

논문 99-8-1-04

MoO<sub>3</sub>를 첨가한 ZnO 박막 센서의 암모니아 가스 검지 특성

김성우, 최우창, 최혁환, 이명교, 권태하

Ammonia Gas Sensing Characteristics of ZnO Based Thin Film Sensor  
Doped with MoO<sub>3</sub>Sung-Woo Kim, Woo-Chang Choi, Hyek-Hwan Choi, Myong-Kyo Lee  
and Tae-Ha Kwon

## 요 약

감도가 우수하고 동작온도가 낮으며 반응속도가 빠른 암모니아 가스 센서를 제작하기 위해 ZnO에 촉매불순물 MoO<sub>3</sub>의 첨가비와 박막 성장분위기 가스를 변화시키면서 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 박막을 성장하였다. 전기적 안정성을 향상시키기 위해 성장된 박막들을 aging 하여 센서를 제작한 후 암모니아 가스의 검지 특성을 조사하였다. 촉매불순물을 첨가하거나 산소분위기에서 성장된 박막의 경우 감도가 향상되었으며, 이는 표면 캐리어 농도와 전하이동도의 증가를 나타냈다. ZnO에 MoO<sub>3</sub>를 무게비로 0.875 wt.% 첨가한 박막으로 제작한 센서가 160 ppm의 암모니아 가스 농도와 300°C의 동작온도에서 70정도의 최대감도를 보였다. 산소분위기에서 330°C로 72시간 동안 aging한 박막으로 만든 센서는 감도가 57정도로 감소하였으나, 센서의 동작온도가 250°C로 낮아졌고, 선형성이 좋았으며 더 안정된 특성을 나타냈다.

## Abstract

Ammonia gas sensors were fabricated with ZnO-based thin films grown by RF-magnetron sputtering method. The films which were doped with MoO<sub>3</sub> catalysts of various weight percents were grown in different sputtering gases to fabricate the sensors with a high sensitivity, low working temperature and rapid response time. To improve electrical stability, the films were aged in various conditions. The sensors doped with the catalysts and grown in oxygen sputtering gas showed the improvement of sensitivity. These exhibited the increase of surface carrier concentration and electron mobility. The sensor with 0.875 wt.% MoO<sub>3</sub> catalysts showed the maximum sensitivity of 70 in ammonia gas concentration of 160 ppm at a working temperature of 300°C. The sensor which is aged at 330°C for 72 hrs in oxygen ambient exhibited lower sensitivity of 57, but more stable properties, excellent linearity

## 1. 서 론

최근 화학공업, 화력발전, 의료진단 및 환경보호 등 암모니아 가스 센서의 응용범위가 날로 확대됨에 따라

암모니아 가스를 신속·정확하게 감지할 수 있는 반도체형 가스 센서가 절실히 요구되고 있다.<sup>[1-3]</sup> 현재 반도체형 암모니아 가스 센서의 기본재료로서 ZnO, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 및 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 금속산화물들이 주로 이용되고 있으며 센서의 소형화 및 저전력화를 위해 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1-9]</sup>

부경대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Eng.,  
Pukyong National University)  
<접수일자 : 1998년 9월 25>

ZnO, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 재료만으로 제작된 박막 센서는 동작 온도가 높고, 전기적으로 불안정하며, 감도와 선택성이 좋지 못하다. 따라서 촉매불순물을 첨가시키거나 박막 성장조건을 변화시켜 이러한 문제점을 해결하려는 연구가 행해지고 있다.<sup>[1-15]</sup> Egashira 등<sup>[2]</sup>은 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO(5 mol%) 센서가 470 °C의 동작온도와 300 ppm의 암모니아 가스 농도에서 60-100의 감도를 나타냄을 발표했으나, 동작온도가 너무 높고, Sberveglieri 등<sup>[3]</sup>은 In이 도핑된 ZnO 박막 센서를 제작하여 200-400°C의 동작온도에서 1-10 ppm의 암모니아 가스를 검지할 수 있음을 보고하였으나 감도가 낮다.

본 연구에서는 감도와 반응속도가 우수하고, 동작온도가 낮은 암모니아 가스 센서를 제작하기 위해 ZnO를 기본물질로 하여 MoO<sub>3</sub> 촉매불순물을 다양한 무게비로 첨가하고, 스퍼터링 분위기 가스를 변화시키면서 박막을 성장하였다. 또한 성장된 박막을 산소분위기에서 330°C로 72시간 동안 aging하여 암모니아 가스 센서를 제작하였다. 이렇게 제작한 센서에 대해 동작온도에 따른 감도 및 안정성, 반응속도 등을 조사하였고, Hall 효과 측정을 통해 검지특성을 분석하였다.

