

논문 2002-11-6-05

단일전극을 가진 마이크로 가스센서의 제작 및 특성

송갑득*, 방영일*, 이상문*, 이윤수*, 최낙진*, 주병수*, 서무교**, 허증수***, 이덕동*

Characteristics and Fabrication of Micro Gas Sensor with Single Electrode

Kap-Duk Song*, Yeung-II Bang*, Sang-Mun Lee*, Yun-Su Lee*,

Nak-Jin Choi*, Byung-Su Joo*, Moo-Gyo Seo**,

Jeung-Soo Huh***, Duk-Dong Lee*

요 약

센서의 안정도와 감도를 개선시킬 수 있는 단일전극을 가진 열선형 마이크로 가스센서를 제작하였다. 일반적으로, 금속산화물 반도체를 이용한 가스센서는 히터전극과 감지전극의 두 개의 전극을 가지고 있다. 제작된 센서는 히터전극위에 감지물질을 형성하여 단일 전극을 가지는 구조를 가지고 있다. 히터와 감지전극으로 사용되는 Pt는 glass 기판위에 스퍼터링법으로 형성하였으며, SnO₂ 감지물질은 제작된 Pt 전극위에 열증착시켜 형성하였다. SnO₂ 막은 lift-off 공정을 이용해서 패턴을 형성하고 1시간 동안 산소분위기에서 열산화하였다. 제작된 소자의 크기는 1.9×2.1 mm² 이다. CO 가스에 대한 감지특성을 조사한 결과 1,000 ppm에 대해 100 mV의 출력변화를 나타내었으며, 넓은 농도범위(0 ~ 10,000 ppm)에서 선형적인 전압출력을 나타내었다. 또한 가스 반응 전과 반응 후의 전압출력을 비교해 볼 때, 1 % 이내의 편차를 나타내는 우수한 회복성을 나타내었다.

Abstract

Micro gas sensor with single electrode was proposed for improving stability and sensitivity. Generally, metal oxide gas sensors have two electrodes for heating and sensing. This fabricated new type sensor have only a single electrode by forming a sensing material onto heating electrode. Pt as a heating and sensing electrode was sputtered on glass substrate and a SnO₂ sensing material was thermally evaporated on Pt electrode. SnO₂ was patterned by lift-off process and then thermally oxidized in O₂ condition for 1 hr., 600 °C. The size of fabricated sensor was 1.9 × 2.1 mm². As a result of CO gas sensing characteristics, this sensor showed 100 mV change for 1,000 ppm and linearity for wide range(0 ~ 10,000 ppm) of gas concentrations. And the sensor shows a good recovery characteristics of 1 % deviation compared to initial resistance.

1. 서 론

대기환경은 우리 인간에게 가장 기본이 되는 생활환경요소로서 최근 그 오염 정도가 날로 심각한 상태에 이르고 있다. 기체 상태의 오염원을 측정할 수 있는 소자개발의 노력이 다각적으로 진행되어 여러 가지 형태의 가스센서가 개발되어 왔다. 이미 개발되어진 형태 중 상용화되어 널리 보급된 센서는 접촉연소식과 반도체식이 주종을 이루고 있으며 그 외에도 정전위 전해식이나 직외선 측정방식 등이 개발되어 보급되고 있는 상태이다. 접촉연소식은 감도 특성의 직선성이 우

* 경북대학교 전자전기공학부(School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National Univ.)

