

논문 97-6-5-04

연소배가스 모니터링을 위한 SnO₂계 CO센서의 검지특성

김일진*, 한상도**, 임한조*, 손영목**

Sensing Characteristics of SnO₂ type CO sensors for combustion exhaust gases monitoring

I. J. KIM*, S. D. HAN**, H. J. LIM*, and Y. M. SON**

요 약

SnO₂에 V₂O₅/ThO₂/Pd를 도핑하여 제조된 센서는 약 500°C의 높은 센서 온도에서 CO에 대해 우수한 선택도와 안전성 및 빠른 응답특성을 보였다. 특히, V₂O₅를 약 3.0 wt.% 첨가하여 선택도에 있어서 CO 감도에 대해 NO_x, C₃H₈, CH₄ 및 SO₂같은 많은 간섭가스들의 영향이 적음을 알았다. 센서 제조는 V₂O₅(3.0 wt.%), ThO₂(1.5 wt.%), Pd(1.0 wt.%)의 촉매물질과 함께 기존에 잘 알려진 후막기술을 이용하였다. 일반적으로 연소배가스처럼 NO_x와 CO가 혼합되어 있는 복합가스의 경우, SnO₂계 반도체 센서로는 CO만의 검지는 NO_x 간섭 때문에 대단히 어렵다. 본 센서는 공연비제어를 요하는 자동차나 보일러 시스템의 연소배가스의 측정과 감시에 사용할 수 있을 것이다.

Abstract

V₂O₅/ThO₂/Pd-doped SnO₂ sensor has a good selectivity and stability to CO at high sensor temperature of about 500°C, and shows rapid response. In particular, many kinds of interference gases, such as NO_x, C₃H₈, CH₄ and SO₂ have been found to give only a slight influence on the sensor selectivity to CO gas sensitivity by doped V₂O₅ (3.0 wt.%). For the sensor we used well-known thick film technological route with V₂O₅(3.0 wt.%), Pd(1.0 wt.%) and ThO₂(1.5 wt.%) as catalytic materials. In the case of mixed NO_x-CO gases, as combustion exhaust gas, only CO detection by SnO₂ type semiconductor sensor is generally very difficult because of NO_x interference. The developed sensors can use to measure the exhausting gas of the automobile or the boiler for the Air-to-Fuel ratio control.

1. 서 론

최근 들어 에너지 절약차원과 환경문제에 대한 관심이 높아져 가고 있으며, 이를 위한 연소배가스의 측정

이나 공연비 제어에 관한 연구^{1), 2)}가 상당히 보고되고 있다. 보일러, 자동차와 같은 공연비 제어에 센서(반도체식 가스센서)를 이용하려는 연구가 진행중이지만 실용적인 면에 있어서 한계성을 가지고 있다. 연소시 배출되는 가스는 여러 종류이므로 어느 하나의 가스에 대한 제어를 위해서는 감도 및 내구성도 중요하겠지만, 특히 선택도와 빠른 응답특성이 요구된다. 설

* 아주대학교 전기·전자공학부(Dept. of Electron & Electronics, Ajou Univ.,)

** 한국에너지기술연구소(Korea Institute of Energy Research)

<접수일자 : 1997년 6월 11일>

제 감도 및 선택성 시험은 혼합가스상에서 실험이 행해져야 한다. 그러나 지금까지의 연구는 거의가 각각의 가스에 대한 감도의 비교만으로 선택성을 판단하고 있음^[3, 4]이 문제점으로 지적된다. 이는 혼합가스시 센서 검지 물질과 혼합가스간의 상호작용으로 인한 감도의 불안정성이 크게 나타나기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 가스센서의 어레이(array)에 의한 패턴인식, 인공지능학^[5, 6]의 많은 새로운 기술을 적용하여 이를 해결하려는 연구가 진행 중이다. 하지만 무엇보다도 혼합가스상에서 검지하고자하는 가스측정에 다른 배출가스의 영향을 최대한 줄일 수 있는 새로운 센서물질 개발이 가장 시급하다고 판단된다.

