

고속응답, 저소비전력형 마이크로 유속센서의 제작과 그 특성

The fabrication of high-response time, low consumption power, microflowsensor and its characteristics

홍 석 우, 김 병 태, 김 길 중, 정 귀 상

(Seok-Woo Hong, Byung-Tae Kim, Gil-Jung Kim, Gwi-Sang Chung)

Abstract

This paper presents the characteristics of low consumption, high-response time hot-film type micro-flowsensors with SOI(Si-on-insulator) and trench structures. Output voltages increased due to increase of heat-loss from sensor to external. Compared with no-trench on the SOI structure, the micro-flowsensors with trench structures have properties of high output voltage and low consume power. Output voltage of micro-flowsensors with SOI and trench structures was 250 mV at N₂ flow rate of 2000 sccm/min, heating power of 0.3 W. The response time was about 85 msec when input flow was step-input.

Key Words(중요용어) : Microflowsensor(마이크로 유량센서), response time(응답시간), consumption power(소비전력), trench sturcture(드랜치 구조)

1. 서 론

유체의 유량, 유속의 측정과 제어는 일상생활 및 산업 여러 분야에서 핵심기술중의 하나이며, 최근에는 에너지 절약기술이나 각종 첨단기술에서 초미소 영역의 유동측정 및 제어를 위한 고속응답, 저소비 전력형 유량센서의 필요성이 증가하고 있다.^[1-2] 유량센서는 측정원리에 따라 기계식 유량센서와 열형 유량센서로 나눌 수 있으며, 특히 발열저항체형 박막 유량센서는 열선 유량계의 원리를 Si기판에 구현한 것으로 쉽게 제작이 가능할 뿐만 아니라 가격, 크기, 강도에서 월등히 우수하다. 이러한 센서는 유량의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있는 단계에서 속도, 방향, 유체의 종류, 압력 등 다변수 측정 수준에 이르기까지 광범위하게 연구되고 있으며 특히,

도, 방향, 유체의 종류, 압력 등 다변수 측정 수준에 이르기까지 광범위하게 연구되고 있으며 특히, 기존의 반도체 제조공정기술과 마이크로머시닝기술을 이용하여 차압형 유량/유속센서도 최근에 개발되고 있다.^[3-5]

열형 유량센서의 경우, 정확한 동작온도제어 및 고감도를 가지기 위하여 온도센서와 미세발열체의 집적화가 요구된다. 특히, 외부와의 열적 절연에 의한 열손실의 감소와 높은 열전도도를 가진 Si의 열적 격리는 유량센서의 감도향상 및 저전력 소비를 갖기 위하여 중요한 인자이다. 감도 향상 및 소비전력 감소를 위하여 Si 멤브레인이 양호한 기계적, 전기적 특성을 가지므로 센서의 응용에 전반적으로 사용되고 있다. 그러나, Si의 높은 열전도도에 의한 소비전력을 막고 저전력동작과 Si기판 상에서의 주변 회로로의 열전달을 막기 위해서 마이크로 히터 주위에 열적 절연을 이룰 필요가 있다. 이러한 목적으로 멤브레인^[6] 및 산화막을 이용한 공중부유 구조(컨틸

동서대학교 정보통신공학부
(부산광역시 사상구 주례동 산 69-1번지, Fax : 051-320-2122, E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

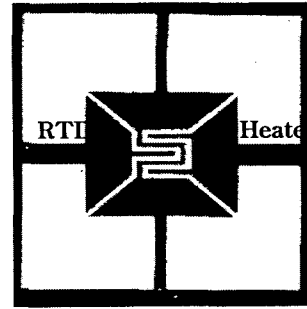
레바, 브릿지)^[7-9] 등 여러 구조가 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 SOI(Si-on-insulator) 멤브레인과 트랜치 구조상에 Pt-RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 제작 및 특성에 관한 것이다.