II. 실험 및 측정

SiO<sub>2</sub>/Si 기판위에 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 검지막을 성장하였다. 전극은 검지막 위에 저항률이 낮은 Au를 사용하여 빗살모양의 형태가 되도록 진공 증착하였으며, 전극의 간격은 0.4 mm였고, 반응면적은 14 mm<sup>2</sup> 정도가 되도록 암모니아 가스 센서를 제작하였다.<sup>[12]</sup> 그림 1은 제작한 센서의 단면도를 나타낸 것이다.

타겟은 ZnO에 촉매불순물로 MoO<sub>3</sub>를 다양한 무게비로 첨가하여 제작하였고, 사용한 분말 재료의 순도는 MoO<sub>3</sub>가 99.999 %였으며, ZnO가 99.99 %였다.<sup>[11-15]</sup>

검지막은 제작한 타겟과 RF magnetron sputter (KVS-413, Korea)를 이용하여 산소와 아르곤의 스퍼터링 분위기를 변화시키면서 성장하였다.<sup>[11-15]</sup> 성장된 박막은 두께가 약 100~200 nm 정도였고, 단면적이 7 × 7 mm<sup>2</sup>였다. 표 1은 박막의 성장조건을 나타낸 것이고 표 2는 센서 제작용 박막의 종류를 나타낸 것이다. 전기적 안정성을 위해 성장된 박막을 산소분위기에서 330°C로 72시간 동안 aging하였다.<sup>[12-13]</sup>

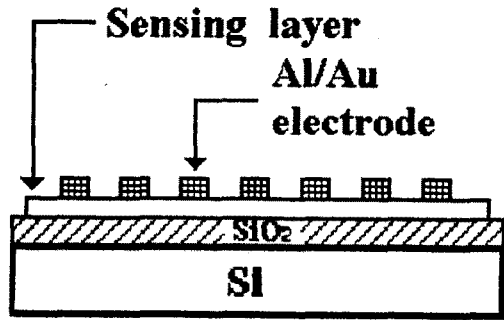


그림 1. 센서의 단면도

Fig. 1. Cross-sectional view of the sensor.

표 1. ZnO계 박막의 성장조건

Table 1. Sputtering conditions of ZnO-based thin film.

RF power	150 W
Substrate	SiO <sub>2</sub> /Si (10×10 mm <sup>2</sup> )
Substrate temperature	250 °C
Target material	99.99 % ZnO powder 99.999 % MoO <sub>3</sub> powder
Base vacuum	1×10 <sup>-6</sup> Torr
Gas pressure	10 mTorr
Atmospheric gas	O <sub>2</sub> :Ar=1:0, 1:1, 0:1
Deposition rate	60~80 Å/min
Cooling	natural cooling

감도 측정을 위해 밀면이 250×250 mm<sup>2</sup>인 10 리터 용량의 용기를 만든 후, 용기 중앙으로 부터 100 mm 되는 위치에 센서를 고정시켰다. 용기속에 암모니아 가스를 주입시킨 후 평형농도에 도달했을 때 전기저항값 및 동작온도를 각각 측정하였다.<sup>[12]</sup> 감도는 공기중에서 안정화된 센서의 전기저항값(R<sub>0</sub>)에 대한 암모니아 가스 중의 전기저항값(R<sub>g</sub>)의 비(R<sub>g</sub>/R<sub>0</sub>)로 나타내었다.

촉매불순물의 첨가와 박막 성장분위기가 센서의 감도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 Hall 효과 측정을 하였다. 이때 공급된 직류전류는 1 mA였고, 자속밀도는 1 kG였다.<sup>[15]</sup>

표 2. 제작한 ZnO계 박막의 종류

Table 2. List of prepared ZnO-based thin films.

