

## 막 두께 변화에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성

### C-axis orientation of ZnO thin film on films thickness

성하윤\*, 양진석\*, 금민중\*, 박용욱\*\*, 최형욱\*, 김경환\*

(H.Y.Seong\*, J.S.Yang\*, M.J.Keum\*, Y.W.Park\*\*, H.W.Choi\*, K.H.Kim\*)

#### Abstract

ZnO(Zinc Oxide) thin films were deposited on glass substrate by Facing Targets Sputtering. Facing Targets Sputtering system can deposit thin films in plasma-free situation and change the sputtering conditions in wide range. The characteristics of ZnO thin films deposited at variation of sputtering conditions films thickness, power and substrate temperature were evaluated by XRD(x-ray diffractometer),  $\alpha$ -step (Tencor). The excellently c-axis oriented ZnO thin films were obtained at sputter pressure 1mTorr, power 150W, substrate temperature 200°C. In these conditions, the rocking curve of ZnO thin films deposited on glass was 3.3°.

**Key Wards(중요용어)** : Facing Targets Sputtering(FTS), plasma-free, c-axis orientation, grain size

#### 1. 서 론

ZnO(Zinc Oxide)는 6mm 대칭 육방정계(hexagonal) wurtzite 결정구조를 가지는 물질로써 가시광 영역에서의 투광성과 높은 굴절율, 큰 압전 상수, 강한 전기기계 및 비선형 전기광학 계수를 가져 저주파 영역센서에 있어서 압전 트랜스듀서, 집적화된 광도파로, 산화 또는 환원 가스검출 센서, 발광 다이오드와 태양전지의 투명 전도막 등 그 이용 범위가 매우 다양하다<sup>1)</sup>. 따라서 최근까지 ZnO 박막이 갖는 이러한 특성을 이용해 소자 제작 및 물성 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 LiNbO<sub>3</sub>에 상용하는 기계결합계수와 ST-cut quartz에 비견하는 우수한 열적 안정성으로 인해 표면탄성파(SAW : Surface Acoustic Wave)를 이용한 대역통과필터<sup>2)</sup>, 공진기<sup>3)</sup>, 등의 통신기기용필터 및 신호처리소자에 가장 활발히 연구되는 재료중의 하나이다. 더욱이 비

압전기판 위에 압전박막의 구조를 이용한 SAW 필터의 응용 가능성에 대한 G.S. Kino<sup>4)</sup>의 이론적인 발표 이후에 기존의 단결정을 이용한 SAW 필터를 대체할 ZnO 박막을 이용한 SAW 필터의 연구는 가장 널리 진행되고 있으며, 현재 TV용 VHF 대역 통과 필터는 실용화되어 있다<sup>5)</sup>. ZnO 박막은 기판(substrate)에 수직인 결정학적 c-축으로 우선방위현상(preferred orientation)을 나타낸다. SAW 필터의 탄성과 발생, 전달 및 검출에 사용되는 ZnO 박막은 평활한 표면, 우수한 c-축 배향성과 높은 비저항을 가져야 한다. 막의 표면이 거칠면 국부적인 속도변화에 따른 주파수 변화가 심하게 되므로 평활한 표면의 박막이 필요하다. 또한 높은 기계결합계수를 갖기 위해서 c-축 배향성이 6° 이하의 값을 가져야 하고, 외부의 전기신호의 왜곡을 막기 위해서는 충분히 높은 비저항값을 가져야 한다. 그러나 이러한 특성은 스퍼터링시 증착조건의 변화 즉, 기판온도, 가스압력, 증착속도, 투입전력 등에 따라 크게 변하게 되며 증착변수에 따른 c-축 배향성(c-axis orientation)의 평가는 중요한 의미를 가진다.

