

800MHz 대역 이동통신 단말기용 듀플렉서의 설계 및 분석

이 태 주, *권 회 두, 정 덕 진
인하대학교 정보통신공학부, *(주) I.T.F
전화 : 032-874-1663 / 핸드폰 : 016-707-9495

Fabrication of 800MHz Duplexer Using SAW Filter

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

Abstract

In this paper, we have investigated the design technique and fabricated the surface acoustic wave (SAW) filter for duplexer, which consists of Tx. and Rx. filter, and antenna terminal. For Tx. and Rx. bandpass filters we used the one-port SAW resonators with n-section ladder structure. The structure is composed of couples of series-arm resonators and parallel-arm resonators.

RF filter using ladder structure was designed and fabricated on 36° Y-X LiTaO₃ substrates. Designed filters, insertion loss is less than 1.5dB, the bandwidth is more than 25MHz, rejection band level is less than -30dB and center frequency is 820MHz.

I. 서론

이동 통신 단말기의 시스템은 크게 능동소자와 수동 소자로 나눌 수 있으며, 현재 사용되고 있는 유전체 듀플렉서 필터 및 표면탄성파 듀플렉서는 수동소자에 해당한다. 표면탄성파를 이용한 듀플렉서의 부피는 유전체 필터 및 적층형 필터보다 1/10 정도여서 소형화되어 가는 단말기를 구성하기에 적합한 소자이다.

듀플렉서란 안테나단 다음에 위치하여 신호의 송신 및 수신 역할을 담당하는 RF 필터를 하나의 소자로

구현한 것이다. 송신 및 수신 필터의 경우 각각 통과 대역의 주파수 사이의 간섭을 억제하기 위한 구조를 가져야 한다.

표면탄성파를 이용한 듀플렉서 필터는 소형, 경량, 저전력화 등의 특성을 갖지만, 유전체 필터에 비해 내전력성, 삽입손실 및 설계상의 난점으로 인하여 단말기 응용에 어려움이 있었다. 최근 일본, 독일과 국내의 업체에서 낮은 내전력성 문제를 해결한 듀플렉서가 개발되어 유전체 필터 대신에 표면탄성파 필터를 채용할 수 있게 되었다.

저손실 표면탄성파 필터를 설계하기 위한 방법에는, 다중전극(IIIDT)을 이용하는 방법[2], 이중 모드 표면탄성파 필터(DMS)[3], 사다리형 구조의 공진기 결합형 필터[4], 단방향 트랜스듀서(UDT)[5] 등이 있으며, 현재 RF 대역의 필터로는 이중 모드 표면탄성파 필터와 사다리형 구조를 이용한 공진기 결합형 설계법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 이동통신 단말기용 듀플렉서의 응용에 필요한 수신 및 송신단 RF 필터를 사다리형 구조를 이용한 공진기 결합형 필터로 설계하였으며, 사다리형 구조를 이용한 공진기 결합형 필터가 제공하는 저 삽입손실, 저지대역 및 통과대역 선택도 등을 결정하는 직렬 및 병렬 공진기의 커패시턴스 비와 전극 두께 영향에 대한 주파수 응답 특성을 고찰하였다. 또한, 사다리형 구조를 이용한 공진기 결합형 필터를 일반적

인 반도체 사진식각 공정으로 36° Y-X LiTaO₃ 압전기판에 Cu-Al(W 3%) 박막 전극을 증착시켜 제작하고 주파수 응답 특성을 고찰하였다.

II. 필터의 설계 및 실험

2.1 사다리형 구조를 이용한 공진기 결합형 필터

듀플렉서를 구현하기 위해 사용되는 송신 및 수신단 필터에 적용한 사다리형 구조는 1-port 공진기를 직렬-병렬 형태로 연결한 블록을 하나의 section으로 사용한다. 여러 개의 section을 연결하여 사다리형 공진기 결합형 필터를 설계하게 되며, 여기에 사용된 1-port 공진기는 그림 1에 나타낸 것과 같이 압전기판 위에 전기적 신호를 표면탄성과로 변환시켜주는 빗살형 전극 변화기와 공진기 안에서 발생하는 정재파를 집중시키는 두 개의 반사기로 구성되어 있다. 그림 2에 1-port 공진기의 등가회로 모델을 이용하여 사다리형 구조에 사용되는 하나의 section을 나타내었다.