No	Catalysts and weight ratio
1	ZnO
2	ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.500 wt.%)
3	ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.750 wt.%)
4	ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.875 wt.%)
5	ZnO+MoO <sub>3</sub> (1.000 wt.%)
6	ZnO+MoO <sub>3</sub> (1.250 wt.%)
7	ZnO+MoO <sub>3</sub> (1.500 wt.%)
8	ZnO+MoO <sub>3</sub> (2.000 wt.%)
9	ZnO+MoO <sub>3</sub> (3.000 wt.%)

III. 결과 및 고찰

1. 촉매불순물에 따른 감도

MoO<sub>3</sub> (Molybdenum trioxide)는 환원가스의 산화반응을 활성화시키는 촉매물질로 많이 사용되고 있으며 최근에는 암모니아 가스검지를 위한 기본물질로도 사용되고 있다.<sup>[7,9-10]</sup> 본 연구에서는 ZnO에 MoO<sub>3</sub>를 다양한 무게비율로 첨가시킨 후 암모니아 가스검지 특성을 조사하였다. 암모니아 가스는 ZnO 박막표면에 흡착되어 있던 산소이온과 반응하여 화합물을 만들고 생성된 화합물이 탈착되면서 전자를 ZnO 박막의 전도대로 되돌려 주게 되므로 박막의 전도도가 증가한다. ZnO 박막 센서는 이러한 전도도의 변화를 통해 암모니아 가스를 검지하게 된다. 그림 2는 암모니아 가스농도 160 ppm에서 감도를 동작온도에 따라 나타낸 것이다. ZnO만으로 제작된 센서는 400°C의 동작온도에서 10정도의 최대감도를 나타내었고, 촉매불순물로 MoO<sub>3</sub>를 첨가시킨 센서들은 감도가 향상되고 동작온도가 300°C로 낮아졌다. 또한 MoO<sub>3</sub>를 0.875 wt.% 첨가한 센서가 암모니아 가스농도 160 ppm에서 70 정도의 가장 높은 감도를 나타내었다.

그림 3은 동작온도 300°C에서 암모니아 가스농도에 따른 감도를 나타낸 것이다. ZnO만으로 제작된 센서는 40 ppm의 암모니아 가스농도에서 감도가 포화되는 경향을 보였으나, MoO<sub>3</sub>를 첨가시킨 경우 감도 및 선형성이 향상되었으며, MoO<sub>3</sub>가 0.875 wt.% 첨가된 센서가 가장 우수한 감도 및 선형성을 나타냈다.

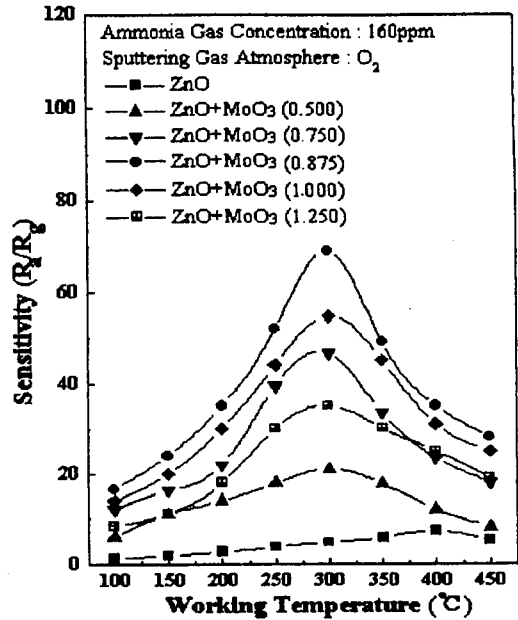


그림 2. 250°C의 산소분위기에서 성장된 박막으로 제작한 센서의 동작온도에 따른 감도

Fig. 2. Sensitivity vs. working temperature of the sensors fabricated with ZnO-based thin film sputtered at 250°C in oxygen ambient.

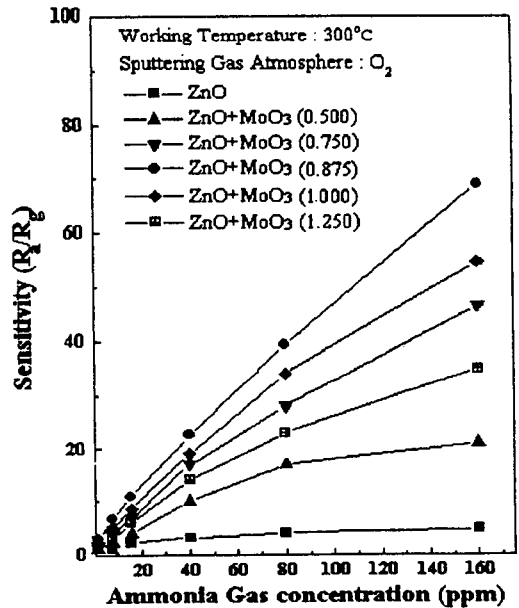


그림 3. 250°C의 산소분위기에서 성장된 박막으로 제작한 센서의 암모니아 가스농도에 따른 감도

Fig. 3. Sensitivity vs. ammonia gas concentration of the sensors fabricated with ZnO-based thin film sputtered at 250°C in oxygen ambient.

