

# 서브 피피엠 레벨 미세기전 가스 센서

고상춘<sup>†</sup> · 전치훈 · 송현우 · 박선희

## Sub-ppm level MEMS gas sensor

Sang Choon Ko<sup>†</sup>, Chi-Hoon Jun, Hyun Woo Song, and Seon-Hee Park

### Abstract

A sub-ppm level MEMS gas sensor that can be used for the detection of formaldehyde (HCHO) is presented. It is realized by using a zinc oxide (ZnO) thin-film material with a Ni-seed layer as a sensing material and by bulk micromachining technology. To enhance sensitivity of the MEMS gas sensor with Ni-seed layer was embedded with ZnO sensing material and sensing electrodes. As experimental results, the changed sensor resistance ratio for HCHO gas was 9.65 % for 10 ppb, 18.06 % for 100 ppb, and 35.7 % for 1 ppm, respectively. In addition, the minimum detection level of the fabricated MEMS gas sensor was 10 ppb for the HCHO gas. And the measured output voltage was about 0.94 V for 10 ppb HCHO gas concentration. The noise level of the fabricated MEMS gas sensor was about 50 mV. The response and recovery times were 3 and 5 min, respectively. The consumption power of the Pt micro-heater under sensor testing was 184 mW and its operating temperature was 400 °C.

**Key Words :** MEMS gas sensor, ZnO thin film, formaldehyde (HCHO), volatile organic compounds (VOCs)

## 1. 서 론

근래에 들어 세계 각국의 산업 활동이 급속히 진행되면서 각종 환경 문제의 대두에 의해 마이크로머신닝 기술을 이용한 초소형 가스 센서는 특히 주목을 받고 있는 연구 분야이다<sup>[1]</sup>. 최근에는 신축 건물들의 실내 발암 물질 배출에 대한 신축 공동주택의 실내 공기질 권고 기준 시행에 따라, 발암 인자인 휘발성 유기화합물 (volatile organic compound, VOC)<sup>[2]</sup>의 상시 모니터링에 대한 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 특히 휘발성 유기화합물인 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 스티렌, 자일렌, 포름알데히드 중에서 아토피와 같은 피부염을 일으키고 새집 증후군의 주요 원인으로 주목되고 있는 포름알데히드를 측정할 수 있는 가스센서에 대한 연구를 하였다<sup>[3]</sup>.

MEMS 가스 센서의 종류는 metal-oxide based semi-

conductor<sup>[4-6]</sup>, capacitive<sup>[7]</sup>, piezoelectric<sup>[8]</sup>, gas chromatographic<sup>[9]</sup> 방식으로 크게 분류할 수 있다.

표 1은 환경부가 최근 시행한 신축 공동주택의 실내 공기질 권고 기준 중에서 특히, 휘발성 유기화합물들에 대한 권고 기준을 설명하고 있는 표이다. 표 1에서 포름알데히드에 대한 규제량은 157 ppb 이하로 규정하고 있음을 알 수 있다.

## 2. MEMS 가스센서의 설계 및 제작

그림 1은 본 연구에서 개발한 마이크로머신닝 기술

표 1. 신축 공동주택 실내공기질 권고기준  
Table 1. In-door Air Quality Standard for New House

VOC 종류	µg/m <sup>3</sup>	ppb로 환산
포름알데히드	210	157
벤젠	30	9
톨루엔	100	24
에틸벤젠	360	76
자일렌	700	148
스티렌	300	65

한국전자통신연구원(ETRI) BT 융합연구부(Electronics and Telecommunications Research Institute, BT Convergence Technology Research Department)

<sup>†</sup>Corresponding author: scko@etri.re.kr  
(Received : January 18, 2008, Revised : February 15, 2008,  
Accepted : February 27, 2008)

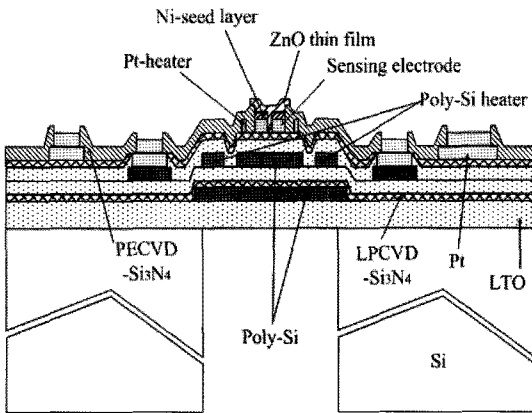


그림 1. MEMS 가스 센서의 단면도  
Fig. 1. The cross-sectional view of the MEMS gas sensor.

