논문 2000-9-5-04

RF Magnetron Sputtering 법으로 제조된 $LaFeO_3$ 박막의 가스감지 특성

장재영, 마대영, 박기철, 김정규

Gas sensing properties of $LaFeO_3$ thin films fabricated by RF magnetron sputtering method

Jae-Young Jang, Dae-Young Ma, Ki-Cheol Park, Jeong-Gyoo Kim

요 약

R.F. magnetron sputtering에 의해 Al_2O_3 기판상에 $LaFeO_3$ 박막을 증착하고 막의 구조적, 전기적 및 가스감도 특성을 조사하였다. 600℃ 이상에서 열처리 된 박막에서 (121) 방향의 주결정상을 확인할 수 있었고 가스감지특성에서 박막은 p형 반도체의 특성을 보였다. 박막의 두께 및 열처리 온도의 변화에 대하여, 감도는 박막의 두께 변화에는 둔감하였지만 열처리온도에는 큰 변화를 보였다. 800℃에서 열처리된 두께 400 nm의 박막에서 동작온도가 300℃일때 5000 ppm의 CO 가스에 대해서는 약 400%, 350 ppm의 NH_3 가스에서는 약 60%의 감도를 보였다.

Abstract

The structural, electrical and gas sensing characteristics of $LaFeO_3$ thin films fabricated by r.f. magnetron sputtering method on Al_2O_3 substrates were investigated. (121) domonant crystalline plane was observed for the films heat-treated at above 600℃ and gas sensing properties showed p-type semiconductor behaviors. Gas sensing characteristics of the $LaFeO_3$ thin films was studied as a function of film thicknesses and heat treatment temperatures. While the variation of the film thickness showed a little effect on the sensitivity, the heat treatment temperature was critical to the sensitivity. The thin films with thickness of 400 nm heat-treated at 800℃ showed the sensitivity of 400% for 5000ppm CO and 60% for 350ppm NH_3 at the working temperature of 300℃.

1. 서 론

최근 인간의 생활환경에 존재하는 유해가스 및 대기환경에 대한 관심이 고조되면서 유해 가스를 손쉽게 감지할 수 있는 센서의 필요성이 중요하게 인식되고 있다.

* 경상대학교 전기전자공학부(Division of Electrical and Electronics Eng., Gyeongsang National University.)
자동화 및 컴퓨터 응용 기술 연구소 연구원
<접수일자 : 2000년 6월 5일>

여러 형태의 센서 중 금속산화물 반도체는 막의 화학적 안정성, 제조의 편리함 및 감지기구의 간단함으로 널리 연구되고 있다. 특히 산화물 박막은 소형화 및 집적화에 적합하며 박막표면에 가스가 흡착됨에 따라 흡착가스와 박막사이의 전자수수에 의한 박막의 전기전도도 변화를 이용하여 가스 농도를 측정한다.[1-3] 대표적인 산화물 박막형 가스센서의 재료는 ZnO, SnO_2, WO_3 등을 들 수 있다.[4-6]

희토류 원소와 전이금속을 함유한 페로브스카이트

구조의 복합산화물은 구조적 안정성과 산소의 비화학양론적인 조성 혹은 금속이온의 원자가를 쉽게 제어할 수 있는 가변적 구조[7]로 알려져 있으며, 이러한 물리적·화학적 특성 때문에 가스센서 재료로서의 응용이 기대되어진다. 이러한 화합물은 NO, CO, NH_3, C_4H_{10} 외 다른 탄화수소의 산화에 대해 높은 촉매반응을 보이는 것으로 알려져 왔으나[8] 국내에서는 이들 막의 센서응용에 대한 연구가 부족한 편이다.

본 논문에서는 r. f. magnetron sputtering법을 이용하여 $LaFeO_3$ 박막을 제조하고 막의 구조적, 전기적물성 및 가스감지 특성을 조사하였다. 특히, 높은 감도를 보인 CO 및 NH_3 가스에 대하여 박막의 두께 및 열처리온도의 영향을 조사하였다.