촉매불순물이 첨가되면 다수캐리어 농도가 증가하여 감도 향상에 도움을 주지만, 너무 많은 무게비율로 첨가될 경우 불순물 산란등으로 인해 이동도가 낮아져서 저항률이 증가하고 감도가 낮아지는 경향을 나타낸다.<sup>[8,15]</sup>

**2. 박막성장분위기에 따른 감도**

그림 4는 분위기를 산소 및 아르곤으로 변화시키면서 sputtering시킨 박막으로 제작한 센서들의 감도를 160 ppm의 암모니아 가스농도에서 동작온도에 따라 나타낸 것이다. 불순물의 첨가와는 상관없이 산소분위기에서 성장된 박막으로 제작한 센서가 높은 감도를 보였다. sputtering시 사용된 산소 가스는 박막의 산화물 부족성분을 보충해 주고, 아르곤 가스 보다 박막 성장률을 감소시키는 역할을 한다.<sup>[14-15]</sup> 이로 인해 박막 표면에서부터 기판 표면까지의 박막 조성상태가 일정하게 유지되고, 박막의 균일성이 향상된다.<sup>[15]</sup> 이러한 박막 특성이 감도 향상에 영향을 미친 것으로 생각된다.

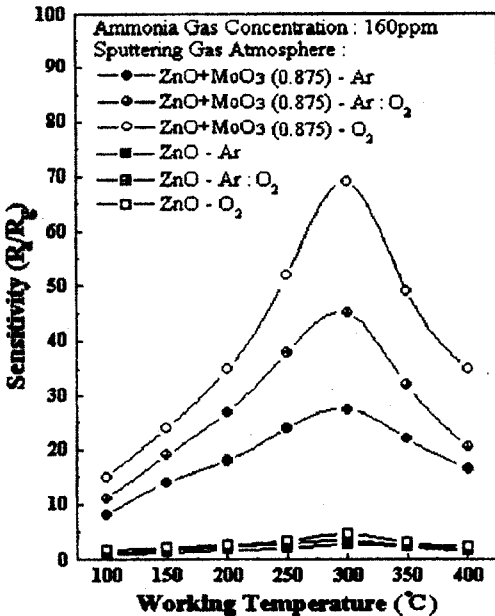


그림 4. 다양한 분위기에서 성장된 박막으로 제작한 센서의 동작온도에 따른 감도

Fig. 4. Sensitivity vs. working temperature of the sensors fabricated with thin film sputtered in various atmospheres.

**3. aging에 따른 감도**

그림 5는 MoO<sub>3</sub>를 다양한 무게비로 첨가하고 aging하지 않은 박막으로 제작한 센서와 330°C에서 72시간 동안 산소분위기에서 aging하여 제작한 센서들에 대해 암모니아 가스농도 160 ppm에서 동작온도에 따른 감도를 나타낸 것이다.

aging한 경우 감도가 감소하는 경향을 나타냈으나, 동작온도가 300°C에서 250°C로 낮아졌다.

MoO<sub>3</sub>를 0.875 wt.% 첨가한 센서가 aging한 후에 250°C 동작온도와 160 ppm의 암모니아 가스농도에서 57정도의 가장 높은 감도를 나타내었다.

그림 6은 MoO<sub>3</sub>를 다양한 무게비로 첨가하고 aging하지 않은 박막으로 제작한 센서와 330°C에서 72시간 동안 산소분위기에서 aging하여 제작한 센서들에 대해 250°C의 동작온도에서 암모니아 가스 농도에 따른 감도를 나타낸 것이다. aging한 경우 선형성이 우수하였다.

