

수소 센서용 Pd 첨가한 WO₃ 박막의 특성

김광호 · 최광표* · 권 용 · 박진성[†]

Characteristics of Pd-doped WO₃ thin film for hydrogen gas sensor

Gwangho Kim, Gwangpyo Choi*, Yong Kwon, and Jinseong Park[†]

Abstract

Physicochemical and electrical properties for hydrogen gas sensors based on Pd-deposited WO₃ thin films were investigated as a function of Pd thickness, annealing temperature, and operating temperature. WO₃ thin films were deposited on an insulating material by thermal evaporator. XRD, FE-SEM, AFM, and XPS were used to evaluate the crystal structure, microstructure, surface roughness, and chemical property, respectively. The deposited films were grown WO₃ polycrystalline with rhombohedral structure after annealing at 500 °C. The addition effect of Pd is not the crystallinity but the suppression of grain growth of WO₃. Pd was scattered an isolated small spherical grain on WO₃ thin film after annealing at 500 °C and it was agglomerated as an irregular large grain or diffused into WO₃ after annealing at 600 °C. 2 nm Pd-deposited WO₃ thin films operated at 250 °C showed good response and recovery property.

Key Words : hydrogen sensor, WO₃, thermal evaporator, Pd, DC magnetron sputtering

1. 서 론

수소센서는 연료전지, 안전, 공정제어, 미생물반응연구를 포함하는 다양한 목적에 응용될 수 있어서 오래 동안 광범위하게 연구되어 오고 있다. 초기의 수소 센서는 후막이나 벌크형태로 만들어진 센서로서 소자형태가 비교적 컸다. 1975년 Lund-strom에 의해 수소감지를 위한 Pd게이트 MOSFET소자형태로 보고된 이래 마이크로 수소센서연구가 활발히 진행되어 왔다. 현재 마이크로 수소센서는 주로 Metal(Pt, Pd, Ir)-MOSFET형^[1-2], capacitor형^[3], 저항형^[4-8]과 접촉연소식^[9] 등이 있다. 이러한 다양한 시도에도 불구하고 경제적이며, 재현성과 신뢰성을 갖는 고감도의 범용센서 개발은 실현되지 않고 있다.

SnO₂^[4], WO₃^[5-7], ZnO^[8]등 금속산화물 박막을 감지막으로 하는 저항형 마이크로 가스센서로 구조가 비교적 간단하여 소형화 제작이 가능하고, 촉매금속의 다양한 선택과 감도의 제어가 용이하여 가장 활발히 연구

가 되어 있다. 그 중 WO₃는 결정질이든 비정질이든 무관하게 수소와 반응이 활발하여 수소감지용 금속산화물반도체로 널리 연구되고 있다. 촉매제로서 Pd는 수소와 반응을 활발하여 수소 또는 탄화수소계열^[10]의 촉매로도 사용된다. 또 Pd는 금속으로서 수소기체에 대해 화학흡착능력^[11]이 강하고 상온·상압에서 약 850 배의 수소를 흡수하며, 이 수소를 재 방출시킬 수도 있다^[12].

따라서 본 실험에서는 모물질로 WO₃를 사용하였고, 촉매로서 수소와 반응이 우수한 Pd를 사용하였으며, Pd 도핑두께와 열처리조건에 따른 WO₃박막의 물성 및 수소 가스에 대한 저항형 수소가스 센서의 감지 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

실리콘 기판의 절연성을 위해 SiO₂/Si₃N₄/SiO₂/Si-substrate 구조의 기판을 사용하였고, 소자크기가 3.5 mm × 3.5 mm 크기가 되도록 기판 위에 Au paste(Heraeus, C4350)를 Screen Printing법으로 전극을 인쇄한 후 600 °C, Air분위기에서 1시간 열처리하였다. 감지물질인 WO₃(Aldrich, 99.9+%)박막은 Thermal Evapora-

조선대학교 신소재공학과 (Dept. of Materials Eng, Chosun University)
*전남신소재기술산업화지원센터 (JAMIC, Suncheon, Jeonnam, Korea)

[†]Corresponding author: jsepark@chosun.ac.kr

(Received : November 2, 2005, Accepted : December 5, 2005)

tion법으로, 초기진공도 2×10^{-6} torr에서 전극이 인쇄된 기판 위에 200 nm 두께로 증착한 후, 증착된 박막의 안정성을 위해 공기중에서 300 °C/1 hr 열처리하였다. 촉매인 Pd(99.9%)는 DC magnetron sputtering법으로, 초기진공도 6×10^{-6} torr, Ar 50 sccm/min, Power 310 V × 40 mA로 안가하여 증착하였다. 15s, 30s, 60s 동안 Pd를 WO₃ 위에 증착하여 2 nm, 4 nm, 8 nm를 형성 시켰다. 그리고 공기중에서 400 °C, 500 °C, 그리고 600 °C에서 4시간씩 열처리 하였다.

