기울인 전극 구조(Slanted Finger IDT)를 이용한 70MHz IF 필터의 설계

이 택 주, 정 덕 진
인하대학교 정보통신공학부
전화 : 032-874-1663 / 핸드폰 : 016-707-9495

Design and Implementation of 70MHz IF Filter Using Slanted Finger IDT

Taek-Joo Lee, Duck-Jin Chung
School of Information & Communication Engineering, Inha University
E-mail : googong@dreamwiz.com

Abstract

The design and fabrication of the surface acoustic wave(SAW) bandpass filters using slanted finger interdigital electrode transducers(IDTs) is investigated. The slanted finger IDTs are used to design SAW filters with good shape factor, a flat passband, and good out-of-band rejection characteristic.

The slanted finger IDTs filter was simulated of three kind of IDTs structure ; uniform-uniform IDT, uniform-withdrawal weighting IDTs, withdrawal weighting-withdrawal weighting IDTs. Uniform-withdrawal weighting IDTs structure SAW filters was designed and fabricated on 112° $LiTaO_3$, 128° $LiNbO_3$ substrates. Designed SAW filter has about a 30% fractional bandwidth and a 70MHz center frequency.

I. 서론

대역통과 특성을 갖는 표면탄성파 필터는 현재 필터의 응용분야 전반에 걸쳐 채용되고 있으며, 이러한 실용화 단계를 넘어 고성능화, 소형화, 저가격화가 급속히 진행되고 있다. 반도체 공정에서 사용되는 미세패턴 공정 기술이 향상됨에 따라 기존의 표면탄성파 필터보다 높은 중심주파수 및 광대역 또는 협대역 특성을 갖는 표면탄성 필터가 개발되어 이동통신 단말기 및 중계기, 위성통신 방송기기 등의 분야에 채용되고 있다. 표면탄성파 소자는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 압전재료의 표면에 형성된 전극에 의한 공진회로를 이용한 것으로, 공간을 전파하는 전자파를 이용하기 위해 송수신 안테나를 이용하는 것과 비슷하다. 압전재료의 표면에 빗형 전극(IDT)을 형성하여 표면탄성파를 발생시켜 필터를 구현할 수 있다. 빗형의 IDT를 설계하는 방법은 임펄스 응답에 의한 방법, 결합모드(COM) 방정식에 의한 방법, 등가회로 모델에 의한 방법 등을 최적화하여 이용하고 있다.

기울인 전극 구조를 이용하는 필터의 설계방법은 1968년 building-block 설계의 접근방법을 응용하여 Shibayama, Yamaguchi 등에 의해 처음 제안되었다[1]. 1982년 C.K.Campbell 등은 기울인 전극 구조의 표면탄성파 필터의 통과대역에서 평탄화 특성에 관해 다양한 방법을 연구하였다[2]. 현재 기존의 transversal 형태의 전극구조를 갖는 필터와 함께 기울인 전극 구조를 갖는 필터가 IF 필터로써 사용되고 있다.

본 논문에서는 기울인 전극 구조를 갖는 필터를 설계하기 위해 기존의 transversal 형태의 전극 구조에 적용하는 임펄스(impulse) 모델을 기울인 전극 구조에 맞도록 변형하여 높은 저지대역 감쇄와 넓은 통과대역 특성을 제공하는 70MHz 대역의 중계기용 IF 필터를 설계 및 제작하였다.

II. 기울인 전극 구조를 이용한 필터

일반적으로 중간주파수 대역의 필터는 작은 통과대역 리플과 높은 저지대역 감쇄, 가파른 차단 특성을 요구한다. 그러나, 기존의 transversal 형태의 표면탄성파 필터는 이러한 특성을 동시에 만족시키기 매우 어렵다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서 기울인 전극 구조를 이용한 대역통과 필터를 이용한다. 이때 uniform-withdrawal weighting을 적용한 기울인 전극 구조 필터는 transversal 형태의 IDT 보다 적은 전극쌍으로 우수한 저지대역 특성을 제공할 수 있다.

다음 그림 1은 기울인 전극을 이용한 필터의 기본적인 구조이다. 기울인 전극 구조를 갖는 필터는 각각 서로 다른 중심주파수를 갖는 전극으로 가정하여 표면탄성파의 진행방향과 평행하게 일정한 간격으로 채널을 분할하여 각각의 필터로 가정할 수 있다. 기울인 전극 구조의 전체 주파수 응답은 분할된 채널에서 얻을 수 있는 주파수 응답을 중첩하여 계산할 수 있으며, 전기적으로는 병렬 연결로 나타낼 수 있다. 각 채널의 주파수 응답은 임펄스 모델을 적용하여 설계하는 transversal형태의 전극 구조로 해석할 수 있다[2]~[4].