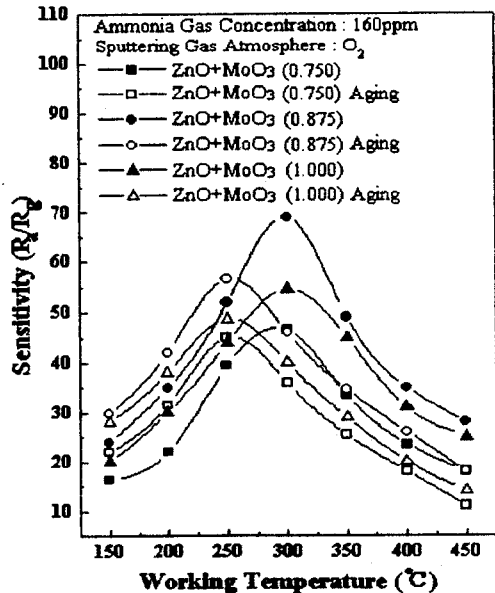


그림 5. aging하지 않은 박막과 aging한 박막으로 제작한 센서들의 동작온도에 따른 감도

Fig. 5. Sensitivity vs. working temperature on the sensors fabricated with thin film not aged and aged in various conditions.

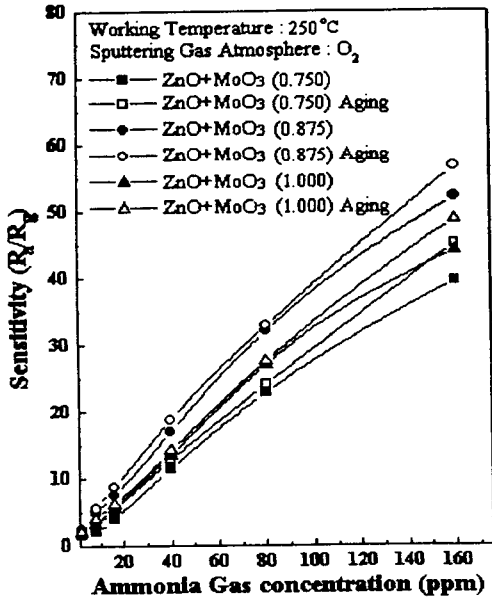


그림 6. aging하지 않은 박막과 aging한 박막으로 제작한 센서들의 암모니아 가스농도에 따른 감도  
 Fig. 6. Sensitivity vs. ammonia gas concentration on the sensors fabricated with thin film not aged and aged in various conditions.

4. 전기적 안정성

그림 7은 MoO<sub>3</sub>를 다양한 무게비로 첨가하고 aging하지 않은 박막으로 제작한 센서와 330°C로 72시간동안 산소분위기에서 aging한 박막으로 제작한 센서들에 대해 측정시간에 따른 전기적인 저항변화를 나타낸 것이다. aging하지 않은 박막센서의 초기저항값은 불안정한 특성을 보였으나 aging한 박막으로 제작한 센서는 비교적 안정한 초기저항값을 나타냈다.

5. 센서의 반응속도 특성

그림 8은 ZnO와 ZnO+MoO<sub>3</sub>(0.875) 센서가 160 ppm의 암모니아 가스에 노출되었을 때의 반응속도와 암모니아 가스가 제거된 후의 회복특성을 나타낸 것이다. 촉매불순물이 첨가된 센서가 암모니아 가스에 대한 반응속도 및 회복특성이 우수하였다. 촉매불순물은 환원가스를 잘 해리 시키고 환원가스의 산화반응을 활성화시키는 역할을 하기 때문에 반응속도 향상에 도움을 준다.<sup>[11-15]</sup>

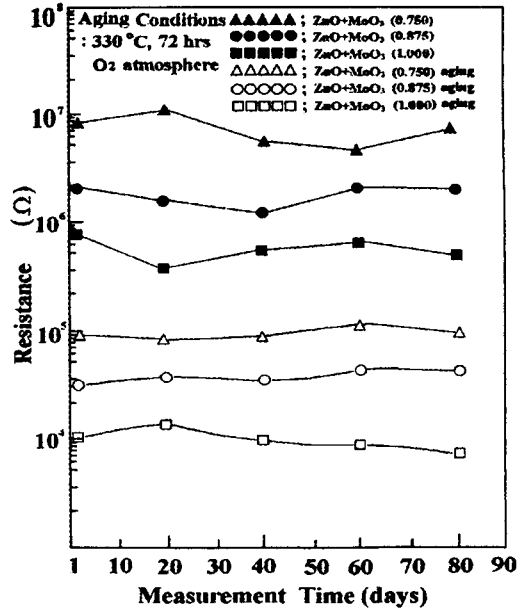


그림 7. 80일 동안 실온에서 측정된 센서의 전기적 저항변화  
 Fig. 7. The electrical resistance change of the sensors measured at room temperature for a period of 80 days.