** 대구과학대학 인터넷정보전자계열 (Taegu Science College Internet Information and Electronics Division)

*** 경북대학교 금속공학과 (Dept. Materials Science and Metallurgy, Kyungpook National Univ.)

<접수일자 : 2002년 3월 20일>

수하지만, 장기 안정성의 면에서 독성가스에 대해 피독되어 촉매의 활성이 감소하게 되는 단점이 있다. 반도체식 센서는 장기 안정성 측면에서 접촉연소식에 비해 월등히 우수하다. 또한 수명이 길고 피독현상에 대해서도 안정한 편이다.^[1-5] 그러나 히터와 감지물질이 절연되어야 하는 구조이므로 설계상 형태가 크게 되며 전압의존도가 크고 온도의 변화에 의한 drift 현상도 고려해야 하는 문제가 있다.^[6-9] 본 논문에서는 이러한 문제점들을 상호 보완하는 형태로서 열선형 마이크로 가스센서를 개발하였다. 제작된 센서는 히터와 감지 전극을 한쌍으로 사용하여 리드선이 적고, 구조가 접촉연소식 형태를 띄므로 주변회로도 간단하게 설계할 수 있으며 열용량을 줄여 안정화 시간이 반도체식에 비해 상당히 짧게 할 수 있다. 또한 감지층이 알루미늄 촉매층이 아닌 산화물 반도체를 사용함으로써 피독현상에 대해서도 강하다는 장점을 갖추고 있다.^[10-12] 실리콘 기판을 사용할 경우 발생하는 여러 가지 stress-free막을 형성할 필요가 없는 범용의 유리를 기판으로 사용해 상용성을 높이고자 하였으며, 사용된 mask의 수는 히터 패턴과 감지막 패턴의 2장으로 공정을 단순화시켰다.

본 연구에서는 XRD 및 SEM으로 감지물질에 대한 물성분석을 행하였으며, 히터 저항과 감지물질 저항 및 예측감도를 변수로 하여 센서 출력전압을 시뮬레이션하였으며, 이를 통해 원하는 센서 출력전압을 가지기 위한 히터 및 감지막의 저항을 예측할 수 있었다.

II. 실험

유리기판을 사용해 하나의 히터위에 병렬로 감지막을 올려 단일전극을 가지도록 제작된 마이크로 가스센서 소자의 제작 순서는 다음과 같다. 기판으로 사용되는 유리를 먼저 ultrasonic과 세척액(acetone, methanol, H₂SO₄:H₂O = 1:3)에 담귀 20분간 표면을 세척한 다음 유리기판위에 RF magnetron sputter 장비를 사용하여 Pt를 1,000 Å정도 올린 후 전극용 mask #1을 이용해 Pt를 식각(HCl:HNO₃:H₂O=6:1:7)하였다. 준비된 Pt 전극위에 mask #2를 사용해 감지막 패턴을 형성한 후 Sn을 열증착법으로 2,000 Å정도 올리고난 다음 lift-off 법을 사용해 감지막 형성을 완료하였다. 이후 이온증

착기(Eiko IB·3)로 100 Å정도의 Pt 촉매를 첨가하고 이를 전기로(Lindberg)에서 600 °C, 산소분위기로 열산화시켜 소자를 제작하였다. 제작된 소자는 하나의 유리기판위에 2개의 센서소자가 형성된 구조이며 소자의 열손실을 방지하기 위한 hole이 뚫려진 PCB 기판위에 얹은 다음 wire bonding하여 소자 제작을 완료하였다. 그림 1은 소자의 제작공정도를 보여주고 있다. 2장의 마스크만을 사용하여 공정 및 소자구조가 매우 간단함을 알 수 있다.

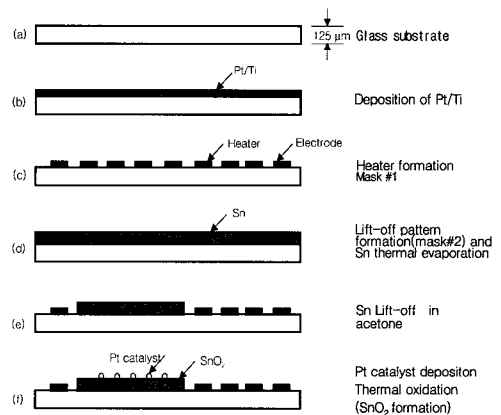


그림 1. 마이크로 가스센서의 공정도.
Fig. 1. Process of micro gas sensor.

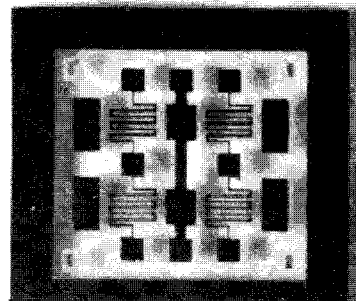


그림 2. 전체 소자의 사진.
Fig. 2. Photograph of whole device.

그림 2에 전체소자사진을 나타내었으며, 공정 선 폭은 20 μm이다. 소자의 감지특성을 얻기 위해 완성된 소자는 4개의 hole이 뚫린 PCB 기판위에 resin을 이용해 부착한 후 Al wire bonding을 하여 전체측정소자를 제작하였다. 측정은 제작한 20 l chamber내에 소자를 넣은 상태에서 가스를 주사기로 주입하는 형태였으며, National Instrument사의 DAQ board

로 데이터를 취득하여 Lab-view program으로 센서출력전압을 모니터링하였다.

