

다양한 IDT 구조에 따른 SAW 필터의 특성 연구

신양호, 김귀현, 이진복, 박진석  
한양대학교 전기공학과

Characterization of SAW filters with different IDT structures

Yang-Ho Shin, Kwi-Hyun Kim, Jin-Bock Lee, Jin-Seok Park  
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

**Abstract** - Effect of IDT structures on the frequency response of the SAW device are investigated. Various types of IDTs, such as MSC(multistrip-coupler), double split, reflector, and ground line, are designed and patterned on the widely used Y-Z cut LN(LiNbO<sub>3</sub>) substrate. Center frequencies, band widths, and insertion losses are measured and compared. Invalidity of the conventional model based on the impulse response model is also discussed.

1. 서 론

최근들어 고주파 통신용 소자의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 이동용 통신 기기는 작고 가벼워야 할 필요가 있으며, 이것은 회로의 집적화, 저소비전력 디바이스의 개발, 고성능화, 소요 전자 부품의 소형화를 통해 실현될 수 있다. 이와 같은 역할을 해 줄 수 있는 중요한 소자중의 하나가 바로 SAW(surface acoustic wave) 필터이며, 압전 물질의 표면에서 표면 탄성파를 이용하여 신호처리 및 지연처리를 할 수 있는 특성을 가지고 있다. 특히 진폭 특성과 위상특성을 독립적으로 설계할 수 있고, LC 필터, 유전체 필터등에 비해 회로의 간략화 및 무조정화가 가능한 장점이 있어 TV, VCR등의 중간 주파수 필터로 많이 사용되어 왔으며, 최근에는 고주파 통신용 소자로서도 활발한 연구 개발이 진행 중이다.<sup>(1)</sup>

그러나 삽입 손실이 큰 단점을 가지고 있고, 900MHz 이상의 고주파에서는 디자인의 난점, 공정 기술상의 어려움등으로 인해 아직은 기술기반이 취약한 상황이다. 삽입 손실은 양방향 구조 및 2차효과<sup>(2)</sup>, 즉 coupling coefficient, resistive loss, impedance mismatch등 때문에 발생하며, 고주파용 SAW 필터를 개발하기 위해서는 IDT(interdigital transducer) 전극구조 개선등에 의한 저삽입손실화와 1μm정도의 pattern을 제작할수 있는 반도체 관련 기술 및 소자의 주파수 특성을 예측할 수 있는 시뮬레이터 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고주파용 통신필터 제작을 위한 과정으로써 삽입 손실을 최소화 할 수 있는 다양한 필터 구조를 설계해 보았고, 직접 여러 가지 다양한 구조를 제작, 측정하여 최적구조를 도출하고자 하였으며 기존의 주파수 응답 모델을 이용한 시뮬레이터의 적용가능성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 설계 및 시뮬레이션

본 논문에서는 두 가지 방향으로 설계를 수행하였다. 첫 번째 방법은 시뮬레이터를 이용한 것으로써, 통과 대역폭과 저지 대역을 먼저 설정하고 이에 따른 필터구조를 설계하여 주파수 응답을 시뮬레이션 하였고, 또 하나는 가장 일반적인 필터 구조에 이차효과를 억제해주는 여러 가지 장치들을 설계하여 이차효과의 영향을 알아보는