2. 실험 및 측정

약 0.6 mm 두께의 Al_2O_3 기판에 자체 제작한 직경 3인치의 타겟을 이용하여 r.f. magnetron sputtering법으로 $LaFeO_3$ 박막을 증착하였다. 사용된 타겟은 La_2O_3와 Fe_2O_3 분말을 1:1 mol 비로 혼합하여 표준세라믹 공정[9]에 의해 제조 하였고 1300℃에서 2시간동안 소결하였다. 이때의 반응식은 식(1)과 같이 예상된다.

$$La_2O_3 + Fe_2O_3 \rightarrow 2LaFeO_3 \quad \text{--- (1)}$$

표 1은 $LaFeO_3$ 박막의 제조조건을 요약한 것으로 기판온도 200℃, 10 mTorr의 Ar 분위기에서 150 W로 증착하였다. 증착시 타겟과 기판의 간격은 약 8 cm 이고 타겟의 전력밀도는 약 3.4 W/cm^2 이다. 증착율은 약 8~10 nm/min 이고 증착시간이 증가할수록 증착율은 약간 감소하는 경향을 보였다. 200nm, 300nm 및 400 nm의 두께로 제조된 박막은 각각 600℃, 800℃ 및 1000℃의 온도에서 2시간동안 대기중에서 열처리 되었다. 그림 1은 제작된 센서의 구조이다.

제조된 박막 센서는 PID 제어기로 온도조절이 가능한 히터 위에서 저항의 온도의존성을 측정하였으며 높은 감도를 보인 NH_3 및 CO 가스에 대한 감도특성을 조사하였다. 박막의 저항은 소자 양단에 electrometer (Kei-thley 617)를 연결하고 IEEE 488 인터페이스 보드를 이용하여 컴퓨터로 측정하였다. 이 때 소자의 동작온도는 히터표면에 심어진 K-형 열전대를 이용하여 제어 및 측정하였다.

표 1. $LaFeO_3$ 박막의 증착조건

Table 1. Deposition conditions of $LaFeO_3$ thin films

Deposition condition	
Initial vacuum	5×10^{-6} Torr
R.F. power	150 W
Substrate temperature	200 ℃
Ambient gas	Ar
working pressure	10 mTorr
Annealing condition	
Temperature	600, 800, 1000 ℃
Ambient gas	Atmosphere
Time	3 ℃/min, 2 hr holding

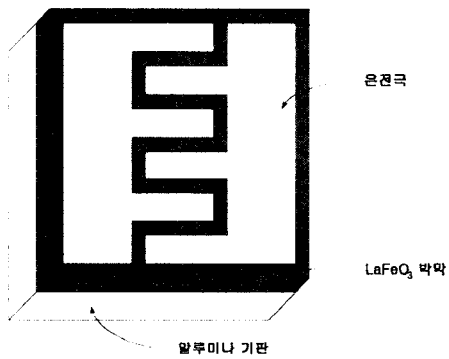

그림 1. 제작된 센서의 구조도.

Fig. 1. Schematic diagram of the $LaFeO_3$ thin film sensor.

3. 결과 및 고찰

3.1. 구조적·전기적 특성

그림 2는 두께가 500 nm인 $LaFeO_3$ 박막의 열처리 온도에 따른 X-선 회절패턴을 보인 것이다. JCPDS 와 비교하였을 때 타겟의 X-선 회절패턴은 동일상을 보였다. 열처리되지 않은 박막은 기판으로 사용된 Al_2O_3의 회절피크 외에는 페로브스카이트 구조의 $LaFeO_3$ 박막의 X-선 회절패턴이 나타나지 않았다. 600℃ 열처리된 박막에서 약간 성장된 (121) 방향의 주된 결정상을 확인할 수 있으며, 열처리 온도가 증가할수록 회절피크가 증가하는 것으로 보아 막의 결정도가 증가함을 알 수 있다.

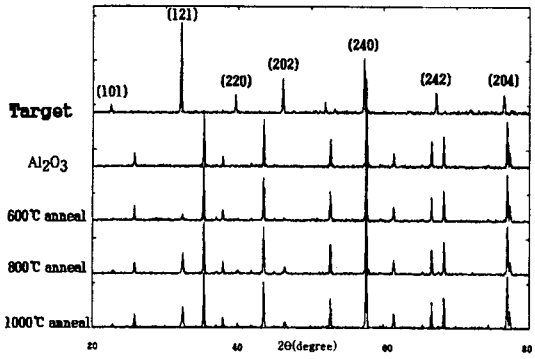

그림 2. 열처리 온도에 따른 $LaFeO_3$ 박막의 XRD 패턴.
Fig. 2. XRD patterns of $LaFeO_3$ films with various heat treatment temperatures.

