

## RF Magnetron Sputter로 증착한 ZnO 압전변환기의 구조 및 음향특성에 관한 연구

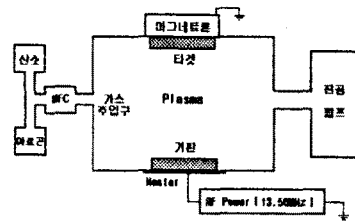
이 종덕\*    고 상춘    송 준태  
성균관대학교 공과대학 전기공학과

### A Study on Structure and Acoustic Properties of ZnO transducer by RF Magnetron Sputter

Jong-Duk Lee\*, Sang-Choon Ko, Joon-Tae Song  
Dept. of Elec. Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

#### Abstract

In this paper, Analyzed structural property using SEM and XRD. The longer distance between substrate and target enhance crystallographic orientation of (110)plane, but inhibit growth of (002)plane. Also, deposited ZnO thin film on electrode layer inhibit crystallographic orientation of (002)plane, especially Al electrode inhibit stronger than Pt layer. And using fabricated transducer, analyzed electric and frequency characteristics.



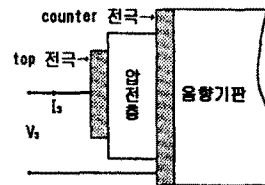
[그림 1] 스퍼터링 구조

## 1. 서론

ZnO(zinc oxide)는 높은 압전결합계수와 C축 배향성이 우수하여 압전변환기<sup>[1]</sup> 및 SAW 필터<sup>[2]</sup>, 센서등에 널리 이용된다. 압전변환기로 응용시 양호한 C축 배향성이 요구되며 증착기술로는 스퍼터법<sup>[2]</sup>이 널리 이용된다. 다결정 ZnO박막의 증착시 결정방향의 성장온도 (100), (002), (101), (110)면의 조합으로 형성되며 C축의 성장시 증착변수 즉 기판온도, 가스압, 증착율, 고주파입력, 기판과 타겟과의 거리, 전극의 종류 등의 변수들을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 ZnO박막의 양호한 C축 배향성을 얻기 위해 각 스퍼터링 변수에 의한 결정방향과의 관계, 그리고 증착시 타겟과 음향기판과의 거리가 C축 성장에 미치는 영향 및 전극의 종류에 따른 결정방향의 구조적인 특성을 XRD를 이용하여 분석하였고, 또한 SEM을 이용하여 확인하였다. 또한 제작한 ZnO압전변환기의 전기 및 음향특성을 고찰하여 압전변환기로서의 응용 가능성을 제시하고자 한다.

### 2.2. 압전변환기의 제작

압전변환기는 전기적인 신호를 주고 받는 전극층과 압전현상을 발생시키는 압전층, 그리고 음향출력을 전달하는 음향기판으로 구성되며 압전변환기의 구조<sup>[3]</sup> 및 제작순서를 [그림 2]와 [그림 3]에 나타내었다.

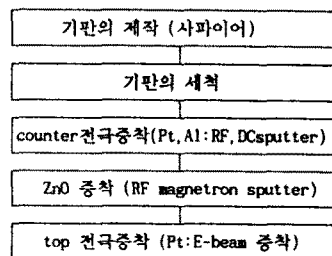


[그림 2] 압전변환기의 구조

## 2. 실험

### 2.1. ZnO 박막의 증착

ZnO(zinc oxide)는 6mm hexagonal 구조로서 분극처리한 압전 세라믹과 같이 거시적 대칭성 및 C축방향의 성장으로 압전결합계수 K값이 0.28로서 압전체로서 널리 사용되며 Sapphire 기판상에 스퍼터링에 의해 Epitaxial 성장시킬 수 있다. 압전변환기로 응용시 ZnO가 C축 배향되지 않으면 원하는 음향파의 감쇄가 커지므로 이를 고려하여 각 스퍼터변수들을 고려하여 선택 하여야한다. 본 실험에서는 증착물이 개선되고 2차전자에 의한 박막의 손상이 방지되는 R.F Magnetron sputtering법으로 ZnO 박막을 증착하였다. 스퍼터서 박막의 특성은 기판온도, 가스압력, RF입력전력, 증착률, 타겟-기판 거리, Ar/O<sub>2</sub>의 혼합비등과 같은 스퍼터조건 미세한 변화에 따라 박막의 특성이 변화하므로 각 Parameter간의 조건을 고려하여 ZnO를 증착하였으며 실험에 사용된 기계는 varian제품의 RF/DC magnetron sputter(VKS 35)이었으며 스퍼터 구조는 [그림 1]과 같다.



