

논문 2002-11-6-02

**Sol-Gel법에 의한 SnO<sub>2</sub>의 물성 및 센싱 특성**

박보석\*, 홍광준\*\*, 김호기\*\*\*, 박진성\*

**Material and Sensing Properties of SnO<sub>2</sub>  
prepared by Sol-Gel Methods****Bo-Seok Park\*, Kwang-Joon Hong\*\*, Ho-Gi Kim\*\*\*, and Jin-Seoung Park\*****요 약**

초기 물질은 SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O와 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH를 사용하여 sol-gel 법으로 제조된 SnO<sub>2</sub> 미세 분말의 제반 물성과 전기적 센싱 특성에 대하여 검토하였다. Gel 분말은 sol을 72시간과 168시간 숙성(aging) 시킨 후 120°C에서 건조하여 제조하였다. 600°C 이하에서는 휘발성 물질이 제거되면서 SnO<sub>2</sub> 상이 증가하고, 700°C/30min 열처리로 SnO<sub>2</sub> 상 생성은 거의 완결된다. 입자 크기는 700°C 이하에서 30nm 이하로 유사하고 입도 분포도 좁았다. 전기적 성질 측정을 위한 시편은 후막 법으로 알루미나 기판위에 제조하였다. 공기 중의 전도성은 450°C 부터 반도체 세라믹스의 진성(intrinsic) 거동을 보이고, 200-450°C 구간에서는 SnO<sub>2</sub> 입자 표면에서의 산소흡착에 기인해서 전도성 변화가 작았다. 환원성 CO 기체에 대한 응답성, 회복성 그리고 감도 특성은 숙성일자 증가로 향상되었다.

**Abstract**

Fine particles of SnO<sub>2</sub> were fabricated by the sol-gel powder processing using tin(II) chloride dihydrate(SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) and ethanol(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) as raw materials. The powders were investigated about the properties and electrical sensing. Gel powders were fabricated by drying of sol at 120°C after aging 72hrs and 168hrs. The amount of SnO<sub>2</sub> phase was increased below 600°C due to the elimination of volatile components, and the SnO<sub>2</sub> phase was almost completed by the heat treatment at 700°C for 30min. The grain sizes were about 30nm below 700°C, and it showed the narrow distribution of the grain sizes. The specimens to measure electrical properties were fabricated by the thick film screen printing technique on the alumina substrates. The conductance of SnO<sub>2</sub> was showed the intrinsic behaviour of semiconducting ceramics above at 450°C. The constant conductance was observed in the temperature range of 200-450°C. The sensing properties of response time, recovery, and sensitivity of CO were improved with aging time.

**I. 서 론**

산업 발달과 에너지 효율성 측면에서 산업 및

가정에서 각종 가스의 사용이 증가하고, 이에 따른 안정성 확보와 정밀제어가 관심사로 대두되고 있다. 환원성 가스 감지 물질로는 SnO<sub>2</sub>, ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 ZrO<sub>2</sub> 등의 산화물 등이 사용되어 왔으며, 특히 SnO<sub>2</sub> 산화물 반도체는 1962년 Seiyama 등<sup>(1)</sup>에 의해 소개된 이래 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. SnO<sub>2</sub> 산화물은<sup>[2-3]</sup> n형 반도체로서 전기 전도성이 우수해서<sup>(4)</sup> 투명전극<sup>(5)</sup>, 열선 반사막, 광열 전환 소자<sup>(6)</sup>, 그리고 가스센서<sup>(7)</sup> 및 에탄올 센서<sup>(8)</sup> 등에 사용되고 있다.

\* 조선대학교 재료공학과 (Dept. of materials Eng. Chosun University.)

\*\* 조선대학교 물리학과 (Physics, Chosun University.)

\*\*\* 한국과학기술원 재료공학과 (Dept. of Materials Eng., KAIST)

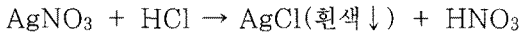
&lt;접수일자 : 2002년 3월 15일&gt;

표면적/체적 비가 클수록 기체 감지 특성이 우수해서 작고 균일한 다공성 입도 분포<sup>(9-10)</sup>를 갖는 분말이 절대적으로 요구되고 있다. 이를 충족하기 위한 방법으로 sub- $\mu\text{m}$  혹은 nm 크기의 미세 분말 제조법을 시도하여, 다공성 구조를 위해 후막(thick film) 인쇄법을 주로 사용하고 있다.

