

## 기판온도 및 수소 분위기 가스에 따른 IGZO 투명전도성박막의 구조적 및 전기적 특성

배장호<sup>\*</sup> · 이규만<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학부 미래융합공학전공

### Effect of Substrate Temperature and Hydrogen Ambient Gases on the Structural and Electrical Characteristics of IGZO Thin Films

Jang Ho Bae<sup>\*</sup> and Kyu Mann Lee<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>Future Convergence Engineering Major, Dept. of Energy, Materials and Chemical Engineering,  
Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

We have investigated the effect of the substrate temperature and hydrogen flow rate on the characteristics of IGZO thin films for the TCO (transparent conducting oxide). For this purpose, IGZO thin films were deposited by RF magnetron sputtering at room temperature and 300°C with various H<sub>2</sub> flow rate. Experiments were carried out while varying the hydrogen gas flow rate from 0sccm to 1.0sccm in order to see how the hydrogen gas affects the IGZO thin films. IGZO thin films deposited at room temperature and 300°C showed amorphous. The lowest resistivity value was  $0.379 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}$  when the IGZO film was deposited at 300°C and set up at 1.0sccm. As the oxygen vacancy rate increased, the resistivity intended to decrease. In conclusion, Oxygen vacancy affects the IGZO thin film's electrical characteristic.

**Key Words :** IGZO thin film, RF-magnetron sputtering, substrate temperature, hydrogen flow rate

#### 1. 서 론

빠르게 변화하고 있는 고도의 정보화 사회인 현재, 수 많은 정보들 사이에서 양질의 정보를 얻고 정확한 정보를 전달하는 것에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 관심 속에서 시각화된 정보를 전달하는 디스플레이 기술에 대한 수요는 점점 증가하고 있으며, 한동안 지속될 것이다. 특히 휴대성이 중요해지며 점점 경량화, 박막화, 소형화는 물론 고화질과 유연성까지 여러 요구를 받게 되었다. 이로 인해 각종 평판디스플레이(FPD, Flat Panel Display)의 개발에 많은 연구가 집중되고, 현재는 OLED (Organic Light Emitting Diode), Flexible Display까지 개발과 상용화가 이

루어지고 있다. OLED는 고분자 필름 기판이 사용되어 LCD 보다 가볍고 두께와 가격에 유리하며 Flexible Display를 제작 가능하다는 장점이 있다. 이에 따라 각종 디스플레이 소자의 기본인 투명 전도성 산화물(TCO, Transparent Conducting Oxide) 재료개발과 기술연구가 증가하고 있다[1-3].

TCO 박막 중 가장 많이 사용되고 있는 것은 ITO (Indium Tin Oxide)이다. ITO는 N-type의 특성을 띠는 산화물 반도체로, 넓은 밴드갭으로 가시광영역에서 높은 투과도와 낮은 비저항을 보여 박막 디스플레이에 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 ITO 박막을 얻기 위해서는 250°C 이상에서 증착 후 300°C 이상에서 후열처리를 하는 등의 고온 공정이 필요하다. 고온 공정을 진행하게 되면 박막의 결정화가 진행되며, 이에 따라 박막의 표면 거칠기가 증가하게 되면서 소자의 안정성이 떨어진다.[4-5].

<sup>\*</sup>E-mail: kmlee@koreatech.ac.kr

이러한 이유로 ITO의 단점을 보완할 수 있는 투명 전극 소재를 찾는 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 그 중 IGZO(Indium gallium zinc oxide)는 고체 산화물  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ 가 결합된 투명 반도체 산화물 소재로, 가시광선 영역에서 80% 이상의 우수한 광 투과도를 갖는다. 또한, 인듐 함유율을 통해서 높은 이동도를 나타내면서, 고속 회로 구현에 적합한 소재이며, 저온에서 제작이 가능하여 생산 효율성이 높은 장점을 가진다또한, IGZO 금속 산화물은 Chemical vapor deposition, Ink jet, Pulse laser deposition, RF Magnetron Sputtering 등의 다양한 방법을 통해서 증착된다 [6-8].

