

## ZnO-SAW 필터의 주파수 응답

김영진 · 남기홍\* · 조상희\*\* · 김기완

경북대학교 전자공학과, \*경북산업대학교 전자공학과  
\*\*경북대학교 무기재료공학과  
(1995년 8월 31일 접수)

## Frequency Response of ZnO-SAW Filter

Y. J. Kim, K. H. Nam\*, S. H. Cho\*\* and K. W. Kim

*Department of Electronics, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea*

*\*Department of Electronics, Kyungpook Sanup University, Taegu 701-702, Korea*

*\*\*Department of Inorg. Mater. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea*

(Received August 31, 1995)

**요 약** - 고주파 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 ZnO막을 제조하고 유리기판 위에 ZnO-SAW필터를 제작하였다. ZnO막의 제조 조건은 고주파 전력 150 W, 기판온도 200°C, 분위기압 5 mTorr 및 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)비 50%였다. 한편 IDT(Inter-digital transducer) 전극은 전극 폭을 2.56 mm, 전극 거리를 2.936 mm,  $\lambda/8$  폭을 8  $\mu$ m로 설계하였다. 제작된 ZnO-SAW필터의 주파수 응답을 측정하기 위해 소자는 mount(TO8)에 고정시켰다. ZnO SAW필터의 통과 대역(3 dB대역폭)은 35.2~44.8 MHz로 9.6 MHz의 대역 폭을 나타내었으며 중심주 파수는 40 MHz를 나타내었다. 또한 삽입 손실은 39 dB, 통과 대역에서의 리플(ripple)은  $\pm 0.8$  dB 및 rejection은 17 dB를 나타내었다.

**Abstract** - The zinc oxide thin films were prepared by the RF magnetron sputtering method and the ZnO-SAW filters were fabricated on glass substrates. Fabrication conditions of the ZnO films were such that RF power, substrate temperature, working pressure, and gas flow rate of Ar and O<sub>2</sub> were 150 W, 200°C, 5 mTorr, and 50%, respectively. On the other hand, IDT electrodes were electrode width of 2.56 mm, electrode length of 2.936 mm, and  $\lambda/8$  width of 8  $\mu$ m. In other to measure the frequency response of ZnO-SAW filter, device was grounded by cantype mount(TO8). The ZnO-SAW filter showed pass band of 9.6 MHz, 35.2~44.8 MHz, center frequency of 40 MHz, insertion loss of 39 dB, pass band ripple of  $\pm 0.8$  dB, and rejection of 17 dB.

### 1. 서 론

1885년 Rayleigh경이 표면 탄성파(SAW: surface acoustic wave)가 두 매질의 경계면을 전파할 수 있음을 보인 후 SAW에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다[1,2]. 일반적으로 SAW는 두 매질의 경계면을 따라 전파하는 종파로서, 그 진폭이 경계면에 수직인 방향으로 지수적으로 감소하며 대부분의 에너지가 경계면에서 한 파장 이내에 모여있는 파를 말한다. 경계면에 대부분의 에너지가 모여 있으므로 표면 상태를 변화시키면 쉽게 SAW의 전달 특성을 조절할 수 있다. 또한 SAW의 전

달 속도는 같은 주파수의 전자파에 비해서 십만배 가량 느린 1~10 km/sec 정도이며, 사용 주파수가 보통 수 MHz에서 수 GHz에 이른다. 이러한 주파수 영역에서의 SAW의 파장은 수  $\mu$ m에서 수백  $\mu$ m이고, 이것은 집적 회로 기술로 쉽게 얻을 수 있는 크기이다.

