

ZnO 압전 박막을 이용한 고주파 SAW 필터 연구

박용욱[†] · 신현용

남서울대학교 전자정보통신공학부
(2003년 5월 28일 접수; 2003년 6월 4일 승인)

A Study on the ZnO Piezoelectric Thin Film SAW Filter for High Frequency

Yong Wook Park[†] and Hyun Yong Shin

Department of Electronics and Information Communication Engineering, Namseoul University, Choongnam 330-707, Korea
(Received May 28, 2003; Accepted June 4, 2003)

초 록

RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 유리기판위에 인가전력 100 W, 1.33 Pa, Ar/O₂=50 : 50, 200°C 그리고 타겟과 기판사이의 거리 4 cm의 조건으로 ZnO 압전 박막을 성장시켰다. 증착된 박막의 결정성, 표면형상, 화학적 결합비와 전기적 특성을 XRD, SEM, AFM, RBS와 electrometer를 이용하여 측정 분석하였다. 제조된 박막은 우수한 c축 우선 배향성을 보였고 또한 화학 양론적인 결합비를 나타내었다. 전극 구조가 single 및 double IDT를 갖는 ZnO/IDT/glass SAW 필터를 제작하여 특성을 분석한 결과, 전파속도는 각각 2,589 m/sec, 2,533 m/sec이었고, 삽입손실은 -11 dB과 -21 dB 값을 나타내어 박막형 SAW 필터로 응용이 기대된다.

ABSTRACT

ZnO thin films on glass substrate were deposited by RF magnetron reactive sputtering at 100 W, 1.33 Pa, Ar/O₂=50 : 50, 200°C, and a target/substrate distance of 4 cm. Crystallinities, surface morphologies, chemical compositions, and electrical properties of the films were investigated by XRD, SEM, AFM, RBS, and electrometer. All films showed a strong preferred c-axis orientation and the chemical stoichiometry. The propagation velocity of ZnO/IDT/glass of single electrode and double electrode types SAW filter was about 2,589 m/sec, 2,533 m/sec and insertion loss was a minimum value of about -11 dB and -21 dB, respectively.

Key words : ZnO thin film, Preferred orientation, Propagation velocity, Insertion loss, ZnO/IDT/glass, SAW filter

1. 서 론

전자산업이 발전됨에 따라 전자기기의 진보화, 재료부품의 고성능화, 소형화, 고주파화, 고신뢰화가 강하게 요구되고 있다. 그러므로 전자부품에 대한 개발도 활발히 진행되며, 특히 최근 정보화시대가 되면서 이동 통신 분야의 비약적인 발전은 소형 경량이고 무조정화, 고신뢰성의 특성을 갖고 통신기에 많이 사용되는 대역 통과 필터인 SAW (Surface Acoustic Wave) 필터에 대한 연구 개발이 폭넓게 이루어지고 있다.¹⁻⁵⁾ 기존의 SAW 필터는 Quartz, LiNbO₃, LiTaO₃ 등의 압전 단결정을 이용하여 제작하였으나, 최근 전자기기의 소형화 및 경량화 추세에 따라 ZnO, AlN, CdS, CdSe 등의 압전 박막을 이용하여 이동 통신 단말기용 대역 통과 필터 및 공진기 등의 소자를 소형화하는 연구가 수행되고 있다.^{6,7)}

이와 같은 다양한 압전 박막 재료들 중에서도 ZnO 압전 박막은 wurtzite 결정구조를 가지는 물질로서 가시광 영역에서의 투광성과 높은 굴절률, 큰 압전상수, 강한 전기기계 및 비선형 전기광학 계수를 가져 압전 트랜스듀서, 집적화된 광도파로, 산화 또는 환원 가스 검출 센서, 발광 다이오드와 태양전지의 투명 전도막 등 그 이용 범위가 매우 다양하다.⁸⁻¹⁰⁾ 특히 LiNbO₃에 상응하는 기계결합계수와 ST-cut quartz에 비견하는 우수한 열적 안정성으로 인해 표면 탄성파(SAW)를 이용한 대역 통과 필터, 공진기 등의 통신기기용 필터 및 신호처리소자로 활발히 연구되는 재료 중의 하나이다. ZnO 박막을 형성하는 방법 중, ZnO 타겟을 사용하고 반응성 가스로 아르곤과 산소의 혼합가스를 사용하는 RF 마그네트론 스퍼터링법은 장치가 단순하며, 높은 증착율, 넓은 증착 면적과 우수한 방향성(c축 우선 배향)을 갖는 투명하고 치밀한 양질의 박막을 얻을 수 있는 장점이 있다. SAW device, 센서 및 투명전극과 같은 ZnO 박막의 다양한 응용분야에서는 서로 다른 요구 조건 때문에 ZnO 박막의 증착 변수(가스압, 기판 온도, 가스 혼합비, 기판과 타겟 거리, RF power, 기판