본 연구는 염화물을 이용한 졸-겔법으로 균일하고 미세한 입자를 얻어 SnO<sub>2</sub> 분말을 만들기 위한 최적 제조 조건과 후막 인쇄법으로 제조한 다공성 시편의 전기적 특성과 CO 감지 특성에 대한 실험 결과이다.

## II. 실험 방법

SnO<sub>2</sub> 분말은 초기물질로 SnCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O (Aldrich, 99.99+%)와 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(Merck, 99.5%)를 사용해서 혼합하여, Ammonium hydroxide(NH<sub>4</sub>OH)의 수용액을 첨가하여 제조하였으며, 이 수용액을 다음과 같은 AgCl 화학반응으로 Cl<sup>-</sup>이온의 유무를 확인 한 후 숙성시켜 안정한 졸을 얻었다.



졸은 각각 3일과 7일 동안 숙성(aging)하고, 120°C에서 건조시켜 겔 분말을 얻었다. 건조된 겔 분말을 각각 500°C, 600°C, 700°C 그리고 800°C에서 30분 동안 열처리, 분쇄, 조립화 시켜 SnO<sub>2</sub> 분말을 얻었다. 다공성 시편은 스크린 프린팅 법을 이용해서 알루미늄 기판 위에 제조하였다. 기판 전극물질로는 Au를 사용하였고, 인입선(lead wire)은 백금선을 사용하였다. 졸-겔법으로 제조한 열처리 분말은 1-heptanol (Aldrich, 98%)과 혼합해 기판에 인쇄한 후 450°C에서 10분 동안 열처리 하였다. 후막분말의 열적 특성은 TGA(thermogravimetric analysis)와 DTA(differential thermal analysis)로, 상변화는 XRD(X-ray diffractometer)로 분석하였고, 입도(grain size) 변화는 SEM(scanning electron microscopy)으로 관찰하였다. 전도도 측정은 100~600°C 구간에서 5°C/min속도로 승온 시키면서 측정하였으며, CO가스에 대한 반응성은 MFC(Mass flow controller-MR500)로 5분 간격으로 CO농도

의 변화를 조절하여 농도를 변화시키면서 측정하였다. 이에 따른 전기적 분석은 HP34401A multimeter를 사용하여 컴퓨터에 자동 저장하는 시스템을 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 열 분석

졸-겔법에서 가장 중요한 변수는 안정하고 균일한 precursor 용액의 제조라 할 수 있다. 졸의 경우 molecular 결합에 의해 무기질 고분자 고리 형태에서 뭉쳐진 단분자 종(species)까지의 다양한 겔로 전이가 된다. 그러나 균일하지 못한 겔내에는 비록 전체적인 범위에서의 평균 조성은 화학 양론성을 가지고 있지만, 각각의 요소가 균일화를 이루지 못한 국부적인 구조가 존재하게 된다. 그러므로 열처리에 의한 DT-TGA의 peak는 Aging 시간에 따라 다르게 나타나게 된다.

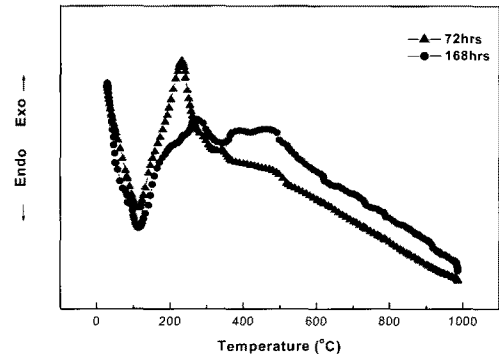


그림 1. 겔 분말의 DTA 곡선.

Fig. 1. DTA curves of gel powders.

제조된 SnO<sub>2</sub> 졸을 72시간과 168시간 동안 숙성(aging) 시킨 후 건조시켜 얻은 겔 분말의 열 특성을 DTA와 TGA로 실시하였다. DTA 열분석 결과인 Fig.1의 결과에서 100°C 이하의 흡열 peak는 물리적으로 결합된 수분 및 유기용매 증발에 의한 것이다. 168시간 동안 숙성시킨 것은 380°C 부근에서 작지만 뚜렷한 흡열 peak를 보여주나 72시간 동안 숙성 한 것은 확인하기 어려웠다. 380°C 부근에서 흡열 peak는 유기물의 증발에 의한 것이며, 168시간의 장시간 숙성시킨 SnO<sub>2</sub> 전구체(precursor)가 형성되었고, 이

