

SnO_x/Pt 薄膜 가스感知素子の 製造 및 그 感知特性(Fabrication of SnO_x/Pt Thin Film Gas Sensors and Their Sensing Characteristics)

李 聖 弼*, 鄭 完 永**, 李 德 東***, 孫 炳 基****

(Sung Pil Lee, Wan Young Chung, Duk Dong Lee and Byung Ki Sohn)

要 約

SnO_x/Pt 薄膜形 가스感知素子を 製造하고 그 特性을 測定하였다. SnO_x/Pt 薄膜은 SnO₂에 Pt 를 重量比로 2% 섞은 표적을 電子線 加熱蒸着法으로 形成하였다. 素子の 전도도는 온도의존성을 보였고, CO 가스에 대한 感度は 2000ppm 이하의 낮은 농도범위에서 가스농도의 平方근에 비례하였다. 最適動作온도는 약 300°C 였고 CO 가스농도가 5000ppm에서의 응답시간은 약 20초 였다.

Abstract

SnO_x/Pt thin film gas sensors were fabricated and their performance characteristics were measured. The SnO_x/Pt films were deposited by vacuum evaporating the SnO₂ target mixed with 2 wt% Pt. The conductivity showed the temperature dependence and the sensitivity to CO gas was proportional to the square root of gas concentration below 2000 ppm. The optimum operating temperature of the fabricated devices was about 300°C and the response time in 5000 ppm CO gas was about 20 sec.

I. 序 論

가스 感知素子は 氣體(대체로 空氣) 中에 含有된 特定가스를 適당한 電氣的 信號로서 感知 또는 定量하는 素子이다. 이와같은 信號는 使用된 가스 감지 소자의 表面과 流入된 氣體와의 相互作用에 따른 그 電氣傳導度의 變化에 의해 발생된다.^{1~4)} 가스 감지 소자는 이로부터 기대되는 機能과 目的을 위해 몇가지 條件이 充足되어야 한다. 즉 빠른 應答速度, 높

은 安定性, 再現性, 高感度, 選擇性 및 經濟性등을 가져야 한다.⁴⁾ 특히 有毒性가스나 爆發性가스의 感知를 위한 素子에 대해서는 이와같은 具備條件은 필수적이라 할 수 있다. 이러한 가스 感知素子は 1972年 日本의 N. Tauchi⁵⁾가 IV~VI族 酸化物半導體인 SnO₂를 母物質로 한 TGS(Taguchi gas sensor)를 實用化한 이래 이에 대한 研究가 활발히 이루어져 現在 여러가지 母物質과 形態가 소개되고 있다. 특히 가스에 대한 選擇성을 높이고 동작온도를 낮추기 위해 金屬이나 산화물계통의 添加物質개발에 관한 努力이 집중되고 있다.^{6,7)} 半導體를 利用한 가스 感知素子は 대체로 앞에서 말한 感知素子の 具備條件을 어느정도 만족하고 있는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 지금까지 개발된 가스 감지소자를 그 형태에 따라 분

*正會員, 慶南大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungnam Univ.)

準會員, *正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1988年 7月 12日

類하면 세라믹형,^{7,8)} 후막형,³⁾ 박막형^{1),2)} 및 MO-SFET 형⁹⁾ 등이 있다. 이 중 박막형 가스 감지소자는 제조과정이 비교적 간단하고 제품의 균일성 및 재현성이 높다는 점과 박막형성의 기술이 集積回路에 응용될 수 있다는 점에서 그 개발에 대한 관심이 커지고 있다.

本 實驗에서는 SnO₂에 Pt를 添加한 표적(target)을 사용하여 전자선 가열증착법으로 SnO_x/Pt 박막을 제조하였다. 그리고 제조된 박막의 표면분석, 온도에 따른 도전율변화, 열처리조건에 따른 감도특성, 막의 두께변화에 따른 저항변화와 가스 감지특성 및 응답특성을 조사하였다.

