

논문 2007-44SD-5-1

Sol-gel 법으로 제작한 Al-doped ZnO 박막의 도핑 농도 및 열처리 온도에 따른 광학적 및 전기적 특성

(Optical and Electrical Properties of Al-doped ZnO Thin Films Fabricated by Sol-gel Method with Various Al Doping Concentrations and Annealing Temperatures)

신 현 호*, 강 성 준**, 윤 영 섭***

(Hyun Ho Shin, Seong Jun Kang, and Yung Sup Yoon)

요 약

Sol-gel 법으로 quartz 기판 위에 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 따른 AZO 박막을 제작하였다. 1 % Al 이 도핑되고 550 °C 에서 열처리한 ZnO 박막에서 가장 우수한 (002) 배향성과 가장 평탄한 박막 (1.084 nm) 이 제작되었다. 모든 박막은 가시광 영역에서 약 80 % 이상의 투과율을 보였으며, Al 농도가 증가할수록 에너지 밴드 갭이 넓어지는 Burstein-Moss 효과가 관찰되었다. Hall 측정 결과, 순수한 ZnO 박막보다 Al 이 도핑된 ZnO 박막에서 캐리어 농도의 증가와 비저항 값의 감소가 나타났다. 또, Al 의 도핑 농도가 증가함에 따라 segregation 효과로 인한 캐리어 농도의 감소와 비저항 값의 증가가 관찰되었다. 1 % Al 이 도핑되고 550 °C 에서 열처리한 ZnO 박막에서 가장 큰 캐리어 농도 ($1.80 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) 와 가장 낮은 비저항 (0.84 Ω cm) 값을 나타내었다.

Abstract

AZO thin films have been fabricated on quartz substrate with various Al doping concentrations and annealing temperatures by sol-gel method. The best condition of (002) orientation and smooth surface (rms = 1.082 nm) is obtained for the AZO thin film doped with 1 mol % Al and annealed at 550 °C. The optical transmittance of AZO thin films is higher than 80 % in the visible region. We observe that the energy band gap extends with increasing the Al doping concentration. This phenomenon is due to the Burstein-Moss effect. Through the measurement of Hall effect, it is observed that the AZO thin film has larger carrier concentration and smaller electrical resistivity than the pure ZnO thin film. However, the AZO thin film shows the decrease of carrier concentration and the increase of resistivity with the increase of Al concentration, that is due to the segregation of Al at grain boundaries. The maximum carrier concentration of $1.80 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and the minimum resistivity of 0.84 Ωcm are obtained for the AZO thin film doped with 1 mol % Al and annealed at 550 °C

Keywords : Al-doped ZnO (AZO), Sol-gel method, Transmittance, Hall effect

I. 서 론

평판 디스플레이 산업의 발달로 인해 가시광 영역에서

의 높은 투과도와 낮은 비저항을 갖는 투명 전도막 (Transparent Conductive Oxide (TCO))에 대한 관심이 증가하고 있다. ITO(Indium tin oxide) 박막은 우수한 광학적 및 전기적 특성으로 인하여 투명 전도막으로 널리 사용되고 있다. 그러나 In의 단가가 높고 플라즈마에 대한 안정성이 낮다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 ITO 박막을 대체할 새로운 투명 전도막에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. ZnO는 3.3 eV의 넓은 에

* 학생회원, *** 정회원, 인하대학교 전자공학과 (Dept. of Electronics Engineering, Inha University)

** 정회원, 전남대학교 전기 및 반도체 공학과 (Dept. of Electrical and Semiconductor Engineering, Chonnam National University)

접수일자: 2007년1월26일, 수정완료일: 2007년3월19일

너지 밴드 갭을 갖는 II-VI 족 화합물 반도체로서 가시광 영역에서의 높은 투과도와 낮은 비저항 값을 가지며 재료의 가격이 낮고 플라즈마에 대한 내구성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.^[1,2] 또한, B, Al, In, Ga과 같은 III 족 원소의 도핑을 통해서 투과도 및 전기적 특성을 개선시킬 수 있다.^[3-5] 특히, 적은 양의 Al 도핑된 ZnO 박막(AZO)은 ITO와 비슷한 전기 전도도와 투과도를 갖는다고 알려져 있다.

