

고주파 SAW Filter 의 제작과 Filter 특성

Fabrication and Characteristics of High Frequency SAW Filter

이동욱* 영남대학교 대학원 전자공학과
김동수 영남대학교 대학원 센서 및 시스템공학과
강성건 포항산업과학연구원 전력전자연구팀
류근걸 포항산업과학연구원 전력전자연구팀
남효덕 영남대학교 공대 전자공학과
이만형 경북대학교 대학원 센서공학과

Dong Uk Lee* Dept. of Electronics, Yeungnam University
Dong Su Kim Dept. of Sensor and System Eng., Yeungnam University
Sung Gun Kang Power Electronics Research Lab., RIST
Kun Kul Ryoo Power Electronics Research Lab., RIST
Hyo Duk Nam Dept. of Electronics, Yeungnam University
Man Hyeong Lee Dept. of Sensor Eng., Kyungpook University

Abstract

SAW filters of transversal type were fabricated on some piezoelectric substrates of the LN 128° Y-X, LN 64° Y-X, Quartz ST-cut wafers through the simulation in which the number of IDT and window function were changed for the required frequency, and the mask making. Their IDT spacing and width were 3 μm , chip size was 4.462 x 2.886 mm², and they had double electrode transversal type IDTs. In addition to pure Al electrode devices, Ti thin films having the different thicknesses was introduced between the Al electrode and the substrate for improving the power resistance strength. They had 11-12 dB insertion losses similar to those of pure Al electrode SAW filters in case of LN 128° Y-X, LN 64° Y-X, meaning that Ti thin film was not detrimental to the insertion loss and general frequency properties. The filters had the center frequencies 162MHz for LN 128° Y-X, 186MHz for 64° Y-X, and 131MHz for Quartz ST-cut substrates.

1. 서 론

SAW(Surface Acoustic Wave) device는 1885년 Lord Rayleigh에 의해 고체표면에서 파동현상의 한 형태로 표면탄성파(SAW)를 처음으로 발견해낸 이후[1], 비파괴 검사, 신호 처리용 기기 등이 널리 응용되고 있다. 1965년 White와 Voltmer가 압전성 고체물질에서 표면파를 효과적이며 선택적으로 발생시키기 위해 VLSI기술에 적합한 planar공정을 사용한 IDT(interdigital transducer)전극을 제안함으로써[2] SAW device에 대한 연구가 본격적으로 이루어지고 대표적인 SAW device로는 filter, 지연선(delay line), 공진기(resonator), 발진기(oscillator)

등이 있고 그 외의 응용으로는 IDT의 전극 배열을 이용한 논리합, 논리곱, 배타논리합 등의 논리회로와 비직선 디바이스, 광응용 디바이스 등이 있다 [3],[4]. 그리고, IDT에 감응막을 증착시켜 감응막의 미소한 질량변화가 주파수 변화를 일으킨다는 데 착안하고 주위 환경에 민감한 탄성 표면파의 유용한 성질이 발견되어 센서로 응용 개발되기 시작했다[5]. 센서로서의 실질적 연구는 70년대 중반에 들어서야 본격적으로 이루어졌는데, 이는 센서의 개발에 필요한 복잡하고 정밀한 IC공정기술이 최근에 들어서야 발전, 보급되기 시작하였기 때문이다. 그러나, 그 후 불과 15년에서 20년이라는 짧은 기

간 동안 세계적으로 방대한 규모의 연구가 이루어져 현재로는 온도센서[6], 습도센서[7], 가스센서[8] 등 일부분야에서 실용화가 이루어졌다.

그런데 SAW Filter가 보다 광범위하게 응용되기 위해서는 삽입손실이 적고, 내전력성이 좋은 Device개발이 무엇보다 중요하다. 따라서 본 연구에서는 Simulation을 통해 양방향 Transversal형 설계법으로 IDT 수와 Window Function을 변화시켜 삽입손실이 적고 필터 특성이 좋은 Device를 제작하려고 했다. 그리고, 내전력성이 좋지않은 단점을 개선하고자 Al에 비해 밀도와 접착력이 좋은 Ti을 압전체 기판과 Al전극 사이에 증착시킨 뒤 Filter특성을 측정했다.

