

논문 2010-47SD-7-2

RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 Al이 도핑 된 ZnO (AZO) 박막의 특성에 대한 연구

(A Study on the Properties of Al doped ZnO (AZO) Thin Films
Deposited by RF Magnetron Sputtering)

윤의중*, 정명희**, 박노경***

(Eui-Jung Yun, Myunghee Jung, and Nho Kyung Park)

요약

본 연구에서는 산소분압조건이 radio 주파수(RF) 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 Al이 도핑된 ZnO (AZO) 박막의 성질에 미치는 영향을 조사하였다. Hall, photoluminescence (PL), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) 측정들은 0.9의 산소분압으로 증착된 AZO 박막의 경우 p형 전도도를 나타내었지만 반면에 0 - 0.6 범위의 산소분압으로 증착된 AZO 박막의 경우는 n형 전도도가 관찰 되었다는 것을 보여주고 있다. 또한 PL 및 XPS 결과는 zinc vacancies 와 oxygen interstitials등과 같은 억셉터 같은 결함들이 0.9의 산소분압으로 증착된 AZO 박막 내에서 증가해서 그 결과 p형 전도도의 AZO 박막을 형성하였다는 것을 알려주고 있다. Hall 결과는 0 - 0.6 범위의 산소분압으로 증착된 AZO 박막을 투명 박막 트랜지스터 응용에서 전극층으로 사용할 수 있음을 가리키고 있다. X-ray diffraction 해석으로부터 더 큰 산소분압으로 증착된 AZO 박막들이 더 큰 tensile 스트레스 뿐만 아니라 더 작은 grain 크기를 가지면서 더 악화된 결정질 특성을 가진다는 사실을 확인 하였는데 이는 증착 도중에 더 많은 산소원자들이 주입되는 것과 관련이 있음을 알 수 있었다. atomic force 마이크로스코프의 연구에서 산소분압을 사용하여 증착된 박막에서 더 완만한 표면 거칠기를 관찰하였는데 산소원자들의 주입이 더 큰 비저항을 초래하였다는 것을 Hall 측정으로도 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we investigated the effects of O₂ fraction on the properties of Al-doped ZnO (AZO) thin films prepared by radio frequency (RF) magnetron sputtering. Hall, photoluminescence (PL), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) measurements revealed that the p-type conductivity was exhibited for AZO films with an O₂ fraction of 0.9 while the n-type conductivity was observed for films with O₂ fractions in range of 0 - 0.6. PL and XPS also showed that the acceptor-like defects, such as zinc vacancies and oxygen interstitials, increased in films prepared by an O₂ fraction of 0.9, resulting in the p-type conductivity in the films. Hall results indicated that AZO films prepared by O₂ fractions in range of 0 - 0.6 can be used for electrode layers in the applications of transparent thin film transistor. We concluded from the X-ray diffraction analysis that worse crystallinity with a smaller grain size as well as higher tensile stress was observed in the films prepared by a higher O₂ fraction, which is related to incorporation of more oxygen atoms into the films during deposition. The study of atomic force microscope suggested that the smoother surface morphology was observed in films prepared by using O₂ fraction, which causes the higher resistivity in those films, as evidenced by Hall measurements.

Keywords : AZO thin films, photoluminescence, Hall measurements, RF magnetron sputtering, O₂ fraction.

* 정회원(교신저자), 호서대학교 시스템제어공학과 (Department of System Control Engineering, Hoseo University)

** 정회원, 안양대학교 디지털미디어공학과 부교수(Department of Digital Media, Anyang University)

*** 정회원, 호서대학교 정보통신공학과 (Department of Information & Comm. Engineering, Hoseo University)

※ 이 논문은 2009년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: 2009-0186)

접수일자: 2010년5월25일, 수정완료일: 2010년6월15일

I. 서 론

최근에는 여러 가지 원소들을 도핑(doping)하여 n-type 또는 p-type의 ZnO 박막을 제작하는 연구^[1~5]가 많이 진행되고 있다. 그 중에서 Al이 도핑된 ZnO (AZO) 박막은 고 이동도 투명박막 트랜지스터 (transparent thin film transistors (TTFTs)), 태양전지 및 디스플레이 등과 같은 대 면적 전자 소자 응용에서 투명 전도성 산화물(transparent conducting oxide (TCO))로서 전 세계적인 대학과 연구소 뿐 만 아니라 기업체의 전자 실험실에서 상당한 주목을 받고 있다. 그 이유는 AZO의 기본 구성 재료를 얻기 쉬워서 비용이 저렴하고 AZO가 높은 광 투과도, 무독성, 수소 플라즈마에 대항하는 강한 저항성, 그리고 indium tin oxide (ITO)에 비교하여 낮은 전기적인 비저항 등을 가지고 있기 때문이다.^[6~12]

TTFT의 경우 전극 층을 선택할 때 캐리어의 저 이동도(low mobility)와 고농도의 캐리어가 중요한 고려 대상이 된다.^[13~14] 또한 TCO 증착 시 사용되는 산소분압이 TCO의 특성을 변화시켜서 TTFT 개발 시 중요한 역할을 할 수 있다고 알려지고 있다. 그 실례로서 Paine^[9]은 최근에 소스, 드레인, 게이트 전극용 TCO 용도로 낮은 산소분압(0 vol% O₂)에서 인듐 함량이 많은 ZnO (indium-rich ZnO; IZO)을 증착하고, 반도체 채널용 TCO 용도로 높은 산소분압(10 vol% O₂)에서 IZO를 증착하기 위하여 dc 마그네트론 스퍼터 기술을 사용하여 비정질의 IZO 기반의 TTFT를 개발 하였다.