AZO 박막을 제작하기 위해서는 sputtering 법^[6], pulsed laser deposition 법^[7], spray pyrolysis 법^[8], chemical vapor deposition 법^[9], sol-gel 법^[10] 등이 사용되고 있다. 이 중에서, sol-gel 법은 박막의 조성비를 쉽게 조절할 수 있으며 넓은 면적의 코팅 및 저비용으로 AZO 박막을 제작할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Sol-gel 법으로 제작된 AZO 박막의 특성은 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 특히 많은 영향을 받는다. 따라서 AZO 박막이 투명 전도막으로 사용되기 위해서는 최적의 도핑 농도와 열처리 온도를 찾는 것이 무엇보다 선행되어야 하고, 이를 바탕으로 박막의 배향성 및 표면거칠기 등의 구조적 특성과 광학적 및 전기적 특성과의 상관관계에 대한 연구도 필요하다.

본 연구에서는 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성 변화를 조사하여 AZO 박막의 투명 전도막으로의 응용 가능성에 대해서 알아보았다.

II. 실험 방법

출발 물질로는 Zinc acetate($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$)를 사용하였으며, 솔벤트와 안정화제로 각각 2-methoxyethanol($CH_3OCH_2CH_2OH$)과 MEA (C_2H_7NO)를 사용하였다. 도핑 물질로는 aluminum nitrate ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)를 사용하였다. Al 도핑 농도는 0에서 4 mol%로 변화시켰다. 상온에서 Zinc acetate와 Aluminum nitrate를 2-methoxyethanol과 MEA의 혼합 용액에 용해시켰다. MEA와 Zinc acetate의 몰 비는 1:1로 유지하였다. 깨끗하고 균질한 용액을 얻기 위해, 60°C에서 2시간 동안 교반하였으며 그 후 자연 냉각시켜 코팅 용액의 제작을 완료하였다. 제작된 코팅 용액은 spin-coating법을 통해서 3000rpm에서 30초간 quartz 기판 위에 증착하였다. Spin-coating이 끝난 뒤에는 솔벤트를 증발시키고 유기 잔류물(organic residual)들을 제거하기 위해 hot plate 위에서 300, 10분간 건조시켰다. 코팅과 건조

과정을 4회 반복하여 원하는 두께를 얻었다. 그 후, 분위기 제어 없이 450°C에서 650°C 사이의 온도에서 1시간 동안 열처리를 실시하여 AZO 박막의 제작을 완료하였다.

AZO 박막의 구조적 특성을 분석하기 위해 X-ray Diffractometer(XRD, Philips, PW 3020)을 이용하였고, 박막의 표면 상태는 Atomic Force Microscope(AFM, VG, Microlab 310F)을 사용하여 조사하였다. AZO 박막의 투과도 특성은 UV-vis spectrometer(Varian, Cary-500)을 이용하여 측정하였다. 또, Van der Pauw법을 이용한 Hall effect measurement(Accent, HL5500PC)을 실시하여 AZO 박막의 캐리어 농도와 비저항 값을 조사하였다.

III. 결과 및 토의

그림 1은 1 mol% Al이 도핑된 AZO 박막의 Depth Profile을 나타낸 것이다. 박막 표면에서는 산소 흡착에 의한 O의 농도가 다소간 크게 나타난 반면 Al 농도는 박막 전체에 걸쳐 균일하게 분포하고 있다. 스퍼터링 시간이 400 sec가 경과하면서부터, Zn 농도는 급격히 감소하였고 Si의 농도는 급격히 증가하였다. 이는 Si와 O의 결합으로 구성된 quartz 기판에 의한 것으로 생각된다.

그림 2는 Al 도핑 농도에 따른 AZO 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. Al 도핑 농도에 관계없이 모든 AZO(Al-doped ZnO) 박막에서 오직 (002) peak만이 관찰되었으며, 이는 결정립들이 c축으로 우선 배향되었음을 나타낸다. AZO 박막의 결정 성장 방향은 가장 낮은

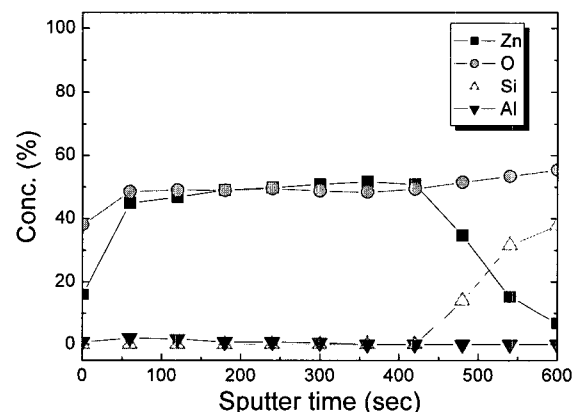


그림 1. 1 mol% Al 도핑된 ZnO 박막의 depth profile
Fig. 1. Depth profile of 1 mol% AZO thin film.

