

## 열형 마이크로센서용 백금박막형 미세발열체의 제작과 그 특성

### Fabrication of Pt Thin-film Type Microheater for Thermal Microsensors and Its Characteristics

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

#### 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°C and 2 hr, MgO thin-film had the properties of improving Pt adhesion to SiO<sub>2</sub> 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 SiO<sub>2</sub>/Si substrate by lift-off method and fabricated Pt thin-film type microheater for thermal microsensors by Pt-wire, Pt-paste and SOG(spin-on-glass). In the temperature range of 25~400°C, we estimated TCR(temperature coefficient of resistance) and resistance ratio of thin-film type Pt-RTD(resistance thermometer device). We obtained TCR value of 3927 ppm/°C close to the bulk Pt value. Resistance values were varied linearly within the range of the measurement temperature. The thermal characteristics of fabricated thin-film type Pt microheater were analyzed with Pt-RTD integrated on the same substrate. The heating temperature of Pt microheater could be up to 400°C with 1.5watts of the heating power.

**Key words(중요용어)** : Microheater(미세발열체), Thermal microsensor(열형 마이크로센서), Pt thin-film(백금박막), Medium layer(매개층), MgO thin-film(산화마그네슘박막), Heating temperature(발열온도), Heating power(발열전원)

#### 1. 서 론

최근 Si 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 고속 응답 및 신기능 초소형 전자기계시스템(MEMS : Micro Electron and Mechanical System) 개발에 큰 관심이 고조되고 있다.<sup>[1]</sup> 마이크로머시닝기술에 의해

\* 동서대학교 정보통신공학부

(부산광역시 사상구 주례동 산69-1번지

FAX : 051-320-2122,

E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr)

\*\* 삼성종합기술원 MEMS Lab.

2000년 1월 15일 접수, 2000년 5월 11일 심사완료

서 제작된 마이크로 열센서(유속/유량, 가스, 진공) 및 마이크로 액추에이터(밸브, 펌프) 개발시 미세발열체와 온도센서의 집적화가 요구된다.<sup>[2-3]</sup> 현재까지 Poly Si,<sup>[2]</sup> SiC,<sup>[4]</sup> NiFe Alloy,<sup>[5]</sup> NiCr,<sup>[6]</sup> Pt/Ti,<sup>[7]</sup> Pt/Cr<sup>[8]</sup> 등의 박막과 Si 미세가공기술을 이용한 미세발열체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 열센서(유속/유량, 가스, 진공)는 센서의 동작온도가 센서의 특성(감도, 선택성, 응답시간)을 최적화 시키는데 중요한 요소로서 작용한다. 따라서, 마이크로머시닝기술로 제작된 미세발열체는 저전력 소비, 정확한 온도제어, 높은 저항온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance) 그리고 온도에 따른 저항변화의 선형성이 우수해야 한다.

Si기판 위에 백금박막을 이용한 미세발열체 제작에 있어서 백금박막의 SiO<sub>2</sub>에 대한 부착(adhesion) 특성이 나쁘기 때문에 이를 해결하기 위하여 여러 매개층에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 매개층으로 금속을 이용할 경우, 백금박막 결정화를 위한 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유특성을 저하시킬 뿐만 아니라 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 이처럼 고온에서 백금과 반응 없이 부착특성을 개선시키는 매개층으로는 금속물질보다는 유전체 물질이 더욱 안정하다.<sup>[9]</sup>

본 연구에서는 Si기판을 기본으로 고온에서 센서의 특성에 영향을 미칠 수 있는 매개층과 축온저항체 온도센서(RTD : resistance thermometer device)와 미세발열체 물질사이의 반응을 피할 수 있으며 백금의 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라, 특히 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이한 MgO와 화학적·열적 안정성이 높고, 응답특성이 선형적이며 양호한 백금 박막을 이용하여 동일 Si기판 위에 집적화된 RTD 및 미세발열체를 제작하였다. 마그네트론 스퍼터링법으로 매개층 MgO 박막과 백금박막을 순차적으로 증착한 후, 열처리 조건에 따른 전기적, 물리적 특성을 four-point probe,  $\alpha$ -step, SEM 및 XRD로 분석하였다. 그리고, 동일 Si기판 위에 제작된 열형 마이크로 센서 및 액츄에이터용 백금박막형 RTD와 미세발열체를 제작하여 TCR 및 인가전력에 따른 미세발열체의 발열특성을 분석·평가하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 비저항이 약 4~5  $\Omega$ cm, 두께 530  $\mu$ m의 p(100)형으로 반도체공정의 기본 세척공정과 자연산화막을 제거시킨 후, 열산화막을 3000Å 성장시킨 Si기판을 사용하였다. SiO<sub>2</sub>와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 매개층 MgO 박막을 반응성 마그네트론 rf 스퍼터링법으로 1000Å 증착시킨 후, 순차적으로 발열체 물질인 백금박막을 마그네트론 rf 스퍼터링법으로 10000Å 증착시켰다. 증착된 MgO 및 백금박막은 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 열처리 온도에 따라 four-point probe,  $\alpha$ -step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석·평가하였다. 표 1은 박막의 제작 및 열처리 조건을 나타낸 것이다. Si기판 위에 열형 마이크로센서용 미세발열체를 photolithograph공정과 lift-off법을 이용

