

RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 ZnO 박막 SAW 필터의 제작

정은자, 장철영, 정영철, 최현철, 이용현
경북대학교, 경주대학교

Fabrication of a SAW Filter Using a ZnO Thin Film deposited by RF Magnetron Sputtering

Eun-Ja Jung, Cheol-Yeong Jang, Young-Chul Jung, Hyun-Chul Choi, and Yong-Hyun Lee
Kyungpook National Uni., Gyeongju Uni.

Abstract

This study proposes ZnO thin film as a piezoelectric material for SAW (surface acoustic wave) filter. The ZnO thin film with thickness 2.6 μm was deposited (0001)-oriented sapphire by RF magnetron sputtering technique. IDTs (inter-digital transducers) electrodes were patterned upon SAW filter mask with solid finger structure unapodized using lift-off method on ZnO piezoelectric thin film. SAW propagation velocity was measured with the center frequency by HP 8753C network analyzer.

A fabricated ZnO SAW filter exhibited a high propagation velocity of 5433 m/s and relatively insertion loss of -53.391dB at $\lambda=80 \mu\text{m}$. The side-lobe attenuation of the center frequency was about 17dB. When the wavelength was $80\mu\text{m}$ ($\lambda/4=20 \mu\text{m}$), the center frequency was 67.907 MHz. k^2 (electromechanical coupling coefficient) was 15.84 %.

Key Words : ZnO Piezoelectric Thin Film, RF Magnetron Sputter, Surface Acoustic Wave

1. 서론

이동 통신 분야의 급격한 성장으로 이동통신용 부품에 대한 수요가 급증했으며, 기존에 사용된 주파수 대역이 포함됨으로서 현재 이동 통신용 주파수 대역이 GHz 대로 가고 있다. 그로 인해 고주파에서 동작하는 소자들이 필요하게 되고, 그 중 필터가 핵심 소자이다. 이런 필터의 소형화, 박형화가 비교적 쉬운 SAW 필터가 주목받고 있다. 이에 GHz 대역 SAW 필터에 대한 연구는 높은 SAW 전파 속도를 가지는 기관 재료와 submicron 공정, 그리고 고주파 모드에서 동작하는 SAW 소자 개발 등에 대해 이루어지고 있다^[1]. 대표적인 SAW 필터용 압전 재료로는 LiNbO₃, LiTaO₃, Quartz 등의 압전 단결정과 AlN, GaN 및 ZnO 등의 압전 박막이 있다. 이미 상용화된 LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 압

전 단결정은 그 전파 속도가 4000 m/s 내외이며 전파 손실이 큰 단점을 가지고 있다. 최근에 4000 m/s 및 5500 m/s 내외의 전파 속도를 갖는 AlN, GaN 및 ZnO 등의 압전 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[2,3]. 이러한 압전 재료 중에서 ZnO는 육방 정계의 wurtzite 결정 구조를 가지는 II-VI족 화합물 반도체로서 c축 방향의 압전 상수인 e_{33} 가 가장 크므로 c축 방향의 압전성이 실제 소자 제조시 가장 많이 이용되고 있다^[4]. ZnO 박막의 제조에는 RF 마그네트론 스퍼터링법, CVD법 (Chemical Vapor Deposition), ECR (Electron Cyclotron Resonance) 스퍼터링법, Pulsed Laser Deposition 등의 다양한 방법이 있다. 특히 ZnO 타겟을 사용하고 Ar과 O₂의 혼합 가스를 사용하는 RF 마그네트론 스퍼터링법은 장치가 단순하며, 낮

은 기판 온도에서 높은 증착률로 우수한 배향성을 갖는 양질의 막과 투명하고 치밀한 박막을 얻을 수 있는 장점을 가져 ZnO 박막 성장에 널리 사용되고 있다. ZnO는 다양한 기판 위에 압전 박막으로 제조할 수 있으며, sapphire 기판 위에서는 양질의 에피택셜 ZnO 박막의 성장이 가능하여 SAW의 전파 손실을 줄일 수 있을 뿐 아니라 상용화된 LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 압전 단결정 기판에 비해 전파 속도가 높아 2 GHz 이상의 고주파용 소자에 응용이 용이하다.

