

논문 2000-9-3-03

마이크로 열 센서용 축온저항체 온도센서의 제작 및 특성

정 귀 상*, 홍 석 우**

The Fabrication and Characteristics of RTD(Resistance Thermometer Device) for Micro Thermal Sensors

Gwi-y Sang Chung* and Seog-Woo Hong**

요 약

반응성 스퍼터링과 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착된 MgO 박막과 그 위에 증착된 백금박막의 열처리 온도 및 시간에 따른 물리적, 전기적 특성을 4침 탐침기, 주사전자현미경 및 X선 회절법을 이용하여 분석하였다. 1000℃, 2시간의 열처리 조건하에서 MgO 박막은 백금박막과 화학적 반응없이 백금박막의 열산화막에 대한 부착특성을 개선시켰으며, 그 위에 증착된 백금박막의 면저항 및 비저항은 각각 0.1288 Ω/□, 12.88 μΩ·cm이었다. Lift-off 방법을 이용하여 SiO₂/Si기판상에 백금 저항체를 만들었으며, 백금 와이어, 백금 페이스트 그리고 SOG를 이용하여 마이크로 열 센서용 박막형 Pt-RTD를 제작하였다. 25~400℃의 온도범위에서 1.0 μm의 두께를 갖는 제작된 Pt-RTD의 저항온도계수는 벌크 백금에 가까운 3927ppm/℃로 측정되었다. 측정온도범위내에서 저항값은 선형적인 변화를 보였다.

Abstract

The physical and electrical characteristics of MgO and Pt thin-films on it, deposited by reactive sputtering and rf magnetron sputtering, respectively, were analyzed with annealing temperature and time by four-point probe, SEM and XRD. Under annealing conditions of 1000℃ and 2 hr, MgO thin-film had the properties of improving Pt adhesion to SiO₂ and insulation without chemical reaction to Pt thin-film, and the sheet resistivity and the resistivity of Pt thin-film deposited on it were 0.1288 Ω/□ and 12.88 μΩ·cm, respectively. We made Pt resistance pattern on SiO₂/Si substrate by lift-off method and fabricated thin-film type Pt-RTD(resistance thermometer device) for micro thermal sensors by Pt-wire, Pt-paste and SOG(spin-on-glass). In the temperature range of 25~400℃, the TCR value of fabricated Pt-RTD with thickness of 1.0 μm was 3927 ppm/℃ close to the Pt bulk value. Resistance values were varied linearly within the range of measurement temperature.

1. 서 론

최근 Si 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 저가격, 고속응답, 집적화 및 대량생산이 가능한 MEMS(Micro Electron Mechanical System)의 연구가 가속화되고 있다.^{1)~3)} 현재까지 백금박막형 축온저항체 온도센서(RTD : Resistance Thermometer Device)는 알루미늄기판상에 제작되고 있다. 그러나, 마이크로 열 센서 개발시 온도

* 동서대학교 정보통신공학부 (School of Information & Communication Eng., Dongseo Univ.)

** 삼성종합기술원 마이크로시스템팀 (MEMS Lab., SAIT)

<접수일자 : 2000년 2월 8일>

센서의 집적화가 필요하기 때문에 Si기판상에 RTD의 제작이 필요하다. 특히, 마이크로 열 센서(가스, 유량/유속, 진공 등)는 동작온도가 센서의 감도, 선택성 그리고 응답시간 등의 특성을 최적화시키는데 중요한 요소로서 작용한다.^[4] 따라서, 마이크로머시닝기술에 의한 저전력소비, 정확한 동작온도제어, 저열적 용량, 센서 어레이화가 쉽고 높은 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient of Resistance) 그리고 집적화가 용이하며 온도에 따른 저항변화의 선형성이 우수한 마이크로 열 센서용 온도센서가 개발되어야 한다. 현재, pn접합 다이오드를 이용한 온도센서^[5]와 백금을 센서물질로 사용한 박막형 Pt-RTD^[6] 등을 이용한 마이크로 열 센서용 온도센서에 관하여 연구되고 있다. pn접합 다이오드를 이용한 온도센서의 경우, CMOS공정과 동시에 제작할 수 있는 장점이 있지만, 온도변화에 따른 출력값의 선형성이 떨어진다. 박막형 Pt-RTD는 백금의 열적·화학적 우수한 특성과 높은 TCR값 그리고 넓은 온도범위에서 온도에 따른 저항변화의 우수한 선형성에 의해 정확한 온도제어가 가능하다. Si기판상에 박막형 Pt-RTD를 제작할 경우, SiO₂에 대한 백금의 부착(adhesion)특성이 나쁘기 때문에 Pt/Cr^[7], Pt/Al₂O₃^[8] 등의 매개층을 이용하여 제작할려는 연구가 진행되고 있다.