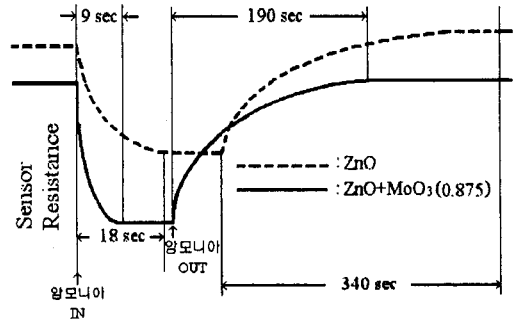


그림 8. 300 °C의 동작온도에서 160 ppm의 암모니아 가스 농도에 대한 센서의 반응속도  
 Fig. 8. Transient response of the sensors in 160 ppm ammonia gas at a working temperature of 300 °C.

6. Hall 효과 측정

촉매 불순물로 첨가된 MoO<sub>3</sub>가 감도에 미치는 영향을 조사하기 위해 Hall 효과 측정을 하였다.<sup>[15]</sup> 표 3은 ZnO만의 센서와 ZnO+MoO<sub>3</sub>센서들을 300 °C의 동작온

표 3. Hall 효과 측정을 통한 센서의 전기적 특성

Table 3. The electrical properties of the sensors using Hall effect.

(동작온도: 300°C, 암모니아 가스농도: 8 ppm,  $I_x=1$  mA,  $B_z=1$  kG)

Properties Sensors	R (k $\Omega$ )		V <sub>Hm</sub> (mV)		n <sub>s</sub> (cm <sup>-3</sup> ) $\times 10^{19}$		$\rho_n$ ( $\Omega \cdot$ cm)		$\mu_{Hn}$ (cm <sup>2</sup> /Vsec)		K
	in air	in gas	in air	in gas	in air	in gas	in air	in gas	in air	in gas	
ZnO(O <sub>2</sub> )	2.29	0.92	-1.59	-0.64	2.80	7.01	$0.22 \times 10^{-2}$	$0.09 \times 10^{-2}$	101	101	2.50
ZnO(1:1)	3.59	1.79	-2.29	-1.15	1.69	3.38	$0.39 \times 10^{-2}$	$0.21 \times 10^{-2}$	94.8	94.8	2.00
ZnO(Ar)	2.59	1.59	-1.65	-1.03	1.40	2.31	$0.54 \times 10^{-2}$	$0.33 \times 10^{-2}$	82.5	82.5	1.64
ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.875)(O <sub>2</sub> )	1.75	0.219	-1.40	-0.175	9.02	72.15	$0.0525 \times 10^{-2}$	$0.656 \times 10^{-4}$	132	132	8.00
ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.875)(1:1)	1.96	0.306	-1.60	-0.25	6.59	42.17	$0.0784 \times 10^{-2}$	$1.225 \times 10^{-4}$	121	121	6.40
ZnO+MoO <sub>3</sub> (0.875)(Ar)	2.53	0.506	-1.88	-0.376	4.47	22.37	$0.127 \times 10^{-2}$	$2.54 \times 10^{-4}$	110	110	5.00

도에서 공기 중과 8 ppm의 암모니아 가스에 노출되었을 때, Hall 효과 측정에 대한 결과를 나타낸 것이다. R은 센서의 저항, V<sub>Hm</sub>은 Hall 측정전압, n<sub>s</sub>는 캐리어농도,  $\rho_n$ 는 전기저항률,  $\mu_{Hn}$ 은 Hall 이동도 및 K는 감도를 나타낸다.

MoO<sub>3</sub> 불순물이 0.875 wt.% 첨가된 박막으로 제작된 센서들은 암모니아 가스에 대한 높은 감도를 보였으며, Hall 효과를 측정된 결과, 표면 캐리어 농도와 이동도가 높았다. 그림 9와 그림 10은 공기 중과 암모니아 가스중의 각 센서에 대한 Hall 이동도와 박막표면의 캐리어 농도를 동작온도에 따라 각각 나타낸 것이다.