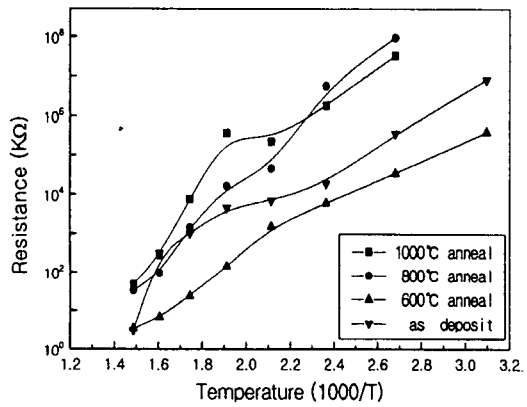

그림 3. 열처리 된 박막의 온도에 대한 저항의 변화.
Fig. 3. Resistance of the thin films heat-treated at various temperatures vs. temperature.

그림 3은 각각의 온도에서 열처리된 박막의 온도에 대한 전기 저항을 나타낸 것이다. 온도가 증가하면 저항이 감소하는 음의 온도계수를 보이며 400℃에서는 수십 KΩ을 나타내었다. 600℃ 열처리된 박막은 열처리 되지 않은 박막보다 저항이 작은데 이는 열처리로 인하여 증착 된 박막의 grain이 성장되고 성장된 grain 내부의 저항이 감소하기 때문으로 생각된다. 이후 열처리 온도 증가에 따른 저항의 증가는 grain 크기가 증가함과 동시에 grain 경계의 전위장벽이 높아진 것 때문으로 생각된다.[10] 박막 저항의 온도의존성을 이용하여 식(2)에 의해 구해진 활성화에너지(전위장벽)를 보면, 600℃에서 열처리된 박막과 1000℃에서 열처리된 박막의 경우, 가스센서가 큰 감도를 보이는 200℃~350℃의 범위에서 활성화에너지는 각각 약 0.9 eV에서 1.8 eV로 열처리 온도가 증가할수록 활성화에너지가 증가하는 경향을 볼 수 있다.

$$R = R_o \exp\left(\frac{V_S}{kT}\right) \quad \text{--- (2)}$$

3.2. 가스 감지 특성

밀폐된 측정 챔버내에 제조된 센서를 장치하고 여러 가스에 대한 가스 감도를 조사하였다. 가스 주입 전·후의 전도도 변화를 이용하여 식(3)에 의해 감도를 계산 하였다.

$$\text{감도(S)} = \frac{R_{(gas)} - R_{(air)}}{R_{(air)}} \times 100\ (\%) \quad \text{---(3)}$$

NO, CO, NH_3, C_4H_{10} 가스에 대한 감도를 조사하였으나 NO 와 C_4H_{10} 가스에서는 매우 낮은 감도를 보였다. 보다 큰 감도를 보인 CO, NH_3 의 환원성 가스에 대하여 가스 주입 후 전도도가 감소하는 p형 반도체의 특성을 보였다. 열처리 되지 않은 박막의 감도는 거의 나타나지 않았으며 1000℃에서 열처리된 박막의 경우, 저항이 불안정하고 낮은 감도를 보였는데 열처리후 막의 색이 변한 것으로 보아 기판인 Al_2O_3와 $LaFeO_3$가 서로 반응하여 $LaFeO_3$ 막의 가스에 대한 화학반응 특성이 저해되었을 것으로 추측된다.

그림 4는 600℃ 및 800℃에서 열처리된 박막에 약 5000 ppm의 CO 가스를 주입하였을 때 동작온도에 대한 박막의 두께 및 열처리 온도에 따른 감도를 나타낸 것이다. 박막의 감도는 300℃~350℃에서 최적 동작 상태를 보이며 350℃이상의 온도에서는 온도의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 350℃이상의 온도에서는 표면에서의 가스 흡착이 물리흡착에서 화학흡착으로 전이하였기 때문으로 생각되고 최대 감도를 보이는 300℃~350℃는 이 전이점에 해당하는 것으로 생각된다.[11] 600℃에서 열처리된 박막에서 감도와 박막두께의 상관관계는 일정한 경향성을 보이지 않았지만 800℃에서 열처리된 박막에서 감도는 두께가 얇을수록 증가하는 경향을 볼 수 있다. CO 가스 감지의 경우 박막 표면에 미리 흡착된 산소이온과 CO 가스가 반응하여 CO_2를 만들고 이때 전자를 박막의 전도대로 돌려주어 p-형 반도체의 저항이 증가하게 된다. 표면에