박막의 결정특성은 X-ray회절분석기(Rigaku D-Max IIIA, CuK α = 1.5405 Å)를 사용하였고 박막의 표면특성은 주사전자현미경(FE-SEM, Hitachi S-4700)과 원자현미경(AFM-PSIA)으로 관찰하였으며, W와 Pd의 화학결합에너지는 XPS를 사용하였다. 제조된 센서소자의 전기적 특성을 MFC(mass flow controller-MR500)로 N₂, O₂, H₂(balance N₂, 250 ppm)로 제어하여 N₂ 80 vol%, O₂ 20 vol%를 Air로, H₂는 200 ppm을 흘려주며 저항을 multimeter(HP34401A)로 자동 측정하여 분석하였다. 단, 여기서 사용된 기체는 99.9993%의 고순도 기체였고, 수소기체에 대한 감지도는 $S = R_{air}/R_{gas}$ 로 나타내었다.

3. 결과 및 분석

3.1. 박막의 특성분석

Pd의 첨가에 따른 WO₃박막의 최적한 감지 조건을 찾기 위하여 Pd 증착 두께와 열처리조건에 따른 분석을 실시하였다. Fig. 1은 as-deposited와 공기분위기에서 400 °C, 500 °C, 600 °C에서 각각 4시간 동안 열처리한

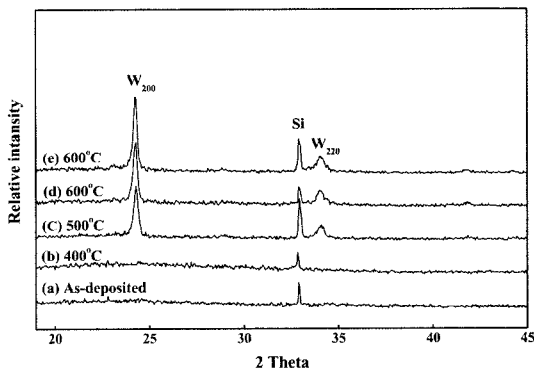


그림 1. 열처리 온도에 따른 X선 회절도: (a)-(d) 순수 WO₃, (e) Pd 8 nm 증착된 WO₃
 Fig. 1. XRD patterns with varying annealing temperatures for (a)-(d) pure WO₃ and (e) 8 nm Pd deposition on WO₃.

순수 WO₃ 막과 Pd를 8 nm로 WO₃박막 위에 증착하여 600 °C/4 hr에서 열처리한 시편들의 XRD 결과이다. 순수 WO₃박막은 400 °C까지 비정질 상태로 존재하다가 500 °C 열처리 후 사방정구조로 변화하고 주피크가 (200)인 다결정으로 성장하였다. Pd 8 nm의 첨가로 WO₃를 600 °C 열처리 후에도 WO₃의 결정 피크의 변화는 없어서 Pd 첨가로 WO₃결정성에는 영향을 알 수 있다. 또한 Pd 혹은 PdO의 주 peak가 40.2와 34에 존재할 수 있으나 Pd 만을 8 nm 증착한 경우에도 역시 증착량이 너무 작아서 확인할 수 없었다.

Fig. 2는 Pd 증착 후 500 °C에서 열처리한 시편의 표면형상 및 표면거칠기(RMS) 변화를 표시하였다. 순수 WO₃박막과 Pd를 2-8 nm 증착 한 WO₃박막을 공기분위기에서 500 °C/4 hr 열처리한 시편의 표면 거칠기는 각각 2.682 nm, 5.011 nm, 5.303 nm와 0.801 nm였다. 표면 거칠기는 Pd 4 nm까지는 증가하다가 8 nm에서는 매우 작아지는 데, 이것은 Pd가 연속막이 되면서 표면 거칠기가 작아진 것으로 추정된다. Pd 첨가 목적이 WO₃박막 내나 표면에 Pd가 분산 되어 촉매 및 센싱 특성 향상에 기여하는 것을 목표로 하였기에 이후 실험은 4 nm이하의 Pd 증착에 대해서만 실험하였다.

