

멤브레인 구조를 이용한 미세발열체형 유량센서의 제작과 그 특성

11-12-8

Fabrication of Microheater Flow Sensors Using Membrane Structure and Its Characteristics

정귀상*, 노상수*
(Gwiy-Sang Chung, Sang-Soo Noh)

Abstract

This paper describes the characteristics of Pt microheater using aluminum oxide films as medium layer and its application to flow sensors. Pt microheater have heating temperature of 390°C at heating power of 1.2 W. Output voltages of flow sensors which were fabricated by integrating sensing-part with heating-part increase as gas flow rate and its conductivity increase. At O₂ flow rate of 2000 sccm, heating power of 0.8 W, output voltage of flow sensor is 101 mV under bridge-applied voltage of 5 V.

Key Words(중요용어) : Microheater(미세발열체), Heating temperature(발열온도), Heating power(인가전력), Medium layer(매개층), Flow sensor(유량센서), Micromachining(마이크로머시닝)

1. 서 론

가스의 유량, 유속의 측정과 제어는 일상생활 및 산업 여러 분야에서 핵심적인 기술중의 하나이며, 최근에는 에너지 절약기술이나 각종 첨단 기술에서 그 필요성이 급격히 증가하고 있다.¹⁻²⁾ 유량센서에는 여러 종류가 있으며 유체 역학적인 현상을 이용하여 유속을 측정하는 역학적 유량센서와 유속을 열에너지의 변동이라는 이차적인 변환에 의해 측정하는 열형 유량센서의 형태로 크게 나눌 수 있다. 열형 유량센서에서 발열저항체를 이용하는 마이크로 박막 유량센서는 열선유량계의 원리를 반도체 웨이퍼에 구현한 것으로 열선유량계보다 쉽게 제작이 가능할 뿐만 아니라 가격, 크기, 강도에서 월등히 뛰어나다. 이러한 센서는 유체의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있는 단계에서 속도, 방향, 유체

의 종류, 압력 등 다변수 측정 수준에 이르기까지 폭넓게 보고되고 있다. 특히, 최근에는 기존의 발달된 마이크로일렉트로닉기술과 마이크로머시닝기술을 이용한 집적화, 다기능, 고기능 마이크로 유량센서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.³⁻⁵⁾ 이와같은 센서의 제작에 있어, Si 기판을 이용하므로 기존의 미세가공기술의 응용이 가능하여 유량센서의 대량생산이 용이하고, 집적화가 가능하며, 소형화에 의해 소비전력을 저하시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.⁶⁾

백금은 화학적, 열적 안정성이 높으며 외부입력에 대한 선형적 응답특성이 양호하여 일반적으로 고온을 취급하는 센서분야에 많이 응용되고 있다.⁷⁻⁸⁾ Si 기판을 기본으로 하는 센서의 응용에서 백금박막의 SiO₂층에 대한 부착특성의 저하로 일부 금속물질(Ti, Cr)을 매개층으로 이용하는 연구가 진행되고 있다.⁹⁻¹⁰⁾ 그러나 이처럼 금속을 이용할 경우 백금박막의 결정화를 위한 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유특성을 저하시킬 뿐만 아니라 백금박막의 부착특성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다. 이처럼 고온에서 백금과의 반응을 피하면서 부착특성을 개선시키는 매개층으로 금속물질보다 유

* : 동서대학교 전자기계공학부
(부산시 사상구 주현동 산 69-1, Fax: 051-320-1592
E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr)
1998년 2월 23일 접수, 1998년 9월 10일 심사완료

전체물질이 보다 안정하다.¹¹⁾ 또한, 외부와의 열적차단 특성을 개선하여 센서의 출력특성을 향상시키며 고속 유량/유속에 응용하기 위해서는 기계적 특성이 나쁜 유전체 멤브레인 보다는 Si 멤브레인 구조가 보다 바람직하다.

본 연구에서는 마이크로머시닝기술에 의해서 제작된 Si 멤브레인 구조와 알루미늄산화막을 매개층으로 이용한 백금박막 미세발열체를 제작하여 발열 특성을 분석하였다. 또한, 발열부와 감지부가 집적화된 유량센서를 제작하여 유체의 종류, 유량 및 센서의 동작온도에 따른 유량센서의 출력특성을 비교·분석하였다.

