

# SAW Filter용 ZnO 박막의 제작

## Preparation of ZnO thin film for SAW filter

成河崙\* · 楊鎮奭\*\* · 琴旻鐘\*\*\* · 孫仁煥<sup>§</sup> · 金敬桓<sup>§§</sup>

(Ha-Yoon Seong · Jin-Seok Yang · Min-Jong Keum · In-Hwan Son · Kyung-Hwan Kim)

**Abstract** - Piezoelectric ZnO thin films by Facing Targets Sputtering(FTS) method were deposited on slide glass. The Facing Targets Sputtering system can deposit thin film at plasma-free condition and change the deposition condition in wide range. The characteristics of ZnO thin films changed with power, working pressure and substrate temperature were investigated by XRD(x-ray diffractometer), alpha-step(Tencor) and SEM(Scanning Electron Microscopy) analyses. In the results, we suggest that FTS system is very suitable for the preparation of high quality ZnO thin films with good c-axis orientation.

**Key Words** : Preferred orientation, FTS(Facing Targets Sputtering), ZnO thin film

### 1. 서 론

ZnO 박막은 대칭 육방정계 wurtzite-type crystal로서 결정구조에서의 이방성, 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절률과 압전 결합계수, 다양한 전기적, 광학적 그리고 압전성 때문에 현재 여러 응용 분야에서 각광을 받고 있는 재료중의 하나이다[1]. 특히 이러한 특성을 갖는 ZnO 박막을 이용하여 광전소자나 평판표시 소자에 대한 투명 전도성 박막, 계기용 패널에 대한 정전 방지코팅, 압전 특성을 이용한 광학소자, 표면 탄성파(SAW : Surface Acoustic Wave) 필터 등의 소자에 사용되고 있다[2]. 더욱이 비압전기판 위에 압전박막의 구조를 이용한 SAW 필터의 응용 가능성에 대한 G. S. Kino[3]의 이론적인 발표이후에 ZnO 박막을 이용한 대역통과 SAW 필터의 연구는 가장 널리 진행되고 있다.

ZnO 박막은 결정학적으로 기판에 수직인 c-축으로 우선 배향성(preferred orientation)을 나타내며 압전 특성을 이용하여 응용 할 경우 높은 압전 결합계수와 비저항이 요구된다. 그러나 c-축 우선 배향성은 ZnO 막의 형성 조건에 의해 큰 차이가 있다. 특히 스퍼터법을 사용하여 ZnO 막을 증착하는 경우 기판온도, 막 증착속도, 기판의 배치 및 스퍼터 가스압 등의 스퍼터 조건이 c-축 배향에 영향을 미친다고 [4] 보고되고 있지만 주된 원인으로 높은 에너지를 갖는 입

자들 즉, 타겟에서 방출된 음의 산소 이온 등에 기인한 기판 충돌이 ZnO 막의 c-축 우선 배향성을 악화시키는 최대 원인으로 생각된다. 따라서 일반적인 스퍼터법의 경우에는 막의 성장이 plasma에 의한 damage로 기판 상에서도 나타나게 되어 c-축 우선 배향성이 양호한 막을 얻기 어렵게 된다. 그러므로 스퍼터법을 사용하여 박막을 증착하는 경우에는 이러한 c-축 우선 배향성 악화의 문제점을 해결해야 할 필요가 있다. 또한 SAW 필터의 탄성과 발생, 전달 및 검출에 사용되기 위한 ZnO 박막은 평활한 표면, 우수한 c-축 우선 배향성과 높은 비저항을 가져야 한다. 박막의 표면이 거칠면 국부적인 속도변화에 따른 주파수 변화가 심하게 되므로 평활한 표면의 박막이 필요하며, 높은 기계결합계수를 갖기 위해 우수한 c-축 우선 배향성이, 외부의 전기신호의 왜곡을 막기 위해서 충분히 높은 비저항 값을 가져야 한다. 따라서, 본 연구에서는 박막 증착 시 발생하는 높은 에너지를 갖는 입자들의 기판충돌을 최대한 억제할 수 있는 대향 타겟 스퍼터링(FTS)장치를 사용하여 ZnO 박막을 증착하였다. SAW device로 응용되기 위해 우수한 c-축 우선 배향성 및 표면거칠기가 양호한 ZnO 박막의 증착조건을 조사하였다.

