
단상 단방향 형태의 표면탄성과 필터 제작 및 임피던스 정합

유일현*

A Study on the Fabrication and the Impedance Matching of SPUDT Type SAW Filter

Il-Hyun You*

요 약

단상 단방향 형태의 표면 탄성과 필터 제작하기 위하여 Langasite 기판위에 빗살무늬 변환기를 형성시켜 모의실험을 수행하였으며, 전극재료로는 Al-Cu를 사용하였다. 모의실험을 바탕으로 입력단에는 IDT를 직렬형태로 연결시킨 block 형태로 하중을 가하는 전극 방법을 쓰고 출력단은 withdrawal 형태로 하중을 가하는 방법을 써서 제작하였다. 이를 바탕으로 단상 단방향 형태의 표면 탄성과 필터 적절한 임피던스 정합 조건도 얻고자 하였다. Langasite 기판 위에 형성시킨 입 출력 빗살무늬 변환기 전극 수는 50쌍, 두께는 5000 Å으로 하였으며, 반사기 폭은 3.6µm이며, 전극 폭은 2.4µm이고, 전극과 반사기 사이의 간격은 2.0µm으로 하였다. 제작한 필터의 임피던스 정합 후 주파수 특성에서 중심 주파수는 190MHz, 대역폭은 7.7MHz 정도로 측정되었으며, 리플 특성은 0.4dB 이하이고, 정재파 비는 1.5정도로 측정되었다.

ABSTRACT

We have studied to obtain the SAW filter for the Single Phase Unidirectional Transducer(SPUDT), was formed on the Langasite substrate and was evaporated by Aluminum-Copper alloy and then we performed computer-simulated by simulator.

We can fabricate that the block weighted type IDT as an input transducer of the filter and the withdrawal weighted type IDT as an output transducer of the filter from the results of our computer-simulations.

Also, we have performed to obtain the properly conditions about impedance matching of the SAW filter for SPUDT.

We have employed that the number of pairs of the input and output IDT are 50 pairs and the thickness and the width of reflector are 5000 Å and 3.6µm, respectively. And the width of IDT' fingers is 2.4µm, and the space between IDT' finger and reflector is 2.0µm.

Frequency response of the fabricated SAW filter has the property that the center frequency is about 190MHz and bandwidth at the 3dB is probably 7.7MHz after when we have matched impedance. Also, we could obtain that ripple characteristics is less than 0.4dB and standing wave ratio is probably 1.5 after when we have matched impedance.

키워드

Single Phase Unidirectional Transducer : SPUDT, Slanted Finger, Tapered Transducer,
Interdigital Transducer : IDT, Weighting

1. 서 론

통신용 단말기를 구성하는 부품 중 표면 탄성과

(Surface Acoustic Waves : SAW) 필터는 대역 통과 필터로 가장 각광 받고 있는 부품 중 하나이다. SAW 필터는 빗살무늬 변환기(Interdigital Transducer : IDT)의 기하학적인 전극구조에 의하여 주파수 특성 및 이와 관련된 특성들이 결정되므로 IDT 전극구조를 원하는 주파수 특성을 얻을 수 있도록 최적화시키는 것이 관건이다[1],[2]. 국내에서는 차세대 방식으로 WCDMA(Wide-band Code Division Multiple Access) 방식을 채택을 계획하고 있으며, 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

이러한 기지국용 필터는 송수신단에 있어서의 표면탄성과 필터의 단점인 전기-음향적 재발진(Regeneration)에 의하여 시스템에 장착 시 부합되지 않는 결과를 야기한다[3],[4],[5].

이러한 단점을 보완하기 위하여 1980년도에 단상 단방향 변환기(Single Phase Unidirectional Transducer : SPUDT)를 개발하게 되었다[6]. 그러나 유한충격 반응(Finite Impulse Response : FIR) 형태의 SPUDT의 설계는 Withdrawal weighting 방식으로 설계하게 되므로 전극단에서 나타나게 되는 현상인 다른 신호가 제거(Ultimate Rejection : UR)되는 현상에 많은 문제를 가지게 된다. 또한, 기지국용 필터는 -50dB 이하의 UR특성을 요구하므로 일반적으로 전극접침 정도(Apodization Weighting)가 변하는 방식으로 필터를 설계한다. 그러나 Apodization Weighting 방법은 전극하중이 연속적이어서 UR특성은 좋으나, 전극 접침의 변화가 불가피하여 저 손실 SPUDT 구현이 쉽지 않다[6].