위에서 기술된 관점에서 볼 때 여러 가지 산소분압의 조건이 AZO 박막의 전기적, 광학적, 구조적 성질에 미치는 영향에 관한 연구는 AZO 기반의 재료 및 소자의 응용에 중요한 역할을 할 수 있다고 사료된다. 그러나 RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착 시의 산소분압이 AZO 박막의 결정구조나 광학적인 특성 그리고 전기적인 특성에 대해서 어떠한 영향을 미치는지에 대한 체계적인 연구는 지금까지 문헌상으로 보고되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 AZO 박막의 전기적, 광학적, 구조적인 성질들의 산소분압에 대한 의존성을 체계적으로 연구하였다.

II. 실험

본 연구에서 AZO 박막 증착에는 RF magnetron sputtering 방법을 이용하였다. Target은 AZO(ZnO 98 wt%:Al₂O₃ 2wt%, 직경은 3 inch)를 이용하고, reaction gas로는 Ar(99.999% 순도 5N)과 O₂(99.999% 순도 5N)를 이용하였다. 기판으로는 700nm 두께로 성장시킨 SiO₂를 이용하였다. SiO₂층은 n-type(100) Si 기판 위에 thermal oxidation 방법으로 1050℃에서 54분간 성장시켜 준비하였다. RF power는 120W, 증착 시 압력은 2mtorr 정도의 값을 갖게 하며, 증착은 300℃에서 수행하였다. Ar의 주입량은 각각 40, 28, 16, 4sccm으로 변화시키고, O₂ 주입량도 각각 0, 12, 24, 36sccm으로 변화시키도록 하여 O₂ fraction($=\frac{O_2}{O_2 + Ar}$)을 0 - 0.9의 범위를 갖도록 설정하였다. 대표적인 박막의 두께는 300 - 350nm의 범위를 가졌다. 본 연구에서 사용된 공정조건을 표 1에서 제시하였다.

AZO 박막을 증착 하고 난 후에는 AZO 박막의 표면의 morphology는 nanoscope IV multimode atomic force microscope (AFM)으로 관찰하고, ZnO 박막의 구조는 Cu K α_1 radiation source를 가진 X-ray diffraction (XRD) ($\lambda=0.15406$ nm)을 사용하여 2 θ 의

표 1. 산소분압이 AZO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 성질들에 미치는 영향을 연구할 AZO 박막 증착을 위한 공정조건

Table 1. The process conditions for the fabrication of AZO thin films to explore the effects of O₂ fraction on the structural, optical and electrical properties of AZO thin films.

substrate		SiO ₂ /Si			
working pressure (mTorr)		2			
deposition time (min.)		40			
gas	Ar(sccm)	40	28	16	4
	O ₂ (sccm)	0	12	24	36
O ₂ fraction		0	0.3	0.6	0.9
RF power (W)		120			
substrate temp. (°C)		300			
sample rotation (rpm)		5			

peak 값과 FWHM 값을 측정함으로써 조사하였다.

또한 AZO 박막의 광학 성질은 He-Cd 325 nm laser 를 여기소스로 사용하여 photoluminescence (PL) measurements 방법으로 상온에서 측정하였다. 증착된 AZO 박막 내에서의 Zn, O, Al 원소들의 at% 함유량과 화학적 결합상태를 조사하기 위하여 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)를 사용하였다. 박막의 전기적 특성인 carrier 농도, mobility, 전도도는 der Pauw configuration을 사용하는 Hall 효과 측정시스템을 이용하여 역시 상온에서 측정하였다. Hall 측정은 각 박막샘플에 대해 충분히 작은 전압을 사용하여 전도도 종류와 Hall 전압의 극성에 대하여 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위하여 조심스럽게 10번 이상을 반복하여 수행하였다. 또한 Hall 전압의 극성의 변화를 체크하기 위하여 자기장을 반대 방향으로 변화시켰다. 본 연구에서 각 파라미터의 특성 값 추출 시 사용한 Sample 수는 10개로 특성 값들은 평균값을 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

표 1에 제시한 공정조건을 통해 제작한 AZO 박막들의 산소분압에 따른 구조적 성질의 변화를 연구하기 위하여 측정된 박막의 XRD 결과를 그림 1에서 보여주고 있다. 그림 1로부터 산소분압=0 (산소 가스는 사용하지 않고 Ar 가스만 사용한 경우)의 조건으로 증착된 AZO 박막의 경우 (002) Bragg peak에 대한 2θ 값이 34.38°