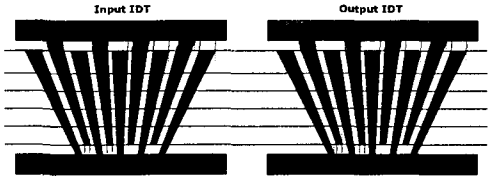

그림 1. 기울인 전극을 이용한 필터의 기본 구조

기울인 전극을 이용한 필터에서 높은 주파수의 표면탄성파는 기울인 전극의 짧은 주기 부분에서 여기되고, 낮은 주파수의 탄성표면파는 긴 주기 부분에서 여기된다. 그림 2에 기울인 전극을 이용한 필터의 전체 주파수 응답을 얻기 위해 S개의 채널로 분할된 필터의 매개변수들을 제시하였으며, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다[2][3].

$$f_i = f_{low} + \frac{(f_{high} - f_{low})}{S} \cdot i \qquad (1)$$

$$A_i = \frac{f_{high} \cdot f_{low}}{f_i \cdot S \cdot (f_i + f_{high} - f_{low})} \cdot A_o \qquad (2)$$

여기서, $i = 1, 2, 3, \cdots S$ 이며, 필터의 최고 주파수(f_{high})와 최저 주파수(f_{low})는 각각 다음 식에 의해서 구할 수 있다.

$$f_{low} = \frac{v}{\lambda_{low}}, \quad f_{high} = \frac{v}{\lambda_{high}} \qquad (3)$$

위 식 (3)에서 v는 탄성표면파의 속도이며, λ_{high}와 λ_{low}는 각각 기울인 전극의 짧은 주기와 긴 주기를 나타낸다.

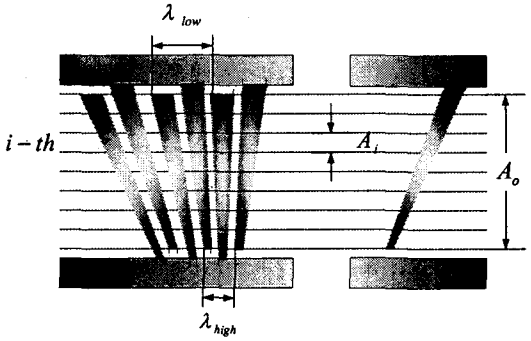

그림 2. 기울인 전극 구조의 분석 모델

일반적으로 기울인 전극을 이용한 필터의 경우 통과대역 부분에서 높은 주파수 쪽으로 통과대역이 기울어지는 현상이 발생한다. 이것은 사용되는 압전재료의 특성과 설계된 전극쌍의 전체 길이 및 전극쌍 수에 의한 내부 전극의 임피던스에 의한 영향이다. 이를 해결하기 위한 방법으로는 첫째, 외부 회로를 추가하는 방법, 둘째, 표면탄성파의 진행방향과 수직한 방향으로 전극쌍의 수를 변화시켜 주는 방법, 셋째, 전극쌍의 전체 길이를 조절하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는, 통과대역의 평탄특성을 가장 우수하게 향상시키는 방법으로 알려진 세 번째 방법을 이용하여 필터의 주파수 응답특성을 시뮬레이션하고 설계 및 제작하여 그 특성을 알아보았다.

III. 필터의 설계 및 제작

3.1 기울어진 전극 구조 필터의 주파수 응답 특성

본 연구에서는 기울인 전극 구조가 갖는 장점이 광대역 특성을 이용하여 이동통신 시스템에서 기지국용 IF 필터로 응용할 수 있도록 중심주파수 70MHz, 대역폭 20MHz인 대역통과 필터를 기울인 전극 구조를 사용하여 설계하였다.

필터의 설계를 위해 Mathematica를 이용하여 주파수 응답특성을 시뮬레이션 하였으며, transversal 형태의 필터에 사용되는 임펄스 모델링에 의한 방법을 적용하였다. 전극의 구조에 따른 주파수 응답특성을 알아보기 위해 입력-출력측의 전극 구조는 uniform-withdrawal weighting 및 withdrawal-withdrawal weighting 구조를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 이

때 적용한 표면탄성파의 속도는 128° $LiNbO_3$의 경우 3881.64 m/s 였다. 또한, withdrawal weighting을 형성하기 위해 Hamming 창함수를 사용하였으며, 세부 필터로 분할된 채널을 진행하는 표면탄성파간의 중심주파수 차이를 줄이기 위해 $S=100$을 적용하였다.