SAW를 이용한 소자는 대역 통과 필터 뿐만 아니라 공진기, 발진기, 펄스 압축기 및 퓨리어 변환 소자 등의 신호 처리 소자가 있다[3-7]. 이러한 SAW 소자에서 IDT를 사용하여 표면 탄성파 발생하고 검출하기 위해서는 압전재료(piezoelectric material)를 필요로 하는데, 특히 ZnO(zinc oxide)는 육방 정계의 워자이트(wurtzite)

결정 구조를 가지는 II-VI족 화합물 반도체로서 박막으로 제조할 경우 강한 압전성을 나타낸다[2-8]. ZnO는 유리기판 위에 성장시켰을 경우 기판에 수직 방향인 c-축 방향으로 강한 배향성을 가진다[8]. 이러한 유리기판위에서 c-축 방향의 배향성은 표면 탄성파를 여기시키고 검출하는데 효과적으로 이용될 수 있으며 저렴한 가격으로 SAW 소자를 제작할 수 있다. 본 연구에서는 고주파 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 ZnO막을 제조하고 제조된 ZnO막을 이용하여 선형 위상 및 대칭 진폭 특성을 갖는 ZnO-SAW 필터를 제작하였으며, 제작된 필터를 실장화 하여 주파수 특성을 조사하였다.

## 2. 실험 및 측정

SAW필터의 압전체로 사용된 ZnO막은 유리기판(Corning 7059) 위에 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 제조되었다. ZnO막의 제조조건은 표 1과 같다. 제조된 ZnO막의 결정 구조는 XRD로 분석되었으며, ZnO막의 표면과 결정 성장 형태는 SEM사진으로 관찰되었다. SEM사진은 ZnO막의 성장 방향과 표면을 동시에 보기 위하여 시료를 45° 기울여 관찰하였다. 본 연구에서 제조된 IDT전극의 규격은 표 2와 같고 SAW필터의 구조는 그림 1에서와 같다. 그림 1에 나타낸 것과 같이 비압전 기판 위에 층을 이루는 박막 SAW필터의 경우에 대해서도 IDT의 주파수 특성은 벌크(bulk) 소자에서와 같은 형태로 다루어지며, 박막 표면 탄성과 소자의 전파 속도( $v$ )는  $f_0\lambda$ 로 주어진다. 따라서 표면 탄성과 소자에서 전파 속도는 IDT의 주어진 크기에서 동작 주파수를 결정한다.

표 2의 전극 규격에 따른 SAW필터는 표면 탄성과의 기본 모드로 구성되며, 두께를 변화시키면 고차 모드의 SAW필터를 구현할 수 있다. 따라서 ZnO 막의 두께를 바꿈으로써 표 2의 전극 구조로 2500~3400 m/s 범위의 전파 속도를 선택할 수 있다. 본 연구에서는 제조한 ZnO막의 전파 속도는 2600 m/s였으며, 이러한 ZnO막의 특성을 이용하여 선형 위상 및 대칭 진폭 특성을 갖는 중심 주파수 40 MHz인 ZnO-SAW필터를 설계하였다.

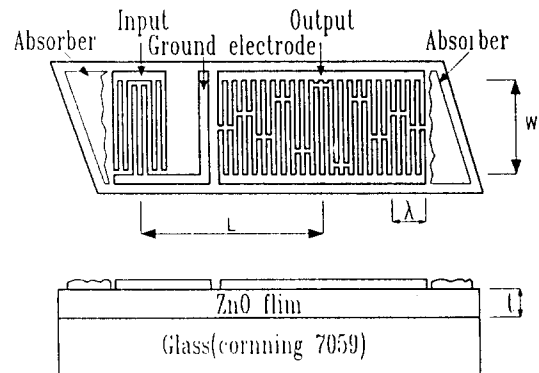
마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 ZnO막을 제조한 후 진공증착법으로 알루미늄을 증착시키고 lift off 방법으로 IDT전극을 제작하였다. 스퍼터링된 ZnO막이 알루미늄 식각용액( $8\text{H}_3\text{PO}_4 : 5\text{HNO}_3 : 5\text{CH}_3\text{COOH} : 5\text{H}_2\text{O}$ )에