이번 연구에서는 RF magnetron sputtering을 이용하여 IGZO 박막을 증착하였으며, 증착 온도 및 수소 가스의 유량이 구조적 및 전기적 특성에 어떻게 영향을 미치는지에 대하여 분석하였다.

## 2. 실험 방법

이 연구에서 박막 증착에 사용된 타겟은  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  (90/5/5 wt%)이고 직경 3인치의 고밀도 IGZO이며, RF magnetron sputtering 장비를 이용하여 Corning 7059 glass에 증착하였다. 유리 기판은 불순물 제거를 위해 아세톤, 에탄올, 중류수 순으로 각각 10분씩 초음파 세척기를 사용하여 세척한 후 질소 가스로 건조하였다.

박막 증착 전, 타겟 표면의 불순물 제거와 스퍼터 방전 안정화를 위하여 70W의 파워로 10분간 전처리 스퍼터링 (pre-sputtering)을 실시 하였고, 타겟과 기판의 거리는 약 7cm로 진행하였다. 플라즈마 생성을 위한 Ar gas는 40 sccm으로 고정하였고, 반응 가스인  $\text{H}_2$ 는 0 sccm부터 1 sccm까지 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 조절하며 실험하였다. 박막의 두께는 200 nm로 고정하였고, 이 외의 실험 결과에 영향을 줄 수 있는 공정조건들은 선행 실험을 통해 찾은 최적 조건으로 고정하여 진행하였다.

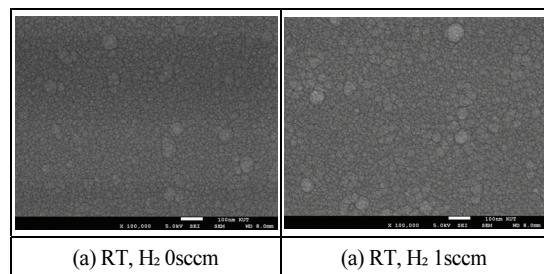
**Table 1.** Sputtering conditions of IGZO films

Deposition parameters	Conditions
Target	$\text{In}_2\text{O}_3 / \text{Ga}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}$ (90/5/5 wt%)
Substrate	Glass (corning 7059)
Initial pressure(torr)	$5.0 \times 10^{-5}$
Working pressure (torr)	$3.0 \times 10^{-3}$
Film thickness(nm)	200
Substrate temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	RT( $25^{\circ}\text{C}$ ) ~ $400^{\circ}\text{C}$
RF power(W)	70
Deposition time(min)	40
Gas ambient(sccm)	Ar:40, $\text{H}_2$ flow rate: 0.1-1.0

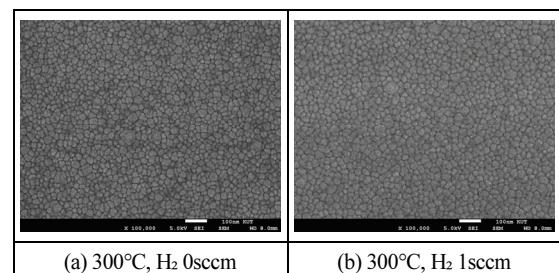
증착된 IGZO 박막의 표면 미세구조와 거칠기 분석을 위해 FE-SEM (Field Emission-Scanning Electron Microscopy, JEOL, JSM7500F), AFM(Atomic Force Microscope, PUCOTECH, MOD-1M)을 이용하였다. 결정구조 분석을 위하여 X-ray diffraction (RIGAKU, RTP300RC)을 이용하였고 carrier concentration, mobility, resistivity 등의 전기적 특성은 Hall effect measurement (HMS-3000)로 측정하였다. 성분 분석 및 전기적 특성의 추가적 분석을 위해 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)를 이용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1과 2는 챔버 내의 가스 분위기 및 기판 온도에 따라 증착된 IGZO 박막의 구조적 특성 분석을 위해 측정한 FE-SEM의 사진이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 상온에서 증착했을 경우 분위기 가스와 관계없이 원형의 입자들이 보이고, 눈에 띠는 입자 크기의 변화는 보이지 않는다. Fig 2는  $300^{\circ}\text{C}$ 에서 증착된 IGZO 박막의 사진으로, 상온에서의 결과와 같이 눈에 띠는 입자크기의 변화는 보이지 않는다.