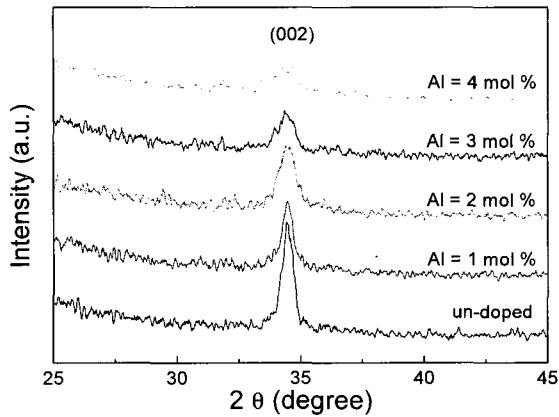


그림 2. 550 °C의 열처리 온도에서 Al 도핑 농도에 따른 AZO 박막의 XRD 패턴
 Fig. 2. The XRD patterns of AZO films with Al doping concentrations annealed at 550 °C.

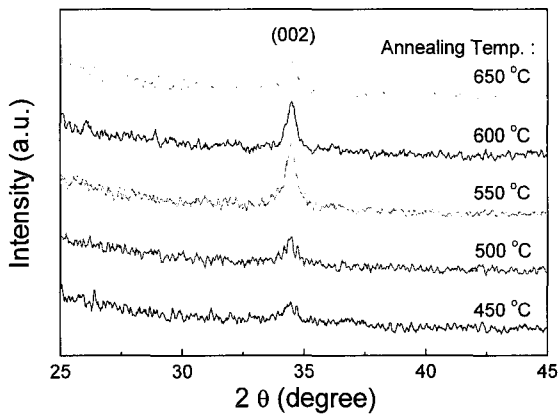


그림 3. 1 mol% Al 이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 패턴
 Fig. 3. The XRD patterns of 1 mol% AZO films with annealing temperature.

값을 갖는 표면 자유 에너지에 영향을 받는다.^[11] 순수한 ZnO 박막에서 가장 큰 (002) 회절 피크를 보였으며, Al 도핑 농도가 증가함에 따라 (002) 회절 피크의 강도는 감소하였다. 이는 결정 내에서 Al³⁺ 이온(RAI= 0.054 nm)이 Zn²⁺ 이온(RZn = 0.072nm)을 대체함으로써 발생하는 이온 반지름의 차이와 고농도 도핑으로 인한 결정립계에서 도펀트들의 segregation으로 인한 응력의 형성 때문이다.^[10,12]

그림 3은 1mol% Al이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 패턴을 나타낸 것이다. Al 도핑 농도에 따른 XRD 측정 결과와 마찬가지로 오직 (002) 회절 피크만이 관찰되었다. 열처리 온도가 550°C까지 증가함에 따

