

논문 95-4-2-06

Pt 전극을 사용한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 탄화수소계가스에 대한 감응특성

홍영호\*, 이덕동\*

Gas Sensing Characteristics of SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt Thick Film Using Pt Electrode for Hydrocarbon Gases

Young-Ho Hong, Duk-Dong Lee

## 요 약

공침법을 이용하여 Ca 및 Pt 가 첨가된 SnO<sub>2</sub> 미세 분말을 제조하였다. 제조한 미세분말에 대해 TEM, XRD 및 BET 분석으로 결정크기 및 비표면적을 분석하였으며, 제조한 원료분말을 이용하여 스크린 인쇄법으로 후막형 가스 감지 소자를 제작하고, 그 특성과 탄화수소계가스에 대한 감지 특성을 조사하였다. 첨가된 Ca 및 Pt에 의해 하소와 소성의 열처리 과정 중에 SnO<sub>2</sub>의 결정 성장이 억제되었으며, 탄화수소계가스에 대한 응답 특성의 향상을 가져왔다. 한편, 소자의 전극으로써 Au 와 Pt를 사용하여 비교 분석하였는데, Au를 전극으로 사용할 경우에 Pt에 비해 가스 감응 특성 면에서 큰 저하를 가져왔다. 이는 Pt 전극도 CH<sub>4</sub>의 산화에 기여했기 때문이다. Ca 및 Pt를 각각 0.1, 1 wt.% 첨가한 SnO<sub>2</sub> 후막소자의 경우 2000 ppm의 CH<sub>4</sub>에 대해 약 83%의 감도를 보였다.

## Abstract

A coprecipitation method was used for preparing Ca and Pt doped SnO<sub>2</sub>-based material. Crystallite size and specific surface area were investigated by TEM, XRD and BET analysis. SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt based thick film devices were prepared by a screen printing technique for hydrocarbon gas detecting. Then the electrical and sensing characteristics of devices were investigated. As Ca and Pt addition, the crystal growth of SnO<sub>2</sub> was suppressed during calcining and sintering, and the sensitivity of SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film to gas was enhanced. Also any difference in the sensing properties has to be attributed to the Pt and Au electrode. For the 2000 ppm CH<sub>4</sub>, the sensitivity of SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film devices were about 83% at an operating temperature of 400°C.

## I. 서 론

최근 인간 사회가 본격적인 고도 산업화 시대를 맞이함에 따라 기술 분야 및 사회분야 전반이 점차

자동화, 소형화, 고성능화, 안정화 및 쾌적화를 지향하게 되었다. 이 중 자동화는 센서기술을 핵심으로 하여 이룩되는 제어 기술과 긴밀히 연관되어 있으며, 소형, 고성능화 기술이라는 첨단 기술과 접목되어 급속히 확산되고 있는 과정에 있다. 그리고 기술 발전의 결과로 불가피하게 맞게 되는 환경문제는 안정, 쾌적화를 지향하는 우리 인간이 해결해야 하는 또 하나의 과제로 부각되고 있다.

오늘날 사용되고 있는 가스 중에서 가장 대중화되

\*경북대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)  
<접수일자 : 1995년 3월 31일>

\*본 연구는 상공자원부에서 시행한 공업기반 기술 개발사업의 기술개발 결과임.

고 있는 것은 탄화수소계가스이다. 산업용, 발전용 및 가정용 등 용도가 다양하고, 사용 영역이 다른 가스에 비할 수 없을 만큼 넓다. 특히 도시가스의 대중화는 주지의 사실이다. 아울러 그 발생원 또한 증가추세에 있는데, 자동차 등 내연 기관의 사용에 따른 탄화수소계 가스의 배출이 그 대표적인 예이다. 따라서 탄화수소계 가스의 누설 탐지와 공기 중에 포함된 탄화수소계 가스의 함유량을 감지, 정량하는 일은 안정 및 쾌적한 생활을 지향하는 현대인을 위해서 필수적이며, 이를 위해 탄화수소계가스 센서 및 시스템의 개발이 수반되어야 한다.

