

Si기판상에 제작된 박막형 백금 측온저항체 온도센서의 특성

Characteristics of Thin-film Type Pt-RTD's Fabricated on Si Wafers

홍석우, 노상수, 정귀상

동서대학교 정보통신공학부, 부산대학교 재료공학부

Seog-Woo Hong, Sang-Soo Noh, Gwi-Sang Chung

School of Information & Communication Eng. DongSeo Univ., School of Materials Eng., Pusan Nat'l Univ.

ABSTRACT

This paper describes on the electrical and physical characteristics thin-film type Pt-RTD's on Si wafers, in which MgO thin-films were used as medium layer in order to improve adhesion of Pt thin-films to SiO₂ layer. The MgO medium layer 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. In the analysis of properties of Pt-RTD, TCR value had 3927 ppm/°C and liner in the temperature range of room temperature to 400°C.

Key worde(중요용어) : RTD(Resistance Thermal Device), TCR(Temperature Coefficient of Resistance)

1. 서 론

최근 실리콘 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 저가격, 고속응답, 집적화 및 대량생산이 가능한 MEMS(Micro Electro Mechanical System)의 연구가 가속화되고 있다.^[1-3] 집적화된 마이크로센서 제작시 필수적으로 온도센서가 요구되므로 실리콘 기판상에 온도센서의 제작의 필요성이 대두되고 있다. 현재까지 Si기판상에 온도센서의 제작은 열적·화학적 안정성이 있고, 저항온도계수(TCR)가 크고, 온도에 따른 선형성이 좋은 백금박막형 측온저항체(Pt-RTD)를 Pt/Ti,^[4] Pt/Cr,^[5] Pt/Al₂O₃^[6] 등의 매개층을 이용하여 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

백금을 이용한 실리콘기판상 RTD 제작에 있어서 백금의 열산화막(SiO₂)에 대한 부착(adhesion)특성이 나쁘기 때문에 이를 해결하기 위하여 일부 금속(Cr, Ti)을 이용하여 백금의 부착특성을 개선시키는 연구가 진행되고 있으나, 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. 백금은 용융점(≈1780°C)이 상당히 높은 물질로 백금박막이 벌크특성

을 갖기 위해서는 1000°C 이상의 고온에서 열처리를 필요로 한다.^[7] 이처럼 고온에서 백금과 반응없이 부착특성을 개선시키는 매개층으로는 금속물질보다는 유전체물질이 더욱 안정하다.

본 연구에서는 실리콘기판을 기본으로 고온열처리시 매개층과 백금사이의 반응을 피할 수 있고, 백금의 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라, 특히, 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이하고 내열성이 좋은 산화마그네슘(MgO) 매개층과 화학적·열적 안정성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 백금을 이용하여 측온저항체 온도센서를 제작하였다. 반응성 rf. 스퍼터링에 의해 매개층으로 이용된 산화마그네슘과 rf. 스퍼터링으로 백금박막을 증착하고, 열처리에 따른 이중층의 전기적·물리적 특성을 four point probe, α-step, SEM 및 XRD으로 분석하였다. 그리고 측온저항체 온도센서를 실리콘기판과 알루미늄기판상에 각각 제작한후 온도에 따른 TCR 값을 측정하여 비교·평가하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 기판은 비저항이 약 4~5Ωcm, 두께 530μm의 P(100)으로 반도체공정의 기본 세척

공정을 거치고 자연산화막을 제거 시킨 후 열산화막을 3000 Å 성장시킨 실리콘과 kyoto ceramic사에서 제작한 알루미나 기판(조도분석 : 2[°])을 사용하였다. 실리콘기판상에 백금박막 증착시 열산화막과 백금박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 산화마그네슘타겟을 이용한 반응성 rf. 스퍼터링으로 기판과 타겟의 거리를 7cm를 유지하여 산화마그네슘박막을 1000 Å 증착시켜 매개층으로 이용하였으며, 센서물질인 백금은 고주파 스퍼터링으로 1 μm 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 산화마그네슘박막의 열처리 특성과 백금박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N₂ 분위기에서 열처리를 거친후 four-point probe, α-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 측온저항체는 photolithography 공정과 lift-off 방법으로 제작하여 N₂ 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 거친후 그 특성을 분석하였다.

