

논문 96-5-5-06

SnO₂과 Pt를 첨가한 WO₃후막센서의 제조 및 NO_x감응 특성이대식*, ^a한상도**, 박기배**, 심규성**, 이덕동*, 손영목**Fabrication and NO_x sensing Characteristics of WO₃ doped with SnO₂ and Pt Thick Film DevicesD.S. Lee*, ^aS.D. Han**, K.B. Park**, K.S. Sim**, D.D. Lee*, Y.M. Son*

요 약

WO₃모물질에 Pt와 SnO₂활성촉매를 첨가하여 수 ppm정도의 NO_x를 감지할 수 있는 후막형 NO_x센서를 제조하였다. 센서의 최대 감도는 250℃정도에서 얻을 수 있었으나, 회복속도를 고려하여 330℃에서 특성실험을 실시하였다. 기존의 WO₃를 사용한 것보다 감도, 반응 및 회복 속도가 개선되었고 또한 뛰어난 선택성과 기체흐름에 대한 안정성을 보여주었다. 농도변화에 대한 선형성이 우수하게 나타남으로 계측기에 응용가능성을 보여주었다.

Abstract

Highly sensitive WO₃ doped with SnO₂ and Pt thick-film sensors for NO_x gas were fabricated. The sensors had a maximum sensitivity at operating temperature of 250℃, but the optimum operation temperature, considering recovery desorption time, was at 330℃. These sensors improved sensitivity, response and recovery time, selectivity and stability, as compared to WO₃ sensors. The good linearity of sensitivity as a function of the gas concentration exhibited the possibility to be used for concentration meter.

1. 서론

센서는 인간의 5개의 감각기관을 확장 및 그 기능을 보완하는 것으로, 가정용, 산업용, 자동차용 등 그 응용범위가 날로 확대되고 있다. 인간의 취각을 대신하는 가장 기본이 되는 센서가 바로 가스센서이다. 이 센서는 최근 가정용 LPG 및 도시가스의 급격한 소비 증가에 따른 대형폭발사고 등 재해예방을 위하여, 산업체 자동차에서 배출되는 유해가스를 검지·계측, 각

종 냄새의 감지 및 공기정화, 알코올감지, HA(home automation)화 등에 많이 이용되고 있다. 특히 환경규제가 중요시되면서 더욱 믿음만한 고감도의 안정한 가스센서의 개발에 대한 필요성이 크게 요구되고 있다.^[1-4]

NO_x는 주로 자동차엔진, 보일러 및 연소기와 같은 고온연료연소과정에서 생성된다. 최근 대도시 대기오염의 주범은 자동차 배기가스이다. 자동차 배기가스의 경우, 배기 성분은 주로 미연소 탄화수소(CH_x), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 수증기로 되어 있다. 그 중에서도 NO_x는 인체에 매우 유독하며(안전기준: NO₂ 3ppm, NO 25ppm 이하, ACGIH)^[5], 광화학반응으로 오존을 생성시켜 여름철

* 경북대학교 전자전기공학부
(Dept. of Electronics & Electrical Eng.,
KyungPook Nat. Univ.)

** 한국에너지기술연구소
(Korea Institute of Energy Research)

a : corresponding author

<접수일자 : 1996년 7월 31일>

스모그 현상, 지구의 온난화 및 산성비의 원인을 제공하기도 한다^[6]. 따라서, 환경오염을 방지하고, 자동차 및 가정난방 및 산업 보일러내의 공연비조절 및 연소제어를 위해서는 기본적으로 NOx의 농도를 수 ppm까지 측정, 제어 가능한 빠르고 안정된 고감도 센서의 개발이 반드시 요구된다.

