

## 알루미늄산화막을 매개층으로 이용한 백금 미세발열체의 제작과 발열특성

### The Fabrication of Pt Micro Heater Using Aluminum Oxide as Medium Layer and Its Thermal Characteristics

노 상 수\* 동서대학교 전자기계공학부

정 귀 상 동서대학교 전자기계공학부

Sang-Soo Noh\* Division of Electronics and Mechanical Eng., Dongseo University

Gwiy-Sang Chung Division of Electronics and Mechanical Eng., Dongseo University

#### Abstract

The electrical and physical characteristics of aluminum oxide and Pt thin films on it, deposited by reactive sputtering and DC magnetron sputtering, respectively, were analyzed with increasing annealing temperature(400~800°C) by four point probe, SEM and XRD. Under 600°C of annealing temperature, aluminum oxide had the properties of improving Pt adhesion to SiO<sub>2</sub> and insulation without chemical reaction to Pt thin films and the resistivity of Pt thin films was improved. But these properties of aluminum oxide and Pt thin films on it were degraded over 700°C of annealing temperature because aluminum oxide was changed into metal aluminum and then reacted to Pt thin films deposited on it. The thermal characteristics of Pt micro heater were analyzed with Pt-RTD integrated on the same substrate. In the analysis of properties of Pt micro heater, active area was smaller size, Pt micro heater had better thermal characteristics. Temperature of Pt micro heater fabricated on membrane was up to 340°C with 1.2watts of the heating power due to reduction of the external thermal loss.

#### 1. 서 론

최근 Si 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 고속응답 및 대량생산이 가능한 마이크로센서의 연구가 가속화되고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 센서들중 가스센서, 진공센서, 유량/유속센서등은 가스분자와 센서물질 사이의 화학적 반응을 출력신호로 이용하게 된다.<sup>[2-4]</sup> 이러한 원리에서 센서의 동작온도는 가스의 흡착(adsorption) 및 탈착(desorption) 그리고 확산에 많은 영향을 미치게 되어 센서의 동작 특성(감도, 선택성, 응답시간)을 최적화시키는데 가장 중요한 요소가 된다. 그러므로 이러한 센서들은 일정한 동작온도를 유지하기 위해 미세발열체를 장착하고 있다. 현재까지 실리콘 미세가공기술을 이용한 미세발열체에 관한 연구는 SiC 박막,<sup>[5]</sup> Poly Si,<sup>[2]</sup> NiFe Alloy,<sup>[6]</sup> NiCr,<sup>[7]</sup> Pt/Ti,<sup>[8]</sup> Pt/Cr<sup>[9]</sup> 등 활발히 진행되고 있는데, 이처럼 마이크로머싱기술로 제작된 미세발열체는 저전력소비, 정확한 온도제어, 저열적 용량 그리고 센서 어레이화가 용이하다. 본 연구에서는 Si 기판을 기본으로 고온에서 센서의

특성에 영향을 미칠 수 있는 Si과 감지 물질 및 발열체 물질 사이의 반응을 피할 수 있고<sup>[10]</sup>, Pt의 부착특성을 향상시킬 수 있는 알루미늄산화막과 화학적, 열적 안정성이 높으며 선형적 응답특성이 양호한 Pt<sup>[11, 12]</sup>를 이용하여 미세발열체를 제작하였다. 반응성 스퍼터링으로 형성되어 매개층으로 이용된 알루미늄산화막과 Pt 박막의 열처리에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였다. 그리고 미세발열체와 온도센서를 동일 기판상에 제작하여 인가전력에 따른 발열체의 발열특성을 분석하였으며 외부와의 열적차단을 위해 전기화학적 식각정지법을 이용하여 Si 멤브레인을 제작하였고 멤브레인상에 제작된 미세발열체의 발열특성도 분석하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 열처리 시료의 제작

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

정을 거치고 자연산화막을 제거 시킨 후 열산화막을 3000Å 성장시킨 Si를 사용하였다. SiO<sub>2</sub>와 Pt 박막과의 부착특성을 개선시키기 위해 알루미늄 타겟을 이용한 반응성 스퍼터링으로 알루미늄산화막을 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였다. 발열체 물질인 Pt는 DC 마그네트론 스퍼터링으로 3000Å 증착시켰다. 반응성 스퍼터링으로 형성된 알루미늄산화막의 열처리 특성 및 Pt 박막에 미치는 영향은 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 400~800°C 온도범위에서 열처리를 거친후 four-point probe, a-step, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다

