

PLD와 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 SAW 필터용 ZnO 박막의 특성 연구

이승환¹, 유윤식^{1,2,a}

¹ 동의대학교, 부산IT융합부품연구소

² 동의대학교 방사선학과

The Study of ZnO Thin Film for SAW Filter by PLD and RF Magnetron Sputtering

Seung-Hwan Lee¹ and Yun-Sik Yu^{1,2,a}

¹ Convergence of IT Devices Institute Busan, Dong-Eui University, Busan 614-715, Korea

² Department of Radiological Science, Dong-Eui University, Busan 614-715, Korea

(Received November 12, 2012; Revised November 20, 2012; Accepted November 21, 2012)

Abstract: We proposed the ZnO thin film for a SAW filter by PLD and RF sputtering method. ZnO thin films was pre-deposited on a sapphire substrate as a seed layer by PLD method and then deposited on seed layer by RF sputtering. The surface characteristics of ZnO thin film were investigated by XRD, SEM and AFM. The minimum surface roughness was 1.92 nm and FWHM of rocking curve was 0.92°. We demonstrated the SAW filter with bandwidth of approximately 0.97 MHz and the center frequency of 18.72 MHz using the proposed ZnO thin film.

Keywords: SAW filter, PLD, RF magnetron sputter, ZnO

1. 서 론

ZnO는 wurtzite 구조를 가지는 물질로서 가시광 영역에서의 투명성을 이용하여 태양전지, 액정디스플레이, 전계발광 디스플레이 등에 투명전도전막으로 응용되고 있으며, 상온에서 3.27 eV의 band-gap을 가지는 직접 천이형 반도체로 넓은 band-gap을 이용한 청색, 녹색 발광소자의 제작에 대한 연구가 활발히

진행되어 왔다 [1,2]. 또한, LiNbO₃에 상응하는 기계결합계수와 quartz에 비교하여 우수한 열적 안정성으로 인해 SAW (surface acoustic wave)를 이용한 원거리 레이더용 주파수 필터, UHF/VHF 영역의 신호 처리 및 대역통과 필터, 공진기 등의 통신기기용 필터로 활발히 연구되고 있다 [3]. 그러나 ZnO 박막을 고주파 대역의 박막 필터 및 FBAR (film bulk acoustic resonator) 등의 SAW device에 응용하기 위해서는 RF 부품과의 집적화가 가능한 Si (silicon)나 sapphire 기판 위에 증착된 박막에 대한 특성 연구가 필요하다. 또한 ZnO 박막이 양호한 압전성을 갖기 위해서는 결정구조가 c-축으로 수직 배향해야 한다. 즉, rocking curve의 반치폭 (full width at half maximum,

a. Corresponding author; yuyu@deu.ac.kr

Copyright ©2012 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

FWHM) 값이 작을수록 높은 압전성을 가지며, 일반적으로 고주파용 SAW filter로 응용하기 위해서는 압전 박막의 반치폭이 6° 이하여야 한다 [4-6]. 또한, SAW filter로 응용 시 박막 표면이 거칠면 국부적인 속도 변화에 따른 주파수 변화가 심하게 되므로 표면 거칠기가 우수한 박막이 요구된다. 고주파 대역으로 갈수록 IDT finger의 전극 크기 및 간격이 세밀해져 박막의 표면 거칠기가 더욱 중요해진다.

ZnO 박막의 제작 방법 중에서 PLD (pulsed laser deposition) 법은 c-축 우선방위 성장이 매우 뛰어나고 양질의 박막 제작에 많은 장점이 있으나 표면 거칠기가 좋지 않은 단점이 있다. 또 하나의 방법인 RF magnetron sputtering법은 높은 증착율과 넓은 증착 면적 및 표면 거칠기가 우수한 치밀한 막을 얻을 수 있지만 PLD법에 비해 우선방위 성장이 떨어진다.

본 연구에서는 두 방법의 장점을 살리기 위해 PLD 법으로 pure ZnO를 먼저 증착하여 seed layer로 구성하고, RF magnetron sputtering법으로 ZnO를 다시 증착하여 ZnO 박막을 제작하였다. 박막의 특성을 분석하기 위하여 PLD법으로 제작된 ZnO 박막과 제안된 방법으로 제작된 ZnO 박막의 결정성 및 표면적 특성을 비교하였다. 또한, 제안한 ZnO 박막을 이용하여 SAW filter를 제작하고 특성을 측정하였다.

