MgO 매개층을 이용하여 제작된 유량센서의 특성

홍 석 우, 장 수, 이 종 춘*, 정 귀 상
동서대학교 정보통신공학부, *경남정보대학 기계시스템학부

The Characteristics of Flow Sensor Fabricated by MgO Medium Layer

Seok-Woo Hong, Soo Jang, Jong-Chun Lee*, Gwiy-Sang Chung
School Of Information and communcation Eng. DongSeo Univ., *School of Mechancal Eng.

ABSTRACT - Pt-RTD and Micro Heater was fabricated by using MgO as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-films to SiO_2 layer. MgO layer improved adhesion of Pt thin-films to SiO_2 layer without any chemical reactions to Pt thin-films under high annealing temperatures, In the analysis of properties of Pt-RTD, TCR value had 3927 ppm/℃ and liner in the temperature range of 25~400℃. The temperature of Pt micro-heater had up to 400℃ with 1.5watts of the heating power. 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_2 flow rate of 2000sccm, heating power of 1.2W.

Ⅰ. 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 박막 유량센서는 열선 유량계의 원리를 반도체 웨이퍼에 구현한 것으로 열선 유량계보다 쉽게 제작이 가능할 뿐만 아니라 가격, 크기, 강도에서 월등히 우수하다. 이러한 센서는 유량의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있는 단계에서 속도, 방향, 유체의 종류, 압력등 다변수 측정 수준에 이르기까지 폭넓게 연구되고 있으며 특히, 기존의 발달된 마이크로 일렉트로닉기술과 마이크로머시닝기술을 이용하여 차압형 유량/유속센서도 최근에 개발되고 있다.[3-5]

백금은 화학적, 열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호하여 일반적으로 고온을 취급하는 센서분야에 많이 응용되고 있다.[6-7] Si기판을 기본으로하는 센서의 응용에서 백금박막의 SiO_2층에 대한 부착특성의 저하로 일부 금속물질(Ti, Cr)을 매개층으로 이용하는 연구가 진행되고 있다.[8-9] 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.[7]

본 연구에서는 Si기판을 기본으로 고온에서 센서의 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 측온저항체 온도센서(RTD)가 Si 멤브레인 기판상에 집적화된 발열저항체 마이크로 유량센서를 제작하여 동작온도에 따른 유량센서의 출력특성을 비교·분석하였다.

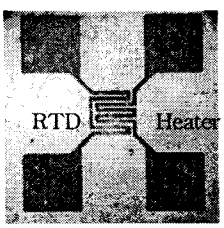
Ⅱ. 실 험

본 연구에 사용된 기판은 비저항이 약 4~5Ω㎝, 두께 530㎛의 p(100)으로 열산화막을 3000Å 성장된 것이다. SiO_2와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 MgO 타겟을 이용한 반응성 고주파 스퍼터링으로 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 발열체 물질인 백금은 고주파 스퍼터링으로 1 ㎛ 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 MgO 박막의 열처리 특성 및 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N_2 분위기에서 열처리(1000℃, 120분)를 거친후 four-point probe, α-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 또한, 외부와의 열차단과 열손실을 줄이기 위해 TMAH 수용액 25 wt.%, 90℃에서 Si을 이방성 식각하여 제작하였다. 표 1은 매개층과 센서물질로 이용된 박막의 증착 및 열처리 조건을 나타낸 것이다.

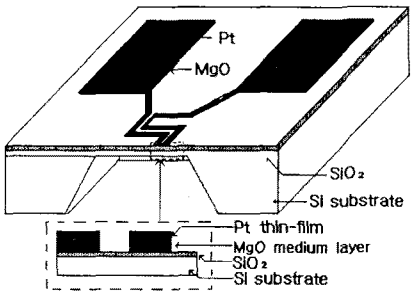
그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 유량센서의 표면사진 및 단면도를 도식적으로 나타낸 것이다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N_2 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 거친후 그 특성을 분석하였다. 또한, Pt paste를 이용하여 Pt-wire를 패드 부분에 bonding하여 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성을 대류에 의한 영향을 최소화한 분위기에서 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였으며, 유량측정은 MFC를 이용하여 유량을 정확히 제어하여 측정하였다.

