

SnO₂ 박막이 집적된 공중 부유 빔 마이크로히터를 이용한 저전력 CO 가스 감지

최광욱*, 이재신, 서민호, 조민승, 유재영, 윤준보
KAIST 전기및전자공학부
E-mail: kw8395@kaist.ac.kr

Low power CO gas sensing with suspended beam micro-heater integrated SnO₂ thin film

Kwang-Wook Choi*, Jae-Shin Lee, Min-Ho Seo, Min-Seung Jo, Jae-Young Yoo, Jun-Bo Yoon
School of Electrical Engineering, KAIST

Abstract

This paper presents low power carbon monoxide (CO) gas sensor employing tin dioxide (SnO₂) thin film as the gas sensing material. A thin suspended beam micro-heater is utilized to supply operating temperature to the sensing material because this structure minimizes heat loss through substrate, thus can operate with low power consumption. We fabricated this structure using standard semiconductor processing technology with final xenon difluoride (XeF₂) release process. The fabricated device operated with less than 10 milliwatts of power consumption, which meets power requirement of battery-driven mobile devices.

Keyword – Gas sensor (가스 센서), SnO₂ (주석산화물), CO (일산화탄소), Micro-heater (마이크로히터)

1. 서론

다양한 원리의 가스 센서 중 금속산화물을 감지 물질로 이용하는 방법은 소형화를 통해 저렴한 가격으로 대량 생산할 수 있다는 점에서 휴대 가능한 실시간 가스 감지 기술로 주목받고 있다. 하지만, 동작 원리 특성 상 감지 물질에 약 200-300 °C 이상 고온 공급이 필요한데, 이 때 높은 수준의 전력이 요구되는 문제가 있다. 이에 따라, 마이크로히터를 감지 물질과 집적하여 가스 센서의 소비 전력을 낮추고자 하는 다양한 시도가 이루어지고 있지만 [1-3], 휴대용 기기에 적용하기에는 여전히 소비 전력이 높은 편이고 안정적인 제작 방법 또한 부족하다.

본 연구에서는 열 손실을 최소화할 수 있는 공중 부유 빔 형태의 마이크로히터 집적 구조를 도입하였고, 해당 구조를 안정적으로 구현하기 위해 표준 반도체 프로세스 기반의 공정 방법을 개발하였다. 이를 통해 10 mW 이하 소비 전력으로 대표적 금속산화물 감지 물질인 SnO₂의 CO 가스 노출에 대한 반응 특성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 소자 제작

가스 센서에 활용하기 위해 설계된 마이크로히터는 전도에 의한 열 손실이 크기 때문에, 소비 전력을 낮추기 위해서는 박막을 공중에 높이 띄우는 것이 중요하다. 하지만, 얇은 두께의 빔은 기계적으로 매우 취약하기 때문에 공중 부유 과정에서 끊어질 우려가 있으며, 신뢰적으로 제작하는 것이 어렵다.

앞서 언급한 한계를 극복하기 위해, 본 연구에서는 surface micromachining 기반 공정을 설계하였다 (그림 1). 특히, Si 기판을 xenon difluoride (XeF₂) 가스를 이용해 건식 식각하는 공정을 도입하여 감지 물질이 집적된 얇은 두께의 마이크로히터를 성공적으로 공중에 부유하였다. XeF₂ 식각 공정은 감지 물질을 손상하지 않기 때문에, RF-sputtering 방법을 통해 정교한 위치에 SnO₂ 감지 물질을 선 집적한 후 공중 부유하는 것이 가능하다. 또한, 식각 과정에서 습식 용액을 사용하지 않기 때문에 박막의 끊어짐 문제로부터 자유로울 수 있다. 그림 2 는 제작된 소자의 대표 현미경 이미지와 다양한 샘플에서 측정된 마이크로히터와 감지 물질의 저항 분포를 나타낸다. 모든 제작 과정에서 반도체 표준 공정 기술을 이용했기 때문에, 높은 수율로 넓은 면적에 균일한 특성을 갖는 집적 소자를 성공적으로 제작하였다.