하여 제작하였다.

그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 하여 동일 Si 멤브레인 위에 백금박막형 RTD와 미세발열체가 집적화된 표면사진과 단면도를 각각 나타낸 것이다.

표 1. MgO와 Pt 박막의 증착 및 열처리 조건  
Table 1. Deposition and annealing conditions of MgO and Pt 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 <sub>2</sub> : 8 sccm	Ar : 80 sccm
초기 진공	1 × 10 <sup>-6</sup> Torr이하	1 × 10 <sup>-6</sup> Torr이하
Working 진공	20 mTorr	10 mTorr
입력 Power	150 W	90 W
후열처리 조건 (for 120min, in N <sub>2</sub> )	800 ~ 1000°C	1000°C

그림 1. MgO 박막을 매개층으로 이용하여 동일 Si 멤브레인 위에 집적화된 백금박막 RTD와 미세발열체의 (a) 표면사진과 (b) 단면도.

Fig. 1. (a) Surface microphotograph of Pt thin-film type RTD and microheater integrated on the same Si membrane with MgO medium layer and (b) a cross-sectional view.

Si 멤브레인 위에 제작된 박막형 Pt-RTD와 미세발열체는 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 1000℃, 120분간 열처리를 행하였다. 특성 측정은 대류에 의한 영향을 최소화하기 위해 분위기 가스와 진공도의 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리 온도에 따른 비저항값 변화율을 나타낸 것이다. 열처리 시간은 120분간으로 고정하였으며, 열처리 온도가 높아질수록 비저항 값이 백금 벌크에 가까운 값을 가졌으며, 1000℃ 열처리시 백금의 결정립 형성에 의해 얇은 금속박막 내부의 여러 구조적 결함이나 결정입계 존재에 의한 전자의 산란들이 줄어 박막의 비저항 특성이 크게 개선됨을 알 수 있다. 그러나 1000℃이상의 열처리할 경우, 비저항값이 다소 증가하여 전기적 특성이 저하되었고 이는 결정립 성장에 따른 부분적 island 형성에 의한 것으로 사료된다.<sup>[10]</sup>

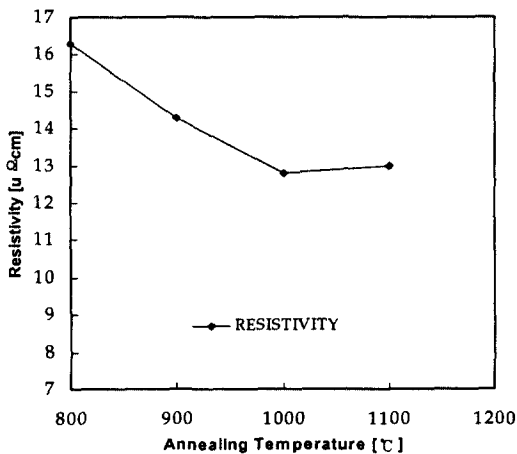


그림 2. MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리 온도에 따른 비저항값의 변화(열처리 시간 : 120분).

Fig. 2. Variations of the resistivity of Pt thin-film deposited on MgO layer according to annealing temperature(annealing time : 120 min).

그림 3은 Si기판 위에 증착된 MgO 박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진을 나타낸 것이다. 열처리 전과 열처리후(1000℃, 120분)를 비교할 때, 박막전체가 균일한 표면특성을 보이며 열처리에 따른 island가 형성되지 않았다.

그림 3. (a) 열처리하지 않은 것과, (b) 1000℃, 120분간 열처리한 MgO 박막의 표면 SEM사진.  
Fig. 3. Surface SEM pictures of MgO thin-film (a) without annealing and (b) with annealing of 1000℃ for 120 min.