II. 실험 방법

1. MASK 제작

Simulation을 통해 양방향 Transversal형 설계법으로 IDT 수와 Window Function을 변화시켜 목표한 Spec.에 맞게 Filter를 설계해 Mask를 제작했다. 전극폭이 $3\mu\text{m}$, 전극간격이 $3\mu\text{m}$, chip size가 $4.462 \times 2.866(\text{mm}^2)$ 이고 transversal type 으로써 표면탄성파의 반사파를 서로 상쇄해 주도록 Double-electrode IDT를 만들었다. Simulation결과 IDT 수가 많을수록 통과 대역폭은 감소했으며 Window Function은 목표 Spec.에 맞는 Hamming Window를 사용했다. Fig.1은 본 실험을 위해 제작한 Mask pattern 이다.

2. SAW Filter의 제작

본 실험에 사용된 압전 wafer는 K^2 가 각각 다른 Quartz ST, LN 128° Y-X, LN 64° Y-X 의 세 종류이다.

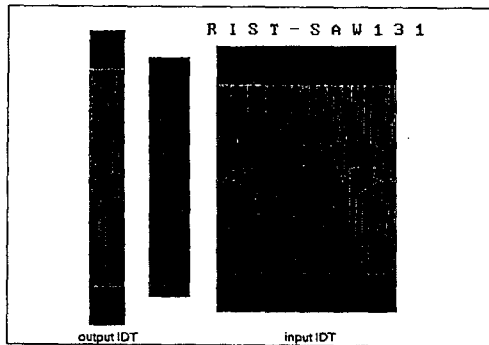


Fig. 1. SAW filter mask

(1) 웨이퍼의 세척

DECONEX용액 5%, DI Water 95%를 40°C 정도에서 30분 가량 초음파 세척한 후, DI Water로 상온에서 세척했다.

(2) Ti 박막 증착

DC magnetron sputtering 방식으로 Ti을 약 수십~백Å 정도 또는 백Å 이상으로 deposition하였다. 스퍼트 조건은 Quartz wafer는 기판온도 200°C , power 1kW, 초기 진공은 3×10^{-7} torr정도며, 챔버내 Ar압력은 5mtorr로 유지했고, LiNbO₃ wafer는 균열을 막기위해 기판온도 50°C 에서 스퍼트했다.

(3) Al 박막 증착

DC magnetron sputtering 방식으로 순도 5N Al을 약 3800Å 입혔다. 스퍼트 조건은 Quartz wafer는 기판온도 200°C , power 1kW, 초기 진공은 3×10^{-7} torr정도며, 챔버내 Ar압력은 5mtorr로 유지했고, LiNbO₃ wafer는 균열을 막기위해 기판온도 50°C 에서 스퍼트했다.

(4) PR(Photoresist)

Pinhole이 적게 생기고 uniformity가 양호한 양성 PR(PR AZ 1512)을 사용하였다. 압전기판에 PR을 균일하게 도포시키기 위해 Spin coater를 사용해 회전 속도를 약 5000 rpm정도로 25초 동안 회전시켰다. 그 후 dry oven에서 90°C , 15분간 soft bake하였다. soft bake는 PR과 Al의 밀착력을 높혀서 현상시 resist의 lift를 방지해 Al 에칭시 undercut이 생기는 것을 방지한다.

(5) 노광

노광은 PR을 자외선에 쬐어 soluble상태로 만들어주는 공정이다. IDT 패턴을 형성시키기 위해 Mask Aligner를 사용해서 3초간 노광시켰다. 노광 mode는 line width resolution이 좋은 contact mode로 했다. 이때 노광 시간이 짧으면 PR이 develop공정시 잘 현상되지 않고, 노광 시간이 길면 overexpose가 되어 Al 에칭시 undercut이 되어 미세 IDT패턴이 open될 수 있다.

(6) 현상

노광된 PR의 현상은 AZ 500MIF developer를 사용했다. 현상이 끝난 웨이퍼는 dry oven에 넣어 LN wafer 경우 105°C 에서, Quartz wafer 경우 120°C 에서 20분간 hard bake 하였다. hard bake는 PR에 남아있는 solvent의 성분과 수분을 제거해

PR의 접착력을 증가시켜 Al 에칭시 깨끗한 패턴이 되도록 해 준다.

(7) 에칭

Al 에칭은 $H_3PO_4:HNO_3:CH_3COOH:H_2O=80:5:5:10$ 을 사용하여 37°C에서 wet에칭으로 하였다. 에칭시간은 2분 정도였다. 그리고, Ti 에칭은 상온에서 $H_2O:H_2O_2:NH_4OH$ 를 5:1:1의 용액을 사용했는데 걸리는 시간은 Ti의 막 두께에 따라 1~5분정도 걸렸다.