현재 상품화되고 있는 탄화수소계가스 센서에는 반도체식<sup>[1-7]</sup>과 접촉연소식<sup>[8-9]</sup>이 있다. 접촉연소식은 직선성은 좋으나 낮은 농도에서 신호가 미약한 것이 결점이다. 또한 반도체식은 감도면에서 우수하며 저가이고, 소형으로의 제작이 가능하나 개개의 가스에 대한 선택성 부여가 어려운 단점이 있다. 반도체식 가스센서의 모물질로서 가장 많이 사용되는 SnO<sub>2</sub>는 탄화수소계가스와 같은 환원성 가스에 대해 높은 감도 및 짧은 반응속도를 가짐이 잘 알려져 있다.<sup>[10,11]</sup> 그러나 SnO<sub>2</sub>는 탄소수에 따라 그 감지 특성에 차이를 나타낸다. SnO<sub>2</sub> 센서의 가스 선택성 및 감도를 향상시키기 위해서 현재 Pt, Pd, Rh 등의 귀금속 촉매나 또 다른 금속 산화물을 모물질에 첨가하거나 모물질의 결정의 크기를 미세하게 유지하는 방법 등을 사용한다.<sup>[12-14]</sup> 첨가된 귀금속 촉매는 감지막표면을 활성화시켜 감지하고자 하는 가스의 완전 산화에 기여하게 되며, 이 결과로 감도를 향상시킬 수 있다. 한편, 현재 상업적으로 이용 가능한 센서는 충분한 기계적 강도를 얻기 위하여 700°C 이상의 온도에서 소성하게 되는데, 이는 SnO<sub>2</sub>의 결정을 미세하게 유지할 수 없는 원인이 된다.

본 논문에서는 공침법을 이용하여 Ca 및 Pt 이온이 첨가된 SnO<sub>2</sub> 미세 분말을 제조하였으며, 이의 소성 온도에 대한 결정 성장 및 탄화수소계가스에 대한 감응 특성을 조사하였다. 또한 센서의 전극으로써 Pt 및 Au를 사용하여 전극에 따른 가스 감응 특성을 조사하였다. 촉매로써 Pt를 선택한 것은 Pt가 흔히 CH<sub>4</sub>의 완전 산화를 위한 촉매로서 사용되기 때문에 CH<sub>4</sub>에 대한 감도의 증진에 기여할 것이라는 생각 때문이며,<sup>[15,16]</sup> 소성시 결정성장의 억제를 위해 Ca를 첨가하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 원료분말의 합성

가스감지소자의 모물질이 되는 원료분말은 제조회사에서 다량으로 입수 가능하나, 보통 입자의 크기가 가스에 대한 양호한 감도를 나타내기에는 큰 편이고, 첨가물을 혼합할 때에 균질 혼합분말 형성에 많은 시간이 소요되는 등의 문제가 있다. 본 연구에서는 산화주석의 미세분말을 습식법(hydroxide 법)을 이용하여 직접 제조하고, 동시에 첨가물도 공침법(coprecipitation)으로 균일한 분산을 시켜 소자의 구성물질의 조성이 균일하게 되도록 하였다. 감지소자의 모물질로 사용되는 분말을 감지막 또는 벌크형 감지체로 형성하여 사용하기 전에 보통 하소과정(calcination process)을 거치게 되는 데, 이는 혼합분말에 함유된 각종 유기물을 휘발시키는 것을 주목적으로 하고 있으며, 이 때 하소 열처리 결과 성장된 입자의 크기가 센서의 감도에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

소결과정을 거치기 이전의 초기 입자의 질을 결정하는 요소로는 조성, 순도, 균질성 등의 화학적인 인자와 입경(particle size), 입도분포, 형상 등의 기하학적인 인자가 있다. 이들 요소는 초기입자의 특성제어에 의해 조절될 수 있으나, 분말 혼합법으로는 조성 및 균질성을 얻기에는 한계가 있다. 반면 화학적인 방법으로 합성한 분말은 활성이 높고, 순도가 비교적 높을 뿐만 아니라 균질의 미립자를 얻을 수 있으므로 앞에서 기술한 바와 같이 침전법을 이용한 혼합분말 제조 과정을 택함으로써 소결 특성 및 감지특성의 향상을 꾀하였다.