본 연구에서는 SAW 필터용으로 우수한 c-축 배

\* 경원대학교 공대 전기전자공학부  
(성남시 수정구 북정동 산65번지 Fax: 031-750-5491  
E-mail : khkim@mail.kyungwon.ac.kr )

\*\* 남서울대학교 공과대학 전자정보통신공학부

향성을 갖는 ZnO 박막을 대향 타겟식 스퍼터링법으로 glass 기판 위에 증착하였다. 스퍼터링 증착시 박막의 c-축 배향성에 큰 영향을 미치는 투입전력, 기판온도, 가스압력 변화에 대한 c-축 배향성을 고려하였다. 또한 양호한 c-축 배향성의 조건에서 막 두께를 변화시켜 결정성과 c-축 배향성에 미치는 영향을 검토하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서는 ZnO 박막을 증착하는데 박막표면의 평활도가 우수하고 2차 전자에 의한 박막의 손상을 방지할 수 있는 그림 1과 같은 타겟 배치를 갖는 대향 타겟 스퍼터링(FTS : Facing Targets Sputtering)장치를 사용하여 막을 제작하였다. 이 FTS 장치는 타겟 뒷면에 영구자석이 장착되어 타겟 표면에 수직으로 자계가 분포된다. 따라서 타겟 사이에 형성되는 플라즈마내의  $\gamma$ -전자를 구속하게 되며, 구속된  $\gamma$ -전자는 반사전극 역할을 하는 맞은편 타겟으로 인해 타겟 사이를 왕복 운동하게 된다. 그러므로,  $\gamma$ -전자의 이동거리가 기존의 스퍼터법 보다 월등히 길어 분위기 가스의 이온화율이 높아서 고밀도 플라즈마가 형성되는 높은 막 증착 속도와 낮은 가스압력에서도 안정적인 방전을 유지 가능하며 박막을 증착 할 수가 있다. 또한 기판은 플라즈마와 이격된 상태이기 때문에 박막이 증착 될 때 발생하는 높은 에너지를 갖는 입자들의 기판 충돌을 최대한 억제할 수 있다는 특징을 가지고 있다<sup>6)</sup>.

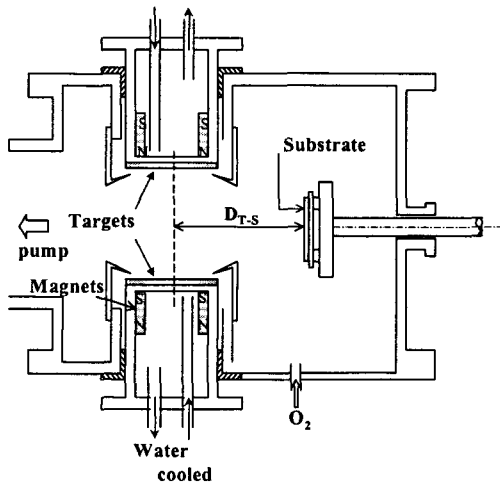


그림 1. FTS 장치의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of the FTS system

본 연구에서 사용된 기판은 slide glass로써 다음의 세척과정을 통한 후 ZnO 박막을 증착하였다. 증착세제로 깨끗이 세척한 후 기판을 증류수로 10분간 2회, IPA로 10분간 2회 초음파 세척하였다. 마지막으로 IPA를 hot plate에서 증발시켜 slide glass를 건조시켰다. 표 1은 본 실험에서의 ZnO 박막 증착 조건을 나타낸 것이다.

표 1. ZnO 박막의 증착 조건

Table 1. Sputtering conditions of ZnO thin film

Deposition parameter	condition
Targets	Zn(4N, 100mm)
Sputtering gas	O <sub>2</sub> (5N)
Substrate	slide glass
Target-target distance	100[mm]
Target-substrate distance	100[mm]
Base pressure	$2 \times 10^{-6}$ [Torr]
Working pressure	0.5, 1, 2[mTorr]
Substrate temperature	100~300[°C]
Confining flux	200[Oe]
Power	100~200[W]

