
SFIT형 필터 제작 및 분석

유 일 현*

The fabrication and analysis of the SFIT type filter

Ilhyun, You*

요 약

경사진 빗살무늬 변환기 필터를 제작하기 위하여 Langasite 기판위에 두 가지 형태의 빗살무늬 변환기를 형성시켰으며, 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 경사진 빗살무늬 변환기 필터 전극 설계 방식에 대한 적절한 위상조건도 얻고자 시도하였다. Langasite 기판위에 형성시킨 입 출력 빗살무늬 변환기 전극 수는 50쌍, 두께는 5000 Å으로 하였으며, 반사기 폭은 3.6µm으로 하였다. 첫 번째 시료에서 hot전극과 반사기사이의 거리는 2.4µm이고, 접지 전극과 반사기사이의 거리는 1.8µm이며, hot전극에서부터 접지전극까지 간격은 1.5µm로 제작하였다. 두 번째 시료는 hot전극과 반사기사이의 거리 및 접지 전극과 반사기사이의 거리를 2.4µm로 동일하게 제작하였다. 제작한 필터의 주파수 특성은 중심주파수가 대략 190MHz정도, 대역폭은 7.3MHz이하로 측정되었으며, matching 후 return loss는 -20dB 이하이고, 리플 특성은 3dB정도이며, 반사에 의한 잔향은 -22dB 이하로 측정되었다.

ABSTRACT

We have studied to obtain the slanted finger interdigital(SFIT) type filter was formed on the Langasite substrate and was evaporated two IDT electrode by Aluminum-Copper alloy respectively. 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-simulation.

Also, we have performed to obtain the properly design conditions about phase shift conditions of the SFIT type filter. We have employed that the number of pairs of the input and output IDT are 50 pairs and the thickness and the width of reflectors are 5000 Å and 3.6µm respectively. At the first sample, we have employed that the distance from the hot electrode to the reflectors is 2.4µm distance from the ground electrode to the reflectors is 1.8µm and the distance from the hot electrode to the ground is 1.5µm respectively. At the other sample, we have also employed that the distance from the hot electrode to the reflectors and the distance from the ground electrode to the reflectors are 2.4µm. Frequency response of the fabricated SAW filter has the property that the center frequency is about 190MHz and bandwidth at the 3dB is probably 7.3 MHz. And we could obtain that return is less than -20dB, ripple characteristics is probably 3dB and triple transit echo(TTE) is less than -22dB after when we have matched impedance.

키워드

경사진 빗살무늬 변환기, 빗살무늬 변환기, 하중

Key word

Slanted Finger Interdigital Transducer (SFIT), Interdigital Transducer (IDT), Weighting

I. 서 론

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 Codeless 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 단상단방향 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 UR 특성을 요구하므로 일반적으로 전극겹침 정도(Apodization Weighting)가 변하는 방식으로 필터를 설계한다. 그러나 Apodization Weighting 방법은 전극하중이 연속적이어서 UR 특성은 좋으나, 전극 겹침의 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 간섭효과가 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) 형태

를 채택한 표면탄성과 필터 제작하고자 하였다. 입력단 전극에는 Block weighting 방법을 쓰고 출력단은 Withdrawal weighting 방법을 도입하였다. 아울러 앞선 연구결과[9, 10]에 좀 더 폭넓은 데이터를 보완하기 기본적으로 반사기를 개방(open) 및 단락(short)시킨 형태로 제작하였다. 적절한 조건들을 얻기 위해 hot전극과 접지전극, 반사기 폭 및 hot전극과 반사기사이(edge to edge)의 거리와 접지전극과 반사기사이 거리를 변화시켰다.

재료로는 다른 압전기판에 비해 상대적으로 표면탄성과 속도가 느린 Langasite 기판[11]을 써서 그 위에 전극을 형성시킨 SAW필터를 제작하였다.

이와 같이 전극을 배열하여 임피던스 정합을 통해 필터의 적절한 조건들을 구하려고 시도하였으며, 얻은 자료들을 취합하고 분석도 하였다.