방법을 이용하였다. 시뮬레이션에 사용한 SAW 필터 모델링은 주파수 응답모델링에<sup>(3)</sup> 의한 트랜스버설 필터 설계 방법을<sup>(4)</sup> 적용하였고 이것은 일반적으로 디지털 신호 이론에서 사용하는 FIR(Finite impulse response) 필터를<sup>(5)</sup> 기반으로 하고 있다. FIR 필터에서 이상적인 대역 통과 필터를 구현하기 위해서는 무한 임펄스 응답을 필요로 하기 때문에 원하는 응답에 근사시킬 수 있도록 적절한 시간길이응답으로 절단하여야 한다. 이를 위해 창함수가 필요하게 되는데, 여기서는 통과대역폭과 저지대역의 레벨을 최적화시킬 수 있는 매개 변수를 포함한 Kaiser-Bessel 창함수(window function)를<sup>(6)</sup> 적용하였다. SAW 필터의 입력단에 apodization을 하여 창함수를 결합하였고<sup>(1)</sup> 이때 IDT에 적용되는 가중치는 Kaiser-Bessel 함수에서 계산된 계수를 이용하여 점침정도를 조절하였다. 최종적인 결과는 matlab을 이용하여 필터의 통과대역폭과 저지 대역을 설계하고 그 결과를 시뮬레이션 하였다. 사용된 기판(LiNbO<sub>3</sub>)의 표면 탄성파 속도는 약 3400m/s 로 가정하였으며, 이때 1μm 선폭의 중심주파수 840MHz의 소자에 대해, 통과 대역폭은 30MHz, 저지대역은 20dB인 사양으로 필터를 설계하였다. 한편 2차효과를 억제할 수 있는 구조를 조사하기 위해서 기본적으로 2μm 선폭을 갖는 구조에 MSC(multi-strip-coupler)<sup>(2)</sup>, double split<sup>(4)</sup>, reflector<sup>(4)</sup>, ground line<sup>(7)</sup>등을 설치하여 그 특성을 비교 분석하였다.

2.2 필터 제작 및 측정

본 실험에서는 크기가 3인치, 두께가 0.5mm인 Y-Z cut LN(LiNbO<sub>3</sub>) 기판을 사용하였다. CAD로 mask를 설계하였고 1μm까지 패턴이 가능하도록 제작하였다. 기판위에 sputtering 방법을 이용하여 Al을 1500Å 두께로 증착하였고 사진 식각 공정을 이용하여 IDT 패턴을 형성하였다. IDT 전극은 99.999%순도의 Al target을 사용하여 1x10<sup>-7</sup>Torr의 base pressure, 10mTorr의 working pressure에서 5kW의 power로 상온에서 증착시켰다. 사진 공정에서는 먼저 PPR을 1.4μm 두께로 coating 하였고, 현상시간은 5분으로 하였으며, 인산:질산:초산:순수를 16:1:1:2 비율로 혼합하여 7분 동안 식각 하였다. 제작된 필터 양 끝부분에는 흡수제를 발라 반사파를 흡수하도록 하였다.

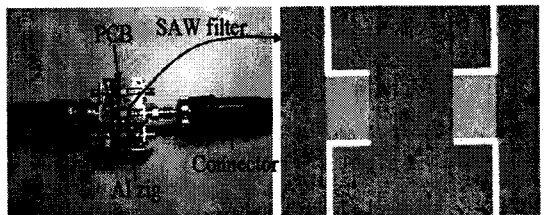


그림1. 측정에 사용된 PCB기판, Al Zig 및 SAW 필터

필터의 특성을 측정하기 위해서 PCB기판과 Al 지그를 제작하였다(그림1). 양호한 bonding과 우수한 전기적 접촉 특성을 위하여 PCB 기판을 gold coating 하였고, 필터와 입출력 단자 사이에는 wedge형 bonder를 사용하여 gold wire로 접촉하였다. 중심주파수와 S-parameter는 network analyzer(모델 HP 8720C)를 사용해서 측정하였으며 칩 커패시터와 인덕터를 이용하여 SAW 필터의 임피던스를 network analyzer의 내부저항 50 Ω과 정합시켰다.

### 2.3 IDT 패턴의 구조

표1은 IDT의 선폭( $\lambda/4$ )을 2 μm로 하였을 때, 그림1에 나타난 바와 같은 기본적인 SAW 필터 구조(#3-4) 외에, 2차 효과를 알아보기 위하여 제작한 여러 가지 구조의 필터를 소자별로 정리한 것이다.