지금까지 NOx 센서에 대한 연구는 최근에 SnO₂, WO₃, ZnO, TiO₂, In₂O₃, Ag_xV₂O₂, 등을 이용한 산화물 반도체센서^[7-14], NASICON/NaNO₂, Ba(NO₃)₂ 등의 고체전해질을 이용한 전기화학센서^[15-16], 프탈로시아닌(phtalocyanine, PbPc)을 이용한 유기물 반도체센서^[17-18], YBa₂Cu₃O_{7-x} 박막을 이용한 초전도체센서^[19] 등이 발표되었다. 그 중에서도 WO₃를 모물질로 하여 여러 불순물을 첨가한 벌크(bulk)형 NOx센서^[20]가 높은 감도를 가지는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 NOx 가스에 높은 감도를 가지는 WO₃와 높은 활성의 촉매기능을 갖는 Pt와 SnO₂를 첨가한 후막형 NOx 센서를 만들었다. 고온과 혼합가스로 열악한 조건의 보일러 연도에서 실용성 있게 사용될 센서의 최적조건을 조사하는데 주목적을 두었다. WO₃ 후막은 그림 1과 같이 silk printing법으로 제조되었고, 열처리와 SnO₂의 첨가물의 혼합량에 따른 가스감도특성을 조사하여 최적조건을 구하였다. 가스감도 지원리는 WO₃막의 표면에서의 가스의 흡·탈착에 의한 것이 지배적이며, 벌크에서의 결합에 의한 공공의 생성으로 인한 전기전도도의 변화도 예상할 수 있다.^[21]

II. 센서 제조 및 실험

1. 센서의 제조방법 및 구조.

WO₃(99.9%, Fluka사)를 볼밀(Ball milling) 등으로 미세한 분말로 만들어서 모물질로 사용하였다. 그리고, 첨가제로서는 SnO₂와 PtCl₄를 사용했다. SnO₂ 분말은 SnCl₄수용액을 증류수로 희석시켜서 암모니아수와 반응시킨 후에, 증류수로 하루간 여과시켜서 100℃오븐 건조시킨 후, 약 700℃에서 2시간 열처리하여 얻었다. 이 물질을 WO₃의 모물질에 각각 0, 1, 4, 7, 10wt%로 혼합하였다. 그리고, 800℃, 공기분위기의 furnace에서 3시간동안 열처리하였다. 이것을 1시간동안 ball-milling한 후 oven-dry를 실시했다. 귀금속 염화물(PtCl₄)를 0.1~0.3mol/l의 농도로 증류수에 넣

고, 염산을 가하면서 가열하여 녹인 촉매수용액에 앞서와 같이 만든 센서모물질을 실온에서 1hr동안 함침시켰다. 이것을 oven-dry시킨 후에, PVA(12%)와 혼합하여 paste화 한 후 센서기판에 silk printing하여 센서를 만들었다. 시료의 종류로는 WO₃, SnO₂-WO₃, Pt(~1wt%)-SnO₂-WO₃를 만들었으며, 800℃, 3시간(air 분위기)동안 furnace에서 소결시켜서 센서감지막으로 사용하였다. 앞면에 IDT(interdigit)형의 Au전극(전극간격 0.1mm, 면적 0.2mm², 두께 3~5μm)과 뒷면의 Pt/Ni히터(두께 100μm, 면적 1.4mm², 저항 11±1Ω)를 가진 Al₂O₃의 기판을 센서기판으로 사용하였다. 리드선은 Au선로 silk-printing하였다. 이 제조공정은 그림 1에 나타내었다. 열처리로 인한 Au나 Pt 등의 확산을 생각할 수 있으나, 금속산화물에서는 확산계수 D₀값이 아주 작아서 온도와 시간에 관계없이 아주 작은 값이다. 위와 같은 조건에서 측정하여 전기적 반응특성을 알아보았다.

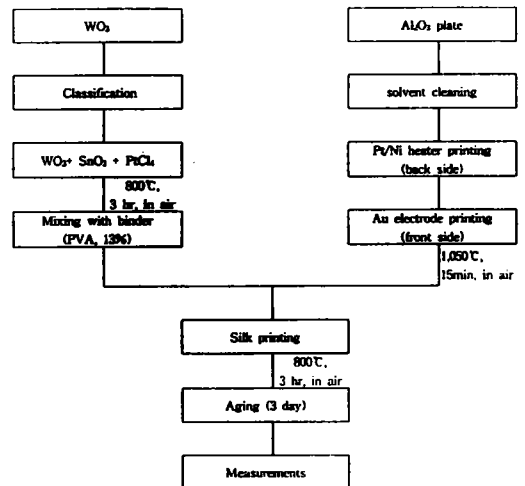


그림 1. 센서제작순서도

Fig. 1. Fabrication procedure of thick film sensor

2. 감도 실험 방법

농도에 따른 질소산화물의 출력을 측정하기 위하여, 크기가 40×25×18(cm)인 test chamber를 사용했다. 시험가스는 농도가 NO₂가 178ppm, NO가 20ppm인 표준 가스를 제조하여 test chamber에 주입하기 전 일정부피로 희석하여 사용했다. 실험 순서는 먼저 농도가 되도록 일정량의 NOx가스를 조절하여, 보조희석