본 연구에서는 보일러 최적연소 제어를 위해 배가스 중 CO를 정밀 측정할 수 있도록 센서의 선택성 및 응답특성의 개선을 중점으로 연구하였다. 보일러의 연소 배가스에는 CO, NO_x, O₂, CO₂ 그리고 SO₂의 가스들을 함유하고 있으며^[7], CO가스센서는 간섭가스(특히 NO_x, SO₂)에 대한 선택성이 크게 요구된다. 최근 NO_x와 공존하는 CO 검출에 관한 연구가 I. Savago 등^[8]에 의해 연구되었지만, 응용할 정도의 신뢰성 있는 데이터를 얻지는 못한 것으로 판단된다.

가스검지에는 산화물 반도체센서^[9], 고체전해질을 이용한 전기화학센서^[10], 유기물 반도체 센서^[11], 초전도센서^[12] 및 광학센서^[13]등이 있다. 이들은 각각의 장단점을 가지고 있으며, 본 연구에서는 이중 경제적이고 제조공정이 간편한 반도체 후막형 센서를 선정하여 실험하였다. 구조상 산소결함으로 인하여 전도대 바로 아래에 여러 개의 도너준위(donor level)를 갖는 n형 반도체성질과 도너준위가 200~500℃에서 주변의 산소이온이 화학흡착^[14]하도록 하고, 전자전하력에 변화를 주어 전위장벽(potential barrier)을 형성했을 때, CO가 표면에 흡착되면 고체내부로 전자가 주입되므로 전위장벽이 낮아지는 원리^[15]를 이용한 SnO₂ 반도체를 모물질로 선정했다. 또한 활성촉매재나 안정화 물질로써 귀금속 및 산화물 재료를 이용하였다.

II. 실험방법

2.1 검지물질 및 센서제조

센서 검지물질로는 지금까지 잘 알려져온 SnO₂ 모물질과 V₂O₅, ThO₂ 촉매첨가제와 Pd 귀금속을 함께 사용했다. SnO₂는 SnCl₄를 이용한 침전물로부터 얻은

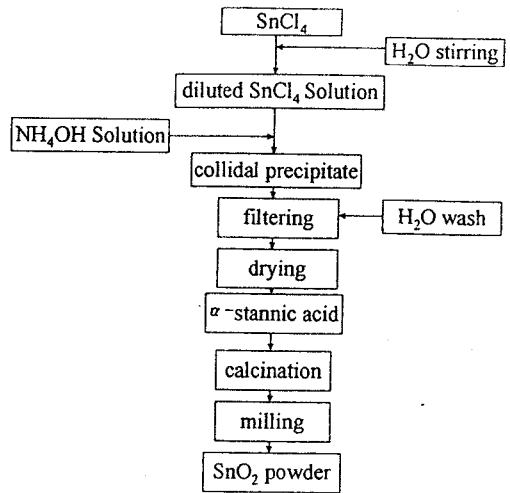


그림 1. SnO₂ 분말의 제조과정

Fig. 1. The process of preparing SnO₂ powders

후^[16], ball-milling을 사용해서 입경이 약 1 μm이하의 미세한 입자분말을 얻었다. 이 분말은 다시 2시간 동안 감도, 흡착특성 그리고 안정성을 위해 950℃의 질소 분위기에서 소성^[17]하여 사용했다. 자세한 제조공정과정은 그림 1과 같다.

SnO₂분말과 V₂O₅(3.0 wt.%), ThO₂(1.5 wt.%) 촉매를 함께 혼합한 후 약 4시간 동안 ball-milling으로 분쇄·혼합하고, 이 페이스트를 약 100℃의 dry-oven에서 건조시켰다. 이 분말을 다시 수용화된 PdCl₂(Pd 1.0 wt.%)와 바인더로써 수 wt. %의 Al₂O₃를 혼합하여 hand milling을 약 1시간 동안 실행하였다. 도포에 알맞은 점도가 맞추어졌을 때 검지물질은 알루미늄 기판위의 Pt전극에 screen printing 작업으로 도포되었다. 이 알루미늄기판 전면과 후면은 0.3mm 간격의 Pt 전극과 8~15Ω의 Pt 저항선으로 각각 형성^[17]되어 있다. 도포된 검지물질은 유기성분의 제거와 센서 강도의 향상을 위해 공기중에서 약 700℃로 2시간 동안 열처리^[7]하였다. 그리고 센서의 특성측정을 하기전에 열적 및 전기적인 안정화를 위하여 약 500℃의 센서표면 온도로 약 3일간 에이징(aging) 처리^[18]를 하였다.

