

## CMOS공정 기반의 저전력 NO 마이크로가스센서의 제작

신한재\*,\*\*\*\* · 송갑득\*\* · 이홍진\* · 홍영호\*\*\* · 이덕동†

### Fabrication of low power NO micro gas sensor by using CMOS compatible process

Han-Jae Shin\*,\*\*\*\*, Kap-Duk Song\*\*, Hong-Jin Lee\*, Young-Ho Hong\*\*\* and Duk-Dong Lee†

#### Abstract

Low power bridge type micro gas sensors were fabricated by micro machining technology with TMAH (Tetra Methyl Ammonium Hydroxide) solution. The sensing devices with different heater materials such as metal and poly-silicon were obtained using CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) compatible process. The tellurium films as a sensing layer were deposited on the micro machined substrate using shadow silicon mask. The low power micro gas sensors showed high sensitivity to NO with high speed. The pure tellurium film used micro gas sensor showed good sensitivity than transition metal (Pt, Ti) used tellurium film.

**Key Words :** Nitrogen monoxide, CMOS process, Gas sensor

## 1. 서 론

최근 본격적인 마이크로 시스템 시대를 맞이하여 소자의 소형화와 더불어 그 신뢰도 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 소자의 소형화를 위해서 종래의 집적회로 공정기술에 마이크로머시닝을 결합시킴으로써 정교한 형태의 마이크로 소자가 제작되고 있다.

이와 같이 소자의 소형화를 위한 기술이 향상됨에 따라 최근 센서소자 및 시스템의 마이크로화가 가능해졌으며 특히, 물리센서분야에 마이크로기술이 적극적으로 활용되고 있다. 화학센서인 마이크로 가스센서는 실리콘 미세 가공 기술을 이용하여 센서의 크기 및 기능을 소형화 및 다양화시키고 전력소모를 크게 낮추면서 감지효과를 높임을 그 목적으로 하고 있다.

센서가 시스템의 핵심부품으로서의 기능을 발휘하기 위해서는 고 신뢰성을 갖출 것이 요구되고 있다. 이를

위해 단일 소자를 사용하는 대신 여러 개의 센서를 근접한 거리에 집합시킨 소위 센서어레이를 사용함으로써 가스에 대한 선택성을 높이고 측정시스템의 신뢰성을 향상시킬 수가 있다<sup>[4]</sup>. 이는 센서어레이로부터 발생하는 여러 개의 신호로 구성되는 패턴을 이용함으로써 가스에 대한 분별력을 높일 수가 있기 때문이다. 그리고 소자의 온도를 가변함으로써 하나의 소자로부터 나오는 가스와의 반응신호 수를 증가시킬 수가 있다. 이때 어레이의 효과를 더욱 높일 수가 있다.

본 연구에서는 지능화 가스센서를 위한 기반기술로 활용될 수 있는 CMOS 공정을 이용하여 다양한 형태의 가스센서를 제조하였다. 기존의 센서에서 가스별 최적의 감도를 얻기 위해서 일정한 온도를 유지하기 위한 히터 물질로 백금<sup>[5]</sup>등의 금속막을 많이 사용하였다. 이는 지능화 센서를 위한 구동회로부를 만드는 CMOS 공정에서는 사용이 될 수 없는 금속으로 향후 센서지능화를 위해서는 반드시 CMOS 공정과 양립할 수 있는 물질로 대체되어야 한다. 이에, 본 논문에서는 감지막의 최적의 조건을 위하여 온도 공급은 히터 물질로 CMOS 공정과 양립할 수 있는 폴리실리콘을 사용하였다. 소형화 및 저전력화를 위해서 센서 전면에서 마이크로머시닝 기술을 이용하여 실리콘을 식각하여 전력

\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

\*\*MEMS/NANO Fabrication Center, Busan Techno Park

\*\*\*Department of Digital Electronic Engineering, Kyungwoon University

\*\*\*\*Gumi Electronics & Information Technology Research Institute

†Corresponding author: ddlee@ee.knu.ac.kr

(Received : October 16, 2007, Accepted : December 14, 2007)