을 이용하여 제작한 가스 센서의 단면을 나타내는 그림이다. 그림 1의 센서 멤브레인 구조는 LTO (Low temperature oxide), silicon nitride, poly-silicon의 다층 박막 구조로 형성되었으며, 다층박막 구조는 압축응력 (compressive stress)을 갖는 LTO, poly-silicon 박막과 인장응력(tensile stress)을 갖는 질화막의 조합으로 deep RIE 공정에 의해 센서 멤브레인이 형성된 후, 센서 멤브레인의 잔류 응력을 줄이기 위해 이용되어졌다. 그리고 센서 전극과 히터는 백금이 사용되었다. 센서 물질로는 ZnO 박막이 이용되었고, 그 하부에 Ni-seed layer를 도포하였다.

그림 2의 (a)에 제작된 MEMS 가스 센서가 TO-8 package에 실버에폭시로 열처리된 후 PCB 기판 상에 장착된 형상을 나타내고, 그리고 (b)는 센서의 상부 평

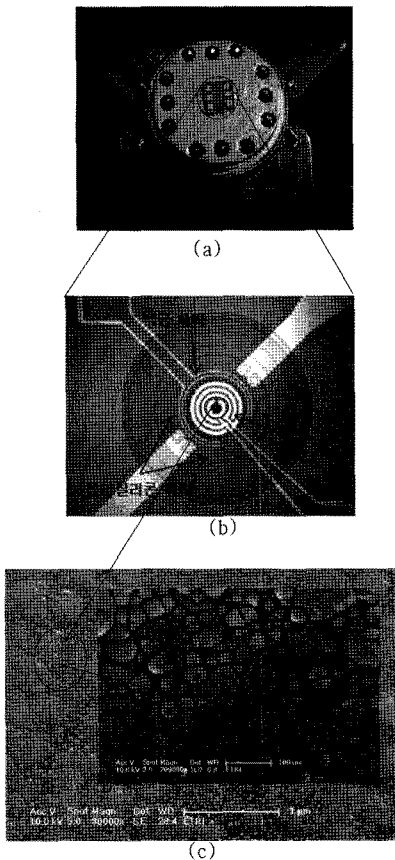


그림 2. MEMS 가스 센서의 패키징된 후의 모습(a), 센서 멤브레인 평면 사진 (b), 그리고 센서감응물질 (ZnO)의 표면 SEM 사진 (c)  
Fig. 2. TO-8 packaged MEMS gas sensor (a), the top view of the sensor membrane structure (b) and SEM photos for the surface of the ZnO thin film.

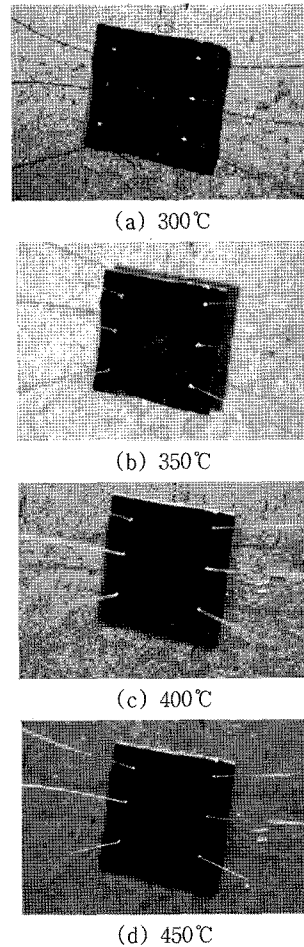


그림 3. 히터의 온도별 색깔 변화  
Fig. 3. The sensor membrane color change according to heating temperature of the Pt heater.

표 2. 백금 히터의 성능 테스트  
Table 2. Pt Heater Performance

측정온도 [°C]	인가 전압 [V]	전류 [mA]	소비 전력 [mW]
300	8.5	15	127.5
350	10	15	150
400	11.5	16	184
450	12.5	17	212.5

면에서의 사진이고 (c)는 센서감응물질 ZnO 박막의 표면 SEM 사진이다.

