

매개층 산화마그네슘막을 이용한 백금박막 미세발열체의 제작과  
마이크로 유량센서에의 응용

Fabrication of Micro-heaters Using MgO as Medium Layer and It's  
Application for Micro-Flowsensors

홍석우, 조정복, 정귀상  
동서대학교 정보통신공학부, 동서대학교 정보시스템공학부\*

Seog-Woo Hong, Jung-Bok Jo\*, Gwi-Sang Chung  
School of Information and Communication Eng. DongSeo Univ.  
School of Information and System Eng. DongSeo Univ.

ABSTRACT

This paper describes on the fabrication and characteristics of hot-film type micro-flowsensors integrated with Pt-RTD's and micro-heater on the Si substrate, in which MgO thin-films were used as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-films to SiO<sub>2</sub> layer. The MgO layer improved adhesion of Pt thin-films to SiO<sub>2</sub> layer without any chemical reactions to Pt thin-films under high annealing temperatures. In investigating output characteristics of flow sensors output voltages increased as gas flow rate and its conductivity increased due to increase of heat-loss from sensor to external. Output voltage was 82 mV at N<sub>2</sub> flow rate of 2000 sccm/min, heating power of 1.2W. The response time was about 100 msec when input flow was step-input

**Key worde(중요용어)** : hot-film type micro-flowsensor, Pt-RTD, medium layer

1. 서 론

가스의 유량, 유속의 측정과 제어는 일상생활 및 산업 여러분야에서 핵심적인 기술중의 하나이며, 최근에는 에너지 절약기술이나 각종 첨단 기술에서 그 필요성이 급증히 증가하고 있다.<sup>[1-3]</sup> 유량센서에는 여러종류가 있으며 유체 역학적인 현상을 이용하여 유속을 측정하는 역학적 유량센서와 유속을 열에너지의 변동이라는 이차적인 변환에 의해 측정하는 열형 유량센서의 형태로 크게 나눌 수 있다. 열형 유량센서에서 발열저항체를 이용하는 마이크로 박막 유량센서는 열선 유량계의 원리를 반도체 웨이퍼에 구현한 것으로 열선유량계보다 쉽게 제작이 가능할

뿐만 아니라 가격, 크기, 강도에서 월등히 우수하다. 백금은 화학적, 열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호하여 일반적으로 고온을 취급하는 센서분야에 많이 응용되고 있다.<sup>[4-5]</sup> Si기판을 기본으로 하는 센서의 응용에서 백금박막의 SiO<sub>2</sub>층에 대한 부착특성의 저하로 일부 금속물질(Ti, Cr)을 매개층으로 이용하는 연구가 진행되고 있다.<sup>[6-7]</sup> 그러나, 금속을 이용할 경우 백금박막의 결정화를 위한 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유특성을 저하시킬 뿐만 아니라 백금박막의 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 고온에서 백금과의 반응을 피하면서 부착특성을 개선시키는 매개층으로 금속물질보다 유전체물질이 보다 안정하다.<sup>[5]</sup>

본 연구에서는 Si기판을 기본으로 고온에서 센서

의 특성에 영향을 미칠 수 있는 Si과 감지 물질 및 발열체 물질 사이의 반응을 피할 수 있고, 백금의 부착특성을 향상시킬 수 있는 MgO 박막과 화학적, 열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 백금을 이용하여 미세발열체를 제작하여 발열특성을 분석하였다. 또한, 백금박막 미세발열체와 축온저항체 온도센서(RTD)가 Si 멤브레인 기판상에 집적화된 발열저항체 마이크로 유량센서를 제작하여 동작 온도 및 유체의 종류에 따른 유량센서의 출력특성을 분석하였고, 유량응답 측정시스템을 구성하여 스텝 입력에 따른 유량센서의 응답특성을 평가하였다.

