

산화마그네슘을 매개층으로 이용한 백금박막 미세발열체의 제작과 그 특성

The Fabrication of Micro-Heater MgO Medium Layer and It's Characteristics

홍 석 우^{*}, 노 상 수^{**}, 장 영 석^{***}, 정 귀 상^{*}

^{*}동서대학교 정보통신공학부, ^{**}대양전기공업(주), ^{***}경남정보대학

Seog-Woo Hong^{*}, Sang-Soo Noh^{**}, Young-Seok Chang^{***}, Gwi-Sang Chung^{*}

^{*}Donseo University, ^{**}Deayang Electric Co. ^{***}Kyungnam Information College

ABSTRACT

The electrical and physical characteristics of MgO and Pt thin-films on Si wafers, deposited by r.f magnetron sputtering, were analyzed with annealing condition(1000°C, 120 min) by four point probe, SEM and XRD. Until annealing temperature of 1000°C, MgO had the properties of improving Pt adhesion to SiO₂ and insulation without chemical reaction to Pt thin-films and the resistivity of Pt thin-films was improved. The thermal characteristics of Pt micro-heater were analyzed with Pt-RTD integrated on the same substrate. In the analysis of properties of Pt-RTD, TCR value had 3927 ppm/°C and linear in the temperature range of 25~400°C. temperature of Pt micro-heater had up to 400°C with 1.5watts of the heating power.

I. 서 론

최근 Si 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 고속 응답 및 대량생산이 가능한 MEMS(Micro Electro Mechanical System)에 관한 연구가 가속화되고 있다.^[1] 마이크로머시닝기술에 의해서 제작된 마이크로 열센서(유속/유량, 가스,진공) 및 마이크로 액츄에이터(밸브, 펌프)개발시 미세발열체와 온도센서의 집적화가 요구된다.^[2-4] 현재까지 실리콘 미세가공기술을 이용한 미세발열체에 관한 연구는 SiC 박막,^[5] Poly Si,^[2] NiFe Alloy,^[6] NiCr,^[7] Pt/Ti,^[8] Pt/Cr,^[9] Pt/Al₂O₃^[10] 등 활발히 진행되고 있는데, 이처럼 마이크로머시닝기술로 제작된 미세발열체는 저전력소비, 정확한 온도제어, 저열적 용량 그리고 센서 어레이화가 용이하다.

백금을 이용한 미세발열체 제작에 있어서 백금의 SiO₂에 대한 부착(adhesion)특성이 나쁘기 때문에 이를 해결하기 위하여 여러 매개층에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 매개층으로 금속을 이용할 경

우 백금 박막 결정화를 위한 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유특성을 저하시킬 뿐만 아니라 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 백금은 용융점(≈1780°C)이 상당히 높은 물질로 백금박막이 벌크특성을 갖기 위해서는 1000°C 이상의 고온에서 열처리를 필요로한다.^[11, 12] 이처럼 고온에서 백금과 반응없이 부착특성을 개선시키는 매개층으로는 금속 물질보다는 유전체물질이 더욱 안정하다.

본 연구에서는 Si 기판을 기본으로 고온에서 센서의 특성에 영향을 미칠 수 있는 실리콘과 온도센서 및 발열체 물질 사이의 반응을 피할 수 있고, 백금의 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라, 특히 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이한 MgO와 화학적, 열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 백금을 이용하여 RTD 및 미세발열체를 제작하였다. 반응성 스퍼터링으로 형성되어 매개층으로 이용된 MgO와 백금박막의 열처리에 따른 전기적, 물리적 특성을 four point probe, α -step, SEM 및 XRD으로 분석하였다. 그리고 미세발열체와 온도

센서를 동일 기판상에 제작한 후 발열체와 온도센서의 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient of Resistance) 및 인가전력에 따른 발열체의 발열특성을 분석·평가하였다.

2. 실험

본 연구에 사용된 기판은 비저항이 약 4~5Ωcm, 두께 530μm의 p(100)으로 반도체공정의 기본 세척공정을 거치고 자연산화막을 제거 시킨 후 열산화막을 3000Å 성장시킨 Si를 사용하였다. SiO₂와 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 MgO 타겟을 이용한 고주파 스퍼터링으로 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 발열체 물질인 백금은, 고주파 스퍼터링으로 10000Å 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 MgO 박막의 열처리 특성 및 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 열처리(1000℃, 120분)를 거친후 four-point probe, a-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 표 1은 박막의 제작 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	300℃
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/cm ²	9 W/cm ²
후열처리 조건 (for 120min, in N ₂)	1000℃	1000℃

미세발열체는 photolithography 공정과 lift-off 방법을 이용하여 제작하였다. 그림 1은 MgO 박막을 매개층으로 이용하여 제작된 RTD와 미세발열체의 표면 사진이다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 거친후 그 특성을 분석하였다. SOG (spin-on-glass)를 spin coating 한 후 공기중에서 100℃(30분), 200℃(30분), 350℃(30분) 그리고 500℃(30분)에서 순차적으로 baking하여 발열

체 물질과 센서 물질의 보호막으로 이용하였으며 Pt paste를 이용하여 Pt-wire를 bonding하였다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD의 특성은 대류에 의한 영향을 최소화하기 위해 분위기 가스와 진공도의 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였다.