것이 SnO<sub>2</sub> 산화물로 전이되면서 나타난 것이다. Fig.2의 TGA 분석결과는 대략적으로 상온-100°C, 100-380°C, 380-550°C 구간별로 기울기가 변해서 각각 수분 및 유기물의 특정 고온상의 분해와 관련된 것이고, 600°C 이후에는 중량 변화는 거의 없다. 72시간 숙성한 경우보다 168시간 숙성한 것의 질량변화가 작은 것은 장시간 숙성으로 안정하고 균일한 SnO<sub>2</sub> 전구체 (precursor)를 형성해서 상대적으로 유기물이 적게 함유되어 나타난 결과로 생각된다.

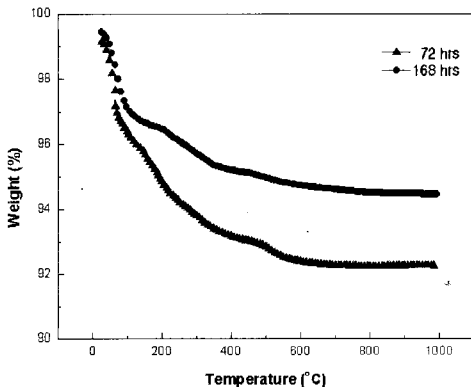


그림. 2. 겔 분말의 TGA 곡선.

Fig. 2. TGA curves of gel powders.

## 2. 상분석

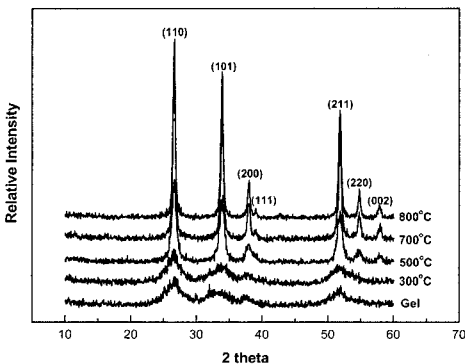


그림. 3. 72시간 숙성 시킨 gel 분말의 온도에 따른 XRD peak 변화.

Fig. 3. XRD peak variation of gel powders after aging for 72hrs.

Fig. 3은 72시간 동안 숙성한 겔을 300 -

800°C 온도구간에서 30분 동안 열처리 후의 상 변화 과정을 XRD 분석결과로 나타냈다. 120°C 에서 24시간 건조만 시킨 겔 상태에서 SnO<sub>2</sub> 의 작은 peak 들이 존재하였으며, 이것은 숙성 과정에서부터 SnO<sub>2</sub> 상이 형성되고, 열처리 온도를 증가함으로써 SnO<sub>2</sub>의 결정이 잘 발달됨을 알 수 있다.

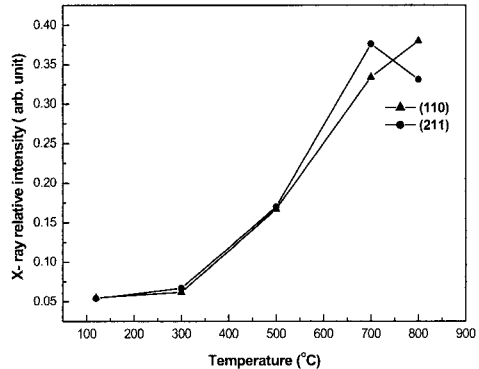


그림. 4. 열처리 온도에 따른 XRD peak 세기 변화.

Fig. 4. Variation of XRD peak intensity with firing temperature.