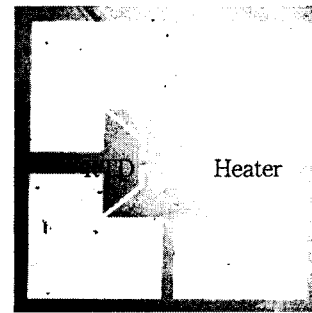
## 2. 실험

본 연구에 사용된 기판은 비저항이 약 4~5Ωcm, 두께 530μm의 p(100)으로 열산화막을 3000Å 성장된 것이다. SiO<sub>2</sub>와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 MgO 타겟을 이용한 반응성 고주파 스퍼터링으로 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 발열체 물질인 백금은 고주파 스퍼터링으로 1 μm 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 MgO 박막의 열처리 특성 및 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 열처리(1000°C, 120분)를 거친후 four-point probe, α-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 또한, 외부와의 열차단과 열손실을 줄이기 위해 TMAH 수용액 20 wt.%, 80°C에서 Si를 이방성 식각하여 제작하였다. 표 1은 매개층과 센서물질로 이용된 박막의 증착 및 열처리 조건을 나타낸 것이다.

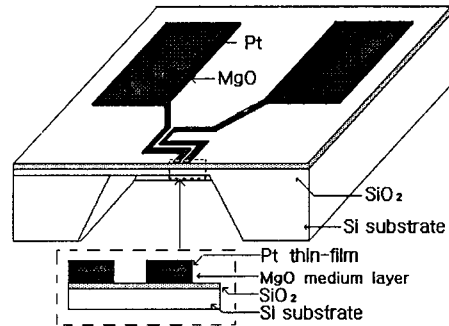
표 1. MgO와 Pt 박막의 증착 및 열처리 조건

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

그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 마이크로 유량센서의 표면사진 및 단면도를 도식적으로 나타낸 것이다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 100 0°C, 120분 열처리를 거친후 그 특성을 분석하였다. 또한, Pt paste를 이용하여 Pt-wire를 패드 부분에 bonding하여 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성을 대류에 의한 영향을 최소화한 분위기에서 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였으며, 유량측정은 MFC를 이용하여 유량을 정확히 제어하여 측정하였다. 또한 유량센서의 응답시간 측정을 위한 시스템을 구성하여 스텝 입력에 따른 유량센서의 출력값을 지연 시간을 측정하여 응답시간을 평가하였다.



(a)



(b)

그림 1. MgO 박막을 매개층으로 이용하여 집적화된 RTD와 미세발열체의 (a) 표면사진 및 (b) 단면도.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 저항 변화율은 항온항습조에서 25~400°C까지의 온도범위에서 측정하였다. Sample 1은 Si 기판 위에 Pt/MgO 박막을 Sample 2는 알루미늄 기판상에

백금을 증착하여 제작한 Pt-RTD이다. MgO 박막을 매개층으로 사용하여 제작된 RTD도 알루미늄 기판상에 제작된 RTD와 거의 비슷한 값의 TCR값을 얻었으며, Sample 1 RTD의 TCR 값은 백금 벌트에 가까운 3927 ppm/°C 정도의 값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1°C당 0.7 ppm/°C로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다.

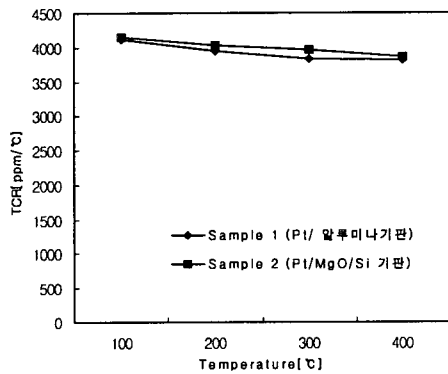


그림 2. Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화

그림 3은 알루미늄 기판과 Si 멤브레인상에 MgO와 크롬박막을 매개층으로 이용하여 각각 제작된 백금 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. 크롬을 매개층으로 사용했을 경우 700°C 이상 열처리시 크롬과 백금의 부착특성이 나빠지고, 백금의 고유 특성을 얻지 못한다. 그러나 알루미늄 기판과 Si기판상에 산화마그네슘을 매개층으로 사용하여 제작된 미세발열체는 열처리를 1000°C까지 할 수 있으므로 백금의 결정화에 따른 고유특성이 개선되었다. 따라서 저전력에서도 양호한 발열특성을 가졌다.