2.2 물성측정 및 검지원리

순수한 SnO₂와 첨가제가 함유된 분말의 결정학적 특성을 조사하기 위해 X-선 회절분석기(X-ray diffractometer, Rigaku사)를 이용하여 그 결정상태를 분석하였다. 또한

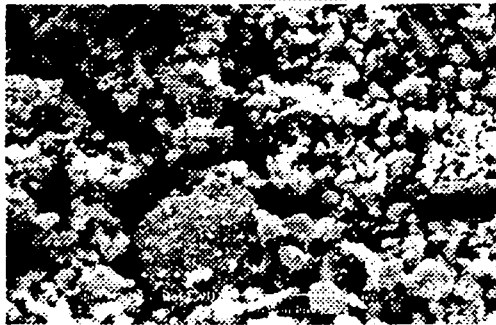
제조분말의 특성을 조사하기 위해 전자현미경(SEM : scanning electron microscope)과 동시에 EDAX(energy dispersive spectrometer)분석을 통하여 실제 센서검지물질의 표면상태와 조성을 조사하였다.

센서의 감도는 센서검지물질의 가스농도에 따른 저항변화량으로 나타내었다. 즉, 센서저항은 가스 유무에 따라 R_{gas}와 R_{air}로 표현되고, 감도(sensitivity)는 R_{air}/R_{gas}로 결정된다. 이 센서 저항값들은 회로에 인가되어지는 전원전압(10V)이 전압분배법칙에 의해 센서 저항과 부하저항의 비에 의해 분배되어 부하저항 양극에 나타나는 출력전압을 기록하여 얻었다.

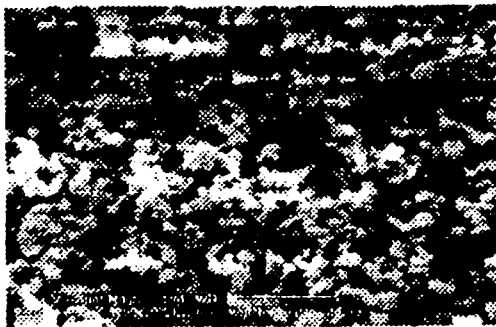
III. 결과 및 고찰

3.1 물성분석

그림 2는 순수한 SnO₂와 SnO₂에 V₂O₅, ThO₂, Pd를



(a)



(b)

그림 2. 순수한 SnO₂(a)와 촉매첨가 SnO₂(b)의 SEM 분석.

Fig. 2. SEM analysis of a pure(a) and catalysts doped SnO₂(b).

각각 3.0, 1.5, 그리고 1.0 wt.%를 첨가한 검지표면을 4000배로 확대한 SEM사진을 보여주고 있다. 그 결과, 연구됐던 SnO₂에 ThO₂와 Pd를 각각 첨가했을 때 사진¹¹⁸⁾과 같이 첨가물이 첨가된 SnO₂ 검지물질은 순수한 SnO₂ 보다 입자가 작고 고르게 보인다. 이것은 첨가물의 영향과 첨가물의 합성시킨 후 총 5시간의 milling 및 700°C의 열처리효과 때문인 것으로 보여진다. 이로 인해 검지막의 비표면적은 상대적으로 증가되는 결과를 나타내는 것으로 생각된다. 즉, 비표면적의 증가로 인해 가스와의 반응표면이 커지므로 가스흡착시 응답 속도를 빠르게 해주며 안정화와 함께 점차 감도를 증가시킬 수 있는 한 요인¹¹⁹⁾으로 볼 수 있다.