### 2. 실험 방법

본 실험에서는 그림 1과 같은 대향 타겟 스퍼터링 장치를 사용하여 ZnO 박막을 증착하였다. FTS 장치는 타겟을 음극으로, 쉴드링과 챔버는 양극으로 하였다. 타겟 뒷면에 영구자석을 배치하여 타겟 면에 수직으로 자계를 형성시켜, 타겟 사이의 공간에 형성되는 플라즈마 내에 2차 전자를 구속하며, 기판은 플라즈마와 격리된 플라즈마-프리 상태가 되도록 배치하였다. 때문에 스퍼터링 시 발생하는 2차 전자에 의한 기판 손상을 최소화시킬 수 있으며, 또한 2차 전자

\* 正 會 員 : 暎園大 工大 電氣電子工學科 intern研究員

\*\* 準 會 員 : 暎園大 工大 電氣電子工學科 碩士課程

\*\*\* 正 會 員 : 暎園大 工大 電氣電子工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 新星大 電氣科 專任講師 · 工博

§§ 正 會 員 : 暎園大 工大 電氣情報 · 電子工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 2001年 2月 14日

最終完了 : 2001年 4月 11日

의 왕복운동에 의해 이온화율이 촉진되어, 1mTorr 이하의 가스압력에서도 높은 증착속도로 막을 증착 할 수가 있다 [5]. 표 1은 ZnO 박막의 증착 조건을 나타낸 것이다. 스퍼터링을 하기 전에 MFC와 main valve를 이용 고순도의 순 산소만을 사용하여 가스압력을 일정하게 유지하였다. 순 산소만을 사용한 이유는 대향 타겟 스퍼터링법에서는 충분한 증착속도와 결정성이 양호한 막을 갖을 수 있으므로 산소만을 사용하여 sputtering을 하였다. 또한 챔버내 불순물 제거와 타겟 표면에 형성된 불순물, 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위하여 shutter를 닫은 상태에서 15분간 pre-sputtering을 하고, shutter를 열어 ZnO 박막을 증착하였다. 증착된 ZnO 박막의 두께는  $\alpha$ -step을 이용하여 측정하였다. 또한 SAW 필터에 응용하기 위해 막 두께 2 $\mu$ m와 4 $\mu$ m 일 때의 결정성과 c-축 우선 배향성을 XRD의  $2\theta/\theta$  scan과  $\theta$  scan을 통하여 조사하였으며  $\theta$  scan을 통하여 얻은 데이터를 가지고서 program을 사용하여 c-축 우선 배향성을 측정하였다.

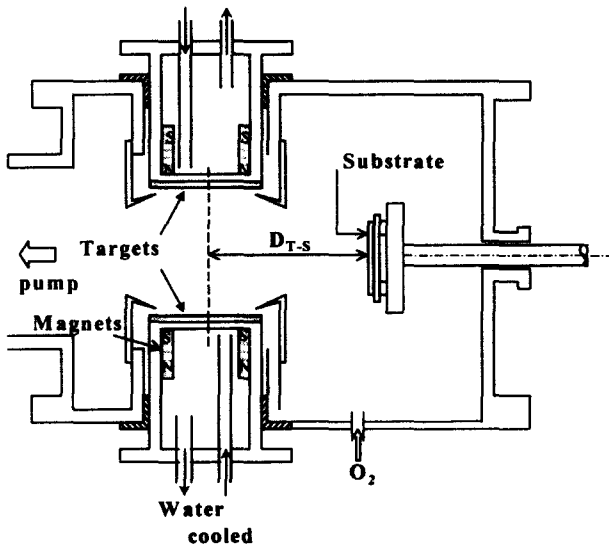


그림 1. 대향 타겟 스퍼터링(FTS) 장치의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of the FTS system

표 1. ZnO 박막의 증착 조건  
Table 1. Sputtering conditions of ZnO thin films

Deposition parameter	condition
Targets	Zn(4N, 100mm)
Sputtering gas	O <sub>2</sub> (5N)
Substrate	slide glass
Working pressure	0.5~2[mTorr]
Substrate temperature	R.T.~200[°C]
Confining flux	200[Oe]
Power	100~200[W]

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3.1 증착조건에 따른 ZnO 박막의 결정학적 특성

증착변수에 따른 결정학적 특성을 우선적으로 검토하여 증착변수를 고정시키고서 SAW filter에 응용하기 위한 막 두께를 2 $\mu$ m와 4 $\mu$ m로 실험을 진행하였다. 또한 SAW filter에 응용하기 위해서 기판온도는 200°C까지 변화시켰다.