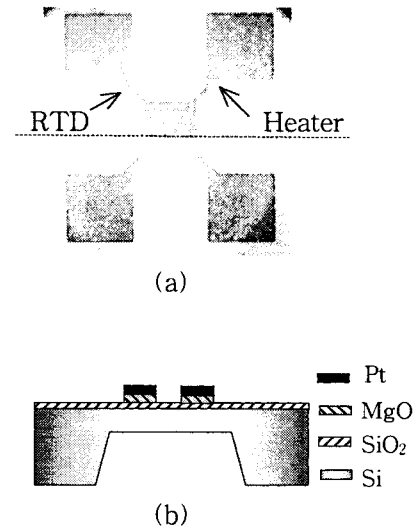


그림 1. MgO 박막을 매개층으로 이용하여 집적화된 RTD와 미세발열체의 (a) 표면사진 및 (b) 단면도.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 실리콘 기판위에 증착된 MgO 박막의 열처리에 따른 표면 SEM 사진이다. 열처리전과 열처리후(1000℃, 120분)를 비교 할 때 박막전체가 균일한 표면 특성을 보이고 열처리에 따른 island가 형성되지 않았다. 따라서, 1000℃ 열처리 후에도 열처리 전과 같은 부착특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

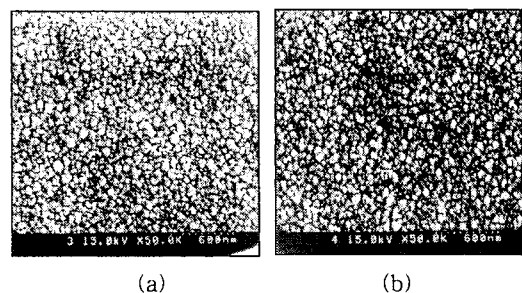


그림 2. (a) 열처리 하지 않은, (b) 1000℃, 120분간 열처리한 MgO막의 표면 SEM 사진.

그림 3은 MgO 박막위에 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, 열처리후 면저항 및 비저항은 각각 0.1392 Ω/□, 13.92 μΩ·cm로 측정되므로 백금 벌크의 비저항 값 10.8 μΩ·cm에 가까운 값을 알 수 있다. 따라서, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막이 개선됨을 알 수 있다.

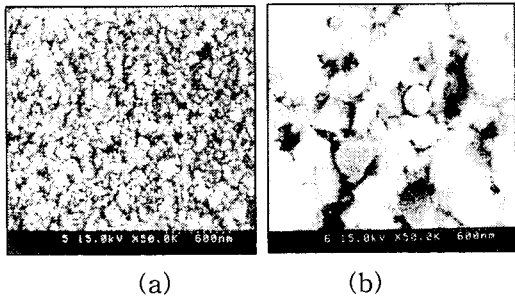


그림 3. MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리 (1000℃, 120분)에 따른 표면 SEM사진.

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 intensity가 더욱 증가 하였음을 알 수 있다. 따라서, 열처리후에도 백금 박막이 MgO 박막의 영향을 받지 않고 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다.

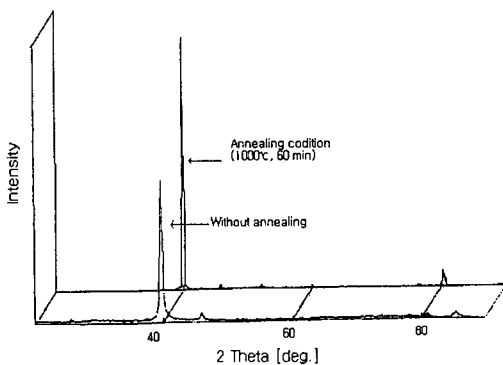


그림 4. Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석.

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 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/℃정도의 값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1℃당 0.7 ppm/℃로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다.

