

## SOI와 드랜치 구조를 이용한 초저소비전력형 미세발열체의 제작

### The fabrication of ultra-low consumption power type micro-heaters using SOI and trench structures

정 귀 상\*, 이 중 춘\*\*, 김 길 중\*

(Gwiy-Sang Chung, Jong-Chun Lee, Gil-Jung Kim)

#### Abstract

This paper presents the optimized fabrication and thermal characteristics of micro-heaters for thermal MEMS applications using a SDB SOI substrate. The micro-heater is based on a thermal measurement principle and contains for thermal isolation regions a 10  $\mu\text{m}$  thick silicon membrane with oxide-filled trenches in the SOI membrane rim. The micro-heater was fabricated with Pt-RTD(Resistance Thermometer Device) on the same substrate by using MgO as medium layer. The thermal characteristics of the micro-heater with the SOI membrane is 280  $^{\circ}\text{C}$  at input power 0.9 W; for the SOI membrane with 10 trenches, it is 580  $^{\circ}\text{C}$  due to reduction of the external thermal loss. Therefore, the micro-heater with trenches in SOI membrane rim provides a powerful and versatile alternative technology for improving the performance of micro thermal sensors and actuators.

**Key words(주요용어)** : Micro-heater(미세발열체), SDB SOI, membrane(멤브레인), trench(드랜치), Pt-RTD, consumption power(소비전력)

#### 1. 서 론

최근 Si 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 고속 응답 및 신기능 MEMS(Micro Electro Mechanical System)에 관한 관심을 끌고 있다.<sup>[1]</sup> 특히, 마이크로 머시닝기술에 의해서 제작된 열형 마이크로 센서(유속/유량, 가스, 진공) 및 액츄에이터(밸브, 펌프) 제작시 초미소영역의 열적 활성화 및 열적 제어가 용이한 저소비전력, 정확한 온도제어, 저열적 용량, 센서 어레이화가 쉽고, 높은 저항온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)와 집적화가 용이

하며 온도에 따른 저항변화의 선형성이 우수한 미세 발열체가 요구된다.<sup>[2-3]</sup>

Si 멤브레인은 양호한 기계적, 전기적 특성 때문에 MEMS분야에 널리 사용되고 있다. 그러나, Si의 높은 열전도성과 미세발열체의 열적 영향 때문에 외부회로에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 미세발열체 제작시 외부와의 열적 절연을 통한 열손실 감소 및 저전력소비를 통한 발열특성을 향상시키기 위하여 NON( $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 박막 유전체 멤브레인과 컨틸레바 및 브릿지 등의 공중부유구조상에 poly-Si, NiFe Alloy, NiCr, Pt/Ti, Pt/Cr, Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Pt/MgO 등의 박막을 이용한 미세발열체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[4-11]</sup> 그러나, NON박막 멤브레인 및 공중부유구조상에 제작된 미세발열체는 발열특성이 우수하지만, 기계적 충격에 약하며 집적화 MEMS분야에 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서, 스마트 열형 MEMS를 개발하기 위해서는 Si 멤브

\* 동서대학교 정보통신공학부

(부산광역시 사상구 주례동 산69-1번지

FAX : 051-320-2122,

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

\*\* 경남정보대 기계시스템공학부

라인상에 저소비전력형 미세발열체의 제작기술이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 SDB(Si-wafer Direct Bonding) SOI(Si-on-Insulator)기판을 사용하여 SOI 멤브레인 주위로 트렌치를 형성한 후, MgO를 매개층으로 초미소영역의 온도제어 및 측정이 용이한 백금박막형 미세발열체와 측온저항체 온도센서(RTD: Resistance Thermometer Device)를 동일기판상에 집적화시켜 온도에 따른 TCR 및 저항변화 그리고 인가전력 및 기판구조에 따른 발열특성을 분석·평가하였다.