표 1은 산화마그네슘박막 및 백금박막의 증착 조건 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

표 1. 산화마그네슘박막과 백금박막의 증착 및 열처리 조건

증착박막	산화 마그네슘박막	백금박막
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℃	1000℃

그림 1은 실리콘기판상에 제작된 RTD의 패턴 사진이다. 제작된 Pt-RTD는 100 Ω 기준으로 설계했으며, 선폭은 30μm이며, 센서의 전체 크기는 2.5×4 mm이다. Pt-paste를 이용하여 Pt-wire를 사용하여 bonding하였다. 제작된 Pt-RTD의 특성은 대류에 의한 영향을 최소화하기 위해 분위기 가스와 진공도의

제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였다.

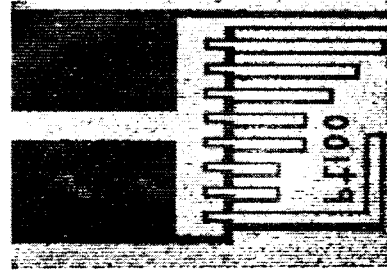
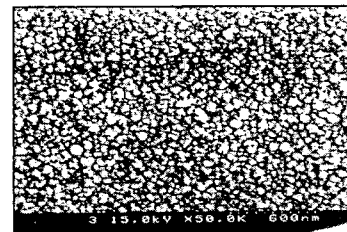


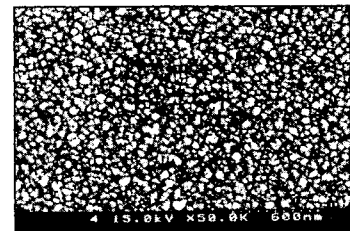
그림 1. 실리콘기판상에 산화마그네슘박막을 매개층으로 이용하여 제작된 박막형 Pt-RTD의 패턴사진.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 실리콘기판위에 증착된 산화마그네슘박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진이다. 열처리 전에는 미세패턴 형성이 용이한 비정질 형태이고, 열처리전과 열처리후(1000℃, 120분)를 비교할 때 박막 전체가 균일한 표면 특성을 보이고 열처리에 따른 편홀이나 크랙이 형성되지 않았다. 따라서, 1000℃ 열처리 후에도 열처리 전과 같은 부착특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



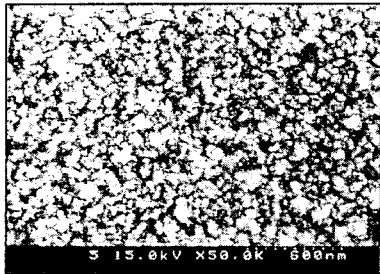
(a)



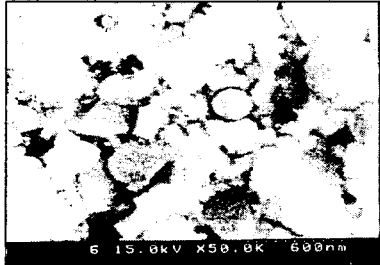
(b)

그림 2. 열처리 (a) 전과 (b) 후(1000℃, 120분간)에 따른 산화마그네슘박막의 표면 SEM사진.

그림 3은 산화마그네슘박막위에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM사진이다. 열처리전 표면은 미소패턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을 보이고 있으나, 1000℃, 120분 열처리를 함으로써 결정립이 형성 되어 입자들의 경계가 현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 열처리전 면저항 및 비저항은 각각 0.246 Ω/□, 24.6 μΩ·cm, 열처리후 면저항 및 비저항은 각각 0.1288 Ω/□, 12.88 μΩ·cm로 측정 되므로 백금 벌크의 비저항 값인 (10.8 μΩ·cm) 가가워 짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막이 개선됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 산화마그네슘박막위에 증착된 백금박막의 열처리 (a) 전과 (b) 후(1000℃, 120분)에 따른 표면 SEM사진.

그림 4는 Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석이다. Pt/MgO의 회절패턴에서 열처리 전·후 모두 백금 피크만이 2θ = 39.6° 부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있고, 열처리를 함으로써 intensity가 더욱 증가하고 잔여피크가 크게 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리 후에도 백금박막이 산화마그네슘과 반응이 없고 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다.