소모를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한, 이때 후면에서 실리콘을 식각하는 경우에는 전면을 특수 제조된 jig를 이용해서 막아야하지만, 본 연구에서는 전·후면을 별도의 jig로 막을 필요 없이 식각이 이루어지도록 함으로써 공정과정을 더욱 단순화시킬 수 있었다. 센서의 기능에 가장 중요한 역할을 하는 감지막을 마이크로머시닝 후에 6 inch wafer로 제작된 웨도우 마스크 (shadow mask)를 이용하여 증착함으로써 기존의 감지막 증착후에 패턴을 제작함으로써 노광 공정중에 발생할 수 있는 화학적, 물리적 영향을 배제시킬 수 있었다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 마이크로가스센서의 제작

본 연구에서는 6인치 (100)방향의 p-형 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하여 마이크로 가스센서를 제작하였다. 히터부분은 CMOS공정과 양립될 수 있는 폴리실리콘을 사용하였다.

기존의 마이크로머시닝 후에 가스센서를 지지하기 위한 멤브레인 물질로는 스트레스 균형이 이루어진 O-N-O-N(SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), PSG-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, oxynitride, N-O-N(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), 등의 박막 유전물질을 사용하였으나, 본 논문에서는 SiO<sub>2</sub>와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막사이에 폴리실리콘을 추가한 다층막을 사용하여 폴리실리콘이 가지는 강도를 이용하여 멤브레인 구조를 물리적으로 강화시켰다. 또한 다른 형태의 16개 소자를 제조하여 그 특성을 비교 분석하여 최적의 센서를 제조하였다.

그림 1은 마이크로가스센서의 제작 공정 순서도를 나타내었다.

가스센서에서 가장 주요한 요소는 감지막으로 가스센서의 최종 목적인 가스에 대한 반응성에 기인하는 것으로 후막용 센서의 경우는 반도체 공정을 이용하지 않기 때문에 문제가 없지만, 반도체공정을 이용한 실리콘 기판의 가스센서의 경우 감지막을 형성하기 위해서는 photolithography 공정을 반드시 수행해야 하므로, 이때 화학적, 물리적 영향을 받아 최종적으로 감지 특성에 부정적인 작용을 할 수 있다. 또한 tellurium의 경우 lift-off방식을 이용하기 위하여 photolithography 공정을 한 뒤, tellurium을 전면 증착을 하게 된다. 하지만 lift-off를 위해 아세톤에 담그면 PR이 제거됨과 동시에 tellurium 또한 소자와 분리되는 현상이 발생하였다. 따라서 감지막을 형성하기 위해서는 lift-off방식이 나 식각방식이 아닌 다른 방식으로의 감지막 증착이 필요로 하였다.

