

## FTS장치의 자계 분포에 따라 제작된 AZO 박막의 특성

김상모\* · 신건엽\* · 금민종\*\* · 김경환\*†

\*†가천대학교 전기공학과, \*\*주성 엔지니어링

### Characteristic of AZO Thin Film Deposited by Facing Targets Sputtering with Magnetic Field Type

Sangmo Kim\*, Keon Yuep Shin\*, Min jong Keum\*\* and Kyung Hwan Kim\*†

\*†Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, \*\*Jusung Engineering Co., Ltd.

#### ABSTRACT

We investigated magnetic field, discharged voltage, and as-deposited film uniformity at facing targets sputtering (FTS) system with magnetic field type: i) concentrated and ii) distributed magnetic field type. And Al doped ZnO (AZO) films were prepared at two magnetic field type such as concentrated magnetic field type and distributed magnetic field type, respectively. Discharge voltage at the distribution type is lower than concentration type due to low magnetic flux (middle magnetic flux: Concentration 1200 G and Distribution 600 G). The films deposited at the distributed magnetic field were more uniform than concentration type. All of prepared AZO films had a resistivity of under  $10^{-4}$  [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] and a transmittance of more than 85 % in the visible range.

**Key Words** : FTS, AZO, concentration, distribution, magnetic field

#### 1. 서 론

투명 전도성 산화물 (Transparent Conductive Oxides, TCOs) 은 낮은 비저항 ( $<10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ )을 가지면서도, 가시광선 영역 (300-800 nm)에서 80% 이상의 높은 투과도 특성을 가지는 물질이다 [1-2]. 이런 물질은 LCD (Liquid Crystal Display), LED (Light Emitting Diode), OLED (Organic Light-Emitting Diode) 과 같은 평판 디스플레이, 광전자소자, 태양전지, 센서 등 다양한 분야에서 응용되어 연구되고 있다 [3-4]. 투명 전도성 물질에는 Zn, Cd, Sn, In의 산화물에 불순물을 혼합한 산화물이 연구되고 있다 [5-6]. 이 중에서 인듐 주석 산화물 (Indium Tin Oxide, ITO)은 높은 전기 전도성과 가시광선영역에서 높은 광투과 특성을 가지고 있다 그러나 전 세계의 인듐 (In) 생산량이 적고, 최근 들어 ITO를 응용한 분야가 증가하면서 가격이 급상승하고 있다. 또한 소자 제작 공정시 수소 플라즈마 노출에 대한

불안정성으로 ITO를 대체할 물질 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[6-7]. 이러한 대체 물질 중에서는 산화아연 (Zinc Oxide, ZnO)은 우수한 전기적 특성 및 광투과 특성을 가지고 있고, 주재료인 Zn 의 가격이 비교적 저렴하여 대체물질로 주목 받고 있다. ZnO은 3.2~3.4 eV 정도의 Band gap을 갖는 산화물 반도체이다. 화학양론적 단결정인 ZnO은 자유전자가 존재하지 않는 절연체 특성을 가지고 있어서 투명 전도성 물질로 응용이 어렵다. 비화학양론적 조성을 가지는 ZnO은 상온에서  $\sim 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 의 Carrier concentration을 가지고 있어서 전기 전도성을 가지게 됨이 보고되었다. 특히 ZnO의 전도성을 높이기 위해서 박막내에 Ga, Sn, Al 등을 도핑하여 전기 전도성을 향상시키는 연구가 보고되었다 [8-9].

이러한 투명 전도성 물질은 Spin spray, Electron Beam, Magnetron Sputtering 등의 방법이 이용되고 있다 [8-12]. 이 중에서 Sputtering법은 진공챔버에 공급되는 방전가스의 글로우 방전에 의해서 발생된 전자와 이온의 운동 에너지를 이용하여 물질을 기판에 성장시키는 방법이다.