조에 부착된 주사기를 통하여 일정ppm량을 채우고 다시 주사기 test chamber로 주입하고, 순환 팬으로 고르게 혼합했다. 이와 같은 방법으로 검지가스 농도에 따른 검지소자의 출력을 data acquisition system과 strip chart recorder로써 기록하여 비교하였다. 이 때에 회로는 센서와 부하저항으로 가변저항을 직렬상태로 연결하고, 가변저항에서의 출력전압을 측정했다. 가스 주입전과 주입후의 전압변화치를 읽고, 이를 전압분배법칙 (Voltage divide law)에 의해 아래와 같이 저항치로 나타냈다.

$$R_s = R_L \times \left(\frac{V_{CC}}{V_L} - 1 \right)$$

여기서, R_s는 센서저항치, R_L는 부하저항치, V_{cc}는 동작정전(靜電)전압, V_L는 출력전압이다. R_s를 다시 분류하면, 공기중의 저항치를 R_{air}로 가스주입후의 저항을 R_{gas}로 나누어줄 수 있다. 감도(S)는 다음과 같이 계산한다.

$$S = \frac{R_{gas}}{R_{air}} \text{ 로 정의한다.}$$

III. 결과 및 고찰

1. 센서의 전열측정

제조된 소자의 인가전력에 대한 소자표면온도를 다음 그림 2에 나타내었다. 여기에서, 온도는 spot thermometer(Minolta, R-0506C)로 측정하였다. NOx의 흡탈착온도는 WO₃경우에는 200~500℃에서 결정되고, 감도와 변화속도를 고려할 때의 최적 온도는 300℃ 근처에서 일어난다고 보고되어 있다.^[22] 그림 2에서 보면, 히터인가전압은 약 8V이고 소비전력은 5.6W로 약 330℃이다. 이 센서에서는 인가전압에 따른 출력온도와 소비전력사이에는 선형적 변화를 보이고 있다.

2. 센서의 감도

WO₃는 n형 산화물반도체로 산소결핍형이다. NOx는 H-C, CO, H₂등과 같은 환원성 가스와는 달리 전자친화성의 가스이다. 이 가스가 n형 산화물반도체에 흡착될 때, 반도체의 표면이나 grain boundary내의 전

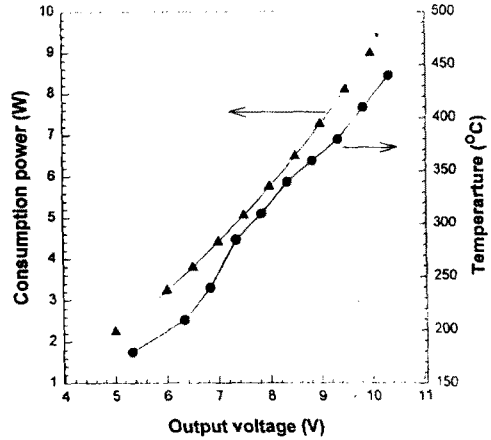


그림 2. 인가전력에 따른 소자의 표면온도특성

Fig. 2. Correlation between consumption power and temperature for output voltage

자를 고정 혹은 받아들임으로 이 반도체의 전기저항이 증가하게 된다. 각 센서의 NOx에 대한 농도별 감도특성을 알아보았다. SnO₂의 무게비율 0, 1, 4, 7, 10, wt%로 달리 하였을 때, 30ppm까지의 주입량에 따른 감도를 살펴보았다. 그 결과는 그림 3과 같다.

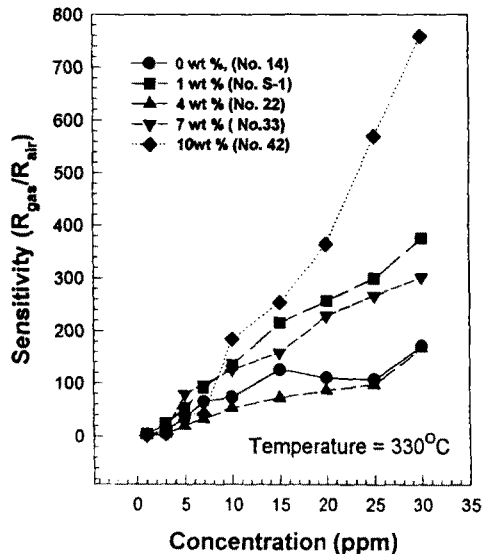
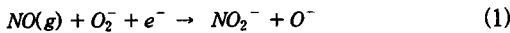