2. 실험방법

1) 유량센서의 제작

본 연구에서는 n-type epi.(불순물 농도 : 10^{14} cm³) 층이 10 μm 성장된 p-type(불순물 농도 : 10^{14} ~ 10^{15} cm³) (100) Si 기판을 기본세척 공정을 거치고 자연산화막을 제거시킨 후, 열산화막을 4000Å 성장시켜 이용하였다. SiO₂와 백금박막의 부착특성을 개선시키기 위해 알루미늄 타겟을 이용한 반응성(O₂ : Ar = 1 : 1) 스퍼터링으로 알루미늄산화막을 1000Å 증착시켜 매개층으로 이용하였고 감지물질인 백금박막은 DC 마그네트론 스퍼터링으로 3000Å 증착시켰다. 그리고 외부와의 열적차단을 위해서 TMAH 25 wt.%/IPA 17 vol.%/ Pyrazine 0.1 g의 조성비를 갖는 이방성 식각용액과 전기화학적 식각정지법으로 인가전압 3 V로 10 μm 두께의 Si 멤브레인을 제작하였다.¹²⁻¹³⁾

표 1. 알루미늄산화막과 백금박막의 증착 및 열처리 조건

Table 1. Deposition and annealing conditions of aluminum oxide and Pt thin films

증착박막	알루미늄산화막	백금박막
타겟	Al (2" diameter)	Pt (2" diameter)
기판 온도	상온	300℃
스퍼터링 Gas Flow Rate	Ar : 35 sccm O ₂ : 35 sccm	Ar : 70 sccm
초기 진공	1×10^{-6} Torr 이하	1×10^{-6} Torr 이하
Working 진공	20 mTorr	5 mTorr
입력 Power 밀도	7 W/cm ²	7 W/cm ²
후열처리 조건 (for 60 min, in N ₂)	600℃	600℃

표 1은 매개층과 센서물질로 각각 이용된 알루미늄산화막과 백금박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

그림 1의 (a), (b)는 제작된 센서의 평면사진과 단면도를 각각 나타낸 것이다. 센서는 발열부와 감지부의 저항체로 이루어져 있으며 서로 매우 근접하게 위치해 있고 발열체의 발열온도에 감지부가 충분히 동작할 수 있도록 감지부 저항체가 발열부 저항체의 주위를 둘러싸도록 설계·제작하였다.

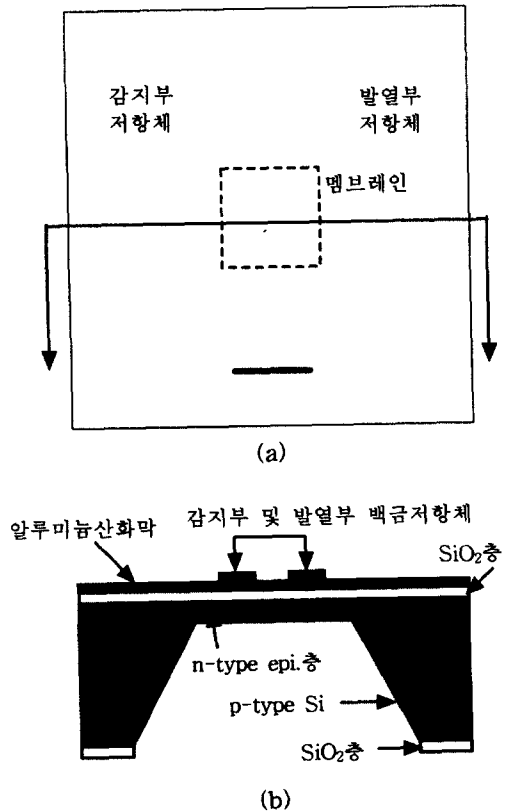
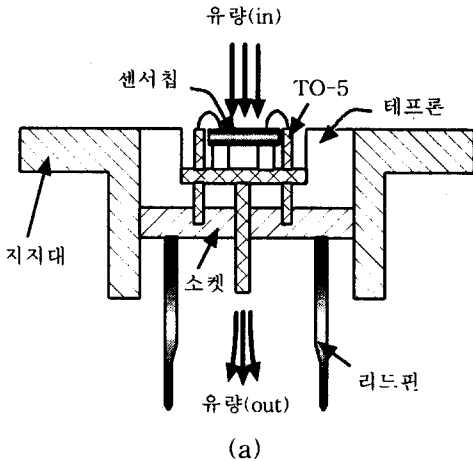


그림 1. 제작된 유량센서의 (a) 평면사진 및 (b) 단면도.