그림 4. MgO 매개층 위에 증착된 백금박막의 (a) 열처리하지 않은 것과, (b) 1000℃, 120분간 열처리한 표면 SEM사진.  
Fig. 4. Surface SEM pictures of Pt thin-film deposited on MgO medium layer (a) without annealing, with annealing and (b) annealing temperature of 1000℃ for 120 min.

Fig. 4. Surface SEM pictures of Pt thin-film deposited on MgO medium layer (a) without annealing, with annealing and (b) annealing temperature of 1000℃ for 120 min.

그림 4는 MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진을 나타낸 것이다. 열처

리 전 표면은 미소패턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을 보이지만, 1000°C, 120분간 열처리를 행함으로써 결정립이 형성되어 입자들의 경계가 현저하며 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 열처리 전 백금박막의 면저항 및 비저항은 각각 0.324 Ω/□, 32.4 μΩ·cm이며 열처리후(1000°C, 120분)에는 면저항과 비저항은 각각 0.1282 Ω/□, 12.82 μΩ·cm로 변화했다. 따라서, 열처리 공정을 행함으로써 MgO 박막위에 증착된 백금박막이 벌크의 비저항값 10.8 μΩ·cm에 가까워짐을 알 수 있다.<sup>[11]</sup>

그림 5는 Pt/MgO 이중박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. Pt/MgO 이중박막에서 백금 피크만이 2θ = 39.6° 부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있으며, 열처리를 행함으로써 intensity가 크게 증가하였음을 알 수 있다. 따라서, 열처리 후에도 백금박막이 MgO 박막의 영향을 받지 않고 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다.

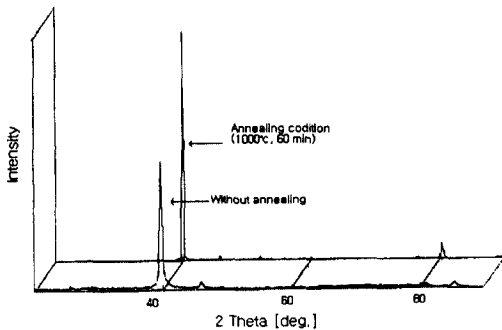


그림 5. Pt/MgO 이중박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석.  
Fig. 5. XRD patterns of Pt/MgO bilayer thin-film according to annealing.

그림 6는 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 저항변화율은 항온항습조에서 25~400°C까지의 온도범위에서 측정하였다. Sample 1은 Si기판 위에 MgO 박막을 매개층으로 그리고 Sample 2는 알루미늄기판 위에 각각 제작한 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. Si기판과 알루미늄기판 위에 각각 제작된 박막형 Pt-RTD는 거의 비슷한 TCR값을 나타냈고, Sample 1 RTD의 TCR값은 3925 ppm/°C의 벌크 백금에 가까운 3927 ppm/°C의 값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과, 1°C당 0.7 ppm/°C로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다.

그림 7은 알루미늄기판과 Si 멤브레인 위에 MgO와 크롬박막<sup>[9]</sup>을 각각 매개층으로 이용하여 제작된 백금박막형 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. 크롬을 매개층으로 사용했을 경우, 700°C 이상 열처리시 크롬과 백금의 부착 특성이 나빠지며, 백금의 고유특성을 얻을 수 없다.<sup>[11]</sup>

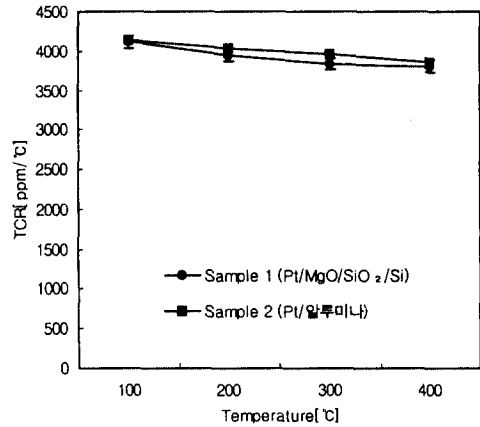


그림 6. Si 및 알루미늄기판 위에 각각 제작된 박막형 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화.  
Fig. 6. Variations of TCR value of thin-film type Pt-RTD fabricated on Si and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrates, respectively.

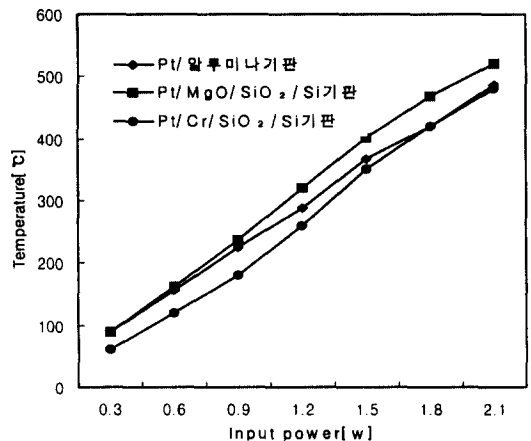


그림 7. 기판 및 매개층에 따른 백금박막형 미세발열체의 발열특성.  
Fig. 7. Thermal characteristics of Pt thin-film type microheater according to substrate and medium layer, respectively.