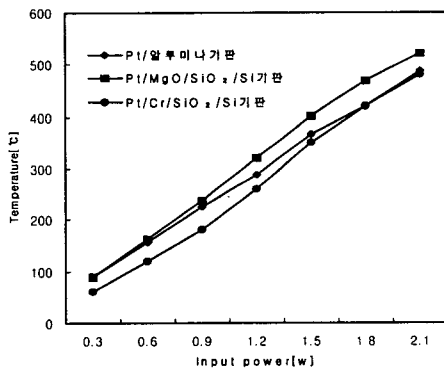


그림 3. 기판 및 매개층에 따른 미세발열체의 발열 특성.

그림 4는 유체의 흐름을 측정하기 위한 유량센서

의 홀더 구조를 나타낸 것이다. TO-5를 이용하여 고정하였고, 주위와의 열차단을 위해 테프론을 사용하였다. 또한, 출력신호를 얻기 위해 RTD와 외부회로의 저항을 브릿지구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다.

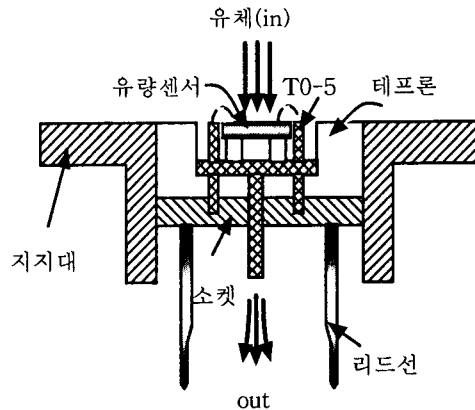
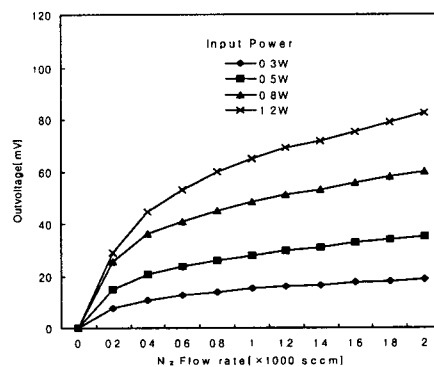


그림 4. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 패키징 구조.

그림 5는 Si 기판상에 제작된 유량센서의 인가전력과 유체에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. (a)는 유량센서의 발열체 인가전력은 0.3, 0.5, 0.8, 1.2 W 인가하고, 유량을 200~2000 sccm에서 200 sccm 단계로 나누어 출력전압을 측정하였다. 히터의 우수한 발열특성과 온도에 따른 저항변화율이 큰 Pt-RTD 특성에 의해 82 mV의 출력전압을 얻을 수 있었다. (b)는 미세발열체에 0.8 W 전력을 인가하였을 때 질소와 아르곤의 유량에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. 질소가 아르곤보다 높은 열전도도를 가지고 있기 때문에 발열체에서 많은 열손실이 생기고 따라서 RTD의 저항변화율이 커지기 때문에 출력값이 높게 나타났다.