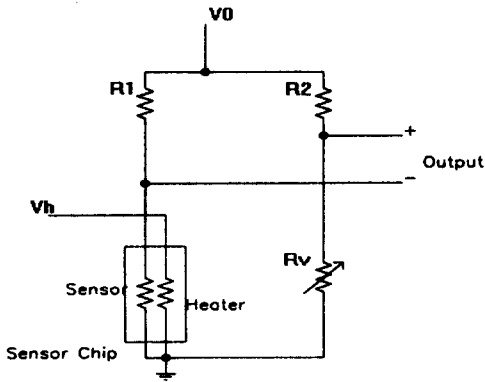
Fig. 1. (a) Plane photograph and (b) cross-section of fabricated flow sensors.

미세발열체의 발열특성은 발열체와 집적화된 RTD(Resistance Thermometer Devices) 온도센서를¹⁴⁾ 이용하여 측정하였으며, 유량센서는 그림 2(a)와 같은 구조로 장착하여 유체의 흐름에 대한 출력특성을

평가하였다. 그림 2(b)와 같이 유량의 흐름에 대해 전기적인 출력신호를 얻기 위해 유량센서내의 저항체와 외부의 저항을 브릿지회로로 연결하고 브릿지 인가전압(V_h)을 5 V로 유지하면서 출력전압을 측정·분석하였다. 그림 2(b)에서 V_h 는 센서의 동작온도를 유지하기 위한 발열체의 인가전압이다.



(a)



(b)

그림 2. 제작된 센서의 (a) 홀더와 (b) 전기적 출력신호를 얻기 위한 브릿지회로.

Fig. 2. (a) Holder of fabricated flow sensors and (b) bridge circuit to obtain electrical output signal.

3. 결과 및 고찰

그림 3의 측정값 A, B는 멤브레인을 제작하기전

의 Si 기판을 이용한 미세발열체의 발열특성과 멤브레인상에 제작된 미세발열체의 발열특성을 각각 낸 것이다. 멤브레인상에 제작된 미세발열체는 열차단 특성이 우수하여 인가전력 1.2 W에서 390°C의 발열특성을 나타내었다.¹⁰⁾

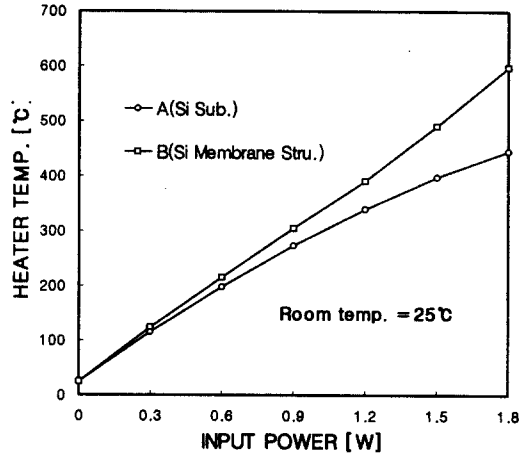


그림 3. 인가전력에 따른 미세발열체의 발열특성.

Fig. 3. Heating characteristics of micro heater with input power.

그림 4는 유량센서의 제작에 이용된 기판의 종류에 따른 센서의 특성을 나타낸 것이다. 측정치 A, B 그리고 C는 Al_2O_3 기판(두께 : 450 μm), Si 기판(두께 : 430 μm) 그리고 Si 기판에 외부와의 열적차단을 위해 멤브레인 구조를 이용하여 각각 제작된 유량센서들의 산소유량에 따른 출력전압을 나타낸 것이다. 0.065 $W/cm \cdot ^\circ C$ 의 열전도도를 갖는 Al_2O_3 기판을 이용했을 때는 뛰어난 외부와의 열적차단효과로 산소유량 2000 sccm에 108 mV의 출력 전압을 나타냈으나, 1.5 $W/cm \cdot ^\circ C$ 의 열전도도를 갖는 Si 기판을 이용한 경우에는 78 mV 정도로 출력특성이 감소하였다. 그러나 멤브레인 구조를 갖는 Si 기판에 제작된 유량센서는 외부와의 열적차단 특성이 개선됨에 따라 Si 기판의 열전도에 의한 외부로의 열손실을 최소화할 수 있어 출력전압이 상당히 증가하여 동일 조건(발열체의 인가전력 및 기체의 유량)하에서 101 mV의 높은 출력전압을 얻을 수 있었다.