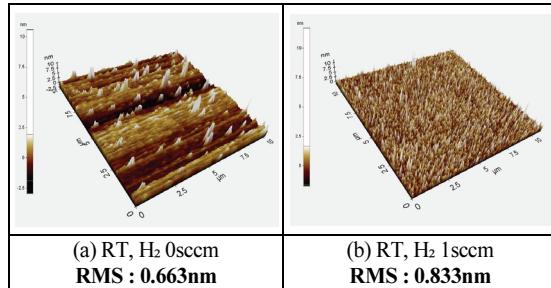
**Fig. 1.** FE-SEM image of IGZO thin film deposited at room temperature with  $\text{H}_2$  flow rate from 0 to 1 sccm.



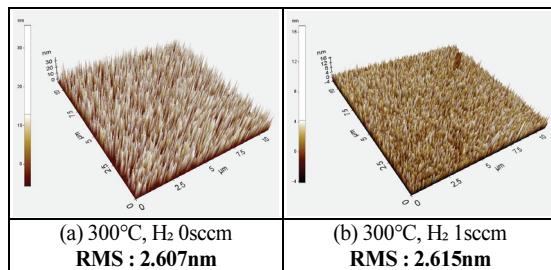
**Fig. 2.** FE-SEM image of IGZO thin film deposited at  $300^{\circ}\text{C}$  with  $\text{H}_2$  flow rate from 0 to 1 sccm.

Fig. 3과 4는 증착된 IGZO 박막의 표면 특성을 알아보기 위해 측정한 AFM 사진이다. 상온에서 증착된 박막의 표

면거칠기는 1nm이하로 매우 평탄하며, 300°C에서 증착된 박막은 거칠기가 증가하였다. FE-SEM 분석 결과와 마찬가지로 수소유량 변화에 따른 RMS 증가는 보이지 않는다.



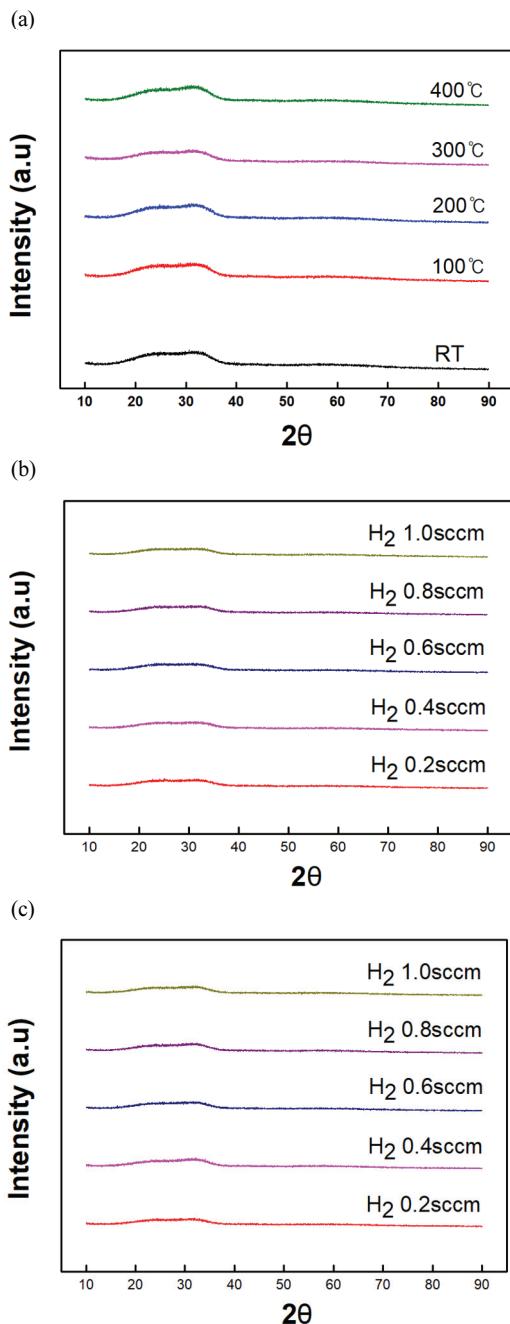
**Fig. 3.** AFM image of IGZO thin film deposited at room temperature with H<sub>2</sub> flow rate from 0 to 1 sccm.