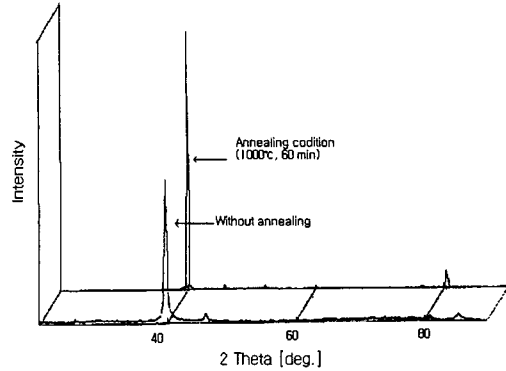
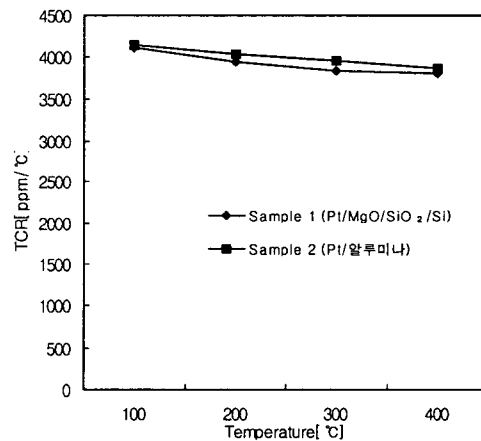
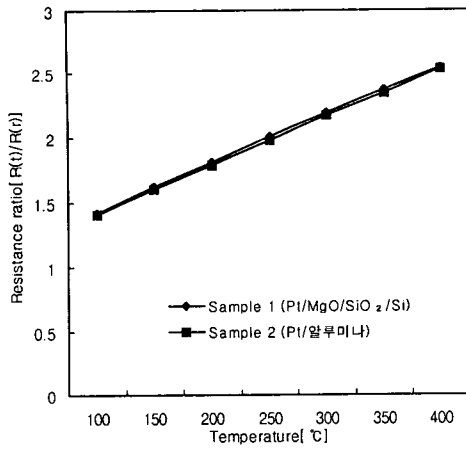


그림 4. Pt/MgO 박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴 분석.

그림 5는 Pt-RTD의 온도에 따른 TCR값 및 저항 변화율을 각각 나타낸 것이다. 저항 변화율은 질소 분위기인 funace에서 상온에서 400℃까지의 온도범위에서 측정하였다. Sample 1은 실리콘기판위에 Pt/MgO 박막을 Sample 2는 알루미늄기판상에 백금을 증착하여 제작한 Pt-RTD이다. 산화마그네슘박막을 매개층으로 사용하여 제작된 RTD특성이 알루미늄기판상에 제작된 RTD와 거의 비슷한 값의 TCR값을 얻었으며 (a)에서 Sample 1 RTD의 TCR값은 백금 벌크에 가까운 3927 ppm/℃의 평균값을 가지며 TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1℃당 0.7 ppm/℃로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다. (b)는 (a)의 TCR값을 저항변화율로 나타낸 것이다. 온도 변화에 따른 저항변화율이 거의 직선에 가깝고 선형성이 양호함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 5. 실리콘기판 및 알루미늄기판상에 각각 제작된 Pt-RTD의 온도에 따른 (a) TCR값 및 (b) 저항 변화율.

4. 결 론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링 및 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착된 매개층 산화마그네슘박막과 백금박막의 이중층을 열처리에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였으며, 매개층으로 이온성 산화물인 산화마그네슘박막을 이용하여 실리콘기판과 알루미늄기판상에 각각 제작하여 Pt-RTD의 특성을 비교·평가하였다.

반응성 스퍼터링으로 형성된 매개층 산화마그네슘박막은 백금과 화학적 반응없이 백금의 실리콘에 대한 부착특성을 개선시켰으며 1000°C의 열처리 조건에서도 완벽한 절연특성을 보였다. 따라서, 산화마그네슘박막을 매개층으로 증착된 백금박막을 열처리 온도를 1000°C 이상 할 수 있어서 백금의 단결정성을 증가시켜 면저항 및 비저항이 개선되었고, 이를 four point probe, α -step, SEM, 및 XRD 통해 알 수 있었다.

산화마그네슘박막을 매개층으로 Pt-RTD 제작시 백금이 갖은 고유특성인 온도에 따른 큰 저항 변화율과 직선성을 가졌고, 또한 백금 벌크의 TCR값인 3950 ppm/°C에 가까운 값을 얻었다. 따라서 마이크로머시닝기술에 의한 집적화된 열형 마이크로센서 및 액츄에이터 제작시 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- [1] M. Sarro, Sensors and Actuators A, 31, 138-143, (1992).
- [2] M. A. Gajda, et. al., Sensors and Actuators A, 49, 1-9, (1995).
- [3] L. Qiu, et. al., Trans. Eurosensor IX, 130-C2, 520-523, (1995).
- [4] W. Y. Chung, et. al., Sensors & Actuators B, 20, 139-143, (1994).
- [5] S. H. Lee, et. al., Korean Sensors Society, 5, 5, 69-77, (1996).
- [6] G. S. Chung, et. al., Korean Sensors Society, 6, 2, (1997).
- [7] G. S. Chung, et. al., Sensors & Materials, 10, 5, 251-261, (1998).