

## 직류 대향타겟스퍼터링법으로 제작된 ZnO 박막의 c-축 배향성

금민종\*, 손인환\*\*, 공석현\*, 성하윤\*, 김경환\*

\* 경원대학교 공대 전기전자공학부

\*\* 신성대학 전기과

### C-axis Orientation of ZnO Thin Films Prepared by DC Facing Targets Sputtering Method

M. J. Keum\*, I. H. Son\*\*, S. H. Kong\*, H. Y. Seong\*, K. H. Kim\*

\* Department of electrical & Electronic, Kyungwon University, SunNam 461-701, Korea

\*\* Department of Electrical, ShinSung College, Tangjin 343-860, Korea

#### Abstract

We prepared ZnO thin film with Facing Targets Sputtering system that can deposit thin film in plasma-free situation and change the deposition condition in wide range. And prepared thin film's c-axis orientation and grain size were analyzed by XRD (x-ray diffractometer). In the results, we suggest that FTS system is very suitable to preparing high quality ZnO thin film with good c-axis orientation.

#### 1. 서 론

ZnO 박막은 대칭 육방정계 (hexagonal) wurtzite-type crystal로써 결정 구조에서의 이방성, 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절율과 압전 결합계수, 다양한 전기적 광학적 그리고 탄성파적 성질 때문에 현재 여러 응용 분야에서 각광을 받고 있는 재료 중의 하나이다<sup>1)</sup>.

따라서 이러한 특성을 갖는 ZnO 박막을 이용하여 광전 소자나 평판 표시 소자에 대한 투명 전도성 박막, 계기 패널에 대한 정전 방지 코팅, 압전 특성을 이용한 음향 광학소자 (acousto-optical

device), 음향-전자소자 (acousto-electronic device), 고주파용 표면 탄성과 필터 등의 소자에 사용되고 있다<sup>2)</sup>. 또한 ZnO는 그 성분 조성 및 제조 조건에 따라 저항률이 폭 넓게 변화하는 성질을 갖는데, 화학양론적인 조성을 갖는 벌크 상태의 ZnO는 원래 고저항체로서 최대  $10^{25} \Omega \text{cm}$ 까지의 저항률 값을 갖으며 이를 박막화 시키는 과정에서 Al, In 등과 같은 전도성 물질을 미량 첨가하게 되면 투명 전도막으로서 이용할 수 있는 저 저항률이 쉽게 얻어질 수 있고, Li를 첨가하거나 반응성 스퍼터링법을 이용하게 되면 압전 소자로서 응용이 가능한 약  $10^{10} \Omega \text{cm}$ 의 고 저항률을 갖는 막을 얻을

수가 있다<sup>3)</sup>.

ZnO 박막은 결정학적으로 기판에 수직인 c-축으로 우선 방위 현상(preferred orientation)을 나타내며 압전 특성을 이용하여 응용을 할 경우 높은 압전 결합계수와 비저항이 요구된다. 그러나 이 c-축 배향성은 ZnO 막의 형성 조건에 의해 큰 차이가 있다. 특히 스퍼터법을 사용하여 ZnO 막을 제작하는 경우 기판온도, 막 증착 속도, 기판의 배치 및 스퍼터 가스압 등의 스퍼터 조건이 c-축 배향에 영향을 미친다<sup>4)</sup>고 보고되고 있지만 높은 에너지를 갖는 입자들 즉 타겟에서 방출된 부의 산소 이온 등에 기인한 기판 충돌이 ZnO 막의 c-축 배향성을 악화시키는 최대 원인이라 생각된다. 따라서 스퍼터법에 의한 막 제작 시 기판이 타겟을 향하고 있는 일반적인 스퍼터법의 경우에는 타겟 침식 패턴에 상응한 막의 성장이 기판 상에서도 나타나게되어 c-축 배향성이 양호한 막을 얻기 어렵게된다. 따라서 스퍼터법을 사용하여 박막을 제작하는 경우에는 이러한 c-축 배향성 악화의 문제점을 해결해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 직류대향타겟식스퍼터법을 이용하여 0.2~10mTorr의 산소 가스압력에서 박막을 증착하였다. 직류대향타겟식스퍼터법은 플라즈마 내 높은 에너지를 갖는  $\gamma$ -전자를 구속하여 플라즈마 내의 이온화를 촉진시켜 0.2mTorr의 가스압력하에서도 안정적인 방전을 일으킬 수가 있다. 또한 막 손상의 주된 원인이었던 높은 에너지를 보유한 입자들의 기판 충돌을 최대한 억제한 공정 상에서 SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판위에 증착 조건을 변화시켜 ZnO 막을 증착 하였으며 증착 변수가 박막의 우선배향성 및 미세구조에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는, 그림 1과 같은 직류대향타겟식스퍼터링 장치를 사용하여 ZnO 박막을 제작하였다.