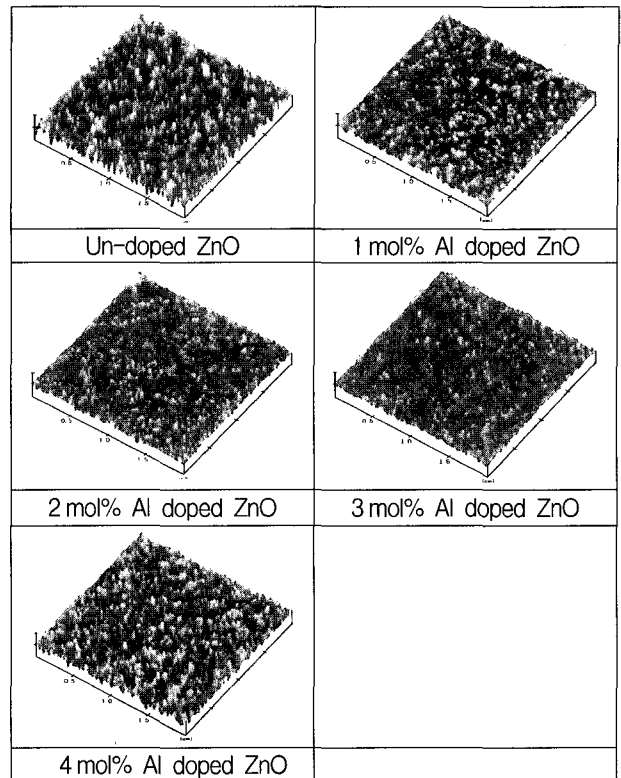


그림 4. 550 °C의 열처리 온도에서 Al 도핑 농도에 따른 AZO 박막의 AFM 사진
 Fig. 4. The AFM images of AZO films with Al doping concentrations annealed at 550 °C.

라 (002) 회절 피크 강도가 증가하였으나, 600에서부터는 (002) 회절 피크 강도가 감소하였다. 가장 큰 (002) 회절 피크는 550°C에서 열처리한 박막에서 얻어졌다. 이러한 결과로부터 열처리 온도가 박막의 결정성에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 Al 도핑 농도에 따른 ZnO 박막의 표면 형상을 나타낸 AFM 사진이다. 박막의 표면 형상을 통해서 결정립들이 조밀하게 성장한 것을 확인할 수 있다. Al이 첨가되지 않은 순수한 ZnO 박막인 경우 가장 거친 표면 거칠기(rms = 2.682nm)를 가졌으나, Al이 도핑시 표면 거칠기는 1.084nm에서 1.937nm 범위의 값을 나타내었다. 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막에서 가장 평탄한 표면을 갖는 박막이 제작되었고, 이때의 표면 거칠기 값은 1.084nm였다.

그림 5는 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 AFM 사진을 나타낸 것이다. AZO 박막의 표면 형상은 열처리 온도에 상관없이 비슷한 크기의 결정립을 나타내었다. 표면 거칠기 값은 열처리 온도가 550°C 까지 상승함에 따라 1.531nm에서 1.084nm로 감소하였으며, 550°C에서 열처리한 박막이 가장 평탄한 표면을 갖고

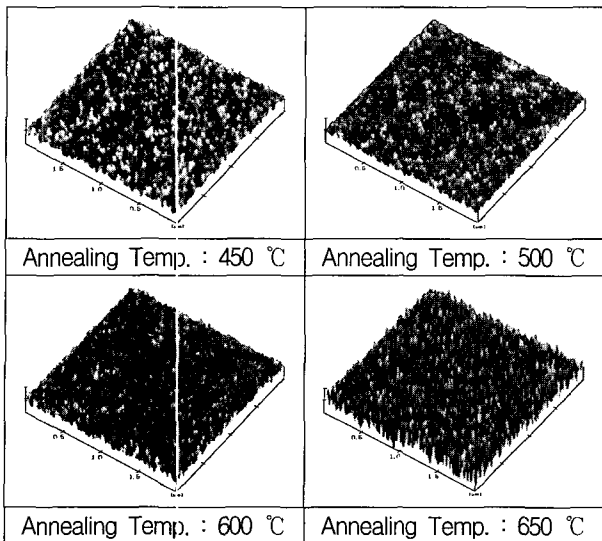


그림 5. 1 mol% Al 이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 AFM 사진
 Fig. 5. The AFM images of 1 mol% AZO films with annealing temperatures.

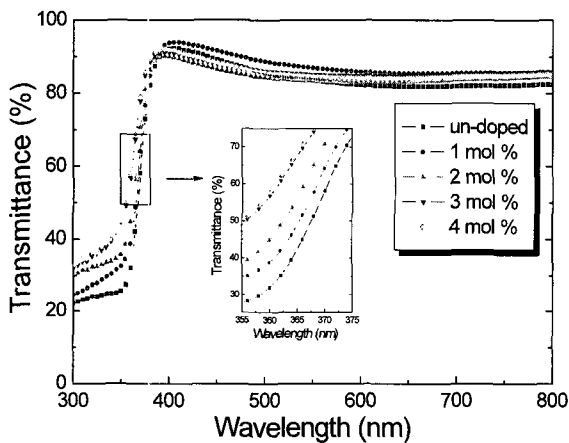


그림 6. 550 °C 의 열처리 온도에서 Al 도핑 농도에 따른 AZO 박막의 투과도 곡선
 Fig. 6. The transmittance spectra of AZO films with Al doping concentrations annealed at 550 °C.