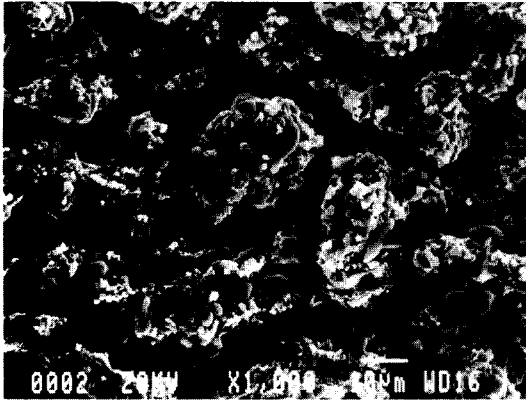
Fig. 4는 (110) peak와 (211) peak의 온도에 따른 변화의 경향을 나타냈다. (211) peak는 500-700°C 사이에서 급격하게 증가하다가, 800°C에서는 오히려 감소했다. (110) peak도 500-700°C 구간에서는 급격히 증가하였으나, (211) peak와 달리 800°C에서도 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 이유으로써는 결정방향 재배열이나 (110)방향의 성장이 우세해서 나타난 결과로 생각된다. 700°C에서 30 min 이상의 열처리하면 뚜렷한 SnO<sub>2</sub> 결정상을 얻을 수 있다. Liu<sup>[11]</sup> 등은 800°C 이상에서 SnO<sub>2</sub>의 결정성장이 시작될 수 있고, 입자크기 증가로 기체센서 특성 저하가 생길 수 있다고 보고하고 있다. X선 회절 강도의 세기  $I_T$ 는 열처리 온도에 비례하므로 아래 식을 이용하여 구했다.

$$I_T = \frac{I_x}{I_x + I_1 + I_2 + \dots + I_n}$$

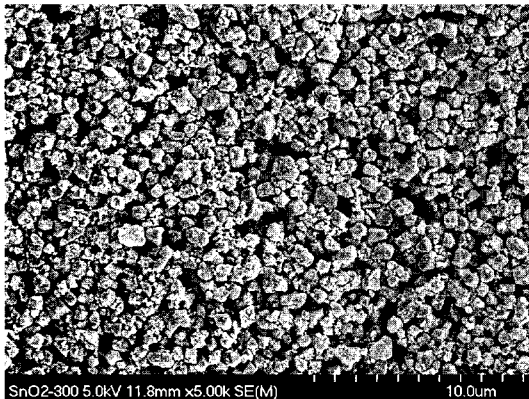
여기서  $I_x$ 는 구하려는 SnO<sub>2</sub> 결정면의 대표적인 peak 세기이고, 나머지는 기타 결정면의 peak 세기이다.

### 3. 미세구조

졸-겔 법으로 제조한 분말의 열처리 온도에 따른 분말 특성을 SEM으로 관찰 하였다.



(a)



(b)

그림 5.  $\text{Cl}^-$  이온의 잔존. (a) 유 (b) 무에 따른  $300^\circ\text{C}$  열처리 후의 SEM 사진.

Fig. 5. SEM images of gel powder after firing at  $300^\circ\text{C}$  for 30min.

(a) with and (b) without  $\text{Cl}^-$ .

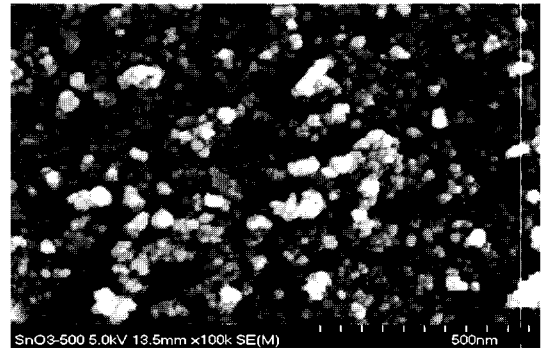
Fig.5는  $\text{Cl}^-$ 의 잔존 유무에 따른  $300^\circ\text{C}$ 에서 30min 열처리 후의 분말 특성을 비교한 것이다. Fig. 5 (a)는  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  용액에 ammonium hydroxide을 첨가하였으나,  $\text{AgNO}_3$ 로 검증한 결과,  $\text{Cl}^-$ 가 잔존한 분말은 Fig. 5 (a)와 같이 응집체가 크고 불균일함이 관찰되었으며, crucible이나 furnace의 심각한 contamination을 초래하였다. 또한  $\text{Cl}^-$ 가 잔존하는 시료에서는 공기 중의 수분과 반응하여 액상화되어 응집체를 형성하며 이것들이 결정화에 큰 영향을 미친다고 생각된다. Fig. 5 (b)는  $\text{SnCl}_2 \cdot$

$2\text{H}_2\text{O}$  용액에 ammonium hydroxide을 첨가하여  $\text{Cl}^-$  이온을 완전히 제거하고<sup>(12,13)</sup> Aging 하여 아래식과 같은 중축합 반응을 거쳐 안정한  $\text{SnO}_2$  precursor Sol을 형성한다고 생각된다.