III. 결과 및 고찰

3-1. 히터 및 감지막 저항선정을 위한 시뮬레이션 및 히터특성

제작된 소자의 경우 그림 3과 같이 모델링이 가능하다. 히터와 감지막이 병렬로 구성된 소자(R_s) 부분과 load(R_L)부분이 하나의 소자에 동시에 제작되어있다. 센서출력은 R_L 과 GND에서 추출하도록 되어있으며 인가된 전압(V_{cc})을 가변함으로써 인가전력을 조절할 수 있도록 하였다.

히터 및 감지막 저항치 선정을 위한 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타내었다. 먼저 히터저항의 변화 범위를 10 Ω ~ 300 Ω 로 하여 동작온도에서의 히터저항의 변화를 초기저항의 1.5배 증가하도록 설정하였으며, 감지막의 범위를 2 k Ω ~ 500 k Ω 으로하고, 감지막 저항의 경우 가스 반응 후 변화 비율을 70 %로 설정하였다. 인가된 전력은 0.3 W로 고정시킨 후 시뮬레이션을 행하였다.

시뮬레이션 결과 히터전력을 인가한 경우 센서출력전압(V_o)이 100 mV 이상의 변화를 보이기 위한 감지막의 초기저항은 50 k Ω 이하, 히터저항은 250 Ω 이상을 가져야 함을 알 수 있었고 감지막의 초기저항을 50 k Ω 이하를 가지도록 Sn의 열산화 시간, 두께, Pt 촉매의 첨가 등을 고려해야 함을 알 수 있었다. 또한 히터저항을 250 Ω 이상을 가지도록 하기 위해서는 히터의 선폭을 20 μ m로 선정하고 길이도 1 mm 이상을 가지도록 설계해야함을 알 수 있었다.

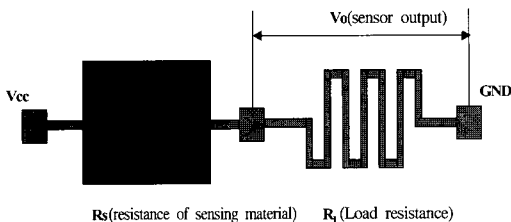


그림 3. 제작된 소자의 모델링.
Fig. 3. Modelling of fabricated device.

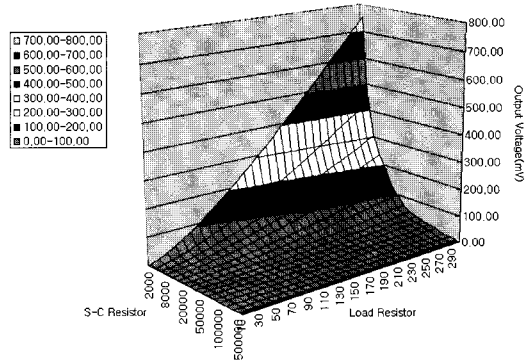


그림 4. 감지막 및 히터저항치 선정을 위한 시뮬레이션.
Fig. 4. Simulation for determination of sensing film and heater resistance.

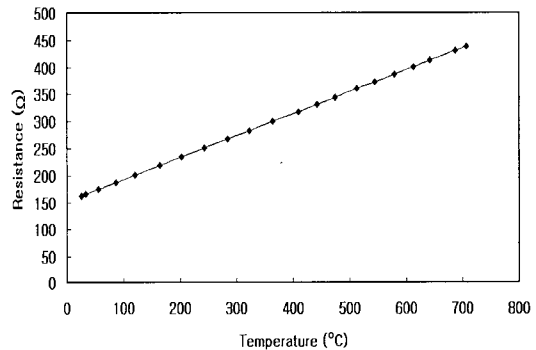


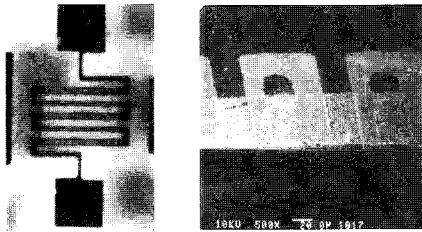
그림 5. Pt 히터의 온도 대 저항특성.
Fig. 5. Characteristic of heater vs. resistance.