[†]Corresponding author : Yong Wook Park
E-mail : pyw@nsu.ac.kr
Tel : +82-41-580-2117 Fax : +82-41-582-2117

의 종류 등)에 따른 박막의 결정성, 표면 형상, 전기적 특성 및 광학적 특성에 미치는 증착 변수 고찰은 ZnO 박막을 다양한 응용분야에 사용하기 위해 학계 및 산업계에서 큰 관심을 모으고 있다. 특히 필터 등의 SAW device는 주로 TV, VCR 등의 저주파대역 필터로 많이 사용되어 왔으나, 최근 정보통신 분야의 비약적인 발전에 힘입어 고주파대역의 필터가 많이 요구되고 있다. ZnO 박막을 고주파대역의 SAW device에 응용하기 위해서는 박막의 배향성에 의한 삽입손실, 박막의 불균일성에서 발생하는 SAW 전파 속도차에 의한 중심주파수의 변형과 같은 문제점을 해결하기 위해 아주 우수한 c-축 우선 배향성, 균일한 박막, 높은 비저항 등의 특성 개선이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 기존에 연구 발표하였던⁶⁾ 우수한 c-축 우선 배향성, 균일한 박막, 높은 비저항 등의 특성을 갖는 ZnO 압전 박막 증착조건을 이용하여 제작한 single electrode IDT와 double electrode IDT 형태의 ZnO/IDT/glass SAW 필터에 대한 통신기기용 대역 통과 필터의 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. ZnO 박막 및 ZnO/IDT/glass SAW 필터 제작

ZnO 박막을 증착하기 위해, 증착전 챔버내의 진공은 로터리펌프 및 터보펌프를 이용하여 1.33×10^{-4} Pa을 유지한 후 MFC를 이용하여 반응성 가스인 Ar/O₂ 혼합가스를 챔버내로 주입하였다. 본 연구에 사용된 기판은 7059 coming glass로 박막 성장의 기저면인 기판 오염은 ZnO 압전 박막 성장에 영향을 미칠 수 있으므로 이물질 제거하기 위하여 TCE/아세톤/알코올/증류수에 각 20분씩 초음파 세척하고 질소 가스로 송풍 건조한 후 오븐에서 30분간 건조하여 ZnO 압전 박막 성장에 사용하였다. 증착 속도, 기판온도 등의 여러 변수에 따른 ZnO 박막의 특성을 상세히 고찰하기 위해 이러한 증착 변수들을 변화시키면서 최적의 ZnO 박막특성을 얻는 증착 조건을 확립하고자 각 증착조건에서 제작된 ZnO 박막의 두께는 Tencor의 Alpha-step 200을 이용하여 측정하였고, 또한 증착 변수에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성 고찰을 위해 X-ray diffractometer를 이용 $\theta/2\theta$ 및 rocking curve를 측정하여 결정성 및 우선배향성을 조사하고, 박막의 미세구조는 SEM으로 분석하였다. Zn:O의 조성비 및 두께분석을 위하여 RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy) 분석을 행하였고, ZnO 박막의 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 증착된 ZnO 박막에 Al 전극을 형성한 후 electrometer (Keithley 617)를 사용하여 증착조건에 따른 비저항 변화 등을 측정·분석하여 ZnO SAW 필터에 적합한 최적의 ZnO 박막제작 공정을 연구하였다. 이러한 여러 공정제작 실험을 통하여 확립한 ZnO 박막의 제작 조건은 Table 1

Table 1. Sputtering Conditions for ZnO/IDT/Glass SAW Filter

Parameter	Value
RF power	100 W
Sputtering pressure	1.33 Pa
Ar/O ₂ gas ratio	50 : 50
Substrate temperature	200°C
Target/substrate distance	4 cm

Table 2. Design Specification of IDTs

	Single electrode IDT	Double electrode IDT
Finger width/space	2 μ m/2 μ m	2 μ m/2 μ m
Number of finger pair	60	30
SAW wavelength	8 μ m	16 μ m
SAW aperture	400 μ m	800 μ m
Propagation length	160 μ m	320 μ m

과 같다.