그러나 금속을 이용할 경우, 백금박막의 결정화를 위한 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유특성을 저하시킬 뿐만 아니라 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 백금은 용융점(≈1780℃)이 상당히 높은 물질로 백금박막이 벌크특성을 갖기 위해서는 1000℃ 이상의 고온에서 열처리를 필요로 한다.^[9] 이처럼 고온에서 백금과 반응없이 부착특성을 개선시키기 위해서는 매개층으로 금속물질보다는 유전체 물질을 사용하는 것이 더욱 안정하다.

본 연구에서는 집적화가 용이한 Si기판상에 고온 열처리시 백금박막과의 반응을 피할 수 있으며 절연특성이 우수하고, 부착특성을 향상시킬 뿐만 아니라 내열성이 우수한 이온성 산화물질인 MgO 박막을 매개층으로 사용하였다. 또한, 화학적·열적 안정성이 높으며 응답특성이 양호한 백금을 감지물질로 사용하여 가격이 저렴한 박막형 Pt-RTD를 제작하여, 그 특성을 분석하였다. 반응성 rf 스퍼터링법으로 매개층 MgO 박막과 rf 스퍼터링법으로 백금박막을 각각 순차적으로 증착했으

며, 열처리에 따른 백금박막의 전기적·물리적 특성을 four-point probe, α -step, SEM 및 XRD로 각각 분석하였다. 그리고, 박막형 Pt-RTD를 Si기판과 알루미늄기판상에 각각 제작한 후, 온도에 따른 TCR값과 저항변화율을 측정하여 비교·평가하였다.

2. 실험

본 연구에서는 비저항이 약 4~5Ωcm, 두께 530 μm의 p(100)으로 반도체공정의 기본세척공정을 거치고 자연산화막을 제거시킨 후, 열산화막을 3000Å 성장시킨 Si기판과 KYOTO CERAMIC사에서 제작한 알루미늄기판(조도분석 : 2°)을 각각 사용하였다. Si기판상에 백금박막 증착시 SiO₂와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 MgO 타겟을 이용한 반응성 rf 스퍼터링법으로 기판과 타겟의 거리를 7 cm 이상을 유지하여 MgO 박막을 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 그리고, 센서물질인 백금은 rf 스퍼터링법으로 1.0 μm 증착시켰다.^[6] 증착된 MgO 박막의 열처리 특성과 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 열처리를 거친 후, four-point probe, α -step, SEM 및 XRD를 각각 이용하여 분석하였다. Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 이용한 박막형 Pt-RTD는 photolithography 공정과 lift-off 방법으로 제작하여 N₂ 분위기에서 1000℃, 2시간 열처리를 거친 후, 그 특성을 분석·평가하였다. 표 1은 MgO와 백금박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

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

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 2hr, in N ₂)	1000℃	1000℃

그림 1은 최적의 증착 및 열처리 조건하에서 Si기판 상에 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 박막형 Pt-RTD의 표면사진이다. 제작된 박막형 Pt-RTD는 박막의 $13.0 \mu \cdot \Omega \text{cm}$ 비저항값을 고려하여 100Ω 기준으로 저항을 설계했다. 선폭은 $30 \mu\text{m}$ 이며 제작된 센서의 전체 크기는 $2.5 \times 4 \text{ mm}$ 이다. 제작된 박막형 Pt-RTD의 특성을 분석하기 위해 Pt-paste를 사용하여 Pt-wire를 bonding하여 배선했으며, 대류에 의한 영향을 최소화하기 위해 분위기 가스와 진공도의 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였다.