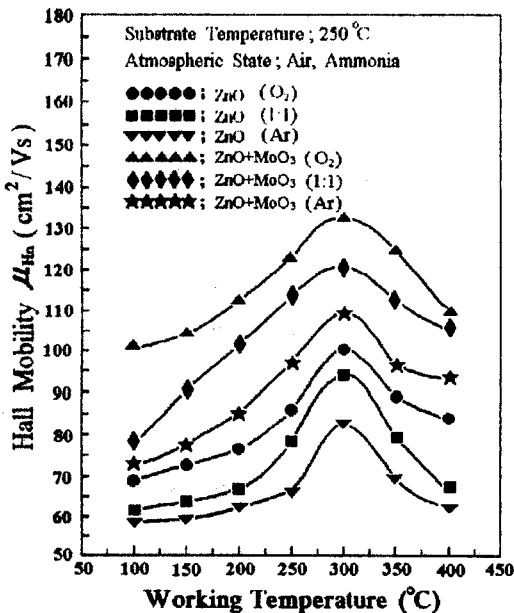


그림 9. 공기중과 8 ppm의 암모니아 가스에서 동작온도에 따른 Hall 이동도

Fig. 9. Hall mobility vs. working temperature in 8 ppm ammonia gas and in air.

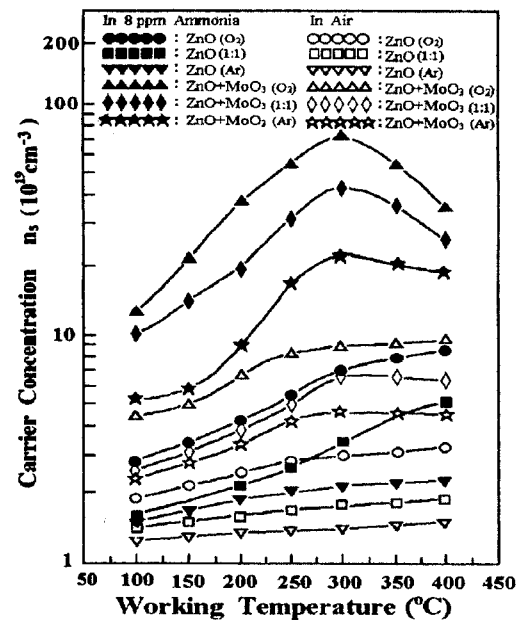


그림 10. 공기중과 8 ppm의 암모니아 가스에서 동작온도에 따른 캐리어 농도

Fig. 10. Carrier concentration vs. working temperature in 8 ppm ammonia gas and in air.

그림 9에서 불순물이 첨가된 박막으로 제작된 센서와 불순물이 첨가되지 않은 박막 센서 모두 300 °C의 동작온도에서 최대 Hall 이동도를 보였다. 산소분위기에서 성장된 박막으로 제작된 센서가 아르곤분위기에서 성장된 박막 센서보다 이동도가 더 높았으며, 높은 동작온도에서는 이동도가 감소하였다. 이는 온도가 상승함에 따라 ZnO 격자들 간의 격자산란으로 인해 전도대 전자들의 이동이 제한을 받기 때문이라고 생각된다.

그림 10에서는 산소분위기에서 성장된 박막이 아르곤분위기에서 성장된 박막보다 공기 중과 암모니아 가스 중에서 캐리어 농도가 더 높은 경향을 보였다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 ZnO계 박막 센서의 암모니아 가스 검지 특성에 대해 연구하였다. MoO<sub>3</sub> 촉매불순물을 다양한 비율로 첨가시킨 타겟과, RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 박막 성장분위기를 변화시키면서 ZnO계 박막을 성장하였고, 센서의 전기적인 안정성을 위해 330°C에서 72시간 동안 산소분위기에서 aging한 박막으로 센서를 제작한 후 암모니아 검지 특성을 조사하였다.

ZnO에 0.875 wt.%의 MoO<sub>3</sub>를 첨가하고 250°C의 기판온도와 산소분위기에서 성장된 박막으로 제작된 센서가 160 ppm의 암모니아 가스농도와 300°C의 동작온도에서 70정도의 최대감도를 보였다. 이러한 박막을 aging한 후 제작한 센서는 160 ppm의 암모니아 가스 농도와 250 °C의 동작온도에서 57정도의 최대감도를 보였으며, 전기적인 안정성 및 선형성이 우수하였다. 또한, MoO<sub>3</sub> 촉매불순물이 0.875 wt.% 첨가된 박막 센서가 첨가되지 않은 경우보다 암모니아 가스에 대한 반응속도 및 회복특성이 우수하였다. MoO<sub>3</sub> 촉매불순물을 첨가하거나 산소분위기에서 성장된 박막의 경우 감도 및 반응속도가 향상되었으며, 이는 표면 캐리어농도와 전하이동도의 증가를 나타냈고, Hall 효과 측정을 통해 이를 확인하였다.