II. 實 驗

1. 素子の 製造

素子製造를 위해 本 實驗에서는 SnO₂를 母物質로 하고 Pt를 添加하기 위해 염화백금산(H₂PtCl₆ · 6H₂O)을 사용하였다. SnO₂에 2%의 重量比로 Pt를 첨가한 다음, agate mortar로 섞은 후 600℃에서 10시간 동안 공기중에서 假燒하였다. 이때의 온도상승율은 10℃/min로 하였고, 냉각시는 자연냉각하였다. H₂PtCl₆ · 6H₂O는 100℃ 이상에서 먼저 H₂O가 脫水되고 HCl이 분해되어서 PtCl₄가 된다.

이 PtCl₄는 그림 1에 나타난 것과 같이 온도에 따라 조성이 바뀌어지고 575℃ 근방에서 Pt만 남게 된다.¹⁰⁾ 하소된 물질을 분쇄한 후 0.5ton/cm²의 壓力으로 圓板型의 표적을 製造하여 900℃에서 1時間동안 소결하였다. 제조된 표적을 사용하여 전자선 가열증착법으로 기판온도 150℃ 그리고 3 × 10⁻⁶ torr의 압력에서 2 Å/sec의 증착율로 약 2000 Å, 5500 Å 그리고 10000 Å 두께의 박막을 형성하였다. 이때 사용된 기판은 7000 Å의 산화막을 형성한 Si 웨이퍼였다. 표 1은 막 형성을 위한 증착조건을 나타내고 있다.

증착된 박막의 열처리리는 산소분위기에서 열처리온도를 350~600℃로 그리고 열처리시간은 0.5~3 시간으로 하였다. 여기에 2mm 간격으로 Al 전극을 형성하였다. 그림 2는 제조공정도를 나타낸 것이다.

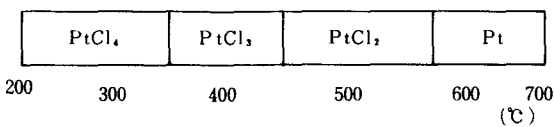


그림 1. 염화백금산의 해리과정
Fig. 1. Range of stability of the platinum chlorides.

표 1. 소자제조를 위한 증착조건
Table 1. Evaporation condition for the devices.

| | Conditions |
|------------------|---------------------------|
| Target | SnO ₂ /Pt |
| Substrate temp. | 150℃ |
| Power | 100watts |
| Initial pressure | 3 × 10 ⁻⁶ Torr |
| Working pressure | 5 × 10 ⁻⁸ Torr |
| Deposition rate | 2 Å/sec |

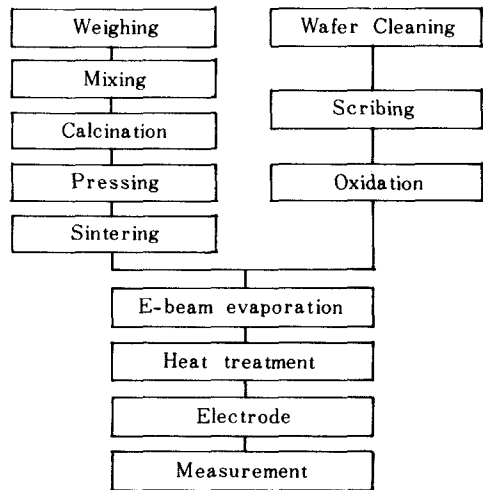


그림 2. 소자의 제조공정
Fig. 2. Process sequence for the devices.

2. 特性 測定

그림 3은 제조된 소자의 구조도이다.

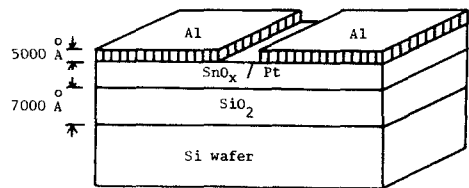


그림 3. 소자의 구조
Fig. 3. The structure of the device.

그림 4는 製造된 素子の 特性 測定裝置圖이다.⁸⁾ 素子の 電氣의 特性을 測定하기 위해 密閉된 箱子內의 熱板(hot plate) 위에 素子を 固定시킨 後, 素子과 直列로 負荷抵抗을 連結하였다. 가스를 주입한

후 팬을 돌려 상자내의 기체가 充分히 섞이도록 한 뒤 負荷抵抗의 兩端에 나타난 電壓의 變化를 Y-t 기록기로 기록하여 素子の 저항變化를 측정하였다.