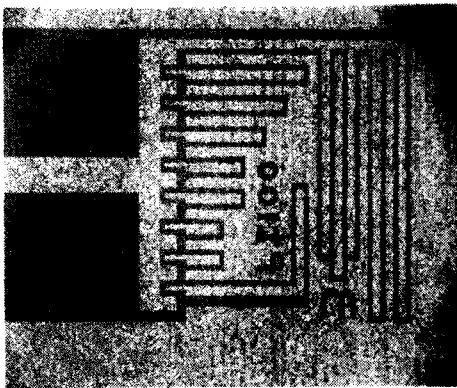


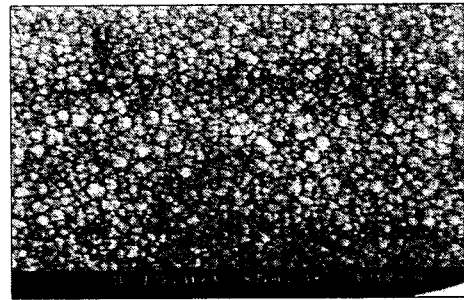
그림 1. Si기판상에 제작된 박막형 Pt-RTD의 표면 사진.

Fig. 1. Surface photomicrograph of thin-film type Pt-RTD fabricated on the Si substrate.

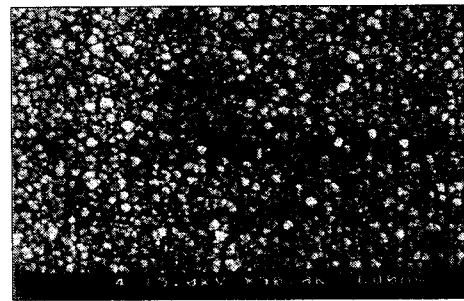
3. 결과 및 고찰

그림 2는 Si기판상에 증착된 MgO 박막의 열처리에 따른 표면 SEM 사진이다. 열처리 전에는 미세패턴 형성이 용이한 비정질 형태였다. 그림 2(a)와 (b)의 열처리 전과 열처리 후(1000°C , 2시간)를 각각 비교할 때, 박막 전체가 균일한 표면특성을 보이며 고온 열처리에 따른 핀홀이나 크랙이 형성되지 않았다. 따라서, 백금 박막은 1000°C 열처리 후에도 열처리 전과 같은 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 3은 MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM 사진이다. 그림 3(a)는 열처리 전의 백금박막 표면으로 미세패턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을 보이고 있다. 그러나, 그림 3(b)처럼 백금박막을 1000°C , 2시간 열처리를 행함으로써 결정립이 형성되어



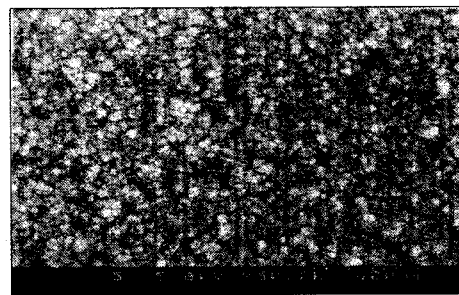
(a)



(b)

그림 2. (a) 열처리 하지 않은, (b) 1000°C , 2시간 열처리한 MgO 박막의 표면 SEM 사진.

Fig. 2. SEM pictures of MgO thin-film (a) without annealing and (b) with 1000°C annealing temperature for 2 hr.



(a)



(b)

그림 3. MgO 박막상에 증착된 (a) 백금박막과 (b) 열처리(1000°C , 2시간)된 백금박막의 표면 SEM 사진.

Fig. 3. SEM pictures of Pt thin-film (a) without annealing and (b) with annealing(1000°C , 2hr) deposited on the MgO thin-film.

입자들의 경계가 현저하고 전기적으로 불안한 상태이며 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 백금박막은 열처리 전에는 면저항과 비저항값이 각각 $0.246 \Omega/\square$, $24.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이고, 열처리 후에는 면저항과 비저항값은 각각 $0.1288 \Omega/\square$, $12.88 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되었으며, 벌크 백금의 비저항값 $10.8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에 가까워짐을 알 수 있다. 따라서, 고온 열처리를 행함으로써 물리적·전기적으로 백금박막이 크게 개선됨을 알 수 있다.

그림 4는 MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석결과를 나타낸 것이다. 백금박막의 회절패턴에서 열처리 전·후 모두 백금 피크만이 $2\theta = 39.6^\circ$ 부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있으며, 고온 열처리를 행함으로써 intensity가 더욱 증가하고 잔여피크가 크게 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리 후에도 백금박막이 MgO 박막과 반응이 없고 백금 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다.