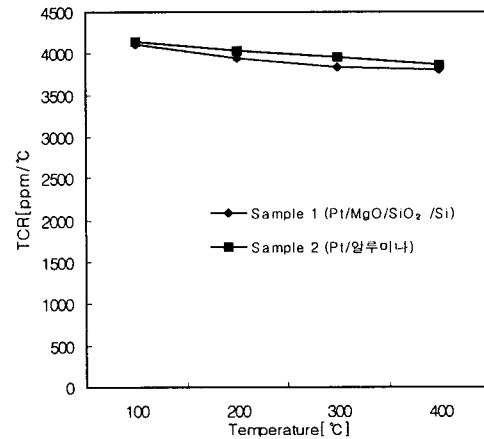


그림 5 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 변화.

그림 6은 알루미늄 기판과 Si 멤브레인상에 MgO와 크롬박막^[9]을 매개층으로 이용하여 각각 제작된

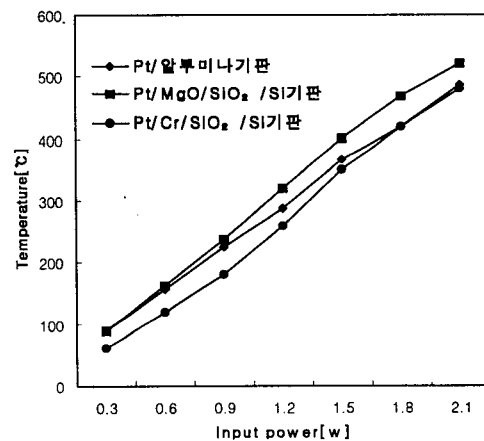


그림 6 기판 및 매개층에 따른 미세발열체의 발열 특성.

백금 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. 크롬을 매개층으로 사용했을 경우 700°C 이상 열처리시 크롬과 백금의 부착특성이 나빠지고, 백금의 고유특성을 얻지 못한다. 그러나 알루미늄 기판과 실리콘 기판상에 산화마그네슘을 매개층으로 사용하여 제작된 미세발열체는 열처리를 1000°C까지 할 수 있으므로 백금의 결정화에 따른 고유특성이 개선되었다. 따라서 저전력에서도 양호한 발열특성을 가졌다.

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 형성된 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 화학적 반응없이 백금의 부착특성을 개선시켰으며 1000°C 이상의 열처리 조건에서도 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서 MgO박막을 매개층으로 증착된 백금박막은 열처리 온도를 1000°C 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 미세발열체 제작시 백금이 갖은 온도에 따른 큰 저항 변화율과 직선성을 갖은 온도센서 및 저소비, 경량의 미세발열체를 제작할 수 있다. 또한, 마이크로머시닝기술을 이용한 외부와의 열적차단을 할 수 있다면, 더욱 양호한 미세발열체를 제작 할 수 있을 것이며, 집적화된 열형 마이크로센서 및 액츄에이터에 유용하게 사용될 것이다.

<감사의 글>

본 논문은 과학기술부가 주관하는 연구개발 성과 확산사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

[1] M. Sarro, "Sensor technology strategy in silicon", *Sensors and Actuators A*, 31, 138-143, 1992.

[2] M. A. Gajda, et. al., "Applications of thermal silicon sensors on membranes", *Sensors and Actuators A*, 49, 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*, 130-C2, 520-523, 1995.

[4] S. Sugiyama, et. al., "Micromachining and its application for pressure sensor", *Extended Abstracts of the 21st Conf. on Solid State Device and Materials*, B-3-1, 189-192, 1989.

[5] V. V. Luchinin, "Microtechnology and equipment for manufacturing SiC-based sensors of physical values for extreme operation condition", *The 7th Conf. on Sensor Technology*, 30-37, 1996.

[6] U. Dibbern, "A substrate for thin film gas sensors in microelectronic technology", *Sensors & Actuator B*, 2, 63-67, 1990.

[7] D. Mutschall, et. al., "Basic micro module for chemical sensors with on chip heater and buried sensor structure", *Trans. Eur. IX*, 57-PA6, 256-257, 1995.

[8] W. Y. Chung, et. al., "Tin oxide microsensor for LPG monitoring", *Sensors & Actuators B*, 20, 139-143, 1994.

[9] S. H. Lee, et. al., "A thermal properties of micro hot plate and the characteristics of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature", *Korean Sensors Society*, 5, 5, 69-77, 1996.

[10] G. S. Chung, et. al., "The study on formation of platinum thin films for RTD temperature sensor", *J. KIEEME*, 9, 911-917, 1996.

[11] G. S. Chung, et. al., "The study on characteristics of platinum thin film RTD temperature sensors with annealing conditions", *Korean Sensors Society*, 6, 2, 1997.

[12] G. S. Chung, et. al., "The Fabrication of Pt Micro-Heater Using Aluminum Oxide as Medium Layer and It's Characteristics", *Sensors & Materials*, 10, 5, 251-261, 1998.