SEM분석과 동시에 EDAX분석도 함께 하여 그림 3에 도시하였다. 이 분석에서는 검지물질이 어떤 조성들로 분포되어 있는지를 관찰할 수 있었는데, Sn, V 그리고 Pd 성분이 고르게 분포함을 관찰할 수 있었다. 그러나 함께 혼합한 Th성분의 피크치는 관찰되지 않았는데, 이는 EDAX분석기의 정확한 측정에 대한 한계성 때문이거나 피크의 중첩에 의한 분해능 혹은 실험 오차등의 원인인 것으로 보여진다.

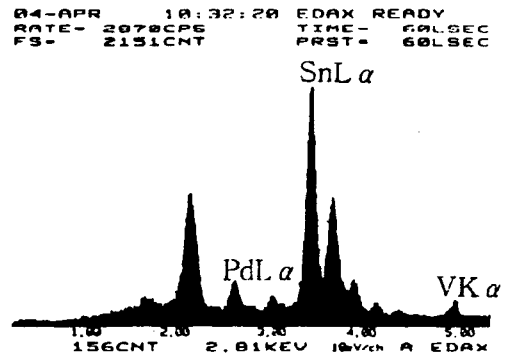


그림 3. 검지물질의 EDAX분석(SnO₂-Pd-V₂O₅-ThO₂).
Fig. 3. EDAX analysis of sensing materials (SnO₂-Pd-V₂O₅-ThO₂).

그림 4는 SnO₂의 950°C 열처리 전후와 촉매를 혼합한 SnO₂의 결정상태를 알아보기 위해 XRD로 분석한 결과이다. 이 분석에서 촉매를 혼합한 SnO₂의 결정크기가 순수한 SnO₂보다 크지 않음을 Scherrer 방정식으로 알아볼 수 있었으며, 그림 4(b),(c)를 비교하면 첨가물과 함께 5시간 동안 충분히 혼합 분쇄한 후, 소성은

도 700°C로 2시간 동안 열처리에 의해 $2\theta = 46^\circ$ 와 74° 부근에서 아주 미세하게 SnO₂의 결정상태가 변화했음을 알 수 있었다. 그러나 주피크치는 첨가물을 섞기전의 순수 SnO₂(b)와 일치함을 볼 수 있다. 그리고 그림 4(a)의 950°C 열처리전 XRD 패턴은 비정질의 구조를 보였다. 결정크기는 일반적으로 소성온도가 높으면 커지나, 첨가한 불순물의 영향이 있는 경우, 결정성장이 첨가하지 않은 순수 물질보다 억제된다.

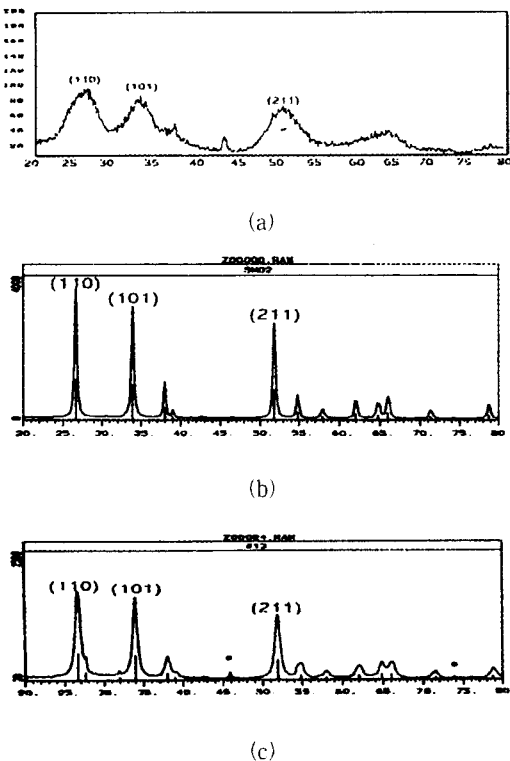


그림 4. 검지물질의 XRD분석. (a) 열처리전 순수 SnO₂(950°C), (b) 열처리 후 순수 SnO₂(950°C), (c) 열처리(700°C) 후 촉매 첨가된 SnO₂
 Fig. 4. XRD analysis of sensing materials. (a) pure SnO₂ (before calcination) b) pure SnO₂ (after calcination, 950°C) (c) catalysts doped SnO₂ (after calcination, 700°C).