이를 보완하기 위하여 1980년대 초부터 하중이 불연속적인 전극하중(Withdrawal Weighting)기법을 사용하는 경사진 빗살무늬 변환기(Slanted Finger Interdigital Transducer : SFIT)를 연구하게 되었다. 그러나 SFIT는 불연속적인 전극하중만으로 구현되는 까닭으로 UR 특성이 좋지 않아 실용화를 시키지 못하였다. 그렇지만, 이 방법을 쓰면 SPUDT 구현도 가능하고 전극에서의 회절 및 간섭 효과가 적은 IDT를 얻을 수 있다[7],[8].

본 연구에서는 SPUDT 형태 중에 하나이고 전체적으로는 전극모양이 사다리꼴이며, 전극 폭에 있어서는 적은 차이를 갖고 있는 변환기(Tapered Transducer)형태를 채택한 표면 탄성과 필터 제작하고자 하였다. 입력단 전극에는 Block weighting 방법을 쓰고 출력단은 Withdrawal weighting 방법을 도입하였고, 정확한 필터 구현을 위한 시뮬레이터도 개발하였다. 또한, 다른 압전기판에 비해 상대적으로 표면탄성과 속도가 느린 Langasite 기판[9]을 써서 그 위에 전극을 형성시킨 SAW필터를 제작하였다.

아울러 제작한 SAW 필터를 외부 시스템에 장착할 경우 외부시스템과 필터 사이에서 발생하는 임피던스 정합(Matching)에 대해 적절한 조건들도 얻고자 시도하였다. 이를 위하여 제작한 필터에 임피던스를 연결한 경우와 제거한 경우에 대해 실험하였으며, 얻은 자료들을 근거로 비교 분석하였다.

II. 이론적 배경

Withdrawal Weighted IDT는 IDT내부에 반사기를 설치하여 에너지의 손실을 막아 삽입손실을 크게 개선할 수 있으나, 5% 이상의 대역폭을 갖는 필터를 만들 수 없고 저지대역을 -45dB 이상 내릴 수 없다는데 있다. 뿐만 아니라 광대역 필터에 적용하는 데에 있어 저지대역과 리플이 큰 문제점을 가지고 있지만 삽입손실을 낮게 할 수 있는 SPUDT가 가능하다는 것이다. 이에 Apodization 필터는 Weighting이 연속적이어서 UR이 매우 좋으나 전극의 접침이 변화되므로 Low Loss를 위한 SPUDT 구현이 매우 어렵지만 대역폭이 넓고 저지대역을 낮게 할 수 있다. 따라서 이러한 두 구조의 장점만을 채택한 것이 SPUDT 타입의 Tapered Transducer이며, 다른 구조에 비하여 전극에 의한 회절이 큰 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 IDT의 Aperture를 크게 하는 것이 중요하다. 그러나 이는 전기용량(capacitance : c)이 증가되어 리플특성이 좋지 않게 된다. 이를 보완하기 위하여 각각의 IDT를 직렬로 연결함으로써 c값을 작게 할 수 있다.

