

논문 99-8-2-04

동일면상에 heater와 감지전극을 형성한 마이크로가스센서의 제작 및 특성

임준우*, 이상문*, 강봉휘*, 정완영**, 이덕동*

Characteristics and Fabrication of Micro-Gas Sensors with Heater and Sensing Electrode on the Same Plane

Jun-Woo Lim*, Sang-Mun Lee*, Bong-Hwi Kang*, Wan-Young Chung**,

Duk-Dong Lee*

요약

PSG(800nm)/Si₃N₄ (150nm)로 구성된 유전체 membrane 윗면에 heater와 감지전극을 동일면상에 동시에 형성하였다. 제작된 소자의 전체 면적은 3.78×3.78mm²이고, diaphragm의 면적은 1.5×1.5mm²이며, 감지막의 면적은 0.24×0.24mm²였다. 그리고 diaphragm내의 열분포 분석을 유한요소법을 이용하여 수행하였으며, 실제로 제작된 소자의 열분포와 비교하였다. 소비전력은 동작온도 350℃에서 약 85mW였다. Sn 금속막을 상온과 232℃의 두 가지 기판온도에서 열증착하였고, 이를 650℃의 산소분위기에서 3시간 열산화함으로써 SnO₂ 감지막을 형성하였다. 그리고 이를 SEM과 XRD로 특성을 분석하였다. 제작된 소자에 대해서 온도 및 습도에 대한 감지막의 영향 및 부탄가스에 대한 반응특성도 조사하였다.

Abstract

A micro-gas sensor with heater and sensing electrode on the same plane was fabricated on phospho-silicate glass(PSG, 800nm)/Si₃N₄ (150nm) dielectric membrane. PSG film was provided by atmospheric pressure chemical vapor deposition(APCVD), and Si₃N₄ film by low pressure chemical vapor deposition(LPCVD). Total area of the fabricated device was 3.78×3.78mm². The area of diaphragm was 1.5×1.5mm², and that of the sensing layer was 0.24×0.24mm². Finite-element simulation was employed to estimate temperature distribution for a square-shaped diaphragm. The power consumption of Pt heater was about 85mW at 350℃. Tin thin films were deposited on the silicon substrate by thermal evaporation at room temperature and 232℃, and tin oxide films(SnO₂) were prepared by thermal oxidation of the metallic tin films at 650℃ for 3 hours in oxygen ambient. The film analyses were carried out by SEM and XRD techniques. Effects of humidity and ambient temperature on the resistance of the sensing layer were found to be negligible. The fabricated micro-gas sensor exhibited high sensitivity to butane gas.

1. 서론

* 경북대학교 전자·전기공학부(School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

** 동서대학교 정보통신공학부(School of Information Communication Eng., Dongseo Univ.)

<접수일자 : 1999년 2월 1일>

현재 상품화되어 있는 가스센서는 벌크형과 후막형 센서가 대부분이며, 이들은 소모전력이 클 뿐만 아니라 공정의 표준성 및 정확한 온도제어 등의 문제점을 가지고 있다. 이런 단점들을 극복하기 위해 최근에는 박막형 센서에 대한 연구·개발이 활발히 진행되고 있다.

특히 실리콘 마이크로센서는 주로 실리콘 미세가공 기술을 이용하여 전력소모를 최소화하기 위해 제작되는 diaphragm 구조와 소자를 가열하여 감지효과를 높이는 heater부 그리고 가스를 감지할 수 있는 감지부의 세 부분으로 구성되어 있다. 실리콘은 실리콘 산화막이나 질화막보다 열전도도가 큰 물질로 실리콘 위에 heater를 형성할 경우, 감지막 부위의 온도상승에 필요한 전력소모가 커지는 것은 물론 센서주위에 분포한 주변회로에 열이 전달되어 작동에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 현재 쓰이고 있는 기술은 실리콘 기판의 뒷면을 식각하여 diaphragm을 형성하고 그 위에 heater를 형성하는 방법^[1]과 heater 밑부분만 식각하는 부유구조형성법^[2]이 있으나 집적회로에서의 공정의 편의성으로 인해 diaphragm구조의 소자모양을 형성하는 방법이 더 많이 이용되고 있다.

마이크로센서제조에 있어서 동작온도를 위한 heater 배열과 온도 분포 제어가 가장 중요한 기술적 요소이다. 그래서 본 연구에서는 제조공정을 단순화하면서도 감지막에 고른 온도 분포를 주는 센서의 구조를 설계하기 위해 유한요소법^[3]을 이용한 소프트웨어로서 소자의 diaphragm에 있어서의 열분포, 열소비와 온도의 균일성을 조사하였다. 그리고 가스감지박막으로는 일반적으로 많이 이용되고 있는 상온에서 증착한 Sn을 열산화하는 방법과 최근들어 연구가 이루어지고 있는 기판을 특정온도까지 가열하면서 증착한 후 열산화한 SnO₂ 박막을 이용^[4]하였으며, 그 특성을 SEM과 XRD로 분석하였다. 또한 이를 근거로 diaphragm의 중심부에 가스감지를 위한 전극을 형성하고 그 주위에 소자의 동작에 필요한 heater를 형성하였다. 이렇게 동일면상에 전극과 heater가 형성된 마이크로가스센서의 온도특성과 가스감지 특성을 조사하였다.