(8) PR 제거

Fabrication의 마지막 공정으로 기판 위에 패턴을 형성하고 남아있는 PR을 제거하기 위해 AZ Remover 100으로 웨이퍼를 용액에 약 1분 30초 가량 dipping하였다.

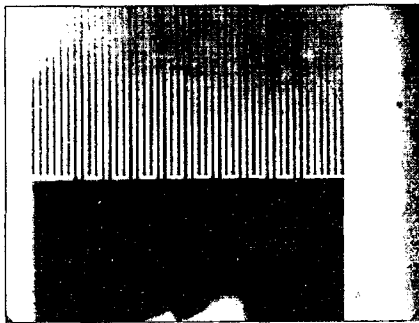


Fig. 2. Output IDT pattern (×500)

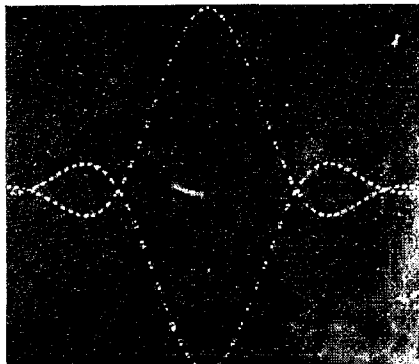


Fig. 3. Input IDT pattern (×200)

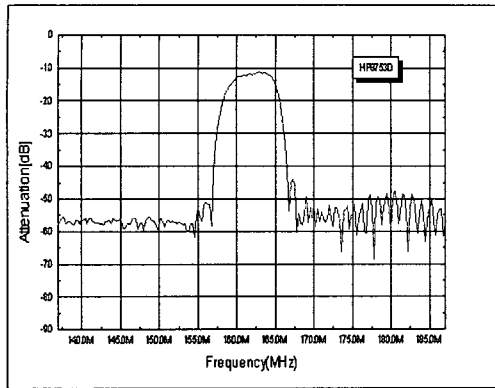
Fig.2와 Fig.3은 각각 제조된 SAW filter의 출력측 IDT와 입력측 IDT의 광학현미경사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이 IDT는 line 폭과 line 간격이

1:1 정도로 IDT 패턴이 open되거나 short되지 않고 패턴이 잘 형성되었음을 볼 수 있다.

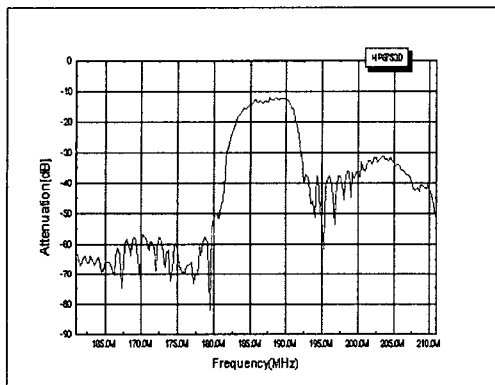
III. 결과 및 고찰

제조된 SAW 필터의 주파수 특성 및 Filter 특성은 HP8753D network analyzer로 측정했다. S-parameter set를 이용해 주파수 응답 및 삽입 손실을 구했다. 삽입 손실은 SAW 필터의 S21 parameter를 측정해 main peak에서의 최대치를 측정했다. 중심주파수는 3dB 통과 대역폭의 중심값으로 측정했으며, 3dB 대역폭은 최대치 peak의 주파수에서 3dB 떨어지는 곳의 아래위 주파수의 폭[9]을 측정 한 값이다.