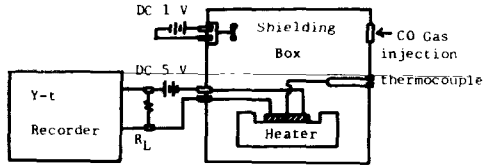


그림 4. 측정 장치도
Fig. 4. Schematic diagram for the measurement.

Ⅲ. 結果 및 考察

SnOx 및 SnOx/Pt 박막을 형성한 후 AES(Auger electron spectroscopy)와 ESCA(electron spectroscopy for chemical analysis)로 표면상태를 조사하였다. 그림 5는 산소분위기에서 400℃, 2 시간 열처리한 SnOx 박막의 Auger 스펙트럼이다. 430 eV에서의 Sn 피이크와 510eV에서의 O 피이크 비는 1.56:1로서 Sn과 O의 함량비는 48.5대51.5로 나타나고 있다. G. N. Advani 등^[2]이 발표한 RF 스퍼터링법에 의한 SnO₂ 박막의 경우 Sn과 O의 피이크비가 1.6:1으로 나타나고 있는데 이는 전자선 가열증착법에 의해 얻어진 박막의 비와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

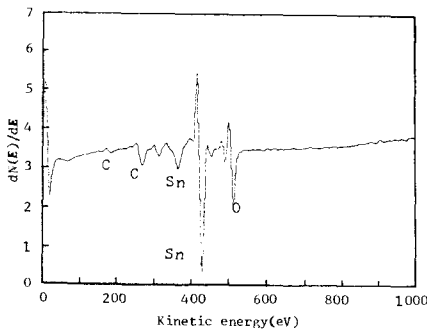
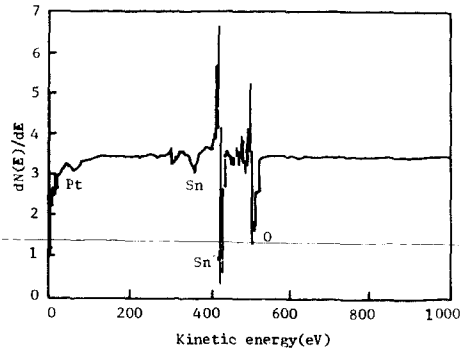
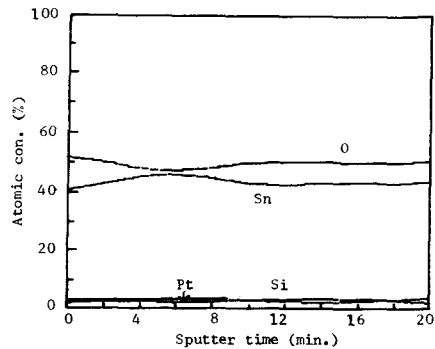


그림 5. SnOx 박막의 AES 스펙트럼
Fig. 5. Auger spectrum for SnOx thin film.

그림 6(a)는 산소분위기에서 400℃, 2 시간 열처리한 SnOx/Pt 박막의 AES 결과이다. 64eV 부근에서 Pt의 피이크^[11]를 발견할 수 있다. 또한 그림 6(b)는 SnOx/Pt 박막을 분당 250 Å로 식각하면서 두께에 따른 조성비를 알아보기 위한 두께 프로파일이다.



(a)



(b)

그림 6. (a) SnOx/Pt 박막의 AES 스펙트럼
(b) 깊이에 따른 성분조성 분포도
Fig. 6. (a) Auger spectrum for SnOx/Pt thin film.
(b) Depth profile of the SnOx/Pt.

Sn과 O의 성분조성 분포가 비교적 균일하였으며, 미량의 Pt가 존재함을 알 수 있었다. 그림에서 Si 성분은 나타나는 것은 기판이 Si 웨이퍼이기 때문이다.