로 hexagonal wurzite 결정구조를 갖고 있으며, 수직으로 증착이 잘 되어진 c축 배향의 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한 그림 1은 산소분압이 증가함에 따라 AZO 박막의 2θ 값이 34°까지 감소하고 XRD peak 세기도 감소하는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상을 좀 더 자세히 분석하기 위하여 XRD 결과로부터 반폭 (full width at half-maximum: FWHM)과 d-value(면간 거리)값을 구하였고 이들의 산소분압에 대한 특성은 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 FWHM 값은 산소분압이 0 에서 0.6 까지 증가함에 따라 천천히 증가하다가 산소분압이 0.9 로 더 증가하면 FWHM 값이 더 크게 증가 한다는 것을 알 수 있었다. 이로부터 산소분압이 증가 (박막 내에 산소원자의 유입이 증가)함에 따라 AZO 박막내의 결정질 상태가 더 악화되는 것을 확인할 수 있었다. 한편으로 bulk ZnO의 d-value 값이 0.26033 nm임을 고려 할 때 이 bulk 값 보다 더 큰 d-value 값을 갖는 박막들은 인장력의(tensile) 스트레스를 갖게 된다는 사실이 알려졌다.^[15] 따라서 그림 2로부터 산소분압이 증가함에 따라 d-value 값이 증가하여 인장력의 스트레스도 함께 증가 한다는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 일반적으로 박막 내부에 O와 같은 전기적으로 활성적인 원자들이 더 많이 도핑 되면 박막 내에 인장력의 스트레스가 증가하여 그 결과 d-value 값을 증가하게 만든다는 사실^[16]과 잘 일치하고 있다.

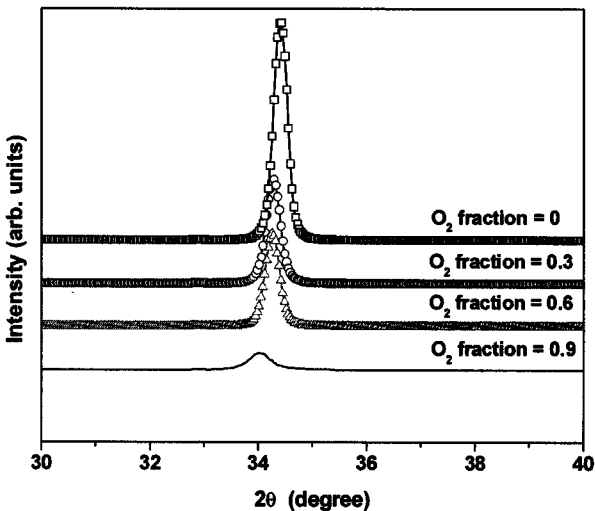


그림 1. 본 연구에서 적층된 AZO 박막의 XRD 특성
Fig. 1. XRD characteristic of AZO thin films prepared in this study.

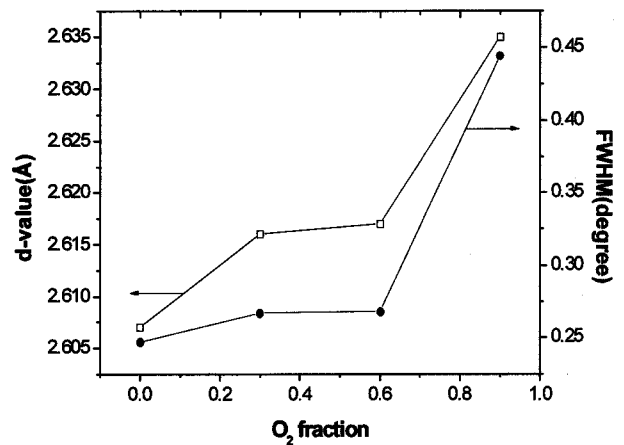


그림 2. 그림 1의 결과로부터 얻은 AZO 박막의 (002) Bragg peak에 대한 산소분압 변화에 따른 FWHM 및 d-value 특성변화

Fig. 2. The FWHM and d-value characteristics as a function of O₂ fraction for (002) Bragg peak in AZO thin films obtained from the result shown in Fig. 1.

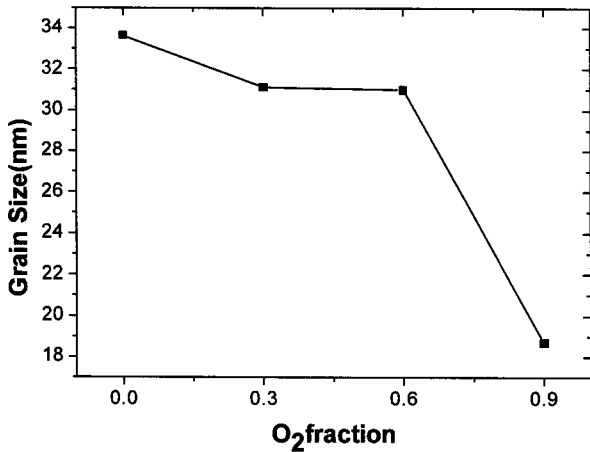


그림 3. 그림 1과 그림 2의 결과와 (1)식 으로부터 얻은 AZO 박막의 (002) Bragg peak에 대한 산소분압 변화에 따른 grain size 특성변화

Fig. 3. The grain size characteristic as a function of O₂ fraction for (002) Bragg peak in AZO thin films obtained from Eq. (1) and the results shown in Fig. 1 and Fig. 2.