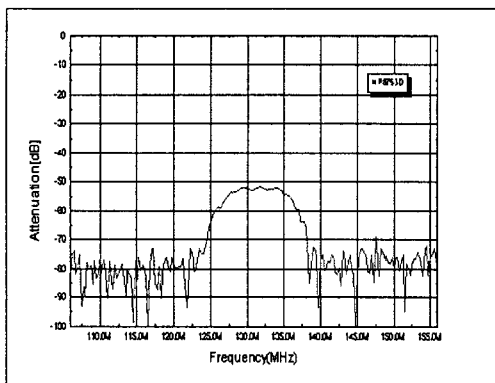
제조한 SAW Filter의 주파수 응답 특성을 기판 wafer 종류별로 측정한 결과를 Fig. 4. 에 나타내었다. Wafer LN 128° Y-X인 경우 중심주파수는 약 162MHz로 나타났는데 이때 SAW 전달 속도 $v = f \cdot \lambda$ 는 IDT의 파장 24μm를 대입하면 3888m/sec가 구해진다. 다음으로 삽입 손실은 그림에서 보듯이 거의 11~12dB정도이다. 이는 기존의 양방향 Transversal형 SAW Filter가 15dB 이상나오는 것에 비해 3~4 dB 정도 손실을 줄인 것이다. 이것은 SAW Filter의 각 공정이 최적 조건에서 이루어졌기 때문으로 생각된다. 그리고, 3dB 통과 대역폭이 5.2 MHz이고 통과대역내의 ripple이 1.4 dB, sidelobe rejection이 32dB 정도이다. 한편 LN 64° Y-X인 경우 중심주파수가 186MHz이고, 삽입 손실은 LN 64° 보다 약 1dB 떨어지는 12.2dB, SAW 전달 속도는 4464m/sec로 LN 128° 보다 빠름을 알 수 있다. 그러나, sidelobe rejection이 그림에서 보듯이 19.5dB로 좋지 않음을 알 수 있다. 이것은 LN 64° 압전 Wafer의 경우 표면을 전파하는 SAW 파만 있는 것이 아니라 Bluk 쪽으로 전파하는 Bluk파의 영향이 일반적으로 알려져 있다. 그리고, 통과대역 ripple도 2.2dB 정도로 좋지 않음을 알 수 있다. 마지막으로 Quartz ST의 경우 중심주파수가 131MHz, SAW 전달 속도가 3144m/sec였다. 그리고, 3dB 통과 대역폭이 8MHz, 통과 대역 ripple이 2.2dB 정도이다. 그리고, 삽입 손실은 52dB 정도로 나쁨을 알 수 있다. 이는 Quartz의 전기·기계 결합 계수 K^2 가 0.16%로 나쁘기 때문이다. 이상을 종합해보면 양방향 Transversal형의 IDT 설계법에서는 LN 128° Y-X wafer 기판인 경우 필터 특성이 가장 우수함을 알 수 있다.



① LN 128° Y-X



② LN 64° Y-X



③ Quartz ST

Fig. 4. Frequency response of SAW Filter

IV. 결론

Ti Deposition과 Etching 공정을 추가하여 양방향 transversal형 SAW Filter를 제작함에 있어서 각 공정별 최적 조건을 찾았으며, 기존의 제품보다 삽입 손실이 적은 Filter 특성을 얻었다. 이때 사용한 기판 wafer의 종류별 특성은 다음과 같이 요약된다.

1. LN 128° Y-X Wafer의 경우 11~12dB 정도의 저삽입 손실형 Filter를 얻었고, Shape Factor는 이상적인 각형에 가깝다.

2. LN 64° Y-X Wafer의 경우 LN 128° 와 비슷한 저삽입 손실을 나타내었으며 Bluk파로 인한 저지대역 감쇠가 현저하지 못하였다

3. Quartz ST의 경우 삽입손실이 50dB 전후로 다른 웨이퍼에 비해 현저히 떨어지기 때문에 특수한 목적에만 사용된다.

V. 참고 문헌

- [1] L. Rayleigh, "On waves propagating along the plane surface of an elastic solid", Proc. London Math. Soc., Vol.7, pp.4-11, 1885
- [2] R.M. White and F.W. Voltmer, "Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves", Appl. Phys. Lett., Vol.7, pp.314-316, 1965
- [3] 宮内一洋, 山本平一, "통신용 마이크로파 회로", 기전연구소, 1995
- [4] S. Datta, "Surface Acoustic Wave Devices", Prentice Hall, 1986
- [5] Special issue on SAW devices and application, Proc. IEEE, Vol.64(5), 1976
- [6] Frank Moller and Jens Kuhn, "SAW resonator temperature sensor", Sensors and Actuators A, Vol.30, pp.73-75, 1992
- [7] P.H. Huang, "Sensor Calibration of a SAW resonator for absolute humidity measurements in microelectronic packages.", Sensors and Actuators B 24-25, pp. 686-688, 1995
- [8] Anton Maudor, "SAW gas sensors : comparison between delay line and two port resonator", Sensors and Actuators B 26-27 pp.187-190, 1995
- [9] C. Campell, "Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Application, Academic Press, San Diego, CA, pp.50, 1989