있음을 확인할 수 있다. 한편, 650°C에서 증착한 박막에서 가장 거친 표면(rms = 3.375nm)을 갖는 것으로 나타났다.

그림 6 은 Al 도핑 농도에 따른 ZnO 박막의 가시광 영역에서의 투과도 곡선을 나타낸 것이다.

모든 박막은 가시광 영역에서 약 87%의 투과도를 보이며, blue 영역이 red 영역에서 보다 더 좋은 투과율을 나타내었다. 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막에서 가장 좋은 투과도를 보였다. 이는 박막 표면이 평탄하고 결정립의 밀도 증가에 의해 박막 내에서 산란되는 빛이 감소하

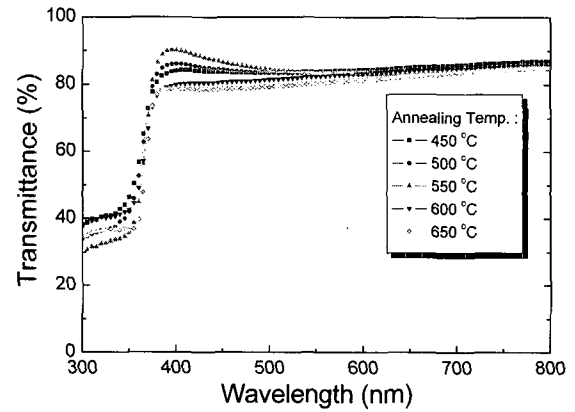


그림 7. 1 mol% Al 이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 투과도 곡선
 Fig. 7. The transmittance spectra of 1 mol% AZO films with annealing temperatures.

기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 370 nm 부근에서 에너지 밴드 갭과 관련된 가파른 흡수단이 관찰되었다. 흡수단은 Al 도핑 농도가 증가함에 따라 blue 영역으로 이동하였으며, 이는 에너지 밴드 갭이 넓어졌음을 의미한다. 이는 Al 도핑 농도가 증가할수록 전도대의 가장 밑 부분은 전자로 채워지고, 가전자대에 있는 전자가 전도대로 천이하기 위해서는 여분의 에너지가 필요하다는 Burstein-Moss 효과 때문이다.^[13,14]

그림 7 은 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 투과도 곡선을 나타낸 것이다. 모든 박막이 400에서 800nm의 가시광 영역에서 약 80% 이상의 높은 투과도를 나타내었다. red 영역에서는 모든 박막에서 비슷한 투과율을 보였지만, blue 영역에서는 열처리 온도가 550°C까지 상승함에 따라 투과율이 약 91 % 까지 증가하는 것이 관찰되었다. 그러나 그 이상의 열처리 온도에서는 blue 영역에서의 투과도도 80 % 대로 급격히 떨어졌다. 이러한 특징은 blue 발광 다이오드에 대한 투명 전도막으로의 응용에 기여 할 수 있으리라 생각된다.

직접 천이형 반도체인 ZnO는 식 (1)에 나타낸 것과 같이 흡수 계수 α 를 이용하여 에너지 밴드 갭을 구할 수 있다.^[15]

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, A 는 상수이며 $h\nu$ 는 광자 에너지 (eV) 이다. 또, 흡수 계수 α 는 투과율 (T)과 박막의 두께(d)를 이용한 식 (2)를 통해 구할 수 있다.^[6]