(a)

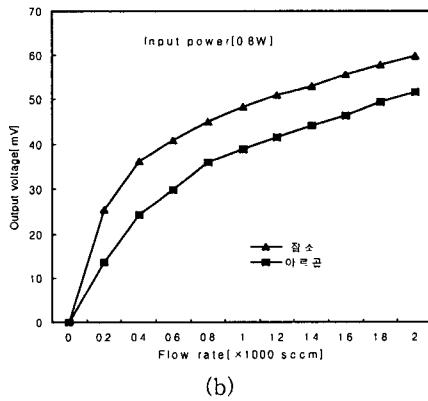


그림 5. (a) 인가전압 및 (b) 유체에 따른 마이크로 유량센서의 출력특성

그림 9는 응답시간 측정 시스템을 구성하여 스텝 입력에 따른 유량센서의 응답시간을 측정하였다. 센서의 출력전압을 증폭하여 A/D 컨버터를 거쳐 컴퓨터로 모니터링된 유량센서의 응답특성이다. 그래프가 안정화 되기까지의 90%가 되는 응답시간은 약 100msec 정도의 시간이 걸렸다. 따라서, 응답속도 또한 상당히 양호함을 알 수 있다.

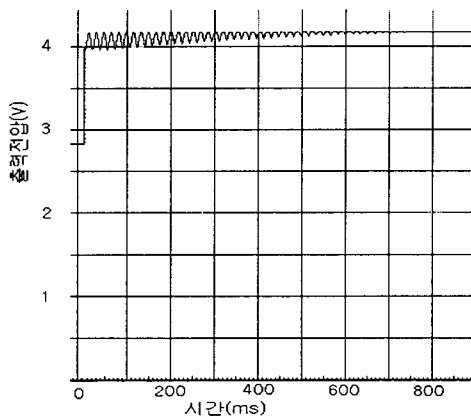


그림 9. 스텝입력에 따른 마이크로 유량센서의 응답 시간.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링 및 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착된 매개층 MgO 박막과 백금박막의 열처리에 따른 전기적·물리적 특성을 분석하였으며, 매개층 MgO 박막을 이용하여

Pt-RTD와 미세발열체를 동일 기판내에 제조한 후 온도센서의 TCR값 변화와 미세발열체의 발열특성을 분석하였다. 반응성 스퍼터링으로 증착된 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 화학적 반응없이 백금의 부착특성을 개선시켰으며 1000℃ 이상의 열처리 조건에서도 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서 MgO막을 매개층으로 증착된 백금박막은 열처리 온도를 1000℃ 이상 열처리를 할 수 있어서 백금의 단결정성을 증가시켜 면저항 및 비저항이 개선되었고. 이를 four point probe,  $\alpha$ -step, SEM, 및 XRD 통해 알 수 있었다.

MgO 박막을 매개층으로 Pt-RTD 및 미세발열체의 집적화에 의한 유량센서 제작시 백금이 갖은 온도에 따른 큰저항 변화율과 직선성을 갖는 온도센서 및 저소비, 경량의 미세발열체를 제작할 수 있었으며, 이로 인해 우수한 출력특성을 얻을 수 있었다. 유량센서의 출력특성은 유체의 열전도도 높을수록 미세발열체에 높은 전력공급시 양호한 출력특성을 얻었다. 그리고, 스텝응답에 따른 응답속도가 약 100 msec의 응답속도를 가졌다. 또한, 마이크로머시닝 기술을 이용한 외부와의 열적차단을 할 수 있다면, 더욱 양호한 마이크로 유량센서를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] R. G. Jonson and R. E. Higash, Sensors and Actuators, 11, 63 (1987).
- [2] M. Sekimura and S. Shirouzu, Transducers' 87, 356 (1987).
- [3] T. Q. Yi and H. J. Bias, Sensors and Actuators, 19, 3 (1998).
- [4] G. S. Chung and S. S. Noh, Korean Sensors Society, 6, 2, 81 (1997).
- [5] G. S. Chung, S. S. Noh, Y. K. Choi and J.H. Choi, Korean Sensors Society, 6, 5, 400 (1997).
- [6] W. Y. Chung, C. H. Shim, S. D. Choi and D. D. Lee, Sensors and Actuators B, 20, 139 (1994).
- [7] S. H. Yi, I. C. Suh and Y. K. Sung, Korean Sensors Society, 5, 5, 67 (1996).