties of micro hot plate and the characteristics of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature", *J. Korean Sensors Society*, vol. 5, pp. 69-77, 1996.
- [6] G. S. Chung and S. S. Noh, "Fabrication of Pt micro-heater using aluminum oxide as medium layer and it's characteristics", *Sensors & Materials*, vol. 10, pp. 251-261, 1998.
- [7] G. S. Chung and S. S. Noh, "Formation of platinum thin-film for RTD temperature sensors", *J. KIEEME*, vol. 9, pp. 911-917, 1996.
- [8] G. S. Chung and J. S. Park, "The effect of pyrazine on TMAH/IPA Si anisotropic etching characteristics", *J. KIEE*, vol. 47, pp. 2265-2271, 1998.
- [9] G. S. Chung and S. W. Hong, "Fabrication and characteristics of RTD(resistance thermometer device) for micro thermal sensors", *J. Korean Sensors Society*, vol. 9, pp. 171-176, 2000.
- [10] G. S. Chung and S. W. Hong, "Fabrication of Pt Thin-film Type Microheater for Thermal Microsensors and Its Characteristics", *J. KIEEME*, vol. 13, 2000(to be published).