그림 5는 발열체의 인가전력(0.3~0.8 W)에 따른 멤브레인상에 제작된 유량센서의 출력특성을 나타낸 것이다. 발열체 인가전력이 클수록 센서의 동작온도가 높아짐에 따라 산소의 동일 유량에 대해 보

다 높은 출력전압이 나타남을 알 수 있다. 이처럼 마이크로 열센서에서 센서의 동작온도는 출력특성에 큰 영향을 미치는 결정적인 요소로 발열체의 발열특성이 센서 성능을 크게 좌우함을 알 수 있다.

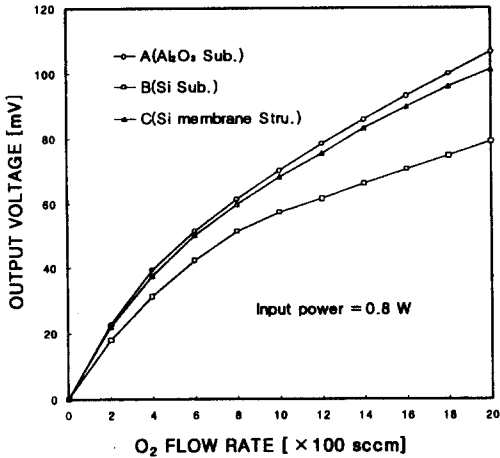


그림 4. 기판의 종류 및 구조에 따른 출력특성.
Fig. 4. Output characteristics according to kind and structure of substrate.

아르곤(Ar)으로 300K에서 열전도도가 각각 0.0266 W/cm·℃, 0.0259 W/cm·℃ 그리고 0.0177 W/cm·℃이다. 열전도도가 비슷한 산소와 질소의 경우, 동일유량에서 출력전압은 차이가 거의 없었으나 열전도도가 다소 떨어지는 아르곤의 경우에는 출력전압이 산소와 질소에 비해 다소 떨어짐을 알 수 있다.

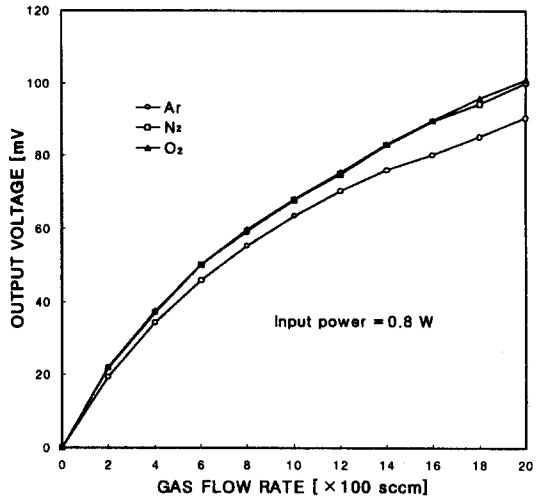


그림 6. 가스종류에 따른 유량센서의 출력특성.
Fig. 6. Output characteristics of flow sensors for various gases.

4. 결 론

본 연구에서는 마이크로머시닝기술에 의해서 제작된 Si 멤브레인 구조와 알루미늄산화막을 매개층으로 이용한 백금박막 미세발열체를 제작하여 발열특성을 분석하였다. 또한, 발열부와 감지부를 집적화된 유량센서를 제작하여 유체의 종류, 유량 및 센서의 동작온도에 따른 유량센서의 출력특성을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Si 멤브레인상에 제작된 백금박막 미세발열체는 외부와의 열적차단 효과가 우수하여 인가전력 1.2 W에서 390℃의 뛰어난 발열특성을 나타내었다. 유체의 종류 및 유량에 따른 유량센서의 출력특성 분석결과, 열전도도가 높은 유체일수록 그리고 유량이 클수록 센서내의 감지부 발열체로부터 빼앗는 열량이 많아져 출력특성이 크게 나타났다. 발열체 인가전력 0.8 W, 산소유량 2000 sccm에서 Si 멤브레인