일반적으로 IDT의 c값에 의한 이론적인 분석은 다음과 같다.

$$Y_{in} = G_a(f) + j(2\pi f C_{st} + B_a(f)) \quad (1)$$

이고, 여기서 C_{st} , $G_a(f)$, $B_a(f)$ 각각은

$$C_{st} = C_s W N \quad (2)$$

$$G_a(f) = G_0 N^2 \left| \frac{1+P}{e^{+j\phi} + P e^{-j\phi}} \right|^2 \frac{\sin^2 \phi}{\phi^2} \quad (3)$$

$$B_a(f) = G_0 N^2 \left| \frac{1+P}{1-P} \right| \left(\left| \frac{1+P}{e^{+j\phi} + P e^{-j\phi}} \right|^2 \frac{\sin 2\phi}{2\phi} - 1 \right) \quad (4)$$

이며, W 는 beam aperture를 나타낸다. 여기서

G_0 , ϕ 및 P 는 각각

$$G_0 = 4k^2C_sWN^2f_c \quad (5)$$

$$\phi = \frac{N\pi}{2} \frac{f-f_c}{f_c} \quad (6)$$

$$P = [\beta_m(\delta + k_{11})]/k_{12}\phi = \beta_mNL/2 \quad (7)$$

를 나타내고, δ 와 β_m 는

$$\delta = k_f - 2\pi/L \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \beta_m &= \sqrt{(\delta + k_{11})^2 - k_{12}^2} \\ &= k_f \sqrt{(\delta/k_f + k_{11})^2 - k_{12}^2} \end{aligned} \quad (9)$$

이다. 식 (3), (4)을 이용하여 입력 IDT의 admittance를 구하면 전극의 개수에 따라 3가지로 구분할 수 있다. 전극의 갯수 N 이 $1.5/k_2$ 보다 작을 경우 트랙간의 결합이 약하게 되며 $1.5/k_2$ 보다 클 경우에는 많은 리플이 형성된다. 따라서 전극의 갯수 (pairs) N 이 $1.5/k_2$ 가 될 때 $\omega C_s + B$ 는 거의 0이 된다. 따라서 c 값을 작게 하면 많은 전극을 삽입하고 전극 구경을 크게 할 수 있으며, 변환기의 전극 개수를 늘릴 수 있고 결과적으로 감쇄를 개선시킬 수 있다.

III. 실험 및 고찰

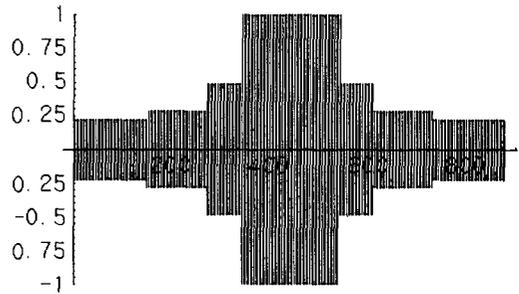
1. 전극 형성

SAW 필터용 소자의 전극은 박막 전극재료형성 기술을 사용하여 Langasite 기판 위에 전극을 형성시켜 제작하였다. 습식세정 및 플라즈마 세척을 한 기판 위에 전극 재료로는 Al-Cu 합금을 사용하였으며, 150 °C에서 DC Magnetron sputter를 이용하여 증착하였으며, 두께는 5000 Å으로 하였다.

이때, 표면탄성파 필터 제작에 사용하기 위한 고정밀도의 사진식각용 포토마스크는 미리 설계된 변환기 전극 제원으로부터 CAD 설계에 의하여 전자주사선을 이용하여 0.05µm 이상의 정밀도로 제작하였다. 이와 같이 제작된 마스크를 사용하여 반도체 제조공정 중 하나인 사진식각 방식에 의해 Langasite 기판 위에 전극을 형성하였다. 공정이 끝난 기판은 절단 후 표면실장(SMD) 방법으로 Packaging 후 측정하였다.

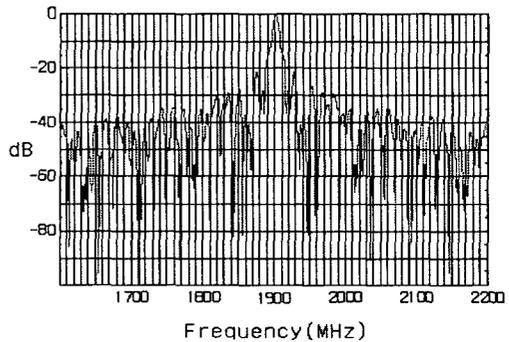
2. 모의 실험

우수한 특성을 갖은 SAW 필터를 구현하기 위하여 Mathematica package를 이용한 모의실험을 통하여 얻은 자료를 바탕으로 SPUDT 형태의 SAW 필터를 설계 및 제작하고자 하였다. 모의실험한 자료를 근거로 하여 입력단에는 직렬 연결시킨 Block Weighted IDT 형태를 출력단에는 Withdrawal weighted IDT 형태를 채택하였으며, 제작한 필터의 입·출력단의 임펄스 응답과 주파수 응답 특성 결과를 그림 1(a), (b)과 그림 2(a), (b)에 각각 나타내었다.