## 2. 제 작

본 연구에서는 2000Å의 열산화막과 10 μm의 SBD SOI기판을 사용하였다. 고온 열처리시 매개층과의 반응을 피할 수 있으며 절연특성이 우수하고, 백금의 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라 특히, 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 쉬우며 내열성이 우수한 MgO 박막을 매개층으로 사용했으며 화학적·열적 안전성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 백금을 이용하여 400×400 μm<sup>2</sup> 활성영역을 갖는 백금박막형 미세발열체와 RTD를 동일기판상에 집적화하였다. 이방성 식각(TMAH 20 w%, 80℃)으로 500×500 μm<sup>2</sup> 크기의 멤브레인과 멤브레인 림 부분에 트렌치(깊이: 10 μm, 폭: 15 μm 그리고 간격: 15 μm)를 형성하였다. 트렌치에 열적 격리와 기계적 특성 향상을 위해 1 μm의 열산화막을 성장시킨 후 SOG(Spin-on-Glass)를 채웠다. 표 1은 MgO와 백금 박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

Table 1. The deposition conditions of Pt and MgO 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> Torr 이하	1×10 <sup>-6</sup> Torr 이하
Working 진공	20 mTorr	5 mTorr
입력 power	150 W	90 W
후열처리 조건 (for 120min, in N <sub>2</sub> )	1000℃	1000℃

그림 1은 SOI 멤브레인과 트렌치 구조상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 백금박막형 RTD와 미세발열체가 집적화된 표면사진 및 단면도를 도식적으로 나타낸 것이다.

제작된 미세발열체와 Pt-RTD는 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 1000℃, 120분 열처리를 거친후,<sup>[12-13]</sup> 특성을 분석하였다.

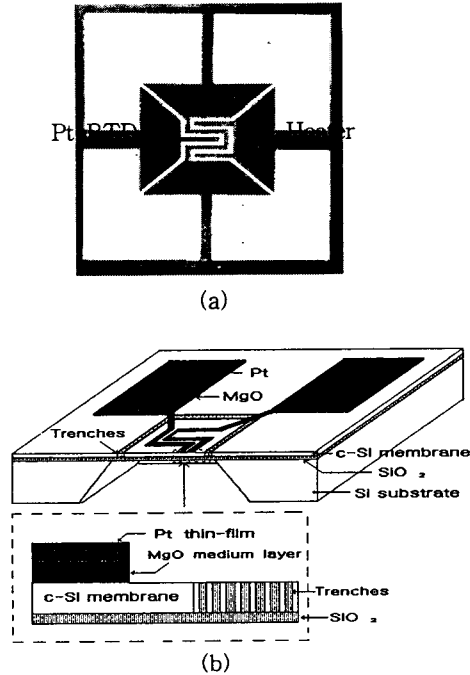


Fig. 1. (a) Surface photograph of Pt thin-film type micro-heater and Pt-RTD fabricated on the SOI membrane and trench structures and (b) A cross-sectional view of a micro-heater with trenches on the SOI membrane.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 MgO 박막위에 증착된 백금박막의 열처리에 따른 표면 SEM 사진이다. 열처리전 표면은미소패턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을 보이고 있으나, 1000℃, 120분 열처리를 함으로써 결정립이 형성되어 입자들의 경계가 현저하며 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 측정되

므로 백금 벌크의 비저항 값인  $10.8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에 가까워짐을 알 수 있다.<sup>[13]</sup> 따라서, 열처리를 행함으로써 물리적·전기적 특성이 크게 개선됨을 알 수 있다.

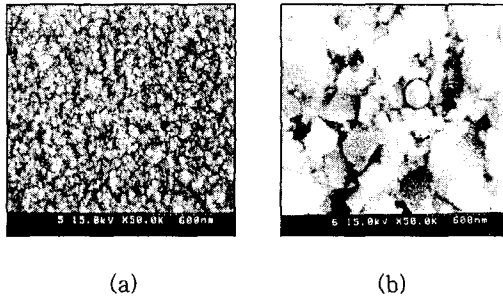


Fig 2. Surface SEM pictures of Pt thin-film deposited on MgO medium layer (a) without annealing and (b) with annealing temperature of 1000°C for 120 min.

