

고속응답 마이크로 유량센서의 제작

Fabrication of Micro-Flow Sensors with High-response Time

정귀삼*, 홍석우**
(Gwiy-Sang Chung, Seok-Woo Hong)

Abstract

This paper describes on the fabrication and characteristics of hot-film type micro-flowsensors integrated with Pt-RTD's and micro-heaters on the Si substrate, in which MgO thin-films were used as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-films to SiO₂ layer. The MgO layer improved adhesion of Pt thin-films to SiO₂ layer without any chemical reactions to Pt thin-films under high annealing temperatures. In investigating output characteristics of the fabricated micro-flowsensors, the 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 N₂ flow rate of 2000 sccm/min, heating power of 1.2W.

Key words(중요용어) : Micro-flow sensors(마이크로 유량센서), RTD(측온저항체 온도센서), TCR(저항의 온도계수),

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.^[1-2] 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 유속센서는 열선 유량계의 원리를 반도체 웨이퍼에 구현한 것으로 열선유량계보다 쉽게 제작이 가능할 뿐만 아니라 가격, 크기, 강도에서 월등히 우수하다. 이러한 센서는 유량의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있는 단계에서 속도, 방향, 유체의 종류, 압력 등 다변수 측정 수준에 이르기까지 폭넓게 연구되고 있으며 특히,

기존의 발달된 마이크로 일렉트로닉기술과 마이크로 머시닝기술을 이용하여 차압형 유량/유속센서도 최근에 개발되고 있다.^[3-5]

백금은 화학적, 열적 안전성이 높으며 선형적 응답 특성이 양호하여 일반적으로 고온을 취급하는 센서 분야에 많이 응용되고 있다.^[6] Si기판을 기본으로 하는 센서의 응용에서 백금박막의 SiO₂층에 대한 부착 특성의 저하로 일부 금속물질(Ti, Cr)을 매개층으로 이용하는 연구가 진행되고 있다.^[7] 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.

본 연구에서는 Si기판을 기본으로 고온에서 센서의 특성에 영향을 미칠 수 있는 SiO₂과 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, 백금박막형 미세발열체와 RTD가 Si 멤브레인 기판상에 집적화된 발열저항체 마이크로

*동서대학교 정보통신공학부
(부산시 사상구 주례동 산69-1, FAX: 051-320-2122,
E-mail: gschung@kowon.dongseo.ac.kr
**삼성종합기술원 MEMS Lab.

로 유량센서를 제작하여 동작온도 및 가스종류에 따른 유량센서의 특성을 비교·분석하였다.

2. 실험

본 연구에서는 비저항이 약 4~5Ωcm, 두께 530μm의 p(100)로 열산화막을 3000Å 성장된 Si기판 사용하였다. SiO₂와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 MgO 타겟을 이용한 반응성 고주파 스퍼터링으로 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 발열체 물질인 백금은 고주파 스퍼터링으로 1μm 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 MgO 박막의 열처리 특성 및 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 열처리(1000℃, 120분)를 거친 후 four-point probe, α-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 또한, 외부와의 열차단과 열손실을 줄이기 위해 TMAH 수용액 20 wt.%, 80℃에서 Si기판을 이방성 식각하여 멤브레인을 제작하였다. 표 1은 매개층과 센서물질로 이용된 MgO 및 Pt 박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.^[8]

그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 유량센서의 표면사진 및 단면도를 도식적으로 나타낸 것이다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 거친 후, 특성을 분석하였다. 또한, Pt paste를 이용하여 Pt-wire를 패드 부분에 bonding하여 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성을 대류에 의한 영향을 최소화한 분위기에서 제어가 가능한 밀폐 시스템 내에서 분석하였으며, 유량측정은 MFC를 이용하여 유

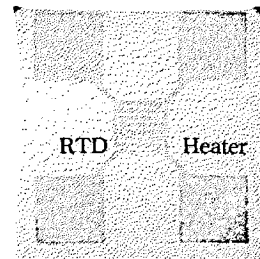
표 1. MgO와 Pt 박막의 증착 및 열처리 조건

증착박막	MgO 박막	Pt 박막
타겟	MgO	Pt
기관 온도	상온	상온
스퍼터링 Gas Flow Rate	Ar : 72 sccm O ₂ : 8 sccm	Ar : 80 sccm
초기 진공	1×10 ⁻⁶ Torr	1×10 ⁻⁶ Torr
Working 진공	20 mTorr	10 mTorr
입력 Power 밀도	150 W	90 W
후열처리 조건	1000℃	1000℃