(a)

그림 1a. 블록 하중을 갖는 전기적 충격 응답 특성
Fig 1a. The impulse response of block weighting.



(b)

그림 1b. 블록 하중을 갖는 주파수 응답 특성
Fig 1b. The frequency response of block weighting.

그림 1(a)와 그림 2(a)에서 X 축은 필터의 IDT 전극 갯수, Y축은 직렬로 연결시킨 블록(series-block)에 있어서 하중을 받은 전극의 상대적인 크기를 각각 나타낸다.

그림 1과 그림 2에 보인 바와 같이 입력단의 block weighted IDT에서 감쇄는 매우 크지 않았으나, 중심주파수에서 멀어질수록 Ultimate Rejection은 바람직한 결과가 나타났음을 알 수 있다. 그리

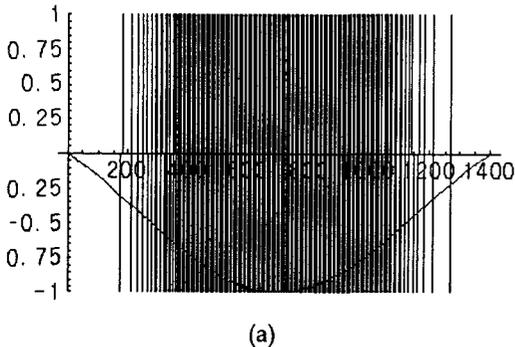


그림 2a. 불연속 하중을 갖는 빗살무늬 변환기 전극
Fig 2a The withdrawal weighted IDT fingers for the SAW filter.

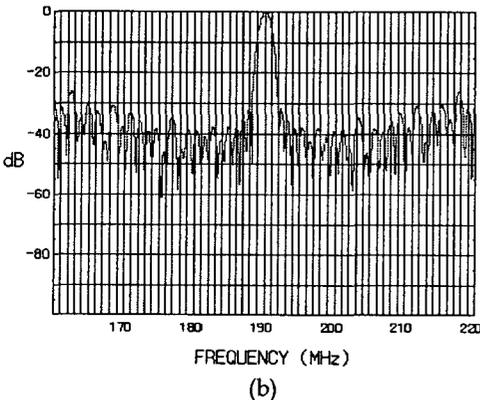


그림 2b. 불연속 하중을 갖는 빗살무늬 변환기의 주파수 응답
Fig 2b. The frequency response of withdrawal weighted IDT.

고 출력단의 Withdrawal IDT에서는 중심주파수에 가까이 위치하는 감쇄는 상당히 좋으나, 중심주파수에서 멀리 떨어진 지점에서는 Ultimate Rejection이 바람직하지 않은 결과가 나타남을 알 수 있다. 그러나 입·출력 IDT에서의 발생하는 각각의 신호들은 서로 조화를 이룸으로써 좋은 결과를 가져오게 된다.

3. SAW 필터 설계 및 제작

본 연구에서는 모의실험을 통하여 얻은 자료를 바탕으로 SAW 필터를 설계 및 제작하였다.

일반적으로 SAW 필터는 low shape factor의 특성을 가졌음에도 불구하고, 임피던스 부정합(Impedance mismatching)상태에서도 고성능의 필터 특성을 가지고 있을 뿐 만아니라, 이로 인하여 높은

삽입손실이라는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 시스템을 불안정하게 하고, 높은 증폭도와 적절치 못한 정합으로 인해 입력단의 증폭도는 사용자의 요구사항을 만족시키지 못하는 결과를 가져오게 된다.