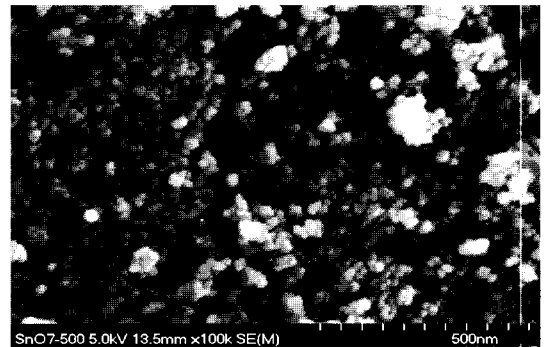
$$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{SnCl}_2 \cdot (\text{OC}_2\text{H}_5)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$$

$$\text{SnCl}_2 \cdot (\text{OC}_2\text{H}_5)_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Sn}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2 \cdot (\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4^+ + 2\text{HCl}^-$$

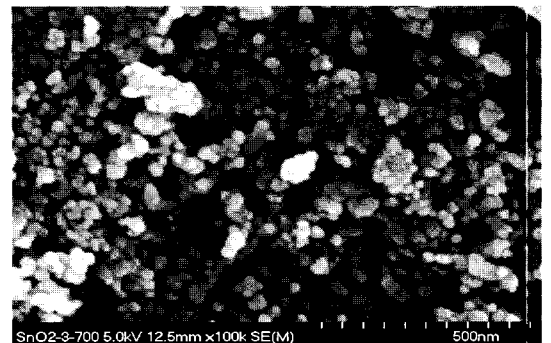
즉,  $\text{Cl}^-$  이온을 완전히 제거한 시료에서는 Fig. 5 (b)에서 알 수 있듯이 응집이 없고, 균일한 입자가 관찰되었다.



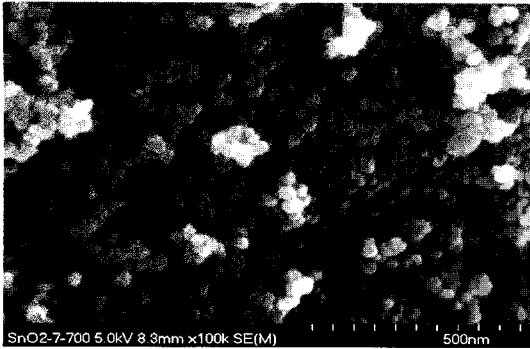
(a)



(b)



(c)



(d)

그림. 6. 숙성시간과 열처리 온도에 따른 SEM 사진. (a) 72시간 숙성 후 500°C/30min 열처리, (b) 168시간 숙성 후 500°C/30min 열처리, (c) 72시간 숙성 후 700°C/30min 열처리, 그리고 (d) 168시간 숙성 후 700°C/30min 열처리.

Fig. 6. SEM images as a function of aging time and firing temperature.: (a) firing at 500°C/min after aging for 72hrs, (b) firing at 500°C/30min after aging for 168hrs, (C) firing at 700°C/30min after aging for 72hrs, and (d) firing at 700°C/30min after aging for 168hrs.

숙성시간과 열처리 온도에 따른 미세구조 변화를 Fig.6에 나타냈다. 500°C에서 30min 열처리한 시료에서는 약 20nm 이하 크기의 균일한 입도(grain size) 분포를, 700°C에서 30min 열처리한 시료는 약 20-30nm 정도의 균일한 입도 분포를 얻을 수 있다. 숙성 시간에 따른 입자 크기 및 입도 분포의 유의차는 확인하기 어려웠다. 숙성 시간에 관계없이 입자크기를 비교할 때 700°C에서 30min 열처리한 것에 비해 500°C에서 30min 열처리한 것은 약간 작았다. 숙성시간과 무관하게 500°C보다 700°C에서 열처리하여 제조된 입자가 온도에 따라 선형적으로 증가했다. 전체적으로는 균일한 입도 분포가 특징적이다.

#### 4. 전기 전도도

SnO<sub>2</sub> 졸 분말을 72시간과 168시간 동안 숙성시켜 700°C에서 30min 열처리한 분말의 전도성 변화를 Fig.7에 도시했다. 산화주석(SnO<sub>2</sub>)은 비화학양론적(nonstoichiometry)을 가지는 SnO<sub>2-x</sub> 조성 상태이고, 산소 부족에 따른 전기적 중성을 유지하기 위한 전자를 갖는 n-type의 반

도성 산화물이다. SnO<sub>2</sub>를 고온에서 소성하면 SnO<sub>2-x</sub>의 비화학양론성이 감소하고, 즉 산소 공공(vacancy) 농도가 감소하여 이에 따라 전도이동자인 전자의 농도가 감소한다<sup>[14,15]</sup>. 200°C 이하의 급격한 전도성 증가, 200-450°C에서의 전도성 변화가 거의 없는 구간, 그리고 450°C 이상의 진성(intrinsic) 전도성 변화가 나타난다.