3.2 검지특성

실제 연소배가스 측정을 위한 혼합가스 존재시 원하는 어느 한가지의 가스 감도를 정확히 알아내어 적용시키는데는 상당히 어려움이 따를 것으로 쉽게 예상된다. 이를 쉽게 이해하기 위하여 본 실험에서 제

조된 센서소자와 기존에 CO 반도체식 가스센서 검지 물질로 잘 알려진 SnO₂ 모물질에 Pd, Pt, ThO₂ 등을 첨가물로한 센서소자를 CO-NO_x의 혼합가스상에서 서로의 농도를 변화시켜가며 감응특성을 측정하였다. 그 결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 각각 최적동작온도 [(a),(b):250°C, (c):500°C]로 고정하고, CO 65ppm을 유입하였다. 3개 센서는 공히 출력전압이 증가하는 쪽으로 감도를 보였으나, 첨가물에 따라 감도크기는 차이가 있었다. 이 상태에서 NO_x 65ppm을 유입시키면 (a), (b) 센서는 출력전압이 크게 감소하나, (c) 센서는 약간 증가하는 극단적인 대조현상을 보인다. (a), (b) 센서의 CO, NO_x에 대한 감응형태는 SnO₂계 반도체 센서로는 아주 일반적인 현상이다. 따라서 두 가스가 혼합된 연소배가스 등에서의 CO검출에는 사용 불가능하게 된다. 이에 비해 V₂O₅를 약 3.0 wt.% 정도 첨가함으로 이러한 영향을 없앨 수 있었다. 본 연구에서는 이러한 첨가제를 찾기 위해 가스센서에 대한 여러 첨가물의 감도를 비교분석한 논문^[20]과 silver oxide, antimony oxide, nickel oxide, zinc oxide등 여러첨가제를 사용하여 NO_x에 대한 영향을 조사한 결과로 첨가제는 그림 5의 a, b와 같이 영향을 받았으나, V₂O₅만은 가장 영향이 적었음을 알았다.

그림 5(c)에서 센서의 빠른 응답특성과 선택성이 크게 우수함을 보일 수 있는 근원은 Pd가 감도를 향상시

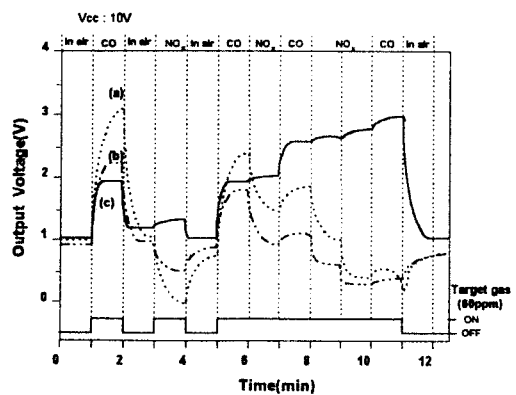


그림 5. CO와 NO_x가 공존시 응답특성. (a) SnO₂ + Pt, (b) SnO₂ + Pd + ThO₂, (c) SnO₂ + V₂O₅ + Pd + ThO₂
 Fig. 5. Response to CO-NO_x mixed gas. (a) SnO₂ + Pt, (b) SnO₂ + Pd + ThO₂, (c) SnO₂ + V₂O₅ + Pd + ThO₂.

키는 만큼 촉매활성제로써 CO가스 선택을 위한 V₂O₅의 영향이 가장 결정적이며, 안정화 촉매제로써 ThO₂의 영향과 높은 동작온도가 크게 작용했을 것으로 본다. 그러나 그림 5의 비교에서 보는 바와 같이 센서의 감도 향상이 더 요구된다.