[그림 3] 압전변환기 제작순서

음향기판인 사파이어는 직경 6mm의 원통형태로 가공하였으며, RF Magnetron Sputter (Varian VKS35)로 ZnO를 증착하였고 Top전극은 E-Beam(Anelva)으로 증착하였다. [표 1]에 압전변환기 제작의 스퍼터 조건을 나타내었으며 [실험1]은

counter전극이 Pt로서 증착된 ZnO의 두께는 3.9  $\mu\text{m}$ 고 [실험 2]는 counter전극이 Al로서 증착된 ZnO의 두께는 9  $\mu\text{m}$  이었다.

[표1] 압전변환기 제작의 스퍼터조건

sputter parameter	실험 조건	
	실험1(Pt전극)	실험2(Al전극)
target 형태	sintered ZnO	sintered ZnO
가스압력	$4.5 \times 10^{-3}$ [Torr]	$4.5 \times 10^{-3}$ [Torr]
Ar/O <sub>2</sub> 혼합비	50:50	50:50
기판온도	350 [°C]	350 [°C]
타겟-기판거리	5.5 [cm]	5.5 [cm]
고주파 입력	200 [W]	200 [W]

2.3. ZnO박막의 구조적인 분석

ZnO 압전박막층의 표면 및 기판과 박막계면과의 두께를 조사하기 위해 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였으며 박막의 결정방향을 분석하고 박막의 C축배향성을 평가하기 위해  $\text{CuK}\alpha$ -line( $\lambda=1.542\text{\AA}$ )인 XRD(X-ray diffraction)를 사용하였다. 이 때 스텝폭과 주사속도는 각각 0.02, 0.2(sec)이었다.

2.4. ZnO박막의 전기적인 특성 분석

변환기로 사용하기 위해서는  $1.5 \times 10^8 [\Omega\text{cm}]$  이상의 높은 비저항 값을 가져야 하므로 [4] 617 programmable electrometer를 사용하여 저항을 측정하였다. 또한, 변환기의 주파수특성의 분석은 Network Analyzer (Wiltron Model 5400)로 입력 RF신호를 1[MHz]-2[GHz]범위의 sweep 신호를 압전변환기에 인가하여 Network Analyzer의 mode를 변환함으로써 측정하였다.

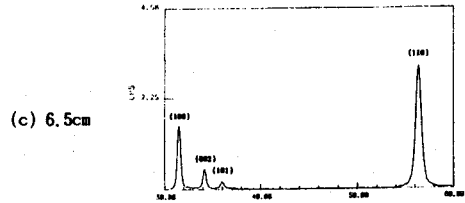
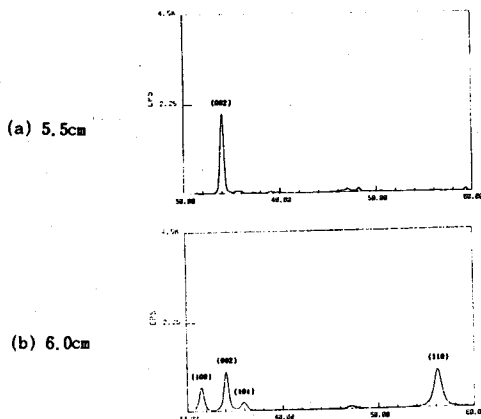
3. 결과 및 고찰

3.1. ZnO압전박막의 특성 고찰

ZnO박막의 성장은 스퍼터의 변수에 따라 (002), (100), (101), (110)의 다양한 면의 조합으로 결정방향이 선택적으로 성장한다. 따라서 압전변환기로 응용시 높은 C축(002면) 성장이 되어야 하므로 여러 스퍼터변수에 대한 ZnO 결정방향을 고찰하고자 한다.