Fig. 3은 순수 WO₃ 막과 WO₃막 위에 Pd를 스퍼터 증착하여 공기분위기 중 500 °C와 600 °C에서 4시간 동안 열처리한 SEM 표면사진이다. 열처리한 경우 Pd를 증착하지 않은 것은 입자 크기가 수 um로 크게 성장하였고 입자크기 및 입계의 선명도도 600 °C 경우가 크고 뚜렷함을 알 수 있다. Pd를 증착하여 열처리 한 경우는 Pd 증착으로 입계 구별이 어렵고, 특히 500 °C 열처리 경우는 입자 및 입계 관찰이 어렵지만, 600 °C 경우는 입자 성장이 억제된 것이 나타난다. 입계 소실 및 입자 성장 억제는 Pd가 산포에 의한 물질이동 억제 효과로 생각된다. Fig. 3의 (b)와 (c)에서 Pd 증착 사진의 흰 반점들은 Pd가 분산된 형태를 보여주는 것으로 500 °C 경우는 4 nm 경우가 Pd 분포 밀도가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 600 °C 열처리 경우는 500 °C 보다 Pd 입자가 크고 불규칙하며 분산 밀도는 매우 낮지만 입계나 입계의 3극점 부근에 Pd가 다수 분포된 것을 알 수 있다. 이것은 600 °C에서 열처리한 박막은 열처리 중 Pd가 응집 혹은 WO₃ 입계로 된 것을 의미한다.

Fig. 4(a)는 Pd를 4 nm 증착 여러 분위기에서 열처리한 시편표면의 W_{4f7/2}에너지의 변화를 나타낸 XPS 그래프이다. W_{4f7/2} Binding energy는 35.8 eV로서 WO₃^[13]의 결합 형태를 의미한다. 500 °C 이상의 열처리로 증착 직후의 Fig. 1의 비정질 물질이 열처리로 완전히 WO₃

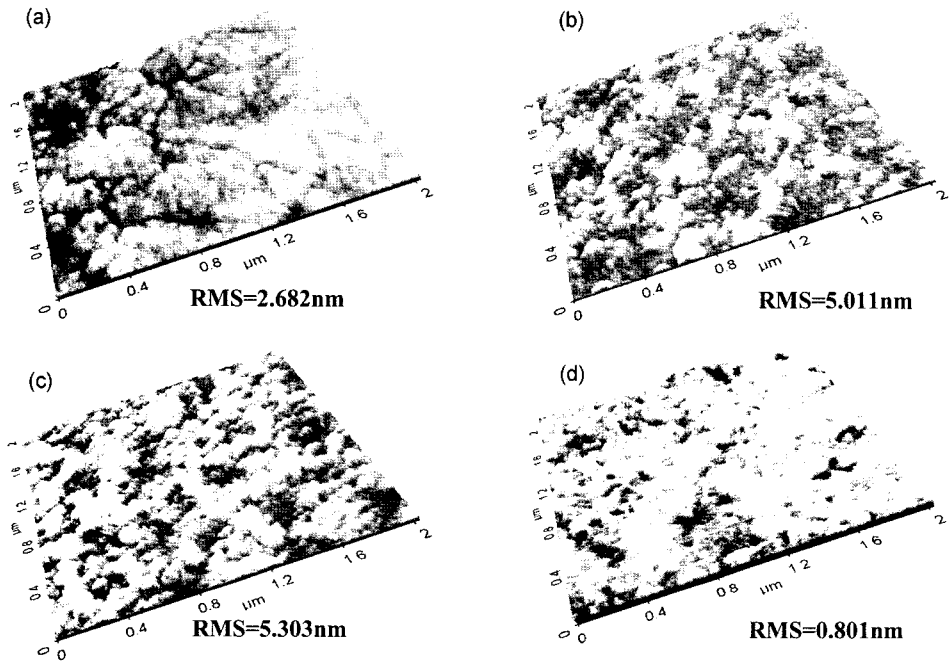


그림 2. Pd 증착 두께에 따른 WO₃막의 원자현미경사진과 표면거칠기: (a) 0 nm, (b) 2 nm, (c) 4 nm, (d) 8 nm.
 Fig. 2. AFM images and roughness with varying Pd deposition thickness on WO₃: (a) 0 nm, (b) 2 nm, (c) 4 nm, and (d) 8 nm.