원료물질을 제조하기 위해 사용한 출발 물질로는 SnCl<sub>4</sub>, (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)Ca · xH<sub>2</sub>O 및 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 혼합 수용액을 사용 하였으며, NH<sub>4</sub>OH를 떨어뜨리면서 자기 교반기로 교반하여 pH 9.5에서 Sn(OH)<sub>4</sub>, Pt(OH)<sub>2</sub>의 침전물을 얻고, 이를 0.1M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 용액으로 세척하여 염소기를 제거하였다. 이 수화물 현탁액을 대류 오븐에서 건조한 후, 600°C에서 1 시간 동안 하소하여 SnO<sub>2</sub>(Ca/Pt) 원료 분말로 사용하였다. 그림 1에 위의 전체 공정을 나타내었다.

### 2. 소자의 제작 및 특성 측정

본 연구에서 제조한 SnO<sub>2</sub>(Ca/Pt) 물질을 이용하여 탄화수소계가스의 감지를 위한 소자를 제작하였다. 제조한 원료분말을 탈이온수 및 유기용제를 이용하여

적당한 점도를 가지는 슬러리(slurry)로 만든 후, Pt 전극이 형성된 알루미늄 기판 위에 스크린 인쇄법으로 감지막을 형성한다. 그리고 700~1000°C, 공기 중에서 1 시간 소성한 후, 스퍼터링 및 진공열증착법으로 Pt 및 Au 전극을 증착하여 소자의 감지부를 만든다. 이렇게 만든 감지부를 히터로써 Pt 페이스트를 인쇄한 또다른 알루미늄 기판과 결합함으로써 전체 소자를 완성한다. 이렇게 제작한 소자의 구조를 그림 2에 나타내었다.

위와 같은 과정을 거쳐 제작된 소자의 전기적 및 가스감지특성을 조사하기 위하여 밀폐된 측정장치를

사용하였다. 또한 습도에 관한 영향을 조사하기 위해 항온항습조를 사용하였으며, 20~90%의 상대습도의 범위에서 측정하였다. 소자에 직렬로 부하저항을 연결하고, 직류 정전압을 인가한 후, 부하전압 양단의 전압강하를 컴퓨터를 이용하여 측정하였으며, 이를 이용하여 소자의 저항변화를 계산하였다. 측정가스로는 메탄(CH<sub>4</sub>), 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 부탄(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), 수소(H<sub>2</sub>), 에틸알코올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)을 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 감지막의 분석

SnO<sub>2</sub> 및 SnO<sub>2</sub>(Ca)원료 분말의 평균 결정 크기를 XRD(x-ray diffraction) 패턴의 (110)의 반가폭의 값을 Scherrer의 공식에 대입하여 구하였으며, TEM(transmission electron microscope)을 이용하여 직접 관찰한 값과 비교하였다.

그림 3은 하소 온도에 따른 결정의 크기를 Ca의 첨가량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 순수한 SnO<sub>2</sub> 분말의 경우 초기에 약 50Å의 결정 크기를 보였으나, 1000°C의 온도에서 하소하면 약 270Å으로 크기가 크게 증가한다. 그러나 Ca를 첨가한 SnO<sub>2</sub> 분말의 경우 첨가량에 비례하여 결정 성장이 억제됨을 알 수 있다. 그러므로 첨가한 Ca는 1000°C 정도의 열처리 온도에서 효과적으로 SnO<sub>2</sub>의 결정 성장을 억제한다고 생각된다. 또한 표 1에 Ca를 0.1 wt.% 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우의 시편에 대해 하소 및 소성한 때의 비표면적의 변화를 나타내었다. Ca가 함유된 경우 결정성장의 억제에 의해 비표면적이 증가함을 알 수 있다.