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_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 밀도	150 W	90 W
후열처리 조건 (for 120min, in N_2)	1000℃	1 1000℃



(a)

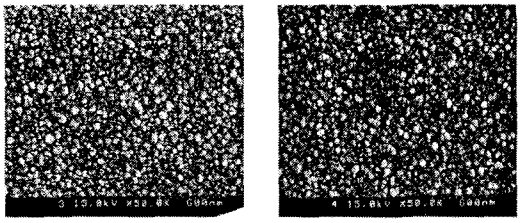


(b)

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

III. 결과 및 고찰

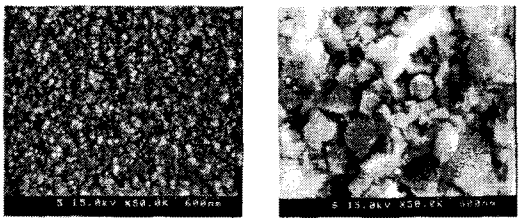
그림 2는 Si기판상에 증착된 MgO 박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진이다. 열처리 전과 열처리 후(1000℃, 120분)를 비교할 때 박막전체가 균일한 표면 특성을 보이고 열처리에 따른 island나 핀홀 등이 생기지 않았다. 따라서, 1000℃ 열처리 후에도 열처리 전과 같은 부착특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a) (b)

그림 2. (a) 열처리 하지 않은, (b) 1000℃, 120분간 열처리한 MgO막의 표면 SEM 사진.

그림 3은 MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM 사진이다. 열처리전 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 Ω/□, 32.4 μΩ·cm, 열처리 후 면저항 및 비저항은 각각 0.1392 Ω/□, 13.92 μΩ·cm로 백금 벌크의 비저항 값 10.8 μΩ·cm에 가까워 짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막이 개선됨을 알 수 있다.



(a) (b)

그림 3. MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리(1000℃, 120분)에 따른 표면 SEM사진.

그림 4는 Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석이다. Pt/MgO 박막에서 백금 피크만이 2θ = 39.6° 부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있으며, 열처리를 함으로써 indensity 가 더욱 증가 하였음을 알 수 있다. 따라서, 열처리후에도 백금박막이 MgO 박막의 영향을 받지 않고 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다..

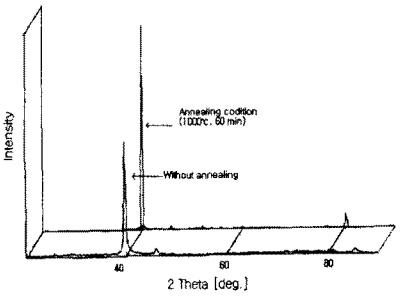


그림 4. Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석.

그림 5는 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 저항 변화율은 항온항습조에서 25~400℃까지의 온도범위에서 측정하였다. Sample 1은 Si 기판위에 Pt/MgO 박막을 Sample 2는 알루미나 기판상에 백금을 증착하여 제작한 Pt-RTD이다. MgO 박막을 매개층으로 사용하여 제작된 RTD도 알루미나 기판상에 제작된 RTD와 거의 비슷한 값의 TCR값을 얻었으며, Sample 1 RTD의 TCR 값은 백금 벌트에 가까운 3927 ppm/℃정도의 값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1℃당 0.7 ppm/℃로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다.

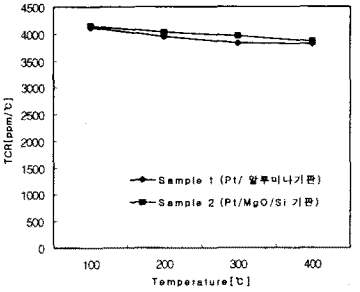


그림 5. Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화.

그림 6은 알루미나 기판과 Si 멤브레인상에 MgO와 크롬박막[19]을 매개층으로 이용하여 각각 제작된 백금 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. 크롬을 매개층으로 사용했을 경우 700℃ 이상 열처리시 크롬과 백금의 부착특성이 나빠지고, 백금의 고유특성을 얻지 못한다. 그러나 알루미나 기판과 Si기판상에 산화마그네슘을 매개층으로 사용하여 제작된 미세발열체는 열처리를 1000℃까지 할 수 있으므로 백금의 결정화에 따른 고유특성이 개선되었다. 따라서 저전력에서도 양호한 발열특성을 가졌다.