II. 실험 과정

1. 유한요소법에 의한 열분석

diaphragm 상에서의 열분포, 열소비 및 온도의 균일성을 조사하기 위해 유한요소법에 의한 수치해석을 하였다. 본 연구에서 채택한 센서구조는 감지전극과 heater가 동일면에 위치하도록 heater가 감지막의 주위를 감싸는 형태로 설계하였다. 따라서 먼저 heater가 감지막이 있을 위치의 측면으로 분포한 경우에 대해 조사하였고, 중심부에 감지전극이 있는 경우에 대해 조

사하였다. 본 수치해석에서는 우선 해석의 단순화를 위해 소자모델을 단순화하여 소자 모형의 1/4에 대하여 열분석을 한 후 그것을 4배로 함으로써 전체 전력을 계산하였다. 또한 heater나 감지막 전극의 lead선과 pad는 고려하지 않았으며, 본 수치해석에서 사용된 물질계수는 표 1과 같다. membrane의 경우 PSG (Phosphosilicate Glass)/Si₃N₄ 층으로 이때 복사율은 0.7로 가정하였다. 대류열전달계수 h는 자연대류만을 가정하였고, 요소의 표면적에서의 온도와 분위기 공기의 온도 및 기하학적인 구조에 따라 0.003~0.46(W/cm²K)로 계산·적용하였다. heater의 가열을 위해서는 heater의 체적에 일정한 전력을 가하는 방식 (heat generation rate)을 선택하였다.

2. SnO₂ 열산화 박막의 형성 및 특성측정

기판은 결정방향이 (100)이고 비저항이 10~20Ω·cm인 p형 실리콘을 사용하였으며 습식열산화법을 이용하여 600nm의 실리콘 산화막을 형성하였다. 그 위에 Sn의 녹는점인 232℃까지 기판을 가열하여 증착한 Sn을 열산화한 시료와 상온에서 증착한 Sn을 산화한 시료를 준비하였다. Sn의 증착두께는 약 200nm였으며, 산화는 650℃에서 3시간동안 산소 분위기에서 이루어졌다. 그리고 측정의 신뢰도를 높이기 위해서 위의 증착조건이 다른 두 시료를 동시에 산화하였다. Sn의 증착초기의 형태와 산화후의 형태를 조사하기 위해서 전자현미경(SEM) 사진분석을, 산화전·후의 결정성장의 상태를 조사하기 위해서 X-선회절(XRD) 분석을 이용하였다.

표 1. 물질계수
Table 1. Material coefficient

Material coefficient	Si	SiO ₂	Si ₃ N ₄	Pt
Thermal conductivity (W/cm·K)	1.5	0.0109~0.0145 (293~573K)	0.2092	0.719~0.734 (273~600K)
Emissivity	0.3	0.8	0.7	0.1

3. 마이크로센서의 제작

마이크로가스센서의 경우 membrane 물질로 스트레스 균형이 이루어진 PSG-Si₃N₄, Oxynitride, N-O-N

(Silicon nitride-oxide-nitride)등이 있으나, 본 연구에서는 PSG-Si₃N₄를 membrane 물질로 선택하였다. 그리고 본 연구에서는 마이크로 가스센서의 일반적인 형태인 heater와 그 상부에 절연물(SiO₂ 혹은 Si₃N₄)로 분리된 감지전극과 감지물질층을 가지는 구조가 아니라 절연층 없이 heater와 감지전극을 동일면상에 형성하였다. 동일면상에 소자를 형성한 가장 큰 이유는 중간 절연물을 가지는 기존의 방식의 소자 제조에는 5~6장의 mask가 공정에 필요하지만 동일면상의 경우는 mask를 3장만 사용함으로써 제작공정을 단순화시킬 수 있다는 이점과 또한 스트레스 균형이 이루어진 membrane에 heater와 감지전극을 분리시키기 위해 증착된 절연물에 의한 스트레스가 membrane에 가해지는 것을 방지할 수 있기 때문이다. 그림 1에 본 연구에서 제안된 마이크로 가스센서의 제작 공정 순서를 나타내었으며, 그림 2에 일반적인 마이크로센서의 단면도와 제안된 센서의 단면도를 비교하였다.