서 전자 수수에 의한 저항의 변화가 전체 박막 저항의 변화에 크게 나타나기 위해서는 박막 벌크에서의 저항이 커야 한다. 따라서 박막의 저항이 클수록, 박막이 얇을수록 감도가 커지게 된다. 그림 3에서 600℃에서 열처리한 박막의 저항이 800℃에서 열처리 한 박막 보다 약 100배 작음을 볼 수 있는데 이것이 800℃에서 열처리한 박막에서 감도의 두께 의존성을 커게 하고, 600℃에서 열처리한 박막의 경우 박막 벌크에서의 저항이 작아 두께 변화에 의한 감도의 영향이 적게 나타난 것으로 생각된다. 그러나 박막이 지나치게 얇아지면 알루미나 기판과 박막 아래의 계면에 의한 효과로 감도의 재현성이 나빠짐을 관측할 수 있었다.

열처리 온도에 대한 감도의 변화를 보면 600℃에서 열처리된 박막의 경우 최고 200%의 감도를 나타낸 반면, 800℃ 열처리된 박막에서는 최고 600%의 높은 감도를 보였다. 감도의 두께 의존성과 열처리온도와의 의존성을 비교해 보면 감도는 열처리온도에 보다 민감하게 변함을 알 수 있다. 800℃에서 열처리된 박막의 우수한 감도는 X-선 회절패턴에서 살펴본 것과 같이, 결정성이 좋은 $LaFeO_3$ 박막의 형성과 열처리 온도의 증가에 따라 grain 계면의 전위장벽이 증가하기 때문으로 생각된다. Grain 에 의해 구성된 막의 전기전도도는 grain 계면에서의 전위장벽에 의해 큰 영향을 받고 전위장벽이 높으면 감도가 증가하는 것이 보고되고 있다.[12,13]

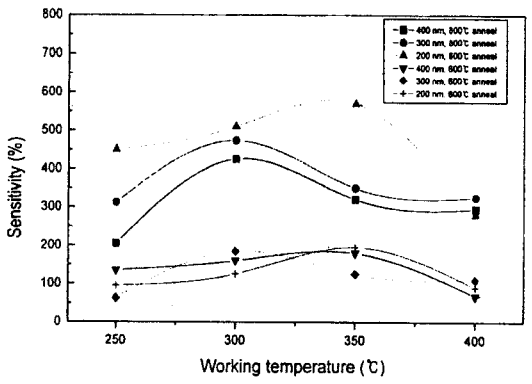

그림 4. 5000ppm CO 가스에서 600℃ 및 800℃에서 열처리된 박막의 동작온도에 대한 감도

Fig. 4. Sensitivity of the films heat-treated at 600℃ and 800℃ to 5000ppm CO gas vs.working temperature.

그림 5는 약 350 ppm의 NH_3 가스를 주입한 후 박막의 두께 및 열처리온도 변화에 대한 감도를 나타낸 것이다. CO 가스와 마찬가지로 박막의 감도는 동작온도가 300℃~350℃에서 최적 동작을 보이며 이후 온도가 증가하면 감소하는 경향을 나타내었다. 최적 동작온도는 열처리온도 600℃의 박막에서는 350℃였고 열처리온도 800℃의 박막에서는 300℃로 감소함을 볼 수 있다. NH_3 가스에서는 박막의 두께에 대한 감도의 변화는 어떤 경향성을 보이지 않았으나 열처리 온도가 600℃에서 800℃로 증가하면 최적 감도는 약 1.5 배 증가하였다. 보고된 바에 의하면 n-형 산화물 반도체인 ZnO 박막에서 NH_3 가스는 감지막의 저항을 감소시키고[14] FeO_x-WO_3-SnO_2 후막[15]에서 감지막의 저항을 증가시키는 것으로 보아 감지막과 반응에 따라 각각 환원성 또는 산화성 가스로 작용함을 알 수 있다. 그러나 p-형 산화물 반도체인 $LaFeO_3$ 박막에서 NH_3 가스에 의한 저항의 증가는 CO 가스와 마찬가지로 NH_3 가스가 환원성 가스로 작용함을 의미하며 CO 가스에 비해 감도의 두께 및 열처리 온도에 대한 의존성이 미약한 이유는 $LaFeO_3$ 막이 CO 및 NH_3 가스에 대하여 서로 다른 화학반응(촉매작용)을 보이기 때문으로 생각된다. NH_3 가스에서 특이한 점은 CO 가스에서와는 달리 열처리 온도와는 무관하게 동작온도가 350℃ 이상에서 센서의 감도가 증가한 후 다시 감소하여 일정한 값에서 포화되는 것이다. 본 실험에서는 일정시간이 경과한 후 포화된 지점에서의 저항을 이용하여 감도를 산정하였다.