그림 2는 막 두께 0.3 $\mu$ m(91Å/min), 투입전력 200W, 가스압력 1mTorr에서 기판온도를 변화시켜 증착한 ZnO 박막의 XRD peak를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 기판온도가 증가함에 따라 박막의 결정성이 양호해짐을 알 수 있다. 이는 기판온도 증가에 따라 스퍼터된 입자들의 에너지가 증가하므로 기판 상에서 이동할 수 있는 능력이 증가하여 최밀 층진면인 (002)결정면으로 충분히 찾아 갈 수 있기 때문이라고 사료된다. 본 실험에서는 기판온도 200°C에서 증착된 ZnO 박막의 결정성이 가장 양호하였다.

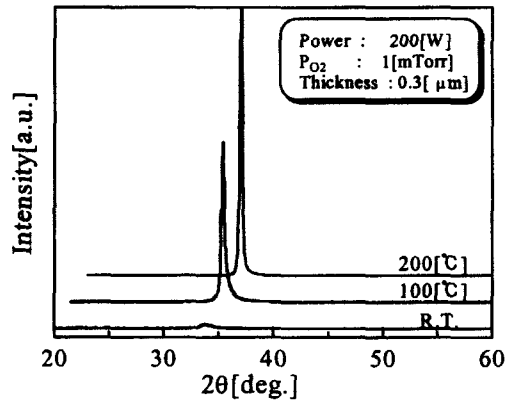


그림 2. 기판온도에 따른 ZnO 박막의 XRD patterns  
Fig. 2. XRD patterns of ZnO films on substrate temperature

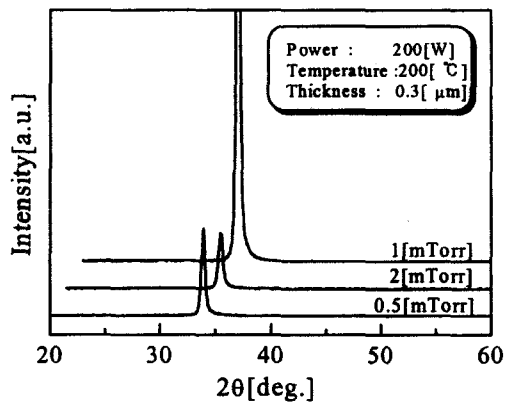


그림 3. 가스압력에 따른 ZnO 박막의 XRD patterns  
Fig. 3. XRD patterns of ZnO films on gas pressure

그림 3은 막 두께 0.3 $\mu\text{m}$ , 투입전력 200W, 기판온도 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가스압력을 변화시켜 증착한 ZnO 박막의 XRD peak를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 가스압력 1mTorr에서 XRD 피크가 가장 양호한 값을 나타내었다. 이는 막 두께 0.3 $\mu\text{m}$ 에서 가스압력이 1mTorr 보다 낮은 경우에는 기판에 기판에 도달하는 스퍼터된 입자의 에너지[6]가 너무 크기 때문에 막에 영향을 미치게 되며, 가스압력이 1mTorr 보다 높은 경우에는 에너지가 너무 작기 때문에 결정성장에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.2 증착조건에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성

그림 4는 막 두께 4 $\mu\text{m}$ , 기판온도 200 $^{\circ}\text{C}$ , 가스압력 1mTorr에서 투입전력을 변화시켜 증착한 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성을 나타내었다. 우선 배향성이 얼마나 우수한가는 rocking curve라고 불리는 측정법에 의해 측정 가능하다. 이는 최대 강도를 보이는 회절피크의 2 $\theta$  지점에 X선 검출기를 고정시키고 시편을  $\theta$ 로 회전시켜서 검출되는 X선 강도를 가우시안 분포로 가정하여  $\Delta\theta_{50}$ 으로 나타내는 것으로 이값이 작을수록 기판에 수직 방향으로 그 결정축이 잘 형성됨을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 투입전력이 150W 일 경우의 c-축 우선 배향성이 가장 양호함을 알 수 있다. 그림 5는 막 두께 4 $\mu\text{m}$ , 기판온도 200 $^{\circ}\text{C}$ , 투입전력 150W에서 가스압력을 변화시켜 증착한 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성을 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 막 두께 4 $\mu\text{m}$ 일 경우 가스압력에 따라 증착입자들의 에너지가 변화하게 되므로, 막의 c-축 우선 배향성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이 경우 투입전력 150W, 기판온도 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서  $\Delta\theta_{50}$ 이 3.3 $^{\circ}$  로써 양호한 값을 나타내었다.