$$T = \exp(-\alpha d) \quad (2)$$

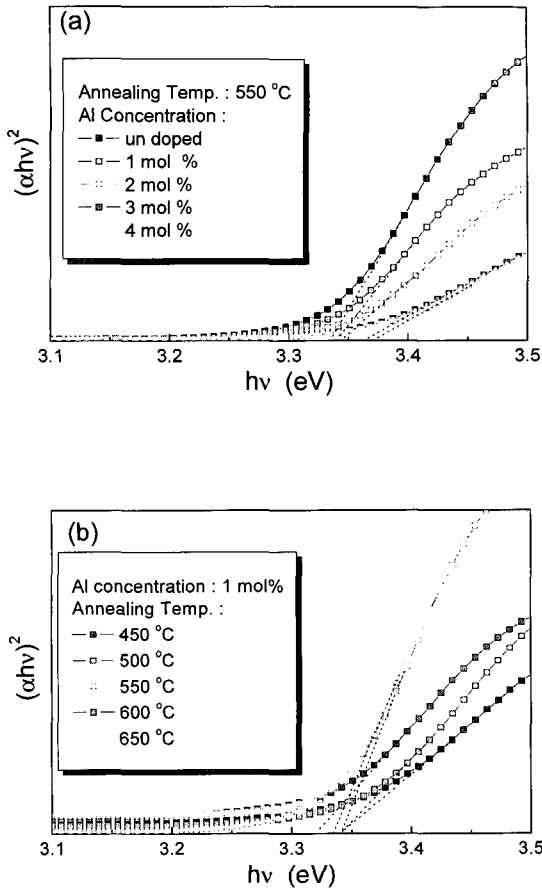


그림 8. AZO 박막의 $(\alpha h\nu)^2$ 대 $h\nu$ 의 그래프 :
 (a) Al 농도, (b) 열처리 온도
 Fig. 8. The plots of $(\alpha h\nu)^2$ verse $h\nu$ for AZO thin films as a function of (a) Al concentrations, (b) Annealing temperatures.

그림 8 (a)와 (b)는 각각 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 따른 흡수 계수 $(\alpha h\nu)^2$ 대 광자 에너지 ($h\nu$) 의 그래프를 나타낸 것이다. 각각의 그래프에서 접선의 기울기를 그어, ' $(\alpha h\nu)^2 = 0$ ' 이 되는 지점의 수치가 에너지 밴드 갭 (E_g) 값이 된다. 그림 8 (a)에서 보듯이, 순수한 ZnO 박막의 에너지 밴드 갭은 3.33 eV이고, Al 도핑 농도가 1에서 4 mol% 로 증가함에 따라 에너지 밴드 갭은 3.34에서 3.38 eV로 넓어지는 것을 확인 할 수 있다. 순수한 ZnO 보다 도핑된 ZnO의 에너지 밴드 갭이 넓어지는 이유는 앞서서도 언급한 바와 같이 Burstein-Moss 효과 때문이다. 그림 8(b)에서는 열처리 온도에 따른 투과도 곡선을 나타내었다. 열처리 온도가 450°C에서 550°C로 높아짐에 따라 에너지 밴드 갭은 3.34 eV 로 일정한 값을 나타냈지만, 550°C 이상의 온도에서 열처리 시에 에너지 밴드 갭이 작아지는 것을 확인 할 수 있었다.

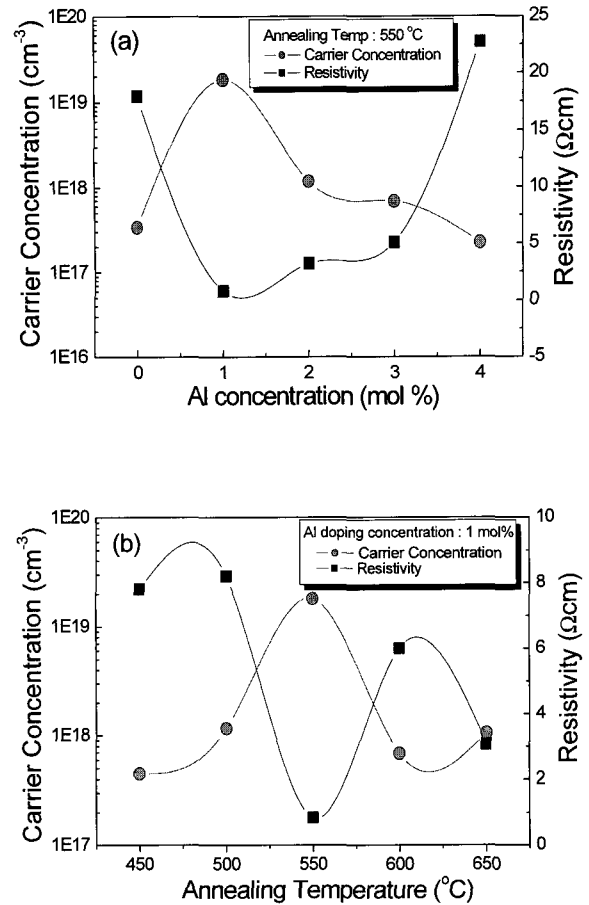


그림 9. AZO 박막의 전기적 특성 :
 (a) Al 도핑 농도, (b) 열처리 온도
 Fig. 9. The electrical properties of AZO thin films as a function of (a) Al doping concentrations, (b) Annealing temperatures.