Table 1과 같은 ZnO 박막 제작조건을 이용하여 제작한 ZnO/IDT/glass SAW 필터의 주파수 응답, 시간 지연, 기계결합계수, 각종 손실 등의 SAW 특성을 측정하기 위해 ZnO 박막의 이상적인 전파속도인 2,600 m/sec로 가정하여 전극들의 증착을 같게 하는 unapodize pattern을 이용한 uniform 형태의 대칭형 IDT를 설계하였다. 기본적으로 metalization ratios(η)는 기본 모드를 분석하기 위해 0.5로 설정하였고, 기본적인 주파수 특성을 확인하기 위해 single electrode 및 전극들간의 반사를 최소로 하는 double electrode 방식을 채택하여 SAW 필터를 설계하였다. 본 연구에서 사용한 SAW 필터의 설계 규격은 Table 2에 나타내었다.

또한, 이와 같은 전극구조를 갖는 ZnO 박막 SAW 필터 제작을 위한 포토마스크는 제작 시 발생하는 제작오차를 최소화하기 위해 선폭 오차는 $\pm 0.2 \mu$ m로 제한하였고, glass 기판 위에 Al 전극을 스퍼터링법으로 2,000 Å 증착한 후 습식 에칭법을 이용한 반도체 공정으로 2 μ m single electrode 및 double electrode 형태의 대칭형 IDT를 제작한 후 Table 1과 같은 최적의 증착조건을 이용하여 ZnO 박막을 증착하여 ZnO/IDT/glass SAW 필터를 제작하였다. 제작된 ZnO/IDT/glass SAW 필터는 주파수응답 특성, 임펄스 응답 특성 등을 측정하기 위해 외부 전자기파의 영향을 최소화 할 수 있는 패키징을 한 후 Fig. 1과 같은 측정시스템을 이용하여 필터특성을 측정·분석하였다. 측정된 SAW 필터의 특성에서 삽입손실은 S₂₁ 파라미터의 피크점에서 손실값을 선택하였고, 통과 대역폭은 최대점에서 3 dB 감소한 부분을 선택하여 대역폭 값을 취하였다. 또한 ZnO 박막에서 전파속도를 구하기 위해 중심주파수는 3 dB 대역폭 중간점의 주파수 값을 이용하여 전파속도를 구하였다.

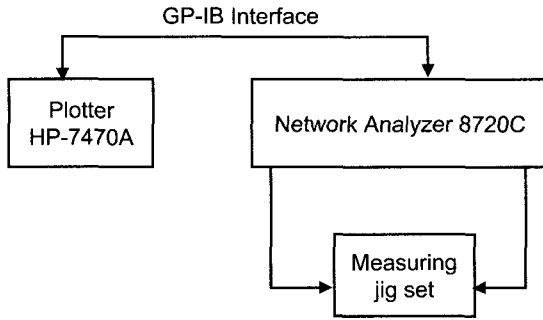


Fig. 1. SAW filter measurement system.

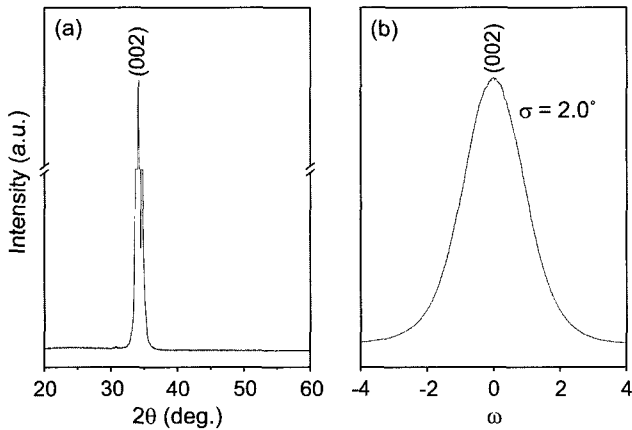


Fig. 2. (a) $\theta/2\theta$ and (b) rocking curve spectra at 100 W, 1.33 Pa, Ar/O₂=50 : 50, 200°C, and a target/substrate distance of 4 cm.