## 2.2 미세발열체의 제작

본 실험에서 미세발열체는 photolithography 공정과 lift-off 방법을 이용하여 제작하였다. 그림 1은 동일 기판에 제작된 서로 다른 구조와 크기를 갖는 Pt 미세발열체와 Pt-RTD 온도센서를 나타낸 것이다. 그리고 열손실을 줄이고 외부와의 열적차단을 위한 멤브레인 제작은 N-type epi.(불순물 농도 : 10<sup>14</sup>cm<sup>-3</sup>)층이 10μm 성장된 P-type(불순물 농도 : 10<sup>14</sup>~10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>) (100) Si 기판을 기본으로 하여 전기화학적 식각정지법으로 TMAH 25wt.%/IPA 17 vol.%/Pyrazine 0.1g 수용액에서 인가전압 3V로 Si를 이방성 식각하여 제작하였다. 그림 2는 이방성 식각된 Si의 멤브레인상에 제작된 미세발열체와 RTD 온도센서의 단면을 나타내고 있다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD 온도센서는 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 600°C, 60분 열처리를 거친후 그 특성을 분석하였다. SOG(spin-on-glass)를 spin coating 한후 공기중에서 100°C(30분), 200°C(30분), 350°C(30분) 그리고 500°C(30분)에서 순차적으로 baking하여 발열체 물질과 센서 물질의 보호막으로 이용하였으며 silver epoxy를 이용하여 Pt-wire를 bonding하였다. 제작된 미세발열체와 Pt-RTD 온도센서의 특성은 대류에 의한 영향을 최소화하기 위해 분위기 가스과 진공도의 제어가 가능한 밀폐시스템 내에서 분석하였다.

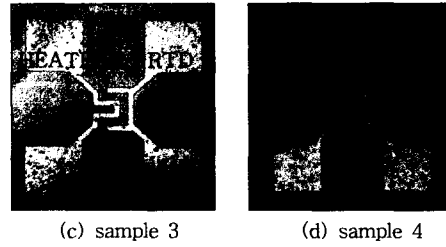
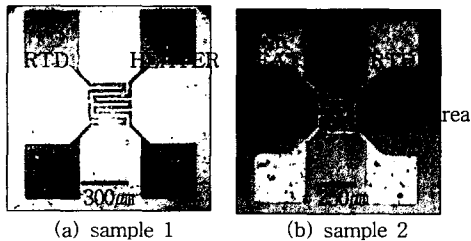


그림 1. 매개층 알루미늄산화막 위에 제작한 Pt 미세발열체와 Pt-RTD의 현미경 표면사진.

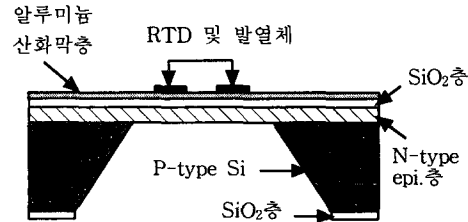


그림 2. 멤브레인상에 제작된 RTD 온도센서 및 미세발열체의 단면도.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 알루미늄산화막과 Pt 박막의 열처리 특성

그림 4는 Ar : O<sub>2</sub> = 1 : 1 비율로 반응성 스퍼터링으로 형성된 알루미늄산화막과 그 위에 형성된 Pt 박막의 열처리 온도에 따른 면저항 및 비저항의 변화를 각각 나타낸 것이다. Pt 박막의 비저항은 a-step으로 박막의 두께를 측정된 후 four point probe으로 측정된 면저항을 곱하여 산출하였다. 반응성 스퍼터링으로 형성되어 매개층으로 이용된 알루미늄산화막은 발열체 물질인 Pt와 화학적 반응없이 Pt의 부착특성을 개선시켰으며 600°C 이하의 열처리 조건에서는 완벽한 절연 특성을 보였으나 반응성 스퍼터링시 알루미늄과 산소의 불완전한 결합으로 인해 그 이상의 열처리 온도에서는 그 특징이 저하됨을 알 수 있었다. 알루미늄산화막을 매개층으로 증착된 Pt 박막은 열처리 온도가 증가할수록 Pt의 단결정성이 증가하여 면저항 및 비저항이 개선되었으나 600°C 이상에서는 불완전한 알루미늄산화막의 영향으로 그 특징이 저하되고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 알루미늄산화막 위에 증착된 Pt 박막의 열처리 온도변화에 따른 표면 SEM 사진이다. 열처리 전 표면은 미스페턴 형성에 유리한 균일한 표면 특성을

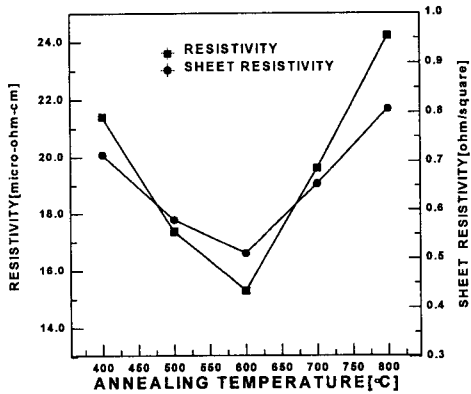


그림 3. 열처리 온도에 따른 매개층 알루미늄산화막 위에 증착된 Pt 박막의 비저항 및 면저항 변화.