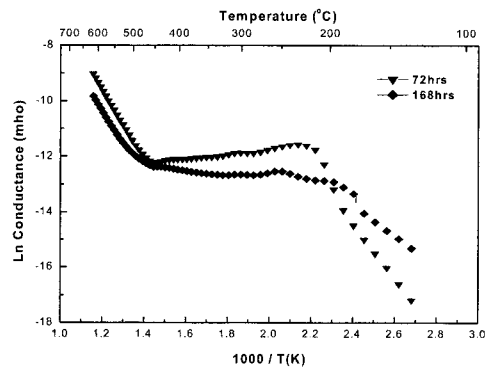


그림. 7. 온도에 따른 후막 시편의 전도성 변화.

Fig. 7. Conductance variation of the thick film specimens with temperature.

일반적인 반도체 산화물의 온도 증가에 따른 전도성 증가로 200°C 이하에서의 전도성 거동을 설명할 수 있다. 200-450°C 구간은 SnO<sub>2</sub> 산화물의 주요 특성인 입자 표면의 산소 흡착에 기인한 전자 트랩(trap)으로 전도 이동자(conduction carrier) 농도 감소와 온도 증가에 따른 반도체 세라믹스의 전도 이동자 농도 증가가 상호 상쇄되어 전도성 변화가 작게 나타날 수 있다. 700°C에서 열처리한 분말의 전도성은 고온 쪽에서 거의 일치한 온도구간을 나타내는 반면, 저온쪽에서는 3일 숙성시킨 것은 210°C에서부터 시작되나 7일 숙성시킨 것은 180°C 정도부터 시작되어 숙성시간 증가로 저온 쪽으로 전도성 일정한 구간이 확장되었다.

#### 5. CO 감지 특성

졸 분말을 72시간과 168시간 동안 숙성한 후 각각 500°C와 700°C에서 30min동안 열처리하여 제조한 후막 시편의 CO 농도에 따른 반응성(response) 및 회복성(recovery)의 거동을 350°C에서 측정해서 Fig.8에 도시했고, 이것을 기초로 해서 반응성, 회복성 그리고 감도변화를 Table 1에 요약했다.

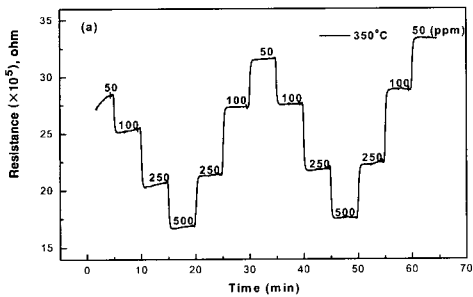
표 1. 열처리 온도와 숙성 시간에 따른 센싱 특성.

Table 1. Sensing properties as a function of firing temperature and aging time.

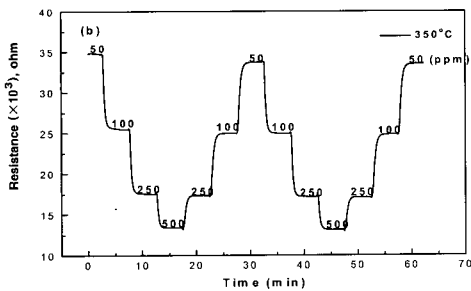
	RESPONSE TIME		RESISTANCE RATIO ( R <sub>50</sub> / R <sub>500</sub> )		RECOVERY	
	72 hrs	168 hrs	72 hrs	168 hrs	72 hrs	168 hrs
500°C	t < 5min	t < 3min	1.8	2.4	Bad	Best
700°C	t < 3min	t < 3min	2.5	2.3	Good	very Good