그림 5에 Pt 히터에 대한 온도대 저항특성곡선을 나타내었다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 히터 저항이 250 Ω 이상을 가지기 위한 동작온도는 대략 300 $^{\circ}$ C 정도가 되었으며 이 때의 인가전압은 10 V 이상이 유지되어야 한다.

3-2. 감지막의 특성

감지막과 히터가 병렬로 이루어지므로 전체적인 저항은 히터의 저항과 거의 유사하게 된다. 그러므로 가스가 흡착된 상태에서 센서의 출력전압을 높게 하기 위해서는 앞서 기술했듯이 감지막의 저항은 대체적으로 낮아야 하고, 히터의 저항은 대체적으로 높아야 한다. 제작한 박막형 열선식 소자의 경우 그 감지막의 저항을 낮추기 위해 2,000 Å 정도의 Sn을 열증착 시킨 후 열산화하기 전에 Pt 이온증착기를 이용해 촉매형태

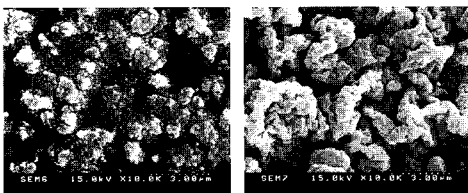
의 Pt를 소량 첨가하도록 하였다. 그림 6에 Pt 히터위에 증착된 SnO₂/Pt 감지막을 나타내었다. 전체적으로 Pt 히터위에 증착된 감지막이 끊어짐없이 양호하게 증착된 것을 볼 수 있다. 또한 제작된 Sn/Pt 감지막의 열산화 시간에 따른 미세구조 변화를 그림 7에 나타내었다. 제작된 소자의 감지물질로 Sn/Pt의 이중층을 직접 열산화시켜 준비하였다. 유리기관위에 증착된 Sn의 열산화 온도를 결정하기 위해 유리기관이 녹는 온도인 700 °C 이하에서의 최적온도인 600 °C로 결정하였다. 하지만 일반적인 Sn 박막의 경우 최적의 열산화온도 및 시간은 700 °C, 1시간이므로 열산화 시간을 가변하여 소자를 준비하였다. 열산화 시간은 2시간, 3시간, 4시간, 5시간으로 설정하여 모니터링하였다. 예상했던 바와 같이 열산화 시간이 길수록 grain size가 작아짐을 알 수 있었으며, 평균적인 grain size는 100 ~ 200 Å 정도였다. Sn 증착후 600 °C에서 여러 시간에 따라 열산화한 SnO₂ 감지막의 XRD 패턴을 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 보여주는 바와 같이 열산화 시간이 길어짐에 따라 SnO₂ 성장이 더욱 분명하게 나타났고, SEM 분석에서와 같이 600 °C가 가장 적절한 산화온도인 것으로 보여진다. 열산화 시간에 따른 SnO₂의 성장변화를 보게 되면 SnO 피크도 함께 나타나는 것은 열산화 과정에서 완전한 SnO₂ 형태의 산화가 이루어지지 않고, 비화학양론적인 조성으로 성장한 것으로 보인다.



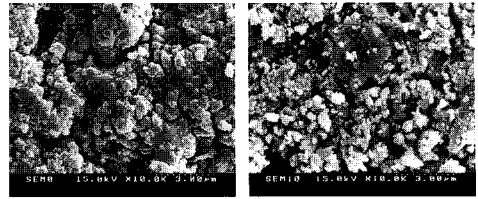
(a) front view (b) side view

그림 6. Pt 히터위에 증착된 감지막.

Fig. 6. Sensing film on Pt heater.



(a) 2 hrs. (b) 3 hrs.



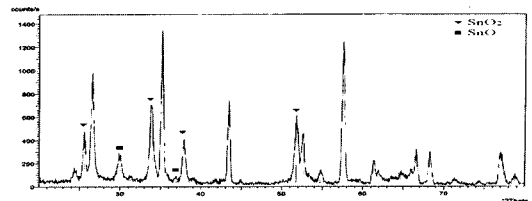
(c) 4 hrs. (d) 5 hrs.

그림 7. 열산화 시간에 따른 감지막의 SEM 사진.

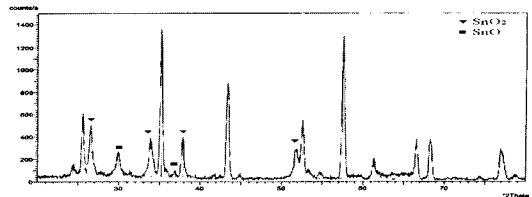
Fig. 7. SEM photograph of sensing films as oxidation times.