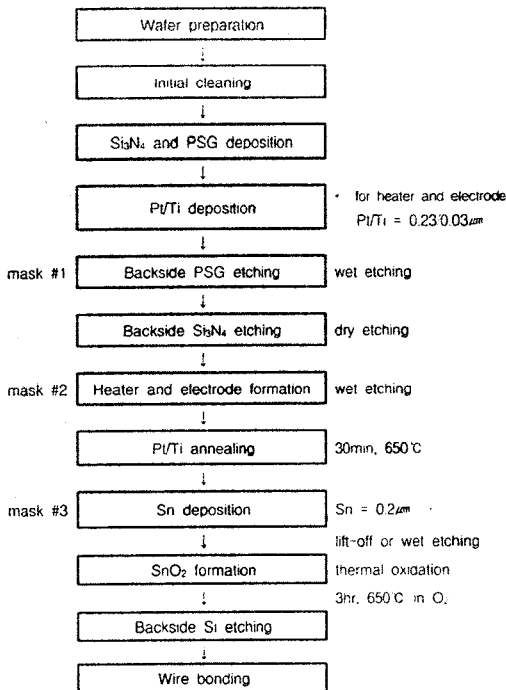


그림 1. 마이크로가스센서의 제조 공정도
Fig. 1 Process sequence of the fabricated micro-gas sensor.

제작 공정을 설명하면 아래와 같다. 기판은 저항률이 10~20Ω·cm인 (100) 방향의 양면이 경면처리된 두께

320µm의 p형 4인치 웨이퍼를 사용하였다. 초기 세척한 후 LPCVD를 이용하여 Si₃N₄를 150nm를 증착한 후 APCVD를 이용하여 PSG를 800nm를 증착하여 전면에서는 membrane으로 이용하고 후면에서는 KOH 이방성습식식각을 위한 보호막으로 이용되었다. 전면에서 r.f. magnetron sputter를 이용하여 in-situ로 Ti를 30nm, Pt를 230nm를 증착하였다. 그리고 mask #1을 사용하여 뒷면 PSG와 Si₃N₄를 습식식각과 건식식각하여 후면 실리콘이 KOH에 의해 이방성식각이 이루어지도록 패턴을 형성했다. 또한 동시에 mask #2를 이용하여 Pt를 습식식각(식각액 = 70HCl : 10HNO₃ : 80H₂O, 85°C)함으로써 Pt heater와 감지전극을 동일면상에 형성하였다. Sn을 열증착기를 이용하여 두 가지 방법으로 200nm를 증착하였다. 첫 번째는 기판을 가열하지 않은 경우로 mask #3를 사용하여 lift-off법으로 감지막 패턴을 형성하였다. 두 번째는 기판을 Sn이 녹는점인 232°C로 가열한 경우로 역시 mask #3를 이용하여 습식식각함으로써 감지막 패턴을 형성하였다. 두 가지 경우로 증착된 Sn을 동시에 650°C, 3시간 동안 산소분위기에서 열산화함으로써 SnO₂ 감지막을 형성하였다. 결과적으로 면적이 1.5×1.5mm²이고 두께가 950nm인 diaphragm위에 마이크로가스센서가 형성되었으며, 완성소자의 전·후면 사진을 그림 3에 나타내었다.

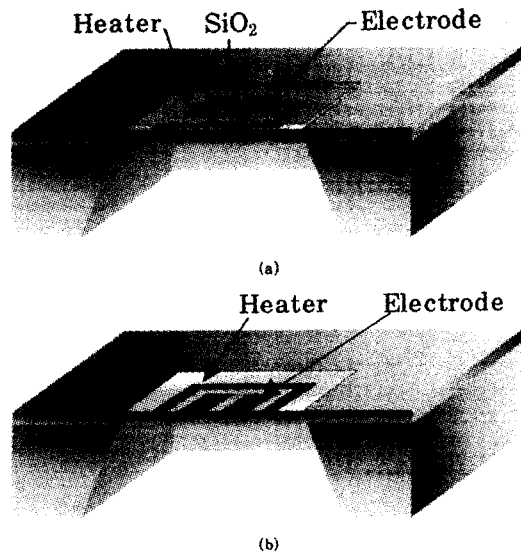
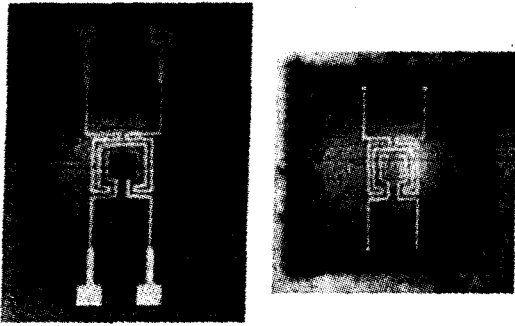


그림 2. 마이크로가스센서의 단면도
(a) 일반적인 형태 (b) 동일면상의 형태
Fig. 2. Cross-sectional view of micro-gas sensor.
(a) conventional type (b) same plane type



(a) (b)

그림 3. 제작된 마이크로가스센서의 사진
(a)전면 (b) 후면

Fig. 3. Photographs of the fabricated micro-gas sensor. (a) frontside view (b) backside view

