

미세기계가공된 자동차 HVAC 시스템용 다중 가스센서

최우석<sup>1</sup>, 이성현<sup>2</sup>, 김시동<sup>3</sup>, 박준식<sup>4</sup>, 박효덕<sup>4</sup>, 민남기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 바이오마이크로시스템기술과정

<sup>2</sup>한양대학교 금속재료공학과

<sup>3</sup>서울시립대학교 재료공학과

<sup>4</sup>전자부품연구원 나노메카트로닉스연구센터

Micromachined Multiple Gas Sensor for Automotive Ventilation and Air Conditioning Systems

W.S. Choi<sup>1</sup>, S.H. Lee<sup>2</sup>, S.D. Kim<sup>3</sup>, J.S. Park<sup>4</sup>, H.D. Park<sup>4</sup>, N.K. Min<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomicrosystem Technology, Korea University, Anam, 136-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Metallurgy and Materials Engineering, Hanyang University, Ansan, 425-791, Korea

<sup>3</sup>Department of Material Science and Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

<sup>4</sup>Nanomechatronics Research Center, Korea Electronics Research Center, Seongnam, 463-816, Korea

**Abstract** - HVAC 시스템은 쾌적하고 깨끗한 운전환경을 만들어 줌으로써 운전자에게 향상된 안락성과 안전성을 제공한다. 이때 센서는 실시간으로 변화하는 차실 내외의 환경변화에 대한 정보를 검출하여 HVAC 제어 유니트에 제공한다. 현재 HVAC 시스템에 사용되고 있는 후막 가스센서는 소자 크기와 소비전력이 크고, 제작공정이 까다로워 생산성이 낮은 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 최근에는 초소형화, 저소비전력, 대량생산에 의한 저가격화가 가능한 MEMS 가스센서의 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 MEMS 구조체를 이용한 마이크로 가스센서를 설계 및 제작하였고, 감도특성을 고찰하였다. 가스 감지막은 금속산화물 페이스트를 스크린 프린팅 하는 종래의 방법 대신 ME MS 구조체에 적용 가능한 sol-gel 프로세스에 의해 형성하였다. 또 가스 감지전극과 micro-heater를 동일 평면상에 제작, 공정을 간소화하여 저가격화를 시도하였다.

MEMS 구조체 위에 제작된 Pt 박막 micro-heater의 인가전압에 따른 발열특성을 조사한 결과, 발열온도가 인가전압에 비례하는 이상적인 선형성을 나타내었으며, 300℃의 동작 온도에 도달하기 위해 65mW 이하의 저전력 동작이 가능하였다. 가스 센서의 감도특성 확인 실험은 CO 가스 10ppm, NO 가스 0.3ppm을 기준으로 수행되었으며, CO 및 NO에 대해 Rs(sensitivity, 가스반응 저항/초기저항) 값은 각각 0.753 과 2.416로 우수한 성능을 나타내었다.

1. 서 론

자동차 실내 환경의 쾌적화는 배출가스 저감기술의 필요성과 함께 자동차문화시대의 이슈로 등장하게 되었다. 특히 차량 운행량의 증가에 비례하여 증대해 가는 CO 가스와 NO 가스 등의 배출 유해가스는 대기오염의 주원인이 될 뿐만 아니라 운전자에게 직접적인 위해를 주고 있음이 알려지고 있다.[1] 이와 같은 유해환경 하에서 쾌적한 승차환경을 제공할 수 있는 자동차 HVAC 시스템용 가스센서의 개발에 대한 관심이 높아지게 되었으며, 이는 특히 안전문제와 결부된다는 점에서 그 개발의 중요성이 부각되고 있다.

또한 차량에 부가적 기능의 추가에 따른 전자부품의 소형화 및 저소비전력 부품에 대한 요구가 급속도로 확산되고 있는 실정이며, batch 공정에 의한 저가격화, 낮은 소비전력 및 소형화 구현 등의 장점을 지닌 미세기계가공(MEMS) 기술을 이용한 반도체식 가스센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[2]~[5]

감지재료의 sol-gel화 공정은 금속 알콕사이드 전구체 등을 용매에 용해시켜 부유상태의 sol로 만들고 gel화 과정을 거쳐 액체상의 망상조직으로 변화시켜서 무기질 망상조직을 만드는 방법으로써 높은 비표면적과 기공도의 지은 소성이 가능한 막을 생성할 수 있기 때문에 MEMS 구조체와 같은 초소형 가스센서 device에 활용할 수 있는 적합한 방법이다.