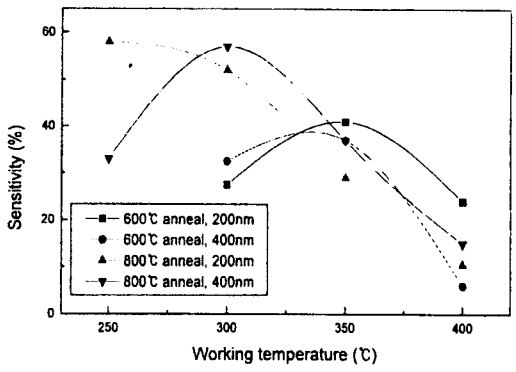

그림 5. 350ppm NH_3 가스에서 600℃ 및 800℃에서 열처리된 박막의 동작온도에 대한 감도

Fig. 5. Sensitivity of the films heat-treated at 600℃ and 800℃ to 350ppm NH_3 gas vs. working temperature.

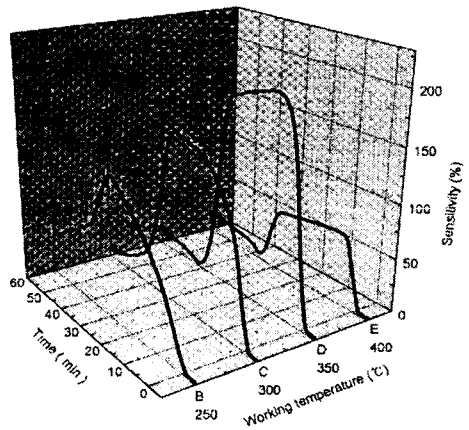

그림 6. 600℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 5000ppm CO 가스에서 동작온도별 시간응답.

Fig. 6. Time response of the 400nm films heat-treated at 600℃ to 5000ppm CO gas for various working temperatures.

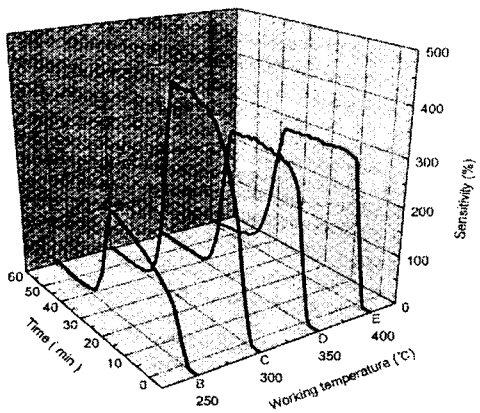

그림 7. 800℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 5000ppm CO 가스에서 동작온도별 시간응답.

Fig. 7. Time response of the 400nm films heat-treated at 800℃ to 5000ppm CO gas for various working temperatures.

그림 6과 그림 7은 두께가 400 nm이고 열처리온도가 각각 600℃, 800℃인 박막에서 5000 ppm의 CO 가스를 일정하게 주입 및 배기한 후 이들의 시간응답을 나타낸 것이다. 시간응답 측정은 가스 주입 후, 매 3초당 1회씩 변화하는 저항값을 측정하였다. 시간 30분에서 진공펌프를 이용하여 강제적으로 10분간 가스를 배출시켰으며 이때 생기는 온도 구배의 영향을 최소화하였다. 이들의 응답특성에서 가스주입 후 최고점의 70%까지 도달하는 시간은 250℃에서는 9분이나 동작온도가 증가함에 따라 가스의 화학반응이 활발하여 응답시간은 감소하여 400℃의 동작온도에서는 약 1분으로 감소하였다. 또한 강제적인 가스의 배출시 원상태로 회복하는데 걸리는 시간 역시 비슷한 경향을 보였으며 동작온도와는 상관없이 가스배출 후 박막의 저항은 초기의 값으로 복원되었다. 600℃에서 열처리된 박막은 800℃ 열처리된 박막과 응답시간은 같은 경향을 보였지만 낮은 감도와 긴 지연시간을 보였다.