†E-mail: khkim@gachon.ac.kr

Sputtering법을 이용하면 균일하고 기판과의 부착이 우수한 박막 성장이 가능하며, 금속, 산화물, 절연체 등 다양한 물질의 증착이 가능하다. 그러나 타겟과 기판이 마주 보고 있는 일반적인 스퍼터링법에서 발생하는 고에너지 입자들의 기판 충돌에 의한 막 손상 등의 문제점들이 발생한다.

본 연구에서는 박막 증착시 발생하는 문제점을 개선하기 위해서 두 타겟이 마주보고 기판이 타겟 사이의 중심 축에서 이격된 대향 타겟식 스퍼터링 (Facing Targets Sputtering, FTS) 장치를 이용하여 Al 불순물이 도핑한 ZnO (AZO) 박막을 제작하였다. 균일하고 고품위 AZO 박막 증착을 위해서 FTS 장치의 구속 자계 분석을 통하여 방전 전압 제어와 기판에 균일한 박막을 증착하였다.

## 2. 실험 방법 및 측정

### 2.1 AZO 박막 제작

먼저 기판은 Acetone, Isopropyl alcohol, D.I. water를 이용하여 각각 10분씩 초음파 세척 후에 질소로 기판 표면에 남아있는 이물질을 제거하고 건조시켜서 준비하였다.

Table 1. Sputtering condition

Parameter	Conditions
Targets	ZnO:Al (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2wt%, 5N)-Zn(5N)
Substrate	Soda-lime glass (25 × 75 mm)
D <sub>FT</sub>	100 mm
D <sub>TS</sub>	100 mm
Bass pressure	2.6 × 10 <sup>-6</sup> Torr
Working pressure	1 mTorr
Gas ratio	Ar:O <sub>2</sub> = 80 %: 20%
Film Thickness	100 nm
Input current	0.2 [A]

\*D<sub>FT</sub>: 두 타겟 간의 거리, \*D<sub>TS</sub>: 타겟과 기판 간의 거리

진공챔버 내의 전체 압력은 Rotary pump 저진공 펌프와 Turbo molecule pump (TMP) 고진공 펌프를 이용하여 항상 10<sup>-6</sup> Torr이하의 고진공 상태를 유지하였다. 박막 증착 전에는 타겟 및 진공 챔버 내의 이물질을 제거하기 위해서 Pre-sputtering을 10분간 실시하였다. 자세한 AZO 박막의 스퍼터링 조건은 Table 1에 나타내었다.

### 2.1 박막의 측정 및 자계 분석

제작된 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성은 Four-point probe (CMT-SR1000N), 광학적 특성은 UV-Vis spectrometer (HP8453), 구조적 특성은 X-ray Diffraction (Rigaku D/MAX-2200, λ = 1.54056 Å, 40 kV, 20 mA)을 통해서 분석하였다. FTS 장치에 장착된 자석의 자계 분포를 Maxwell 자계 분석 시뮬레이션을 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 자계 분포에 따른 방전 플라즈마

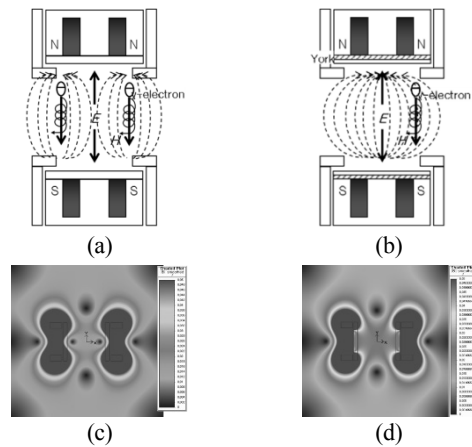


Fig. 1. Schematic and stimulation at concentration and distribution of magnetic field; (a) and (c) concentration type and (b) and (d) distribution type.