3-3. 제작된 센서의 감지특성

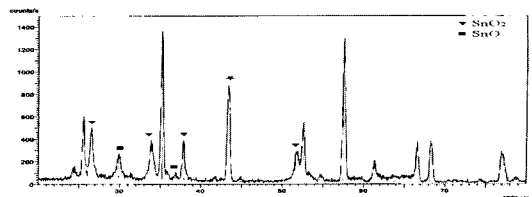
제작된 센서의 가스 감응특성을 조사하기 위하여 CO(250 ppm ~ 10,000 ppm), CH₄(250 ppm ~ 20,000 ppm), C₃H₈(250ppm ~ 20,000 ppm), C₄H₁₀(250 ppm ~20,000 ppm)을 각각 주입하였으며, 인가전력은 280 mW ~ 360 mW로 변화시키면서 측정을 행하였다. 그림 10에 인가된 전력에 대한 CO 가스의 반응특성을 나타내었다. 인가되는 전력이 320 mW까지 점차 증가함에 따라 가스농도에 대한 센서 출력전압도 점차 증가되어 320 mW일 경우 10,000 ppm의 CO 가스 농도에 대해 254 mV의 높은 출력전압을 나타냈다.



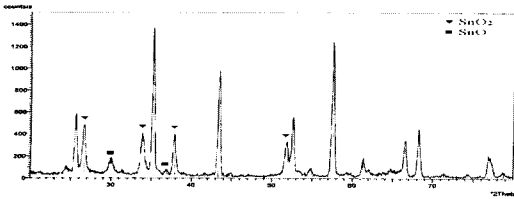
(a) 2 hrs.



(b) 3 hrs.



(c) 4 hrs.



(d) 5 hrs.

그림 8. 열산화 시간에 따른 SnO₂ 박막의 XRD 패턴.

Fig. 8. XRD patterns of SnO₂ thin film as oxidation times.

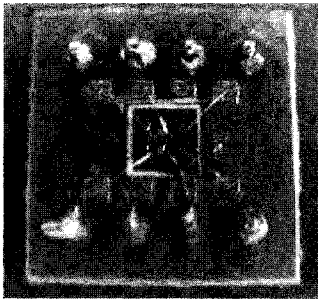


그림 9. Mount된 소자.

Fig. 9. Device on mount board.

그러나 320 mW 이상의 전력이 센서에 인가될 경우 센서 전압출력은 서서히 줄어들어감을 알 수 있다. 이는 CO 가스 자체에 대한 SnO₂ 감지막 저항이 포화상태에 들어가게 됨으로써 발생하게 된 것으로 사료된다. 또한 CO 가스농도가 1,000 ppm 이하의 경우에 대해 센서전압출력의 기울기가 다소 급하며, 고농도로 갈수록 그 기울기가 다소 완만하게 되지만 전체적으로 선형적인 특성을 보여주고 있다. 일반적인 반도체식 가스센서의 경우 가스농도에 대해 센서 출력전압은 langmur 특성 곡선을 띄어 CO 가스 농도가 5,000 ppm 이상에서는 거의 농도 구분을 할 수 없는 반면 본 연구에서 제작한 열선형 반도체식 가스센서의 경우 접촉연소식센서의 특성과 유사한 선형적인 결과를 나타내는 것을 알 수 있으나, 접촉연소식센서가 일반적으로 나타내는 센서출력전압보다 2배이상의 높은 결과를 얻을 수 있었다.

이러한 높은 출력전압 및 가스 농도에 대해 선형적인 특성은 반도체식 센서에서는 나타나지 않는 것으로 농도계를 비롯한 각종 센서 계측장비의 연계성이 뛰어나다고 할 수 있다. 또한

본 연구에서 센서의 출력으로 전압을 사용하였으나 제작한 센서의 구조상 출력 변수를 전류로 사용가능하므로 시스템으로의 적용성이 효율적이라고 할 수 있다.

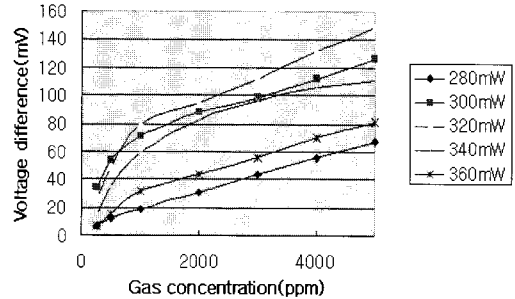


그림 10. 인가된 전력에 대한 CO 가스의 반응특성.