표1. 2차 효과를 줄이기 위한 여러 가지 필터 구조

	$N_p$	특징
#3-4	25	기본구조(그림1)
#3-5	50	$N_p$ 증가
#3-7	25	MSC 설치(그림2.(a))
#3-10	25	Ground line 설치(그림2.(b))
#3-13	25	Double split 설치(그림2.(c))
#3-16	25	Reflector 설치(그림2.(d))

그림2는 SAW 필터의 IDT 구조에 대한 설계 변수 파라미터를 도시한 것으로서,  $N_p$ 는 IDT pair의 개수,  $W$ 는 IDT aperture 크기,  $l$ 은 입력 IDT와 출력 IDT사이와의 거리이다.  $L$ 은 IDT전체 길이를 나타내고  $L = (N_p - 1)\lambda/2$ 의 관계<sup>[5]</sup>에 있다.  $W$ 와  $l$ 은 각각 240 μm와 792 μm로 고정하였고,  $\lambda/2$ 는 4 μm로 하였다. 그림2의 (a),(b),(c),(d)는 각각  $N_p$  증가, MSC, ground line, double split, reflector 등을 나타낸 것이다.

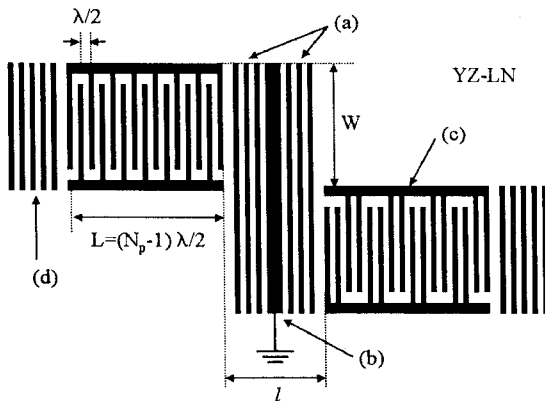


그림2. SAW 필터의 구조 및 설계 변수

### 2.4 결과 및 고찰

그림3의 (a), (b)는 각각  $N_p$  개수가 25(#3-4), 50(#3-5)인 필터에 대한 주파수 특성을 나타낸 것이다.  $N_p$ 가 증가하면 중심 주파수는 일정하지만 통과 대역폭(BW)이 줄어들게 되고 삽입 손실(IL)이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이것은  $N_p = 2/BW$ 의 관계<sup>[2]</sup>에 의해 IDT 개수와 통과 대역폭은 반비례하고, 전극의 개수가 증가함에 따라 통과 대역폭이 감소하면 삽입 손실이 줄어들기 때문이다.<sup>[7]</sup>

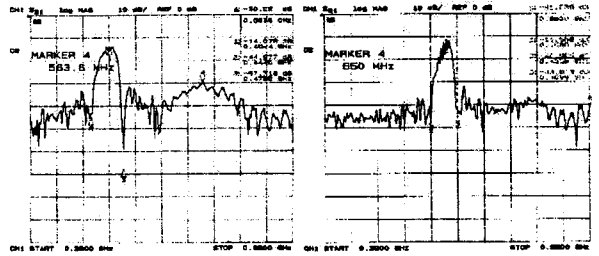


그림3. 필터 #3-4(a) 및 필터 #3-5(b)의 주파수 특성

그림4는 MSC를 설치한 #3-7 구조의 주파수 특성이 다. MSC는 입력단에서 발생한 벌크파가 출력단에 coupling되는 것을 막기 위해서 설치하는 바, 그림3에서 볼 수 있는 벌크파로 인한 고주파 영역에서의 피크가 그림4에서는 발생하지 않았다. 그러나 여기에서 통과 대역은 기본 구조와 거의 유사하나 삽입손실은 더 커진 것을 알 수 있다. 이는 입출력단 중간에 MSC를 설치하여 전기 기계적 결합력이 약해졌기 때문이다.<sup>[2]</sup>