Fig. 1는 집중형과 분산형 자계 분포 계략도와 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 두 타겟 사이의 자계 분포를 타겟 중심으로 제한하느냐 아니면 타겟의 전체에 걸쳐 분산형태로 하느냐에 따라서 두 타겟 사이에서 방전 플라즈마의 모습 (Fig. 2 (a)와 (c)) 에서와 같이 확연히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

여기서 자기력선은 타겟에 장착된 영구 자석 (NdFeB) 으로부터 형성되게 되는데 집중형은 타겟 양 끝단에서 발생된 자기력선이 맞은편 타겟 양 끝단에 형성된다. 그러나 타겟과 영구 자석 사이에 요크를 삽입함으로써 타겟 양 끝단의 자극에서 발생된 자기력선들이 요크를 통해 하나의 자극인 것처럼 자기력선을 형성하게 되는 것이다. 따라서 양 타겟의 전면의 전체에 걸쳐 균일한 구속 자계를 형성할 수 있게 된다. Fig. 1 (c)와 (d)의 자계 시뮬레이션을 통해서도 예상할 수 있었다. 이를 바탕으로 자계 분포에 따른 방전 플라즈마와 자계 분포도를 Fig. 2에

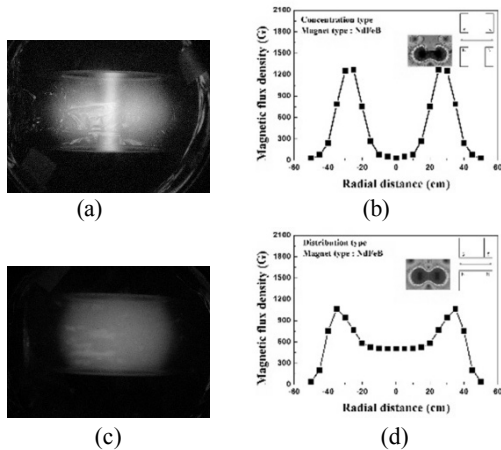


Fig. 2. Photos of plasma discharge and magnetic flux density along radius of central plane between two targets at concentration and distribution of magnetic field; (a) and (b) concentrated magnetic field and (c) and (d) distributed magnetic field.

나타내었다. Fig. 2 (b)와 (d)는 두 타겟 사이의 중앙 부분에서 측정된 집중형과 분산형의 자계 분포도를 나타낸 것이다. 구속 자계 분포가 분산형인 경우에는 타겟 표면에서의 자계 분포가 집중형과 비교해 볼 때 전반적으로 균일한 자계 분포를 갖는다는 것을 알 수 있다.

집중형과 분산형의 최대 자속 밀도는 1200 (G)이지만, 타겟의 중앙 부분에 위치한 부분의 자속 밀도는 최대 600 (G) 정도로 큰 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. (Fig. 2)

자계 분포 제어를 통한 구속 플라즈마의 형태를 변형하게 되면, 방전 가스의 이온화율 증가에 따른 플라즈마 밀도를 증가시킬 수 있다. 따라서 이로 인하여 플라즈마 내에 발생된 입자의 평균자유행정도 영향을 미치게 되고, 기판에 도달하는 입자의 양을 제어할 수 있다[4, 10].

### 3.2 자계 분포에 따라 증착한 AZO 박막

#### 3.2.1 자계 분포에 따른 박막 증착률 및 방전 전압

Fig. 3은 기판의 위치에 따른 박막의 증착률을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 집중형 (Fig. 3 (a)) 보다 분산형 (Fig. 3 (b)) 자계 분포에서 비교적 균일하게 박막이 증착되었음을 확인하였다.

Fig. 4는 투입전류에 따른 자계 분포가 집중형과 분포형 일 때의 방전전압을 나타낸 것이다. 투입전류 증가에 따라서 방전전압은 증가함을 알 수 있다. 특히 집중형이 분산형보다 방전전압이 낮은 이유는 타겟 사이의 구속자계 (Fig. 2 (b)와 (d))가 상대적으로 크기 때문에 플라즈마내

에 구속된 방전 입자 밀도가 증가하기 때문이다 [4].