그림 3은 Pt/MgO 이중박막의 열처리에 따른 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. Pt/MgO 이중박막에서 열처리 전·후 모두 백금 피크만이  $2\theta = 39.6^\circ$  부근에 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있으며 열처리를 행함으로써 intensity가 더욱 증가하고 잔여피크가 크게 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리 후에도 백금박막이 MgO 박막과 반응이 없으며 고유의 특성을 가짐을 알 수 있다.<sup>[14]</sup>

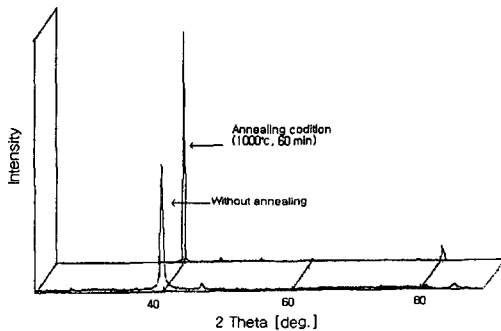
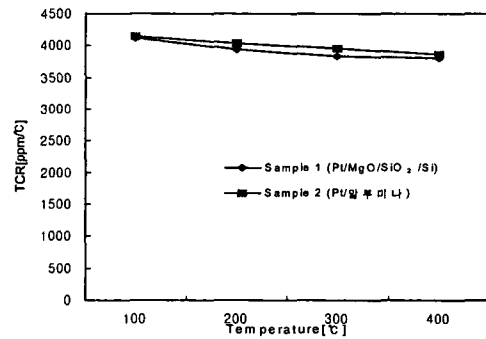


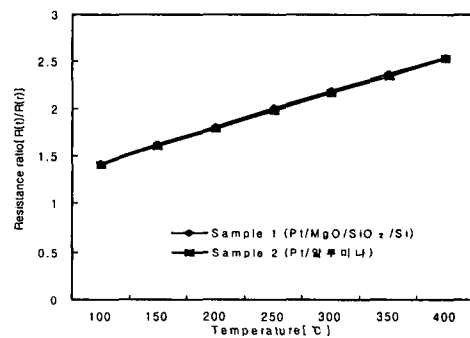
Fig. 3. XRD patterns of Pt/MgO bilayer thin-films according to annealing condition.

그림 4는 제작된 Pt-RTD의 온도변화에 따른 TCR 값 및 저항변화율을 각각 나타낸 것이다. 저항변화율은 질소 분위기인 furnace에서 상온에서부터 400°C까지의 온도범위에서 측정하였다. Sample 1은 Si기판상에 Pt/MgO 이중박막을 Sample 2는 알루미늄기판상

에 백금을 증착하여 각각 제작한 박막형 Pt-RTD의 특성이다. Si기판상에 MgO 박막을 매개층으로 제작된 박막형 Pt-RTD의 특성이 알루미늄기판상에 제작된 박막형 Pt-RTD와 거의 비슷한 값의 TCR값을 얻었다.<sup>[15]</sup> 그림 4(a)에서 Sample 1 RTD의 TCR값은 백금 벌크에 가까운 3927 ppm/°C의 평균값을 가지며, TCR값의 표준편차를 분석한 결과 1°C당 0.7 ppm/°C로 매우 선형성이 좋은 특성을 얻었다. 그림 4(b)는 (a)의 TCR값을 저항변화율로 나타낸 것이다. 온도변화에 따른 저항변화율이 거의 직선에 가깝고 선형성이 양호함을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 4. Variations of (a) TCR value and (b) the resistance ratio of Pt-RTD fabricated on the Si and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrate.

그림 5는 Si기판, Si 멤브레인,<sup>[16]</sup> SOI구조의 멤브레인 그리고 SOI와 트랜치 구조(트랜치 개수 : 10, 폭 : 15 μm, 간격 : 15 μm)의 멤브레인상에 MgO 박막을 매개층으로 각각 제작한 백금박막 미세발열체의 인가전력에 따른 발열특성을 나타낸 것이다. Si기판상에 제작된 미세발열체는 Si의 높은 열전도도

에 의해 발열특성이 낮으며, 열손실을 줄이기 위해 멤브레인을 형성하므로 열손실이 줄므로 발열특성이 향상됨을 알 수 있다. SOI 멤브레인에 제작할 경우, Si 벌크쪽으로 일어나는 열전도에 의해 열손실을 줄이므로 또한, 개선되었다. 더구나, SOI 멤브레인과 트랜치 구조상에 제작된 미세발열체는 Si측면으로의 열전도에 의한 열손실까지도 줄일 수가 있기 때문에 0.9 W의 인가전력에서 580°C 이상발열특성이 크게 향상됨을 알 수 있다.