그림 7은 SnOx/Pt 박막의 ESCA 결과이다. 일반적으로 산화주석의 3d_{5/2} 전자의 결합에너지는 486.4 eV, 3d_{3/2} 전자의 결합에너지는 494.9 eV로 나타난다.^[12] 그러나 그림 7에서는 3d_{5/2} 전자가 492.4 eV, 3d_{3/2} 전자가 500.8 eV로, 결합에너지의 피이크가 높은 에너지 쪽으로 이동하고 있다. 어떤 물질이 Pauling의 電氣陰性度 (electronegativity)가 높은 원소와 결합하면 피이크의 위치가 높은 에너지 쪽으로 이동하고, 전기음성도가 낮은 원소와 결합하면 피이크가 낮은 에너지 쪽으로 이동한다고 보고되고 있다.^[13] Sn의 전기음성도는 1.8이고, Pt의 전기음성도는 2.2인 것으로 보아^[14] Sn이 Pt와 표면에서 부분적으로 결합하기 때문에 높은 에너지 쪽으로 피이크의 이동이 일어나는 것으로 생각된다.

가스 감지 소자는 가스와 소자와의 반응에 필요한

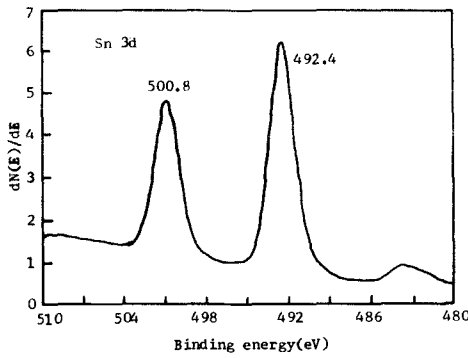


그림 7. SnOx/Pt 박막의 ESCA 스펙트럼
Fig. 7. ESCA spectrum of the SnOx/Pt thin film.

活性化에너지의 공급을 요하므로 소자 동작온도와 감도 및 안정성은 밀접한 관계가 있다.¹⁴⁾ 그림 8은 특정가스를 주입하지 않은 공기중에서의 SnOx/Pt 소자의 동작온도에 따른 소자의 도전율변화를 측정함으로써 온도가 상승함에 따라 도전율이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 온도가 증가할 수록 열에너지로 인하여 전도대에 이르는 전자수가 증가하는 반도체의 일반적인 성질과 SnO₂에서 온도상승에 따른 過剩Sn 이온이 증가하는 현상으로 설명할 수 있다.¹⁵⁾ 가스 감지소자의 작동에는 온도변화에 따라 도전율변화가 적은 것일 수록 유용하다. 이유는 온도변화에 따른 저항변화와 가스의 소자표면 반응에 의해 발생된 저항변화가 구별될 수 있어야 하기 때문이다. 그림 8에 나타난 바와 같이 두께가 증가할수록 온도변화에 따른 도전율변화가 감소함을 알 수 있다.

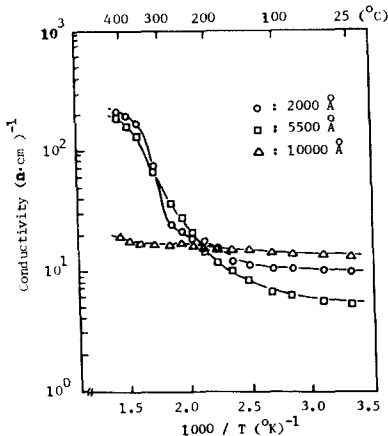
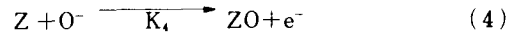
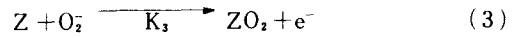
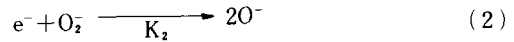
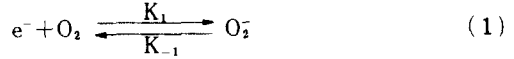


그림 8. 소자의 도전율에 대한 온도의존성
Fig. 8. Temperature dependence on the conductivity of the devices in air.

반도체 금속산화물은 주위가스와의 상호작용에 의해 그 도전율이 변화된다는 사실은 오래 전부터 보고되고 있다.^{11,12)} 특히 가스 감지물질로서 주로 이용되는 n형 금속산화물인 SnO₂나 ZnO는 표면이 비화학양론적인 상태이며, 이 표면은 주로 이온화된 흡착산소에 의해 물리적 흡착으로 보상되어진다.¹²⁾ 표면과 주위가스들과의 상호작용은 전자의 化學퍼텐셜을 변화시키고 이것은 컨덕턴스변화로 나타내어진다.¹⁶⁾ 이것을 식으로 표시하면 다음과 같다.