본 논문에서는 6 inch wafer 전체에 대해서 동시 공

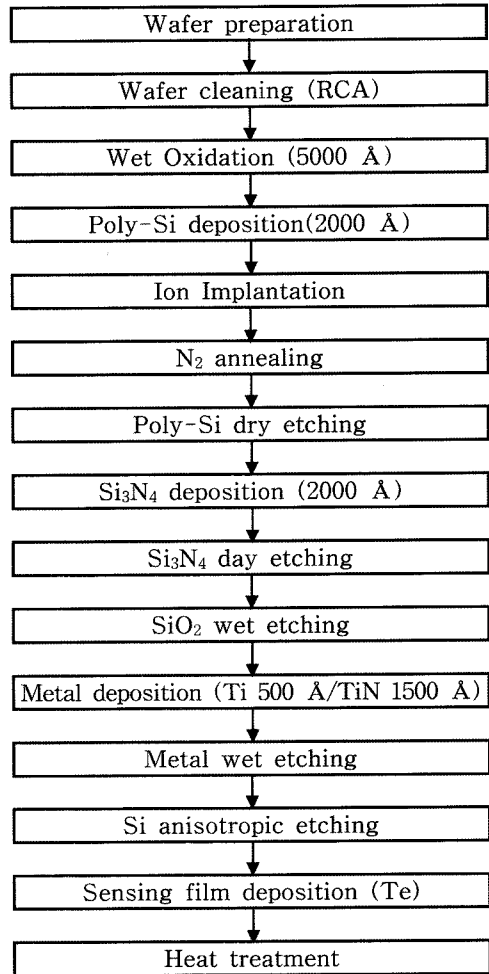


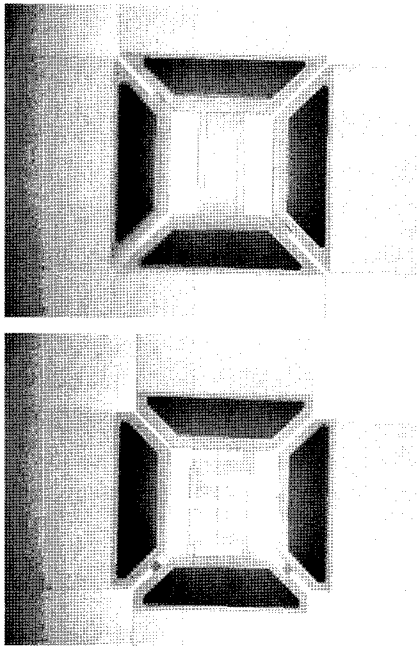
그림 1. 마이크로가스센서의 공정 순서도  
Fig. 1. Process sequence of micro-gas sensor.

정이 가능한 감지막 증착용 웨도우 마스크를 deep Si etcher를 이용하여 제작하여 photolithography 공정없이 쉽게 감지막을 증착할 수 있도록 하였다. 감지막의 크기는 80 μm×80 μm의 크기를 가지도록 제작을 하였으며, 실리콘 이방성 식각을 위한 window를 포함한 소자의 크기는 100 μm×100 μm의 크기로 제작을 하였다.

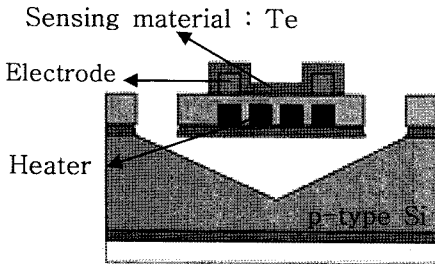
그림 2에 완성된 소자들의 모습을 나타내었으며, 그림 3에 TMAH를 통한 전면 마이크로머시닝 공정을 한 뒤, SEM사진을 나타내었다.

### 2.2. 감지막의 제작

본 연구에서는 기존의 감지막 증착조건(500 Å, 200 °C, O<sub>2</sub> 열처리 2시간)<sup>6)</sup>을 기반으로 하여 다양한 감지막을 제작하여 최적의 NO<sub>x</sub>센서의 제작조건을 찾



(a) Photograph of micromachined device



(b) Cross sectional view of micromachined device

그림 2. 제작된 소자의 사진 및 단면도  
Fig. 2. Photographs of fabricated sensor and cross sectional view of sensor.

고자 하였다. 두께를 500 Å로 고정을 하여 감지막을 제작한 이유는 tellurium의 경우 두께가 얇을수록 정공 이동도가 증가하기 때문인데, 500 Å의 두께에서는 대략 200 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>sec<sup>-1</sup> 정도의 정공이동도를 가진다<sup>[7]</sup>.

첫 번째 조건으로는 천이금속을 사용함으로써 발생되는 스펴오버 현상을 관찰하기 위하여 Pt와 Ti를 500 Å정도 증착하여 소자를 제작하였다.