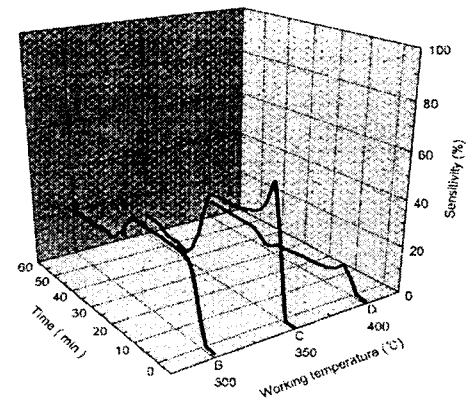

그림 8. 600℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 350ppm NH_3 가스에서 동작온도별 시간응답.

Fig. 8. Time response of the 400nm films heat-treated at 600℃ to 350ppm NH_3 gas for various working temperatures.

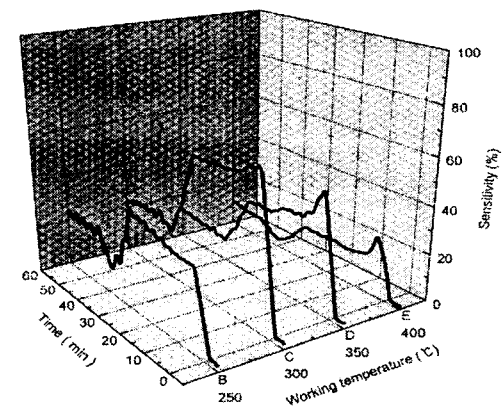

그림 9. 800℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 350ppm NH_3 가스에서 동작온도별 시간응답.

Fig. 9. Time response of the 400nm films heat-treated at 800℃ to 350ppm NH_3 gas for various working temperatures.

그림 8과 그림 9는 앞서와 같은 방법으로 400 nm께의 박막을 600℃ 및 800℃에서 열처리한 뒤 350ppm의 NH_3 가스를 주입하여 이들의 시간응답을 조사한 것이다. NH_3 가스에서 시간응답은 CO 가스와는 달리 250℃ 이상에서 동작온도에 관계없이 약 1분 이내의 빠른 상승시간을 보였으나 강제적인 가스배출 후, 초기값으로 복원되지 않았다. 350℃ 이상의 동작온도에서는 NH_3 가스주입 후, 감도가 증가하다가 수 분후 감소하여 포화되는 현상을 확인할 수 있는데 이 현상은 NH_3 가스의 양면성에서 그 원인을 찾을 수 있다.[16, 17] 발표된 문헌에 의하면 330℃이상의 고온 영역에서 고농도의 NH_3 가스가 센서표면에 노출되면 상대적으로 환원성 성분의 양이 증가되어 표면에 흡착된 산소로부터 전자를 센서에 돌려주게 되어 p-형 반도체 막의 저항을 증가시키나, 동시에 NH_3 가스가 표면에 흡착된 산소와 반응하여 질소산화물과 같은 산화성 성분으로 바뀌면 센서로부터 전자를 받아 센서의 저항을 감소하게 하는 현상이 동시에 일어나기 때문인 것으로 추측된다.

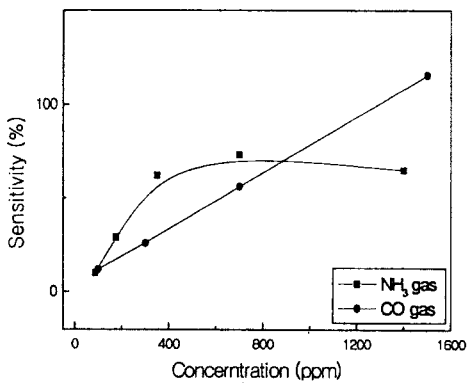

그림 10. 800℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 동작온도 300℃에서 CO 및 NH_3 가스농도에 대한 감도 변화.