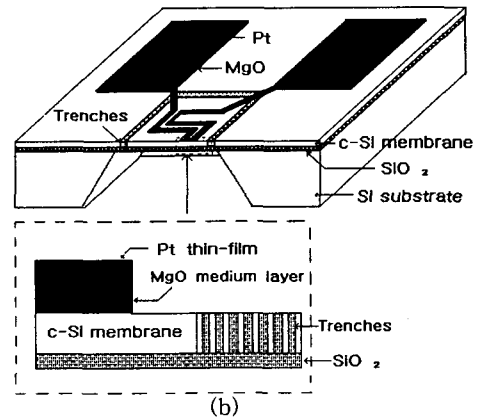
2. 설계 및 제작

유량센서의 설계를 위해 SOI 및 트랜치 구조의 열적절연에 관한 가정을 연구하고 2차원의 FDM 시뮬레이션을 이용해 이를 확인하였다. 2차원 FDM 시뮬레이션은 미세발열체의 형태를 경계조건으로 멤브레인 구조에서 외부로의 전도에 의한 열전달을 해석하였다. 여기서 멤브레인 구조상의 열해석에서 가장 중요시되는 열전도에 의한 열손실을 중심으로 전도되는 열량을 Fourier법칙을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 또한 시뮬레이션에서 가해진 전원은 발열체에서 일정하게 소비되며, 인가전력 0.6 W 기준으로 주변온도는 20°C로 가정했다. 따라서, 트랜치 개수, 폭, 간격 등의 변수에 따른 수치해석 결과로 최적의 유량센서를 설계하였다.

그림 1은 SOI 및 트랜치 구조상에 설계 및 제작된 유량센서의 단면도이다. 열전달에 의한 열손실을 막기 위해 SOI기판에 멤브레인 활성영역(500×500 μm^2)과 멤브레인 립부분에 습식에칭을 통한 트랜치를 10개 구성하였으며, 멤브레인의 두께는 10 μm 로 제작하였고, 트랜치는 깊이, 폭, 간격이 각각 10. 15. 15 μm 로 구성하였다. 또한, 트랜치에 1 μm 의 SiO₂와 SOG(Spin-on-Glass)성분으로 채워서 열적 절연 및 기계적 특성을 향상시켰다. 미세발열체의 제작을 위해서 고온에서 센서의 특성에 영향을 미칠 수 있는 감지물질과 매개층 사이의 반응을 피할 수 있고, 백금의 SiO₂에 대한 부착특성을 향상시킬 뿐 아니라, 특히 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이한 MgO를 매개층으로 사용하였다. 또한, 화학적, 열적 안전성이 높으며 온도에 대한 응답특성이 선형적인 백금을 이용하여 RTD 및 미세발열체를 제작하였다. Pt-RTD와 미세발열체는 고주파 스퍼터링 방법으로 백금과 MgO를 각각 1 μm , 1000Å 증착하여 동일 기판상에 제작하여 동작온도 및 유체의 종류에 따른 유량센서의 출력특성을 분석하였다. 또한, 유량 응답 측정시스템을 구성하여 스텝입력에 따른 유량센서의 응답특성을 평가하였다. 표 1은 MgO와 백금 박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.



(a)



(b)

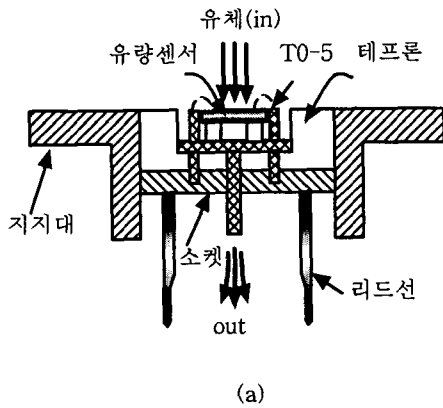
그림 1. SOI 및 트랜치 구조상에 Pt-RTD가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서의 (a) 표면사진 및 (b) 단면도.