여기서 K₁, K₂, K₃ 및 K₄는 반응상수이고, Z는 환원성가스이며 e⁻는 전도대의 전자이다. 정상상태에서 (1), (2) 및 (4)식에 질량작용법칙을 적용하면

$$[O_2^-] = K_1 n_s [O_2] / (K_{-1} + K_2 n_s) \quad (5)$$

$$[O^-] = (2K_2 n_s / K_4 [Z])$$

$$(K_1 n_s [O_2] / (K_{-1} + K_2 n_s)) \quad (6)$$

이 된다. 여기서 n_s는 표면에서의 전자밀도이다. (5), (6)식의 두가지 산소상태밀도를 합한 산소음이온의 전체 표면밀도 N_t를 구하면

$$N_t = \{K_1 n_s [O_2] / (K_{-1} + K_2 n_s)\} \{1 + 2K_2 n_s / K_4 [Z]\} \quad (7)$$

로 되고 이것을 정리하면 다음과 같다.

$$K_{-1} N_t = \{2K_1 K_2 [O_2] / K_4 [Z]\} n_s^2 + \{K_1 [O_2] - K_2 N_t\} n_s \quad (8)$$

또한 소자의 저항R은 일반적으로 n_s에 반비례하기 때문에 R = a/n_s가 되고 (8)식에서 n_s를 얻으면 저항R을 [Z]의 함수로 구할 수 있다. Log[R]을 log[Z]로 미분하면 아래와 같다. 즉

$$d(\log R) / d(\log [Z]) = -\frac{1}{2} \{1 + (1 - 2aR/b)^{-1}\} \quad (9)$$

여기서 a = K₋₁ N_t 이고 b = a(K₁[O₂] - K₂ N_t) 이다. 가스의 농도가 낮으면 (9)식의 두번째 항을 거의 무시할 수 있고 대수-대수 그래프에서의 기울기는 -1/2

이 된다. 이는 R 이 $\sqrt{[Z]}$ 에 반비례함을 나타낸다. 그러나 가스의 농도가 높으면 이 기울기는 감소된다. 또한 감도(S)를

$$S = (R_0 - R_s) / R_0 \tag{10}$$

로 정의하면

$$\log S = \frac{1}{2} \log [Z] + C \tag{11}$$

즉, $S = S_0 \sqrt{[Z]}$

이 된다. 여기서 R_0 는 가스를 주입하기 전의 소자 저항값이고, R_s 는 가스를 주입한 후의 소자저항값이며, S_0 는 $[Z] = 1$ 일 때의 감도이다. 즉 감도는 수식적으로 환원성가스 농도의 1/2승에 비례함을 알 수 있다.

그림 9는 열처리시간을 2시간으로 하고 소자의 동작온도를 300°C로 하였을 때 SnOx/Pt 박막의 열처리온도에 따른 가스 감지특성을 대수-대수 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 CO 농도가 2000ppm 까지는 (11)식에서와 같이 기울기가 약 1/2이 되었으며 그 이상의 농도에서는 기울기가 다소 감소됨을 알 수 있다. 이것은 농도가 높아지면 (9)식의 두번째 항을 무시할 수가 없고 또한 가스의 2분자 반응에서 나타나는 R-E 기구(Rideal-Eley mechanism)^[17]로 설명될 수 있다.

다음은 열처리온도를 400°C로 하고 열처리시간의 변화에 따른 감도를 그림 10에 나타내고 있다. 열처리시간이 2시간인 경우 비교적 감도가 높음을 알 수 있다.

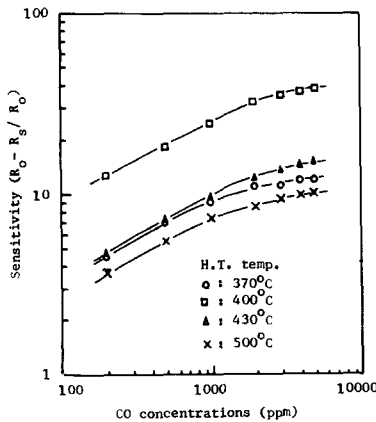


그림 9. 열처리온도에 따른 감도특성
Fig. 9. Device characteristics for heat treatment temperatures.