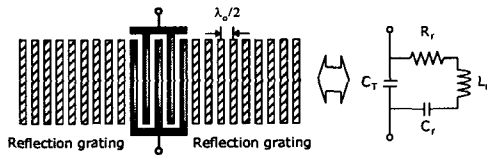


그림 1. 1-port 공진기의 구조와 등가회로

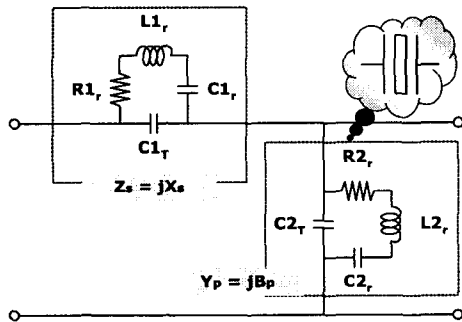


그림 2. 1-Port 공진기를 직렬/병렬로 연결한 사다리형 구조 필터의 Building block

일반적으로 선택도 Q가 큰 표면탄성과 공진기의 경우 공진주파수 f_r 은 공진기의 어드미턴스가 최대가 될 때의 주파수이며, 반공진 주파수 f_a 는 어드미턴스가 최소가 될 때이다. 그림 1에서 사용된 매개변수는 전

극쌍의 수가 N_p , 전극쌍 하나의 커패시턴스는 C_s , 단위길이의 전극쌍 하나의 커패시턴스가 C_o , 전극 길이 W 일 때, 다음 식을 통해서 얻을 수 있다[1].

$$C_T = N_p C_s = N_p C_o W \quad (1)$$

$$L_r = N_p / 4f_o G_o(f_o) \quad (2)$$

$$C_r = 1/4\pi^2 f_o^2 L_r \quad (3)$$

$$G_o(f_o) = 8K^2 f_o C_s N_p^2 \quad (4)$$

여기서, K^2 는 압전기판의 기계 결합 계수이며, 일반적으로 36° Y-X LiTaO₃의 $C_s \approx 470$ pF/m이다.

그림 2와 같이 공진기를 결합하여 사다리형 구조를 만드는 하나의 section에 대해 직렬 및 병렬 공진 주파수는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$f1_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1_r C1_r}} \quad (5)$$

$$f2_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L2_r C2_r}} \quad (6)$$

$$f1_p = f1_s \left(1 + \frac{C1_r}{2C1_T}\right)$$

$$f2_p = f2_s \left(1 + \frac{C2_r}{2C2_T}\right)$$

위 식에서 알 수 있듯이 전극이 가지는 커패시턴스 비가 공진 및 반공진 주파수 간격을 결정하게 되며, 이 차이는 대역통과 필터의 통과대역폭이 된다. 또한 전극의 정적 커패시턴스 $C1_T$, $C2_T$ 의 비는 필터의 삽입손실과 저지대역 억제 특성에 영향을 미치게 되므로 필터의 설계에 있어 trade-off가 요구되는 부분이다[4][6].

2.2 필터의 설계 및 제작

본 연구에서는 800MHz 대역 송신/수신 필터를 각각 2-section, 2.5-section, 3-section으로 구성하여 실험하였다. 이때 전기적 등가회로 모델을 이용하여 필터의 특성을 예측하고, 전극 재료는 Cu-Al, 36° LiTaO₃ 기판을 사용하여 전극을 형성하고, 습식 식각 공정 및 건식 식각 공정을 통해 필터를 제작하고 특성을 검증하였다. 다음 그림 3은 3-section으로 이루어진 공진기 결합형 필터의 구조로써, 결선에 의한 기생 성분을 포함하여 표현한 형태이다. 직렬형태(series-arm)의 공진기와 병렬형태(parallel-arm)의 공진기가 앞서 언급한 바와 같이 하나의 section을 이루며, 반복되는 경우 동일하게 설계되었다.

1-port 공진기 내부에서 전극쌍의 커패시턴스 비율 ($C1_T / C2_T$)에 따른 저지대역 특성을 알아보기 위해

800MHz 대역 이동통신 단말기용 듀플렉서의 설계 및 분석

비율을 변화시켜 설계하였다. 이동통신 응용에 필요한 25MHz 대역의 넓은 대역폭을 구현하기 위해 기계결합계수 $K^2 = 0.047$, 온도계수가 35ppm/°C 인 36° Y-X LiTaO₃ (36LT) 압전기판에 Cu-Al(W 3%) 박막 전극을 증착시켜 제작하였다. Alpha Step을 이용하여 측정된 전극의 두께는 2500Å, 3500Å, 4000Å 이었다. 제작에 사용된 직렬 및 병렬 공진기의 전극쌍에 대한 매개변수들은 다음 표 1에 정리하였다.