그림 3은 산소분압에 따른 AZO 박막의 Grain size 변화에 대해 나타내고 있다. Grain size는 아래에 제시한 Scherrer's 식^[17]을 이용하여 계산되었다.

$$Grain\ size\ (a) = \frac{0.9\lambda}{FWHM \times \cos\theta} \quad (1)$$

여기서 λ 는 X-ray source의 파장을 나타내는데 측정에서 사용한 Cu- $k\alpha_1$ 의 x-ray 소스에 대한 파장은 약 0.154nm이다. FWHM은 반축폭의 값을 의미하고, θ 는 Bragg 각을 의미한다. 그림 3에서 AZO박막의 grain size은 19 - 34 nm 정도이고 이와 유사한 grain size는 다른 논문에서도 확인 할 수 있다^[18]. 결론적으로 그림 2와 그림 3 으로부터 더 큰 산소분압으로 증착된 AZO 박막 내에서 더 작은 grain size을 가지는 더 악화된 결정 구조가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 더 큰 산소분압을 사용하는 경우(특히 산소분압이 0.9인 경우), 더 많은 O 원자들이 AZO 박막 내부로 주입되어 AZO 구성 원자들의 재배열을 더 어렵게 만드는 환경을 조성하여 그 결과 박막 내부에 더 악화된 결정질을 형성하게 만든다고 사료된다.

그림 4는 본 연구에서 증착된 AZO 박막들의 산소분압에 따른 광학적 성질의 변화를 연구하기 위하여 상온에서 측정된 박막들의 PL 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 산소분압이 0으로 증착된 박막의 경우에 3.27 eV에서 우세한

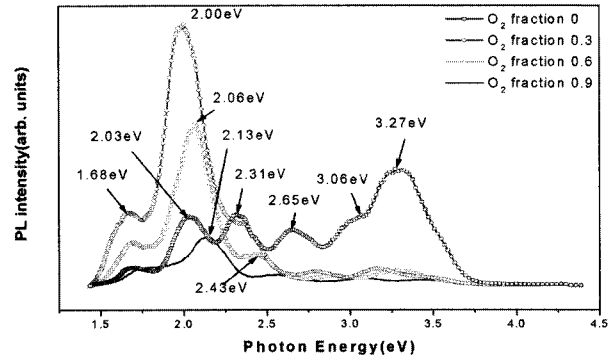


그림 4. 산소분압이 AZO 박막의 광학적 성질에 미치는 영향을 연구하기 위하여 상온에서 측정된 AZO 박막들의 PL 스펙트럼

Fig. 4. PL spectra of AZO films measured at room temperature to explore the effect of O₂ fraction on the optical property of AZO films.

밴드 가장자리 근처 [near-band-edge (NBE)]의 UV 발광 [ultra-violet emission (UVE)] peak가 관찰 되었고, 3.06eV에서 보라색 발광 [violet emission (VE)] peak가, 2.65 eV에서 청색 발광[blue emission (BE)] peak가, 2.31 eV에서 녹색 발광[green emission (GE)] peak가, 그리고 2.03 eV와 1.69 eV에서 적색 발광[red emission (RE)] peak들이 관찰되었다. 여기서 3.27 eV의 peak는 free exciton (FX) 재결합 (recombination)에 기인^[19~20]한다고 생각되고, 3.06 eV의 peak는 zinc interstitial (Zn_i)의 도너 준위(donor level)와 가전자대(valence band)사이 에서의 전이 (transition)에 기인^[21~22]한다고 생각되고, 2.65 eV의 peak는 얇은 oxygen vacancy (V_o) 에 기인^[23]한다고 생각되고, 2.31 eV의 peak는 단일로 이온화된 V_o 준위 (V_o^+)에 기인^[20, 24~28]한다고 생각되며, 마지막으로 2.03 eV와 1.69 eV의 peak들은 V_o ^[28] 이나 Zn_i ^[29]에 기인한다고 생각된다. 이러한 결과들은 산소분압이 0으로 증착된 AZO박막 들이 n형(n-type) 전도도의 특성을 나타내고 있음을 제시하고 있다.

또한 그림 4에서 산소분압이 0.6까지 증가하면 우세했던 FX 관련된 3.27 eV에 있는 UVE peak 세기는 크게 감소하여 거의 사라지나, 반면에 도너 결합에 해당하는 V_o 이나 Zn_i 에 기인하는 2.0 - 2.06 eV에 있는 RE peak 들이 우세해져서 여전히 AZO 박막 들이 n형 전도도의 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 최근에 악화된 구조적 결합이 UVE peak의 세기를 감소시키는 원인이 될 수 있다는 연구결과가 보고되었다.^[25] 따라서 본 연구에서 관찰