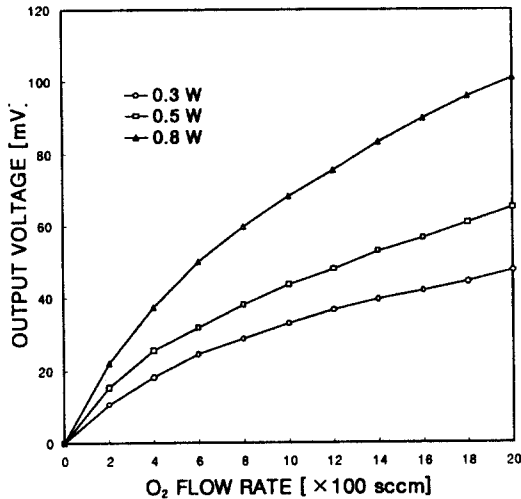


그림 5. 인가전력에 따른 유량센서의 출력특성.
Fig. 5. Output characteristics of flow sensors with input power.

그림 6은 동일 유량의 흐름에서 사용된 가스의 종류에 따른 유량센서의 출력특성을 나타낸 것이다. 실험에 이용된 가스는 산소(O₂), 질소(N₂) 그리고

상에 제작된 유량센서의 출력전압은 101 mV의 높은 출력특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 연구비(과제번호:95-2-08-01-01-03)와 '97산학협동재단의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 논 문

1. R. G. Jonson and R. E. Higash, "A Highly Sensitive Silicon Chip Microtransducer for Air Flow and Differential Pressure Application", *Sensors and Actuators*, 11, 63(1987).
2. M. Sekimura and S. Shirouzu, "Monolithic Si Air Flow Sensor for Low Velocity Sensing", *Transducers' 87*, 356(1987).
3. O. Tabatu, "Fast-Response Silicon Flow Sensor with On-Chip Fluid Temperature Sensing Element", *IEEE Electron Devices*, 33, 361(1989).
4. B. W. van Oudheusden and A. W. van Herwaarden, "Integrated Silicon Flow Sensor", *Sensors and Actuators A*, 21-23, 425(1990).
5. T. Q. Yi and H. J. Bias, "Integrated Multi-Function Sensor for Flow Velocity Temperature and Vacuum Measurements", *Sensors and Actuators*, 19, 3(1998).
6. M. A. Gajda and H. Ahmed, "Applications of Thermal Sensors on Membranes", *Sensors and Actuators A*, 49, 1(1995).
7. G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Formation of Platinum Thin Films for RTD Temperature Sensors", *J. KIEEME*, 9, 2, 911 (1996).
8. G. S. Chung, S. S. Noh, Y. K. Choi and J. H. Choi, "The Characteristics of Pt Micro Heater Using Aluminum Oxide as Medium Layer", *Korean Sensors Society*, 6, 5, 400 (1997).
9. W. Y. Chung, C. H. Shim, S. D. Choi and D. D. Lee, "Tin Oxide Microsensors for LPG Monitoring", *Sensors and Actuators B*, 20, 139(1994).
10. S. H. Yi, I. C. Suh and Y. K. Sung, "A Thermal Properties of Micro Hot Plate and the Characteristics of Pt/Cr Bilayers due to Annealing Temperature", *Korean Sensors Society*, 5, 5, 67(1996).
11. G. S. Chung and S. S. Noh, "Fabrication of the Pt Microheater Using Aluminum Oxide as a Medium Layer and Its Characteristics", *Sensor and Materials*, 10, 5, 251(1998).
12. G. S. Chung and J. S. Park, "The Effect of Pyrazine on TMAH/IPA Si Anisotropic Etching Characteristics", *KIEE*, (to be published).
13. G. S. Chung and C. S. Park, "The Study on Electronicchemical Etch-Stop in TMAH/IPA/Pyrazine Solution", *Korea Sensors Society*, (to be published).
14. G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Characteristics of Platinum Thin Film RTD Temperature Sensors with Annealing Conditions", *Korean Sensors Society*, 6, 2, 81 (1997).