**Table 1.** Fabrication conditions of ZnO films

Deposition parameter	Value
O <sub>2</sub> /(Ar+O <sub>2</sub> ) ratio	0.5
Gas pressure	5 mTorr
RF power	150 W
Substrate temperature	200°C
Thickness of ZnO film	2.3 μm

**Table 2.** Fabrication specifications of IDT

Parameter	Value
Electrode width	2.56 mm
Electrode length	4.00 mm
λ/8 width	8 μm
Input electrode	46 pairs
Output electrode	200 pairs



**Fig. 1.** Structure of ZnO-SAW filters.

심한 손상을 받기 때문에 습식 식각방법은 사용에 제한을 받는다. 제조된 ZnO-SAW필터의 주파수 특성은 Impedance/Gain-Phase Analyzer(HP-4194A)를 이용하여 분석하였으며 외부 잡음을 최소화하기 위해 소자를 케이스(TO8)내에 차폐(shielding)시키고 측정하였다.

입력 IDT를 46개 출력 IDT를 200개로 하였을 때, 설계된 SAW필터의 마스크 레이아웃을 그림 2에 나타내었다. SAW필터의 구조를 설계할 때 전파하는 SAW가 수반하는 파동 현상으로 인해 생기는 부수적인 효과를 고려하는 것이 제작된 필터의 특성을 향상시킨다[1]. 전극 가장자리에서 SAW의 반사는 IDT의 구조를 한 파장에 4개의 전극이 들어가는 구조, 즉  $4f_0$ 로 샘플링하면 반사된 SAW의 위상 차가 180°이므로 서로 상쇄된다. 이것은 IDT에서 SAW의 반사를 제거함으로써 삼중 통과

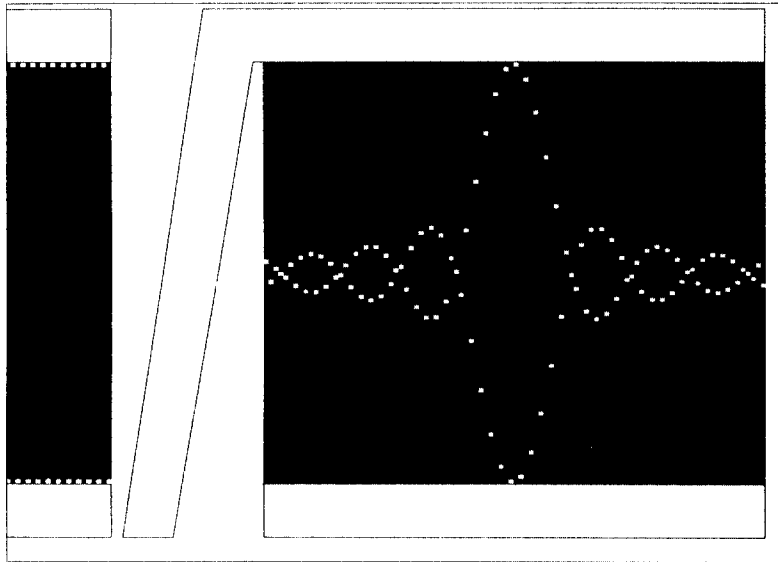


Fig. 2. Mask layout of ZnO SAW filter.

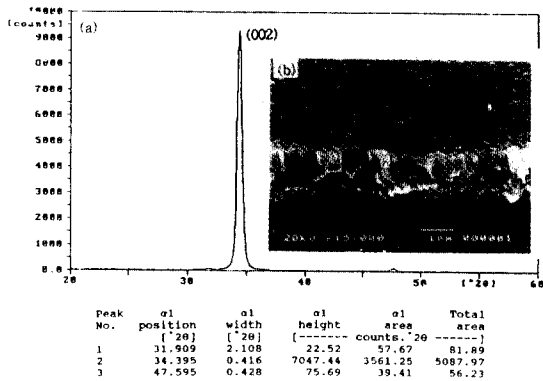


Fig. 3. XRD pattern(a) and SEM photograph(b) of ZnO film.