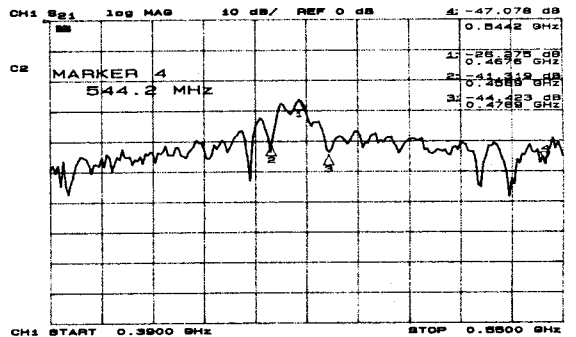


그림4. 필터 #3-7의 주파수 특성

그림5는 입출력단 사이에 ground line을 설치한 #3-10의 주파수 특성이다. 기본 구조와 비교하면 통과 대역에서의 리플이 감소하고 삽입손실이 다소 좋아진 것을 확인할 수 있으며, 이것은 ground line의 설치로 인해 입력단에서 바로 출력단 IDT로 전달되는 전자기 에너지가 차단됐기 때문이다.<sup>[2]</sup>

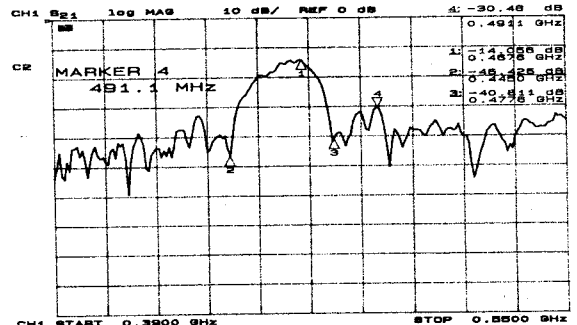


그림5. 필터 #3-10의 주파수 특성

그림6은 IDT전극을 이중으로 설치한 double split 구조(#3-13)로서 통과대역에서의 리플이 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 이것은 IDT를 이중전극 구조로 만들어서 각 단에서 발생하는 반사파를, 위상차를 반전시킴으로써 제거하게 되고 이로 인해 통과대역에서의 위상이나 크기의 왜곡이 많이 감소했기 때문이다.<sup>[2]</sup>

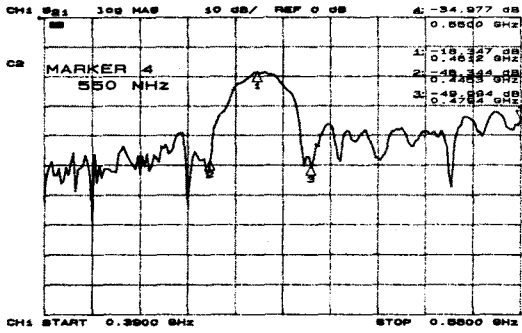


그림6. #필터 3-13의 주파수 특성

그림7은 #3-16에 대한 특성이며 reflector를 설치하면 삽입 손실이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 기본적으로 양방향 필터 구조의 특성상 발생하는 양방향으로의 6dB 삽입손실을 제거해 주기 때문이다.<sup>[2]</sup>

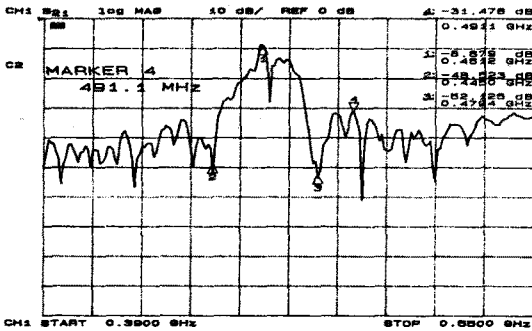


그림7. 필터 #3-16의 주파수 특성

표2는 앞에서 실험한 SAW 필터등의 중심주파수, 통과 대역, 삽입 손실등을 필터의 종류별로 정리한 것이다.