두 번째 조건으로는 Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>와의 결합력이 좋지 않은 tellurium의 특성을 개선시키고자, tellurium박막을 증착하기 전에 Ti를 500 Å정도 증착 후 tellurium을 증착하여 소자를 제작하였다.

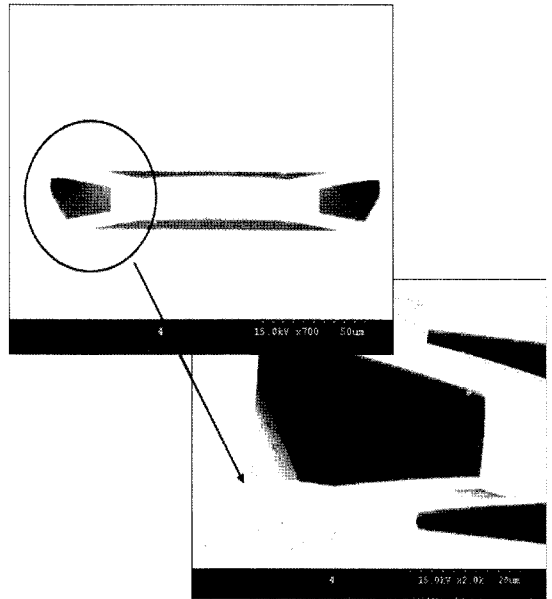


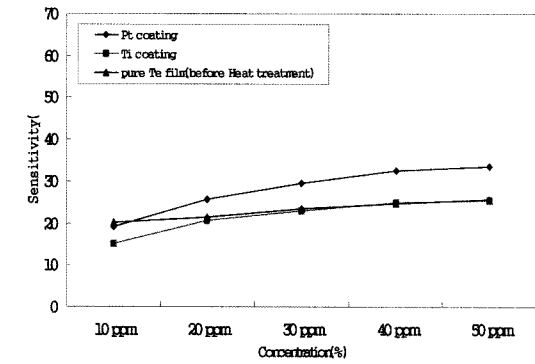
그림 3. 마이크로머시닝된 소자의 SEM 사진  
Fig. 3. SEM photographs of micromachined device.

마지막으로 앞선 두 가지 조건을 결합하여 소자를 제작하여 실험을 진행하였다. 따라서 본 연구에서는 기존의 열처리 조건으로 제작하였던 감지막을 기반으로 하여 8개의 감지막 제작 조건과 감응특성을 비교하는 방식의 실험을 진행하였다.

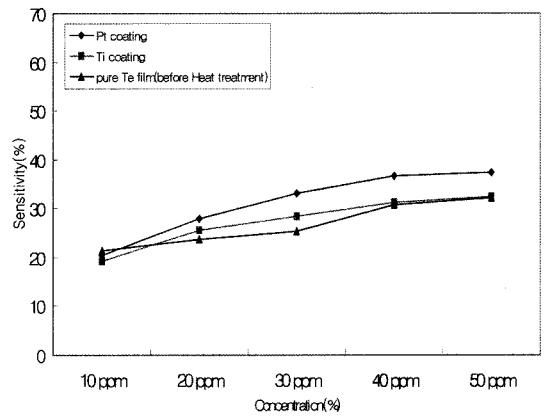
### 3. 실험결과 및 고찰

그림 4와 5는 제작된 감지막의 종류에 따라 NO에 대한 감응 특성을 나타낸 것이다. 그림 4는 상온에서 측정을 하였으며, 그림 5는 50 °C에서 측정을 하였고, NO는 10 ppm부터 50 ppm까지 측정을 하였다.