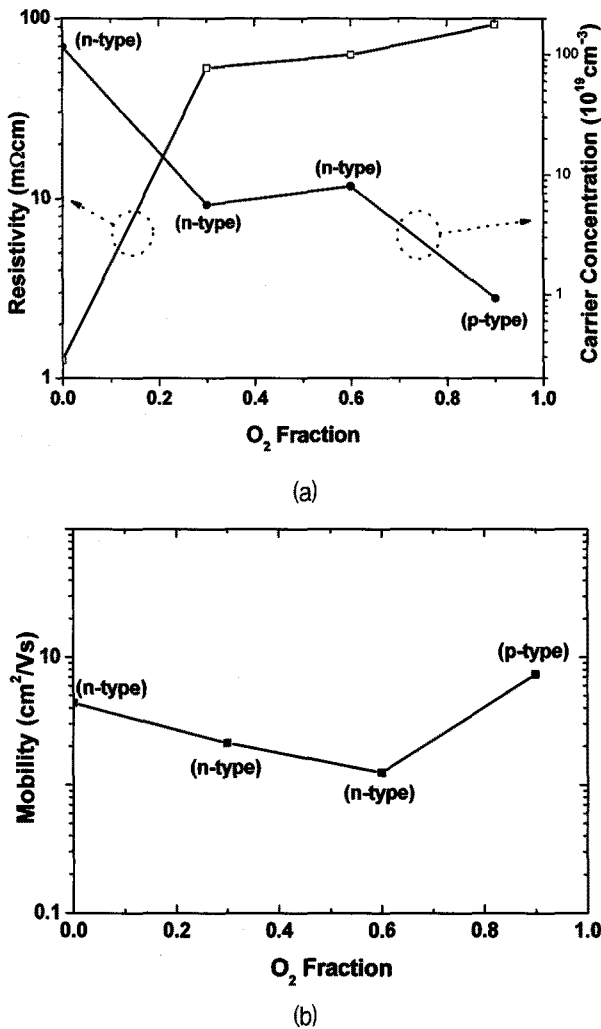


그림 5. 산소분압에 따른 AZO 박막의 전기적인 특성; (a) 비저항, 캐리어 농도, (b) 이동도. 여기서 n-type과 p-type은 n형전도도와 p형 전도도를 각각 의미한다.

Fig. 5. Electrical property of AZO thin films as a function of oxygen fraction; (a) resistivity, carrier concentration, (b) mobility. Here, n- and p-type mean the n- and p-type conductivity, respectively.

된 UVE peak 세기의 감소는 산소원자 들이 AZO 박막 내부로 주입하면서 발생된 구조적 결함들이 exciton을 무력화시키기 때문에 생기는 것으로 생각된다.

그러나 산소분압이 0.9로 더 증가 하면 그림 4에서 알 수 있듯이 오직 2.13 eV에서 우세한 오렌지색 발광 [orange emission (OE)] peak가 관찰^[18, 28]되었고, 다른 peak들은 약화 되었다. 여기서 OE peak는 p형(p-type)을 의미하는 억셉터(acceptor) 결함의 일종인 단일 이온화된 oxygen interstitial (O_i^-)에 기인한 것으로 생각된

다.^[15] 따라서 0.9의 산소분압을 사용하여 증착된 AZO 박막은 O_i^- 의 형성으로 인하여 p형 전도도의 특성을 가진다고 할 수 있다. 이 결과는 그림 2의 XRD 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 Hall 측정 결과로부터 얻은 산소분압에 따른 AZO 박막의 전기적 특성변화[비저항(resistivity), 캐리어 농도(carrier concentration) 그리고 이동도(mobility)]에 대해 나타내고 있다. 그림 5(a)로부터 산소분압이 증가함에 따라 비저항은 증가하고 캐리어 농도는 감소하여 서로 반비례관계에 있음을 알 수 있다. 여기서 비저항의 증가는 산소분압의 증가로 AZO박막 내에 유입되는 산소의양이 증가하기 때문으로 사료된다. S.-M. Park의 연구그룹^[30]에서도 pulsed laser deposition (PLD) 방법으로 증착된 AZO 박막의 경우 산소압력이 높은 10 - 100 mTorr의 범위에서 증가할 때 유사한 결과를 보인다고 보고하고 있다. 그리고 그림 5(b)로부터 산소분압이 0.6 일 때 이동도는 최소가 됨을 알 수 있었다. 또한 그림 5에서 산소분압이 0 - 0.6 사이에서는 n형의 전도도를 유지하다가 더 높은 산소분압인 0.9에서는 p형 전도도로 변화됨을 관찰 할 수 있었다. 이 결과는 그림 4의 PL결과 및 그림 2의 XRD결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림 5로부터 산소분압이 0 - 0.6 사이에서 증착된 AZO박막은 각각 비저항이 1.25 - 62.6 mΩcm, 캐리어 농도가 1.14×10^{21} - 7.99×10^{19} cm⁻³, 이동도가 4.39 - 1.25의 범위를 가져, 비저항과 이동도가 작고 캐리어농도가 커서 투명박막 트랜지스터의 전극재료로 사용이 가능하다. 그러나 산소분압이 큰 0.9로 증착된 AZO 박막의 경우는 비저항이 92.1 mΩcm로 크고, 캐리어 농도가 9.25×10^{18} cm⁻³로 작고, 이동도가 7.36으로 커서 투명박막 트랜지스터의 채널재료로 사용이 가능하다고 사료된다.

그림 6은 산소분압에 따른 AZO 박막의 AFM 이미지를 나타내고, 그림 7은 산소분압에 따른 AZO 박막의 표면 거칠기의 root mean square (RMS)값을 나타내고 있다. 그림 6과 그림 7로부터 0의 산소분압으로 증착된 AZO 박막의 표면 거칠기가 산소분압이 0.3 - 0.9로 증착되었을 때의 박막의 거칠기보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 산소분압이 존재할 때 AZO 박막을 증착하면 유입되는 산소원자들이 거친 표면의 void를 채운다고 생각할 수 있다. 유사한 결과는 S.-M. Park의 연구그룹^[30]에서 PLD 방법으로 증착된 AZO 박막의 경우에서도 발견할 수 있다.