SnO₂/V₂O₅/Pd/ThO₂의 센서의 최적의 동작온도점을 찾기 위해 여러 온도별로 실험한 결과 그림 6과 같이 450~550℃에서 높은 감도를 나타내었다. 이미 연구된 SnO₂/Pd/ThO₂ 조성비^[18]에 V₂O₅를 각각 2.0, 3.0, 4.0 wt.% 조성비로 한 결과 3.0 wt.% V₂O₅의 조성비가 최적임을 그림 6에서 역시 알 수 있다. 특히, 그림 5(c)의 실험 결과처럼 약 500℃ 근처에서 빠른 응답특성을 나타내었다. 지금까지 알려진 CO센서 동작온도가 약 200℃ 근처인데 비해 상당히 높은 온도점이다. 전력 면에서 이 동작온도까지 올리려면 큰 전력소모가 있겠지만, 보일러와 같은 연소배가스 측정 시는 가스온도가 약 200~300℃가 됨으로 약간의 추가전력으로 본 센서의 동작온도를 맞출 수 있다.

그림 5와 7에서 보는 바와 같이 여러 종류의 반도체식 가스센서 실험결과로 볼 때, SnO₂/V₂O₅/Pd/ThO₂의 검지물질 조성이 감도면에서 SnO₂/Pt 조성보다 떨어지고 SnO₂/Pd, SnO₂/Pd/ThO₂의 조성과 비슷한 경향을 나타내지만, 흡·탈착과 재현성에 대해서는 다른 센서들보다 빠른 응답과 안정함을 알 수 있었다. 즉, 첨가활성제로 쓰인 V₂O₅가 이러한 특성들에 상당히 영향을 주고 있음을 관찰할 수 있다. 단, 실험에서의 SnO₂/V₂O₅/Pd/ThO₂의 조성을 제외한 다른 샘플들은 150~

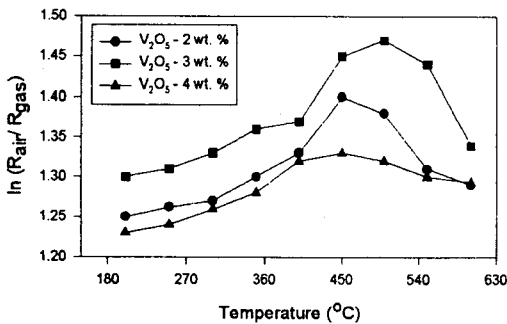


그림 6. V₂O₅ 함량별 각 센서들의 센서온도-감도의존성.

Fig. 6. Sensor temperature vs. sensitivity for various sensors with differnt V₂O₅ doping amount.

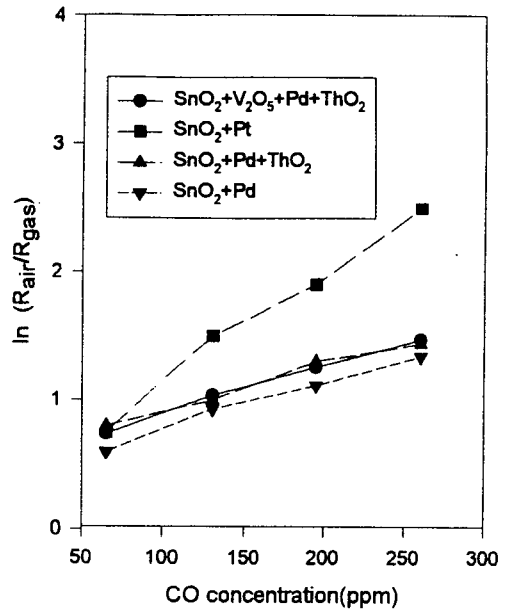


그림 7. SnO₂ 기초물질의 여러 샘플들에 대한 CO 응답.

Fig. 7. Response to CO for various samples based on SnO₂.

300℃에서의 최적 동작온도로 결과를 얻었다. 여기서 감도(sensitivity) S는 자연대수(ln) 단위로 표현하여 더욱 뚜렷한 감도변화를 관찰할 수 있었다.