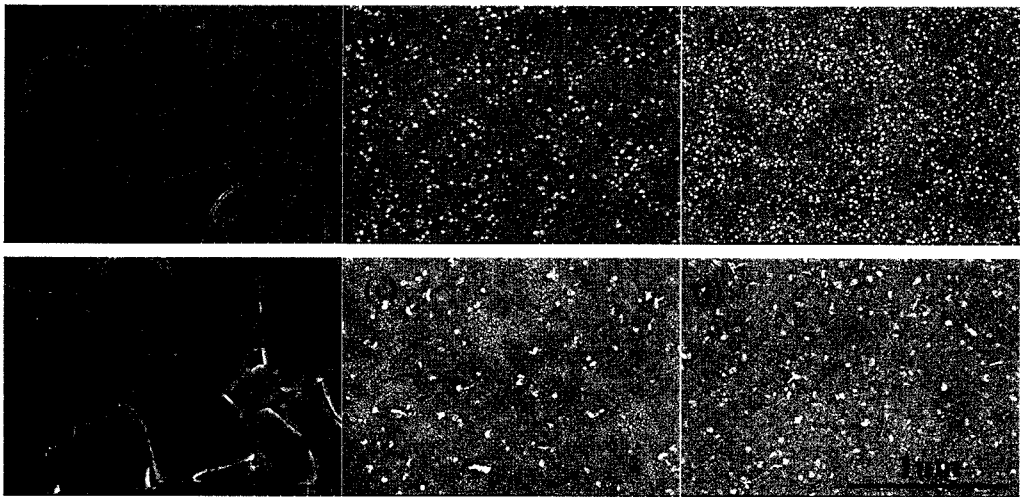


그림 3. 열처리온도와 Pd증착두께에 따른 전자현미경의 표면사진: Pd (a) 0 nm, (b) 2 nm, (c) 4 nm 증착 후 500 °C/4 hr에서 열처리한 시편과 (d) 0 nm, (e) 2 nm, (f) 4 nm 증착 후 600 °C/4 hr에서 열처리한 시편
 Fig. 3. FESEM surface images with varying temperature and Pd deposition thickness on WO₃: (a) 0 nm, (b) 2 nm, (c) 4 nm Pd followed annealing at 500 °C/4 hr and (d) 0 nm, (e) 2 nm, (f) 4 nm Pd followed annealing at 600 °C/4 hr.

로 결정화되었음을 알 수 있다. 또한 Pd 증착 유무와 열처리 온도에 따른 peak 위치의 변화도 없어서 Pd 증착으로 WO₃ 자체의 화학적 특성이 변하지 않음을 알

수 있고, 역시 Pd 4 nm 증착 후 500 °C 열처리 하여 수소를 250 °C에서 흘린 후 측정할 경우에도 W_{47/2} 피크의 변화가 없어서 수소 가스와 WO₃는 반응이 거의 없는

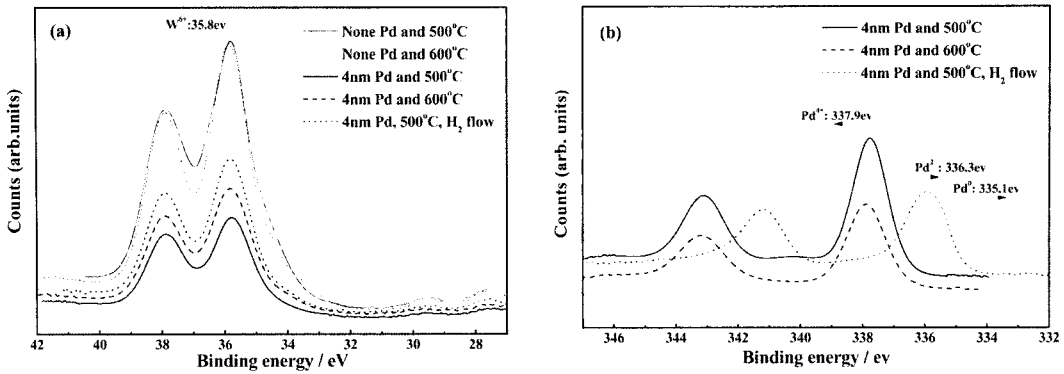


그림 4. 열처리 온도, Pd 증착 두께와 수소가스 처리에 따른 (a) W4f, (b) Pd3d XPS 스펙트럼
 Fig. 4. (a) W 4f and (b) Pd 3d core level spectra with varying annealing temperature, Pd deposition thickness, and H₂ flow.