또한, 스퍼터링을 하기 전에 챔버내 불순물을 제거하기 위해 MFC(Mass Flow Controller)와 main valve를 이용하여 고순도의 산소를 사용 챔버 내부의 압력을 일정하게 유지하고서 타겟 표면에 형성된 불순물과 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 shutter를 닫은 상태에서 10분 정도 presputtering을 하였으며, 그 후에 shutter를 열어 ZnO 박막을 증착하였다. 증착된 ZnO 박막의 두께는 Tencor사의 Alpha-step을 이용하여 측정하였으며, 결정성과 c-축 배향성을 알아보기 위해 XRD(X-ray diffractometer)를 사용하여  $2\theta$ 와 rocking curve를 이용  $\Delta\theta_{50}$ 을 조사하였다.

## 3. 결과 및 검토

### 3.1 ZnO 박막의 증착속도 변화

그림 2는 가스압력 1mTorr, 기판온도 200°C, 타겟 간 거리 100mm, 타겟과 기판간의 거리 100mm의 증착조건에서 투입전력에 따른 증착속도의 변화를 나타내었다. 투입전력을 100W에서 단계별로 210W 까지 증가시켜 본 결과 증착률이 38Å/min에서 99Å/min으로 투입전력이 증가함에 따라 증착속도가 증가하는 일반적인 경우와 잘 일치하는 결과이다.

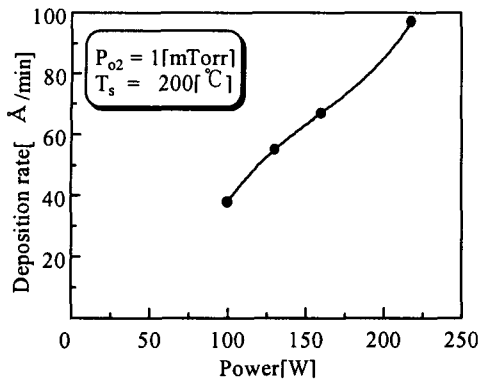


그림 2. 투입전력에 따른 증착률의 변화  
Fig. 2. Variation of deposition rate on power

### 3.2 ZnO 박막의 결정학적 특성

그림 3은 200W, 1mTorr, 3000Å에서 제작된 기판 온도에 따른 결정성을 나타내었다. 그림에서 나타낸 것과 같이 기판온도가 200°C일 때 제작된 막의 결정성이 양호하였다. 이는 기판온도가 증가함에 따라 스퍼터된 입자들이 기판 상에서 이동할 수 있는 능력이 증가하여 에너지적으로 안정한 위치를 충분히 찾아 갈 수 있기 때문에 박막의 결정성이 증가하는 것으로 사료된다. 이의 결과로부터 기판온도 200°C에서 증착한 막의 결정성이 양호하였다.

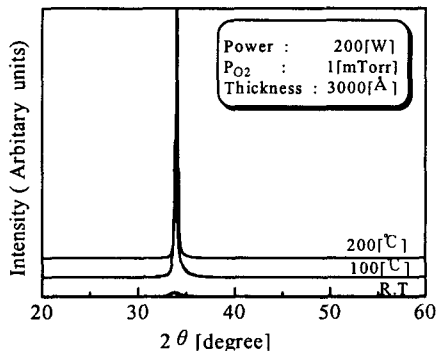


그림 3. 기판온도에 따른 ZnO 박막의 결정성  
Fig. 3. Variation of XRD pattern of ZnO thin films on substrate temperature

그림 4는 200W, 200°C, 3000Å에서 제작한 가스압력에 따른 결정성을 나타내었다. 그림에서 나타낸 것과 같이 가스압력 1mTorr에서 제작된 막의 결정성이 양호하였다. 이는 가스압력이 낮을 경우에는 기판에 도달하는 스퍼터된 입자의 에너지가 너무 작

기 때문에 증착되는 막에 영향을 미치게 되며, 가스압력이 높을 경우에는 에너지가 너무 작기 때문에 결정성에 영향을 미치게 된다. 그러므로 스퍼터되는 입자들의 에너지를 적절하게 조절하는 가스압력이 1mTorr로 사료된다. 위의 두 결과로부터 기판온도 200°C, 가스압력 1mTorr에서 제작된 ZnO 박막의 결정성이 양호하였다.