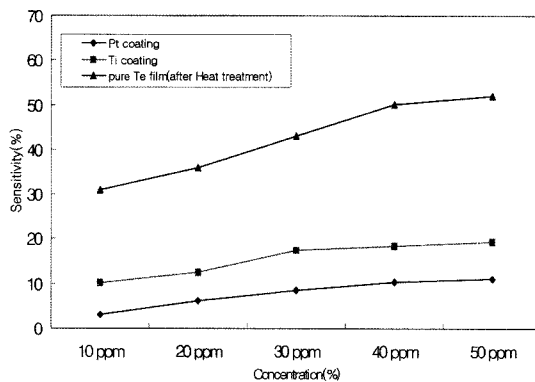
그림 4(a)와 (b)는 열처리를 실시한 소자와 실시하지 않은 소자에 각각 Pt와 Ti를 50 Å을 코팅하여 각각에 대한 감응특성을 조사한 결과이다. 가장 감도가 좋았던 소자는 순수 tellurium film에 열처리를 실시한 소자로서 다른 소자들과는 약 20 %정도 감도 차이를 보였다. 천이금속 같은 경우에는 환원성 가스의 산화 반응을 활성화시키는 촉매제 역할을 하게 된다. 하지만 본 연구에는 대표적인 전자친화성가스(산화성 가스) NO를 검지 대상으로 하고 있다. 또한 감지막인 tellurium도 p형 반도체 물질이기 때문에 귀금속 촉매를 이용한 스펴오버 현상을 보기 힘들다. 특히 Pt나 Ti는 환원제의 역할을 하기 때문에 Pt나 Ti에 존재하는 전자들이 tellurium으로 이동을 하여 tellurium을 환원시키게 되고



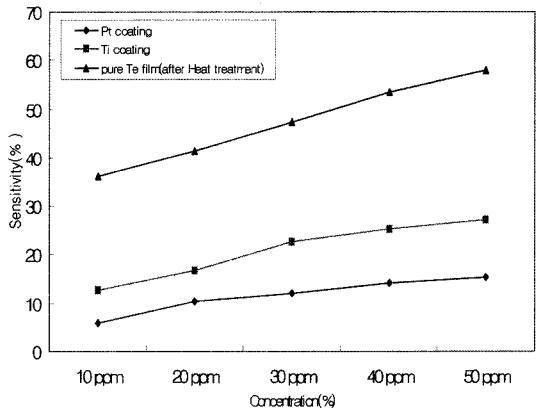
(a) Before heat treatment



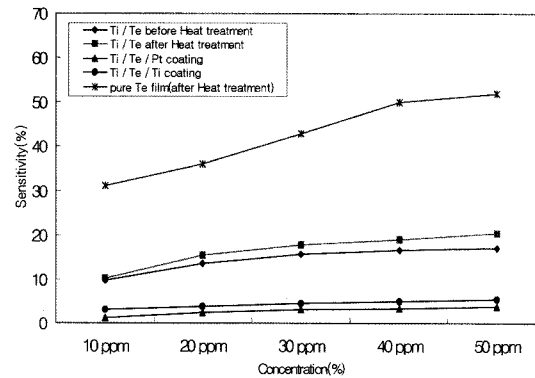
(a) Before heat treatment



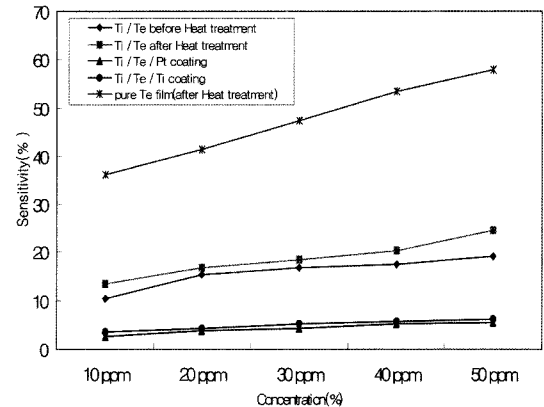
(b) After heat treatment



(b) After heat treatment



(c) Ti based sensor



(c) Ti based sensors

그림 4. 감지막 종류에 따른 감도특성(상온)  
Fig. 4. Characteristic of sensitivity according to sensing film type (Room temp.).

p형 반도체물질인 tellurium의 소수캐리어인 전자의 농도가 짙어 짐으로 전기전도도가 낮아진다고 예상된다.