2.2 특성 평가

그림 3 은 마이크로히터 소비 전력에 따른 제작 소자의 동작 온도를 나타낸다. 온도는 발열 물질로 사용된 Pt 의 temperature coefficient of resistance (TCR) 특성과 FEM simulation (COMSOL multiphysics®)을 활용하여 계산하였다. 제작 소자의 가스 감지부는 전체 두께가 330 nm 로 매우 얇고, 32 μm² 이하의 매우 작은 면적의 공중 부유 빔 형태를 가지기 때문에 10 mW 이하의 작은 소비 전력으로 300 °C 이상의 고온 달성이 가능하다.

그림 4 는 다양한 농도의 CO 가스 노출에 대한 제작 소자의 반응 특성을 나타낸다. 시간에 따른 상대 저항 측정 결과로부터, 해당 소자는 유입된 CO 가스의 농도를 분별해 낼 수 있으며, 마이크로히터에 인가되는 전력이 높아질수록 민감도는 감소하고 반응 속도는 빨라지는 경향을 보임을 확인할 수 있다 (표 1).

3. 결론

본 연구에서는 표준 반도체 프로세스 기반 공정을 통해 SnO₂ 박막이 집적된 공중 부유 빔 마이크로히터를 구현하였으며 이를 통해 10 mW 이하의 소비 전력으로 CO 가스를 감지하는데 성공하였다. 이러한 결과는 휴대 가능한 실시간 가스 센서를 개발하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] S. E. Moon *et al.*, *Sens. Actuator B* **2015**, 217, 146-150
- [2] M. Li *et al.*, *RSC Adv.* **2015**, 5, 51953-51960
- [3] I. Cho *et al.*, *ACS Appl. Mater. Inter.* **2017**, 9, 27111-27119

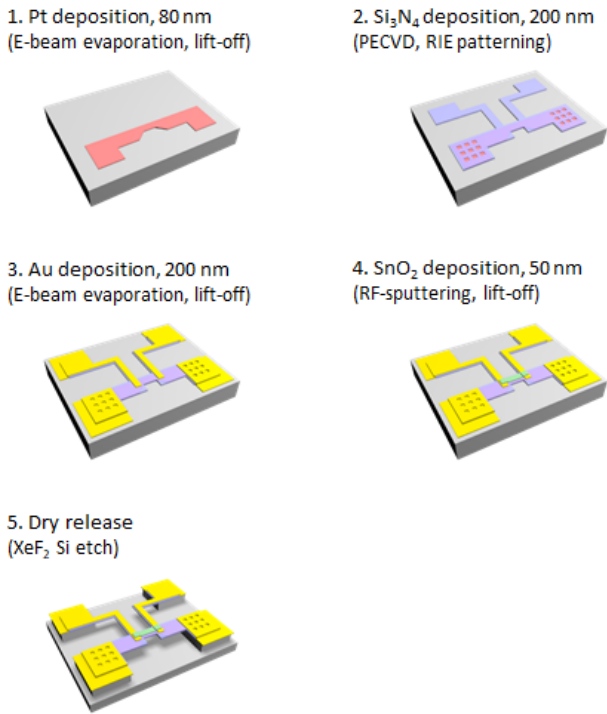


그림 1. 본 연구에서 SnO₂ 박막이 집적된 공중 부유 빔 마이크로히터를 구현하기 위해 이용한 공정 과정.