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 장치로 sapphire 기판 위에 ZnO 박막을 증착시키고, ZnO 박막을 압전 재료로 하여 SAW 필터를 제작하였고 필터의 주파수 응답 특성을 측정하였다.

2. 실험

2.1 ZnO 압전 박막의 증착

본 실험에서는 sapphire 기판 위에 RF magnetron sputter를 이용하여 ZnO 박막을 증착하였다. 지름이 3 inch이며 순도는 99.99 %인 ZnO 타겟을 사용하였으며, Ar와 O₂의 혼합 가스를 이용하여 박막을 증착 하였다. 증착 되는 ZnO 박막의 미세구조 및 결정학적 특성 등은 기판 표면에 존재하는 유기물 등의 불순물에 매우 큰 영향을 받으므로 기판의 세척은 아주 중요하다. 따라서 본 실험에서는 TCE/아세톤/메탄올/증류수에 각각 30 분간 초음파 세척하고 N₂ 가스에 송풍 건조한 후 Hot plate에서 90 °C로 10분간 건조시켜 기판으로 사용하였다. 증착 전 챔버 내의 진공은 로터리 펌프와 확산 펌프를 이용하여 10⁻⁶ Torr를 유지한 후 MFC를 이용하여 Ar와 O₂의 혼합 가스를 챔버 내로 주입하였다. ZnO 박막의 증착 시 타겟 표면에 존재하는 불순물과 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 shutter를 닫은 상태에서 Ar과 O₂ 분위기에서 20분간 pre-sputtering 하였다. 일반적으로 RF magnetron sputter를 이용하여 증착한 박막의 물성은 타겟의 조성, 방전가스의 종류와 압력, RF 인가 전력, 기판의 종류, 기판과 전극 사이의 거리, 기판 온도와 챔버 형태 등 매우 많은 증착 변수들에 의해 변화하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 최적화된 ZnO 박막의 증착을 위해 표 1과 같이 조건을 얻었다. 표 1의 증착 조

건으로 얻어진 ZnO 박막의 두께는 a-step 200으로 측정하였으며, 박막의 결정성 및 우선 배향성을 알아보기 위해 X-ray diffractometer를 이용하여 θ -2 θ 및 rocking curve를 측정하였다. 그리고 ZnO 박막의 저항은 HP-4155A 반도체 파라미터 분석기를 이용하여 -5 V ~ +5 V 범위에서 측정하였다.

표 1. ZnO 압전 박막의 증착 조건.

Table 1. Deposition conditions employed in this experiment.

Deposition condition	
RF power	100W
substrate temperature	200°C
Ar/O ₂ gas ratio	10/10
Initial pressure	10 ⁻⁶ Torr
working pressure	10 ⁻² Torr
target-substrate distance	6.5cm
deposition time	60, 120, 180, 240min

2.2 ZnO 압전 박막을 이용한 SAW 필터 제작

그림 1은 ZnO/sapphire 구조에 제작된 SAW 필터의 IDT 패턴이다. SAW 필터의 특성을 분석하기 위해서 표 2에 나타내고 있는 것과 같은 설계 규격과 전자기 feedthrough 현상을 방지하기 위해서 입·출력 IDT 사이에 접지 전극이 있는 solid finger 구조로 설계하였다.

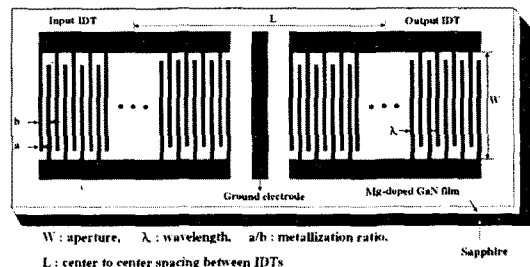


그림 1. SAW 필터 IDT 패턴.

Fig. 1. SAW filter IDT pattern.

표 2. SAW 필터의 설계 파라미터.

Table 2. Parameter of SAW filter.

wavelength (λ)	80 μm
Aperture (W)	1800 μm
IDT finger pairs	40 pairs
IDT center to center space(L)	3650, 4100, 5000 μm
Metallization ratio (a/b)	0.5

그리고 SAW 필터의 전극 형성을 위한 금속으로는 다른 금속에 비해 상대적으로 경금속 (2700 kg/m³)이며 mass loading effect가 적은 Al을 사용하였고, 전극 형성 방법으로는 lift-off 방법을 이용하였다.