그림 8은 기존의 연구방식과 같이 여러 가스들에 대한 각각의 감도로 선택도를 볼 수 있다. 다른 샘플들보다 빠른 응답과 안정함을 보였던 SnO₂/V₂O₅/Pd/ThO₂의 검지물질 센서를 역시 500℃ 동작온도에서 실험하여 그림 8과 같이 CO의 약 60ppm의 저 농도에 고감도를 보이는 물론 같은 농도의 타가스들(NO_x, SO₂, CH₄, C₃H₈)에 대해서는 감도가 많이 둔하는 즉, 선택적 반응이 우수함을 보였다. 또한, CO 농도에 따른 감도의 변화량이 상당히 선형적임을 보여, 센서의 요구조건인 선택성은 물론 감도의 선형성도 우수함을 알 수 있다. 서론에서 언급했듯이 지금까지의 반도체식 가스센서의 선택성 연구실험에 대한 표현이 그림 8과 같이 각각의 가스에 대한 감도실험 비교로 선택성을 결정^[3, 4, 18]하는 것은 센서의 실용성 면(CO나 NO_x등은 거의 혼합상태로 발생됨)에서 보면 그런 실험결과는 거의 효율성이 없음을 알 수 있다. 그리고 이번 연구결과가 참고문헌^[3, 4, 18]의 일반적인 선택도와 비교하여도 우수함을 알았다.

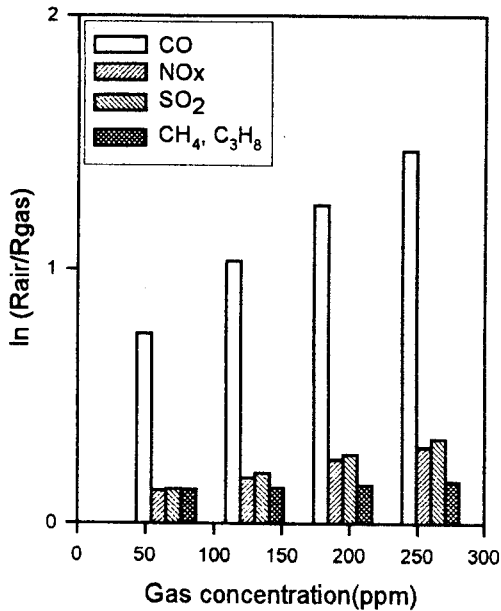


그림 8. V₂O₅, ThO₂, 그리고 Pd가 도핑된 SnO₂ 센서의 여러 가스에 대한 반응성.

Fig. 8. Response of SnO₂-based sensor doped with V₂O₅, ThO₂ and Pd for various gases.

IV. 결 론

연소배가스 중 일산화탄소(CO)를 선택적으로 검지하기 위해 침전법을 이용하여 센서의 검지 모물질을 제조하고 각 첨가물의 구성비에 따른 실험과 물성분석에 따른 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) SnO₂에 3.0 wt.%의 V₂O₅, 1.5 wt.%의 ThO₂, 1.0 wt.%의 Pd를 첨가하여 제조된 센서는 약 500°C의 높은 센서 온도에서 CO에 대해 우수한 선택도와 안전성을 보였다. 특히, NO_x에 대한 감응성이 거의 없을 정도로 우수하였다.

2) 또한 90%의 응답특성을 기준으로 볼 때, 10초 이내의 빠른 흡착과 탈착 시간을 보임으로써 우수한 특성을 보였다.

3) 제조한 센서가 우수한 선택적 반응특성을 보일 수 있는 원인은 V₂O₅를 약 3.0 wt.% 첨가하는 등의 첨가제 종류와 열처리 조건 그리고 동작온도와 밀접한 관계가 있을 것으로 예상된다.