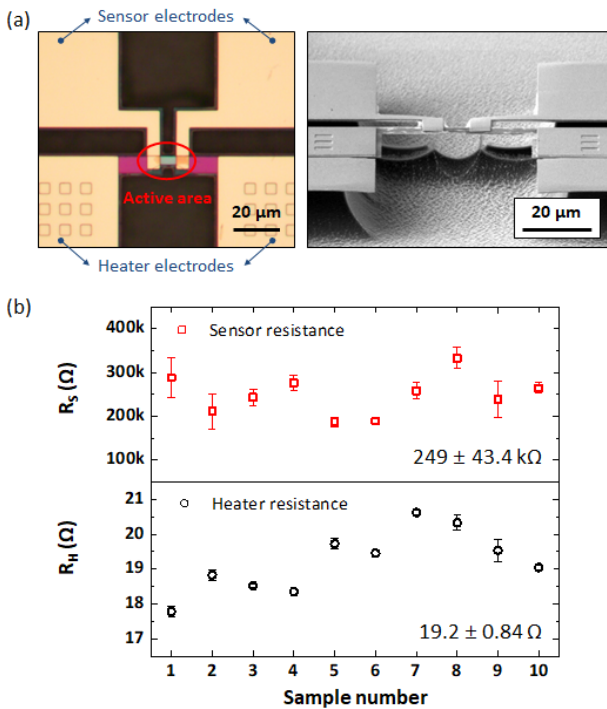


그림 2. (a) 제작된 소자의 광학 현미경 이미지 (왼쪽) 및 전자 현미경 이미지 (오른쪽). (b) 마이크로히터와 감지 물질의 저항 균일성 확인. 다양한 샘플에서 각각 3개의 소자를 측정.

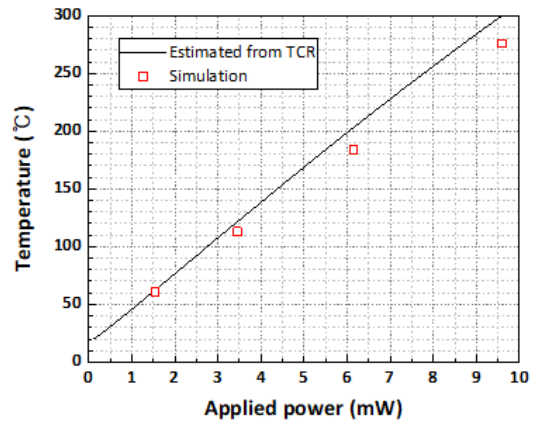


그림 3. Pt의 Temperature coefficient of resistance (TCR) 특성과 FEM simulation을 활용한 마이크로히터의 소비 전력에 따른 동작 온도 예상.

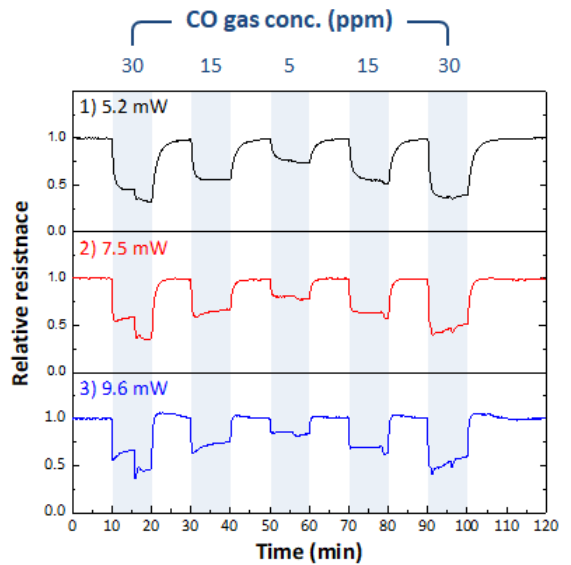


그림 4. 다양한 농도의 CO 가스 노출에 대한 가스 반응 특성. 다양한 소비 전력으로 마이크로히터 동작 시간에 따른 감지 물질의 상대 저항 측정.

표 1. 5 ppm 농도 CO 가스 노출 시 센서 성능 추출.

마이크로히터 소비 전력 (mW)	5.2	7.5	9.6
예상 온도* (°C)	172	241	304
민감도 (%)	24.1	18.7	12.0
반응 속도 (sec)	130	54	18

* Pt의 TCR 특성으로부터 추출한 예상 온도