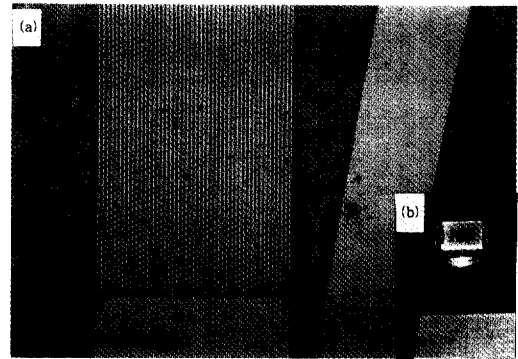


Fig. 4. Electrode(a) and device photograph of fabricated ZnO-SAW filter.

반향(triple transit echo)을 줄일 수 있다[8]. 이러한 효과를 고려하여 본 연구에서는 샘플링 주파수가 4f인 이중전극(double electrode) 구조로 IDT를 설계하였다.

### 3. 결과 및 고찰

표 1의 조건에 따라 제조된 ZnO막은 증착률 310 Å/min, 저항률  $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  및 광학적 밴드 갭은 3.3 eV였으며 가시광영역에서 투과율은 90% 이상으로 나타났다. 그림 3(a)는 표 1의 조건에 따라 제조한 ZnO막의 X-ray 회절도를 나타낸 것이며, 3(b)는 SEM 사진을 나타

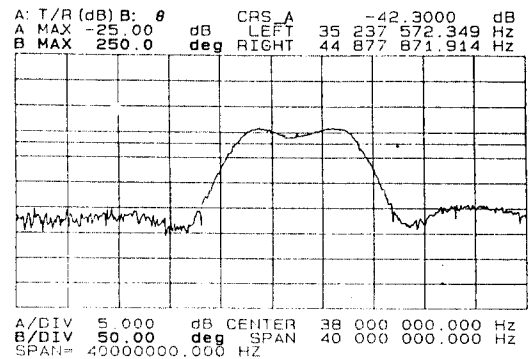


Fig. 5. Frequency response of ZnO-SAW filter.

낸 것이다. 그림 3(a)의 X-ray 회절도에서는 ZnO막에서 통상적으로 나타나는  $32^\circ$  근처의 (100) 피크와  $36^\circ$  근처의 (101) 피크는 나타나지 않고 있으며 SAW의 여기 및 전파에 영향을 미치는  $34.5^\circ$  근처의 (002) 피크가 우세하게 나타나고 있다. 그림 3(a)의 X-ray 회절도로부터 구한 반가폭(FWHM)은  $0.42^\circ$ , (002) 방향 피크의 상대적인 면적비는 95% 이상으로 본 연구에서 제조한 ZnO막은 양호한 압전재료로 판단된다. 또한 그림 3(b)의 SEM사진에서 c축, 즉 (002) 방향의 주상 구조가 발달해 있음을 볼 수 있으며 표면의 평탄성이 양호함을 알 수 있다.

제작된 ZnO-SAW필터의 전극은 그림 4(a)와 같고 제작된 소자의 실물 사진은 그림 4(b)와 같다. 소자 측정 시 외부 잡음을 최소화하기 위해 스테인레스로 만든 케이스내에 소자를 고정한 후 전극을 분당하고 케이스를 접지시켜 측정하였다. 필터의 양쪽 모서리에 SAW의 흡수체인 왁스(wax)를 칠하여 SAW의 반사를 방지하였으며, 입력 IDT로부터 BAW(bulk acoustic wave)가 발생하여 기판 뒷면에서 반사하여 출력 IDT에서 검출되면 필터의 특성을 왜곡시키게 된다. 이를 방지하기 위해서는 기판 뒷면을 거칠게 연마하여 하든가 흡수체를 도포하여 BAW의 영향을 줄여야 한다[8]. 본 연구에서는 소자를 mount에 고정할 때 흡수체인 왁스를 사용하여 BAW의 영향을 줄였다.