2. 실험 방법

2.1 PLD법을 이용한 ZnO 박막 제작

순수한 ZnO(Aldrich Ch. Co. 4N)을 사용하여 증착용 세라믹 타겟을 직접 제작하였다. 제작된 세라믹 타겟은 직경 2.53 cm, 두께 0.4 cm, 질량 9 g이며, $1,200^\circ\text{C}$ 에서 4시간 소결하여 제작하였다. 이렇게 제작된 pure ZnO 타겟을 사용하여 PLD법으로 sapphire (0001) 기판 위에 박막을 제작하였다. ZnO 박막을 증착시킬 기판 표면의 오염은 고른 박막 성장에 영향을 미칠 수 있으므로 기판에 흡착된 유기물이나 무기물 등과 같은 오염물을 제거하여야 한다. 이를 위해 TCE (trichloroethylene)-아세톤-메탄올-증류수 순으로 초음파 세척기를 사용하여 각각 5분 씩 세척하였으며, 질소가스를 이용하여 건조 후 180°C 에서 3분 동안 가열하였다. 248 nm KrF excimer laser (COMPEX 205, Coherent)로 부터 발진된 빔을 챔버 외부에서 집속하여 챔버 내부의 ZnO 타겟 표면으로

Table 1. Deposit condition of ZnO thin film by PLD method.

Condition	Value
Substrate temperature	500°C
Oxygen pressure	200 mTorr
Laser pulse repetition rate	5 Hz
Overage power of laser pulse	200 mJ
Distance between substrate and target	5 cm
Deposition rate	0.5 Å/pulse
Thickness of ZnO thin film	$2.5 \mu\text{m}$

입사되도록 하여 500°C 에서 성막시켰다. 박막의 스트레스는 SAW의 형성에 큰 영향을 미치므로 성막 시 챔버 내의 산소 분압을 일정 비율로 유지하면서 성막시켰다. 성막 후 박막의 스트레스를 최소화하기 위하여 산소 분압을 증착 시와 같은 비율로 유지하면서 서서히 냉각시켰다. 성막 후 산소 공급은 유지하는 것은 성막 시 발생할 수 있는 산소 결핍을 보상하는데도 기여를 하는 것으로 알려져 있다 [7,8]. 최적의 증착 조건을 확립하고자 여러 가지 조건으로 실험한 결과 표 1과 같은 조건에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

2.2 PLD+RF magnetron sputtering법을 이용한 ZnO 박막 제작

RF magnetron sputter 시스템으로 ZnO 박막을 증착하기 전에 먼저 결정성과 배향성이 우수한 PLD 방법을 이용하여 박막 두께가 $0.5 \mu\text{m}$ 인 ZnO seed layer를 제작하였다. 제작된 ZnO seed layer 위에 RF magnetron sputter 시스템을 이용하여 ZnO를 증착하여 총 $2.5 \mu\text{m}$ 두께를 가지는 박막을 제작하였다. ZnO 박막을 증착하기 위하여 초고순도 아르곤이 사용되었고, 초기 진공은 7.5×10^{-6} mtorr였다. 증착 시의 공정 압력은 5 mtorr였고, 기판 온도가 500°C 일 때 증착하였다. 챔버 내 분위기는 아르곤 10 sccm으로 하고, MFC (mass flow controller)를 이용하여 총 유량은 100 sccm으로 고정시켰으며, RF 출력은 200 W로 하였다. 기판과 타겟의 거리는 95 mm이고, 타겟 표면에 존재할 수 있는 오염 물질을 제거하기 위하여 약 5분 간 예비 sputtering을 실시하였다. ZnO 박막 제

작 후 600°C에서 1시간 동안 후열 처리 공정을 통하여 ZnO 분자의 재배열을 유도하였다.