표 1. 산화마그네슘과 백금박막의 증착 및 열처리 조건

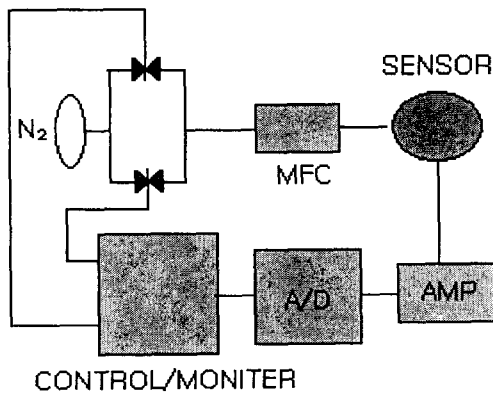
증착박막	MgO 박막	Pt 박막
타겟	MgO (2" diameter)	Pt (2" diameter)
기판 온도	상온	상온
스퍼터링 Gas Flow Rate	Ar : 72 sccm O ₂ : 8 sccm	Ar : 80 sccm
초기 진공	1×10 ⁻⁶ Torr 이하	1×10 ⁻⁶ Torr 이하
Working 진공	20 mTorr	5 mTorr
입력 power 밀도	150 W	90 W
후열처리 조건 (for 120min in N ₂)	1000°C	1000°C

3. 결과 및 고찰

그림 2는 유체의 흐름을 측정하기 위한 유량센서의 홀더 구조 및 응답속도 측정을 위한 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 유량센서의 출력특성을 위하여 유량센서를 TO-5를 이용하여 고정하였고, 주위와의 열차단을 위해 테프론을 사용하였다. 또한, 출력신호를 얻기 위해 RTD와 외부회로의 저항을 브릿지구조로 연결하여 출력전압을 측정하였다. 그림 2(b)는 유량센서의 응답속도를 측정하기 위한 시스템 블록 다이어그램이다. 유량은 MFC로 정확히 측정하였고, 컨트롤러에 의해 밸브를 제어하여 스텝입력을 만들 수 있도록 하였다. 스텝입력을 유량센서에 인가하여 출력된 출력전압을 AMP를 통하여 증폭하였고, 증폭된 값은 A/D 변환기에 의해 컴퓨터로 모니터링 하였다.



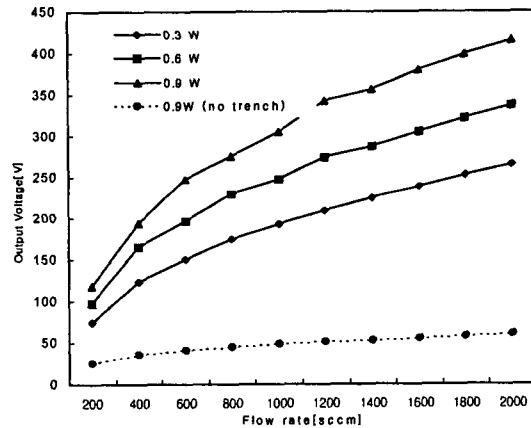
(a)



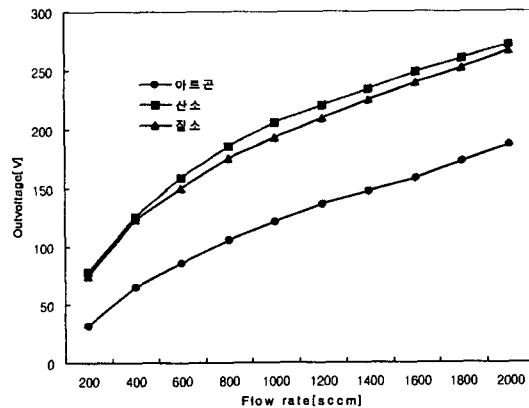
(b)

그림 2. 발열저항체형 마이크로 유량센서의 출력특성 및 응답속도를 측정하기 위한 (a) 패키징 구조 및 (B) 측정시스템.

그림 3은 SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 유량센서의 인가전력 및 유체의 종류에 따른 출력특성을 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 SOI 및 트랜치 구조의 열손실 감소와 열적 격리에 의해 미세발열체의 발열특성이 향상되고 이로 인해 유량센서의 출력특성이 향상되었다. Si 램브레인상에 제작된 유량센서의 출력특성이 0.3 W에서 60 mV의 출력값을 가졌지만, 열손실 감소를 위한 SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 유량센서는 같은 조건하에서 250 mV의 높은 출력값을 가졌다. 또한 선형을 계산한 결과 50%가 개선되었다. 그림 3(b)는 유체종류에 따른 유량센서의 출력특성을 나타낸 것이다. 인가전력을 0.3 W로 고정하여 측정된 결과 질소가 아르곤보다 높은 열전도도를 가지고 있기 때문에 발열체에서 많은 열손실이 생기고 따라서 RTD의 저항변화율이 커지기 때문에 출력값이 높게 나타났다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 인가전압 및 (b) 유체에 따른 제작된 유량센서의 출력특성.