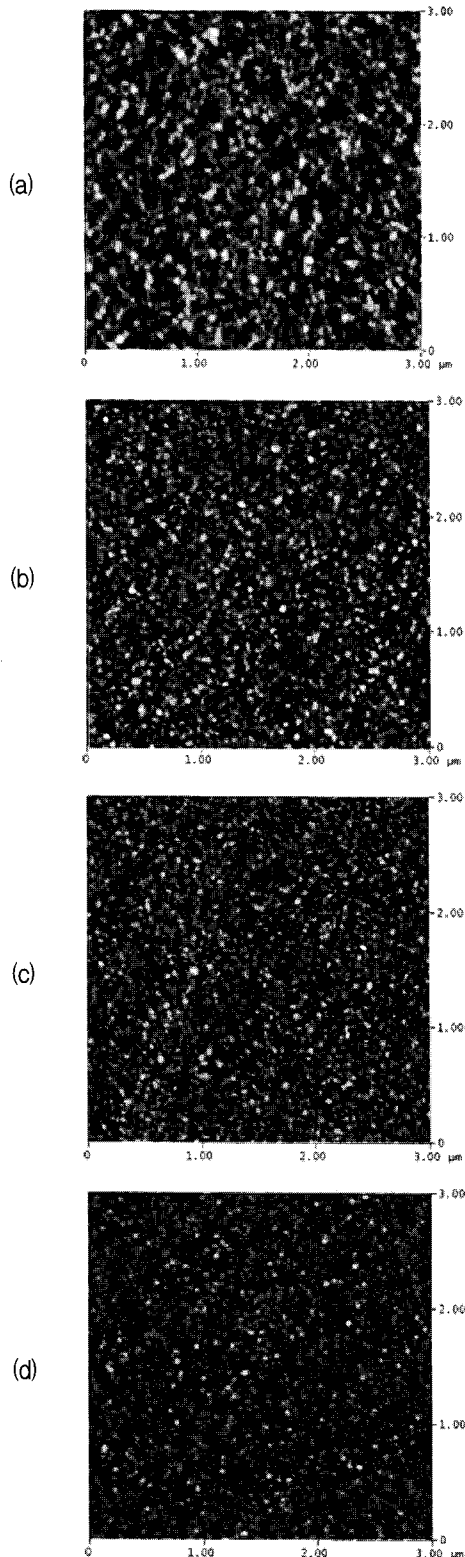


그림 6. 산소분압에 따른 AZO 박막의 AFM 이미지(스캔면적=3 μ m \times 3 μ m); 산소분압= (a) 0, (b) 0.3, (c) 0.6, (d) 0.9.

Fig. 6. AFM images of AZO thin films as a function of O₂ fraction(scan area=3 μ m \times 3 μ m); O₂ fraction = (a) 0, (b) 0.3, (c) 0.6, (d) 0.9.

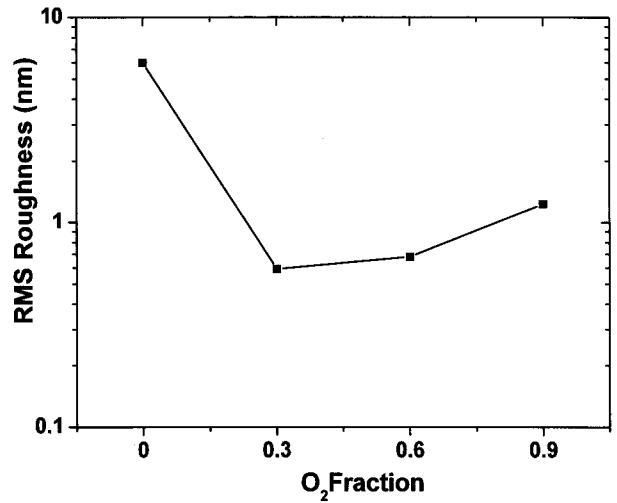


그림 7. 산소분압에 따른 AZO 박막의 표면 거칠기의 root mean square (RMS)값

Fig. 7. Root mean square (RMS) value of surface roughness of AZO thin films as a function of O₂ fraction.

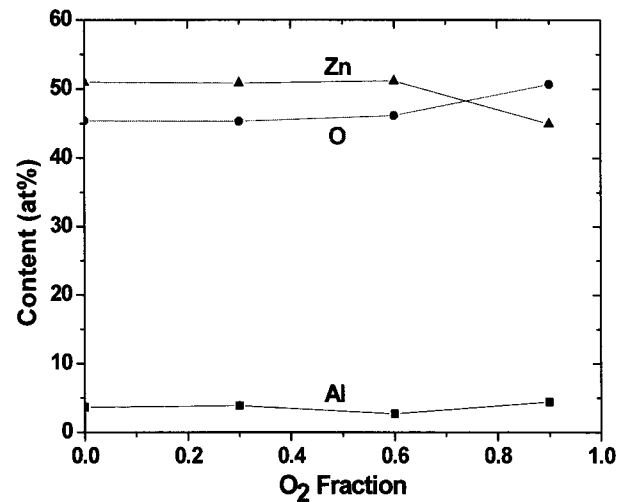


그림 8. AZO 박막에 대한 산소분압에 따른 원소들의 함유량 (at %) 변화

Fig. 8. Variation of element content (at%) with O₂ fraction for AZO thin films.