본 논문에서는 제작된 반도체식 마이크로 가스센서의 디자인, 제조공정을 제시하고, lab, field 테스트를 통하여 micro Pt heater의 선형적 동작 특성, CO 가스와 NO 가스에 대한 민감도 특성에 대하여 논하였다.

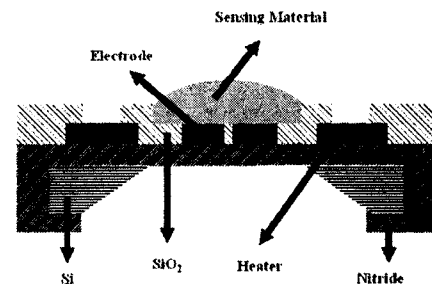
2. 본 론

2.1 센서제조 및 실험

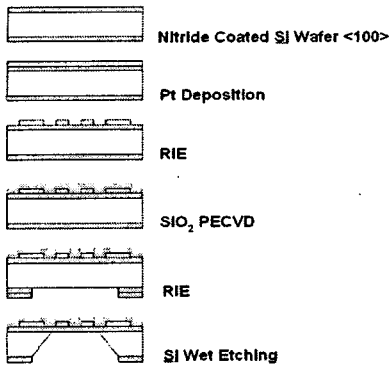
Silicon 구조체와 silicon nitride 다이아프래임 위에 가스감지전

극과 micro-heater를 동일 평면상에 형성한 마이크로 가스센서의 개념도를 그림 1.에 제시하였으며, 그림 2.는 마이크로 가스센서 구조체 제작을 위한 제조 공정도를 나타내었다.

N-type <100> silicon wafer 상에 다이아프래임 제조 및 이방성 식각에 대한 etch stop을 위하여 low stress silicon nitride 절연막을 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 장비를 이용하여 증착 하였다. 최종 다이아프래임 형성을 위한 박막이므로 micro stress, 두께 및 열방사에 대한 인자를 고려하여 공정을 수행하였다. micro-heater 및 전극 패턴은 발열체로 사용하기에 적합한 고저항재 Pt를 sputter로 증착하였다. Pt를 silicon nitride 박막 위에 직접 증착할 경우 접착능을 좋게 하기 위하여 중간재를 증착하기도 하며 Pt 히터의 경우 열화로 인한 저항 변화를 방지하기 위하여 별도의 고온 처리가 필요로 한다. 이렇게 증착된 Pt 박막을 micro-heater 및 전극 패턴으로 사용하기 위해 spin coater를 이용하여 PR coating 후 UV lithography 장비로 노광한다. 노광된 PR은 develop 용액으로 현상한 후 건식식각 방식을 이용한 RIE(Reactive Ion Etching) 방식으로 micro-heater 및 전극 패턴을 형성한다. micro-heater 패턴위에 전극과 절연을 위한 보호층을 증착한다. 이 보호층은 micro-heater의 열전달 및 열효율 향상과 외부 환경에 대한 금속층(micro-heater 및 전극)의 산화를 막는 역할을 하며, PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 장비를 이용하여 silicon oxide 박막을 형성하였다. 외부로부터의 micro-heater에 전원이 가 및 전극의 저항 변화를 측정하기 위해 micro-heater 및 전극 패턴을 보호하고 있는 보호층의 일부분을 RIE 방식으로 제거하여 gold wire bonding을 할 수 있도록 제작하였고, micro-heater의 소비전력을 줄이기 위한 thermal isolation 구조 형성을 위하여 bulk silicon 배면을 습식식각 하였다. 습식식각은 20% KOH용액을 80℃온도로 가열하여 공정을 진행하였다. 배면식각을 공정을 거친 wafer를 diamond cutter를 이용하여 dicing 함으로써 마이크로 가스센서 를 제작하였다.