### 3. 특성 평가 실험

#### 3.1. 마이크로 히터의 온도 특성

그림 3은 센서 멤브레인의 가열 온도에 따른 색깔 변화를 나타낸 그림으로 450 °C까지 성능 테스트를 실시하였다. 350 °C부터 센서 멤브레인 중심부의 색깔이 옅은 분홍빛을 띄면서 온도가 올라감에 따라 점점 짙게 달아오르는 것을 알 수 있다.

그리고 실험에서의 온도 측정은 적외선 온도계 (Metis사, MP25)를 사용하였다.

표 2는 측정되어진 백금 히터의 인가 전압, 전류, 소비전력의 값을 나타낸 표이다. 가스 농도에 대한 센서의 감도 측정에 앞서 멤브레인 타입의 가스 센서의 백금 히터의 성능에 대해 먼저 조사를 하였으며, 실제 센서의 감도 측정 실험에서는 400 °C의 온도에서 실험이

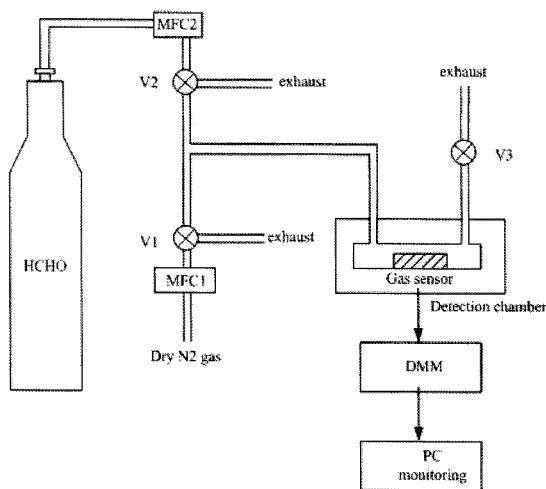


그림 4. 가스 농도 측정 시스템의 개략도  
Fig. 4. The schematic of the gas concentration measurement system.

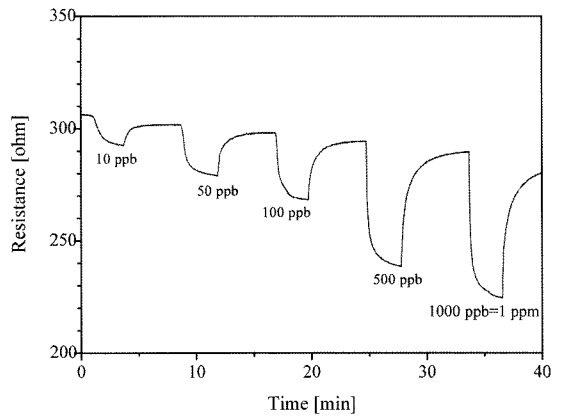


그림 5. 포름알데히드 농도에 대한 가스 센서의 저항값 변화  
Fig. 5. The resistance value of the MEMS gas sensor versus formaldehyde gas concentration.

수행 되었다.

마이크로 히터는 MEMS 가스 센서를 구성하는 요소, 즉 센서 멤브레인, 히터, 감지 재료 중의 한 요소로서, 특히 히터의 가열 능력과 열적 안정성은 센서의 감도 및 신뢰성에 있어서 중요한 역할을 한다.

#### 3.2. MEMS 가스 센서의 감지 특성

그림 4는 가스 센서 측정 시에 사용한 가스 측정 장치의 개략도를 나타낸 그림이다.

운반 가스인 질소의 유량은 1000 sccm이었고, 여기에 포름알데히드를 섞어서 유체 흐름을 제어 하였다. 초기 HCHO 가스 농도는 12 ppm이고, RIGAS사의 제품을 사용하였다. 낮은 농도에 대한 가스 농도 제어는 질소와 HCHO의 유량 제어에 의해 희석(dilution)하여

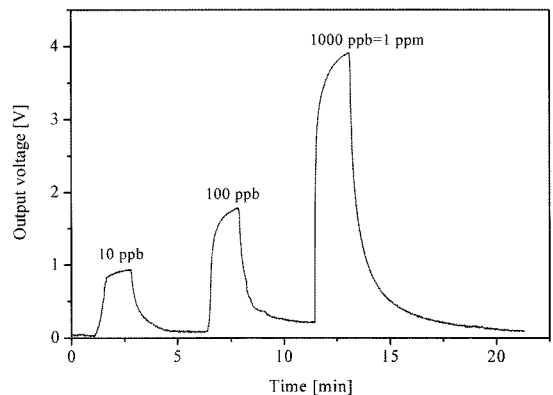


그림 6. 포름알데히드 농도에 대한 센서의 출력 전압값  
Fig. 6. The output voltage of the MEMS gas sensor versus formaldehyde gas concentration.