3. 결과 및 고찰

3.1. ZnO 박막특성

Fig. 2는 가장 우수한 결정성 및 전기적 특성을 보인 챔버압력 1.33 Pa, 인가전력 100 W, Ar/O₂=50 : 50, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 4 cm의 증착 조건에서 증착된 두께 1 μm의 ZnO 박막에 대한 XRD 회절 피크 및 rocking curve의 표준 편차 결과를 보여주는 것이다. XRD 측정 결과에서 알 수 있듯이 증착된 ZnO 박막은 (002) peak만이 관찰되었고, 또한 rocking curve의 표준 편차는 $\sigma=2.0^\circ$ 로 압전박막을 SAW 필터에 응용하기 위해 $\sigma=6.0^\circ$ 이하의 결정 배향성이 필요하다는 기존의 연구결과보다 우수한 c-축 우선배향성을 갖는 박막이 성장되었음을 알 수 있다. 이는 스퍼터링법으로 제작된 ZnO 박막은 가스 혼합비에서 일정한 양의 산소가 주입되면 결정성 및 배향성이 향상되고 표면이 매끄러운 박막을 얻을 수 있다는 기존의 결과와⁶⁾ 잘 일치되는 것으로 배향성 및 결정성에 영향을 미치는 인가전력에 의한 증착속도, 스퍼터링된 입자들의 운동에너지(kinetic energy) 및 입자들의 표면 이동도 특성 등이 본 연구에서 선택한 박막 증착조건과 잘 일치한다는 것을 보여준다. Figs. 3 및 4는 본 실험에

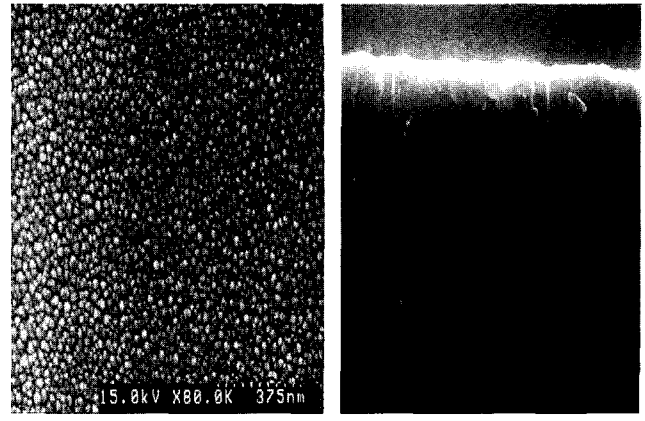


Fig. 3. (a) surface and (b) cross-sectional SEM micrographs of ZnO films at 100 W, 1.33 Pa, Ar/O₂=50 : 50, 200°C, and a target/substrate distance of 4 cm.

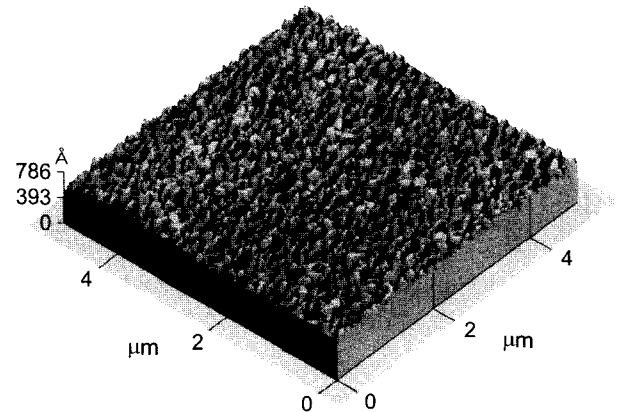


Fig. 4. AFM micrographs of ZnO films at 100 W, 1.33 Pa, Ar/O₂=50 : 50, 200°C, and a target/substrate distance of 4 cm.

서 결정한 Table 1의 조건으로 제작한 ZnO 박막의 표면 및 단면 구조를 나타내는 SEM 측정결과와 AFM 표면형상 측정 결과를 보여주고 있다. 증착된 ZnO 박막의 미세구조는 Fig. 3에서 알 수 있듯이 다른 비정상적인 이상이 존재하지 않으며 결정립도 균일하게 성장한 것을 보여주며, 또한 미세구조 단면 사진으로부터 성장된 ZnO 박막이 기판에 수직인 상태로 초기 성장부로부터 최종 성장부까지 결정구조의 차이가 없이 균일한 주상구조로 성장하였음을 알 수 있다. 이는 앞에서 설명한 결정성 및 우선 배향성의 결과와도 잘 일치하는 것으로 우수한 결정성을 갖는 박막은 치밀한 미세구조를 갖는다는 것을 의미하는 것이다.