2.3 제안된 박막을 이용한 SAW filter 제작

ZnO SAW filter의 주파수 응답을 측정하기 위해 이상적인 ZnO 박막의 전파 속도인 2,600 m/s로 가정하여 중심 주파수가 17.5 MHz가 되도록 전극들을 IDT finger 형태로 설계하였다. 고가격의 마스크용 필름 대신 저가격의 일반 사진용 리스필름 (LITH FILM(LO), FUJI)을 입혀 마스크를 제작하였으며, lithography 공정을 통하여 SAW filter를 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 박막의 구조적 특성을 분석하기 위하여 XRD (D/max 2100H, RIKAKU)를 사용하여 그 결정성 및 우선 배향성을 분석하였다. 이때 사용한 X선원은 CuK α (1.5405 Å)이고, 스텝 폭은 0.01° 간격으로 조사하였으며, 가속 전압은 40 kV와 30 mA이었다. ZnO 박막의 표면적 특성을 분석하기 위하여 SEM (S-2400, Hitachi)으로 관찰하였으며, 표면의 미세구조 관찰을 위해 AFM (SPA-400, NITECH)을 사용하였다. SAW filter의 주파수 응답 특성을 분석하기 위하여 Network Analyzer (HP 8753ES, Agilent)를 사용하였다.

3.1 ZnO박막의 구조적 특성

3.1.1 PLD법으로 제작된 ZnO 박막의 구조적 특성

ZnO 박막의 결정성 및 배향성을 확인하기 위하여 XRD를 이용하여 2 θ - θ 및 ω -scan을 실시하였다.

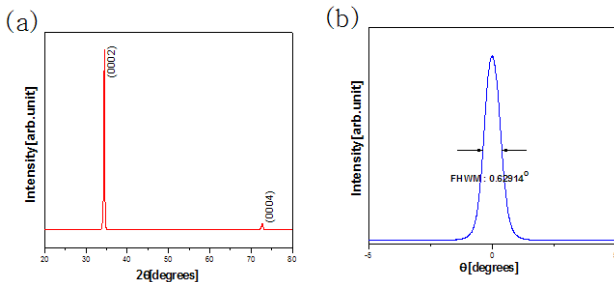


Fig. 1. XRD data of the ZnO thin film grown by the PLD method. (a) XRD data of the ZnO thin film, (b) rocking curve of the ZnO thin film.

그림 1은 Sapphire (0001) 위에 증착된 ZnO 박막의 X-ray 분석 결과를 나타낸 것이다. 증착된 ZnO 박막은 34.40°에서 높은 intensity를 갖는 우수한 c-축 배향성을 가지고 있으며, 이 위치에서의 ω -scan으로 얻은 FWHM은 0.63°으로 매우 우수한 결정성을 보여주었다.

3.1.2 PLD+RF magnetron sputtering법으로 제작된 ZnO 박막의 구조적 특성

그림 2는 PLD법으로 제작한 ZnO seed layer 위에 RF magnetron sputter로 증착시킨 ZnO 박막에 대한 X-ray 분석 결과를 나타낸 것이다. 증착된 ZnO 박막 역시 34.40°에서 높은 intensity를 갖는 우수한 c-축 배향성을 가졌으며, 이 위치에서의 ω -scan으로 얻은 FWHM은 0.92°로 PLD법으로 제작된 박막과 거의 유사한 우수한 결정성을 보여주었다.

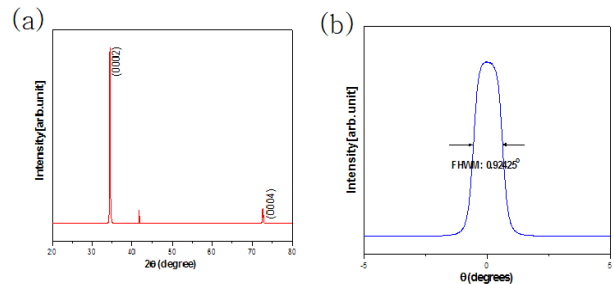


Fig. 2. XRD data of the ZnO thin film grown by the PLD+RF magnetron sputtering method. (a) XRD data of the ZnO thin film, (b) rocking curve of the ZnO thin film.

3.2 ZnO박막의 표면 특성

3.2.1 PLD법으로 제작된 ZnO 박막의 표면 특성

그림 3은 기판 위에 산소압 200 mTorr, 기판 온도 600°C에서 40분 성장시킨 ZnO 박막에 대한 표면과 단면 형상을 나타낸 것이다. 전체적으로 균일한 패턴을 보이고 있으며 평균 250 nm의 구역 크기를 가졌다. 단면 SEM 영상에서 절개면의 형태로 볼 때 규칙적인 주상 구조의 구역 성장을 보여준다. 표면과 절단면에 대한 SEM 결과에서도 XRD 결과와 같이 ZnO 박막이 c-축 우선방위 성장이 이루어졌음을 알 수 있었다.