III. 결과 및 고찰

1. 유한요소법에 의한 열해석

유한요소법에 의한 수치해석으로 얻어진 히터로부터의 거리에 따른 온도분포에 대한 결과를 그림 4에 나타내었다. 해석시 소모전력은 63mW로 고정하였다. 그림 4(a)는 diaphragm상에 heater만 존재하는 경우의 열분포를 보여주며 heater에 의한 열이 diaphragm의 중심부로 전달되어 가면서 heater의 온도와 중심부의 온도의 차이가 많음을 알 수 있다. 그러나 그림 4(b)에서는 감지막 및 전극이 첨가된 경우의 열분포를 나타내고 있으며 중심부에 전극이 없는 경우와는 달리 Pt 전극이 중심부에 넓게 형성되어 있으므로 중심부에서 열이 고르게 유지됨을 알 수 있다.

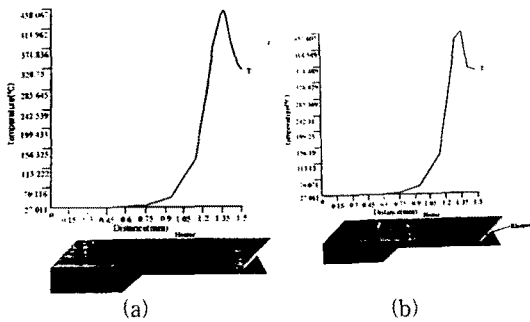


그림 4. diaphragm 상에서의 열분포
(a) 전극이 없는 경우 (b) 전극이 있는 경우
Fig. 4. Temperature profile on the diaphragm.
(a) without electrode (b) with electrode

이는 diaphragm을 형성하고 있는 PSG/Si₃N₄ 층의 열전도율보다 Pt의 열전도율이 70배 이상 더 크기 때문에 열분포가 상대적으로 고르게 나타나는 것으로 보이며, 실제 소자에서도 그림 4(b)의 결과와 같이 감지막부의 온도가 고르게 분포하리라 예상된다.

표 2에 수치해석에서 얻어진 각 소모전력에 따른 heater의 온도 및 감지층의 온도를 나타내고 있다. 소모전력이 약 60mW 일 때 감지층의 온도가 350°C 이상을 유지하였다.

표 2. heater 전력 대 감지층의 온도

Table 2. Heating power vs. temperature of sensing layer

Power [mW]	Temp. of heater [°C]	Temp. of sensing layer [°C]
37.2	275	227
48.4	348	288
55.8	403	328
60.0	426	351
63.0	450	372
67.0	476	392

2. diaphragm 상에서의 heater의 열 특성

제작된 센서의 구조는 그림 2의 소자단면에서 알 수 있듯이 heater의 열이 membrane을 통해 측면으로 전달되어 감지막의 온도를 증가시키며 온도센서가 없으므로 감지층의 온도는 SnO₂의 온도에 따른 저항변화특성을 이용하여 측정하였다. SnO₂는 온도에 따라 산소흡착종이 아래 표 3에서와 같이 천이하게 되어 온도가 증가함에 따라 저항이 감소하다가 어느 임계온도 이상에서 다시 증가하는 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로부터 동일한 조건으로 제조된 감지물질층을 이용해 열판 위에서의 온도와 저항과의 관계를 조사하였으며, 실제 소자에 장착된 heater의 가열에 의한 감지물질의 온도에 따른 저항변화를 조사하여 비교분석한 것을 그림 5에 나타내었다.

열판에 의해 가열된 SnO₂는 약 250°C에서 저항이 서서히 증가하기 시작하며, 제작된 소자의 경우도 heater의 온도가 아래 (1)식을 이용해 250°C로 계산될 때 SnO₂의 저항이 서서히 증가하기 시작한다.

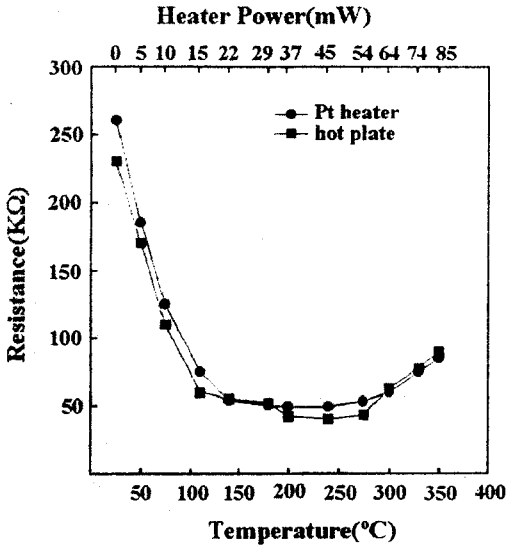


그림 5. 감지박막의 온도 대 저항 특성
 Fig. 5. Temperature dependent resistance characteristics of sensing layer.