을 보이고 있으며 600°C까지 그 특성이 크게 변화가 없으나 700°C 이상의 표면사진을 보면 그 특징이 상당히 저하됐음을 알 수 있다. 이는 알루미늄의 용융점 ( $\approx 660^\circ\text{C}$ ) 이상의 열처리 온도에서는 알루미늄산화막의 특성이 금속 알루미늄 특성을 갖게되어, 금속 알루미늄의 결정립 성장에 따른 island 생성 및 Pt 박막과의 반응으로 균일한 특성을 저하되는 것으로 생각된다. 800°C 이상에서 열처리를 거친 시편의 경우 알루미늄산화막 특성변화에 따라 Pt 박막의 부착특성이 상당히 저하됨을 본 실험에서 확인할 수 있었다.

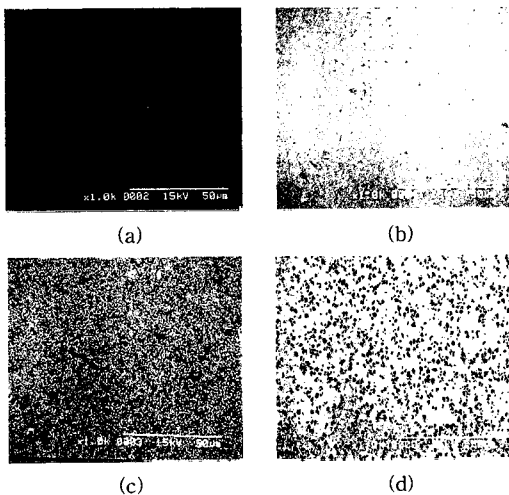


그림 4. (a) 열처리를 하지않은, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C 열처리한 알루미늄산화막에 증착된 Pt 박막의 표면 SEM 사진.

그림 5은 열처리 온도증가에 따른 알루미늄산화막의 조성변화를 분석한 X선 회절패턴변화를 나타낸 것이다. 열처리전 및 600°C 이하의 열처리 조건에서는 알루미늄산화막의 피크만이  $2\theta = 28.5^\circ$  부근에 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 600°C 이상 열처리 온도가 증가할수록 알루미늄산화막 피크는 사라지는 반면 새로운 결정면을 나타내는 피크치가 나타남을 볼 수 있는데, JCPDS 자료 분석결과 알루미늄의 회절피크로 확인되었다.

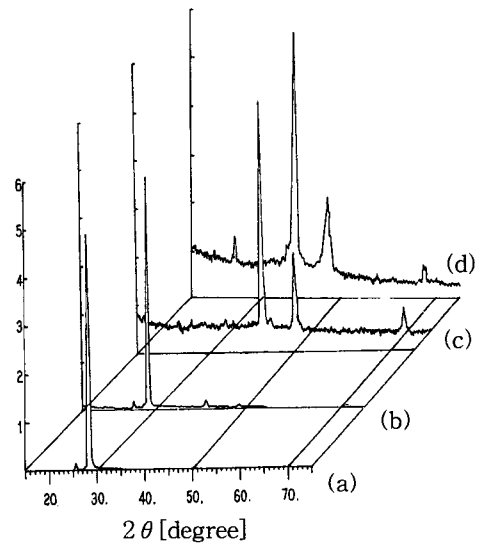


그림 5. (a) 열처리를 하지않은, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C 열처리한 알루미늄산화막의 X선 회절패턴.

### 3.2 Pt 미세발열체의 발열특성

그림 6은 600°C, 60분 열처리를 거친 각 sample (그림1 참조)의 인가전력에 변화에 따른 발열체의 발열특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 active area의 면적이 작을수록 대류에 의한 열손실 및 Si기판의 전도에 의한 열손실이 줄어들게 되어 발열특성이 개선되고 있음을 알 수 있다. Active area의 면적이  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 인 sample 3의 경우 인가전력 1.5watts에서 400°C 정도의 양호한 발열특성을 나타내고 있다. Active area 면적이  $160\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ 로 가장 작은 sample 4의 경우 발열체와 Pt-RTD의 구조 및 기하학적인 문제로 그 특성이 저하된 것으로 생각된다.