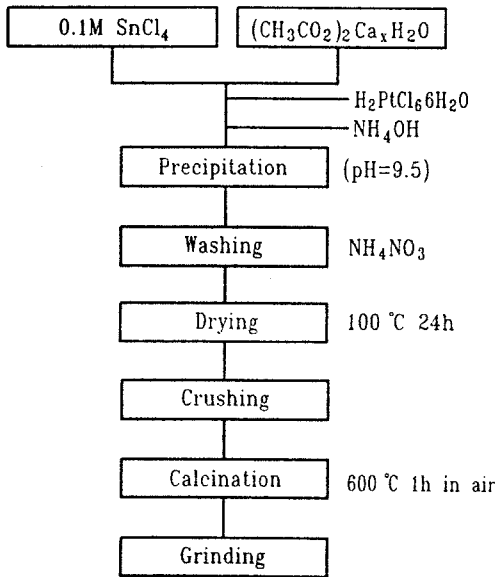


그림 1. 원료물질 제조 공정도.

Fig. 1. Synthesis sequence for raw material.

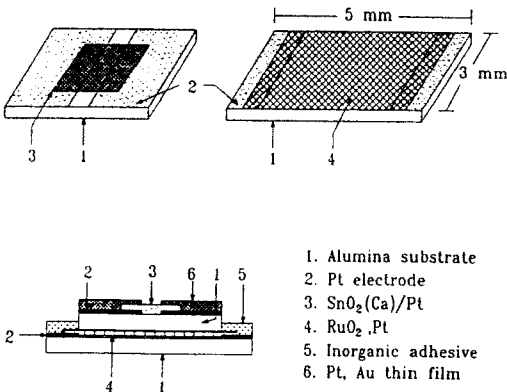


그림 2. 소자의 구조.

Fig. 2. Structure of the device.

표 1. SnO<sub>2</sub> 후막의 하소 및 소성 후의 비표면적.

Table 1. Specific surface area after calcination and sintering.

Additive	Calcination at 600°C, 1 h	Sintering at 800°C, 1 h (after calcination at 600°C, 1 h)
	Specific surface area	Specific surface area
none	25.5 m <sup>2</sup> /g <sup>1</sup>	19.8 m <sup>2</sup> /g <sup>1</sup>
Ca (0.1wt.%)	36.0 m <sup>2</sup> /g <sup>1</sup>	27.8 m <sup>2</sup> /g <sup>1</sup>

그림 4는 Ca를 첨가하지 않은 경우와 첨가한 경우의 SnO<sub>2</sub> 후막에 대해 600°C에서 1시간 하소한 경우의 TEM 관찰을 나타낸 것이다. Ca를 첨가한 경우 Ca를 첨가하지 않은 경우와 비교할 때 결정성장의 억제를 직접 관찰할 수 있다.

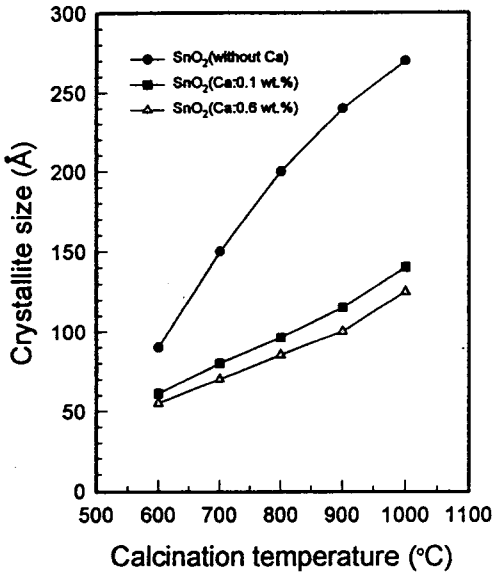


그림 3. 하소 온도 및 Ca의 첨가량에 따른 결정의 크기.