이러한 단점을 보완하고자 전체적으로는 전극모양이 사다리꼴이며, 전극 폭에 있어서 적은 차이를 갖고 있는 변환기(Tapered Transducer)형태를 채택한 필터로 구현하였다. Tapered Transducer는 필터의 리플을 교정하기 위하여 각 채널마다 전극구경(Aperture)을 조절할 수 있을 뿐만 아니라 반사 및 회절에 의한 영향도 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. Tapered Transducer의 문제점은 광 마스크(photo-mask)의 작업이 매우 어렵다. 이를 해결하기 위하여 많은 설계자들은 여러 가지의 마스크 구현 방법을 제안하였으나 본 연구 개발에서는 Quasi-Transducer 방법을 이용하여 광 마스크를 구현하였다.

아울러 Langasite 위에 SPUDT 설계를 위하여 기관의 속도를 광학적 방법을 이용하여 측정하였으며, 측정된 기관의 속도는 다른 기관에 비하여 느린 2740 m/s로서 작은 길이에서도 low shape factor의 필터를 구현할 수 있었다. 사용하고자 하는 기관은 일반적인 기관의 반사기를 이용하게 되면 low loss의 필터 구현이 어려워 IDT와 독립적인 반사기 형태(floating)를 취한 SPUDT의 필터를 구현하였다.

그림 3은 제작한 전극의 개략적인 형상을 보여준다.

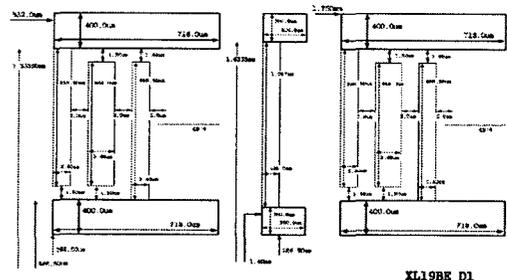


그림 3. Langasite 기관 형성된 IDT 전극 구조
Fig 3. IDT structures are formed on the Langasite substrate.

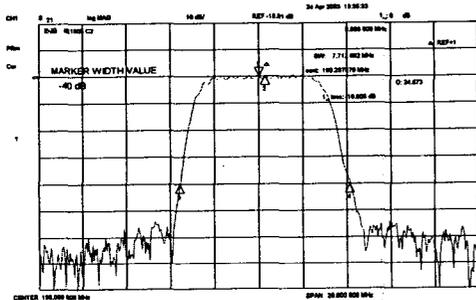
그림에서 왼쪽 IDT는 입력단이고 오른쪽은 출력단이며, 전극 형상은 좌우동일하게 형성하였음을 나타낸다. 그림에서 위쪽에 형성시킨 IDT(hot 전극)에는 +신호를 인가하였으며, 아래쪽에 위치한 IDT는 접지로 사용하였으며, SAW 신호는 좌측에

서 우측으로 전달되도록 신호 체계를 형성하였다. 그리고 IDT 전극 사이에 있으며 각 전극과 독립적인 전극이 반사기이고, 입출력 IDT 중앙에 위치시킨 "c"자 형태의 전극은 입력측에서 발생한 신호가 출력측에 직접 전달될 때 신호의 에너지를 감소시키는 역할을 하는, 이른바 접지 장벽(ground bar)이다.

이와 같이 IDT 전극과 독립적인 반사기로 구성하였고, 반사기 폭은 $3.6\mu\text{m} (\cong \lambda/4)$ 로, IDT 전극 폭, 반사기와 IDT전극 사이 거리는 각각 $2.4\mu\text{m}$ 와 $2.0\mu\text{m}$ 로 구성하였고, 전극 갯수(pairs)는 50쌍으로 하였음을 보여준다.