그림 4는 SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 유량센서의 응답특성을 나타낸 것이다. 인가전력은 0.3 W 인가한 상태에서 스텝입력을 200 sccm에서 400 sccm으로 인가하여 A/D 변환기에 의해 컴퓨터에 모니터링 된 것이다. 최고점에서 73%되는 시간이 85 msec로 매우 빠른 응답특성을 가진다

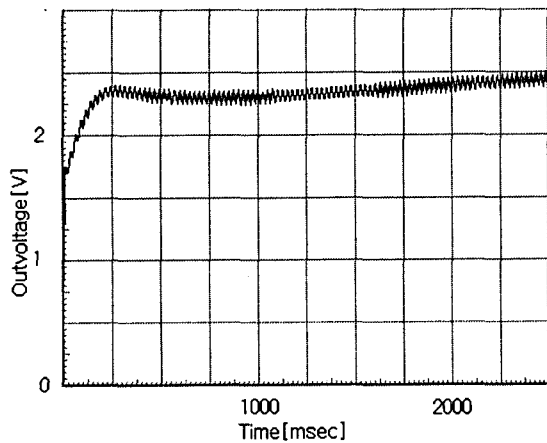


그림 4. 스텝입력에 따른 유량센서의 응답특성.

4. 결 론

본 연구에서는 SOI 및 트랜치 구조상에 RTD와 미세발열체가 집적화된 발열저항체형 마이크로 유량센서를 제작하여 인가전력 및 유체에 따른 출력특성을 분석하였으며, 응답측정 시스템을 구성하여 유량센서의 응답특성을 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기판의 구조에 따라 미세발열체를 제작하여 발열특성을 분석한 결과 SOI 및 트랜치구조상에 제작된 미세발열체의 발열특성이 열손실 감소로 0.9W 인가전력에서 600°C에 가까운 높은 발열특성을 얻을 수 있었다.
- (2) 제작된 미세발열체를 이용하여 발열저항체형 유량센서를 제작해서, 유체의 종류 및 유량에 따른 특성분석 결과, 열전도도가 높은 유체일수록 그리고 유량의 양이 클수록 센서내의 발열체로부터 빼앗아가는 열량이 많아져 출력특성이 크게 나타났다.
- (3) SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 유량센서는 열손실 감소에 따른 저전력에서도 동작특성이 우수하였고, 인가전력 0.3W에서 250mV의 높은 출력특성으로 감도와 선형성이 향상되었다.

(4) 응답특성 측정 시스템을 구성하여 스텝입력에 따른 SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 유량센서의 응답속도를 측정결과, 85 msec의 빠른 응답속도를 나타내었다.

따라서, SOI 및 트랜치 구조상에 제작된 발열저항체형 마이크로 유량센서는 높은 감도, 저소비전력 및 빠른 응답속도의 특성때문에 미소변화유동 및 유량측정에 매우 유용하게 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. G. Jonson et al, *Sensors & Actuators*, 11(1987)63.
- [2] M. Sekimura et al, *Tranducers '87*, (1987) 356.
- [3] O. Tabatu, *IEEE Trans. on Electron Devices*, 33(1989)361.
- [4] B. W. van Oudheusden et al, *Sensors & Actuators A*, 21(199)425.
- [5] G. S. Chung, et al, *Sensors & Materials*, 10(1998)251.
- [6] M. Parameswaran et al, *IEEE Electron Device Letters*, 13(1991)57.
- [7] E. Yoon, *IEEE Trans. on Eletron Devices*, 39(1992)1376.
- [8] J. W. Garderer et al, *Sensors & Actuators A*, 26(1995)135.
- [9] U. Dibbern, *Sensors & Actuators A*, 2 (199)63.