그림 6은 막 두께 2 $\mu\text{m}$ , 기판온도 200 $^{\circ}\text{C}$ , 투입전력 150W에서 가스압력을 변화시켜 증착한 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성을 나타내었다. 그림 5의 경우와 마찬가지로 가스압력이 낮은 경우에는 타겟에서 스퍼터링된 입자들이 플라즈마 공간을 지나면서 충돌하는 횟수가 감소하여 평균 자유 행로가 증가하고 산란이 적어져서 증착 입자들의 에너지가 크므로 막의 c-축 우선 배향성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

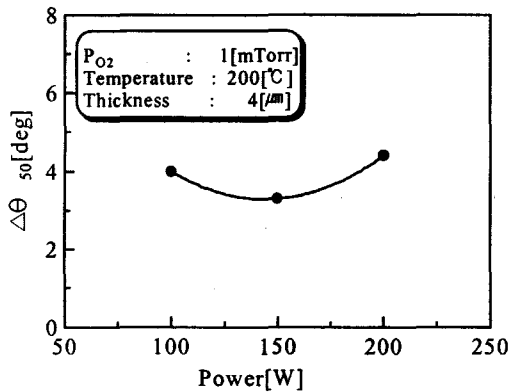
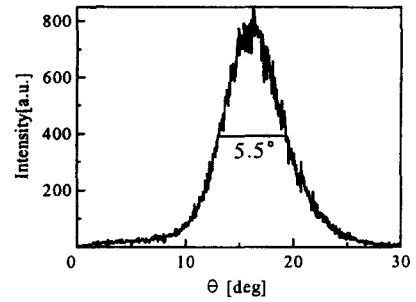
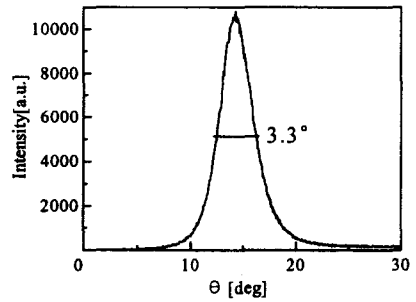


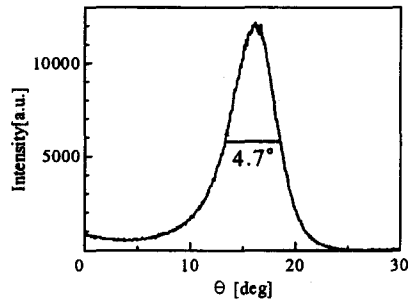
그림 4. 투입전력에 따른 c-축 배향성[4 $\mu\text{m}$ ]  
Fig. 4. C-axis preferred orientation on power[4 $\mu\text{m}$ ]



(a) 0.5mTorr

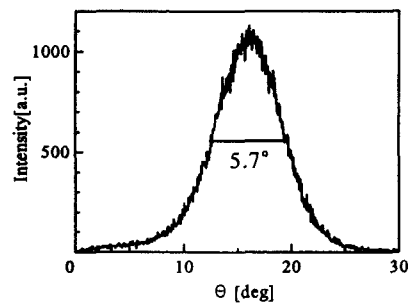


(b) 1mTorr

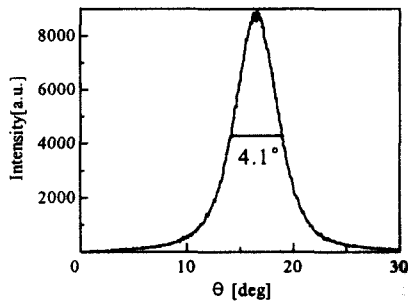


(c) 2mTorr

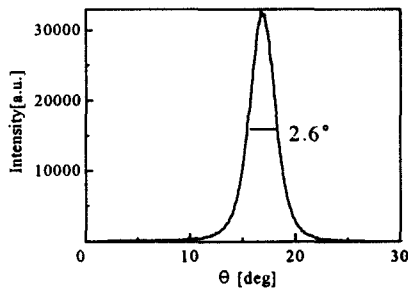
그림 5. 가스압력에 따른 c-축 배향성[4 $\mu\text{m}$ ]  
Fig. 5. C-axis preferred orientation on gas pressure[4 $\mu\text{m}$ ]



(a) 0.5mTorr



(b) 1mTorr



(c) 2mTorr

그림 6. 가스압력에 따른 c-축 배향성[2 $\mu$ m]  
 Fig. 6. C-axis preferred orientation on gas pressure[2 $\mu$ m]

막 두께가 2 $\mu$ m일 때에는 투입전력 150W, 기판온도 200 $^\circ$ C에서  $\Delta\theta_{50}$ 이 2.6 $^\circ$  로써 가장 양호한 값을 나타내었다.