Fig. 3. Relationship between mean crystallite size and calcination temperatures for different loading levels of Ca

## 2. 소자의 특성

### ① 저항-온도 특성

제작한 소자는 후막형 소자로서 열처리 온도의 변화에 따라 초기 저항값이 달라지고, 이 초기 저항값은 감도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그리고 온도상승에 따른 소자저항값의 변화정도는 온도영역에 따라 차이를 보이므로 센서동작을 위해 바람직한 온도영역은 저항-온도 특성의 조건을 함께 고려해야 한다. 즉 이상적인 동작온도는 소자의 저항값이 온도변화에 대해 거의 불변인 영역에서의 온도값으로 될 것이나, 원하는 가스에 대한 감도와 선택성을 고려해야 한다는 문제점이 있다. 본 실험에서 제작한 후막형 가스감지 소자는 탄화수소계가스에 대해 약 350°C 부근에서 가장 양호한 동작을 나타내고 있어 이 온도영역에서 소자저항-온도특성을 살펴 볼 필요가 있다.

그림 5는 Pt와 Au를 전극으로 사용한 소자 중에서 가스에 대해 가장 양호한 감응특성을 보이는 소자(800°C 열처리한 소자)의 저항-온도 특성의 평균치를 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 소자의 온도가 실온에서부터 150°C까지 높아짐에 따라 그 저항이 급격히 변하고 있으나, 그 이상의 온도에서는 온도변화에 따른 저항의 변화가 다소 둔화되고, 탄화수소계가스에 대한 감도가 가장 좋은 영역인 350~400°C의 온도영역에서 그 변화가 더욱더 적음을 알 수 있다.



(a) 순수 SnO<sub>2</sub>



(b) SnO<sub>2</sub>(Ca:0.1 wt.%)

그림 4. 600°C에서 하소한 순수 SnO<sub>2</sub>와 SnO<sub>2</sub>(Ca:0.1 wt.%) 후막의 TEM 관찰.

Fig. 4. TEM view( $\times 200000$ ) of pure SnO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub>(Ca:0.1 wt.%) powder. (calcined at 800°C, 1h in air)

(a) pure SnO<sub>2</sub>                      (b) SnO<sub>2</sub>(Ca:0.1 wt.%)

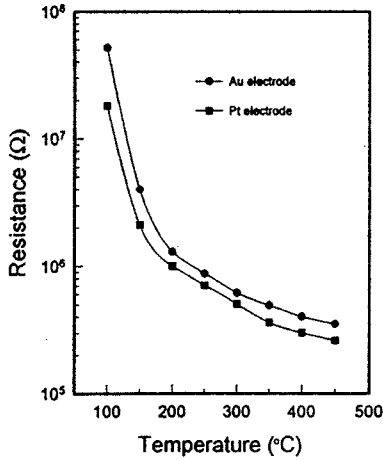


그림 5. 전극으로써 Pt 와 Au를 사용한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 온도-저항특성.

Fig. 5. Characteristics of the resistance vs. temperature for SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film devices using Pt and Au electrode.

## ② 탄화수소계가스에 대한 감응특성

산화물 반도체의 전도도가 환원성가스와 접촉하여 변화하는 기구는 대개 입계모델로서 설명될 수 있다. 또한 감지물질의 미세구조는 전반적인 감도에 영향을 미치는 큰 요인이 되며, 입계, 즉 목(neck)의 단면적과 전도에 기여하는 캐리어의 수적 변화 역시 감도를 결정하는 중요한 인자가 된다. 그리고 전체적으로 입자의 미세화에 따른 비표면적의 증가가 감도증진에 큰 역할을 함은 잘 알려져 있다.

그림 6은 결정성장 억제제로 사용한 Ca의 함량에 따른 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성을 나타낸 것이다. 이 결과는 열처리온도를 800°C로 한 경우이다. 여기에서 전극은 스퍼터링법으로 증착한 Pt를 사용하였다. 이 그림에서 표시한 감도, S는 다음의 식에 의한 것이다.

$$S(\%) = \frac{R_i - R_g}{R_i} \times 100 = \frac{\Delta R}{R} \times 100$$

여기서 R<sub>i</sub>는 공기 중에서 초기저항의 값이며, R<sub>g</sub>는 피검가스분위기에서의 저항값을 각각 나타낸다. 그림에서 적당량의 Ca이온이 첨가되면 최적 입도조건이 형성되어 가스에 대한 감응특성이 높아짐을 알 수 있다. Ca의 첨가량이 0.6 wt% 이상에서는 가스감도가 상대적으로 낮아지고 있는데 이는 0.6 wt%의 Ca를 첨가하

였을 때 결정의 크기가 가장 작다는 것과는 대조적이다. 이는 첨가한 Ca 중의 상당 부분이 CaO로 되면서 가스에 대한 활성을 낮추기 때문이라 생각된다.