표 3. 온도에 따른 SnO₂ 표면의 산소흡착종의 상태^[5]
 Table 3. Adsorbed oxygen states on SnO₂ surface at different temperatures^[5]

Temperature[°C]	Adsorbed oxygen state
below 150	O ₂ ⁻
160	O ₂ → O ⁻ (transformation)
180~200	O ⁻ and O ²⁻ (coexist)
200~400	O ²⁻

그러나 소자의 설계에서 실제 diaphragm상에 존재하지만 기판에 인접한 Pt heater의 저항 부분이 상온시 전체 heater 저항의 약 10%를 차지하고 있으며, 이 부분은 Pt heater의 가열시 열전도가 우수한 실리콘 기판에 의해 열량의 손실이 커 저항의 변화가 없는 부분(분위기 온도 : 27°C)으로 간주할 수 있다. 식(1), (2)는 이를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우의 저항변화 식이다.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

$$R_t = 0.1R_0(1 + 27\alpha) + 0.9R_0(1 + \alpha t) \quad (2)$$

여기서 R_t 는 온도 t 에서의 저항, R_0 는 0°C에서의 heater 저항(94.7Ω)이었고, α 는 제작된 Pt heater의 측정된 온도계수(0.0035)이다. (2)식으로 계산할 경우 (1)식으로 계산된 경우보다 약 11% 정도 온도가 더 높게 계산된다. 이를 표 4에 나타내었다. 그림 5의 결과와 표 4의 결과로부터 heater의 온도와 감지막의 온도 차이는 약 10~15%로 나타났다. 수치해석상에서는 온도차이가 약 20% 정도였다.

PSG/Si₃N₄로 구성된 diaphragm 상에 형성된 heater가 가지는 전력소모에 따른 온도를 수치해석시와 비교하여 그림 6에 나타내었다. 감지막을 부탄가스 감지의 최적온도인 350°C로 유지시키기 위해서는 heater의 온도는 약 400°C 정도가 되어야하므로 실제 소자는 약 85mW가 소모된다. 수치해석결과와 비교하면 30mW 정도가 더 많이 소모되고 있으며, 이는 수치해석시 모델의 단순화를 위해 heater구조를 단순화하여 heater 및 bonding pad 사이의 lead선 효과를 무시하여 생긴 것으로 생각된다.

표 4. 백금 heater의 저항 및 온도
 Table 4. Resistance and temperature of the Pt heater

Power [mW]	Heater resistance [Ω]	Heater temperature calculated by	
		equation (1) [°C]	equation (2) [°C]
15.07	131.9	112.2	121.7
22.02	142.3	143.6	156.5
29.25	153.6	177.7	194.4
37.27	163.6	207.9	227.9
45.76	173.7	238.3	261.8
54.66	185.0	272.4	299.7
64.17	194.1	299.9	330.2
74.26	203.7	328.9	362.4
84.03	213.9	359.6	396.9

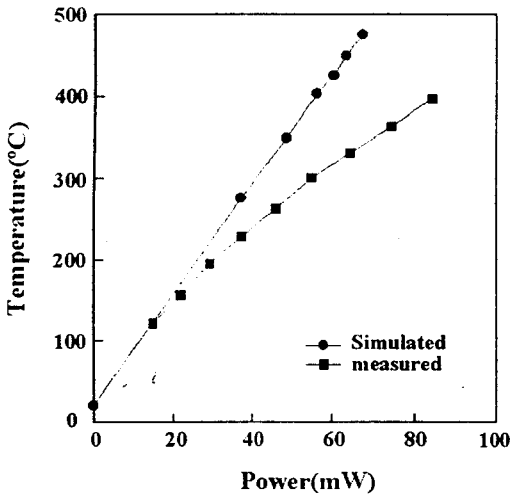


그림 6. 제조된 소자와 모의실험된 소자 heater의 온도 대 전력소모 비교

Fig. 6. Power consumption of the fabricated and the simulated devices for various heater temperatures.