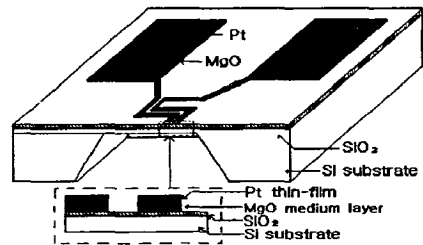
량을 정확히 제어하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Si기판상에 증착된 MgO 박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진이다. 열처리 전과 열처리 후(1000℃, 120분)를 비교할 때, 박막전체가 균일한 표면 특성을 보이고 열처리에 따른 island나 핀홀 등이 생기지 않았다. 따라서, 1000℃ 열처리 후에도 열처리 전과 같은 부착특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

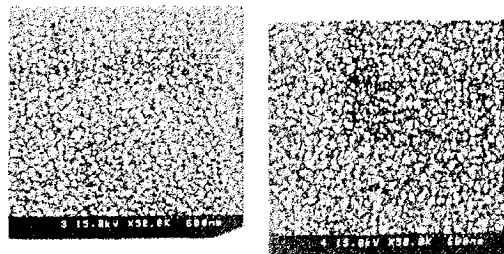


(a)



(b)

그림 1. MgO 박막을 매개층으로 Si기판상에 제작된 유량센서의 (a) 표면사진 및 (b) 단면도

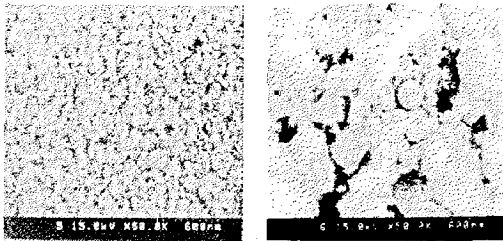


(a)

(b)

그림 2. (a) 열처리 하지 않은, (b) 1000℃, 120분 간 열처리한 MgO막의 표면 SEM사진.

그림 3은 MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진이다. 열처리된 표면은 미소패턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을 보이고 있으나, 1000℃, 120분 열처리를 함으로써 결정립이 형성되어 입자들의 경계가 현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 열처리전 면저항 및 비저항은 각각 $0.324 \Omega/\square$, $32.4 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, 열처리후 면저항 및 비저항은 각각 $0.1392 \Omega/\square$, $13.92 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 백금 벌크의 비저항 값 $10.8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에 가까워 짐을 알 수 있다.^[9]



(a) (b)

그림 3. MgO 박막위에 증착된 백금박막의 (a) 열처리 하지않은 그리고 (b) 1000℃, 120분간 열처리한 표면 SEM사진.

그림 4는 Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석 결과이다. Pt/MgO 박막에서 백금 피크만이 $2\theta = 39.6^\circ$ 부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있으며, 열처리를 함으로써 intensity가 더욱 증가 하였음을 알 수 있다. 따라서, 열처리 후에도 백금박막이 MgO 박막의 영향을 받지 않고 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다..

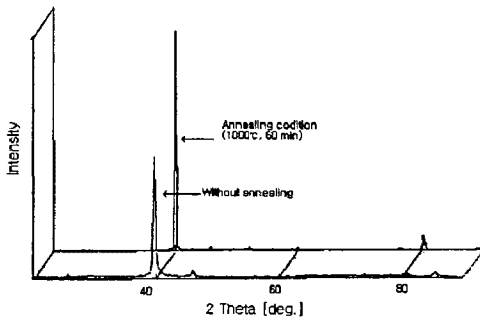


그림 4. Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD

회절패턴도.

그림 5는 유체의 흐름을 측정하기 위한 유량센서의 홀더 구조를 나타낸 것이다. TO-5를 이용하여 고정하였고, 주위와의 열차단을 위해 테프론을 사용하였다. 또한, 출력신호를 얻기 위해 RTD와 외부회로의 저항을 브릿지 구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다.

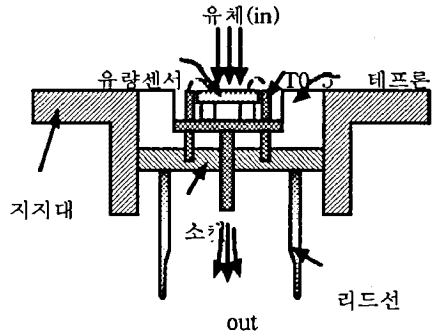


그림 5. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 패키징 구조.