그림 7은 소자의 열처리 온도에 따른 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 800°C에서 열처리한 소자가 가장 높은 감도를 나타내고 있다. 열처리 온도를 800°C로 한 경우, 1000 ppm의 CH<sub>4</sub> 가스에서 약 50% 정도의 감도를 보이고, 폭발 하한의 1/10인 5000 ppm에서는 약 75%의 양호한 감도를 보이고 있다.

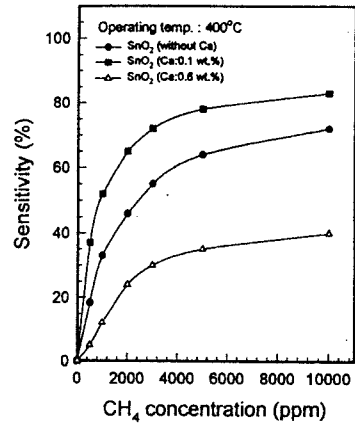


그림 6. 800°C에서 소성한 SnO<sub>2</sub> 후막소자의 Ca함량에 따른 CH<sub>4</sub>에 대한 감응특성.

Fig. 6. CH<sub>4</sub> sensitivities for SnO<sub>2</sub> thick film devices with various Ca contents.

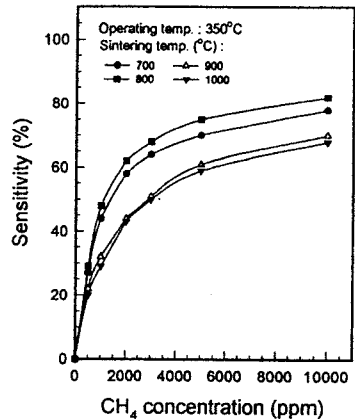


그림 7. 소자의 열처리온도에 따른 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성.

Fig. 7. CH<sub>4</sub> sensitivities of SnO<sub>2</sub>(Ca:0.1 wt.%) thick film devices to various sintering temperatures.

지금까지는 입자의 미세화에 주안점을 두고 소자의 특성을 측정하였으나, 본 실험에서 사용한 Pt 촉매가 감도에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다. 촉매는 모물질에 첨가될 때, 소자의 전기저항을 증가시키고 또한 가스와의 반응시간을 단축한다는 두 가지 기능을 갖고 있다. 본 실험에서는 Pt, Pd, Rh, 등을 촉매로 사용하였으나 Pt 촉매가 탄화수소계가스에 대해 가장 높은 감도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

그림 8은 Ca를 첨가할 때 촉매로써 Pt를 같이 첨가한 SnO<sub>2</sub>(Ca) 후막소자의 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성을 나타낸 것이다. Pt를 첨가하지 않은 그림 6과 비교할 때 향상된 감지특성을 볼 수 있다. 이는 Pt가 첨가됨으로써 감지막 표면이 활성화되어 감응속도와 감도를 증진시키기 때문이다.<sup>[15,16]</sup>

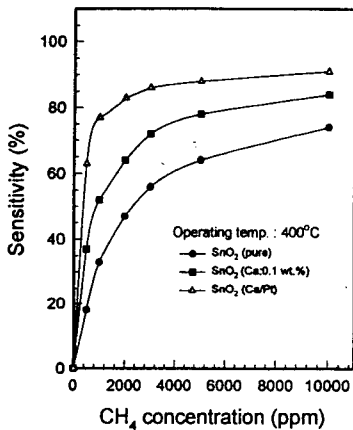


그림 8. 촉매로써 Pt를 첨가한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성.

Fig. 8. CH<sub>4</sub> sensitivities of Pt doped SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film device.