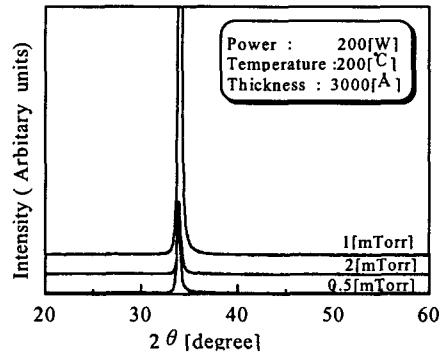


그림 4. 가스압력에 따른 ZnO 박막의 결정성  
Fig. 4. Variation of XRD pattern of ZnO thin films on gas pressure

### 3.3 ZnO 박막의 막 두께에 따른 c-축 배향성

증착조건에 따른 결정학적 특성에서 양호한 값을 고정시키고서 투입전력과 막 두께를 변화시켜 가며  $\Delta\theta_{50}$ 을 조사하였다.  $\Delta\theta_{50}$ 은  $2\theta$  위치에 X-ray 입사각도와 Goniometer의 각도를 고정시킨후  $0^\circ \sim 30^\circ$  범위에서 시편을 rocking 시켜주면서 X-ray curve를 측정하여 얻어지는 결과를 가우시안 분포로 근사화하여  $\Delta\theta_{50}$ 을 구하는 방법으로 이 표준편차의 값이 작을수록 특정한 결정축이 기판에 수직인 정도가 우수한 것으로 증착된 박막의 우선 배향성을 나타낸다.

그림 5는 기판온도 200°C, 가스압력 1mTorr, 투입전력 100W에서 막 두께에 따른  $\Delta\theta_{50}$ 을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 100W에서는 막 두께가 증가할수록  $\Delta\theta_{50}$ 이  $3.8^\circ$ 에서  $4^\circ$ 로 조금씩 안 좋은 결과를 나타내었다. 이는 투입전력을 100W로 고정시킨 후 막 두께를 증가시키면 입자들의 에너지가 충분하지 못하기 때문에 막의 우선 배향성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

그림 6은 기판온도 200°C, 가스압력 1mTorr, 투입전력 150W에서 막 두께에 따른  $\Delta\theta_{50}$ 을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 150W에서는 막 두께가 증가할수록  $\Delta\theta_{50}$ 이  $4.2^\circ$ 에서  $3.3^\circ$ 로 양호한 결과를 나타내었다. 이는 투입전력을 150W로 고정시

킨 후 막 두께를 증가시키면 에너지가 충분히 안정화되어 있는 상태에서 막 두께가 증가되므로 막의 우선 배향성이 양호한 값을 갖는 것으로 사료된다.

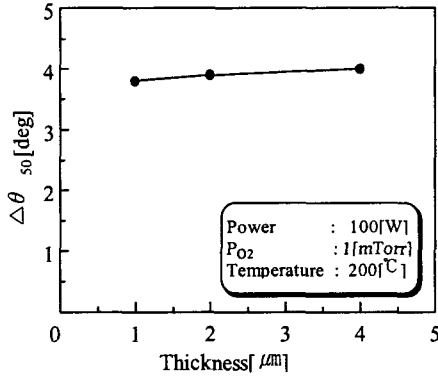


그림 5. 막 두께변화에 따른  $\Delta\theta_{50}$ [100W]  
Fig. 5.  $\Delta\theta_{50}$  at variation of films thickness