ZnO 박막을 SAW 필터에 응용하기 위해서는 표면을 전파하는 표면파의 회절에 의한 영향을 최소화하기 위하여 최대한 매끄럽고, 평탄한 표면형상이 요구된다. 따라서 Fig. 4는 제작된 ZnO 박막의 표면형상을 AFM으로 측정

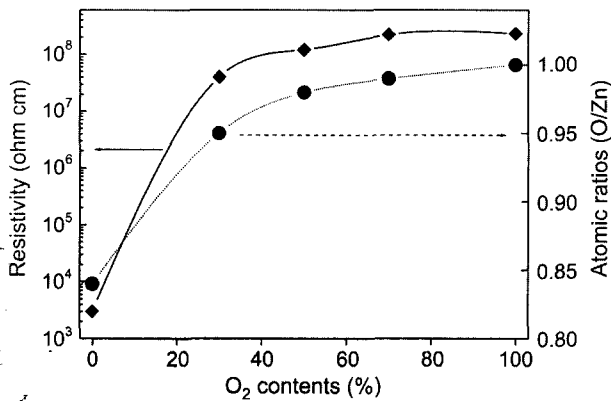
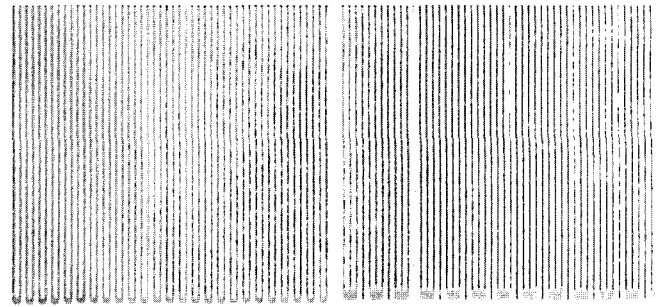


Fig. 5. The variation of resistivity and atomic ratio (O/Zn) of ZnO films as a function of Ar/O₂ gas ratios at 100 W, 1.33 Pa, 200°C and a target/substrate distance of 4 cm.

한 결과로 표면 거칠기가 약 30 Å의 RMS 값을 가져 평탄한 표면을 가지고 있음을 보여준다. 이는 본 실험에서 선택한 제작조건이 SAW 소자에 응용될 수 있음을 보이는 결과로 표면형상의 거칠기는 인가전력과 챔버 압력에 가장 큰 영향을 받았다.

증착된 박막의 정확한 Zn:O의 조성비를 조사하기 위해 RBS 분석을 행하였다. 본 실험에서는 일반적 RBS 측정법을 이용하면 Zn에 대한 O의 후방 산란 수율이 작은 값을 가지기 때문에 정확한 정량분석이 어려워 일반적인 측정보다 약 30배 정도 높은 측정값을 가지는 O 공진을 이용한 RBS 분석을 이용하여 제작된 ZnO 박막의 정량분석을 하였다. 가스혼합비 변화에 따라 제작된 ZnO 박막의 RBS 측정 결과를 RUMP 분석 프로그램으로 분석한 Zn:O의 성분비 및 박막의 비저항 특성 결과는 Fig. 5와 같다. 가스혼합비에서 산소의 양이 0~100%로 증가할수록 Zn:O의 조성비는 1:0.84에서 거의 화학 양론적인 조성상태를 갖는 1:1의 조성비를 보여 산소 분압비가 박막의 조성비에 큰 영향을 미치고 있음을 보여준다. 특히 산소의 주입량이 50%에서 제작된 박막의 Zn:O 조성비는 1:0.98로 거의 화학 양론적인 조성상태를 나타내었고, 또한 균일한 Zn:O의 결합상태를 보여 박막의 결정성과 관련하여 산소 주입량이 50%일 경우 우수한 결정성과 균일한 조성비를 갖는 ZnO 박막을 제작할 수 있음을 의미한다. 이 결과는 측정된 비저항 결과에서 산소 주입량이 증가할수록 비저항이 증가하는 결과와 잘 일치하는 것으로 Table 1의 조건인 챔버압력 1.33 Pa, 인가전력 100 W, Ar/O₂=50:50, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 4 cm의 증착 조건에서 제작된 박막의 비저항은 1.2×10^8 Ωcm의 값으로 이는 Zn:O의 조성비가 화학양론에 가까워 carrier 농도의 급격한 감소로 비저항이 증가한 것으로 생각된다. ZnO 박막을 SAW 필터로 응용하기 위해서는 우수한 c-축 배향성과 높은 비저항값, 높은 표면 평활도



(a) Single IDT

(b) Double IDT

Fig. 6. Photographs of (a) single and (b) double IDT.