것으로 추정할 수 있다. Fig. 4(b)는 열처리 분위기에 따른 표면 Pd_{3d3/2} 에너지의 변화를 표시한 XPS 그래프이다. 공기분위기에서 500 °C나 600 °C에서 열처리한 시편의 Binding energy는 337.9 eV로서 증착한 Pd가 열처리로 PdO₂^[14]로 존재함을 알 수 있다. 또 Hoel이 제시한 것처럼 Pd는 박막일 경우 600 °C에서 완전히 산화되어 PdO₂로 전환된다^[15]는 결과와 비교하여 볼 때 500 °C에서 열처리 하였을 때도 PdO₂로 존재함을 알 수 있었다. 센서 동작 구간에서 Pd의 변화를 관찰하기 위하여 200 ppm의 수소를 250 °C에서 흘려 준 후 측정된 피크는 Pd금속(335.1 eV)과 PdO(336.3 eV)^[14] 사이에서 관찰 되었다. 이것은 수소가스 유입으로 산화된 PdO₂는 Pd와 PdO로 환원됨을 의미한다.

3.2. 박막의 전기적특성

Fig. 5(a)는 작동 온도 250 °C, 200 ppm 수소기체에 대해 500 °C에서 열처리한, Pd첨가량에 따른 시편의

반응속도와 회복특성이다. Pd를 첨가하지 않았을 경우 WO₃박막은 저 농도 수소에 대해서 거의 반응을 보이지 않고 있다. Pd를 2 nm 도핑하였을 때 반응시간은 110s, 회복시간은 140s이고 반응 이후의 값도 매우 안정된 상태를 유지한다. Pd가 4 nm로 증가하였을 경우 반응 시간은 60s, 회복시간은 80s로 감소되었으나, 반응에 따른 평형값이 불안정 하여 일정 농도의 수소를 계속 유입 시키면 저항이 점차 증가되는 현상이 나타난다. 그림 3에서 관찰한 것처럼 Pd 첨가로 입자성장이 억제된다. 이것은 Pd가 주로 입계에 존재한다는 것을 의미하고 600 °C 열처리의 그림 3(e)에서 뚜렷이 확인할 수 있다. 또 Pd는 200 °C에서 산화 될 수 있고^[12] Fig. 4(b)의 XPS분석에서 200 ppm의 수소가스 유입으로 Pd의 환원이 발생된다. 즉 수소 가스 유입으로 표면 흡착산소나 PdO₂가 환원되며 계면의 전위장벽(potential barrier)을 낮추고, 산소 유입시는 산소흡착이나 Pd 산화로 barrier가 다시 증가되는 산화환원 반응이 저항

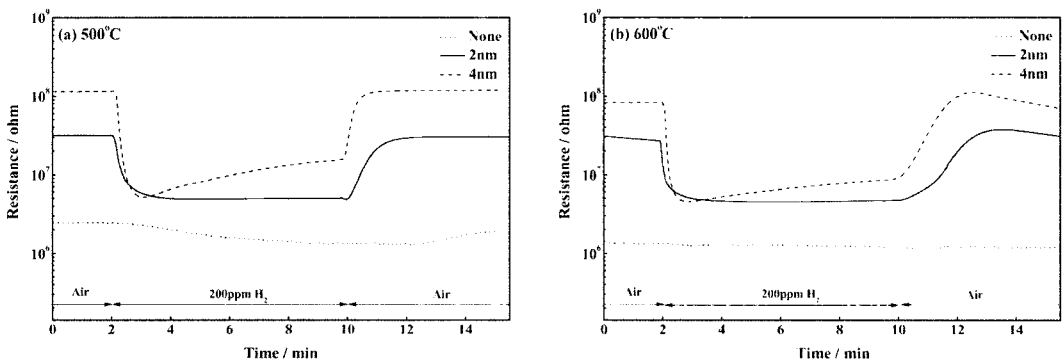


그림 5. Pd 증착 두께와 열처리 온도에 따른 박막의 저항변화
 Fig. 5. Resistance variation as a function of Pd deposition thickness and annealing temperature.