Fig. 10. Sensor characteristics for CO gas as input power.

다른 가스에 대한 센서특성을 조사한 결과 CO 가스와는 달리 HC 계열의 가스에 대해서는 인가전력이 증가될수록 센서 출력전압도 계속적으로 증가됨을 알 수 있다. 최대 가스 측정농도를 기준으로 볼 때, 360 mW의 인가전력에 대해 C₄H₁₀ 가스의 경우 212 mV를, C₃H₈ 가스의 경우 142 mV의 센서 출력전압을 나타내었다. C₃H₈ 가스의 경우 C₄H₁₀ 가스와 비교해 볼 때 상대적으로 낮은 센서 출력전압을 보이고 있다. CO 가스의 경우와 마찬가지로 가스 농도 증가에 대해 센서 출력전압이 선형적인 결과를 나타내었다. 하지만, CH₄ 가스의 경우 360 mW의 인가전력에 대해서도 25 mV라는 낮은 감도 특성을 나타내었다. 통상적인 CH₄ 가스 센서에 인가되는 전력은 C₄H₁₀이나 C₃H₈ 가스센서에 인가되는 전력에 비해 높아야된다는 결과와는 다소 다른 경우라고 사료되며, 이는 감지물질 자체의 특성이라고 생각된다. 그림 11에 1,000 ppm을 기준으로 한 각종 가스에 대한 특성을 그림으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 CO 가스에 대해서는 300 mW 및 320 mW에서 가장 높은 출력을 얻을 수 있었으며, C₄H₁₀ 가스에 대해서는 다소 높은 360 mW에서 가장 높은 출력전압을 나타내어 인가전력을 가변함으로써 각종 가스에 대한 선택성을 가질 수 있다고 할 수 있다.

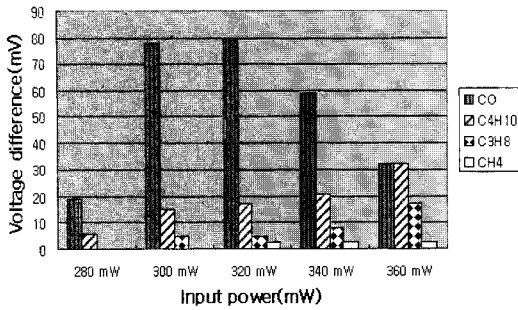


그림 11. 1,000 ppm을 기준으로한 각종가스에 대한 센서출력.

Fig. 11. Various gas response for 1,000 ppm.

표 1에 각종 가스에 대한 가스 반응시간 결과를 나타내었다. 사용된 가스의 농도를 1,000 ppm으로 모두 고정하여 측정하였다. 인가전력이 증가함에 따라 반응시간(response time)도 점차 줄어들었으며, 평균적인 반응시간은 약 12 초 정도였다. 가스를 주입하는 형태가 가스를 주사기를 주입하는 chamber 형태이기 때문에, MFC를 사용하게 되면 다소 빠른 응답특성을 가질 것이라 예상된다. 또한 가스주입전의 초기전압에 대해 가스 주입후 센서의 전압을 나타내는 회복특성을 조사해본 결과 초기전압에 대해 -3.5 mV의 차이를 나타내고 있다. 이러한 특성은 반도체식 센서가 가지는 최대의 단점인 회복특성을 완벽히 보완할 수 있는 우수한 특성이라고 할 수 있다. 이러한 회복 특성을 얻을 수 있는 것은 센서의 구조특성상 외부환경에 민감한 감지막의 저항의 변화가 전체 소자의 저항에 영향을 주기 때문이라고 생각된다. 그림 12에 나타난 습도에 대한 영향 및 그림 13에 나타난 장기안정도 특성에서도 이러한 안정된 특성을 그대로 나타내고 있다. 인가전력 300 mW로 유지한 상태에서 상대 습도 10 % ~ 90 %까지 10 %씩 변화시켜가면서 센서의 출력전압의 변동을 측정한 결과 센서 출력전압은 11 mV의 아주 작은 변화를 보였다. 이러한 미소한 변화는 비록 산화물반도체의 저항이 습도에 대해 민감하지만 소자 전체의 저항이 상대적으로 매우 작기 때문에 그 변화가 작은 것을 알 수 있다. 또한 일반 대기중에 센서를 노출시킨 상태로 장기안정도 특성을 얻은 결과 3개월간의 기간동안 센서출력전압의 편차가 약 ± 5 mV로 매우 안정된 특성을 나타내었다.