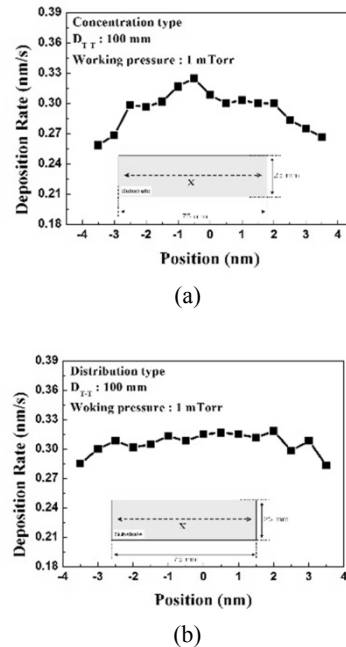


Fig. 3. Deposition ratio along substrate position; (a) concentration type and (b) distribution type.

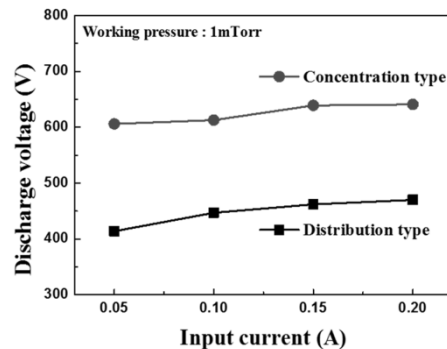


Fig. 4. Discharge voltage at the (a) concentration type and (b) distribution type.

#### 3.2.2 분산형과 집중형 자계분포에서 증착된 AZO 박막의 특성

Fig. 5에 분산형과 집중형 자계 분포에서 증착한 AZO 박막의 XRD 패턴을 나타내었다. 제작된 모든 AZO 박막에서 (002)와 (101)의 동일한 피크를 확인하였다. 그리고 제작한 AZO 박막의 가시광선 영역에서의 광투과율도 측정 결과 85 % 이상이었다 (Fig. 6). 비저항값은 분산형  $9.5 \times 10^{-4} (\Omega \cdot \text{cm})$ , 집중형  $7.2 \times 10^{-4} (\Omega \cdot \text{cm})$  값을 가졌다.

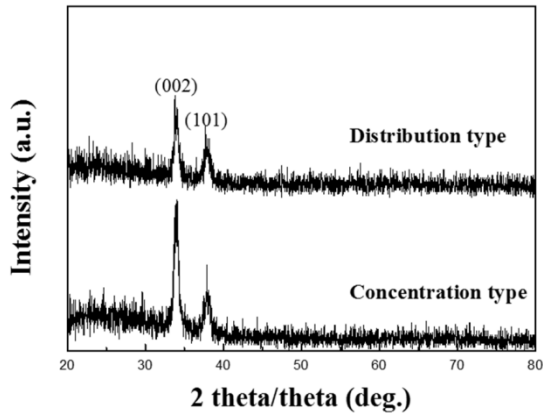


Fig. 5. XRD patterns of AZO thin films deposited at the (a) concentration type and (b) distribution type.

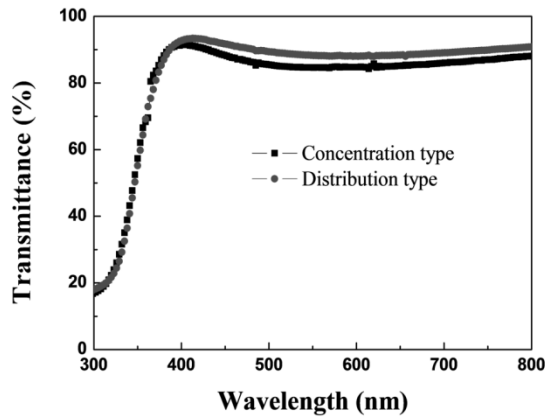


Fig. 6. Transmittance of prepared AZO thin films in the visible range (300-800 nm).