그림 3. 농도변화에 따른 센서의 감도

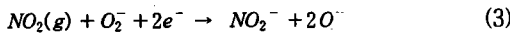
Fig. 3. Sensitivity of the sensor as a function of NOx concentration for the sensor

피검가스의 농도확인 은 이론상 정확하나, test chamber 밀폐정도, 흡입probe의 길이와 그 양에 의해 측정치의 오차가 증가할 수 있다. 그러나, 감도와 감도의 선형성은 0.025~200ppm에서 일정하게 유지되는 것을 알 수가 있었다. 여기서는 SnO₂가 있는 것이 없는 것보다 감도가 우수한 것을 알 수 있다. 10ppm에서 10wt%SnO₂첨가 센서에서 감도가 약 200이 되는 것을 볼 수가 있다.

위와같은 반응에서, 가스감지원리로 많이 이용되는 것은 주로 가스의 흡탈착이론으로 설명된다. 즉 NOx의 흡착시에는 grain boundary의 전자를 받아들여 전자전도도가 낮아지는 것을 모델링한 이론이 있다. 온도가 올라감에 따라서, O₂에서 O⁻로 변하는 것이 보고되고 있으며, 이 성질과 더불어, 다음과 같은 반응식으로 가스의 흡탈착감지원리를 설명하고 있다.^[23-24]



동시에, 대부분의 NO가스는 산소와 반응하여 NO₂로 산화된다. NO₂는 다시 흡착된 산소와 반응하거나, 센서표면에 흡착된다. 표면에서의 반응은 다음과 같다.



한편, WO₃의 산화수가 최대 6까지 되는 이유로 그만큼의 많은 전자를 잃을 수 있다는 것이 다른 검지물질에 비해 뛰어난 감도를 가지는 이유로 볼 수 있다. 촉매활성 첨가물로의 SnO₂의 존재로 인하여 반응속도가 훨씬 빨라지고, 감도가 좋아지는 상승효과가 나타남을 알 수 있다.

330℃에서 10ppm의 NOx주입시의, 미량의 귀금속 촉매(Pt)를 가진 것과, 가지지 않은 것에 있어서, SnO₂의 양에 따른 감도의 변화를 알아 보았다. 여기서는 SnO₂의 양이 미량에서는 10%정도에서 가장 우수한 감도를 나타냄을 알 수 있었고, 또한 촉매가 있는 것보다 없는 것이 감도가 훨씬 우수한 것을 그림 4에서 볼 수가 있다.

센서감도의 동작온도 의존성을 조사한 결과이다. 즉 NOx 10ppm을 주입하였으며, 센서의 동작온도를 달리 하였을 때 감도변화를 알아본 것이다. 여기서 사용된 온도계측방법은 spot thermometer로 하였고, 230~300℃

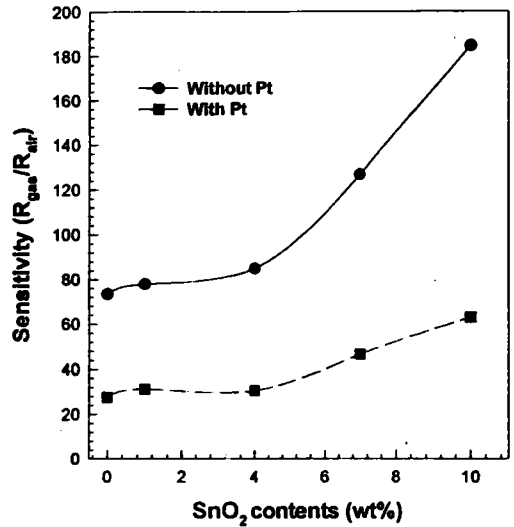


그림 4. SnO₂첨가물의 농도변화에 따른 센서 감도의 변화 (330℃)

Fig. 4. Correlation between sensitivity and SnO₂ concentration for Pt-SnO₂-WO₃ (330℃)