Fig. 10. Sensitivity changes of the 400nm films heat-treated at 800℃ to various concentration of CO and NH_3 gases at the working temperature of 300℃.

그림 10은 800℃ 열처리된 두께 400 nm 박막의 동작온도 300℃에서 CO 및 NH_3 가스 농도에 대한 감도를 보인 것이다. CO 가스의 경우 100 ppm에서 약 10%의 감도를 보이며 농도에 따라 일정하게 증가하여 1500 ppm의 농도에서 약 120%의 감도를 보였다. NH_3 가스에 대한 감도는 400ppm 까지는 선형적이고 이후 증가율이 둔화되어 700 ppm 농도에서 약 70%의 감도를 보이며 그 이상의 농도에서 감도가 약간 감소함을 볼 수 있다. 이것은 앞에서 언급한 NH_3 가스의 양면성에 기인한 것으로 NH_3 가스가 높은 농도에서 일부 산화성 성분으로 바뀌어 $LaFeO_3$ 박막의 저항을 감소 시키기 때문으로 생각된다[15].

3.3. 선택성

그림 11은 800℃ 열처리된 두께 400 nm 박막의 동작온도 300℃에서 각각의 가스에 대한 감도를 나타낸 것이다. 동일한 1000 ppm의 CO와 C_4H_{10} 가스에서 각각 80%와 10%의 감도 차이를 보였으며 10 ppm의 NO 가스에 대해서는 감도가 15% 보다 작음을 볼 수 있고 350 ppm의 NH_3 가스에 대해서는 약 60%의 감도를 보였다. 이들 가스 중에서 CO 가스에 대한 선택성을 확인할 수 있었다.

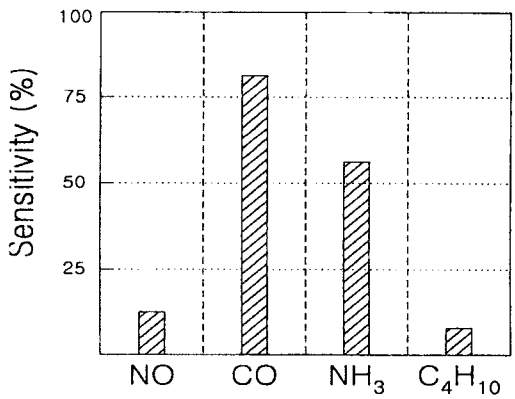

그림 11. 800℃에서 열처리된 400nm 두께 박막의 동작온도 300℃에서 여러 가스에 대한 선택성. (NO:10ppm, CO:1000ppm, NH_3: 350ppm, C_4H_{10}: 1000ppm)

Fig. 11. Selectivity of the 400nm films heat-treated at 800℃ to several gases at the working temperature of 300℃. (NO:10ppm, CO:1000ppm, NH_3:350ppm, C_4H_{10}: 1000ppm)

4. 결 론

본 연구에서는 $LaFeO_3$ 박막을 r. f. magnetron sputtering에 의해 제조하고 열처리에 대한 막의 구조

적, 전기적 특성을 측정하였으며 비교적 높은 감도를 보인 CO 및 NH_3 가스에 대하여 막의 두께 및 열처리 효과가 감도에 미치는 영향을 조사하였다. 제조된 박막은 CO 및 NH_3의 환원성 가스 유입에 저항이 증가하는 p형 반도체 특성을 보였고, 감도는 박막의 두께 변화에 크게 변하지 않은 반면 열처리 온도에 민감하게 변하였다. 800℃에서 열처리된 두께 400 nm의 박막에서 동작온도가 300℃ 일때 5000 ppm의 CO 가스에 대해서는 약 400%, 350 ppm의 NH_3 가스에서는 약 60%의 감도를 보였다. CO 가스에서 동작온도의 증가에 따라 시간응답 속도는 증가하여 동작온도 400℃ 에서는 1분 이내의 시간응답을 보였고 배기시 원래의 저항값으로 복귀 하였다. NH_3 가스에서는 동작온도에 관계없이 1분 이내의 상승 시간을 보였으나 가스 배출 후 초기값으로 복귀되지 않았으며 또한 350℃이상의 동작온도에서 감도가 증가한 후 감소하여 포화되는 현상을 보였다. $LaFeO_3$ 박막은 CO 가스에 대하여 높은 선택성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구, 연구번호 981-0908-032-2의 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