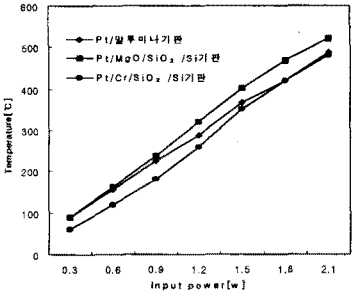


그림 6. 기판 및 매개층에 따른 미세발열체의 발열특성.

그림 7은 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 브릿지구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다.

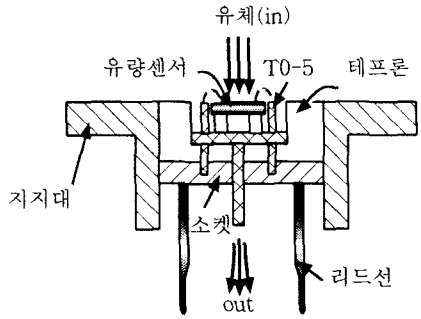
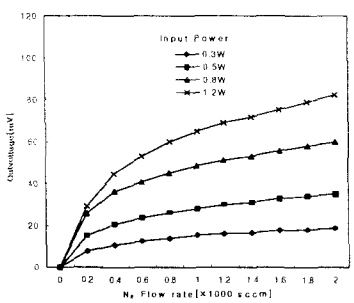
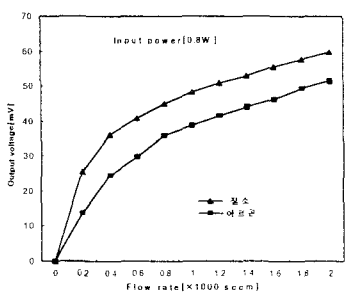


그림 7. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 패키징 구조.

그림 8은 Si기판상에 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)



(b)

그림 8. (a) 인가전압 및 (b) 유체에 따른 유량센서의 출력특성

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 매개층로 증착된 백금박막은 열처리 온도를 1000℃이상 열처리를 할 수 있어서 백금의 단결정성을 증가시켜 면저항 및 비저항이 개선되었고. 이를 four point probe, α-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, 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 제작 할 수 있을 것으로 기대된다..

5. 참고문헌

[1] R. G. Jonson and R. E. Higash, "A Highly Senstive Silicon Chip Microtranducer for Air Flow and Differential Pressure Application", Snsors and Actuators, 11, 63 (1987).

[2] M. Sekimura and S. Shirouzu, "Monolithic Si Air Flow Sensor for Low Velocity Sensing", Tranducers' 87, 356 (1987).

[3] O. Tabatu, "Fasr-Response Silicon Flow Sensor with On-Chip Fluid Temperature Sensing Element", IEEE Electron Devices, 33, 3, 361 (1989).

[4] B. W. van Oudheusden and A. W. van Herwaarden, "Integrated Silicon Flow Sensor", Sensors and Actuators A, 21-23, 425 (1990).

[5] T. Q. Yi and H. J. Bias, "Integrated Multi Function Sensor for Flow Velocity Temperature and Vacuum Measurements", Sensors and Actuators, 19, 3 (1998).

[6] G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Characteristics of Platinum Thin Film RTD Temperature Sensors with Annealing Conditions", Korean Sensors Society, 6, 2, 81 (1997).

[7] G. S. Chung, S. S. Noh, Y. K. Choi and J.H. Choi, "The Characteristics of Pt Micro Heater Using Aluminum Oxide as Medinum Layer", Korean Sensors Society, 6, 5, 400 (1997).

[8] W. Y. Chung, C. H. Shim, S. D. Choi and D. D. Lee, "Tin Oxide Microsensors for LPG Monitoring", Sensors and Actuators B, 20, 139 (1994).

[9] S. H. Yi, I. C. Suh and Y. K. Sung, "A Thermal Properties of Micro Hot Plate and the Characteristics of Pt/Cr Bilayers due to Annealing Temperature", Korean Sensors Society, 5, 5, 67 (1996).