**Fig. 4.** AFM image of IGZO thin film deposited at 300°C with H<sub>2</sub> flow rate from 0 to 1 sccm.

Fig. 5는 증착된 IGZO 박막의 결정구조 특성을 알아보기 위하여 측정한 XRD 패턴을 나타낸 그래프이다. 모든 온도 영역 (Fig. 5(a))에서 특정 피크가 발생하지 않은 것으로 보아, 비정질 구조라는 것을 알 수 있다. 또한, 수소 분위기 가스를 흘려주었을 때(Figs. 5(b) and (c))에도 특정 피크가 발생하지 않아 박막의 결정화가 일어나지 않는 비정질 구조를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 6은 전기적 특성을 알아보기 위해 Hall measurement로 측정한 결과이다. Fig. 6(a)에 나타낸 비저항은 상온보다 300°C에서 더 낮은 값을 보였으며 두 온도 모두 감소하는 경향을 보인다. 상온에서의 비저항 최저값은  $5.24 \times 10^5 \Omega$ 이며 300°C에서의 최저값은  $0.379 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 이다. Fig. 6(b)는 전하 이동도의 값을 나타내었다. 두 온도 모두 수소가스량이 증가할수록 이동도가 증가하는 경향을 보인다. Fig. 6(c)는 캐리어농도의 값을 나타내었고, 두 온도 모두 점차 상승하는 경향을 보였다. 이는 수소가 유입됨에 따라 챔버 내에 형성된 환원성 분위기 때문에 IGZO의 산소가 환원되어 캐리어 생성기구인 산소공공이 형성되고 이 산소공공에 의하여 캐리어가 발생되기 때문이다[9-11].



**Fig. 5.** X-ray diffraction pattern of IGZO thin films deposited at (a) various temperature, (b) RT and (c) 300°C with H<sub>2</sub> flow rate from 0 to 1 sccm.