3. SnO₂ 박막의 특성조사

3-1 전자현미경(SEM)에 의한 조사

금속 Sn을 열증착기를 이용하여 증착할 때 기판을 Sn의 녹는점인 232°C로 가열한 것[Sn(232°C)]과 가열하지 않은것[Sn]의 표면사진과 이를 650°C로 산화한후의 표면 사진을 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 기판이 가열되지 않은 경우의 Sn 박막의 증착형태를 보이고 있으며 막이 연속적으로 형성되어 있음을 알 수 있다. 그림 7(b)는 기판이 가열된 경우의 Sn 박막의 증착형태를 보이고 있다. 그림 7(a)와는 달리 증착된 Sn 막이 구형의 입자들로 형성되어 있음을 볼 수 있다. 증착후의 전기적 저항은 100MΩ 이상의 큰 값을 가졌으며, SEM 사진에서처럼 입자들이 모두가 서로간에 분리되어 있음을 볼 수 있다. 이는 증착동안에 일어나는 성장과 핵화 현상에 의해 Sn이 기판에 성장시 구형의 결정입자를 형성하게 되며 만약 두 개의 구형의 결정입자가 접촉되면 합체 메카니즘에 의해 또다른 하나의 큰 결정입자를 형성한다¹⁶⁾. 그러므로 이 메카니즘은 결정입자들 사이에 연결된 경로가 형성되지 않음을 의미한다. 그림 7(c)는 그림 7(a)의 산화후의 표면사진이고, 그림 7(d)는 그림 7(b)의 산화후 표면사진이다. 그림 7(d)의 경우 산화전과는 달리 Sn들이 산화과정에서 약 32%의 부피팽창¹⁷⁾하면서 전기적으로 서로 연결되었다.

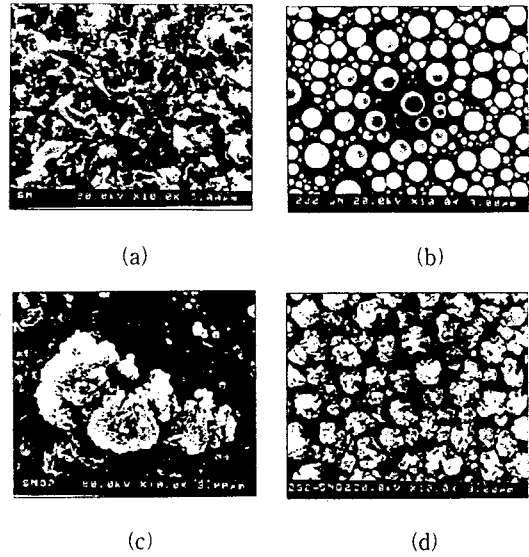


그림 7. Sn과 SnO₂의 SEM 사진

(a)Sn (b)Sn(232°C) (c)SnO₂ (d)SnO₂(232°C)

Fig. 7. SEM photographs of Sn and SnO₂

(a)Sn (b)Sn(232°C) (c)SnO₂ (d)SnO₂(232°C)

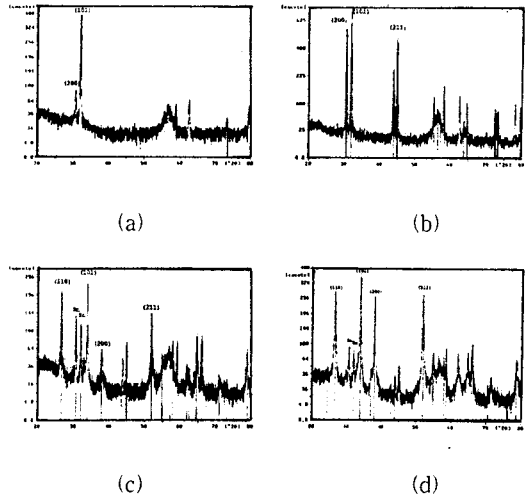


그림 8. Sn과 SnO₂의 XRD 패턴

(a)Sn (b)Sn(232°C) (c)SnO₂ (d)SnO₂(232°C)

Fig. 8. XRD patterns of Sn and SnO₂.

(a)Sn (b)Sn(232°C) (c)SnO₂ (d)SnO₂(232°C)

3-2 X-선 회절(XRD)에 의한 조사

그림 8(a), (b)는 Sn 열증착후의 XRD 패턴을 나타내고 있다. 기판의 가열여부에 관계없이 최대 피크치가 나타나는 결정성장 방향이 (101) 2θ=32.9°로서 Sn 금

속을 나타낸다. 그러나 기판이 Sn의 녹는점까지 가열된 것의 XRD 패턴에서는 결정이 (211) $2\theta=45^\circ$ 방향으로 성장한 것을 볼 수 있다. 그림 8(c), (d)는 Sn 증착후 650°C에서 3시간 동안 산소분위기에서 열산화한 감지막의 XRD 패턴을 나타내고 있다. 기판을 가열하여 형성한 Sn 막의 경우와 가열하지 않은 경우 모두 최대 피크치가 나타나는 각이 34° (101)로 SnO₂의 성장이 이루어졌음을 나타내고 있다.

3-3 온도 및 습도에 의한 영향

신뢰성 있는 소자를 얻기 위해서는 주변환경요인(온도, 습도)의 변화에 의한 소자특성에 변화가 가급적 없어야 한다. 특히 그림 5에 나타난 것처럼 온도에 민감하게 감지막저항의 변화를 보이는 온도영역에서 소자가 동작할 경우 주변환경요인에 의한 특성의 변화를 고려해야 한다. 그래서 제작된 소자의 정상동작상태(350°C)에서 항온항습조속에서 주변온도를 0°C ~ 45°C로 변화시키면서 이에 따른 감지막의 저항 변화를 그림 9에 나타내었고, 소자주변의 온도를 40°C로 고정된 상태에서 습도를 35%~90%로 서서히 변화시키면서 조사한 감지막의 저항변화를 그림 10에 나타내었다.