앞으로 새로운 보조 첨가제를 찾고, 제조공정을 단

순화하며 선택적 반응성 향상의 메커니즘을 더 연구하여 연소기기의 연소배가스 측정 및 제어분야에 적극 응용코자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구소 신연료연구팀을 통한 통산부 에너지자원기술 개발지원센터의 에너지절약 연구사업비의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Gerhard Wiegleb and J. Heitbaum, "Semiconductor gas sensor for detecting NO and CO traces in ambient air road traffic", *Sensors and Actuators B*, 17, 93-99, (1994).
- [2] U. Lampe, M. Fleischer and H. Meixner, "Lambda measurement with Ga₂O₃", *Sensors and Actuators B*, 17, 187-196, (1994).
- [3] Hiroyuki, et al., "Indium oxide-based gas sensor for selectivity detection of CO", *Sensors and Actuators B*, 35-36, 352-332, (1996).
- [4] Masayoshi Nitta and Miyoshi Haradome, "Thick-Film CO Gas Sensor", *IEEE Transactions on Electron Devices*, ED-26, NO. 3, March, (1979).
- [5] T. Nakamoto, et al., "Gas/odor identification by semiconductor gas sensor array and an analog artificial neural-network circuit", *Sensors and Actuators A*, Vol. 8, 181-186, (1992).
- [6] H. K. Hong, et al., "Gas identification using oxide semiconductor gas sensor array and neural-network pattern recognition", *Transducers' 95/Eurosensors IX*, Vol. 2, 687-690, (1995).
- [7] 한상도, 김종원 외, "보일러 최적연소 제어용 측정시스템 개발에 관한 연구", 연구보고서 KIER-953204, 한국에너지기술연구소, (1996).
- [8] I. Sayago, et al., "The effect of additives in tin oxide on the Sensitivity and Selectivity to NO_x and CO", *Sensors and Actuators B*, 26-27, 19-23, (1995).
- [9] G.Faglia, et al., "Frequency effect on highly

- Sensitivity NO₂ Sensors based on RGTO SnO₂(Al) thin films", Sensors and Actuators B, 18-19, 497-499, (1994).
- [10] S. Yao, et al., "Use of Sodium nitrate and/or barium nitrate electrodes", Denki Kagaku, 59, 465-472, (1991).
- [11] A. Heilmann, et al., "NO₂ monitoring as an air pollutant using lead phtalocynine thin film sensors", Sensors and Actuators B, 7, 522-525, (1992).
- [12] S. Kudo, et al., "NO_x sensor using YBa₂Cu₃O_{7-δ} Thin Films", Sensors and Actuators B, 23, 219-222, (1995).
- [13] K. F. Schoch and T. A. Temofonte, " IR response of phtalocynine thin films to nitrogen dioxide", Thin Solid Films, Vol. 165, 83-89, (1988).
- [14] H. Windischmann and P. Mark, J. Electrochem. Doc. 126, 4, 627, (1979).
- [15] Kousuke and Ihokura, New Materials and New Processes, 1, 43, (1981).
- [16] D. Schuetzle, et al., "Fundmental and Application of Chemical Sensor", ACS Symposium series, (1986).
- [17] 손영목, 박주석, 한상도 외, "연탄가스 검지기 개발에 관한 연구(Ⅲ)", 연구보고서 KE-86-4, 한국에너지기술연구소, (1986).
- [18] Il-Jin Kim, et al., "Catalyst Effect and Sensing Characteristics of Plate Type SnO₂ Thick-Film Sensor for CO Gas", The 7th Conference on Sensor Technology, 137-142, (1996).
- [19] Chaonan Xu, et al., "Grain size effects on gas sensitivity of porous SnO₂-based elements", Sensors and Actuators B, 3, 147-155, (1991).
- [20] Noboru Yamazoe and Norio Miura, "Environmental gas sening", Sensors and Actuators B, 20, 95-102, (1994).

 著 者 紹 介



金 鎰 鎭

1972년 8월 19일생. 1996년 경일대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1996년 2월~현재 아주대대학원 전기.전자공학부 석사과정. 주관심분야 : 전자재료 및 반도체공정, 센서재료 및 응용 등.

韓 相 道

「센서학회지 제4권 제4호」 논문 95-4-4-03, p. 16 참조, 현재 한국에너지기술연구소 신연료연구팀장, 책임연구원.



林 漢 祚

1947년 9월 2월생. 1971년 서울대학교 물리학과 졸업(이학사), 1974년 서울대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사), 1982년 Montpellier II 대학교(불) 물리학과 졸업(이학박사), 1982. 2~1982. 7월 Mopellier II 대학교(불) 고체연구소 Post Doc., 1986. 2~1987. 1월 Ecole Normale(불) 고체물리그룹 방문연구원, 1997. 2~1997. 8월 Northwestern 대학교 Visiting Scholar, 1975. 9~현재 아주대학교 전기.전자공학부 교수.

孫 永 睦

「센서학회지 제4권 제4호」 논문 95-4-4-03, p. 16 참조, 현재 한국에너지기술연구소 소장.