그림 3은 uniform-withdrawal weighting 구조를 적용한 기울인 전극 구조 필터의 주파수 응답특성이다. 입력-출력측의 전극쌍의 개수는 참고문헌[2]을 기준으로 각각 18:15, 36:31, 72:62 변화시켜 가면서 시뮬레이션 하였다. 입력-출력측 전극쌍의 수가 72:62인 경우 가장 우수한 저지대역 특성을 보인다는 것을 알 수 있었다.

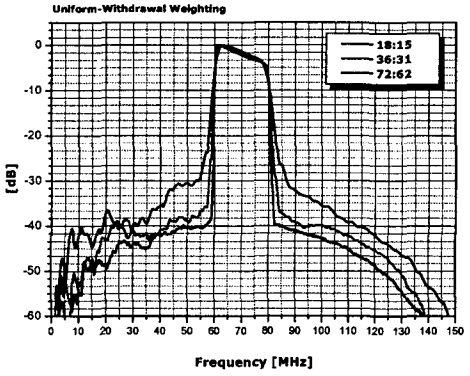

그림 3. Uniform-withdrawal weighting의 주파수 응답

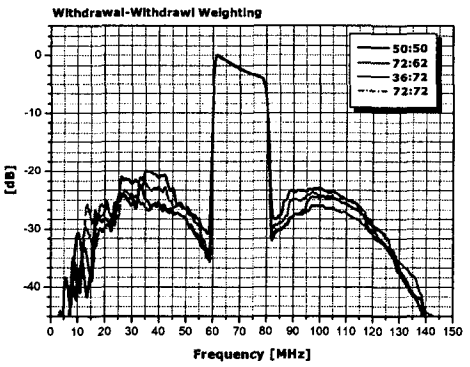

그림 4. Withdrawal-withdrawal weighting의 주파수 응답

그림 4는 withdrawal-withdrawal weighting 구조를 적용한 기울인 전극 구조 필터의 주파수 응답특성이다. 시뮬레이션에 적용한 입력-출력측의 전극쌍 개수는 각각 50:50, 72:62, 36:72, 72:72 이었으며, uniform-withdrawal weighting 구조와 같은 입력-출력측 전극쌍의 수(72:62)인 경우 가장 우수한 저지대역 특성을 보인다는 것을 알 수 있었다. 또한, 입력측과 출력측의 전극쌍 비가 동일할 경우 전극쌍의 수가 많아질수록 저지대역 특성이 향상됨을 알 수 있었다.

그림 5는 입력-출력측의 전극 구조를 결정하기 위해 각각의 시뮬레이션 결과 중 우수한 저지대역특성을 갖는 경우를 비교하였으며, 이때 두 가지 구조 모두 입력-출력 전극쌍의 비가 72:62 이었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 입력-출력측 전극쌍의 구조가 uniform-withdrawal weighting 일 경우가 저지대역 특성이 우수하다.

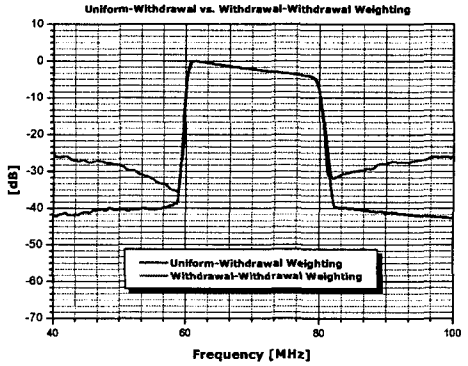

그림 5. Uniform-withdrawal 과 withdrawal-withdrawal weighting 구조의 주파수 응답특성 비교(입력-출력쌍 72:62)

3.2 필터의 설계 및 제작

본 연구에서 적용한 impulse 모델을 이용한 필터의 경우 전극 길이의 변화에 따른 전체 주파수 응답특성을 비교할 수 없는 단점이 있다. 따라서, 전체 전극의 길이는 최대 기울임 각을 7° , 8° , 9° 로 적용하여[3] 설계하였다. 기울인 전극 구조 대역통과 필터의 설계에 사용된 입력 및 출력측 구조는 각각 uniform weighting, withdrawal weighting이며, 전극쌍을 18:15, 36:31, 72:62로 변화시켜 시뮬레이션한 결과 중에서 가장 우수한 저지대역 특성을 보인 72:62의 전극쌍 비를 적용하였다. 마스크를 제작하기 위해 Layout tool은 LASI를 이용하였고, 설계된 필터의 형태는 그림 6에 제시하였다.