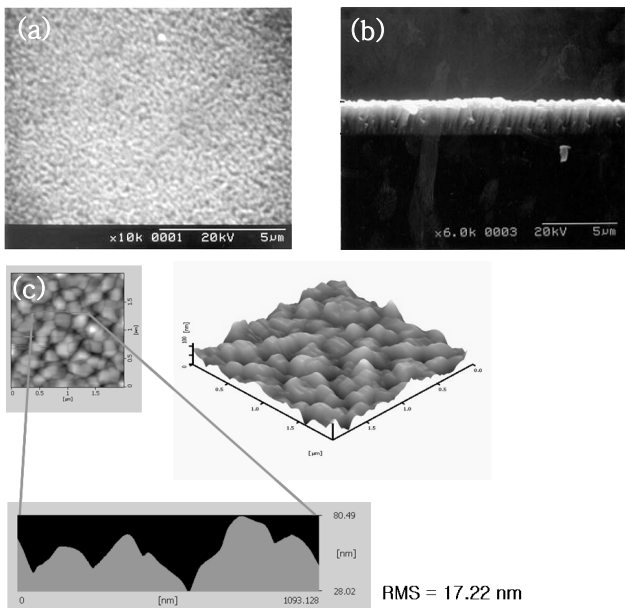


Fig. 3. Image of the ZnO thin film grown by the PLD method. (a) surface SEM image of the ZnO thin film, (b) cross-sectional SEM image of the ZnO thin film, (c) surface AFM image of the ZnO thin film.

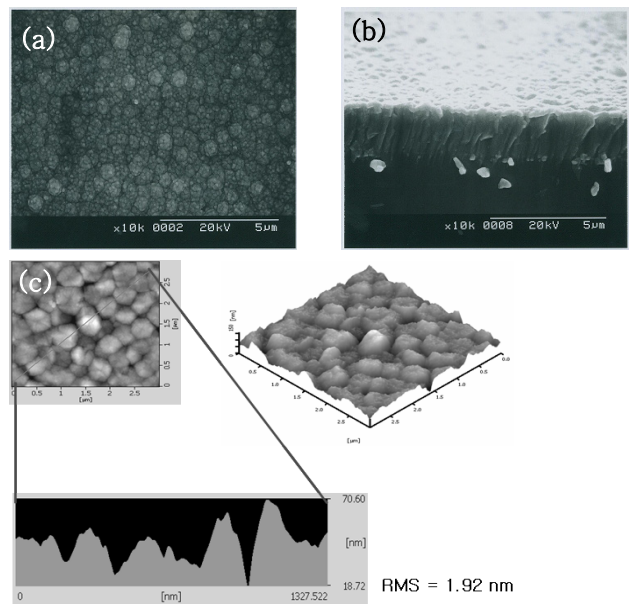


Fig. 4. Image of the ZnO thin film grown by the PLD+RF sputtering method. (a) surface SEM image of the ZnO thin film, (b) cross-sectional SEM image of the ZnO thin film, (c) surface AFM image of the ZnO thin film.

3.2.2 PLD+RF magnetron sputtering법으로 제작된 ZnO 박막의 표면 특성

PLD방법으로 제조된 ZnO 박막의 결정성은 우수하나 표면이 균일도가 높지 못하여 고주파의 SAW filter용 박막으로는 적합하지 못하다. 이를 보완하기 위하여 PLD법으로 제작된 ZnO seed layer를 기반으로 하여 RF magnetron sputter로 박막을 성장시켰다. PLD법으로 성장된 seed layer의 결정성을 그대로 유지하면서 RF magnetron sputter로 증착시켜 균일한 표면을 갖는 박막을 얻을 수 있었다.