등이 요구되는데, 본 연구에서 제작한 ZnO 박막의 결정성과 c-축 배향성, 표면 형상 및 비저항 특성도 아주 우수하여 SAW 필터에 응용될 수 있음을 보여준다.

3.2. ZnO 박막 SAW 필터 특성

Table 2와 같은 설계 규격을 갖는 8 μm 파장을 갖는 single IDT와 16 μm 파장의 double IDT 구조의 SAW 필터를 glass 위에 Al을 2,000 Å을 증착한 후 에칭용액 Al-etch II을 이용하여 70°C에서 습식 에칭방법을 이용하여 제작하였다. Fig. 6은 제작된 single IDT와 double IDT를 나타내고 있다. 이 사진에서 2 μm의 선폭을 갖는 IDT 형태가 정확하게 제작되었음을 알 수 있다. 실제 SAW 필터 등의 소자를 제조할 때는 설계한 소자의 $h/\lambda=0.5$ 인 조건에서 박막의 전기 기계 결합 계수가 최대가 되기 때문에 이와 같은 ZnO 박막 두께를 얻을 수 있고, 우수한 SAW 필터 특성을 보일 것으로 예상되는 Table 1과 같은 ZnO 박막증착 조건으로 ZnO/IDT/glass SAW 필터를 제작하였다.

또한, 제작된 IDT 위에 형성된 ZnO 박막은 SAW 필터 특성 등을 측정하기 위해 전극 패드를 노출시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 새도우 마스크를 사용하여 전극 패드를 노출 시켰고 ZnO/IDT/glass 형태로 제작한 SAW 필터의 미세구조 단면 사진을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보여주는 것과 같이 IDT 위에 증착된 ZnO 박막이 매우 치밀한 주상구조로 성장한 것을 알 수 있으며, IDT 형태가 직사각형의 형태로 정확한 전극 형태를 유지하고 있어 IDT 위에 ZnO 박막을 증착하는 것이 문제없음을 보여준다.

앞에서 설명한 single electrode IDT와 double electrode IDT 형태의 ZnO/IDT/glass SAW 필터는 SAW 전파 속도를 2,600 m/sec로 하여 각각 중심 주파수 325 MHz와 162.5 MHz로 설계 제작하였다. 그러나 ZnO/IDT/glass 형태의

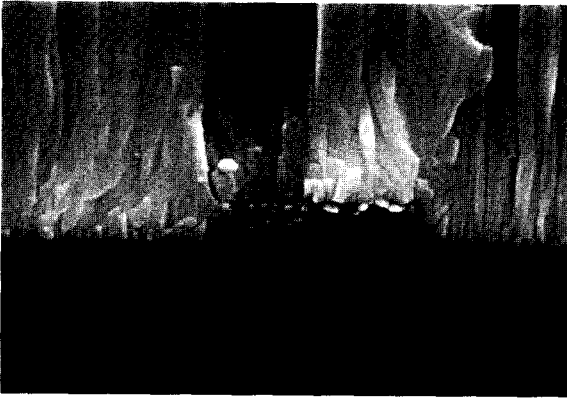


Fig. 7. SEM micrographs of ZnO/IDT/glass SAW filter.

SAW 전파 속도는 증착된 박막의 압전 특성 또는 IDT의 전극 폭과 간격의 오차에 따라 변화할 수 있는 것이어서 설계치와 실제 측정된 값은 다소의 차이를 보이는 것이 보통이다. Fig. 8은 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 유리 기판위에 single electrode IDT 형태로 제작된 SAW 필터의 주파수 및 delay 응답 특성을 network analyzer를 사용해서 측정한 결과로서, 이때 사용된 IDT 파장은 8 μm 이

고 IDT 전극수는 60쌍이다. Fig. 8에서 측정된 중심 주파수는 약 323.6 MHz로서 계산된 SAW 전파 속도는 2,589 m/sec로 설계 시 사용한 속도와는 약 11 m/sec 정도의 미미한 오차가 발생한 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 8(a)의 주파수특성에서 삽입 손실은 약 -11 dB이었지만 주파수 통과 대역 형태는 약간의 파형 왜곡이 존재함을 알 수 있는데 이는 Fig. 8(b)의 delay 특성에서 보여주듯이 서로 대칭적이지 못한 IDT의 동작특성에 의하여 발생하는 현상으로 제작시 발생하는 입력과 출력 IDT의 미미한 제작오차에 의한 것으로 사료된다.