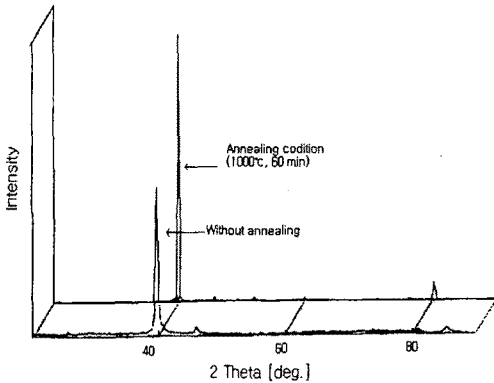


그림 4. MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴.

Fig. 4. XRD patterns of Pt thin-film according to annealing conditions deposited on the MgO thin-film.

그림 5는 MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리 온도에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 열처리 시간은 2시간으로 고정하였으며 열처리 온도가 높아질수록 비저항값이 벌크 백금에 가까운 값을 가졌다. 1000°C 열처리시 백금의 결정립 형성에 의해 박막 내부의 여러 구조적 결함들이 줄어 박막의 비저항 특성

이 개선됨을 알 수 있다. 그러나, 1000°C 이상 고온 열처리할 경우, 과도한 열처리에 의해 결정립의 성장에 따른 부분적인 island형성과 기판위에 박막이 없는 부분에 hole이 생성되고 조금씩 커짐으로 인하여 박막의 특성이 크게 저하되었다.^[9]

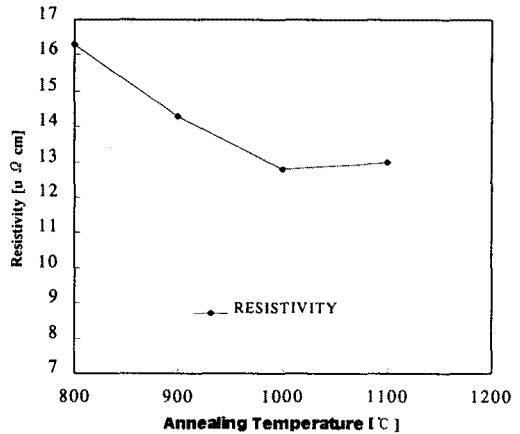
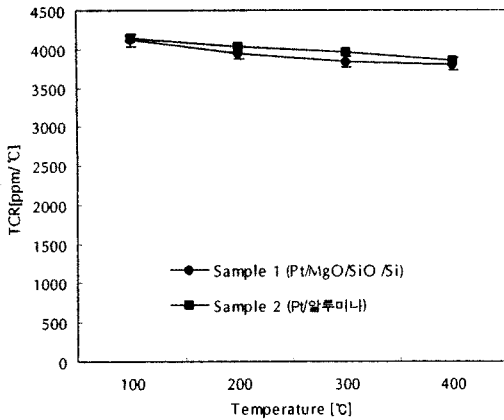


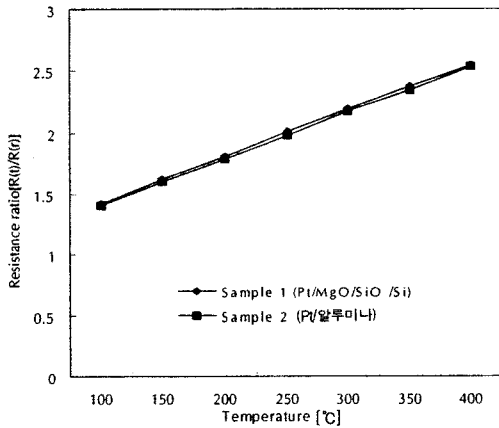
그림 5. MgO 박막상에 증착된 백금박막의 열처리 온도에 따른 비저항값의 변화(열처리 시간:2시간).

Fig. 5. Variations of the resistivity of Pt thin-film deposited on MgO thin-film according to annealing temperature (annealing hour: 2hr).