그림 8은 XPS로부터 얻은 AZO 박막에 대한 산소분압에 따른 원소들의 함유량 (at %) 분석에 대해 나타내고 있다. 그림 8로부터 산소분압이 증가함에 따라 박막 내의 산소량이 증가 하는 것을 확인하였다. 또한 산소분압이 0 - 0.6의 범위에서는 박막 내에 O의 양이 Zn의 양보다 부족한 상태인 O₂- deficient 상태로 도너 결함인 V_O이나 Zn_i이 우세하여 n형 전도도를 나타내고, 반면에 산소분압이 0.9에서는 박막 내에 O의 양이 Zn의 양보다 풍부한 상태인 O₂-rich 상태로 억셉터 결함인 O_i가 우세하여 p형 전도도를 나타낸다고 생각된다. 이

결과는 앞에서 기술된 그림 2의 XRD결과, 그림 4의 PL 결과 및 그림 5의 Hall 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

앞에서 제시된 그림 5로부터 산소분압이 0에서 0.6으로 증가하면 AZO 박막의 carrier 농도는 $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 에서 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 감소하는데 이는 산소량이 AZO 박막내에 많이 들어갈수록 V_o 의 농도가 감소하여 carrier 농도를 감소시킨 것으로 보인다. 그러나 그림 4의 PL 결과에서는 이와 다르게 산소분압이 0인 AZO박막에 비해 산소분압이 0.3인 박막의 경우 2.0- 2.06eV 근처의 V_o , Zn_i 와 같은 donor defect 관련 peak세기가 더 증가하였다. 이는 그림 6과 7의 AFM 결과로부터 알 수 있듯이 PL peak 세기가 박막 표면의 거칠기에 따라 변화할 수 있다는 것을 암시하고 있다.

또한 앞서 기술 된 산소분압 0.9인 조건에서 증착된 film에서 얻어진 특성들은 6개월이 지난 현재의 경우에도 안정적으로 잘 유지 되고 있으며 앞으로의 aging 특성 변화에 관심을 갖고 후속연구를 진행시킬 예정이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 산소분압이 RF 마그네트론 스퍼터링으로 증착된 AZO 박막의 전기적, 광학적, 구조적인 성질에 미치는 영향을 체계적으로 연구하였다. XRD 결과로부터 더 큰 산소분압으로 증착된 AZO 박막 내에서 더 많은 O 원자들이 박막 내부로 주입되어 AZO 구성원자들의 재배열을 더 어렵게 만드는 환경을 조성하여 그 결과 박막 내부에 더 작은 grain size을 가지는 더 약화된 결정 구조가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. PL 결과는 산소분압이 0.6까지 증가하면 도너 결함에 해당하는 V_o 이나 Zn_i 이 형성되어 AZO박막 들이 n형 전도도의 특성을 나타낸 반면 0.9의 산소분압을 사용하면 AZO 박막은 억셉터 결함인 O_i 의 형성으로 인하여 p형 전도도의 특성을 나타내었다. Hall 측정 결과에서 얻은 산소분압 증가에 따른 비저항의 증가는 산소분압의 증가로 AZO박막 내에 유입되는 산소의양이 증가하기 때문으로 생각되었다. 또한 Hall 측정으로부터 산소분압이 0 - 0.6 사이에서는 n형의 전도도를 유지하다가 더 높은 산소분압인 0.9에서는 p형 전도도로 변화됨을 관찰 할 수 있었다. 그리고 XPS 결과로부터 산소분압이 증가함에 따라 박막내의 산소양이 증가 하는 것을 확인하였고 산소분압이 0 - 0.6의 범위에서는 박막 내

에 O의 양이 Zn의 양보다 부족하여 n형 전도도를 나타낼 수 있고, 반면에 산소분압이 0.9에서는 박막 내에 O의 양이 Zn의 양보다 풍부한 상태여서 p형 전도도를 나타낼 수 있다는 것을 확인하였다. 결론적으로 XPS 결과는 XRD결과, PL결과 및 Hall 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. AFM 결과는 0의 산소분압으로 증착된 AZO 박막의 표면 거칠기가 산소분압이 0.3 - 0.9로 증착되었을 때의 박막의 거칠기보다 큰 것을 보여주고 있는데 이는 산소분압이 존재할 때 AZO 박막을 증착하면 유입되는 산소원자들이 거친 표면의 void를 채운다고 생각되었다.

참 고 문 헌

- [1] D. J. Chadi, Phys. Rev. B. 59, 15181 (1999)
- [2] T. M. Barnes, K. Olson, and C. A. Wolden, Appl. Phys. Lett. 86, 112112 (2005)
- [3] S. Limpijumnong, S. B. Zhang, S. H. Wei, and C. H. Park, Phys. Rev. Lett. 92, 155504 (2004)
- [4] Y. R. Ryu and T. S. Lee, J. H. Leem, Appl. Phys. Lett. 83, 4032 (2003)
- [5] G. Xiong, J. Wilkinson, B. Mischuck, S. Tuzemen, K. B. Ucer and, R. T. Williams, Appl. Phys. Lett. 80, 1195 (2002)
- [6] T. Ratana, P. Amornpitoksuk, and S. Suwanboon, J. Alloys Compd. 470, 408 (2009).
- [7] Y. Liu, Q. Li, and H. Shao, J. Alloys Compd. 485, 529 (2009).
- [8] J.-H. Lee and J.-T. Song, Thin Solid Films 516, 1377 (2008).
- [9] K.E. Lee, M. Wang, E.J. Kim, and S.H. Hahn, Curr. Appl. Phys. 9, 683 (2009).
- [10] C. Li, M. Furuta, T. Matsuda, T. Hiramatsu, H. Furuta, and T. Hirao, Thin Solid Films 517, 3265 (2009).
- [11] Y.C. Lin, M.Z. Chen, C.C. Kuo, and W.T. Yen, Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects 337, 52 (2009).
- [12] S. Fernandez, A. Martinez-Steele, J.J. Gandia, and F.B. Naranjo, Thin Solid Films 517, 3152 (2009).
- [13] Y.J. Li, Y.W. Kwon, M. Jones, Y.W. Heo, J. Zhou, S.C. Luo, P.H. Holloway, E. Douglas, D.P. Norton, Z. Park, and S. Li, Semicond. Sci. Technol. 20, 720 (2005).
- [14] D.C. Paine, B. Yaglioglu, Z. Beiley, and S. Lee, Thin Solid Films 516, 5894 (2008).