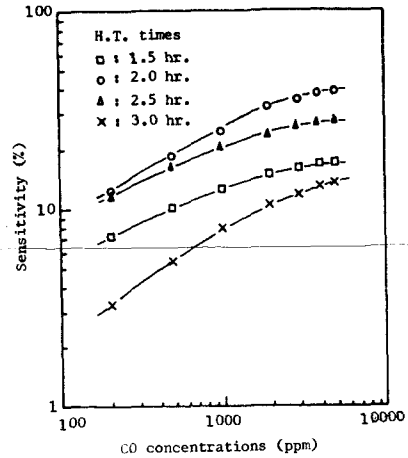


그림 10. 열처리시간에 따른 감도특성
Fig. 10. Device characteristics for heat treatment times.

그림 11은 동작온도 변화에 따른 SnOx/Pt 박막의 CO 가스 감지특성이다. 이때의 열처리조건은 400°C 2시간이었고 막의 두께는 1μm이었다. 동작온도가 상승할 수록 감도가 증가하여 300°C에서 약 36%의 감도를 나타내다가 350°C 이상에서는 감도가 감소하였다. 일반적으로 표면에서 흡착되는 산소의 가능한 이온 상태는 O₂⁻, O⁻ 및 O⁻²이다. 비교적 낮은 온도 영역(약 100°C 근방)에서는 주로 O₂⁻이고 200°C 이상의 온도영역에서는 O⁻ 상태이며, 그 이상의 온도에서는 O⁻²의 상태로 흡착하여 도전율변화에 기여

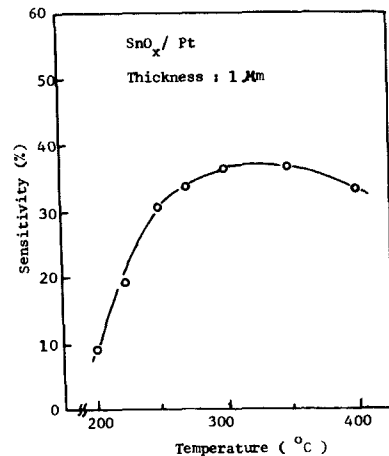


그림 11. 측정온도에 따른 감도특성
Fig. 11. Sensitivities for device operating temperature.

한다. 그러나 300°C 이상의 온도에서는 산소의 흡착보다는 탈착이 지배적이기 때문에 감도가 감소하는 것을 알 수 있다.

막의 두께변화에 따른 감도를 그림 12에 나타내었다. 두께가 1000 Å 이하 일때는 거의 감도가 없었고 두께가 증가할 수록 감도도 증가하다가 8500 Å 이상에서는 감도의 변화를 보이고 있지 않았다.

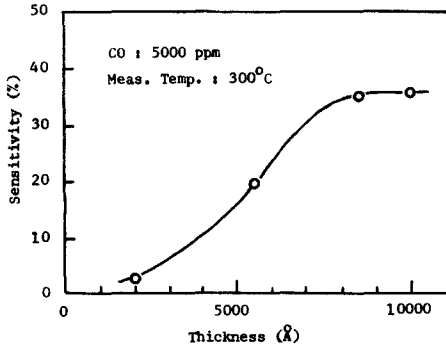


그림 12. SnOx/Pt 박막의 두께변화에 따른 감도
Fig. 12. Thickness dependence on sensitivity.

그림 13은 두께 1 μm인 소자의 여러가지 환원성 가스들에 대한 감도를 비교한 것이다. 이때 소자의 동작온도는 300°C 이다. 가스농도 5000ppm에서 부터는 약 25%, 메탄은 약 22% 그리고 프로판은 약 20.5%의 감도를 보이고 있다.