t: Elapsed time to equilibrium after the change of CO concentration

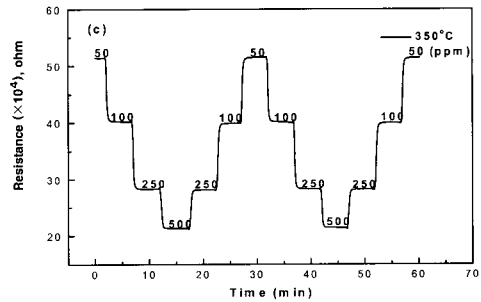
응답시간은 최종값의 편차가 5% 이내로 특성이 나온 값 ( or 시간 )을 기준으로 해서 표시했고, 최종 도달 평형값에 대한 편차 (5%이내)를 기준으로 해서 측정했다. 반응시간 및 감도라 할수 있는 저항비는 72시간 숙성한 후 500°C에서 열처리한 시편을 제외하고 모든 시편이 3min 이내의 빠른 응답속도를 나타냈으며, 저항비 또한 유사한 2.3-2.5정도의 값을 가졌다. 감도는 50ppm CO의 저항값과 500ppm CO의 저항값의 비로서 정의했다. 회복성은 3일 숙성의 경우보다 7일 숙성의 경우가 보다 우수하게 측정되어서 숙성 시간 증가로 감도 특성이 향상됨을 알 수 있다.



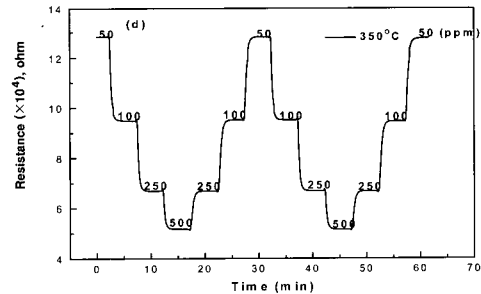
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 시간과 CO 농도에 따라 350°C에서 측정된 저항 변화. : (a) 72시간 숙성 후 500°C/30min 열처리, (b) 168시간 숙성 후 500°C/30min 열처리, (c) 72시간 숙성 후 700°C/30min 열처리, 그리고 (d) 168시간 숙성 후 700°C/30min 열처리.

Fig. 8. Resistance variation of the thick film specimens measured at 350°C with time and CO concentration. ; (a) firing at 500°C /30min after aging for 72hrs, (b) firing at 500°C/30min after aging for 168hrs, (C) firing at 700°C/30min after aging for 72hrs, and (d) firing at 700°C /30min after aging for 168hrs.

#### IV. 결 론

Tin chloride dihydrate(SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)와 Ethanol(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)을 사용하여 sol-gel 방법으로 SnO<sub>2</sub> 미세 분말을 제조하였다. 대부분의 SnO<sub>2</sub> 상은 700°C 이하에서 생성되었고, 입자 크기는 약 30nm 이하의 크기였으며 입도 분포도는 열처리 온도나 숙성시간과 무관하게 매우 균일하게 관찰되었다. 즉, 열처리 온도에 따라 입자크기만 변화하였다. 168시간 숙성한 시편은 72시간 숙성한 시편보다 중량감소가 더 작았고, 장시간 숙성으로 안정하고 균일한 SnO<sub>2</sub> 전구체(precursor)를 형성해서 상대적으로 유기물이 적게 함유된 결과라 사료된다.