그림 4에서도 RF magnetron sputter로 증착된 구역의 절개면 역시 규칙적인 주상 구조의 구역 성장을 보여준다. 표면의 평탄도 측정에 대한 AFM 결과도 ZnO 박막의 RMS 값은 PLD법 보다 나은 1.92 nm 정도이다. 제시된 방법으로 제작된 ZnO 박막은 고주파 SAW filter에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

3.3 ZnO 박막을 이용한 SAW filter의 주파수 응답 특성

제작된 SAW filter의 주파수 응답 특성은 HP-

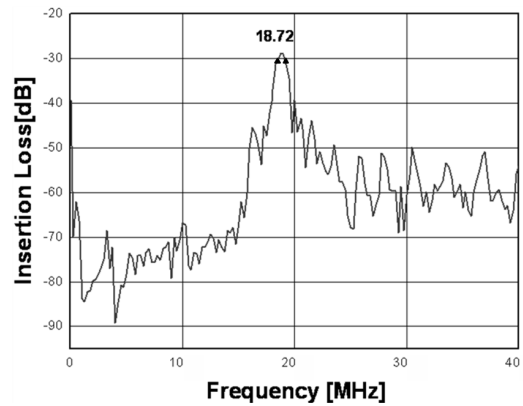


Fig. 5. Frequency response characteristics of the SAW filter designed with the band-width of 17.5 Mhz.

8753ES Network Analyzer를 사용하여 측정하였다.

그림 5는 ZnO 박막 위에 제작된 SAW filter의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 중심 주파수는 18.72 Mhz였으며, 이때 3 dB 대역폭은 약 0.97 Mhz, 삽입 손실 (insertion loss)은 28.9 dB로 나타났다. 전반적으로 다소 거친 특성을 보이는 것은 와이어 본딩 시 니크롬선으로 인듐 납땀에 의한 결선 손실과 압전

박막 내부에서의 반사나 전극 간의 반사, BAW (bulk acoustic wave)에 의한 간섭 등과 같은 여러 가지 복합된 2차효과로 인한 것으로 보인다.

4. 결론

PLD법으로 성장된 ZnO seed layer 위에 RF sputtering법으로 증착시킨 후 600°C에서 후열 처리한 후 ZnO 박막의 구조분석 결과 SAW 형성에 필요한 조건인 FWHM 값이 6° 이하의 값을 만족하는 0.92°로 측정되었다. 표면 구조를 관찰해 본 결과 SEM 측정에 PLD법과 같은 c-축 우선 배향성을 갖는 치밀한 주상 구조임을 확인하였으며, AFM 영상에서는 RMS=1.92 nm로 일정하고 고른 상태를 보였다. 이상의 결과로부터 ZnO 박막의 결정성과 배향성은 PLD법과 같은 경향성을 보이면서, 표면 상태는 PLD법보다 나은 박막을 성막할 수 있었다. 이는 결정성과 배향성 그리고 평탄도를 유지하면서 박막의 두께를 증가시키는 방법으로써 고주파 SAW filter용 박막으로 사용이 가능하다. ZnO 박막을 이용하여 중심 주파수가 18.72 MHz이고, 삽입 손실이 28.9 dB의 filter 특성을 갖는 SAW filter를 제작하였다. 고주파용 SAW filter에서도 사용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 (정보통신연구진흥원), 부산광역시 및 동의대학교의 지원을 받아 수행된 결과임. (08-기반-13, IT특화연구소:“부산IT융합부품연구소” 설립 및 운영)

REFERENCES

- [1] B. A. Auld, *Acoustic Fields and Waves in Solids* (John Wiley and Sons, New York, 1973) p. 101.
- [2] J. F. Nye, *Physical Properties of Crystals* (Oxford University Press, Oxford, 1955) p. 82.
- [3] B. T. Khuri Yakub, G. S. Kino, and P. Galle, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3266 (1975).
- [4] H. Mathews, *Surface Wave Filters* (John Wiley and Sons, New York, 1977) p. 120.
- [5] S. Ono, O. Yamazaki, K. Ohji, K. Wasa, and S. Hayakawa, *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 217 (1978).
- [6] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Digital Signal Processing* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1975) p. 277.
- [7] F. K. Shan, G. X. Liu, B. I. Kim, B. C. Shin, S. C. Kim, and Y. S. Yu, *J. Kor. Phys. Soc.*, **42**, 1157 (2003).
- [8] S. Takada, *J. Appl. Phys.*, **73**, 4739 (1993).