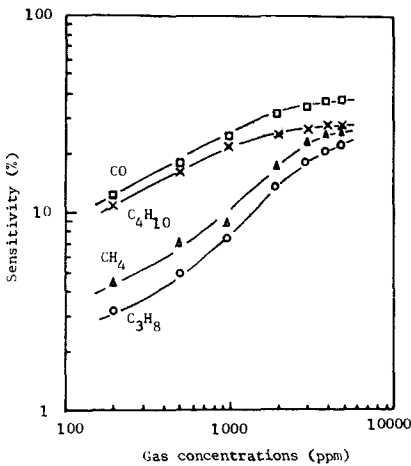


그림 13. 환원성가스들에 대한 감도비교
Fig. 13. Sensitivities of the device for reduced gases.

그림 14는 소자의 장기안정도를 나타내고 있다. 소자를 제조한 후 150 일 동안 거의 감도변화가 없음을 알 수 있다.

가스감지소자의 시간 응답특성은 가스와 감지물질과의 반응기구 및 실용화에 대단히 중요한 역할을 한다. 그림 15는 제조된 소자의 응답특성이다. 횡축은 시간을 나타내고 종축은 부하저항 양단전압을 Y-t 기록계로 측정 한 것이다. 두께가 1 μm 인 경우 300°C 에서 5000ppm의 CO 가스를 주입한 후 포화치의 90%에 도달하는데 약 20초정도가 걸렸고 가스를 배기시킨 후 원상태로 회복되는 시간은 약 4분 정도였다.

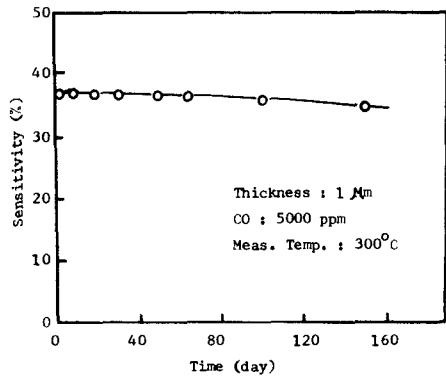


그림 14. 소자의 장기안정도
Fig. 14. Long-term stability test.

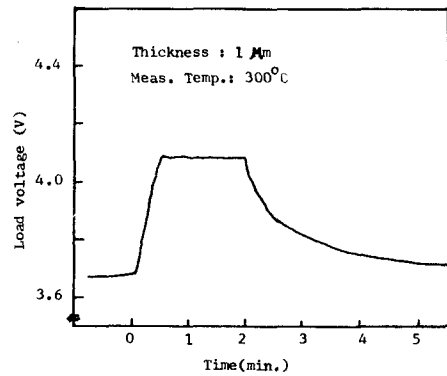


그림 15. 박막형 가스감지소자의 CO가스에 대한 응답특성
Fig. 15. Response to CO gas for the thin film gas sensor.

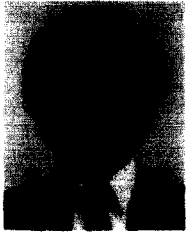
VI. 結 論

SnO_x에 Pt를 중량비로 2% 添加한 표적을 사용하여 酸化膜이 成長된 실리콘基板 위에 전자선 가열 증착법으로 박막을 증착한 후 열처리 함으로써 환원성가스에 반응하는 半導體 가스感知素子를 製造하였다. 증착된 박막의 AES 분석 결과 Sn과 O가 거의 1:1의 비율로 증착되었고 64eV에서 Pt의 피크가 관찰되었다. 素子의 溫度의존성은 두께가 증가할수록 도전율변화가 감소하였으며, 열처리조건이 400℃, 2시간일때 CO가스에 대해 가장 높은 감도를 나타내었고 가스농도가 2000ppm까지는 기울기가 약 1/2이 되었으나 그 이상의 농도에서는 기울기가 감소됨을 알 수 있었다. 또한 소자의 최적동작온도는 약 300℃였으며, 다른 가스들에 비해 CO와 부탄에 대해 비교적 높은 감도를 나타내었다. 제조된 소자는 150일까지 거의 일정한 감도를 유지했으며, 300℃에서 CO농도가 5000ppm인 경우 포화치의 90%에 도달하는 응답시간은 약 20초 정도였다.