가. 기판과 타겟거리에 따른 ZnO박막의 결정방향성

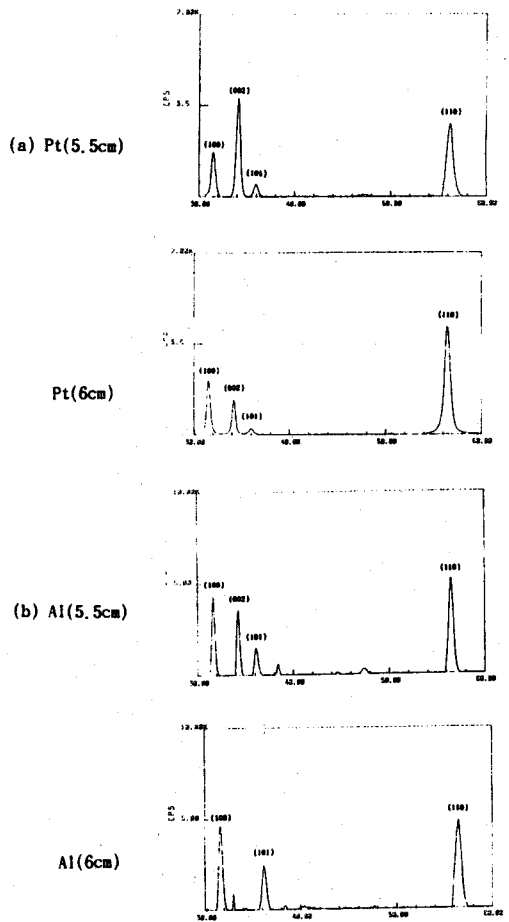
[그림 4]에 위의 실험의 스퍼터조건을 토대로 기판과 ZnO타겟거리의 변화에 따른 ZnO박막의 결정방향을 XRD로 분석하여 각 peak의 Miller면지수를 표기하였다. 이 때 사용된 기판은 사파이어 원판이었고 간격은 5.5cm, 6.0cm, 6.5cm로 실험하였다. 기판과 타겟과의 거리가 멀어질수록 (002)면의 성장이 억제되었고, (110)면의 성장이 증가함을 알 수 있다.



[그림 4] 타겟과 기판거리의 결정방향

나. 전극(Pt, Al)이 결정방향에 미치는 영향

사파이어기판위에 기판온도 350°, Ar:O<sub>2</sub>=50:50, 고주파입력 200[W], 기판과 타겟과의 거리는 5.5cm, 6cm의 조건하에 Pt와 Al을 전극층으로 증착하고 위에 ZnO박막을 증착하였을 때의 결정방향을 [그림 5]에 나타내었다. 여기서, 전극층에 박막을 성장시키면 (100)-(002)-(110)의 다결정 ZnO박막이 형성되어지며 전극의 영향은 (002)면성장의 장애요인이 됨을 알 수 있다. 또한, 기판과 타겟거리가 멀어지면 앞의 결과와 같이 (110)면의 성장이 증가된다. 전극이 Pt일때보다 Al일때는 (002)면의 성장이 상당히 억제되며 기판과 타겟거리가 멀어지면 거의 (002)면은 나타나지 않음을 알 수 있다. 이는 Al전극은 (002)면의 성장을 강하게 억제하고 (110)면의 성장을 증가시키는 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.



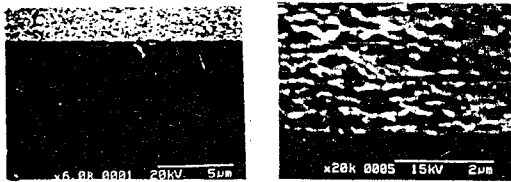
[그림 5] 전극에 따른 XRD 면지수

다. ZnO박막의 미세구조

[사진 1]은 [실험1]과 [실험2]의 미세구조를 보이고 있다. [사진 1-a)는 [실험1]의 두께 및 표면사진으로 두께가 약 4  $\mu\text{m}$ 이며 표면과 계면은 양호한 embosome의 형태 및 columnar 구조를 가짐을 알 수 있다. [사진1- b)는 두께가 약 9  $\mu\text{m}$ 이며 표면 및 계면이 불균일면이 존재하지만 SEM의 분석으로는 면의 변화는 파악이 어렵다는 결론을 얻었다.