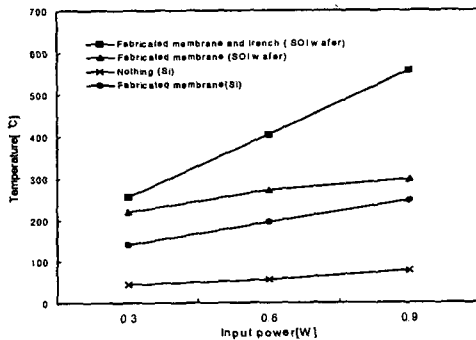


Fig. 5. Thermal characteristics of micro-heaters fabricated on the Si substrate, Si membrane and SOI membrane with trenches, respectively.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 SOI 멤브레인과 멤브레인 림부분에 트랜치를 형성된 구조상에 MgO 박막을 매개층으로 이용한 백금박막형 RTD가 집적화된 미세발열체를 제작 및 측정·분석하였다. SOI 멤브레인 부분에 트랜치를 형성함으로써 전도에 의한 열손실을 줄이며 외부와의 열차단을 시켜서 발열특성이 크게 향상되었다. 따라서, 미세발열체 제작시 SOI 멤브레인 림상에 트랜치를 구성함으로써 저소비전력으로 동작온도를 정확히 제어가 가능하며 외부회로에 열적 영향을 최소화할 수 있다.

한편, 매개층 MgO 박막은 발열체 물질인 백금과 고온의 열처리시에도 화학적 반응 없이 백금의 부착 특성을 개선시켰으며 완벽한 절연특성을 보였다. 집적화된 박막형 Pt-RTD의 TCR값은 평균 3927 ppm/°C의 높은 값을 가지며 선형성이 1°C 당 편차가 0.7 ppm/°C로 우수하며 DIN 및 JIS의 규격을 만족하였다. 또한, 제작된 백금박막형 미세발열체는 외부와의 열적 차단효과로 인가전력 0.9 W에서 580°C

이상의 우수한 발열특성을 나타내었다.

따라서, SOI 멤브레인과 멤브레인 림부분에 트랜치를 형성된 구조상에 MgO막을 매개층으로 제작된 백금박막형 RTD와 미세발열체는 집적화 마이크로 열센서 및 액추에이터 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] P. M. Sarro, *Sensors & Actuators A*, 31 (1992)138.
- [2] M. A. Gajda, et. al., *Sensors & Actuators A*, 49(1995)1.
- [3] L. Qiu, et. al., *Trans. Eurosens. IX*, 130-C2(1995)520.
- [4] M. Parameswaran et al, *IEEE Electron Device Letters*, 13(1991)57.
- [5] E. Yoon et al., *IEEE Trans. on Electron Devices*, 39(1992)1376.
- [6] J. W. Garderer et al., *Sensors & Actuators B*, 26(1995)135..
- [7] U. Dibbern, *Sensors & Actuators B*, 2(199)66.
- [8] V. V. Luchinin, *The 7th Conf. on Sensor Technology*, (1996)30.
- [9] U. Dibbern, *Sensors & Actuator B*, 2(1990)63.
- [10] D. Mutschall, et. al., *Trans Eurosens. IX*, 57(1995)256.
- [11] S. H. Lee, et. al., *J. Korean Sensors Society*, 5(1996)69.
- [12] G. S. Chung, et. al., *J. Korean Sensors Society*, 6(1997)81.
- [13] G. S. Chung, et. al., *J. KIEEME*, 9(1996) 911.
- [14] G. S. Chung, et. al., *Sensors & Materials*, 10(1998)251.
- [15] G. S. Chung, et. al., *J. Korean Sensors Society*, 9(1998)171.
- [16] G. S. Chung, et. al., *J. KIEEME*(to be published).