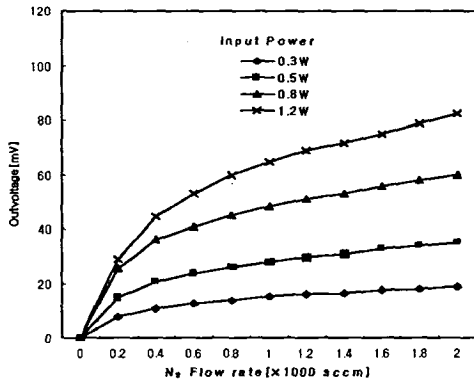
Si기판상에 제작된 RTD의 TCR값은 백금 벌트에 가까운 $3927 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1°C 당 $0.7 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로 매우 선형성이 양호한 특성을 얻었다. 또한 미세발열체는 1,2 W 인가전력에서 300°C 이상의 발열특성을 가졌다.

그림 6은 유량센서의 인가전압 및 가스종류에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. 그림 6(a)는 유량센서의 발열체 인가전력은 0.3, 0.5, 0.8, 1.2 W 인가하고, 유속을 200~2000 sccm/min에서 200 sccm/min 단계로 나누어 출력전압을 측정하였다. 히터의 우수한 발열특성과 온도에 따른 저항변화율이 큰 Pt-RTD 특성에 의해 82 mV의 출력전압을 얻을수 있었다.^[10] 그림 6(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 생기므로 결과적으로 RTD의 저항변화율이 커지기때문에 출력값이 높게 나타났다.

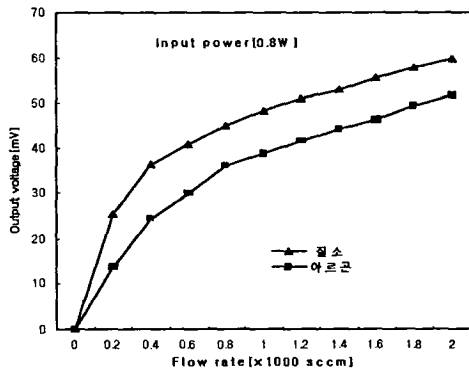
4. 결 론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링 및 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착된 매개층 MgO 박막과 백금박막의 열처리에 따른 전기적·물리적 특

성을 분석하였으며, 매개층 MgO 박막을 이용하여



(a)



(b)

그림 6. (a) 인가전압 및 (b) 유체에 따른 마이크로 유량센서의 특성.

Pt-RTD와 미세발열체를 동일 Si기판상에 제작한 후, 온도센서의 TCR값과 미세발열체의 발열특성을 분석하였다. 반응성 스퍼터링으로 증착된 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 화학적 반응없이 백금의 부착특성을 개선시켰으며 1000°C 이상의 열처리 조건에서도 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서 MgO막을 매개층로 증착된 백금박막은 열처리 온도를 1000°C 이상 열처리를 할 수 있어서 백금의 단결정성을 증가시켜 면저항 및 비저항이 개선되었다.

MgO 박막을 매개층으로 Si 멤브레인상에 Pt-RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서는 백금이 갖은 온도에 따른 큰

저항 변화율과 직선성을 갖는 온도센서 및 저소비, 경량의 미세발열체를 제작할 수 있었으며, 이로인해 우수한 출력특성을 얻을 수 있었다. 유량센서의 출력특성은 유체의 열전도도 높을수록 미세발열체에 높은 전력공급시 양호한 출력특성을 얻었다. 또한, 마이크로머시닝기술을 이용한 외부와의 열적차단을 할 수 있다면, 더욱 양호한 유량센서를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] R. G. Jonson et al, *Snsors & Actuators*, 11 (1987)63.
- [2] M. Sekimura et al, *Tranducers'* 87(1987)356.
- [3] O. Tabatu et al, *IEEE Electron Devices*, 33(1981) 361.
- [4] B. W. van Oudheusden et al, *Sensors & Actuators A*, 21(1990)425.
- [5] G. S. Chung et al., *J. KIEEME*, 11(1998)996.
- [6] G. S. Chung et al., *Sensors & Materials*, 10(1998)251.
- [7] S. H. Yi et al., *Korean Sensors Society*, 5(1996)67.
- [8] G. S. Chung et al., *Korean Sensors Society*, 6(1997)81.
- [9] G. S. Chung et al., *J. KIEEME*, 9(1996)911.
- [10] G. S. Chung et al., *Korean Sensors Society*, 6 (1997)400.