그림 4(c)는 tellurium과 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>와의 결합력을 높이기 위하여 Ti를 base로 하여 감지막을 제작한 소자의 감응 특성을 나타내었다. 그림 4(c)에서도 마찬가지로 가장

그림 5. 감지막 종류에 따른 감도특성(50 °C)  
Fig. 5. Characteristic of sensitivity according to sensing film(50 °C).

감도가 좋은 소자는 순수 tellurium film에 열처리를 실시한 소자로 나타났다. 이는 Ti가 결합력을 높여주는

구실을 하나, tellurium의 아래쪽에서 전자를 주입시켜 주는 환원제의 역할을 한다고 예상할 수 있다. Ti가 전자를 계속해서 주입 해줌으로써, tellurium의 전기전도도가 낮아지게 되고, 그로인해 감도가 나빠진다고 볼 수 있다. 또한 Ti를 base로 감지막을 제작한 소자에 천이금속을 코팅하여 감지막을 형성 하였을 때, Ti base로 감지막을 제작한 소자들보다 감도가 안 좋을 뿐만 아니라 제작한 소자들 중에서 가장 감도가 좋지 않은 것으로 측정이 되었다. 앞서 그림 4(a)와 (b)의 결과를 언급하였을 때와 마찬가지로 tellurium위에서 전자를 계속적으로 주입시키는 환원제의 영향과 결합력을 높이기 위하여 선증착 시킨 Ti의 영향으로 가장 좋지 않은 결과가 측정되었음을 예상할 수 있다. 따라서 본 연구에서 감지막 형성방법을 lift-off방식이 아닌 웨도우 마스크를 이용 한 가장 큰 이유가 결합력이 좋지 않은 tellurium의 특성 때문이다.

그림 5는 히터를 50°C로 가열을 하여 NO에 대한 감도측정을 한 실험결과이다. 제작된 소자는 NO와 tellurium의 산화·환원반응에 의하여 감도의 변화가 일어나므로 일종의 화학적 결합이라 볼 수 있다. 따라서 NO가 tellurium으로부터 탈착을 하기 위해서는 일정한 에너지가 필요하다. 따라서 상온보다 높은 온도에서 탈착이 더 쉽게 일어남을 예상할 수 있다<sup>[6]</sup>. 또한 가스 반응시, 가스분자들이 활발하게 움직이면서 감도도 5%정도 상승한 것으로 측정이 되었다. 이때 히터의 소모전력은 5 mW정도로 저전력으로 동작하였다. 그러나 히터의 온도를 100°C로 하였을 경우, 소모전력은 10 mW 이상을 소모하지는 않았으나 tellurium의 저항이 상온에서 보다 10배 이상(수십 Ω) 작아졌다. 그리고 100°C에서는 가스에 대한 감도가 실온 또는 50°C로 유지한 센서에 비해 낮았다.

그림 6은 NO 10 ppm부터 50 ppm까지 반응시간과

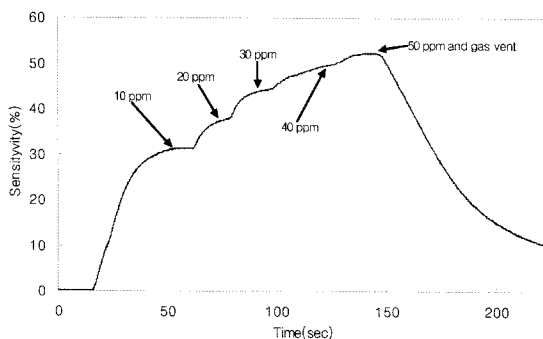


그림 6. NO에 대한 반응시간과 회복시간  
Fig. 6. Response and recovery time for NO.