그림 6. LASI로 설계한 기울인 전극 구조의 대역통과 필터

설계된 필터는 압전 기판 재료로 128° $LiNbO_3$을 사용하였고, 전극의 두께는 약 4500Å으로 형성되었으며, 습식 공정을 이용하여 필터를 제작하였다. 그림 7은 제작된 필터의 주파수 응답을 측정한 결과이다. 최대 기울임 각을 7° 로 적용하여 전극 길이를 설계한 경우 가장 좋은 저지대역 특성을 얻을 수 있었다. 즉, 전극의 길이가 증가할수록 저지대역 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 제작된 대역 통과 필터의 대역폭은 시뮬레이션에 의한 예측값 보다 3dB 레벨에서는 증가하였으며, 35dB 레벨에서는 감소하였고, 삽입손실은 -38dB, shape factor는 1.12±0.01이며, 다음 표 1에 정리하였다.

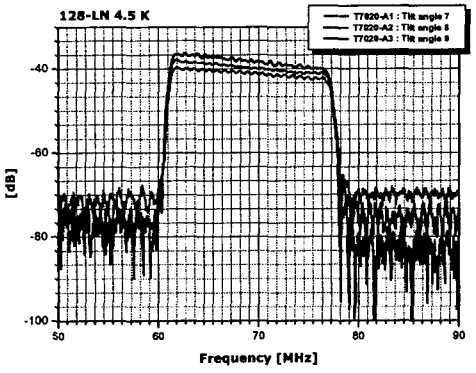

그림 7. 기울인 전극을 이용한 대역통과 필터의 주파수 응답

표 1. 예측값과 실험 결과 값 비교

Model	전극길이	시뮬레이션 3dB/35dB	측정결과 3dB/40dB	측정된 삽입손실
T7020-A1	3.1 mm	13.1/22.81	15.90/17.83	-38.15
T7020-A2	3.5 mm		16.02/18.33	-38.31
T7020-A3	4.0 mm		16.08/17.99	-39.81

시뮬레이션에서 알 수 없었던 기울인 전극 필터가 가지는 30~40dB의 삽입손실 또한 simulation 에서는 알 수 없었던 삽입손실 값과 고주파 대역에서 발생하는 음의 기울기, 통과대역에서의 ripple은 앞서 언급한 바와 같이 외부회로의 임피던스 정합과 표면탄성파의 진행방향과 수직인 전극쌍의 변화를 통해 해결해야 할 것이다[4].

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 transversal 형태의 필터 설계에 쉽게 적용할 수 있는 임펄스 모델을 이용하여 기울어진 전극 구조를 갖는 대역통과 필터를 설계 및 제작하였다. 입력-출력측의 전극쌍의 변화를 통해 주파수 응답을 시뮬레이션 하였으며, 전극의 구조는 uniform-withdrawal 구조가 withdrawal-withdrawal 구조를 적용하였을 경우 보다 우수한 저지대역 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. 또한, 전극 길이가 증가할수록 저지대역 특성이 나빠지는 것을 확인하였다. 제작된 필터는 transversal 형태의 대역통과 필터보다 향상된 저지대역 특성과 넓은 통과대역을 제공할 수 있다. 높은 주파수에서 발생하는 음의 기울기와 삽입손실을 개선할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] T.Hyodo, K.Yamanouchi, and K.Shihayama, "The Wide Band Excitation of Elastic Surface Waves Using the Intedigital Electrodes with Variable Pitches", Proc. Acostical Society of Japan, 1968 Autumn Annual Meeting, 3-1-14(Nov. 1968).

[2] Campbell, Yanglin Ye, and Joseph J. Sferrazza papa, "Wide-Band Linear Phase SAW Filter Design Using Slanted Transducer Fingers", IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics, Vol. Su-29, pp.224~228, July. 1982.

[3] H. Yatsuda, Y.Takeuchi, and S. Yoshikawa, "New design techniques for SAW filters using slanted-finger IDTs", IEEE Ultrasonic Symp., Proc., pp. 61~66, 1990.

[4] Hiromi Yatsuda, "Design techniques for SAW filters using slanted-finger interdigital transducers", IEEE Trans. UFFC, vol.44, pp.453~459, 1997.