소자의 주변온도 변화에 의한 영향 측정시 온도가 증가함에 따라 소자표면으로부터 외부로 전도되는 열량이 감소하여 heater에 흐르는 전류가 서서히 감소하기 시작하였다. 이 결과는 heater저항의 증가를 의미한다. 그리고 (2)식에 의한 저항과 온도와의 관계로부터 heater저항의 증가는 Pt heater의 온도가 증가함을 의미하며, 또한 정상상태에서 소자의 동작온도가 350°C이므로 그림 5에 나타난 감지막의 온도에 따른 저항 특성 곡선에서처럼 heater 온도의 증가분은 감지막 저항의 증가를 초래하게 된다. 그래서 감지막의 저항이 서서히 증가하기 시작함을 볼 수 있으며, 저항의 변화는 20°C에서의 저항을 기준으로 약 $\pm 7\%$ 정도를 나타내었다.

그림 10의 경우는 습도가 증가함에 따라 감지막의 저항이 감소함을 볼 수 있다. 습도변화 측정시 습도가 증가함에 따라 heater의 전류가 조금씩 증가함을 볼 수 있었다. 이는 습도의 증가로 heater의 열이 수분으로 전도되어 열의 손실을 가져오게 되며, 이로 인한 백금 heater의 저항의 감소가 전류의 증가로 나타난 것으로 생각된다. 그리고 이와 더불어 감지막 표면에 수분의 흡착으로 인한 전기저항의 변화가 일어나는 경우도 감

지막 저항의 감소 원인이 될 수 있다. 35%~90%의 상대습도의 변화에 대해 소자의 저항의 변화는 약 10% 정도로 나타났다.

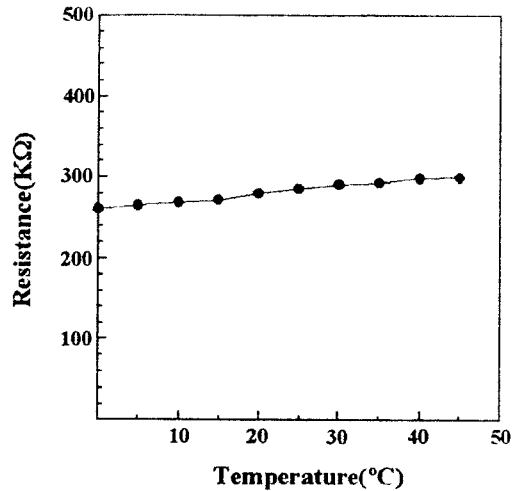


그림 9. 주변온도에 따른 감지층의 저항
Fig. 9. Resistance of sensing layer on ambient temperature.

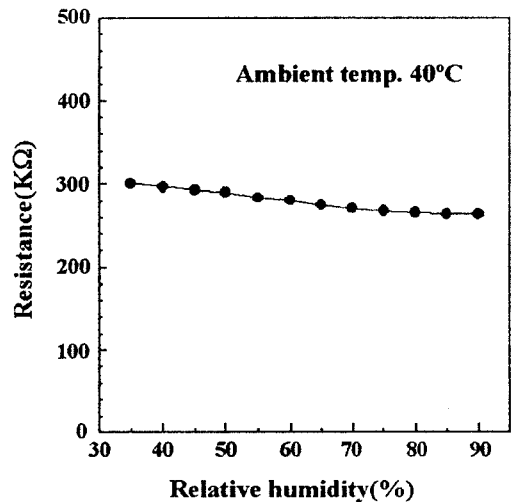


그림 10. 상대습도에 따른 감지층의 저항
Fig. 10. Resistance of sensing layer on relative humidity.

4. 감응특성

그림 11은 두 감지막의 부탄가스에 대해서 온도 및 농도(2,000ppm, 5,000ppm)에 따른 감도를 나타내고 있다. 그 감도(S)는 아래의 식 (3)에 의해서 계산되었다.

$$S(\%) = \frac{(R_0 - R_S)}{(R_0)} \times 100 \quad (3)$$

여기서 R_0 는 피검가스 주입전의 공기중에서의 소자의 저항값, R_S 는 가스 주입후의 소자의 저항값이다.

상온 증착된 감지막은 40% 미만의 감도를 보이는데 반해 기관가열에 의해 증착된 Sn을 산화하여 감지막을 형성한 경우는 약 80% 정도의 매우 양호한 감도를 나타내었다. 그 이유는 박막의 경우, 감지막의 bulk 특성을 이용하는 것이 아니라 표면반응에 의한 표면 특성을 이용하고, 기관 가열에 의해 얻어진 감지막이 상온 증착 감지막보다 비표면적이 더 넓기 때문인 것으로 예상된다.