Fig. 9는 IDT 파장이 16 μm 이고, IDT 전극수는 30쌍인 double electrode IDT SAW 필터의 주파수 및 delay 응답 특성을 나타내고 있다. Fig. 9의 결과에서 측정된 중심 주파수는 158.3 MHz로 전파 속도는 2,533 m/sec로 이론치와는 67 m/sec의 속도차를 보였고, Fig. 9(a)의 주파수 특성에서의 double electrode IDT SAW 필터의 삽입 손실은 -21 dB였고 Fig. 9(b)의 delay 응답특성은 대칭적으로 양호한 특성을 가짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 single IDT SAW 필터와 비교 분석해 보면 전파 속도와 삽입 손실은 single IDT 필터가 더 우수한 결과를 보이거나 주파수

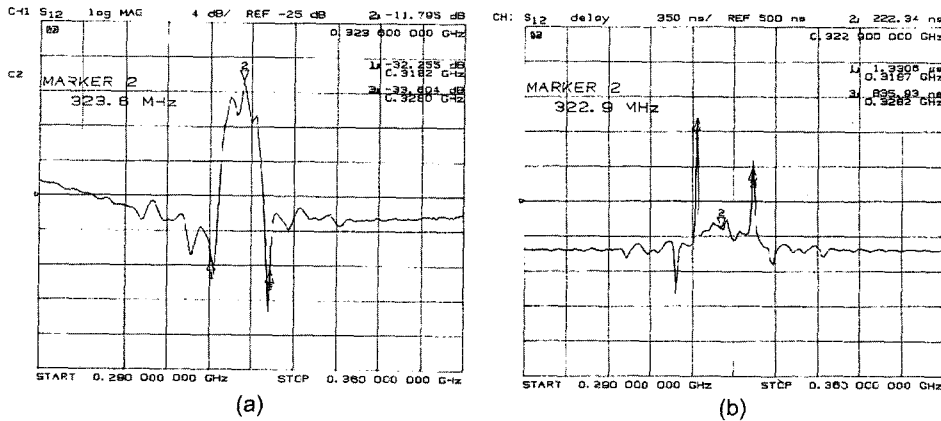


Fig. 8. (a) frequency and (b) delay response of single IDT ZnO SAW filter.

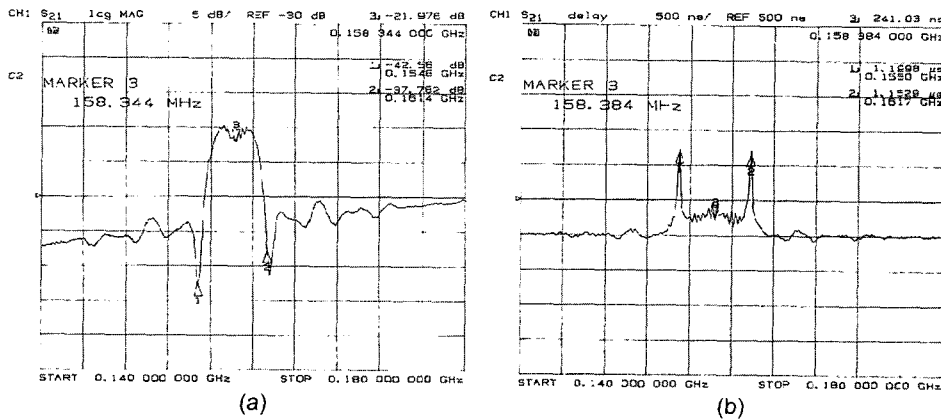


Fig. 9. (a) frequency and (b) delay response of double IDT ZnO SAW filter.