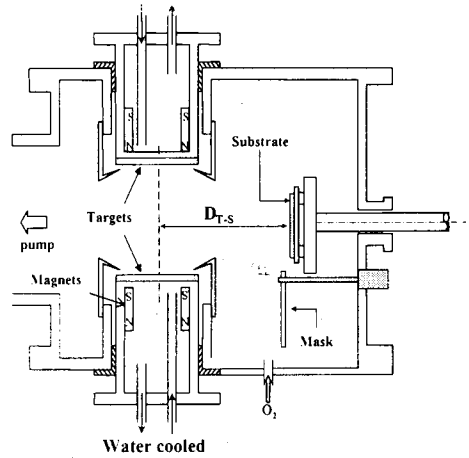


Fig. 1. Schematic diagram of the DC FTS system

그림에서 보는바와 같이 기판의 위치가 타겟을 마주보고 있지 않으며 타겟 뒷면에 영구자석을 장착, 타겟면에서 수직으로 자계를 형성시켜 타겟 사이의 공간에 형성되는 플라즈마의  $\gamma$ -전자를 구속하여 스퍼터링시 발생하는 높은 에너지를 갖는 입자들의 기판충돌에 의한 박막의 손상을 최소로 줄일 수 있다. 또한 2차 전자의 왕복운동에 의해 이온화가 촉진되어 낮은 가스 압력에서도 막을 증착 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 실험에서는 표 1에 나타난 것처럼 직경 100mm의 Zn 디스크형 타겟과 Si(100) 웨이퍼 표면을 0.5 $\mu$ m 산화시킨 (SiO<sub>2</sub>/Si)를 기판으로 하여 0.2~10mTorr의 산소 가스압, 기판온도 30 $^{\circ}$ C~500 $^{\circ}$ C, base pressure 8 $\times 10^{-7}$ Torr, 막 두께( $\delta$ ) 100~500nm로 변화시켜 ZnO 박막을 제작하였다.

제작된 ZnO 박막의 두께는  $\alpha$ -step를 이용하여

Table 1. Sputtering Condition

방전전류 I <sub>s</sub>	0.1~0.8A
가스압력 P <sub>O<sub>2</sub></sub>	0.2 ~ 10mTorr
기판온도 T <sub>s</sub>	30 $^{\circ}$ C ~ 500 $^{\circ}$ C
base pressure	8 $\times 10^{-7}$ Torr
두께 $\delta$	100~500nm
타겟	Zn (4N,99.99%), 100mm

측정하였으며 기판 온도, 막 두께, 스퍼터 가스 압력에 따른 결정학적 특성을 확인하기 위하여 XRD를 사용하여 rocking curve를 측정하여 반치폭  $\Delta\theta_{50}$ 을 조사하였으며,  $2\theta$ 를 측정하여 결정 입경  $D$ 를 확인하였다.

### 3. 결과 및 검토

#### 3. 1. 산소압에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성

Fig. 2는 기판온도 300°C, 500°C일 때 산소 가스압  $P_{O_2}$ 의 변화에 따른 반치폭  $\Delta\theta_{50}$ 의 변화를 나타낸 것이다. 기판온도  $T_s$ 가 300°C인 경우 전체 가스압 영역에서  $\Delta\theta_{50}$ 은 4°이하의 양호한 배향성을 갖으며  $P_{O_2}$ 가 0.5mTorr 부근에서  $\Delta\theta_{50}$ 이 최소 값을 갖는다. 그 이상 산소 가스압이 증가하게 되면  $\Delta\theta_{50}$ 도 증가한다. 이는 기판 표면에 도달한 스퍼터된 입자들의 mobility가 작기 때문에 에너지적으로 안정한 위치를 충분히 찾아갈 수 없게되어 결정 배향성이 나빠지는 것으로 사료된다.  $T_s$ 가 500°C인 경우에는  $P_{O_2}$ 가 1mTorr에서 가장 낮은  $\Delta\theta_{50}$ 을 나타내고있다.

#### 3. 2. 막두께에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성

Fig. 3은 제작된 ZnO 박막의 막두께 변화에 따른 결정성, 구조적 특성을 나타내고 있다. 그림에

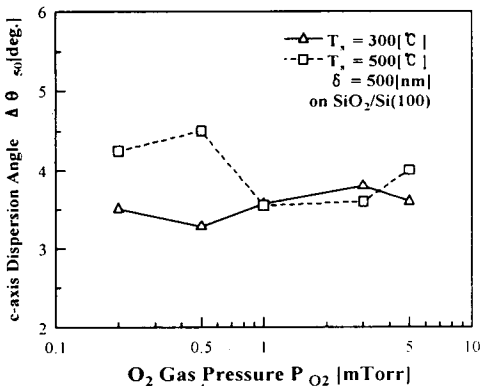


Fig. 2.  $O_2$  gas pressure  $P_{O_2}$  dependence of  $\Delta\theta_{50}$  of ZnO Thin Films with c-axis dispersion angle

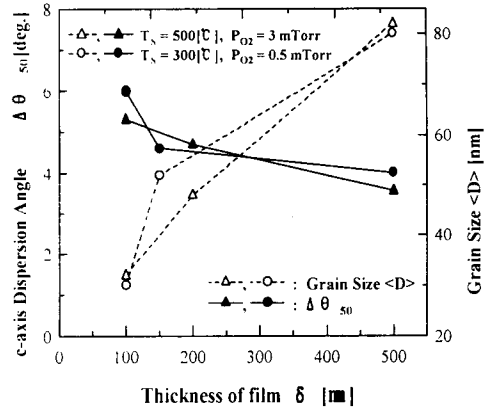


Fig. 3. Film Thickness  $\delta$  dependence of  $\Delta\theta_{50}$  and Grain size  $\langle D \rangle$  of ZnO Thin Films with c-axis orientation