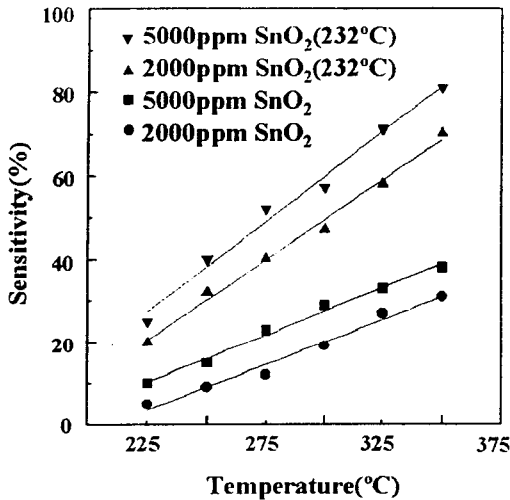


그림 11. 동작온도에 따른 소자의 감지특성
Fig. 11. Sensing characteristics of device for various operation temperatures.

IV. 결론

PSG/Si₃N₄ 박막층을 diaphragm으로 하고 금속 Sn의 열산화에 의한 SnO₂를 감지막으로 하는 마이크로 가스 센서를 설계·제작하였고, 그 특성을 분석하였다. 센서제조공정의 단순화와 감지막부위에서의 온도의 균일성을 위해 Pt 공정(heater와 감지막을 위한 전극)을 하나의 노광공정으로 실현하였으며, 위 공정에 의해 기존의 5~6개의 mask를 사용하던 마이크로가스센서의 제조공정을 3개의 mask 공정으로 단순화할 수 있었다. 또한 마이크로가스센서의 가열부의 열적거동을 유한요

소법에 의해 수치해석함으로써 diaphragm부위의 온도 분포, 소비전력 및 감지막부위의 온도분포를 예측하였다.

감지물질로는 금속 Sn을 상온과 녹는점까지(232°C) 가열된 기관위에 열증착하여 형성한 후 열산화함으로써 SnO₂를 형성하였으며, 이의 특성을 SEM과 XRD를 통하여 조사하였다. 그리고 온도 및 습도의 외부환경요소의 변화에도 안정한 특성을 나타내었다. 부탄의 감지 온도(350°C)에서 비교적 낮은 소모전력(약 85mW)을 나타내었으며 5,000ppm의 부탄가스에 대해 약 80%의 감도를 나타내었다.

본 연구에서 제조한 마이크로가스센서는 공정의 단순성, 감지막 부위에서의 온도의 균일한 분포, 비교적 저전력에서의 소자동작 및 부탄에 대한 우수한 감도 등을 나타내었으며, 저전력형 탄화수소계 가스 감지센서로서의 응용이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] David Moser, Henry Balts, "A high sensitivity CMOS gas flow sensor on a thin dielectric membrane", Sensors and Actuators A, 37-38, pp.33-37, 1993.
- [2] John S. Suehle, Richard E. Cavicchi, and Steve Semancik, "Tin oxide gas sensor fabricated using CMOS micro-hotplates and in-situ processing", IEEE Electron Device Letters, vol.14, no.3, 1993.
- [3] 정완영, 임준우, 이덕동, 노보루 야마조에, "마이크로 가스센서를 위한 저전력 마이크로히터의 제조 I. 유한요소법에 의한 열분포해석", 센서학회지 vol. 6, no.4, pp. 337-344, 1997.
- [4] G. Sberveglieri et al, "A novel PVD technique for the preparation of SnO₂ thin-films as C₂H₅OH sensor", Sensors and Actuators B, 7, pp.721-726, 1992.
- [5] Duk-Dong Lee, "Hydrocarbon Gas Sensors", Chemical Sensor Technology, vol. 5, pp.79-99, 1994.
- [6] S. Wolf and R. N. Tauber, "Silicon processing for the VLSI Era Volume 1-Process Technology", pp.110-111. 1986.
- [7] 정완영, 심창현, 홍영호, 이덕동, "CO 마이크로센서

의 제작과 그 특성”, 전자기술연구지, vol. 14-1, pp.141-147, 1993.

著 者 紹 介

임준우

『센서학회지 제6권 제4호』 논문 97-6-4-11, p.345 참조
현재 경북대학교 전자·전기공학부 박사과정 수료

정완영

『센서학회지 제6권 제3호』 논문 97-6-3-10, p. 244 참조
현재 동서대학교 정보통신공학부 전자공학전공 조교수

이상문

『센서학회지 제6권 제3호』 논문 97-6-3-10, p.244 참조
현재 경북대학교 센서기술연구소 연구원

이덕동

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-13, p. 116 참조
현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수

강봉휘

『센서학회지 제6권 제3호』 논문 97-6-3-10, p. 244 참조
현재 대구과학대학 전자과 전임강사