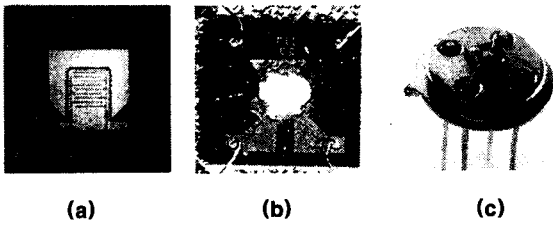
<그림 1> 히터와 감지전극이 silicon nitride 다이아프래임 상 동일 평면에 형성된 마이크로 가스센서 개념도



〈그림 2〉 마이크로 가스센서 구조체 제조공정도

2.2 결과 및 고찰

그림3은 제작된 silicon 구조체 위에 합성되어진 sol-gel 감지재료를 micro drop 방식을 사용하여 형성하고 패키징한 형상이다.



〈그림 3〉 제작된 마이크로 가스센서  
(a) micro-heater와 감지전극 형상  
(b) 감지물질층 형성한 마이크로 가스센서  
(c) 마이크로 가스센서 패키징 형상

MEMS 구조체 위에 제작된 Pt 박막 micro-heater의 인가전압에 따른 발열특성을 측정 한 결과, 발열온도가 인가전압에 비례하는 이상적인 선형성을 나타내었으며, 300℃의 동작 온도에 도달하기 위해 65mW 이하의 저전력 동작이 가능하였다. 제작된 CO 가스센서용 sol-gel 감지물질의 경우 300℃, NO 가스센서용 sol-gel 감지물질의 경우 250℃ 부근에서 동작이 가능하도록 재료설계가 이루어 졌기 때문에 NO 가스 감지용 마이크로 가스센서의 경우 더욱 낮은 소비전력 특성을 보였다. 현재 HVAC 시스템에 적용되고 있는 세라믹 구조체 가스센서의 경우 130~250mW 범위의 전력을 소모하고 있음을 감안할 때 제작된 마이크로 가스센서의 소비전력 특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

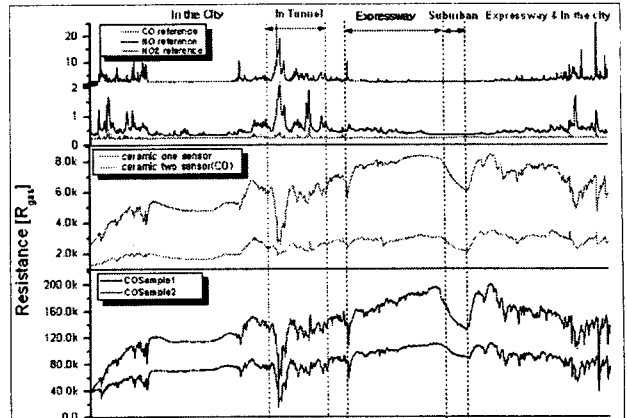
제작된 마이크로 가스센서를 lab. 규모에서 감도 특성을 측정 한 결과 NO 가스 0.3ppm에서 Rs 값은 2.416, CO 가스 10ppm에서 0.753으로 우수하게 측정되었다. 제작된 마이크로 가스센서를 차량에 직접 장착하여 field 시험을 진행하였다. field 시험에 사용된 가스센서는 제작된 마이크로 가스센서와 측정 데이터의 비교를 위한 기존 스크린 프린팅 방식의 세라믹 구조체 센서, 그리고 기준값 측정을 위한 정밀 가스 측정기로 구성하였으며, 오염구간 구분을 위하여 시험 구간을 도심, 터널, 고속, 청정구역으로 세분화하였다.

비교 대상으로 선정 한 세라믹 구조체 센서는 CO 가스와 NO 가스를 동시에 측정할 수 있는 저가형 'one 센서'와 근래 널리 사용되고 있는 CO, NO 가스의 각각 측정이 가능한 'two 센서'이며, 기준값 측정을 위한 측정기는 ppm 표시가 가능한 전기화학 방식의 가스센서가 적용된 고정밀 측정기를 사용하였다.