이러한 모든 특성으로 본 결과 가스 농도계로의 응용에 직접 적용할 수 있는 모델이라고 할 수 있다.

표 1. 각종 가스에 대한 반응시간 및 회복특성.
Table 1. Response time and recovery characteristic of various gases.

(단위 : 초)

Gas species \ mW	280	300	320	340	360
CO	15	12	10	10	10
C ₄ H ₁₀	17	15	15	10	8
C ₃ H ₈	20	18	14	12	10
CH ₄	-	-	25	21	18
Deviation voltage. (mV)	-2.8	-3.2	-3.0	-4.5	-5.1

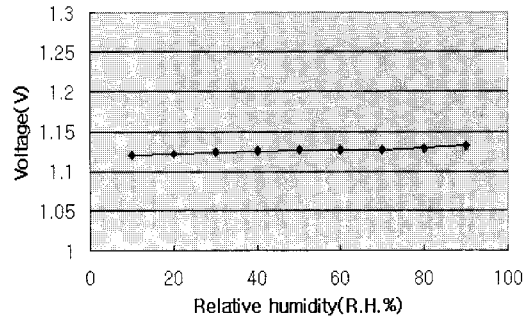


그림 12. 습도에 대한 영향.

Fig. 12. Influence of relative humidity.

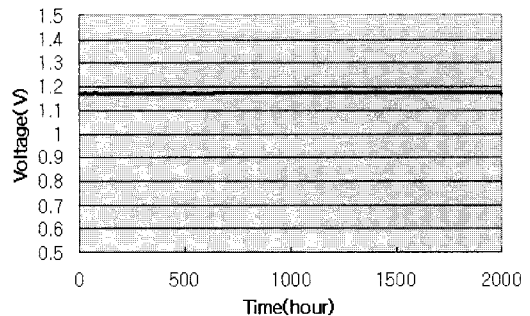


그림 13. 장기안정도 특성.

Fig. 13. Characteristics of long term stability.

IV. 결 론

유리기판을 사용한 단일전극을 가진 마이크로 가스센서를 제작하였다. 일반적인 마이크로 가스 센서가 가지는 구조인 히터와 감지막의 절연구조가 아닌 히터위에 감지막이 형성된 구조로서 히터 패턴과 감지막 패턴의 두장의 마스크로서 제작이 가능한 구조이며, 히터전극과 감지막전극이 따로 분리가 되지 않고 히터전극이 감지막전극이 되는 일체형 구조이다. 유리기판위에 스퍼터링으로 Pt 히터를 형성하고 그 위에 Sn을 열증착기를 이용해 증착시키고 그 위에 Pt 촉매를 코팅한 후 열산화하여 마이크로 센서를 제작하였다. 히터와 감지막이 병렬구조가 되어 전체소자의 저항이 거의 히터저항과 같아져 외부 환경요인에 의한 감지막의 저항변화에 비해 전체소자의 저항변화가 작아져 안정성이 뛰어난 센서가 될 수 있었으며, CO 가스에 대해 센서 출력전압이 가스농도에 대해 선형적인 특성을 얻을 수 있었다. 또한 접촉연소식센서의 일반적인 출력전압인 수십 mV의 출력전압보다 큰 수백 mV의 출력전압을 얻을 수 있었다. CO, C₃H₈, CH₄, C₄H₁₀ 가스에 대한 가스 반응특성을 조사한 결과 300 mW의 인가전력에 대해서는 CO 가스(1,000 ppm)에 대해 78 mV의 특성을 보인 반면 C₄H₁₀ 가스(1,000 ppm)에 대해서는 15 mV의 특성을 보여 인가전력에 따라 선택성을 보임을 알 수 있었다. 또한 습도에 대한 영향 및 장기안정도를 측정된 결과 반도체식 센서에서는 얻을 수 없는 안정한 특성을 보이고 있어 각종 센서 시스템로의 적용이 용이할 것으로 예상된다.