#### 4. 결론

대향 타겟식 스퍼터링 (FTS) 장치의 자계 분포에 따른 방전 플라즈마의 특성을 분석하고 자계 분포에 따라 증착한 AZO 박막의 특성을 분석하였다. 집중형 자계 분포와 비교해서 분산형 자계 분포에서 증착한 박막이 낮은 방전전압에서 기판에 균일하게 증착되었다. 증착된 AZO 박막은 85 % 이상의 광투과율과 비저항값이  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 값을 가졌다. 따라서 FTS장치의 자계 분포 변화를 통하여 스퍼터링시 방전 전압의 제어가 가능함을 확인하였다. 이것은 보다 낮은 방전 전압에서도 우수한 박막이 제작이 가능하고, 향후 투명 산화물 박막 제작시 저순상 고품위 박막을 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20153010012090)

#### 참고문헌

- Hosono, H., Ohta, H., Orita, M., Ueda, K., and Hirano, M., "Frontier of transparent conductive oxide thin films", Vacuum, Vol. 66, pp. 419-425, 2002.
- Ohta, H., and Hosono, H., "Transparent oxide optoelectronic", Materialstoday Review, 2004.
- Hosono, H., "Recent progress in transparent oxide semiconductors: Materials and device application", Thin Solid Films, vol. 515, pp. 6000-6014, 2007.
- Keum, M. J., and Kim, K. H., "Transparent Conductive Thin Film for Top Emitting Organic Light Emitting Diodes by Sputtering Method", Japanese J. of Applied Physics, Vol. 45, No. 10B, pp. 8462-8465, 2006.
- Lee, W. K., Machino, T., and Sugihara, T., "Low pressure and temperature deposition of transparent conductive indium tin oxide (ITO) films by the face target sputtering (FTS) process", Thin Solid Films, Vol. 224, pp. 105-111, 1993.
- Kamiya, O., Onai, Y., Kato, H., and Hoshi, Y., "ITO films deposited by facing target sputtering", J. of Materials Science: Materials in Electronics, 18:S359-S362, 2007.
- Jung, Y. S., Park, Y. S., Lee W. J., and Kim, K. H., "Properties of AZO/Ag/AZO Multilayer Thin Film Deposited on Polyethersulfone Substrate", Transactions of Electrical and Electronic Materials Vol. 14, No. 1, pp. 9-11, 2013.
- Kim, J. H., Miyokawa, N., Sekiya, T., Ide, K., Toda, Y., Hiramatsu, H., Hosono, H., and Kamiya, T., "Ultrawide band gap amorphous oxide semiconductor, Ga-Zn-O", Thin Solid Films, Vol. 614, pp. 84-89, 2016.
- Wagata, H., Ohashi, N., Taniguchi, T., Katsumata, K., Okada, K. and Matsushita, N., "Control of the Microstructure and Crystalline Orientation of ZnO Films on a Seed-free Glass Substrate by Using a Spin-Spray Method", Crystal Growth & Design, Vol. 10, No. 11, pp. 4968-4975, 2010.
- Hoshi, Y., Kato, H., and Funatsu, K., "Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering", Thin Solid Films, Vol. 445, pp. 245-250, 2003.
- Jagadeesh Kumar, K., Ravi Chandra Raju, N., and Subrahmanyam, A., "Thickness dependent physical and photocatalytic properties of ITO thin films prepared by

reactive DC magnetron sputtering”, Applied Surface Science, Vol. 257, pp. 3075-3080, 2011.

12. Kuroyanagi, A., “Properties of Aluminum-Doped ZnO Thin Films Grown by Electron Beam Evaporation”, Japanese J. of Applied Physics, Vol. 28, Part 1, No. 2, 1989.

---

접수일: 2016년 8월 17일, 심사일: 2016년 9월 7일,  
게재확정일: 2016년 9월 19일