그림 9(a)와 (b)는 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 캐리어 농도와 비저항 값을 나타낸 것이다. 그림 9 (a)에서 보듯이, 캐리어 농도는 순수한 ZnO 박막보다 Al이 도핑된 ZnO 박막에서 큰 값을 나타내었다. 일반적으로, ZnO는 전자를 주 캐리어원으로 사용하는 n형 반도체의 성질을 가지고 있다. 적은 양의 Al을 ZnO 박막에 도핑하는 경우 Al은 박막 내에서 Al^{3+} 로 이온화되고, Zn^{2+} 를 대체한다. 따라서 하나의 자유 전자가 더 생기게 되어 캐리어 농도는 증가하게 된다. 캐리어 농도는 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막에서 $1.80 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 가장 높은 값을 나타내었다. 그러나 2 mol% 이상 Al이 도핑된 ZnO 박막에서는 캐리어 농도가 감소하였다. 이는 고농도의 Al 도핑은 결정립계에서의 segregation으로 인하여 도펀트로서 활동하지 못하기 때문이다. 한편, 비저항은 1 mol% Al이 도핑된 ZnO 박막에서 가장 작은 0.84

Ωcm 이었다. 그러나 Al 도핑 농도가 증가할수록, 비저항 값은 증가하였다. 이는 결정립계에서의 segregation 으로 인한 캐리어 이동도의 감소 때문이다. 그림 9 (b)에서는 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 캐리어 농도와 비저항 값을 나타내었다. 열처리 온도가 550 °C 까지 증가함에 따라 비저항 값은 감소하였다. 이는 열처리에 따른 결정성의 증가로 인하여 캐리어 산란이 감소하였기 때문이다. 그러나 550°C 이상의 온도에서는 결정성의 악화로 인한 캐리어 이동도 감소에 따라 비저항 값이 다시 증가하였다. Hall 측정을 통해, 도핑 농도와 열처리가 AZO 박막의 전기적 특성에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 sol-gel 방법으로 quartz 기판위에 Al 도핑 농도와 열처리 온도에 따른 AZO 박막을 제작하여 구조적, 광학적, 전기적 특성을 조사하였다. 1 mol% Al 이 도핑되고 550 °C에서 열처리한 ZnO 박막에서 가장 우수한 (002) 배향성을 나타내었다. Al 도핑 농도가 1 mol% 이상으로 증가하면, Zn와 Al의 이온 반지름의 차이로 인하여 결정성은 악화되었다. AFM 측정을 통한 박막의 표면형상 분석 결과, 모든 박막은 거의 비슷한 결정립 크기를 나타냈으며, 1 mol% Al이 도핑되고 550 °C 에서 열처리한 ZnO 박막에서 가장 평탄한 박막(1.084 nm) 이 얻어졌다. 박막의 투과도는 모든 박막에서 약 80 % 이상의 투과율을 나타내었으며, Al 도핑 농도가 증가함에 따라 밴드 갭이 넓어지는 Burstein-Moss 효과가 관찰되었다. 전기적 특성은 1 % Al이 도핑되고 550 °C에서 열처리한 ZnO 박막에서 가장 높은 캐리어 농도 ($1.80 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)와 가장 낮은 비저항 값(0.84 Ωcm)을 나타내었다.

본 연구결과를 통해, sol-gel 법으로 제작한 AZO 박막이 비교적 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었고, 향후, 용액 제조법을 좀 더 개선하여 박막의 결정성을 향상시키고, 가스 분위기에 따른 열처리시 박막의 특성에 대해서 좀 더 세밀한 연구가 이어진다면 평판 디스플레이 산업이나 태양전지 등의 분야에 투명 전도막으로 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] D. Basak, G. Amin, B. Mallik, G. K. Paul, S. K. Sen, "Photoconductive UV detectors on sol-gel-synthesized ZnO films", J. cryst. growth,