의 감소 및 증가와 연관된 센싱기구라고 할 수 있다. 또 Pd의 촉매 효과로 산소분자를 이온상태로 분해하는 촉매효과^[16]도 동시에 발생할 수 있다. 즉 수소 유입으로 PdO₂의 산소 이탈만으로 반응시간이 결정되나 회복시간은 O₂의 이온화, 흡착, 결합의 보다 복잡한 반응에 따른 결과가 회복시간과 반응 시간의 차이의 원인이라고 할 수 있다. 초기에 Pd를 2 nm 증착한 Fig. 3(b)의 경우는 입자가 작고 서로간 고립된 형태를 보여서 수소가스 유입으로 수소화합물(PdO₂ 혹은 PdO)의 환원과 결합력이 약한 표면 흡착 산소와의 반응으로 평형값에 빨리 도달되어 이후 저항값의 변화가 없다고 생각된다. Pd를 4 nm 증착한 Fig. 3(c)의 경우는 500 °C 열처리 후에도 입자간 고립성이 약하여 수소가스 유입으로 Pd 화합물 입자간 접촉 부위와 표면 흡착산소의 이탈이 급속히 진행되며 저항이 빨리 낮아지나 불완전 환원된 PdO₂나 PdO로부터 산소가 확산되어 Pd 입자간 연결 부위가 재산화되며 입계의 전위 장벽이 복원되면서 저항이 증가하는 것으로 추정된다. 다시 수소가스를 차단하고 공기만을 흘려주는 경우는 O₂ 산소분자가 이온 상태로 분해되어 흡착 및 Pd 산화가 진행되어야 하기 때문에 흡착산소의 이탈만 수반되는 반응시간보다 회복시간이 더 길다고 생각된다.

Fig. 5(b)는 600 °C 열처리한 시편의 동일 조건에서의 수소 반응 특성 결과이다. Pd를 첨가하지 않은 경우는 거의 반응 특성을 확인할 수 없고, Pd를 2 nm 증착한 경우 100s, 4 nm인 경우는 60s로 반응시간이 500 °C 열처리한 경우와 비슷하나 회복특성은 2 nm에서 380s, 4 nm에서 300s로 회복시간이 각각 2.7배에서 3.7배 정도로 길어지고 회복특성도 완전하게 초기 공기 값에 도달하지 않는 것으로 나타난다. 수소는 확산속도가 커서 Pd 산화물 환원이나 흡착산소와의 반응이 신속하게 발생하여 열처리 온도에 거의 무관한 반응시간이 측정된다. 그러나 Fig. 3(c)나 (d)에서 확인한 것처럼 고온 열처리로 Pd 화합물 입자가 커지고 일부는 WO₃ 내부나 입계 깊은 곳까지 확산되어 존재할 수 있고 유입된 공기 중의 O₂ 분자도 이온화, 확산, 흡착, 산화의 반응이 연쇄적으로 수반되어야 하기에, 즉 산화 반응에 더 많은 시간이 필요하기 때문에 회복시간이 긴 것으로 추정된다.

즉 WO₃ 박막의 Pd 증착 특성은 수소 센싱 특성은 현저히 개선되나 증착 두께와 열처리 온도를 최적화하여 표면에 작은 Pd(화합물) 입자가 고립된 형태로 분포하는 것이 수소가스 센싱에 최적일 수 있다.

Fig. 6은 Pd를 2 nm로 증착하여, 500 °C에서 열처리한 시편의 작동온도에 따른 수소기체 감지특성이다.

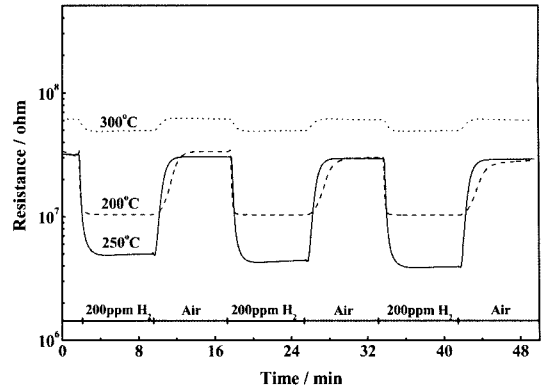


그림 6. Pd 2 nm 증착한 WO₃막의 작동온도에 따른 저항 변화

Fig. 6. Resistance variation as a function of operating temperature for 2 nm Pd deposition on WO₃.