(사진1-a) 실험1의 계면 및 두께

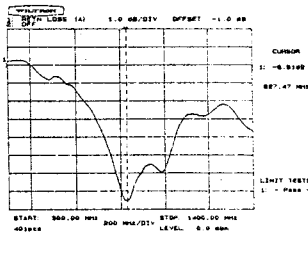


(사진1-b) 실험2의 계면 및 두께

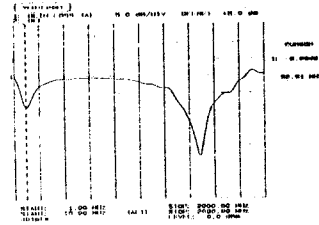
[사진 1] ZnO박막의 미세구조

3.2. 압전변환기의 전기음향 특성

[실험1], [실험2]의 조건으로 증착된 ZnO박막의 비저항은 617 programmable electrometer로 5회 측정하여 평균한 결과 비저항값은 [실험1]의 시편은  $12.196 \times 10^6 [\Omega\text{cm}]$ 이었고 실험2의 시편은  $0.2 \times 10^6$  으로 [002]면으로 성장된 박막의 비저항은 변환기로의 응용에 적합함을 알 수 있다. 또한 제작된 압전변환기의 전기음향특성 측정시 고주파 잡음을 최소화 할 수 있도록 측정장치를 제작하였으며 Network analyzer이용하여 측정주파수에서 입력임피던스를 50 $\Omega$ 으로 보정을 한 후 공진주파수를 측정하였다. [그림 6]은 [실험1]조건인 시편의 공진주파수를 보이고 있으며, 823.5[Mhz]에서 공진이 됨을 알 수 있다. 이는 압전변환기의 공진주파수는 반파장주파수에서 공진이 됨을 의미하며, 이는 반파장주파수와 거의 일치하고 있다. 여기서 약간의 차이는 박막형성의 불균일 및 두께의 오차로 사료된다. 그리고, 공진주파수 부근 즉, 600Mhz~1GHz사이에서 변환기의 응용이 가능하리라고 사료된다. [그림 7]은 [실험2]조건인 시편의 주파수응답으로서 두 개의 peak이 나타난다. 92.91[MHz]에서 공진이 일어나는것으로 사료되며 추후 분석이 요구된다.



[그림 6] 변환기의 공진주파수(실험1)



[그림 7] 변환기의 공진주파수(실험2)

4. 결론

본 연구에서는 ZnO박막을 RF magnetron 스퍼터로 증착하여 구조적인 분석과 결정방향성을 검토하였으며, 또한 ZnO압전 변환기를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ZnO박막 증착시 제시한 스퍼터조건에서 기판과 타겟 거리가 멀어질수록 (002)면의 성장이 억제되고(110)-(100)면의 성장이 증가되며 본 실험에서는 간격이 5.5cm 일때 C축의 성장이 가장 좋은 특성을 보였다.
2. 전극의 영향은 (002)면의 억제요인이 되며, 특히 알루미늄전극은 c축(002면)성장을 강하게 억제하며 (110)면의 성장을 증대시킨다.
3. SEM 분석 결과 다결정 ZnO박막의 계면과 표면은 columnar structure 및 embosome의 형태를 보이며 결정방향의 분석은 할 수 없다는 결론을 얻었다.
4. C축(002면)의 성장은  $10^6 [\Omega\text{cm}]$ 대의 비저항값을 보이며 (100)-(002)-(110)면의 성장은 낮은  $10^8 [\Omega\text{cm}]$ 대의 비저항값을 보였다. 그러므로 압전변환기의 응용시 높은 비저항값을 가지는 (002)면의 성장이 요구된다.
5. 제작한 ZnO 압전변환기는 반파장주파수에서 공진이 됨을 보이며 (002)면으로 양호하게 성장한 시편의 공진주파수가 827.47MHz로 거의 반파장주파수와 일치하였으며 실제적인 압전변환기의 사용주파수 대역은 600MHz~1GHz의 대역에서 응용 가능하리라고 사료된다.

참고문헌

- [1] Osamu yamasaki, Tsuneo Mitsuyu, and Kiyotaka Wasa, "ZnO thin film saw devices", IEEE, TRANS ON SONIC ULTRASONIC VOL. SU 27 NO. 6, pp369 1980
- [2] Tomonobu Hata, Etsuji Noda, Osamu Morimoto, and Toshio Hata, "high rate deposition of thick piezoelectric film using a new magnetron sputtering technique", APPL, PHYS, LETT, 37(7), pp633-636, 1980
- [3] W. Crofut, "Broadband microwave acoustic delay lines, " Microwave J., pp. 65-72, Jan. 1967.
- [4] H. W. Lehmann and R. Widmer, "RF sputtering of ZnO shear wave transducer", J. APPL, PHYS, VOL, 44, NO. 9, pp3868, 1973