4. SAW 필터의 특성과 임피던스 정합

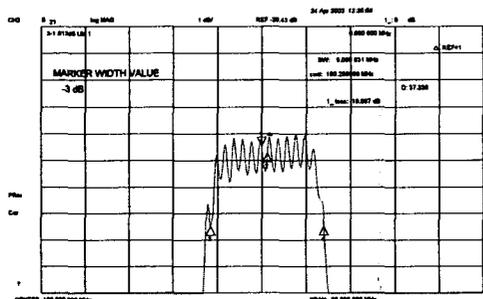
그림 4 (a), (b)에서는 제작한 필터의 주파수응답 특성을 보이고 있다.



(a)

그림 4a. 무 임피던스로 측정된 필터의 주파수 응답 특성

Fig 4a. Frequency response of the filter without impedances.



(b)

그림 4b. 무 임피던스로 측정된 필터의 대역 폭(3dB).

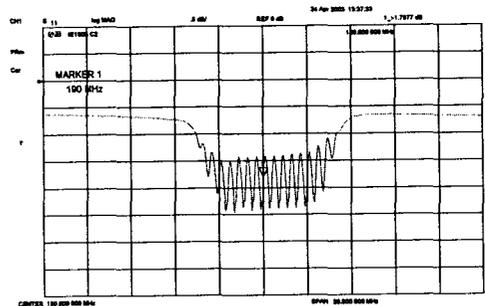
Fig 4b. Bandwidth at 3dB of the filter without impedances

그림 4는 임피던스를 가하지 않은 상태에서 측

정한 것으로, 그림 4(a)는 주파수 응답 특성이며, 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서 대역폭은 7.7 MHz 정도 및 삽입 손실은 19.9dB로 측정되었다.

그림 4b는 필터의 주파수 응답특성 중 리플특성 및 3dB에서의 대역폭을 측정된 결과로써 리플은 2dB 이상, 대역폭은 5MHz로 각각 측정되었음을 보여준다. 여기서 측정된 리플은 반사기에 의한 음파의 반사로 인하여 영향(Triple Transit Echo : TTE)이 발생한 것으로 보인다.

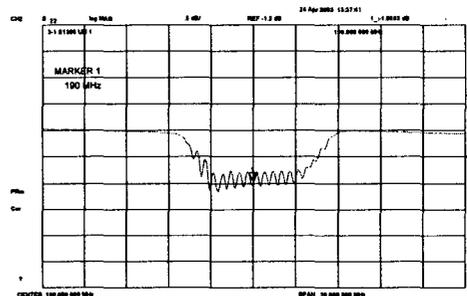
그림 5(a), (b)에서는 임피던스를 연결하지 않은 상태에서 입·출력 단자로부터 측정된 return-loss를 보이고 있다.



(a)

그림 5a. 무 임피던스로 측정된 필터 입력단의 되돌림 손실

Fig 5a. Return-loss obtained from input transducer of the filter without impedances.



(b)

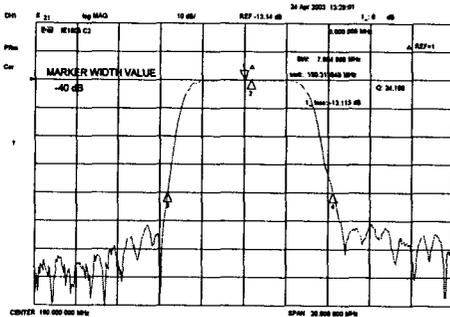
그림 5b. 무 임피던스로 측정된 필터 출력단의 되돌림 손실

Fig 5b. Return-loss obtained from output transducer of the filter without impedances.

그림에서 보듯이 입력 단에서의 return-loss는 -1.7dB로, 출력 단에서의 return-loss는 -1.6dB 정도로 측정값이 얻어지므로써 IDT 반사기에서 거의

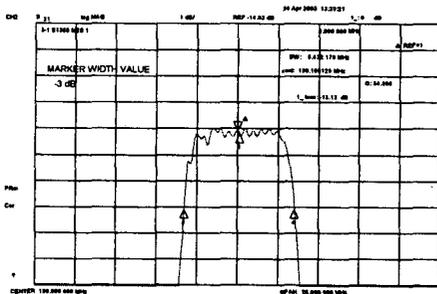
반사되는 결과를 보이고 있다. 여기서 측정결과는 SPUDT 형태의 필터는 임피던스를 연결하지 않은 상태에서는 음파가 상쇄되지 않고 입출력 단에서 반사되는 결과를 가져옴을 의미한다. 즉, IDT 전극 (finger) 사이에서 신호가 진행할 때 반사 및 회절에 의해 발생하는 TTE 현상을 줄이기 위해서 SPUDT는 임피던스 정합이 필요함을 보여주는 것이기도 하다.