주파수 측정을 위해서 입·출력 선로가 50 Ω 의 저항을 가지고 있는 SMA (sub-miniature adapter) 커넥터에 Al wire bonding된 소자를 HP 8753C Network Analyzer에 연결하여 주파수 특성 S₂₁을 측정하고 전기 기계적 결합계수(k²)의 계산을 위해서 S₂₂의 특성을 측정하였다. 전기 기계적 결합계수(k²)는 주파수 특성 S₂₂의 측정을 통해서 얻어진 저항과 커패시턴스를 이용해 계산식 (1)로부터 구할 수 있다.

$$k^2 = \frac{\pi}{4N} \cdot \frac{G_0}{B_0} \quad \text{식 (1)}$$

(N: finger pair 수, G₀:컨덕턴스, B₀: 서셉턴스)

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnO 압전 박막의 특성 분석

본 논문에서 SAW 필터 제작에 사용된 ZnO 박막의 X-ray rocking curve의 측정 결과 반치폭(FWHM)이 5.5° 이었으며, 그림 2는 증착 시간에 따른 θ -2 θ XRD 결과이며 ZnO 박막의 두께가 두꺼워질수록 c축 우선 배향성이 좋아짐을 확인할 수 있다. 그림 3은 표 1의 증착 조건에서 c축 우선 배향성이 가장 좋은 240분의 증착 시간동안 증착된 ZnO 박막의 미세 구조로 전체적으로 매우 치밀한 주상 구조로 증착되었음을 알 수 있다. 그리고 α -step 200 으로 두께를 측정한 결과 증착률은 1.805 Å/sec 로 나타났다. 입력 IDT 전극간 finger

사이의 저항은 HP-4155A 반도체 파라미터 분석기

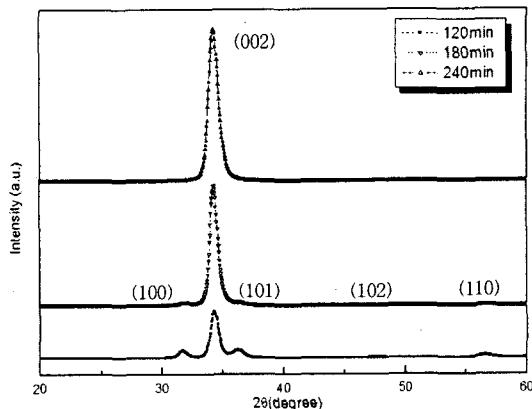


그림 2. ZnO 박막의 증착 시간에 따른 θ -2 θ XRD spectra.

Fig. 2. θ -2 θ XRD spectra of ZnO thin film as a function of deposition time.

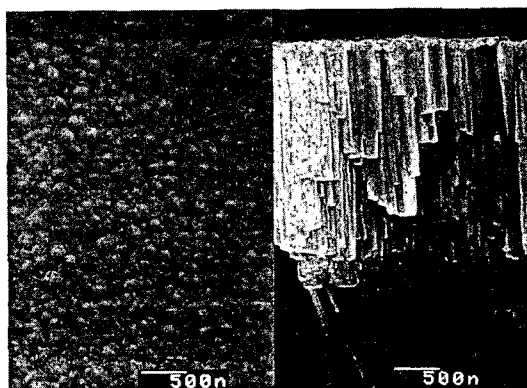


그림 3. ZnO 박막의 표면과 단면 SEM 사진.

Fig. 3. SEM picture of ZnO thin film.

를 이용하여 -5 V ~+5 V 범위에서 측정하였다. 인가된 전압과는 무관하게 비교적 일정한 저항치를 보이며 인가전압이 1 V 일 경우 ZnO 박막의 저항은 4×10⁷ Ω 값을 나타내었다. 박막 자체가 가지는 전기적 특성이 SAW 소자의 특성에 영향을 미친다. 저항이 낮으면 누설전류가 흘러 SAW 특성이 나타나지 않으므로 일정한 저항치가 되어야만 한다. 그리고 저항이 높을수록 고주파 대역에서

동작하는 SAW 필터의 잡음 제거 특성이 좋아진다. 반면 삽입 손실이 커지는 경향을 가지므로 이를 고려하여 박막을 제조해야 한다.