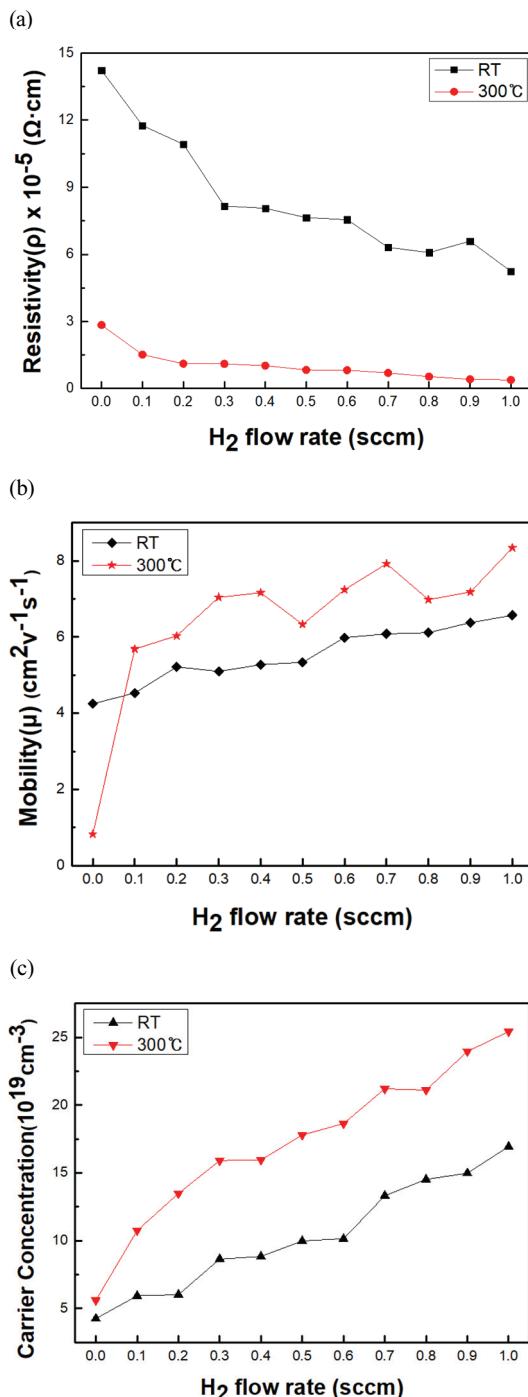


Fig. 6. (a) Resistivity, (b) mobility and (c) carrier concentration of IGZO thin films deposited at different temperature with  $\text{H}_2$  flow rate from 0 to 1 sccm.

Fig. 7은 IGZO 박막의 산소 성분인 O1s의 XPS 스펙트럼을 피팅한 결과이다. TCO의 O1s를 분석하면 결합에너지(binding energy)에 따라 high, middle, low의 세가지 피크로 나뉘진다. 먼저, high peak는 표면의 -OH기 등의 성분에 관련되어 있고, middle peak는 산소 공공 등의 산소 결합에 관련되어 있다. Low peak는 격자 내의 산소를 나타낸다[12,13]. 두 온도 모두 0 sccm보다 1 sccm의 middle peak 면적이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 수소유량이 증가함에 따라 산소공공의 양이 증가함을 나타내는 것으로 증착 시 주입된 수소에 의해 챔버 내에 환원성 분위기가 형성되어 산소공공이 증가한다는 hall measurement의 결과를 뒷받침해주는 내용이 된다.

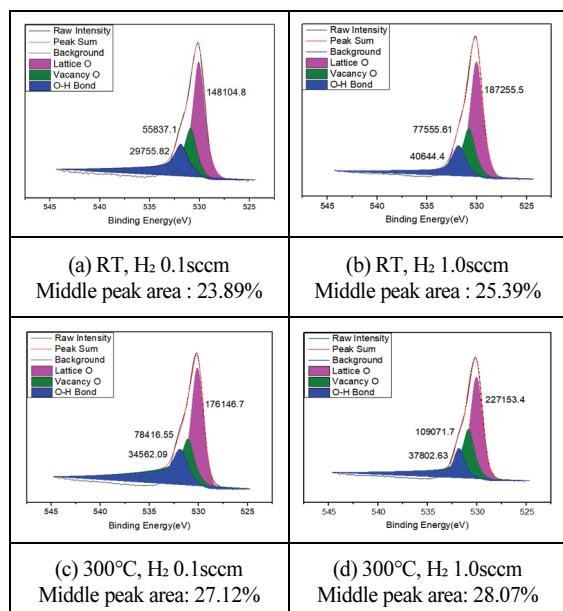


Fig. 7. XPS spectra of IGZO thin films deposited at different temperature with  $\text{H}_2$  flow rate from 0 to 1 sccm.