본 연구는 1997년도 교육부 반도체분야 학술 연구조성비 (ISRC 97-E-4028)에 의하여 수행되었음.

#### V. 참고문헌

- [1] Hidehito Nanto, Tadatsugu Minami, and Shinzo Tagata, "Zinc-oxide thin-film ammonia gas sensor with high sensitivity and excellent sensitivity", J. Appl. Phys. 60(2), 15, 482-484 (1986).
- [2] Makoto Egashira, "Functional Design of Semiconductor Gas Sensor for Odor Sensing", The 6th Conference on Sensor Technology '95, 21-30 (1995).
- [3] G. Sberveglieri, S. Groppe, P. Nelli, A. Tintinelli, G. Giuntab, "A novel method for the preparation of NH<sub>3</sub> sensor based on ZnO-In thin films", Sensors and Actuators, B 24-25, 588-590 (1995).
- [4] H. Meixner, J. Gerblinger, U. Lampe, M. Fleischer, "Thin-Film gas sensors based on semiconducting metal oxides", Sensors and Actuators, B 23, 119-125 (1995).
- [5] P. T. Moseley and D. E. Williams, "A Selective Ammonia Sensor". Sensors and Actuators, B 1, 113-115 (1994).
- [6] P. T. Moseley, "Material selection for semiconductor gas sensors", Sensors and Actuators, B 6 149-156 (1992).
- [7] A. R. Raju, C. N. R. Rao, "MoO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> and Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub> as ammonia sensors", Sensors and Actuators, B 21, 23-26 (1994).
- [8] T. Minami, H. Sato, H. Nanto and S. Takata, "Group III Impurity Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., 24(10), L781-L784 (1985).
- [9] D. Mutschall, K. Holzner, E. Obermeier, "Sputtered molybdenum oxide thin films for NH<sub>3</sub> detection", Sensors and Actuators, B 35-36, 320-324 (1996).
- [10] N. Jayadev, S.R. Sainkar, R.N. Karekar, R.C. Aiyer, "A thick film hydrogen sensor based on a ZnO:MoO<sub>3</sub> formulation", Meas. Sci. Technol., 9, 360-364 (1998).

- [11] S. H. Park and T. H. Kwon, "Semiconductor sensor for detecting freshness of sea foods", 한국어업기술학회지, 29, 4, 272-278 (1993).
- [12] J. Y. Ryu, S. H. Park, H. H. Choi and T. H. Kwon, "Characteristics of TMA gas detection of a ZnO thin films by Annealing". 한국센서학회지, 5, 1, 29-36 (1996).
- [13] J. Y. Ryu, S. H. Park, H. H. Choi and T. H. Kwon, "ZnO thin film gas sensors for detection of TMA gas with Pt/Ti thin film heater", 대한전자공학회지, 33, 6, 1077-1085 (1996).
- [14] S. H. Park, H. H. Choi and T. H. Kwon, "Semiconductor sensors for detecting TMA gas", Sensors and Materials, 8, 8, 485-491 (1996).
- [15] J. Y. Ryu, S. H. Park, H. H. Choi, M. K. Lee and T. H. Kwon, "The Hall Measurement and TMA Gas Detection of ZnO-based Thin Film Sensors", 한국센서학회지, 6(4), 265-273 (1997).

---

著 者 紹 介

---



**김 성 우**  
 1975년 1월 17일생.  
 1997년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1997년 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 석사과정, 주관심분야 : 반도체 센서, 마이크로머시닝 기술, 강유전체.

**최 우 창**

『센서학회지 제7권 제5호』 논문 98-7-5-09, p.64 참조  
 현재 부경대학교 전자공학과 석사과정.

**최 혁 환**

『센서학회지 제7권 제5호』 논문 98-7-5-09, p.64 참조  
 현재 부경대학교 전자공학과 조교수.

**이 명 교**

『센서학회지 제7권 제5호』 논문 98-7-5-09, p.64 참조  
 현재 부경대학교 전자공학과 교수.

**권 태 하**

『센서학회지 제7권 제5호』 논문 98-7-5-09, p.64 참조  
 현재 부경대학교 전자공학과 교수.