나타난 것처럼 ●심벌와 ○심벌은 기판온도  $T_s=500^\circ\text{C}$ , 스퍼터 가스압  $P_{O_2}=3\text{mTorr}$ 에서 제작된 ZnO 박막의 결정 입경(정선)과 반치폭(실선)을 나타낸다. 또한, ▲와 △는 기판온도  $T_s=300^\circ\text{C}$ , 스퍼터 가스압  $P_{O_2}=0.5\text{mTorr}$ 에서 제작된 ZnO 박막의 막 두께를 100~500nm로 변화시켜 결정 입경(정선)과 반치폭(실선)을 조사한 결과이다. Fig. 3에 나타난 바와 같이, 박막의 두께가 증가함에 따라  $\Delta\theta_{50}$ 도 감소함을 알 수 있다.

그러나 가스압과 기판온도를 변화시킨 경우에 박막 두께를 변화시켜도 큰 결정성의 차이를 갖지 않는 사실로부터 대향타겟식 스퍼터법으로 제작된 박막은 c-축 배향성이 우수한 박막을 낮은 가스압 영역에서도 얻을 수 있으며, 필요한 두께의 박막을 제작할 수 있다고 사료된다.

#### 3. 3. 기판온도에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성

Fig. 4는 기판온도에 따른 박막의 결정성을 나타낸 것으로서 가스압  $P_{O_2}=3\text{mTorr}$ , 막 두께 ( $\delta$ ) = 500nm로 제작된 ZnO 박막의  $\Delta\theta_{50}$  및  $\langle D \rangle$ 의 기판온도 의존성을 나타낸 것이다.

그림에서 확인할 수 있는 바와 같이, 기판온도가 상승함에 따라, 250°C 이상에서 반치폭은 거의

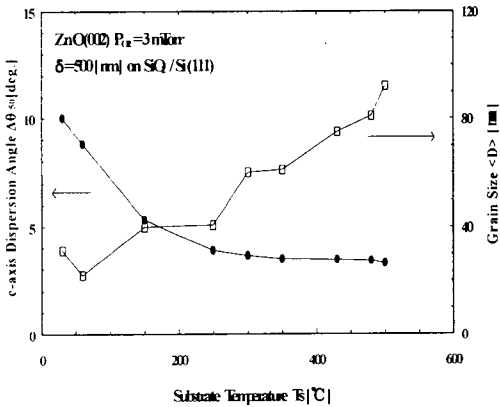


Fig. 4. Substrate temperature  $T_s$  dependence of  $\Delta\theta_{50}$  and Grain Size  $\langle D \rangle$  of ZnO Thin Films with c-axis orientation

일정한 약 4° 미만의 양호한 c-축 배향성을 나타내고 있다. 또한, 결정 입경  $\langle D \rangle$ 는 기판온도가 상승함에 따라 일정하게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 결과로부터 기판온도가 상승함에 따라 ZnO 박막의 결정성장이 용이하게 발생된다는 사실을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 사용된 직류대향타겟식스퍼터법에 의한 ZnO 박막 제작의 결과 산소 가스압 1mTorr 이하일 경우에는 0.5mTorr, 기판 온도 300°C에서 가장 양호한 c-축 배향성을 1mTorr 이상일 경우에는 3mTorr 250°C 이상에서 가장 양호한 c-축 배향

성을 갖는 ZnO 박막을 얻을 수 있었다.

일반적인 스퍼터법<sup>5,6)</sup>의 경우 ZnO 박막의 제작이 1mTorr 이상에서 이루어지는 것과는 달리 가스압력 0.5mTorr의 박막 제작 조건은 낮은 가스압력이라 할 수 있다. 따라서 Zn 타겟과 순 산소 가스만으로 직류대향타겟식스퍼터법을 사용한 결과 1mTorr 이하의 낮은 가스압력에서도 우수한 c-축 배향성을 갖는 ZnO 박막을 증착할 수 있음을 알 수 있었으며 직류대향타겟식스퍼터 방식은 0.5mTorr의 낮은 가스압력영역에서도 결정성이 양호한 c-축 배향 ZnO 박막을 증착하는 방법으로서 유망하다는 사실을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Y.Igasaki and H.Saito, J.Appl.Phys., 70(1991) 3613
2. F.S.Hickernell, J.Appl.Phys.,44(1973) 1061
3. M.D.Ambersley and C.W.Pitt, Thin Solid Films, 80(1981) 183
4. W.H.G.Horsthuis, Thin Solid Films, 137(1986) 185
5. Jong-Duk, Joon-Tae Song, KIEE, Vol.9, No.2 pp106-203(1996)
6. Seung-Hwan Yi and Jong-Kwan Kim, KIEE Vol.10, No.2, pp126-133(1997)