표2. 각 필터별 주파수 특성

	Cener Freq (MHz)	Band Width (MHz)	Insertion Loss(dB)
#3-4	461.2	39.5	16.8
#3-5	463.6	16.0	11.6
#3-7	467.6	25.5	26.3
#3-10	466.8	32.6	14.1
#3-13	460.4	33.8	18.3
#3-16	461.2	33.0	8.7

또한, IDT의 선폭이 1  $\mu\text{m}$ 이고 중심주파수를 840MHz라고 가정하여 주파수 응답모델과 FIR(finite impulse response) 필터 설계 방법에 의해 이론적으로 산출한 주파수 특성 결과와 실험적으로 제작된 소자의 특성 결과를 각각 그림 8의 (a)와 (b)에 나타내었다. 통과 대역은 실험치가 23MHz이고 저지대역은 5dB 정도로 주파수 응답 모델로 설계했던 30MHz 및 20MHz 등과는 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 처음에 가정했던 표면 탄성파 속도가 실제로는 대략 3700m/s이고 이에 따라 중심 주파수도 840MHz가 아니라 약 925MHz이기 때문에 설계했던 값과 실험 값의 차이를 가져올 수 밖에 없었으며, 또한, 사용된 이론적 모델이 물리적 변수를 고려하지않고 단순히 주파수 응답 특성으로만 해석했기 때문이다. 따라서, 최적 설계를 위

한 정확한 이론적 모델의 정립을 위해서는 주파수 응답 외에, 등가회로 모델, 다양한 물리적 변수 등이 고려되어야 한다.

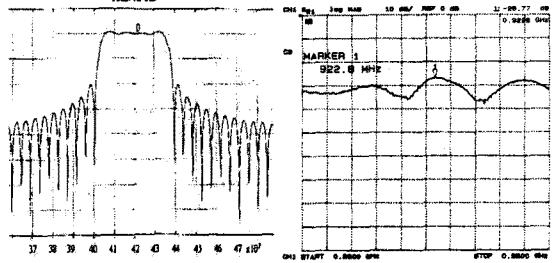


그림8. 주파수응답 모델(a) 및 실제소자(b)의 주파수특성

### 3. 결 론

SAW 필터의 2차 효과를 줄이기 위하여 다양한 IDT 구조를 설계하고 LN 기판을 이용한 실제 소자를 제작하여 측정된 특성을 비교 분석하였다.  $N_p$ 가 증가하면 통과대역폭이 좁아지며 삽입손실이 적어지는 것을 확인하였고, MSC가 있으면 삽입손실은 커지지만 고주파 영역에서의 불필요한 피크 값을 줄여 줄 수 있는 효과가 나타났다. Ground line은 다소 삽입손실을 줄이는 효과를 가져왔으며, double split 구조는 삽입 손실은 약간 증가하나 통과 대역에서의 리플을 줄여 주었고, reflector를 설치한 경우에는 삽입손실이 크게 줄어드는 것을 확인하였다. 따라서 상기한 구조들을 적절하게 결합하면 리플과 삽입 손실을 최소화할 수 있는 최적화된 SAW 필터를 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 향후 초고주파(1GHz)용 SAW 필터의 구현을 위한 기초자료로 활용될 것이며, 현재, 고주파용 SAW 필터의 설계, 제작을 위하여 새로운 압전 재료를 이용한 다층막 구조의 필터 제작과 정확한 이론적 모델의 정립을 위한 연구를 진행하고 있다.

본 연구는 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터(EM&C)의 1999년도 기본프로그램(과제번호:99-08-02-02-A-1)의 지원을 받아 수행되었으며, SAW 필터 제작에 많은 도움을 준 한국전자 주식회사에 감사의 뜻을 전한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 권희두, "이동통신용 저손실 표면탄성파 대역통과 필터 설계 및 분석", 인하대학교 박사학위 청구 논문, 1996
- [2] Colin Campbell, "Surface acoustic wave devices and their signal processing", Academic press, 1989
- [3] Clinton S. Hartmann, Delmar T. Bell, "Impulse model design of acoustic-wave filters", IEEE trans., Microwave Theory Tech., Vol. MTT-21, NO4, pp 162-175, April 1973
- [4] Supriyo Datta, "Surface acoustic wave devices", Prentice-Hall, 1986
- [5] 이재욱, "디지털 신호처리", 청문당, 1996
- [6] Sophocles J. Orfanidis, "Introduction to signal processing", Prentice-Hall, 1996
- [7] Herbert Matthews, "Surface wave filter", A wiley-interscience publication, 1977