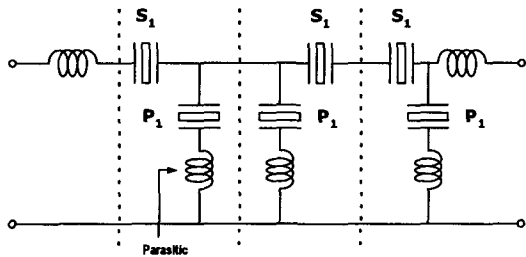


그림 3. 결선에 의한 성분을 포함한 3-section 사다리형 공진기 결합형 필터의 구조

표 1. 사다리형 필터의 설계 변수

매개변수	설계 패턴			
	Mod.1*	Mod.2	Mod.3	Mod.4*
전극쌍수	150/40	100/40	150/40	150/40
전극길이	14/37 λ	14/37 λ	14/37 λ	14/37 λ
반사기수	100	100	100	100
전극주기	4.76/4.90	4.76/4.96	4.76/4.96	4.76/4.90
정전용량비	0.7	1.0	0.7	0.7

*Mod.1과 Mod.4는 반사기와 빗살형 전극의 주기를 변화시킨.

설계된 필터는 습식 및 건식 식각(RIE)을 이용하여 있으며, RIE 공정의 경우 전극의 패턴 형성이 아주 뚜렷하고 under-cut이 습식 공정의 경우보다 현저히 줄어든 것을 확인 할 수 있었으며, 그림 4는 전극 두께 3500Å인 사다리형 필터의 RIE 공정에 의한 전극의 SEM 사진이다. 전극 두께 4000Å 인 경우도 설계한 전극의 주기와 일치하였다.

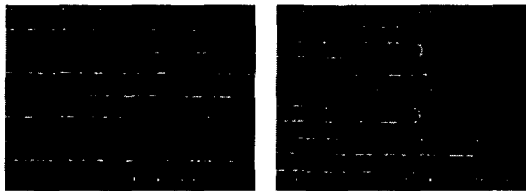


그림 4. RIE 공정에 의한 전극의 SEM 사진

2.3 제작된 필터의 주파수 응답 측정

제작된 사다리형 필터의 주파수 응답 특성을 측정하기 위하여 회로망 분석기(HP사 Network Analyzer)를 사용하였다. 습식 식각 공정을 사용한 전극 두께 2500Å인 경우[7] 중심주파수는 836.5MHz, 통과 대역폭은 약 25 MHz, 삽입손실은 2.5dB 이하, 저지대역 레벨은 -30dB 이하였다. RIE 공정을 사용하여 제작한 전극 두께 3500Å, 4000Å의 경우 통과대역폭과 삽입손실은 1.5dB 이하로 개선되었으며, 저지대역에서의 이상 특성이 개선되었음을 확인 할 수 있었다. 그러나, 중심주파수는 약 820MHz로 전극의 두께가 증가하면서 중심주파수의 천이가 발생하였다. 일반적으로 전극의 두께가 증가하면 필터의 중심주파수가 감소하게 되고, 대역폭이 증가하게 된다. 제작된 필터에서 전극의 두께가 3500Å과 4000Å인 경우 10MHz 미만의 중심 주파수 천이가 발생하였다.

그림 6은 직렬 및 병렬 공진기의 반사기가 IDT보다 약간 크게 설계되었으며, 직렬/병렬 정전 용량비는 0.7이다. 삽입손실은 약 -1.8dB, 저지대역 레벨은 25dB 이상이다.

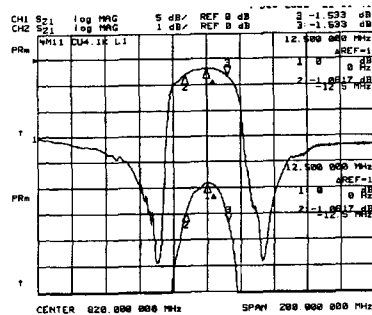


그림 5. Mod.1 소자의 주파수 응답 특성

그림 6은 Mod.2 소자의 주파수 응답특성을 측정한 결과이다. Mod.1과 동일한 구조이나, 직렬/병렬 정전 용량비를 1로 적용하였다. Mod.1 소자보다 저지대역 레벨이 개선되었다. 그림 5와 비교해 볼 때 통과대역의 평탄 특성이 저하되며, 공진기의 직렬/병렬 정전 용량비를 변화시켜 통과대역 평탄 특성을 개선할 수 있음을 추론 할 수 있다.

그림 7은 직렬/병렬 공진기의 반사기 주기가 IDT의 주기보다 약간 크게 설계되었다. 삽입손실은 별 차이가 없으나 저지대역 레벨이 그림 Mod.1의 경우보다 개선되는 것을 확인 할 수 있으며, 반사기 주기를 더 크게 설계함으로써 저지대역 특성을 개선 할 수 있음을 알 수 있다. 하지만 고주파 대역에서 불필요한 잡음 특성이 측정되었다.