공기 중의 전기전도성은 450°C 이상에서 intrinsic 전도성을, 그 이하에서는 외인성(extrinsic) 전도성이 나타났다. 200-450°C 구간에서는 온도 증가에 따른 전도이동자 농도 증가와 SnO<sub>2</sub> 표면에서의 산소 흡착에 의한 전자 트랩(trap)이 상호 상쇄되어 전기 전도성 변화가 거의 없는 구간이 존재한다. 과 포화시켜 침전된 Sol은 침전된 후에도 고체기리 반응이 일어나며, Aging 시간이 길수록 더욱 안정한 Sol이 제조되어 감도특성이 향상되었다. 그래서, 72시간 숙성한 후 500°C에서 열처리한 시편을 제외한 나머지 시편들은 CO 기체에 대한 응답성 회복성, 그리고 감도 특성은 큰 차이는 없었지만 700°C/30min로 열처리하고 168시간 숙성한 시편이 가장 큰 특성을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Seiyama, A. Kato, K. Fujiishi and M. Nagatani. "A New Detector for Gaseous Components Using Semi-conductive Thin Films." Anal. Chem, 34, 1502-1504 (1962).
- [2] J. F. McAleer, P. T. Moseley, J. O. W. Norris and D. E. Willam, J. Chem. Soc. Faraday Trans, 83, 1323 (1987).
- [3] N. Yamazoe and N. Miura, in Chem. sensor Technol, Vol. 4, p10, edited by n. Elsevier, New York (1992).
- [4] Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO<sub>2</sub> Materials," J. Electrochem. Soc, 123(7), 199-205 (1976).
- [5] V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Electrical and Optical Properties of Sprayed SnO<sub>2</sub> Films," Thin Solid Films, 193/194, 973-980 (1990).
- [6] A. Tsunashima, "Preparation and Properties of Antimony-doped SnO<sub>2</sub> Films by Thermal Decomposition of Tin 2-Ethyhexanoate," J. Mater. Sci, 21, 2731-2734 (1986).
- [7] H. Pink, L. Treitinger and L. Vite, "Preparation of Fast Detecting SnO<sub>2</sub> Gas Sensors," Jpn. J. Appl. Phys. 19(3), 513-517 (1980).
- [8] Y. K. Fang and J.J. Lee, "A Tin Oxide Thin Films Sensor with High Ethanol Sensitivity," Thin Solid Films, 169, 51-56 (1989).
- [9] K. Ihokura and J. Watson, "The Stannic Oxide Gas Sensor-principles and Applications," CRC Press, Boca Raton, FL, (1994).
- [10] J. I. Jung, B. C. Kim, S. H. Chang and J. J. Kim, "Effect of sintering atmosphere and dopant addition on the densification of SnO<sub>2</sub> ceramics," J. Kor. Ceram. Soc. vol. 34, no. 12, pp. 1221~1226, (1997).
- [11] W. Liu, X. Cao, Y. Zhu and L. Cao, "The effect of dopants on the electronic structure of SnO<sub>2</sub> thin films," Sensors and Actuators B, vol. 66, pp. 219~477, (1994).
- [12] R. S. Hiratsuka, S. H. Pulcinelli and C.V. Santilli, J. Non-Cryst. Solid 121, 76. (1990)
- [13] G. E. de S. Brito, C. V. Santilli, S. H. Pulcinelli, "Evolution of the fractal structure during sintering of SnO<sub>2</sub> compacted sol-gel powder-

er”, Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects 97, 217~225, (1995)

[14] J. S. Park, H. G. Kim, “Thermal analysis of the Bi-Sr-Ca-Cu-O system by an Electrical properties.” J. Appl. Phys., vol. 65, no.

2, pp. 877-879, (1989).

[15] Per Kofstad, “Nonstoichiometry, Diffusion, and Electrical Conductivity in Binary Metal Oxides,” John Wiley & Sons, New York, pp. 221~230, 355~356, (1972).

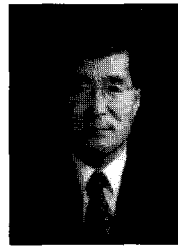
著 者 紹 介



**박 보 석**

1975년 2월 11일생.  
2002년 2월 조선대학교 재료공학과 졸업(공학사).  
2002년~현재 조선대학교 재료공학과 석사과정 재학중.

주관심 분야 : SnO<sub>2</sub>, ZnO 후막 가스센서.



**김 호 기**

1968년 한양대학교 요업공학과 졸업  
1974년 독일 Erlangen University(석사)  
1979년 독일 Erlangen University(박사)

1969~1970 요업기술원 연구원  
1981~1983 Firmengruppe Roedersteir.(독일), 연구개발부장  
1995~1998 KAIST 신기술창업지원단 소장  
1996~현재 KAIST EMDEC 소장  
1999~현재 전자부품연구원 이사  
1983~현재 KAIST 교수



**홍 광 준**

1952년 5월 18일생  
1977년 2월 조선대학교 물리학과 졸업(이학사)  
1982년 2월 전북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)  
1991년 8월 전북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사)

1980년 3월 ~ 현재 조선대학교 물리학과 교수  
주관심 분야 : 고체물리(반도체, 광센서, 태양전지)



**박 진 성**

1962년 3월 2일생  
1985년 2월 연세대학교 세라믹공학과 졸업  
1987년 2월 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학석사)  
1990년 2월 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사)

1990년 1월 - 1993년 3월: 삼성전자반도체 연구소 선임연구원  
1998년 1월 - 12월 : 미국 CISM(Center for Industrial Sensor and Measurement) 객원연구원  
1993년 3월 조선대학교 재료공학과 교수  
주관심 분야 : 센서기술&재료, 전자세라믹스, 반도체 재료