參 考 文 獻

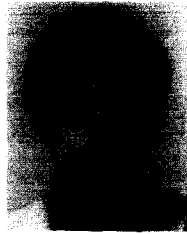
- [1] T. Seiyama, et al., "A new detector for gaseous components using semiconductive thin films," *Anal. Chem.*, vol. 34, pp. 1502-1503, 1962.
- [2] G.N. Advani and A.G. Jordan, "Thin films of SnO₂ as solid state gas sensors," *J. of Elect. Materials*, vol. 9, no. 1, pp. 29-49, 1980.
- [3] M. Nitta and M. Haradome, "Thick-film CO gas sensors," *IEEE Trans.*, vol. ED-26, no. 1, pp. 247-249, 1979.
- [4] S.R. Morrison, "Semiconductor gas sensor," *Sensors and Actuators*, vol. 2, pp. 329-341, 1982.
- [5] N. Taguchi, *U.S. patent*, 3,695,848, 1972.
- [6] 李德東 等, "半導體 가스感知素子의 製造 및 그 電氣의特性," 電子工學會誌, 第15卷 第5號, pp. 46-50, 1976.
- [7] N. Yamazoe, Y. Kurokawa and T. Seiyama, "Effects of additives on semiconductor gas sensors," *Sensors and Actuators*, vol. 4, pp. 283-289, 1983.
- [8] 李聖弼 等, "低 電力用 CO 가스感知素子," 電子工學會論文誌, 第23卷 第6號, pp. 26-32, 1986.
- [9] K. Dobos, et al., "An integrated CO-sensitive MOS transistor," *Sensors and Actuators*, vol. 2, pp. 169-177, 1983.
- [10] J.W. Mellor, et al., "A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry," vol. 16, Longmans, Green and CO. LTD., Jendon 1947.
- [11] A.W. Czanderna, "Method of surface analysis," Elsevier Co., Amsterdam, pp. 159-168, 1975.
- [12] 俞炳尙, 朴萬基, "機器分析," 東明社, pp. 470-472, 1986.
- [13] Ibid, pp. 395-408.
- [14] 全學濟 等, "理化學大辭典," 創元社, p. 985, 1976.
- [15] J.S. Choi and C.H. Yo, "Study on non-stoichiometric composition of zink oxide," *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 37, pp. 1149-1151, 1976.
- [16] S.R. Morrison, "Mechanism of semiconductor gas sensor operation," *Sensors and Actuators*, vol. 11, pp. 283-287, 1987.
- [17] F. Wilkinson, "Chemical kinetics and reaction mechanism," Van Nostrand Reinhold Co., New York, pp. 230-234, 1980.
- [18] A. Jones, et al., "The effect of the physical form of the oxide on the conductivity changes produced by CH₄, CO and H₂O on ZnO," *Sensors and Actuators*, vol. 5, pp. 75-88, 1984. *

著 者 紹 介



李 聖 弼 (正會員)

1957年 5月 3日生. 1983年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1985年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1985年 3月~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 현재 경남대학교 전자공학과 전임강사. 주관심분야는 센서 모델링과 스마트 센서의 개발 등임.



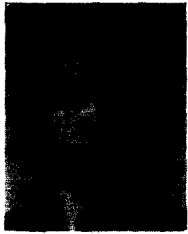
鄭 完 永 (準會員)

1963年 7月 23日生. 1987年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1987年 3月~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 센서 모델링과 스마트센서의 개발 등임.



孫 炳 基 (正會員) 第25卷 第11號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 교수



李 德 東 (正會員)

1942年 12月 21日生. 1966年 2月 경북대학교 물리학과 이학사 학위 취득. 1974年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1984年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사학위 취득. 1966年 3月~1970年 4月 공군기상전대 중위. 1971年 3月~1974年 12月 숭전대학교 물리학과 조교. 1974年 12月~현재 경북대학교 전자공학과 부교수. 1979年 11月~1980年 2月 Stanford University (Visiting Scholar). 1981年 8月~1982年 8月 Cornell University 교환교수. 1987年 6月~1987年 7月 일본규슈 대학 방문연구. 1986年 1月~1987年 1月 대한전자공학회 편집위원. 1988年 2月~현재 대한전자공학회 반도체재료 및 부품연구회 위원장. 주관심분야는 반도체센서분야, 집적회로 제조공정분야 등임.