회복시간을 나타내고 있다. 상온에서는 가스 제거한 후, 공기 중에서의 90%까지 회복하는데 걸린 시간은 3000초정도 소비되었지만<sup>[6]</sup>, 50°C에서는 200초정도로 시간이 많이 단축되었음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

CMOS공정을 이용하여 소자를 제작한 후, 웨도우 마스크를 이용하여 tellurium 기반의 다양한 감지막을 제작하여 실험하였고 상온과 50°C의 온도에서 소자의 감응특성을 조사하였다. Ti와 Pt를 귀금속 촉매로 하여 감지막을 제작하였고, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>와 결합력을 높이기 위하여 Ti를 선 증착한 뒤, 감지막을 제작하였다. 천이금속과 Ti를 선 증착한 뒤, 감지막을 형성하는 방법은 여러 가스센서에서 응용되고 있는 방법이지만, tellurium이 p형 반도체 물질이기 때문에 그 특성은 tellurium만 사용한 감지막 보다 감응특성이 좋지 않았다. 그 결과 tellurium만 사용한 감지막에 비해 감도가 20% 내지 40%정도 낮게 측정되었다. 또한 기존의 연구에서 제시 하였듯이<sup>[6]</sup>, 회복속도를 단축시키기 위해서는 일정한 온도가 필요함을 예상 하였다. 따라서 본 연구에서는 히터 구조를 폴리실리코너로 형성한 뒤, TMAH를 이용하여 전면 마이크로머시닝을 통한 브릿지 구조를 가지는 센서를 제작하였다. 통상 히터를 가지는 가스센서는 전력이 많이 소모되는 단점을 가지고 있다. 하지만 본 연구에서는 100°C 정도에서 10 mW의 소모전력을 가졌으며, 50°C의 동작온도에서 센서는 회복속도가 기존의 센서에 비해 상당히 개선되었으며, 또한 감도 역시 우수하였다.

## 참고 문헌

- [1] C. C. Liu, "Development of chemical sensors using microfabrication and micromachining techniques", *Proc. of the 4th International Meeting on Chemical Sensors*, pp. 1-6, Tokyo, Japan, Sep. 1992.
- [2] Euisik Yoon and Kensall D. Wise, "An integrated mass flow sensor with on-chip interface circuitry", *IEEE Transaction on Electron Devices*, vol. 39, no. 6, pp. 1376-1386, 1992.
- [3] M. Parameswaran, et al, "Micromachined thermal radiation emitter from a commercial CMOS process", *IEEE Electron Device Letters*, vol. 12, no. 2, pp. 57-59, 1991.
- [4] R. Lenggenhager, et al, "Thermoelectric infrared sensors in CMOS technology", *Sensors and Actua-*

tors A, 37-38, pp. 216-220, 1993.

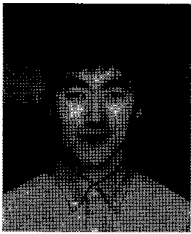
- [5] 임준우, “온도구배를 가진 마이크로가스센서어레이의 제조 및 그 특성”, 경북대학교, 박사학위 논문, 2001.
- [6] 신한재, 송갑득, 주병수, 손영호, 이덕동, “Te를 이용한 상온 동작형 NO 센서 제작 및 감응 특성”, 센서학회지, 제16권, 제2호, pp. 91-96, 2007.
- [7] 오수양, “Te 薄膜의 傳奇的 性質”, 건국대학교, 석사학위 논문, 1981.

## 신한재

- 센서학회지 제16권 제2호, pp. 91-96 참조

## 송갑득

- 센서학회지 제16권 제2호, pp. 91-96 참조



## 이흥진

- 1980년 12월 11일생
- 현재 경북대학교 전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 반도체 공정, 다공질 가스 센서



## 홍영호

- 1996년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업
- 현재 경운대학교 디지털전자공학부 교수
- 주관심분야 : 센서 및 반도체 시스템 설계

## 이덕동

- 센서학회지 제16권 제2호, pp. 91-96 참조
- 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수