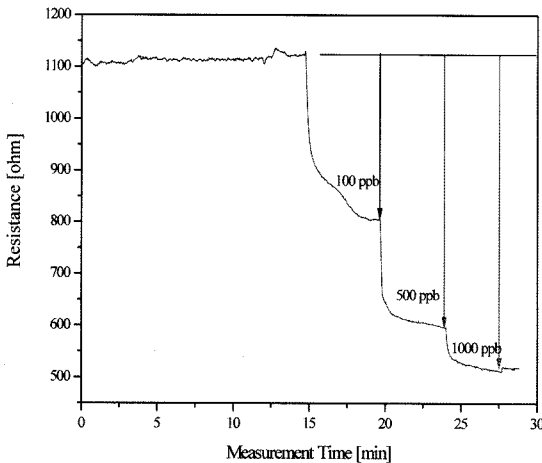


그림 7. 6종 VOCs 가스의 sub-ppm level 농도에 대한 센서의 저항값 변화

Fig. 7. The resistance value of the MEMS gas sensor versus 6 components VOCs gas (benzene, toluene, ethyl-benzene, m-xylene, p-xylene, o-xylene).

제어하였다.

그림 5는 digital multimeter로 측정되어진 포름알데히드 농도에 대한 가스 센서의 저항값을 나타낸 그림이다. 측정 온도는 400 °C, 백금 히터의 소비전력은 184 mW이었다.

그림 6은 정밀 OP 앰프(AD8230)를 사용하여 휘스톤브릿지 회로를 구성하고, 가스 센서의 포름알데히드 농도 10, 100, 1000 ppb 변화에 대한 MEMS 가스센서 감도 출력을 전압으로 얻은 결과이며, 이때 노이즈 레벨은 50 mV이었다. 그리고, 본 실험에서의 L.O.D (Limit Of Detection) 값인 10 ppb에 대한 출력 전압값은 0.95 V이었다.

그림 7은 HCHO 이외의 다른 가스군에 대한 가스 센서의 감도를 나타내는 측정 결과 데이터이다. RESTEK사의 6 components VOCs 표준가스 (benzene, toluene, ethyl-benzene, m-xylene, p-xylene, o-xylene)의 초기 농도를 6종 각각에 대해 1 ppm씩, 전체 가스농도 6 ppm의 가스를 질소 가스에 희석하여 100 ppb, 500 ppb, 1000 ppb에 대한 가스 센서의 저항변화를 나타내는 그림이다. HCHO 가스 측정의 경우와는 달리 회복(recovery) 시간 없이 변화값이 안정된 후, 가스농도를 증가시키면서 측정한 결과이다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 마이크로머신닝기술을 이용한 실내

환경 모니터링용 가스 센서를 개발 하였다. 개발된 MEMS 가스 센서의 측정 대상으로는 특히, 아토피 등을 유발하는 새집증후군의 주요 요인인 포름알데히드를 그 측정 대상으로 하였다.

MEMS 가스 센서 제작 후, 센서 멤브레인의 가열 성능 테스트에서 450 °C까지 안정적으로 히팅 되는 결과를 얻었다. MEMS 가스 센서의 가스농도에 대한 성능 시험에서 1 ppm 이하의 포름알데히드 농도하에서의 센서 출력 감도는 최소 감지 가능 농도(L.O.D.)인 10 ppb 농도에서 0.95 V의 값을 나타내었다. 이때 노이즈 레벨은 50 mV이었다. 측정시의 센서 멤브레인의 온도는 400 °C이었다. 또한, 표준가스 VOC 6종에 대한 성능평가에서도 가스 센서가 서브 피피엠 레벨에서 동작됨을 확인하였다.