그림 6 (a), (b)는 임피던스 정합(Impedance Matching) 후의 주파수 응답특성을 보이고 있다.



(a)

그림 6a. 임피던스 정합 후 필터주파수 응답특성
Fig 6a. Frequency response of the filter after impedance matching.



(b)

그림 6b. 임피던스 정합 후 필터의 대역폭(3dB)
Fig 6b. Bandwidth at 3dB of the filter after impedance matching.

그림에서 보여 주듯이 (a)는 측정된 주파수 응답 특성이며, 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서 대역폭은 7.7 MHz 정도 및 삽입 손실은 13.3dB 정도로 측정되었다.

그림 b는 필터의 리플특성 및 3dB에서의 대역폭을 측정된 결과로써 리플은 0.4dB 이하로서 리플 특성이 매우 좋은 결과를 얻었으며, 대역폭은 5.4

MHz로 각각 측정되었음을 보여준다. 여기서 측정된 리플은 반사에 의해 야기되는 TTE 현상이 상당 부분 제거되었음을 보여준다.

아울러 그림 4와 비교해 보면 삽입손실이 약간 크게 측정되었으며, 저지대역(Rejection band)은 -50dB 이하의 결과를 가져오고 있으나, 중심주파수에서부터 10MHz 떨어진 지점에 -47dB 정도의 양호한 저지 대역을 보이고 있음을 알 수 있다. 이 두 가지 측면의 결과로 미루어 보면, 첫 번째로는 기판의 Rayleigh 표면탄성파는 물론 체적 탄성파 (Bulk Acoustic Wave : BAW)에 의하여 발생하는 발진에 의하여 필터에 영향을 준 것으로 분석된다. 두 번째는 IDT 전극 구성함에 있어 전체적인 전기용량 값을 작게 하기 위하여 입출력 모두 직렬형태로 필터를 구성함으로써 Admittance가 작아지고 임피던스 값은 커지게 되어 임피던스 정합이 쉽게 이루어질 수 있었다고 판단된다.

그리고 그림 7은 임피던스 정합 후, 필터의 특성을 알아내기 위해 출력단에서 return loss를 측정 한 결과를 보인 것이다.

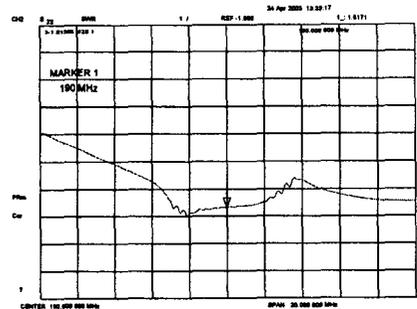


그림 7. 임피던스 정합 후 필터의 되돌림 손실
Fig 7. Return loss of the filter after impedance matching.

그림에서 보듯이 SPUDT의 특성은 정합 후에 정상파 비(Standing Wave Ratio : SWR) 값이 1.5 정도로 측정되었음을 보여준다. 이는 전극에서 반사되어 돌아온 신호의 상대적인 크기가 1/2일 때 SWR 값이 2인 것을 감안하면 양호한 값으로 판단된다. 따라서 SWR 값이 2 이하로 될 때 리플의 특성이 매우 좋은 값을 가지게 되며, 필터는 입출력의 return-loss가 양호하여 시스템이 매우 안정된 결과를 가져오게 된다.

이상과 같은 실험 결과로 보아 SPUDT 타입의 필터는 삽입 손실이 좋고, return-loss가 좋을 때 리플 등 필터의 특성이 좋은 결과를 보이고 있으며, 50Ω에 근접할수록 필터의 특성이 좋은 결과

를 가져오게 된다고 하겠다.