#### 4. 결 론

- (1) 수소 유량별로 증착된 IGZO의 표면, 구조적 특성은 상온과 300°C 모두 비정질 상임을 확인할 수 있었다.
- (2) 수소 개수 유량이 증가할수록 전기비저항이 점진적으로 감소하였으며, 상온에서보다 300°C에서 증착된 박막의 비저항이 작음을 알 수 있다. 300°C, 수소 1sccm 조건에서 증착된 박막의 최저 비저항 값은  $0.379 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 이다.
- (3) XPS를 통한 O1s의 성분 분석에서는 수소를 첨가하

였을 때 산소공공을 뜻하는 middle peak가 증가하였다. 이는 수소유량이 증가함에 따라 산소공공의 양이 증가함을 나타낸다.

## 감사의 글

본 논문은 교육부의 재원으로 한국연구재단의 BK21 FOUR 사업, 2020학년도 한국기술교육대학교 교수교육연구진흥과제 및 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업(2021RIS-004)의 결과입니다.

## 참고문헌

- K. Ishibashi, K. Hirata, and N. Hosokawa, "Mass spectrometric ion analysis in the sputtering of oxide targets", Journal of Vacuum Science & Technology A., 10, Iss. 4, pp. 1718-1722 (1992).
- K. Tominaga, T. Udea, T. Ao, A. Katkoka, and I. Mori, "ITO films prepared by facing target system", Thin Solid Films, 281-282, pp. 194-197 (1996).
- Y. Hoshi, H. Kato, and K. Funatsu, "Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering", Thin Solid Films, 445, pp. 245-250 (2003).
- Radhouane Bel Hadj Tahar, Takayuki Ban, Yutaka Ohya, and Yasutaka Takahashi, "Tin doped indium oxide thin films: Electrical properties", J. Appl. Phys., 83, pp. 2631-2645 (1998).
- Tania Konry, Robert S. Marks, "Physico-chemical studies of indium tin oxide-coated fiber optic biosensors", Thin Solid Films, 492, pp. 313-321 (2005).
- Takafumi Aoi, Nobuto Oka, Yasushi Sato, Ryo Hayashi, Hideya Kumomi and Yuzo Shigesato. "DC sputter deposition of amorphous indium-gallium-zinc-oxide(a-IGZO) films with H<sub>2</sub>O introduction", Thin Solid Films, 518, pp. 3004-3007 (2010)
- H. Hosono, "Ionic amorphous oxide semiconductors: Material design, carrier transport, and device application", Journal of non-crystalline solids, 352, pp.851-858 (2002).
- K. Nomura, T. Kamita and H. Hosono, "Effects of diffusion of hydrogen and oxygen on electrical properties of amorphous oxide semiconductor, In-Ga-Zn-O", ECS J Solid State Sci. Technol. 2, p5-p8 (2013)
- N. Ito, Y. Sato, P.K. Song, A. Kaijio, K. Inoue, and Y. Shigesato, "Electrical and optical properties of amorphous indium zinc oxide films", Thin Solid Films, 496(1), pp.99-103 (2006).
- S. I. Hann and H. B. Kim, "A Study on Properties of RF-sputtered Al-doped ZnO Thin Films Prepared with Different Ar Gas Flow Rates," Appl. Sci. Converg. Technol. 25(6), pp. 145-148 (2016)
- K. L. Hong and K. M. Lee, "Effect of Substrate Temperature and Gas Flow Rate of Atmosphere Gases on Structural and Electrical Properties of AZO Thin Film," Journal of the Semiconductor & Display Technology, 20, pp. 1-6 (2021).
- K. K. Banger, Y. Yamashita, K. Mori, R. L. Peterson, T. Leedham, J. Rickard, and H. Sirringhaus, "Low-temperature, high-performance solution-processed metal oxide thin-film transistors formed by a 'sol-gel on chip' process", Nature Materials, 10, pp. 45-50 (2011).
- Y. S. Jung, J. Y. Seo, D. W. Lee, and D. Y. Jeon, "Influence of DC magnetron sputtering parameters on the properties of amorphous indium zinc oxide thin film", Thin Solid Films, 445, pp.63-71(2003).

---

접수일: 2022년 1월 21일, 심사일: 2022년 3월 11일,  
제재확정일: 2022년 3월 25일