V. 감사의 글

본 논문의 저자들은 국가지정연구실의 재정적인 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] A. R. Baker and J.G. Firth, "The Estimation of Firedamp : Applications and Limitations of the Pellistor", *The Mining Engineer*, pp. 237~244, Jan., 1969.
- [2] A. Schwartz, L. L. Holbrook, and H. Wise, "Catalytic Oxidation Studies with Platinum and Palladium", *J. Catal.*, vol.21, pp. 199~207, 1971.
- [3] A. Marcio, A. Cardoso, and Dan Luss, "Stability of catalytic wires", *Chem. Eng. Sci.*, vol. 24, pp. 1699~1710, 1969.
- [4] C. G. Rader and S. W. Weller, "Ignition on Catalytic Wires Kinetic Parameter Determination by the Heated-Wire Technique", *AIChE Journal*, vol.20, no.3, pp. 515~522, 1974.
- [5] L. Hiam, H. Wise, and S. Chaikin, "Catalytic Oxidation of Hydrocarbons on Platinum", *J. Catal.*, vol. 9, no. 10, pp. 272~276, 1968.
- [6] R. K. Sharma, J. K. Sin, "Sensitive, selective and stable tin oxide thin-films for carbon monoxide and hydrogen sensing in integrated gas sensor array applications", *Sensors and Actuators B.72*, pp. 160~166, 2001.
- [7] V. Golovanov, S. Leppavuori, "Different thick-films methods in printing of one-electrode semiconductor gas sensors", *Transducers 95*, pp.874-877, 1995.
- [8] Stiles, A.B., "Catalyst manufacture-Laboratory and Commercial preparations", *Marcel Dekker, Inc.*, N. Y., 1983
- [9] Motoshi Tajima et al., "Micro-machined gas sensor array based on metal film micro-heater", *Transducers 99*, pp. 1016~1019, 1999
- [10] S. Semancik et al., "Selected-area deposition of multiple active films for conductometric microsensor arrays", *Sensors and Actuators B.34*, pp. 209~212, 1996
- [11] J. Getino et al., "Analysis of VOCs

with a tin oxide sensor array”,
Sensors and Actuators, B43, pp.
200~205, 1997

[12] 강대원 등, “히터전력 가변형 마이크로 센

서 어레이 제작 및 특성”, 한국센서학회 중
합학술대회 논문집, vol.10-1, pp. 83~
86, 1999

著 者 紹 介

송 갑 득

1970년 6월 17일생

1996년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2001년 경북대학교 전자공학과 박사과정(수료)

현 대구과학대학 인터넷정보전자계열 전임강사
주관심 분야 : 가스센서설계 및 시스템, 리튬이
온 배터리

방 영 일

2001년 영남대학교 재료금속.전자공학과 졸업

2001년 - 현재 경북대학교 전자공학과 대학원
석사

주관심 분야 : 반도체센서재료, 마이크로가스
센서, 센서계측

이 상 문

1972년 9월 25일생

1997년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2001년 경북대학교 전자공학과 박사과정(수료)

주관심 분야 : 가스센서 시스템 설계 및 시뮬레
이션, 박막형 산화주석 가스센서

이 윤 수

1969년 11월 29일생

1998년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2001년 경북대학교 전자공학과 박사과정(수료)

주관심 분야 : 반도체 산화물의 물성 연구, 전도
성 고분자 센서, 전도성 고분자 전지

최 낙 진

1971년 11월 1일생

1998년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 경북대학교 전자공학과 박사과정(수료)

주관심 분야 : 전자후각센서 시스템 설계 및 제
작, 박막형 산화주석 가스센서

주 병 수

1974년 12월 23일생

2000년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

현 경북대학교 전자공학과 박사과정

주관심 분야 : 임피던스를 이용한 가스센서의
설계 및 시스템

서 무 교

1984 경북대 전자공학과 졸업

1986 경북대 전자공학과 석사

1993년 경북대 전자공학과 박사과정 수료

1993년 - 현재 대구과학대학 인터넷정보계열

부교수

주관심 분야 : 반도체가스센서 제작 및 공정기
술 아날로그센서계측

허 중 수

1994년 미국 M.I.T. 공학박사

현 경북대학교 금속공학과 조교수

현 국가지정연구실 연구실장

주관심 분야 : 환경가스센서, Display 재료 및
부품

이 덕 동

연세대학교 전자공학과 박사학위

미국 Stanford 대 및 Cornell대 전기전자공학
과의 교환교수

현 경북대학교 전자전기·컴퓨터공학부 교수

현 한국센서학회 학회장