3.2 ZnO 압전 박막을 이용한 SAW 필터의 주파수 특성 분석

SAW 필터의 입력 IDT 전극에 RF 신호를 인가하면 ZnO 박막은 인가된 신호에 비례하는 기계적 스트레스를 발생시킨다. 이러한 주기성을 갖는 기계적인 변위는 ZnO 박막의 표면을 따라 Rayleigh wave로 출력 IDT에 전파된다. 압전체를 통해 진행되는 중에 필터링 되며 설계된 IDT에 의해 주파수가 결정되게 된다. 그림 4는 파장을 80 μm , 1.5 MHz의 bandwidth을 갖도록 40개 finger pair로 설계된 필터의 주파수 특성이다.

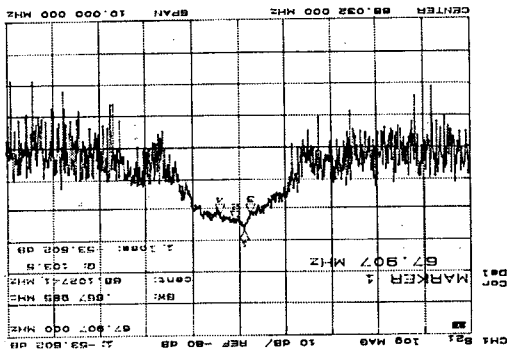


그림 8. ZnO SAW 필터의 주파수 특성(S_{21}).

Fig. 8. Frequency response characteristics of ZnO SAW filter ($\lambda=80 \mu\text{m}$)(S_{21}).

SAW의 2차 효과와 feedthrough를 방지하기 위해 입·출력 IDT 사이에 접지 전극이 들어가도록 설계하였다. 그 결과 기본 모드의 중심 주파수는 67.907 MHz로 Sinc 함수 모양을 나타내고 있으며 $\lambda = v/f_0$ 의 관계식에서 중심 주파수에서의 전파 속도는 5433 %로써 아주 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

ZnO 박막의 삽입 손실과 전파 손실은 임피던스 정합을 하지 않은 상태에서 측정하였으며, 측정 결과 -53.602 dB이었고 Q 값은 103.5이며 side-lobe

감쇠 특성은 17 dB이상의 값을 보였다. 그리고 bandwidth는 설계치 보다 작은 0.667 MHz로 나타났지만 이것은 전극 제작 시 발생한 오차 때문으로 생각된다.

4. 결론

본 실험에서는 (0002) ZnO 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 sapphire 기판 위에 증착하였고 IDT 전극을 두께 2.6 μm 의 ZnO 박막 위에 제작하여 그 특성을 분석하였다. ZnO 박막의 두께가 증가할수록 sapphire 기판의 속도보다 ZnO 박막의 영향을 더 많이 받아 속도가 떨어지기 때문에 박막 제조 시 고려되어야 할 사항이며, IDT 선폭이 20 μm 로 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성 결과 SAW 전파속도는 약 5433 %이었으며, 삽입 손실은 -53.602 dB이었다. 삽입 손실의 경우 impedance matching을 하지 않은 상태에서 측정하였으며 matching이 이루어진다면 충분히 개선될 것이다. 위의 결과로 볼 때 ZnO/Sapphire구조의 SAW 필터는 이미 상용화되어 있는 LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 압전 단결정보다 SAW의 전파 속도가 빠르므로 같은 IDT 선폭을 가지고도 훨씬 더 높은 주파수 대역에서 동작하는 소자 구현이 가능하여 고주파용 SAW 필터의 제작 시 중요한 연구 과제가 되고 있는 Submicron 전극제작기술에도 큰 도움이 될 것이다.

참고 문헌

- [1] Irina S. Didenko, Fred S. Hickernell and Natalya F. Naumenko, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. and Freq. Contrl. Vol. 47, No. 1, p 179, 2000.
- [2] H. Oakno, N. Tanaka, Y. Hirao, Y. Kobayashi, K. Shibata and S. Nakano, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 5B, p 2957, 1994.
- [3] Suk-Hun Lee, Hwan-Hee Jeong, Sung-Bum Bae, Hyun-Chul Choi, Jung-Hee Lee and Yong-Hyun Lee, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 48, No. 3, March, 2001.
- [4] H. Eng an, IEEE Trans. Electron Devices, ED- 16, 1014, 1969.