본 실험에서는 소자에 사용되는 전극의 영향을 보기 위해 Pt대신 Au를 진공열증착법으로 증착하여 전극으로 사용하였다. 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 8과 비교하면 Au를 전극으로 사용할 경우, 모든 조건에서 Pt를 사용했을 때 보다 감지 특성에 있어서 현저한 감소를 나타냄을 볼 수 있다. 위의 결과로부터 촉매뿐 아니라 전극으로 사용된 Pt도 CH<sub>4</sub>의 완전 산화에 기여함을 알 수 있다. 그 결과 감지 특성의 증가를 유도하는 것으로 생각할 수 있다. 소자의 전극을 위한 재료로서는 Au, Pt, Au/Pt, Ag/Pt 등의 금속이 이용된다. 이때 전극재료로 사용된 금속의 종류에 따른 전기

적 및 가스 감지 기구에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구보고는 거의 없는 실정이다. 그러나 실제에 있어서 사용 전극은 센서의 감응 특성에 영향을 미치게 된다.<sup>[17]</sup>

그림 10은 Pt를 전극으로 사용한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 각종 가스에 대한 감응특성을 저항변화분으로 나타낸 것이다. 타 가스에 비해 탄화수소계가스에 대해 높은 감응특성을 나타냄을 볼 수 있다.

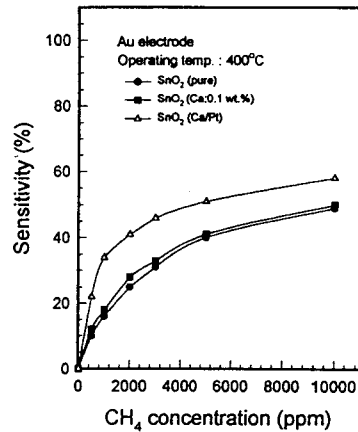
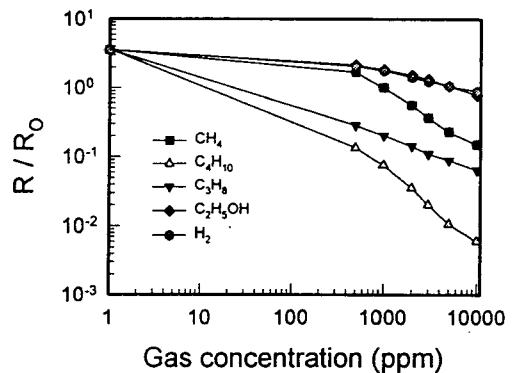


그림 9. Au를 전극으로 사용한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감응특성.

Fig. 9. CH<sub>4</sub> sensitivities of SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film device with Au electrode.



R<sub>0</sub> : Sensor resistance in air containing 1000 ppm of methane  
R : Sensor resistance at different concentration of gases

그림 10. SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 후막소자의 각종 가스에 대한 감응특성.

Fig. 10. Sensitivities of SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt thick film devices to various gases.

#### IV. 결 론

탄화수소계가스에 대해 높은 감도를 갖는 소자를 만들기 위해 Ca 및 Pt가 첨가된 미세 산화주석 분말을 공침법으로 제조하였으며, 제조한 SnO<sub>2</sub>(Ca)/Pt 미세분말을 이용하여 탄화수소계가스 감지소자를 제작하고, 그 전기적 특성 및 가스감지특성을 알아보았다.

첨가된 Ca는 열처리중에 SnO<sub>2</sub>의 결정성장을 억제함으로써 후막 소자의 비표면적의 증가를 가져와 감도 증가에 영향을 미침을 XRD, TEM 및 BET 분석결과로부터 알 수 있었다.

제작한 소자의 전기적 특성으로서 그 온도 변화에 따른 소자저항의 변화를 측정된 결과, 탄화수소계가스의 동작온도 영역인 350~400℃의 온도 범위에서 다른 온도영역에 비해 저항의 온도 의존성이 낮음을 알 수 있어 채택한 동작온도는 소자특성의 안정화의 관점에서 가장 적합한 온도인 것으로 판단되었다.