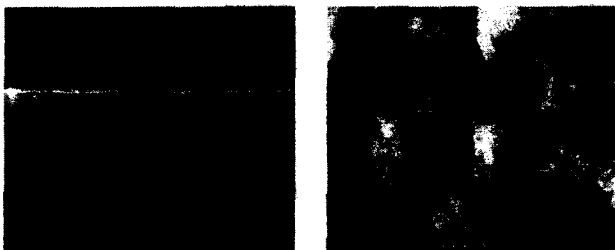
그림 7은 본 실험에서 가장 양호한 c-축 우선 배향성을 갖는 막의 단면과 표면 SEM사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 막의 단면을 보면 결정성장이 양호함을 확인 할 수 있으며, 표면형상도 양호함을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

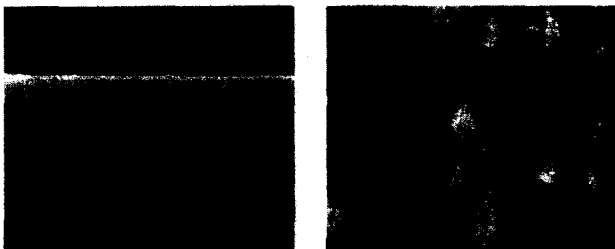
SAW filter에 응용하기 위해서 요구되는 c-축 우선 배향성은 6 $^\circ$  이하로 알려져 있다. 본 연구에서는 대향 타겟 스퍼터링법으로 증착된 SAW 필터용 ZnO 박막의 증착조건을 조사한 결과 다음과 같은 최적의 박막 증착조건을 얻을 수 있었다. 막 두께 4 $\mu$ m에서는 투입전력 150W, 기판온도 200 $^\circ$ C, 가스압력 1mTorr, 막 두께 2 $\mu$ m에서는 투입전력 150W, 기판온도 200 $^\circ$ C, 가스압력 2mTorr의 증착조건에서 증착된 ZnO 박막이 우수한 결정성을 나타냄을 확인하였다. 또한  $\theta$  scan을 통하여 확인한 결과 막 두께 4 $\mu$ m에서  $\Delta\theta_{50}$ 이 3.3 $^\circ$ , 2 $\mu$ m에서  $\Delta\theta_{50}$ 이 2.6 $^\circ$  로 양호한 c-축 우선 배향성을 갖는 ZnO 박막을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Igasaki and H. Saito, J. Appl. Phys., 70, 3613, 1991
- [2] F. S. Hickernell, J. Appl. Phys., 44, 1061, 1973
- [3] G. S. Kino and W. S. Wagers, J. Appl. Phys., 44, 4, 1480, 1973
- [4] W.H.G. Horsthuis, Thin Solid Films, 137(1986), 185
- [5] 김경환 외 4인 "직류 대향 타겟스퍼터링법으로 제작된 ZnO 박막의 c-축 배향성" 한국 표면공학회 Vol.33, No.1, pp.34-37, 2000.
- [6] 박용욱 외 5인 "RF 마그네트론 반응성 스퍼터링으로 제작된 ZnO/Glass 박막 특성" 한국전기전자재료학회 Vol.11, No.10, pp.833-841, 1998



(b)150W, 200 $^\circ$ C, 1mTorr, 4 $\mu$ m



(a)150W, 200 $^\circ$ C, 2mTorr, 2 $\mu$ m

그림 7. ZnO 박막의 주사전자현미경사진

Fig. 7. SEM image of ZnO films

저 자 소 개



성 하 윤 (成 河 嶺)

1972년 2월 27일 생. 1999년 경원대 전기 공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자 공학과 졸업(석사). 현재 한국과학재단 인턴연구원(경원대 박막연구실)

Tel : 031-750-5348

E-mail : shymr@web.kyungwon.ac.kr



손 인 환 (孫 仁 煥)

1968년 1월 13일 생. 1991년 광운대 전기 공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 신성대 전임강사

Tel : 041-350-1234

E-mail : ihson@shinsung.ac.kr



양 진 석 (楊 鎭 奭)

1974년 10월 14일 생. 2000년 경원대 전기 전자공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기전자공학과 석사과정

Tel : 031-750-5348

E-mail : nusadua@web.kyungwon.ac.kr



김 경 환 (金 敬 桓)

1960년 11월 25일 생. 1982년 한양대 전기 공학과 졸업. 1984년 광운대 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년~현재 동경공업대학 전자물리공학과 객원연구원, 경원대 전기

정보·전자공학부 부교수

Tel : 031-750-5348

E-mail : khkim@mail.kyungwon.ac.kr



금 민 중 (琴 旻 鐘)

1969년 10월 4일 생. 1998년 경원대 전기 공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기전자 공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기 전자공학과 박사과정.

Tel : 031-750-5348

E-mail : mjkeum@web.kyungwon.ac.kr