에서 감도가 우수하게 나타났다. 촉매가 있거나, 없거나 상관없이 모두 최고감도가 나타나는 온도영역이 비슷한 것을 알 수 있다. 그러나, 탈착시간면에서 300℃ 미만에서는 탈착속도가 느려서, 90%정도까지 탈착되는 데는 모두 6분이상의 시간이 소요됨을 알 수 있었다. 그 온도가 높아질수록 탈착속도가 점점 빨라짐을 보여주었다. 그리고, 가스를 주입하고서 4분간의 시간경과후의 변화를 보면, Pt-SnO₂-WO₃의 감도는 동작온도를 330℃에서 46, 210℃에서는 192로 되는 것을 알 수 있었다. SnO₂-WO₃센서는 210℃이외에는 안정상태에 가는데 4분이상이 걸리는 것을 알 수 있다. 탈착은 2~3분내에 거의 탈착이 이루어졌다. 한편 촉매를 사용했을 때는, 탈착시간은 수십 초내로 줄일 수가 있었다. 즉, 반응온도가 증가할수록, 감도는 떨어지며, 회복속도는 점점 빨라지는 것을 알 수가 있다. 그리고, Pt를 가진 것에서는 감도면에서는 다소 줄어들 수 있으나, 회복속도면에서 월등히 빨라지는 것을 그림 5를 통해 알 수 있다. 이러한 특성향상효과는 Pt촉매가 일반적으로 갖는 spill-over현상에 의한 것으로 해석된다.

본 센서의 다른 가스에 대한 선택적 반응성을 알아 보았다. 즉 CO, CH₄, C₃H₈, SO₂, C₂H₅OH에 대한 감

도를 측정하여 비교해 본 것으로 판단했다. 여기서는 감도가 1을 기준으로 했을 때, 1보다 큰 것은 저항이 증가한 것을 나타낸 것이고, 1보다 감소한 것은 저항이 감소한 것을 나타낸다. 상대적으로 NOx가스의 수 십배를 주입했을 때의 감도를 비교한 것임으로 다른 가스에 대한 선택성이 아주 우수한 것을 그림 6에서 알 수 있다.

공기의 flow유량에 따른 초기저항치의 변화를 2회 반복하여 살펴보았다. 여기서 알 수 있는 것은 어느 정도의 유량에 따른 변화를 볼 수 있었나, 곧 포화가 일어난다는 것이다. 그 결과는 그림 7과 같다. 이러한 이유로는 공기분압의 변화에 따른 전도도의 변화로서 볼 수가 있지만, 오히려 온도에 민감한 검지물질에서는 기판온도의 하강으로 저항치가 증가한 것이라 본다.

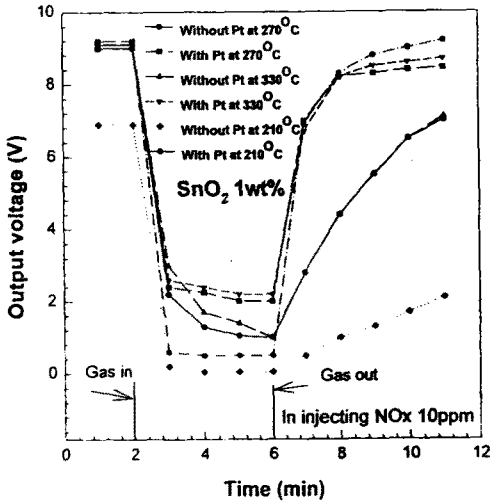


그림 5. 시간에 따른 반응특성
Fig. 5. Response transients of the sensor for time variation

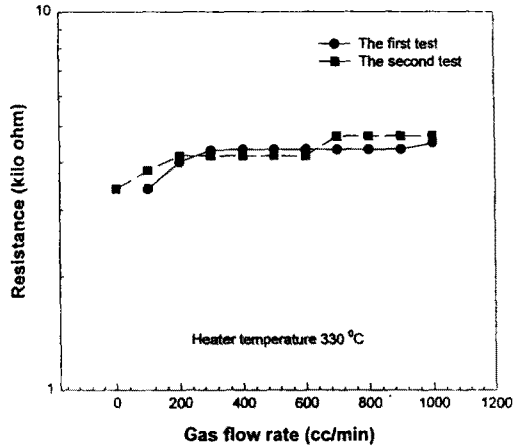


그림 7. 공기유량에 따른 초기저항치의 변화
Fig. 7. Variation of initial resistance for air flow rates