그러나, 알루미늄나기판과 Si기판 위에 MgO 박막을 매개층으로 사용하여 각각 제작된 미세발열체는 열처리를 1000℃까지 할 수 있으므로 백금의 결정화에 따른 고유특성이 개선되기 때문에 저전력에서도 양호한 발열특성을 가졌다. 또한, Si 멤브레인과 알루미늄나기판 위에 각각 제작된 미세발열체를 비교할 경우, 0.6 W의 낮은 인가전력에서는 거의 동일한 180℃의 발열특성을 나타내었다. 더구나 Si 멤브레인을 사용할 경우, 외부와의 열적 차단효과 때문에 1.2 W의 높은 인가전력에서 250℃ 이상 발열특성이 우수하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 각각 증착된 매개층 MgO 박막과 백금박막의 증착 및 열처리 조건에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였다. 또한, 매개층 MgO 박막을 이용하여 박막형Pt-RTD와 미세발열체를 동일 Si기판 위에 제작한 후, TCR값과 미세발열체의 발열특성을 분석하였다. 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 고온의 열처리 시에도 화학적 반응없이 백금의 부착특성을 개선시켰으며 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서, MgO 박막을 매개층으로 증착된 백금박막은 1000℃ 이상 고온 열처리가 가능하며 백금의 결정성을 크게 개선시켰다. MgO 박막을 매개층으로 Si기판상에 제작된 박막형 Pt-RTD의 TCR값은 평균 3927 ppm/℃의 높은 값을 가지며 선형성이 1℃ 당 편차가 0.7 ppm/℃로 우수하고 DIN 및 JIS의 규격을 만족하였다. 또한, Si 멤브레인 위에 제작된 백금박막형 미세발열체는 외부와의 열적 차단효과로 인가전력 1.5 W에서 400℃이상의 우수한 발열특성을 나타내었다. 따라서, Si 멤브레인 위에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 백금박막형 미세발열체는 집적화 열형 마이크로센서 및 마이크로액츄에이터 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

[1] M. Sarro, "Sensor technology strategy in silicon", *Sensors & Actuators A*, vol. 31, pp. 138-143, 1992.  
 [2] M. A. Gajda, et. al., "Application of thermal silicon sensors on membranes", *Sensors & Actuators A*, vol. 49, pp. 1-9, 1995.

[3] L. Qiu, et. al., "A microsensor with integrated heat sink and flow guide for gas flow sensing application", *Trans. Eurosensor. IX*, vol. 130-C2, pp. 520-523, 1995.  
 [4] V. V. Luchinin, "Microtechnology and equipment for manufacturing SiC-based Sensor of physical values for extern operation condition", *7th Conf. on Sensor Tech.*, pp. 30-37, 1996.  
 [5] U. Dibbern, "A substrate for thin film gas sensor in microelectronic technology", *Sensors & Actuator B*, vol. 2, pp. 63-67, 1990.  
 [6] D. Mutschall, et. al., "Basic micro module for chemical sensor with on chip heater buedie sensor structure", *Trans. Eurosensor. IX*, vol. 57-PA6, pp. 256-257, 1995.  
 [7] W. Y. Chung, et. al., "Thin oxide microsensor for LPG monitoring", *Sensors & Actuators B*, vol. 20, pp. 139-143, 1994.  
 [8] S. H. Lee, et. al., "A thermal properties of microhot plate and the characteristics of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature", *J. Korean Sensors Society*, vol. 5, no. 5, pp. 69-77, 1996.  
 [9] G. S. Chung, et. al., "The fabrication of Pt microheater using aluminum oxide as medium layer and it's characteristics", *Sensors & Materials*, vol. 10, no. 5, pp. 251-261, 1998.  
 [10] G. S. Chung, et. al., "The study on formation of platinum thin-film for RTD temperature sensors", *J. KIEEME*, vol. 9, no. 9, pp. 911-917, 1996.  
 [11] G. S. Chung, et. al., "The study on characteristics of platinum thin film RTD temperature sensor with annealing conditions", *J. Korean Sensors Society*, vol. 6, no. 2, pp. 81-86, 1997.