향후, 실제 응용 분야에 개발된 본 연구 결과가 적용되기 위해서는 센서 멤브레인의 가열에 대한 보다 간단한 구조를 갖게 하여 초기 저항값을 더욱 안정화시키는 문제와 포름알데히드와 다른 가스군들에 대한 선택성을 확보하는 기술이 더욱 연구 되어야할 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 국책연구개발사업(유비쿼터스 건강관리용 모듈 시스템 사업)의 사업비에 의해서 연구 수행 되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] 황인성, 김선중, 김윤성, 주병권, 이종훈, “산화주석 나노선을 이용한 VOCs 센서”, *센서학회지*, 제17권, 제1호, pp. 69-74, 2008.
- [2] 신한재, 송갑득, 이홍진, 홍영호, 이덕동, “CMOS공정 기반의 저전력 NO 마이크로가스센서의 제작”, *센서학회지*, 제17권, 제1호, pp. 35-40, 2008.
- [3] K. Kawamura, K. Kerman, M. Fujihara, N. Nagatani, T. Hashiba, and E. Tamiya, “Development of a novel hand-held formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome”, *Sensors and Actuator*, B vol. 105, pp. 495-501, 2005.
- [4] B. L. Zhu, C. S. Xie, W. Y. Wang, K. J. Huang, and J. H. Hu, “Improvement in gas sensitivity of ZnO thick film to volatile organic compounds (VOCs) by adding TiO<sub>2</sub>”, *Material Letters*, vol. 58, pp. 624-629, 2004.
- [5] K. Kanda and T. Maekawa, “Development of a

WO<sub>3</sub> thick-film-based sensor for the detection of VOC”, *Sensors and Actuators*, B vol. 108, pp. 97-101, 2005.

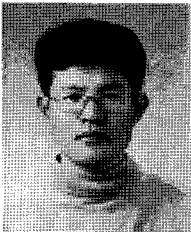
[6] P. Ivanov, E. Llobet, X. Vilanova, J. Brezmes, J. Hubalek, and X. Correig, “Development of high sensitivity ethanol gas sensors based on Pt-doped SnO<sub>2</sub> surfaces”, *Sensors and Actuator*, B vol. 99, pp. 201-206, 2004.

[7] J. Amirola, A. Rodriguez, L. Castaer, J. P. Santos, J. Guitierrez, and M. C. Horrillo, “Micromachined silicon microcantilevers for gas sensing applications with capacitive read-out”, *Sensors and Actuator*, B

vol. 111-112, pp. 247-253, 2005.

[8] M. Mascini, A. Macagnano, D. Monti, M. Del Carlo, R. Paolesse, B. Chen, P. Warner, A. D’Amino, C. Di Natale, and D. Compagnone, “Piezoelectric sensors for dioxins: a biomimetric approach”, *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 20, pp. 1203-1210, 2004.

[9] S. Zampolli, I. Elmi, S. Nicoletti, L. Dori, and G. C. Cardinali, “Selectivity enhancement of metal oxide gas sensors using a micromachined gas chromatographic column”, *Sensors and Actuator*, B vol. 105, pp. 400-406, 2005.



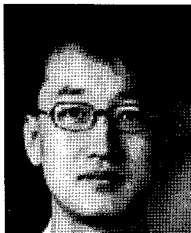
고 상 춘

- 1994년 성균관대학교 전기공학과(학사)
- 1996년 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1999년 일본토호쿠대학 기계전자공학과 (공학박사)
- 2001년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) BT 융합 연구부 선임연구원
- 주관심분야 : MEMS 관성 센서, 화학센서, power MEMS 소자



전 치 훈

- 1982년 경북대학교 기계공학과(학사)
- 1984년 경북대학교 기계공학과(공학석사)
- 1997년 경북대학교 금속공학과(공학박사)
- 1985년~현재 한국전자통신연구원 (ETRI) BT 융합연구부 책임연구원
- 주관심분야 : MEMS/NEMS 센서 및 액츄에 이터, Microfluidics 시스템



송 현 우

- 1990년 경북대학교 물리학과(학사)
- 1993년 한국과학기술원 물리학과 (이학석사)
- 1999년 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 1999년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) BT 융합연구부 선임연구원
- 주관심분야 : 휘발성유기화합물 감지 센서, Bio-MEMS 센서의 광학적 감지 기술

박 선 희

- 1981년 서울대학교 수학교육과(학사)
- 1986년 University of Texas at Austin 수리물리학과(이학석사)
- 1989년 University of Texas at Austin 이론물리 전공(이학박사)
- 1994년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) BT 융합연구부 부장 책임연구원
- 주관심분야 : Bioinformatics, Bio융합기술 관련 모듈/시스템