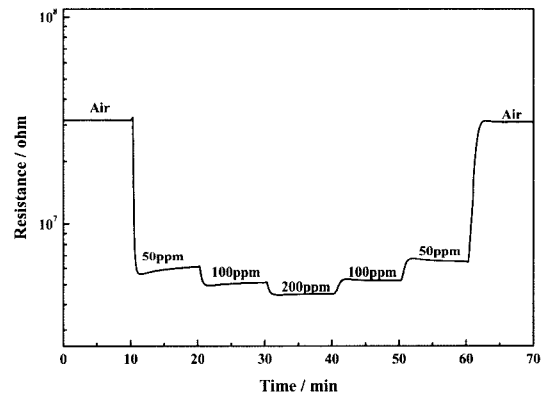


그림 7. Pd 2 nm 증착한 WO₃막의 수소농도에 따른 저항 변화

Fig. 7. Resistance variation as a function of H₂ concentration for 2 nm Pd deposition on WO₃.

200 °C에서 보면 반응시간이 110s, 회복시간이 240s로 반응시간은 비슷하나 회복시간은 약 두배 정도 길다. 300 °C에서는 250 °C와 유사한 반응시간과 회복시간을 나타내었다. 다만 수소 기체에 대한 감지특성 혹은 저항 변화 값은 작동 온도 250 °C에서 제일 우수하였다. Fig. 7은 500 °C 열처리한 Pd 2 nm 시편의 작동 온도 250 °C에서의 50 ppm-200 ppm 농도 범위에서 수소 가스 농도에 따른 저항변화를 나타낸 것으로 농도에 따른 유의차는 뚜렷하지만 절대값의 변화는 크지 않다. Fig. 7의 저항값을 공기중의 저항값과 수소가스 유입 후의 저항값의 비로 정의한 감지도(S = R_{air}/R_{gas})를 구하면 50 ppm에서는 약 5.2, 200 ppm에서는 약 7.3의 값으로 비교적 우수한 감도를 얻을 수 있다.

4. 결 론

WO₃박막 위에 Pd를 증착한 박막소자의 수소기체에 감지 특성을 연구하였다. 열증착기로 증착한 WO₃박막은 500 °C 이상에서 사방정구조인 다결정상으로 성장하였고, Pd 유무에 따른 WO₃ 결정성에서는 차이를 확인할 수 없었으나 입자 성장은 Pd 첨가로 억제되었다. 500 °C 열처리로 증착된 Pd는 구형형태를 보여주고 있고, 2 nm 경우는 완전 고립된 섬구조로 존재하는 것으로 추정된다. 600 °C 열처리 경우는 Pd가 응집된 큰 입자가 관찰 되었다. WO₃는 Pd 증착과 열처리로 결합력의 변화가 없는 것으로 확인 되었고, Pd는 열처리로 PdO₂로 산화되며, 수소분위기에서 열처리하면 Pd와 PdO로 환원된다. 수소 가스 감지 특성에서 Pd를 2 nm 증착한 시편을 500 °C 공기 중에서 열처리 하였을 때 우수한 반응속도와 안정된 회복특성이 나타났고 최적의 작동온도는 250 °C였다.