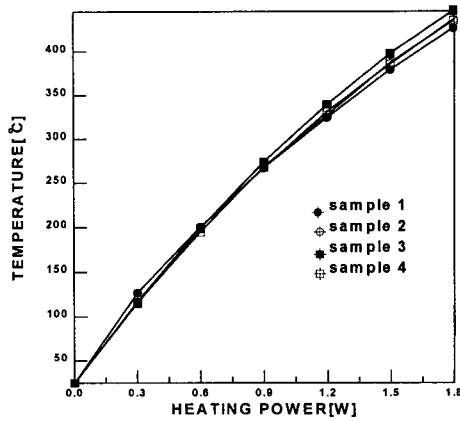


그림 6. 알루미늄산화막 위에 제작된 Pt 미세발열체의 발열특성.

그림 7 (a), (b)는 활성영역이  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 인 발열체의 발열특성과 멤브레인 상에 제작된 발열체의 발열특성을 각각 나타내고 있다. 멤브레인상에 제작된 발열체는 뛰어난 외부와의 열적차단 특성으로 월등히 우수한 발열특성을 나타내고 있음을 알 수 있으며 인가 전력, 1.2W에서  $340^\circ\text{C}$  정도의 높은 발열특성을 나타내고 있다.

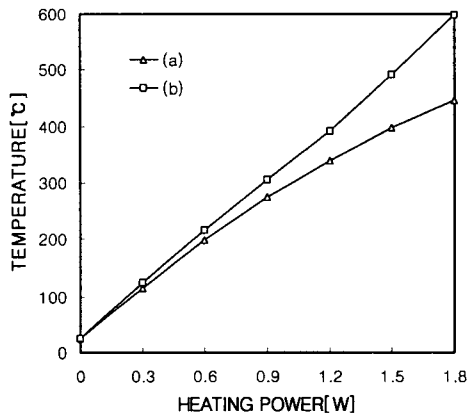


그림 7. 멤브레인상에 제작된 미세발열체의 발열특성.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링 및 DC 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착된 매개층 알루미늄산화막과 Pt 박막의 열처리에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였으며, 매개층 알루미늄산화막을 이용하여 Pt-RTD와 Pt 미세발열체를 동일 기판내에 제조한 후 미세발

열체의 발열특성을 분석하였다.

반응성 스퍼터링으로 형성된 매개층 알루미늄산화막은 발열체 물질인 Pt와 화학적 반응없이 Pt의 부착 특성을 개선시켰으며  $600^\circ\text{C}$  이하의 열처리 조건에서는 완벽한 절연특성을 보였으나, 반응성 스퍼터링시 알루미늄과 산소의 불완전한 결합으로 인해 그 이상의 열처리 온도에서는 그 특징이 저하됨을 알 수 있었으며, 한편 알루미늄산화막을 매개층로 증착된 Pt 박막은 열처리 온도가 증가할수록 Pt의 단결정성이 증가하여 면저항 및 비저항이 개선되었으나  $600^\circ\text{C}$  이상에서는 불완전한 알루미늄산화막의 영향으로 그 특징이 저하됨을 four point probe,  $\alpha$ -step, SEM, 및 XRD 통해 알 수 있었다. Pt-RTD를 이용한 active area의 크기가 다른 각 sample의 발열특성 분석에서 active area의 면적이 작을수록 대기 가스의 대류에 의한 열손실과 Si기판의 열전도에 의한 열손실이 줄어들게 되어 발열특성이 개선됨을 알 수 있었다. 전기화학적 식각정지법으로 제작된 Si 멤브레인상에 제작된 미세발열체의 경우 외부와의 뛰어난 열적차단 특성으로 인가전력 1.2watts에서  $340^\circ\text{C}$ 의 높은 발열특성을 나타내었다.

#### 참고 문헌

- [1] P. M. Sarro, Sensors & Actuators A, 31, 138 (1992).
- [2] M. A. Gajda, et. al., Sensors & Actuators A, 49, 1 (1995).
- [3] L. Qiu, et. al., Trans. EUROSENSOR IX, 130-C2, 520 (1995).
- [4] S. Sugiyama, et. al., Extended Abstracts of the 21st Conf on Solid State Device and Materials, B-3-1, 189 (1989).
- [5] V. V. Luchinin, The 7th Conf. on Sensor Technology, 30 (1996).
- [6] U. Dibbern, Sensors & Actuator B, 2,63 (1990).
- [7] D. Mutschall, et. al., Trans. EUROSENSORS IX, 57-PA6, 256 (1995).
- [8] W. Y. Chung, et. al., Sensors & Actuators B, 20, 139 (1994).
- [9] S. H. Lee, et. al., Korean Sensors Society, 5, 5, 69, (1996).
- [10] G. S. Chung, et. al., Korean Sensor Society, 6, 2, 81 (1997).
- [11] G. S. Chung, et. al., J. KIEEME, 9, 911-917, (1996).
- [12] G. S. Chung, et. al., Korean Sensor Society, 6, 5, 400 (1997).