- vol. 256, pp. 73-77, 2003.
- [2] P. Nunes, D. Costa, E. Fortunato, R. Martins, "Performances presented by zinc oxide thin films deposited by R.F. magnetron sputtering", Vacuum, Vol. 64, pp. 293-297, 2000.
- [3] Z. Q. Xu, H. Deng, Y. Li, Q. H. Guo, Y. R. Li, "Characteristics of Al-doped c-axis orientation ZnO thin films prepared by the sol-gel method", Mater. Res. Bull., Vol. 41, pp. 354-358, 2006.
- [4] P. Nunes, E. Fortunato, P. Tonello, F. Braz Fernandes, P. Vilarinho, R. Martins, "Effect of different dopant elements on the properties of ZnO thin films", Vacuum, Vol. 64, pp. 281-285, 2002.
- [5] Radhouane Bel Hadj Tahar, Nouredine Bel Hadj Tahar, "Boron-doped zinc oxide thin films prepared by sol-gel technique", J. Mater. Sci., Vol. 40, pp. 5285-5289, 2005.
- [6] K. H. Kim, K. C. Park, D. Y. Ma, "Structural, electrical and optical properties of aluminum doped zinc oxide films prepared by radio frequency magnetron sputtering", J. Appl. Phys., Vol. 81, pp. 7764-7772, 1997.
- [7] Xin Chen, Wenjie Guan, Guojia Fang, X. Z. Zhao, "Influence of substrate temperature and post-treatment on the properties of ZnO:Al thin films prepared by pulsed laser deposition", Appl. Surf. Sci., Vol. 252, pp. 1561-1567, 2005.
- [8] M. A. Kaid, A. Ashour, "Preparation of ZnO-doped Al films by spray pyrolysis technique", Appl. Surf. Sci., Vol. 253, pp. 3029-3033, 2007.
- [9] J. Hu, R. G. Gordon, "Textured aluminum-doped zinc oxide thin films from atmospheric pressure chemical-vapor deposition", Vol. 71, pp. 880-890, 1992.
- [10] S. Y. Kuo, W. C. Chen, F. I. Lai, C. P. Cheng, H. C. Kuo, S. C. Wang, W. F. Hsieh, "Effects of doping concentration and annealing temperature on properties of highly-oriented Al-doped ZnO films", J. Cryst. Growth, Vol. 287, pp. 78-84, 2006.
- [11] N. Fujimura, T. Nishihara, S. Goto, J. Xu, T. Ito, "Control of Preferred Orientation for ZnOx Films Control of Self-texture", J. Cryst. Growth, Vol. 130, pp. 269-279, 1993.
- [12] Z. Q. Xu, H. Deng, Y. Li, Hang, Cheng, "Al-doping effects on structure, electrical and optical properties of c-axis-oriented ZnO:Al thin films", Mater. Sci. Semicond. Process, Vol. 9, pp. 132-135, 2006.
- [13] M. J. Alam, D. C. Cameron, "Preparation and

properties of transparent conductive aluminum-doped zinc oxide thin films by sol-gel process”, J. Vac. Sci. Technol, A, Vol. 19, pp. 1642-1645, 2001.

[14] B. E. Sernelius, K. F. Berggren, Z. C. Jin, I. Hamberg, C. G. Granqvist, “Band gap tailoring of ZnO by means of heavy Al doping”, Phys. Rev. B, Vol. 37, pp. 10244-10248, 1988.

[15] X. Chen, W. Guan, G. Fang, X. Z. Zhao, “Influence of substrate temperature and post-treatment on the properties of ZnO:Al thin films prepared by pulsed laser deposition”, Appl. Surf. Sci, Vol. 252, pp. 1561-1567, 2005.

저 자 소 개



신 현 호(학생회원)
2005년 명지대학교
전자공학과 학사졸업.
2005년~현재 인하대학교
전자공학과 석사 과정.
<주관심분야 : 광소자, 투명전도막>



강 성 준(정회원)
1989년 인하대학교
응용물리학과 학사 졸업.
1994년 인하대학교
전자재료공학과 석사졸업.
1999년 인하대학교
전자재료공학과 박사졸업.
1999년~2000년 인하대학교 전자재료공학과
연구원 (Post Doc.)
2000년~현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과
<주관심분야 : 나노 반도체 공정, 차세대 메모리 소자, 압전박막, 광소자>



윤 영 섭(정회원)
1975년 서울대학교
금속공학과 학사 졸업.
1977년 한국과학원
재료공학과 석사 졸업.
1988년 Univ. Southern California
전자공학과 박사 졸업.
1987년~1988년 Oklahoma State University
대우교수
1988년~1989년 UCLA Device Research Lab.
연구원
1989년~1992년 삼성전자 기흥반도체연구소
수석연구원
1992년~현재 인하대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW device>