Acknowledgement

이 논문은 조선대학교 2005년도 연구조교 지원으로 수행된 것이기에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] D. Briand, H. Wingbrant, H. Sundgren, B. Schoot, L. Ekedahl, I. Lundström, and N. F. de Rooij, "Modulated operating temperature for MOSFET gas sensors: Hydrogen recovery time reduction and gas discrimination", *Sensors and Actuators B*, vol. 93, pp. 276-285, 2003.
- [2] 백태성, 이재곤, 최시영, "유증 용존수소 감지를 위한 Pd/Pt Gate MISFET 센서의 제조와 그 특성", *센서학회지*, 제5권, 제4호, pp. 41-46, 1996.
- [3] 성영권, 이승환, 고중혁, 이동희, "Pt-MIS 커패시터 소자의 수소가스 검지특성 연구", *대한전기학회논문지*, 제48권, 제2호, pp. 69-75, 1999.
- [4] S. Shukla, S. Patil, S. C. Kuiry, Z. Rahman, T. Du, L. Ludwig, C. Parish, and S. Seal, "Synthesis and characterization of sol-gel derived nanocrystalline tin oxide thin film as hydrogen sensor", *Sensors and Actuators B*, vol. 96, pp. 343-353, 2003.
- [5] D. Davazoglou and T. Dritsas, "Fabrication and calibration of a gas sensor based on chemically vapor deposited WO₃ films on silicon substrates application to H₂ sensing", *Sensor and Actuators B*, vol. 77, pp. 359-362, 2001.
- [6] S. J. Ippolito, S. Kandasamy, K. Kalantar-Zadeh, and W. Wlodarski, "Layered SAW hydrogen sensor with modified tungsten trioxide selective layer", *Sensors and Actuators B*, vol. 108, pp. 553-557, 2005.
- [7] 유광수, "박막형 WO₃ 계 가스센서의 NO_x 감도 특성", *센서학회지*, 제5권, 제5호, pp. 39-46, 1996.
- [8] D. Gruber, F. Kraus, and J. Muller, "A novel gas sensor design based on CH₄/H₂/H₂O plasma etched ZnO thin films", *Sensor and Actuators B*, vol. 92, pp. 81-89, 2003.
- [9] A. Katsuki and K. Fukui, "H₂ selective gas sensor based on SnO₂", *Sensors and Actuators B*, vol. 52, pp. 30-37, 1998.
- [10] D. Stacchiola, F. Calaza, T. Zheng, and Wilfred T. Tysoe, "Hydrogen conversion on palladium catalysts", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 228, pp. 35-45, 2005.
- [11] P. W. Atkins, 안운석 역, "물리화학", *清文閣*, 서울, pp. 954, 2002.
- [12] 김병희, "理化學辭典", *한국사전연구사*, 서울, pp. 1366, 1995.
- [13] R. J. Colton, A. M. Guzman, and J. W. Rabalais, "Electrochromism in some thin-film transition-metal oxides characterized by x-ray electron spectroscopy", *J. Appl. Phys.*, vol. 49, pp. 409, 1978.
- [14] K. S. Kim, W. E. Baitinger, J. W. Amy, and N. Winograd, "ESCA studies of metal-oxygen surfaces using argon and oxygen ion-bombardment", *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* vol. 5, pp. 351, 1974.
- [15] A. Hoel, L. F. Reyes, S. Saukko, P. Heszler, V. Lantto, and C. G. Granqvist, "Gas sensing with films of nanocrystalline WO₃ and Pd made by advanced reactive gas deposition", *Sensors and Actuators B*, vol. 105, pp. 283-289, 2005.
- [16] D. L. Mowery and R. L. McCormick, "Deactivation of alumina supported and unsupported PdO methane oxidation catalyst: the effect of water on sulfate poisoning", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 34, pp. 287-297, 2001.



김 광 호

- 1979년 11월 6일생
- 2002년 중국 연변대학교 물리학과 졸업 (이학사)
- 2004년~현재 조선대학교 첨단소재공학과 석사과정
- 주관심분야 : 무기물반도체재료, 지능형 센서

최 광 표

- 1969년 7월 7일생
- 2000년 8월 KAIST 재료공학과 박사
- 2003년 7월 오리온전기 주식회사 연구원
- 2004년 3월 조선대학교 에너지지원신기술연구소 선임연구원
- 현재 전남신소재산업진흥재단 선임연구원
- 주관심분야 : 전자세라믹스, 센서재료



권 용

- 1977년 3월 24일생
- 2006년 2월 조선대학교 첨단소재공학과 석사
- 현재 (주)이노칩테크놀로지 부설연구소 연구원
- 주관심분야 : 반도체세라믹재료

박 진 성 (Jinseong Park)

- 1962년 3월 2일생
- 1990년 2월 KAIST 재료공학과 박사
- 1990~1993년 3월 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1998년 1월~12월 미국 CISM(Center for Industrial Sensor and Measurement) 객원연구원
- 1993년~현재 조선대학교 신소재공학과 교수
- 주관심분야 : 센서기술&재료, 전자세라믹스, 반도체재료