[1] J. Mizsei, "How can sensitive semiconductor gas sensors be made ?," Sensors and Actuators, B23, pp.173-176, 1995

[2] Noboru Yamazoe and Norio Miura, "Environmental gas sensing," Sensors and Actuators, B20, pp.95-102, 1994

[3] G. Sberveglieri, "Recent developments in semiconducting thin-flim gas sensors," Sensors and Actuators, B23, pp.103-109, 1995

[4] H. Nanto, T. Minami and S. Takata, "Zincox -ide thin film ammonia gas sensors with high sensitivity and excellent selectivity," J. Appl. Phys., 60(2), pp. 482-484, 1986

[5] B. Ruhland, Th. Becker, G. Muller, "Gas-kinetic interactions of nitrous oxides with SnO_2 surfaces," Sensors and Actuators, B50, pp.85-94, 1998

[6] T. Inoue, "Metal oxide semiconductor NO_2 sensor," Sensors and Actuators, B24-25, pp.388 -391, 1995

[7] M. O'Conell, A.K. Norman, C.F. Huttermann, M.A. Morris, "Catalytic oxidation over lanthanum-transition metal perovskite materials," Catalysis Today, 47, pp.123-132, 1999

[8] Yunying Wu, O. Kawaguchi, and T. Matsuda, "Catalytic reforming of methane with carbon dioxide on $LaBO_3$(B=Co, Fe, Ni, Mn, Cr) catalysts," Bull. Chem. Soc. Jpn., 71, pp.563-572, 1998

[9] T. G. Nenov and S. P. Yordanov, *Ceramic sensors, technology and applications*, Technomic Publishing Company, pp.50-55. 1996

[10] Wolfgang Gopel, K. D. Schierbaum, "SnO_2 sensors : current status and future prospects," Sensors and Actuators, B26-27, pp.1-12, 1995

[11] T. G. Nenov and S. P. Yordanov, *Ceramic sensors, technology and applications*, Technomic Publishing Company, chap.2.4, 1996

[12] 양종인, 김일진, 임한조, 한상도, 정관수, "N-형 WO_3계 가스센서의 전기적 특성," 센서학회지, 제7권, 제3호, pp.188-195, 1998

[13] G. Martinelli, M.C. Carotta, "Thick-film gas sensors," Sensor and Actuators, B23, pp.157-161, 1995

[14] 김성우, 최우창, 최혁환, 이명교, 권태하, "MoO_3를 첨가한 ZnO 박막 센서의 암모니아 가스 검지 특성," 센서학회지, 제8권, 제1호, pp.24-31, 1999

[15] 윤동현, 권철한, 홍형기, 김승렬, 이규정, "후막형 암모니아 가스 센서의 제조 및 가스 감응 특성," 센서학회지, 제6권, 제6호, pp.445-450, 1997

[16] Y. Takao, K. Miyazaki, Y. Shimizu and M. Egashira, "Semiconductor ammonia gas sensors with double-layered structure," Tech Digest, 8th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducer 93), pp.360-363, 1993

[17] J. L. Gland and V. N. Korchak, "Ammonia oxidation on a stepped platinum single-crystal surface," J. Catalysis, 53, pp.9 -23, 1978

著 者 紹 介

장 재 영

1972년 9월 20일 생

1998년 경상대학교 전자재료공학과 졸업(학사)

2000년 경상대학교 전자재료공학과 졸업(석사)

현재 덕수연구소 개발부 신소재 개발팀

주관심분야: 반도체 가스센서, 인터페이스 등

마 대 영

『센서학회지 제5권 제1호』 논문96-5-1-06 p.37 참조

현재 경상대학교 공과대학 전기전자공학부 교수

박 기 철

『센서학회지 제5권 제1호』 논문97-6-2-11 p.171 참조

현재 경상대학교 공과대학 전기전자공학부 교수

김 정 규

『센서학회지 제5권 제1호』 논문 97-6-2-11 p.171 참조

현재 경상대학교 공과대학 전기전자공학부 교수