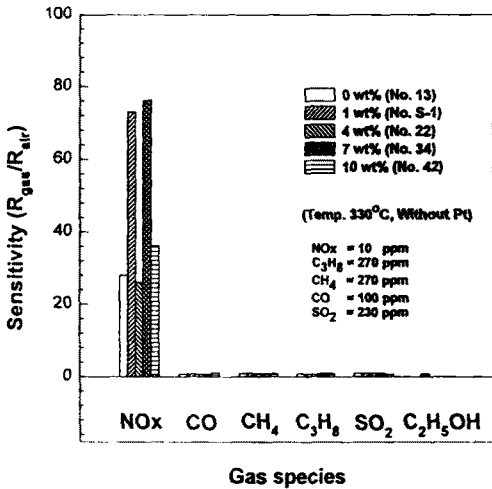


그림 6. 여러가스에 대한 센서의 선택성(WO₃-SnO₂)
Fig. 6. Sensing selectivity of NOx sensor for various gases(WO₃-SnO₂ only)

3. 물성분석

WO₃ 모물질과 첨가물SnO₂에 대한 결정의 형태와 조성비율 그리고 검지물질을 800°C에서 3시간동안 2회 열처리공정에 따른 결정성의 상태변화 등을 SEM, EDAX, XRD, TG/ DTA 등으로 알아 보았다. 우선 WO₃후막의 결정성을 검토하기 위해서 X선회절분석(XRD)를 실시하고, 후막표면의 미세구조의 변화를 관찰하였다. 본 실험은 X-ray Diffractometer(Phyllips사)로 Cu K α 선($\lambda=1.5406$)과 Ni필터를 사용하여 2 θ 값이 20-80° 사이에서 조사였다. 이 결과(그림 8)를 표준자료인 JCPDS의 WO₃의 여러 값들과 일치성을 비교한 결과, WO₃가 갖고 있는 3개 구조중 Orthorhombic구조와 일치함을 알 수 있었다. 같은 방법으로 첨가물SnO₂에 대한 조사결과는 이것이 Rutile 구조임이 확인 되었다. 또한 위 두 물질을 혼합하여 열처리(800°C-6시간)한 검지물질의 grain boundary상에 solid solution이 발생하여 모물질 WO₃의 상변화가

있는지를 순수 WO_3 상과 비교 검토 하였다(그림8). SnO_2 의 2개 주피크치가 일어나는 2θ 값 26.670과 34.125에서는 WO_3 의 주피크치와 거의 일치함으로써 solid solution과정으로 생성되는 peak의 d-spacing 감소나 2θ 의 shift 등을 분명히 관찰하기에는 어려웠다. 비록 $2\theta=51.900$ 에서 WO_3 에서는 나타나지 않는 SnO_2 피크치가 나타나기는 하나, 4%의 SnO_2 첨가량은 너무 적은 것 같고, 또한 solid solution이 확실하게 일어나기 위한 조건으로 열처리온도가 낮고, Sn원자가 더 크다는 것 등이 이유로 볼 수 있다.

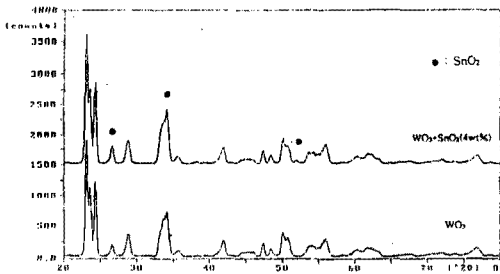


그림 8. WO_3 와 SnO_2 - WO_3 후막의 XRD분석
Fig. 8. X-ray diffracton patterns of WO_3 , SnO_2 - WO_3 thick film

다음은 센서재료의 표면관찰을 SEM으로 한 결과이다(그림9). WO_3 과 $Pt-WO_3$, $SnO_2(1wt\%)-WO_3$, $Pt-SnO_2(1wt\%)-WO_3$ 의 3000배로 확대한 전자현미경 사진이다. 여기서는 WO_3 에 대해 첨가분리를 했으므로, 입자가 $2\mu m$ 이하의 균일함을 볼 수가 있다. 두 물질이 혼합된 것에서는 입자크기가 상대적으로 큰 SnO_2 가 보인다. 여기서 그림 9의 (b)와 (d)를 비교하여 볼 때, SnO_2 를 첨가한 것이 더욱 grain size가 작은 것을 볼 수 있다. 이로써 SnO_2 가 들어감으로 가스가 반응하는 비표면적이 커짐으로 감도가 향상된 것으로 생각된다.