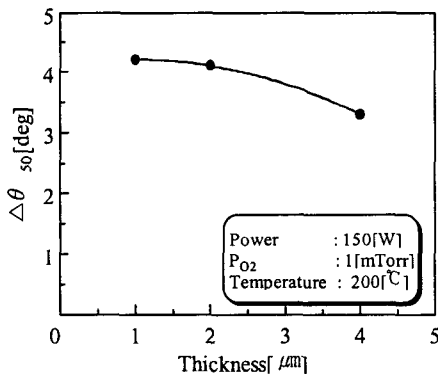


그림 6. 막 두께변화에 따른  $\Delta\theta_{50}$ [150W]  
Fig. 6.  $\Delta\theta_{50}$  at variation of films thickness

그림 7은 기판온도 200℃, 가스압력 1mTorr, 투입 전력 200W에서 막 두께에 따른  $\Delta\theta_{50}$ 을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 투입전력 200W에서 막 두께를 2 $\mu\text{m}$ 까지 증가시키면  $\Delta\theta_{50}$ 이 5.1°에서 4.2°로 양호한 결과를 나타내었지만 4 $\mu\text{m}$ 로 증가하게 되면 4.4°로  $\Delta\theta_{50}$ 이 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 투입전력을 200W로 고정시킨 후 막 두께를 증가시키게 되면 입자들의 에너지가 충분히 크기 때문에 안정화되지 못한 상태에서 막 두께가 증가하므로 막의 우선 배향성이 2 $\mu\text{m}$ 까지는 양호한 값을 갖게 되지만 4 $\mu\text{m}$ 로 증가하게 되면 우선 배향성에 영향을 미

치는 것으로 사료된다.

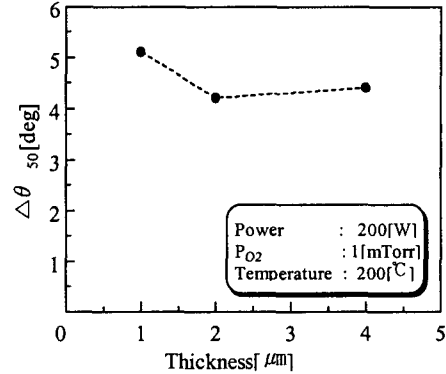


그림 7. 막 두께변화에 따른  $\Delta\theta_{50}$ [200W]  
Fig. 7.  $\Delta\theta_{50}$  at variation of films thickness

#### 4. 결론

SAW filter에 응용하기 위한 ZnO 박막을 대향 타겟 스퍼터링법을 이용 증착한 결과는 다음과 같다.

1. 투입전력에 따른 증착속도는 증가하는 경향을 나타냈으며 기판에 수직인 (002)면의 peak intensity가 증가하여 c-축 배향성이 증가하였다.
2. SAW filter에 응용하기 위해 요구되는 c-축 배향성은 6°로 알려져 있는데 본 실험에서 증착된 ZnO 박막은 막 두께를 증가시키에 따라 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.
3. 막 두께 4 $\mu\text{m}$ 의 막 두께를 갖는 적절한 증착조건은 기판온도 200℃, 가스압력 1mTorr, 투입전력 150W이며  $\Delta\theta_{50}$ 이 3.3°로써 양호하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Frans. C.M. Van De Pol, Ceram. Bull., 69(12), 959, 1990.
- [2] F.S. Hickernell, J. Appl. Phys., 44, 1061, 1973.
- [3] S. Ono, O. Yamazaki, K. Ohji, K. Wasa, and S. Hayakawa, Appl. Phys. Lett., 33, 217, 1978
- [4] G. S. Kino and W. S. Wagers, J. Appl. Phys., 44(44), 1480, 1973.
- [5] O. Yamazaki, T. Mitsuyu, and K. Wasa, IEEE Trans. Sonics Ultrason., SU-27(6), 369, 1980.
- [6] 김 경환 외 4인 " 직류 대향 타겟스퍼터링법으로 제작된 ZnO 박막의 c-축 배향성" Vol.33, No.1, pp.34-37, 2000.