IV. 결 론

본 연구에서 설계 및 제작한 단상 단방향 형태의 표면탄성과 필터는 작은 면적에 많은 IDT를 넣어 Shape factor를 개선하기 위하여 일반적으로 사용하는 압전기판에 비해 비교적 음파의 속도가 느린 Langasite를 사용하였다.

Langasite 기판위에 형성시킨 빗살무늬 변환기 전극 수는 50쌍, 두께는 5000 Å으로 하였으며, IDT 전극과 독립인 반사기를 삽입하였고, 반사기 폭은 3.6µm(≅1λ/4)로, IDT 전극 폭, 반사기와 IDT 전극 사이 거리는 각각 2.4µm와 2.0µm로 하였다.

표면탄성과 필터는 적절치 못한 임피던스 정합 (Impedance matching) 상태에서 시스템이 불안정한 상태가 되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 필터의 리플을 교정하기 위하여 각 채널마다 전극구경(Aperture)을 조절할 수 있을 뿐만 아니라 반사 및 회절에 의한 영향도 줄일 수 있는 Tapered Transducer 형태를 채택한 필터로 구현하였다. Tapered Transducer는 Withdrawal Weighting IDT로 인하여 저지대역이 좋지 않은 결과를 가져오고 있지만 이를 극복할 수 있도록 입·출력단에 직렬로 연결한 형태를 갖는 Block Weighted IDT를 도입하였다.

그 결과 전극의 직렬형태는 전기용량(Capacitance)값과 어드미턴스(Admittance)값이 작아져서, 결과적으로 임피던스 값이 크게 되어 정합을 용이하게 하였으며, 저지대역은 향상되었고 감쇄도 크게 개선되었다.

제작한 필터의 정합 후 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서 대역 폭은 7.7 MHz 정도 및 삽입 손실은 13.3dB 정도로 측정되었고, 리플은 0.4dB 이하로서 리플 특성이 매우 좋은 결과를 얻었으며 3dB에서의 대역폭은 5.4MHz로 각각 측정되었다.

참 고 문 헌

[1] M. Hikita, H. Kojima, T. Tabuchi and Y.

Kinoshita, "800MHz high performance SAW filter using new resonant configuration", IEEE trans. microwave theory tech. MTT-17, 510, 1985.

[2] C. Cambell, "Surface acoustic wave devices and their signal processing application", Academic press, 1989.

[3] Clinton S. Hartman, Delamer T. Bell, Jr., and Ronald C. Rosenfeld, Impulse Model Design of Acoustic Surface Wave Filters, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-21, No. 4, pp.162-175, 1973.

[4] George L. Matthae, Acoustic Surface-Wave Transversal Filters, IEEE Trans. Circuit and Theory, Vol. CT-20, No.5, pp. 459-470, 1973.

[5] Roger H. Tancrell, Analytic Design of Surface Wave Bandpass Filters, IEEE Trans. UFFC, Vol.47, No.1. pp.140-147, 2000.

[6] T. Thorvaldsson, Analysis of The Natural Single Nonlinear Phase Unidirectional SAW Transducer, IEEE Trans. UFFC, Vol.45, No.1, pp.41-47, 1998.

[7] H. Yatsuda, K. Yamanouchi, Automatic CAD Design of SAW Filters Using Slanted Finger Interdigital Transducer, IEEE Ultrasonic Symposium, pp.295-299, 1999.

[8] H. Yatsuda, Design techniques for SAW filters using slanted finger interdigital transducers, IEEE Trans. Sonics UFFC, Vol. 44, No.1, pp. 453, Mar. 1997.

[9] C. B. Chvets, P. G. Ivanov, V. M. Maka, V. S. Orlov, Design of SAW Filters on Langasite, IEEE Ultrasonic Symposium, pp. 99. 1999.

저자소개

유일현(II-Hyun, You)



2001년 2월 인하대학교 응용물리학과

2003년 3월 ~ 현재 세명대학교 컴퓨터응용과학과 교수

* 관심분야 : 통신소자, SAW 필터