IV. 결론

저농도의 NO_x 감지를 위해 SnO_2 와 Pt촉매를 첨가한 후막형 WO_3 의 센서를 제조하고, 그 특성과 물성을 알아보았다. 이를 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 센서의 최적동작온도는 Pt를 첨가했을 때, 약

$330^\circ C$ 이며, Pt를 사용하지 않을 때의, 초기저항 $700k\Omega$ 정도이고, 동작온도에서는 저항이 수 $k\Omega$ 정도이다.

2. 소자용 백금전극의 저항치는 11Ω 정도이고, 히터의 적정인가전력은 $5.6W$ 정도이다.

4. WO_3 단일물질로 만든 센서보다는, SnO_2 를 소량 첨가함으로써 감도, 선택성 등의 전반적인 센서특성이 향상을 가져왔고, Pt촉매를 사용함으로써 반응속도가 보다 우수하게 나타남을 알 수가 있었다. 이는 SnO_2 가 WO_3 의 grain size를 미세하게 하였기 때문으로 생각된다.

5. 개발센서는 다른 가스에 대한 선택성이 우수하며, 농도변화에 따른 감도의 변화가 선형적으로 나타남으로 농도계에 응용가능성이 있음을 알 수 있다.

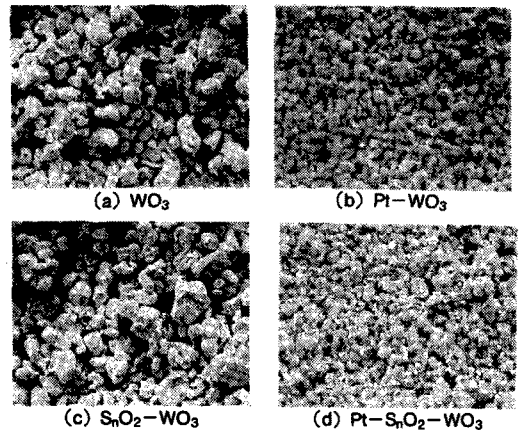


그림 9. WO_3 센서의 후막표면의 SEM사진($800^\circ C$, 3시간열처리, 공기분위기)

Fig. 9. Surface morphologies at various contents($800^\circ C$, 3 hours in air)

(a) WO_3 (b) $Pt-WO_3$
(c) SnO_2-WO_3 (d) $Pt-SnO_2-WO_3$

Reference

- [1] "Japanese R and D Trend Analysis, Advanced Materials," Report No. 6: Ceramic Sensors, pp. 9-32, KRI Interanational, Inc., Tokyo, Japan, 1989.
- [2] S.Matsuura, "Nex developments and applications of sensors in Japan", Sensors and Actuators B, 13-14, 1993, PP7-11
- [3] H. S. Talor and G. Ogden, Trans, Faraday soc , 30, 1178(1934)