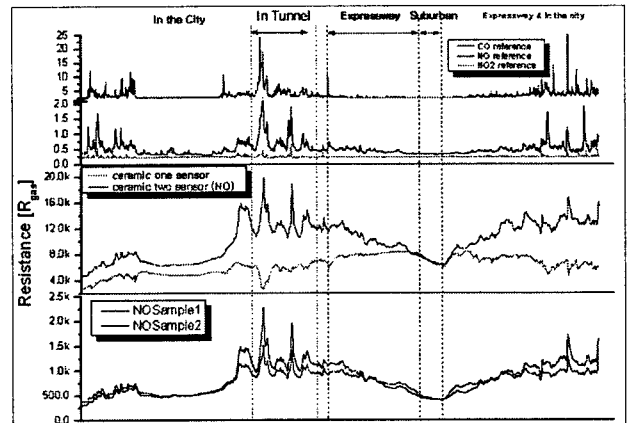
CO 가스는 산화성 가스로서 가스와 반응 시 센서 저항이 감소하게 되며, NO 가스는 환원성 가스로서 저항이 증가하게 된다. 세라믹 구조체 'one 센서'의 경우 CO 가스에 대한 반응보다 NO 가스에 더욱 민감하게 반응되도록 제작되어 있으나, 환원성 가스와 산화성가스의 동시 반응에 의한 상쇄 효과로 현저히 낮은 Rs 값을 나타내었다.

제작된 마이크로 가스센서와 세라믹 구조체 'two 센서'는 기준값으로 측정된 ppm 레벨 패턴과 동일한 피크 분포를 보이고 있지만 제작된 마이크로 가스센서의 경우 CO, NO 가스센서 모두 세라믹 구조체 가스센서 대비 전 구간에서 걸쳐 현저히 우수한 Rs 값을 나타내었다. (그림 4, 그림 5)

Rs 값이 우수한 센서는 HVAC 제어 유니트로의 정보 전달을 위한 센서 신호 가공이 용이하게 되며, 현재의 차량 내, 외기 전란을 위한 단순 on/off 방식에서 오염도의 세분화를 통한 다단계 어 등으로의 확대 적용이 가능하다.



〈그림 4〉 제작된 마이크로 CO 가스센서의 field 시험 평가



〈그림 5〉 제작된 마이크로 NO 가스센서의 field 시험 평가

3. 결 론

MEMS 공정기술과 sol-gel 감지물질층을 사용하여 가스 감지전극과 히터를 동일 평면상에 형성한 마이크로 가스센서를 새로운 제안, 제작하였다.

MEMS 구조체 위에 제작된 Pt 박막 micro-heater의 인가전압에 따른 발열특성을 조사한 결과, 발열온도가 인가전압에 비례하는 이상적인 선형성을 나타내었으며, 300℃의 동작 온도에 도달하기 위해 65mW 이하의 저전력 동작이 가능하였다.

가스 센서의 감도특성 확인 실험은 CO 가스 10ppm, NO 가스 0.3ppm을 기준으로 수행되었으며, CO 및 NO에 대해 Rs/Ro(초기저항)는 각각 0.753 과 2.416로 우수한 성능을 나타내었다.

제작된 마이크로 가스센서를 차량에 장착하여 필드 테스트를 수행한 결과 다양한 운행 조건에 따른 가스 반응도에 대하여 기존 세라믹 구조체 센서 대비 현저히 우수한 성능을 나타내었다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 부품·소재종합기술지원사업의 일환으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. -G. Su, Wu, Ren-Jang, Nieh, Fang-Pei, Talanta 59 (2003) 667-672.
- [2] Masashi SHOYAMA, Noritsugu HASHIMOTO, 三重工業技術 綜合研究所研究情報, No.24 (2000)
- [3] Duck-Dong, Lee, Dae-sik, Lee, J. IEEE Sensors Vol. 1 No. 3 Oct. 2001.
- [4] Ping, Ping, Tsai, I-Cheng, Chen, Chao-Jen, Ho, Sensors and Actuators B 76 (2001) 380-387
- [5] P. Fau, M. Sauvan, S. Trautweiler, C. Nayral, L. Erades, A. Maisonnat, B. Chaudret, et al. Sensors and Actuators B 78 (2001) 83-88