그림 6은 Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값과 저항변화율을 각각 나타낸 것이다. 저항변화율은 질소 분위기인 furnace에서 상온에서부터 400°C 까지의 온도범위에서 측정하였다. 샘플 1과 2는 Si기판과 알루미늄기판상에서 각각 제작한 박막형 Pt-RTD 5개를 각각 10회 측정하여 얻은 평균값이다. Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 박막형 Pt-RTD의 특성이 알루미늄기판상에 제작된 박막형 Pt-RTD와 거의 비슷한 값의 TCR값을 얻었다. 그림 6(a)에서 샘플 1 RTD의 TCR값은 벌크 백금에 가까운 $3927 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 의 평균값을 가졌다. 또한, TCR값의 표준편차를 분석한 결과, 1°C 당 $0.7 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다. 그림 6(b)는 (a)의 TCR값을 저항변화율로 나타낸 것이다. 온도변화에 따른 저항변화율이 거의 직선에 가깝고 선형성이 양호함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. Si 및 알루미늄기판상에 각각 제작된 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 (a) TCR값과 (b) 저항변화율.

Fig. 6. Variations of (a) the TCR value and (b) the resistance ratio of Pt-RTD fabricated on the Si and Al₂O₃ substrates, respectively.

4. 결 론

본 연구에서는 마그네트론 스퍼터링법으로 순차적으로 증착된 매개층 MgO와 백금박막의 열처리 조건에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였으며, 매개층으로 이온성 산화물인 MgO 박막을 이용하여 Si기판과 알루미늄기판상에 각각 박막형 Pt-RTD를 제작하여 특성을 비교·평가하였다.

반응성 rf 스퍼터링법으로 증착된 매개층 MgO 박막

은 백금과 화학적 반응없이 백금의 SiO₂에 대한 부착 특성을 개선시켰으며, 1000°C 이상의 고온 열처리에서도 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서, MgO 박막을 매개층으로 증착된 백금박막은 1000°C 이상의 고온 열처리가 가능하기 때문에 백금의 결정성을 증가시켜 비저항이 크게 개선되었으며, 이를 four-point probe, α -step, SEM 그리고 XRD를 각각 이용한 분석을 통해서 확인할 수 있었다.

Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 박막형 Pt-RTD는 넓은 온도범위에서 백금이 갖은 고유특성인 온도에 따른 큰 저항변화율과 직선성을 가졌다. 또한, 벌크 백금의 TCR값인 3927 ppm/°C에 가까운 값을 얻었다. 따라서, Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 박막형 Pt-RTD는 범용 온도센서뿐만 아니라 마이크로머시닝기술에 의한 집적화된 마이크로 열 센서 개발시 온도센서로써 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] M. Sarro, "Sensor technology strategy in silicon", Sensors and Actuators A, vol. 31, pp. 138-143, 1992.
- [2] M. A. Gajda, H. Ahmed, "Applications of thermal silicon sensors on membranes", Sensors and Actuators A, vol. 49, pp. 1-9, 1995.
- [3] L. Qiu, E. Obermeier and A. Schubert, "A microsensor with integrated heat sink and flow guide for gas flow sensing applications", Transducers '95 · Eurosensors IX, vol. 130-C2, pp. 520-523, 1995.
- [4] W. Kriegl, P. Steiner, B. Folkmer and W. Lang, "MICROTHERM: a program for thermal modelling of microstructures", Sensors and Actuators A, vol. 46-47, pp. 637-639, 1995.
- [5] Y. W. Jeong, H. C. Kim and K. J. Chum, "High-sensitivity CMOS temperature-to-frequency converter", Tech. Dig. of Korean Sensors Society, vol. 10, pp. 53-55, 1999.
- [6] G. S. Chung and S. S. Noh, "The study on formation of platinum thin films for RTD temperature sensor", J. KIEEME, vol. 9, pp.

- 911-917, 1996.
- [7] S. H. Lee, I. C. Suh and Y. K. Sung, "A thermal properties of microhot plate and the characteristics of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature", J. Korean Sensors Society, vol. 5, pp. 69-77, 1996.
- [8] G. S. Chung and S. S. Noh, "The Fabrication of Pt microheater using aluminum oxide as medium layer and its characteristics, Sensors and Materials, vol. 10, pp. 251-261, 1998.
- [9] G. S. Chung and S. S. Noh, "The study on characteristics of platinum thin film RTD temperature sensor with annealing condition", J. Korean Sensors Society, vol. 6, pp. 81-86, 1997.

著 者 紹 介

정 귀 상

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-16, p. 131 참조
 현재 동서대학교 정보통신공학부 교수

홍 석 우

1973년 2월 27일생
 1998년 동서대학교 정보통신공학부 졸업, 2000년 동서대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 현재·삼성종합기술원 마이크로시스템팀 근무
 주관심분야 : 마이크로머시닝 및 MEMS