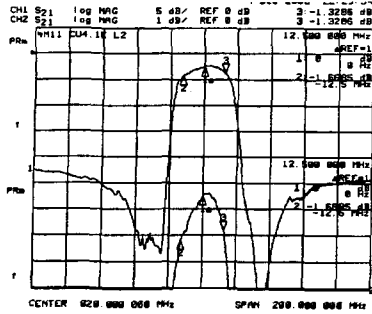


그림 6. Mod.2 소자의 주파수 응답 특성

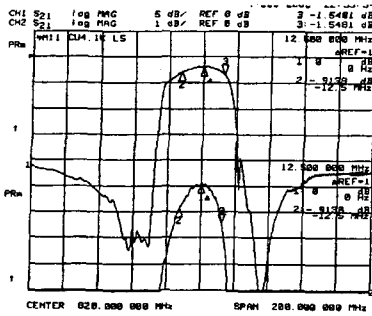


그림 7. Mod.3 소자의 주파수 응답 특성

그림 8은 직렬 공진기의 반사기와 IDT의 전극 주기가 동일하고, 병렬 공진기의 반사기 주기가 IDT의 주기보다 적게 설계되었다. 삽입손실은 개선되었으나 통과대역의 불필요한 리플이 발생한다.

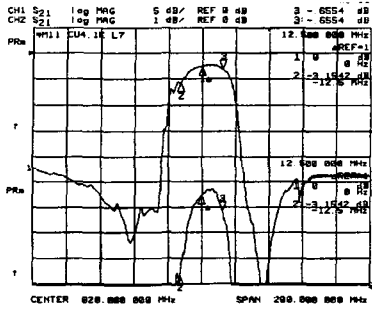


그림 8. Mod.4 소자의 주파수 응답 특성

위에 제시한 결과와 그림 9는 외부 회로에 의한 임피던스 정합을 하지 않은 상태에서 측정된 주파수 응답 특성과 임피던스 특성이다. 설계를 최적화함으로써 외부 임피던스 정합을 사용하지 않고 50Ω 정합이 가능 할 것으로 사료된다.

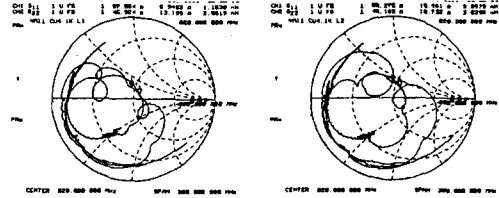


그림 8. 제작된 표면탄성파 필터의 임피던스 특성

V. 결론

본 연구에서는 표면 탄성파를 이용한 RF 필터를 설계 및 제작함으로써 외부의 임피던스 정합을 이용하지 않는 저손실의 듀플렉서 제작에 응용하고자 하였다. 송신 및 수신단 필터를 위한 사다리형 공진기 결합형 필터 구조를 설계하여 36° Y-X LiTaO₃ 압전기판에 Cu-Al(W 3%) 박막 전극을 증착시켜 제작하고 주파수 응답 특성을 고찰하였다. RIE 공정을 이용하여 제작된 필터의 통과 대역폭은 약 25 MHz, 삽입손실은 1.5dB, 저지대역 레벨은 -30dB 이하였다. 전극 두께와 표면탄성파의 파장 비, 직렬/병렬 정진 용량비의 최적화, 하나의 기판위에 송신 및 수신단을 제작할 수 있도록 연구가 진행되어야 것이다.

참고문헌

- [1] M. Lewis, "SAW filters employing interdigitated interdigital transducers, IIDT", Proc. 1982 IEEE Ultrasonic Symp., pp. 12~17, 1982.
- [2] Takao Morita, Yoshitaka Watanabe, Masaki Tanaka and Yuzo Nakazawa, "Wideband low loss double mode SAW filters", Proc. 1992 IEEE Ultrasonics Symp., pp.95~104, 1992.
- [3] O. Ikata, T. Miyashita, T. Matsuda, T. Nishihara, Y. Satoh, "Development of low-loss band-pass filters using SAW resonators for portable telephones", Proc. 1992 Ultrasonics Symp., pp. 111~115, 1992.
- [4] K. Yamanouchi, C.H.S. Lee, K. Yamamoto, T. Meguro, H. Odagawa, "GHz-range low-loss wide band filter using new floating electrode type unidirectional transducers", Proc. 1992 IEEE Ultrasonics Symp., pp.139~142, 1992.
- [5] T. Matsuda, H. Uchishiba, O. Ikita, T. Nishihara, and Y. Satoh, "L and S Band Low-loss filters using SAW Resonators", Proc. 1994 IEEE Ultrasonics Symp., pp. 163~167, 1994.
- [6] 유일현, 권희두, "이중통신 필터 설계 및 분석", 한국음향학회지, 제 17권 제 8호, pp.41~47, 1998.