- [15] B. Yao, L.X. Guan, G.Z. Xing, Z.Z. Zhang, B.H. Li, Z.P. Wei, X.H. Wang, C.X. Cong, Y.P. Xie, Y.M. Lu, and D.Z. Shen, *J. Lumin.* 122-123, 191 (2007).
- [16] H.P. He, F. Zhuge, Z.Z. Ye, L.P. Zhu, F.Z. Wang, B.H. Zhao, and J.Y. Huang, *J. Appl. Phys.* 99, 023503 (2006).
- [17] B. D. Cullity, *Elements of X-ray diffraction* (Addison-Wesley, Massachusetts, 1978), p. 102
- [18] E.-J. Yun, H.-S. Park, K. H. Lee, and H. G. Nam, "Characterization of Undoped ZnO Films Post-Annealed by Using Helium Gas" *J. Korean Phys. Soc.* 54, 825 (2009).
- [19] G. Hu, H. Gong, E.F. Chor, and P. Wu, *Appl. Phys.Lett.* 89, 251102 (2006).
- [20] E.-J. Yun, H.-S. Park, K.H. Lee, H.G. Nam, and M. Jung, *J. Appl. Phys.* 103, 073507 (2008).
- [21] E. Gür, H. Asil, C. Coşkun, S. Tüzemen, K. Meral, Y. Onganer, and K. Şerifoğlu, *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res., Sect. B* 266, 2021 (2008).
- [22] X.Q. Wei, B.Y. Man, M. Liu, C.S. Xue, H.Z. Zhuang, and C. Yang, *Physica B* 388, 145 (2007).
- [23] E.-J. Yun, J.W. Jung, Y.H. Han, M.-W. Kim, and B.C. Lee, *J. Appl. Phys.* 105 (2009) 123509.
- [24] G.Z. Xing, B. Yao, C.X. Cong, T. Yang, Y.P. Xie, B.H. Li, and D.Z. Shen, *J. Alloys Compd.* 457, 36 (2008).
- [25] D.H. Fan, Z.Y. Ning, and M.F. Jiang, *Appl. Surf. Sci.* 245, 414 (2005).
- [26] H. Priller, M. Decker, R. Hauschild, H. Kalt, and C. Klingshirn, *Appl. Phys. Lett.* 86, 111909 (2005).
- [27] S.W. Xue, X.T. Zu, W.G. Zheng, M.Y. Chen, and X. Xiang, *Physica B* 382, 201 (2006).
- [28] M.A. Reshchikov, H. Morkoc, B. Nemeth, J. Nause, J. Xie, B. Hertog, and A. Osinsky, *Physica B* 401-402, 358 (2007).
- [29] D.H. Kong, W.C. Choi, Y.C. Shin, J.H. Park, and T.G. Kim, *J. Korean Phys. Soc.* 48, 1214 (2006).
- [30] S.-M. Park, T. Ikegami, K. Ebihara, and P.-K. Shin, *Appl. Surf. Sci.* 253, 1522 (2006).

— 저 자 소 개 —



윤 의 중(정회원)-교신저자
1985년 고려대학교 전자공학과
학사 졸업.
1988년 U. of Texas, Austin,
Electrical Engineering
석사 졸업.
1994년 U. of Texas, Austin,
Electrical Engineering
박사 졸업.

2010년 현재 호서대학교 시스템제어공학과 교수
1994년~1996년 미국 U. of Texas, Austin, 부설
Center for Magnetics
Post-Doctor 연구원.

2004년 9월~2005년 8월 미국 U. of Texas,
Austin, 나노입자연구소 연구교수.

<주관심분야 : RF 주파수에서 동작하는 미소자
성소자의 개발, 자성체 나노입자 합성 및 개발,
고 에너지 전자빔 조사 및 plasma 처리에 의한
ZnO 특성 최적화와 ZnO 박막을 이용한
optoelectronic device 개발, etc>



정 명 희(정회원)
1989년 서울대학교 계산통계학과
학사 졸업.
1991년 미국 University of Texas
at Austin 통계학과 석사
졸업.
1997년 미국 University of Texas
at Austin 산업공학과
박사 졸업.

2010년 현재 안양대학교 디지털미디어공학과
부교수.

1994년~1997년 미국 University of Texas at
Austin 부설 Center for Space Research
연구원.

1997년~1998년 삼성 SDS 선임연구원.
<주관심분야 : 통신, 시뮬레이션, 영상처리, 원격
탐사영상 분석, etc>



박 노 경(정회원)
1984년 고려대학교 전자공학과
학사 졸업.
1986년 고려대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업.
1990년 고려대학교 대학원
전자공학과 박사 졸업.

1985년~1989년 삼성반도체통신 반도체설계
연구소 연구원

2010년 현재 호서대학교 정보통신공학과 교수
1999년~2000년 Oregon State Univ. 연구교수
<주관심분야 : IT system design, CAD, IC chip
설계, SOC 설계, 임베디드 시스템 설계, IPTV &
wireless broadband internet, etc>