- [4] 김영해, " 가스센서와 그 응용", pp. 2-7, 기전출판사, 1992.
- [5] N.O. Korolkoff, "survey of Toxic Gas Sensors and Mnoitoring Systems", *Solid State Tech.*, 32(12), 49-64(1989)
- [6] Noboru Yamazoe and Norio Miura, " Environmental gas sensing", *Sensors and Actuators B*, 20 (1994) 95-102
- [7] Han Jong-Soo, Park HYo-derk, Sohn Jong-rack, Lee Duk-Dong, "Fabrication and characteristics of SnO₂ Thick film Devices for Detection of NO₂", *Proceeding of the Third conference on Sensor Technology*, Vol.3, No.1., 1992, pp 212-217
- [8] G. Faglia, P. Nelli and G. Sberveglieri, "Frequency effect on highly sensitive NO₂ sensors based on RGTO SnO₂(Al) thin films", *Sensors and Actuators B*, 18-19 (1994) 497-499
- [9] G. Sberveglieri and S. Groppelli, "Radio frequency magnetron sputtering growth and characterization of Indium-Tin oxide (ITO) thin films for NO₂ gas sensors", *Sensors and Actuators*, 15 (1988) 235-242
- [10] Morito AKIYAMA, Jun TAMAKI, Norio MIURA, and Noboru YAMAZOE, "Tunsten Oxide-based semiconductor Sensor Highly to NO and NO₂", *Chemistry letters*, pp. 1611-1614, 1991, The Chemical Society of Japan. 1991.
- [11] Shigenori Matsushima, Daisuke Ikeda, Kenkichi Kobayashi and Genji Okada, "NO₂ gas-sensing properties of Ga-doped ZnO thin film", *Sensors and Actuators B*, 13-14 (1993), 621-622,
- [12] Kazuko Satake, Ai katayama, Hideki Ohkoshi, Takeshi Nakahara and Takashi Takeuchi, " Titania NO_x sensors for exhaust monitoring", *Sensors and Actuators B*, 20 (1994) 111-117
- [13] T. Sugai, T. Matsuzawa, Y. Murayama, M. Sato and M. Sakaguchi, "In₂O₃-based NO_x gas sensor", *Digest*, 9th Chemical Sensor Symp., Tokyo, Japan, Oct. 21-22, 1989, pp. 101-104.
- [14] 황규섭, "센서활용기술", pp 200, 기전연구소, 1985,
- [15] S. Yao, Y. Shimizu, Y. Okamoto, S. Yao, N. Miura and N. Yamazoe, "Use of sodium nitrate and/or barium nitrate electrodes", *Denki Kagaku*, 59(1991) 465-472
- [16] M. Gauthier and A. Chamberland, *Solid state detectors for the potentiometric determination of gaseous oxides*, *J. Electrochem. Soc.*, 124(1977) pp 1579-1583
- [17] 전춘배, 이덕동, "프탈로시아닌유기물반도체를 이용한 NO₂가스센서의 제조 및 그 특성", 경북대학교 가스센서 및 시스템연구실, 1994년, 학위논문.
- [18] A. Heilmann, V. Lantto, M. Müller and C. Hamamm, " NO₂ monitoring as an air pollutant using lead phthalocyanine thin film sensors", *Sensors and Actuators B*, 7(1992) 522-525
- [19] S.Kudo, H.Ohnishi, T. Matsumoto, and M. Ippommatsu, "NO_x Sensor Using YBa₂Cu₃O_{7-δ} Thin Films," *Sensors and Actuators B*, 23, 219-222 (1995)
- [20] T. Ishihara, S. Sato, and Y. Takita, "New Type NO_x sensor Bases on Capacitance Change," *Jpm. Chem. Sensors*, 9(Supplement B), 153-156 (1993)
- [21] Jun Tamaki, Masake Nagashi, Shigenori Matsushimo, Norio Miura, and Noboru Yamazoe, "Adsorption Behavior of CO and NO_x on SnO₂ based Gas Sensor Element", *Technical Digest of The 8th sensor symposium*, 1989, pp 199-202.
- [22] Morito Akiyama, Zhong Zhang, Jun Tamaki, Norio Miura and Noboru Yamazoe, "Tungsten oxide-based semiconductor sensor for detection of nitrogen oxides in combustion exhaust", *Sensors and Actuators B*.13-14, 1993, pp 619-620,
- [23] I. Sayago, J. Gutierrez, L. Ares, J.I. Robla, M.C. Horrillo, J. Getino and J.A. Agapito, " The interaction of different oxidizing agents

on doped Tin oxide", The Fifth international Meeting on Chemical sensors. Rome. 1994, Technical Digest Vol 2, pp 644-647.

- [24] S.C. Chang," Oxygen chemisorption on thin oxide; Correlation between electrical and EPR measurement", Surface Scincia, Vol. 86, 1979, pp 335-344

著 者 紹 介

李大植

「센서학회지 제4권 제4호」논문95-4-4-03, p.16참조,
현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정, 한국에너지기술연구소 연구원생

韓相道

「센서학회지 제4권 제4호」논문95-4-4-03, p.16참조,
현재 한국에너지기술연구소 신연료 연구팀장

朴基培

「센서학회지 제3권 제1호」논문94-3-1-05, p. 32 참조,
현재 한국에너지기술연구소 기술원, 1996~대전공업대학 전자공학과 석사과정

沈揆聖

「센서학회지 제1권 제1호」논문 92-19, p. 172참조,
현재 한국에너지기술연구소 신연료팀 책임연구원

李德東

「센서학회지 제1권 제1호」논문 92-14, p.123 참조,
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

孫永睦

「센서학회지 제4권 제4호」논문 92-19, p. 172참조.
현재 한국에너지기술연구소 소장