통과 대역 특성은 double IDT 필터가 더 좋은 특성을 보였다. Figs. 8 및 9의 결과에서와 같이 미소하지만 중심 주파수가 이동하는 현상의 주된 원인은 IDT 전극폭의 부정확성 때문에 발생하는 현상으로 생각된다. 이와 같은 원인은 본 실험에서 사용한 습식 에칭법이 아닌 RIE와 같은 건식 에칭법을 사용하면 정확한 전극폭을 갖는 필터를 제작할 수 있어 이와 같은 전극폭의 변화에 따른 중심주파수의 변화 오차는 상당히 개선될 것으로 기대된다.

본 연구에서 제작한 SAW 필터의 삽입 손실은 single IDT 및 double IDT 구조에서 각각 -11 dB에 -21 dB로 우수한 삽입 손실 특성을 보였으며, 각각의 주파수 응답은 설계한 IDT 특성과 잘 일치하였다. 또한 유리 기판위에 증착된 ZnO 박막의 전파 속도는 약 2,530~2,589 m/sec로 이론치에 가까운 특성을 보여 설계한 값과 잘 일치하는 양호한 필터 특성을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 사용하여 우수한 c-축 우선 배향성, 균일한 박막, 높은 비저항 등의 특성을 갖는 ZnO 압전 박막 증착조건을 이용하여 제작한 single electrode IDT와 double electrode IDT 형태의 ZnO/IDT/glass SAW 필터에 대한 특성분석을 수행하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 인가전력 100 W, 챔버압력 1.33 Pa, 기판온도가 200°C, 스퍼터링 가스인 Ar/O₂의 가스 혼합비가 50:50 및 타겟과 기판거리 4 cm의 증착조건에 증착된 ZnO 박막은 XRD 측정결과 기판에 수직인 (002) peak만 존재하였으며, rocking curve로 확인한 결과 (002) peak의 표준편차는 약 2°로 매우 우수한 c-축 우선 배향성을 나타내었다.

2. 본 실험에서 증착된 ZnO 박막은 표면 거칠기는 30 Å의 RMS 값을 갖는 평탄한 표면특성을 보였으며, Zn:O의 성분비는 1:0.98로 거의 화학양론적 조성상태로 $1.2 \times 10^8 \Omega\text{cm}$ 의 높은 비저항값을 갖는 우수한 특성을 보였다.

3. 제작된 single electrode IDT와 double electrode IDT 형태의 ZnO/IDT/glass SAW 필터는 각각 2,589 m/sec 및

2,533 m/sec의 우수한 전파 특성을 보였고, 또한 삽입손실도 -11 dB와 -21 dB 값을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-003-E00104).

REFERENCES

1. M. Hikita and N. Shibagaki, "Design Methodology and Experimental Results for New Ladder-type SAW Resonator Coupled Filters," *IEEE Trans.*, **42** 495-99 (1995).
2. S. Gopani, "SAW IF Filters in Mobile Communications Networks," *Microwave J.*, 110-16 (1998).
3. H. Matthews, "Surface Wave Filters," John Wiley & Sons, 1997.
4. T. Matsuda and H. Uchishiba, "L and S Band Low Loss Filters Using SAW Resonators," *IEEE Ultrasonic Symp.*, 163-67 (1994).
5. J.-S. Kim and S.-I. Park, "Introduction and Development Trend of SAW Filter," *The J. of KIEEME*, **10** [2] 179-84 (1997).
6. Y. W. Park, H. Y. Shin, and J. H. Park, etc, "A Study on the ZnO Thin Film SAW Filter by RF Sputter," *The J. of KIEEME*, **14** [6] 481-86 (2001).
7. H. Nakahata, A. Hachigo, S. Shikata, and N. Fujimori, "High Frequency Surface Acoustic Wave Filter Using ZnO/Diamond/Si Structure," *IEEE Ultrasonic Symp.*, 311-14 (1992).
8. T. Shoilo, K. Nakamura, and J. Yamajaki, "Propagation Characteristics of the SH-SAW on (001)ZnO/(012)LiTaO₃," *IEEE Ultrasonic Symp.*, 215-19 (2001).
9. W. N. Emanetoglu, C. Gereca, S. Liang, Y. Lu, and A. J. Kosinski, "MOCVD Growth and SAW Properties of Epitaxial ZnO Thin Films," *IEEE Frequency Control Symp.*, 790-95 (1998).
10. K. Ellimer, R. Wendt, and R. Cebulla, "ZnO/ZnO:Al Windows and Contact Layer for Thin Film Solar Cell," *IEEE Photovoltaic Conference*, 881-85 (1996).