제작한 소자의 열처리 조건, 첨가제의 첨가량 및 동작조건에 따른 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 및 CH<sub>4</sub> 가스에 대한 감도특성을 측정하여 소자제조 및 소자동작의 최적조건을 결정하였다. SnO<sub>2</sub>(Ca) 소자는 1000 ppm C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>에 대해 약 95% 정도의 높은 감도를, 1000 ppm의 CH<sub>4</sub>에 대해서는 약 50% 정도의 감도를 나타내었다. 그러나 여기서 Pt 촉매제를 첨가시킴으로써 CH<sub>4</sub>에 대한 감도를 증가시킬 수 있었는데, 열처리온도를 800℃로 한 소자의 경우 400℃의 동작온도에서 1000 ppm의 CH<sub>4</sub>에 대해 약 78% 정도의 양호한 감응특성을 얻었다.

#### 참 고 문 헌

[1] N. Taguchi, *Jap. Patent*, 45-38200, 1962.  
 [2] N. Nitta et al, "Propane Gas Detector using SnO<sub>2</sub> doped with Mo, V, Ti or Nb", *J. Electrochem. Soc.*, 125, 1976.  
 [3] Y. Nagatani and M. Matsuoka, "Some Electrical Properties of  $\gamma$ -F<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics", *Jap. J. Appl. Phys.*, 22, 233, 1982.  
 [4] T. Oyabu et al, "Sensing Characteristics of Tin Oxide Gas Sensor", *J. Appl. Phys.*, 53, 7125, 1982.  
 [5] J. F. McAleer et al, "Tin Dioxide Gas Sensors", *J. Chem. Soc. Faraday Trans I*, 83,

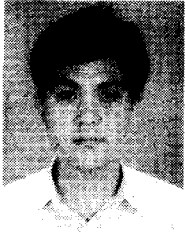
1987

- [6] H. Yanagida et al, "Gas Sensing Characteristics of Porous Zinc Oxide Ceramic with and without Platinum Catalyst", *Proc. of Int. Meeting on Chemical Sensors*, pp. 95-100, 1993.  
 [7] W. Y. Chung and D. D. Lee, "Characteristics of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thick Film Gas Sensors", *Thin Solid Films* 200, pp. 329-339, 1991.  
 [8] E. Jones, "The Pellistor Catalytic Gas Detector", *Solid State Gas Sensor*, Adam Hilger, pp. 17-24, 1987.  
 [9] K. Ogino et al, *Yazaki Report*, No.13, 1988.  
 [10] D. Schuetzle, R. Hammerle and J. W. Butler, "Fundamentals and Applications of Chemical Sensors" *American Chemical Society*, 1986.  
 [11] M. J. Madou and S. R. Morrison, *Chemical Sensing with Solid State Devices*, Academic Press, INC., 1989.  
 [12] C. Xu, J. Kurokawa, N. Miura, N. Yamazoe, "Stabilization of SnO<sub>2</sub> Ultrafine Particles by Additives", *J. Mater. Sci.*, 27, pp. 963-971, 1992.  
 [13] D-D. Lee, "Hydrocarbon Gas Sensors", *Chemical Sensor Technology*, Kodansha, Vol. 5, 1994.  
 [14] S. Sakai, *UK Patent*, No. 4 535 315, 1985.  
 [15] M. Niwa, K. Awano and Y. Murakami, "Activity of Supported Platinum Catalysis for Methane Oxidation", *Applied Catalysis*, 7, pp. 317-325, 1983.  
 [16] J. J. Ehrhardt, L. Colin, A. Accorsi, M. Kazmierczak and I. Zdanevitch, "Catalytic Oxidation of Methane on Platinum Thin Films", *Sensors and Actuators B*, 7, pp. 656-660, 1992.  
 [17] P. Dutronc, B. Carbonne, F. Menil and C. Lucat, "Influence of the Nature of the Screen-Printed Electrode Metal on the Transport and Detection Properties of Thick Film Semiconductor Gas Sensors", *Sensors and Actuators B*, 6, pp. 279-284, 1992.

---

 著 者 紹 介
 

---

**洪 寧 皓**

1964년 4월 2일생. 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야 : 반도체

제조공정, 센서재료 및 반도체 가스센서 등임.

**李 德 東**

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-14, p.123 참조.  
현재 경북대학교 전자공학과 교수.