그림 5는 Impedance/Gain-Phase Analyzer(HP-4194A)로 측정된 SAW필터의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 TV IF용 ZnO-SAW필터 제작의 전단계로 중심 주파수가 40~50 MHz이고 선형 위상 및 대칭 진폭 특성을 갖는 대역 통과 필터를 설계 제작하였다. 이 때 통과 대역(3 dB대역폭)은 35.2~44.8 MHz로 9.6 MHz의 대역폭을 나타내었으며 중심 주파수는 40 MHz를 나타내었다. 중심 주파수로부터 계산된 SAW의 전파 속도는 2560 m/sec를 나타내었다. 또한 삽입 손실은 39 dB, 통과 대역에서의 리플(ripple)은  $\pm 0.8$  dB 및 rejection은 17 dB를 나타내었다. 본 연구에서 제작한 SAW필터는 삽입 손실이 39 dB로 크게 나타났으며, rejection이 17 dB로 다소 적은 값을 나타내었다. 이러한 특성은 향후 계속되는 연구에서 IDT전극의 설계 변화와 정합 회로의 구성을 통하여 보완될 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

고주파 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 유리기판 위에 ZnO막을 제조하여 그 특성을 조사하였다. 기판온도  $200^\circ\text{C}$ , 고주파 전력 150 W,  $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비 50% 그리고 분위기압 5 mTorr로 하였을 때 제조된 ZnO막은 증착률  $310 \text{ \AA}/\text{min}$ , 저항률  $1 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$  및 광학적 밴드갭은 3.3 eV였으며 가시광 영역에서 투과율은 90% 이상으로 매우 높았다. 또한 XRD 분석과 SEM 사진으로부터 좋은 c-축 배향성과 결정성 및 표면평탄성을 확인하였다. 기판온도  $200^\circ\text{C}$ , 고주파 전력 150 W,  $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비 50% 및 분위기압 5 mTorr로 하여 제조된 ZnO막을 이용하여 SAW필터를 제작하였다. 제작된 SAW필터의 주파수 특성은 Impedance/Gain-Phase Analyzer(HP-4194A)로 측정하였으며 시편은 TO8 mount로 차폐시켰다. 측정된 SAW필터의 통과 대역(3 dB대역폭)은 35.2~44.8 MHz로 9.6 MHz의 대역폭을 나타내었다. 중심 주파수는 40 MHz를 나타내었으며 중심 주파수로부터 구한 SAW의 전파 속도는 2560 m/sec였다. 또한 삽입 손실은 39 dB, 통과 대역에서의 리플(ripple)은  $\pm 0.8$  dB 및 rejection은 17 dB를 나타내었다.

## 참고문헌

1. T. Kodama, *Optimization Techniques for SAW Filter Design*, 1979 Ultrasonics Symposium, pp. 522-526, 1979.
2. C. C. W. Ruppel, R. Dill and A. Fischerauer, IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Const. **40**, 438-452 (1993).
3. Fred S. Hickernekk, IEEE Trans. Sonics and Ultrason. **SU-32**, 621-629 (1985).
4. Mark S. Suthers and C. K. Campbell, IEEE Trans. Sonics Ultrason. **SU-27**, 90-93, 1980.
5. T. Minami, H. Nanto and S. Takata, Thin Solid Films **124**, 43-47 (1985).
6. Syuichi Takada, J. Appl. Phys. **73**(10), 4739-4742 (1993).
7. G. Carlotti, G. Socino, A. Petri, and E. Verona, Appl. Phys. Lett. **51**(23), 1889-1891 (1987).
8. O. Yamazaki, T. Mitsuyu and K. Wasa, IEEE Trans. Sonics Ultrason. **SU-27**, 369-379 (1980).