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 겹침이 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 구조에비하여 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 연결하므로써 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

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

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

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

이며, W 는 beam aperture를 나타낸다. 여기서 G_0, ϕ 및 P 는 각각

$$G_0 = 4k^2 C_s W N^2 f_c \quad (5)$$

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

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

를 나타내고, δ 와 β_m 는

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

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

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 트래킹간의 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 0 이 된다. 따라서 c값을 작게 하면 많은 전극

을 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 전극재료형성기울을 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 5000Å으로 하였다.

본 연구에서는 Langasite 기판 위에 SPUDT 전극 구성을 위한 기초적인 자료를 얻기 위한 실험을 행하였다. 기판의 성질에 따라 기판 위에 형성시킨 각종 전극 및 반사기 등에 의한 음파의 반사영향으로 음파는 위상이 바뀌는 것을 피할수 없다. 따라서 Langasite 기판 위에 장착될 SPUDT 전극의 구조 및 안정성에 관한 조건을 찾는 데 역점을 두고 실험을 행하였다.

아울러 반사기에 의해 반사된 음파는 45°의 위상으로서 반사되어야만 하므로, 이를 위하여 IDT의 규격, 간격 및 모양을 변화를 시킨 다음, 반사기 폭은 변화시키지 않고 단락 및 개방시켜 구성하였다. 이와 같이 하므로써 SPUDT 전극 제작시 적절한 조건을 찾는 기초실험을 하였다. 아울러 자료를 얻기 위해 IDT의 개수는 50쌍으로 하였고, 전극 재질은 동일한 물질로 구성하였다.

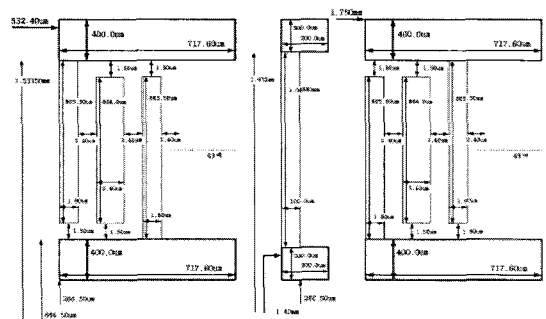
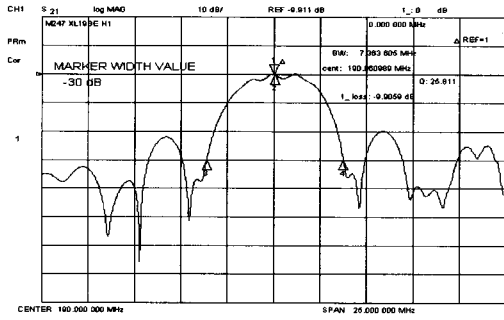
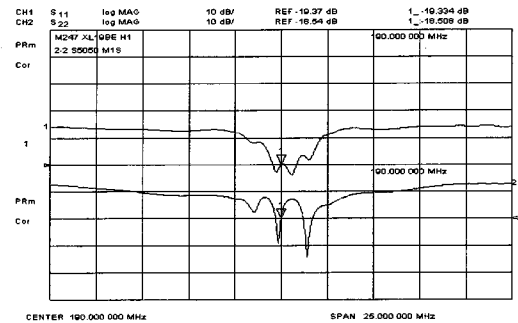


그림 1. SFIT형 전극의 개략적인 구조
Fig. 1. The schematic structure of the SFIT type electrodes.



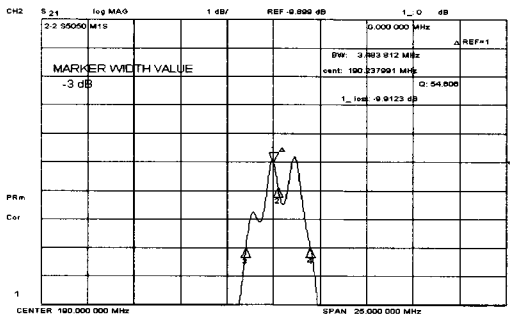
(b)

그림 3b. 경사진 빗살무늬 변환기 필터 주파수 특성.
Fig. 3b. The frequency response of the SFIT type filter.



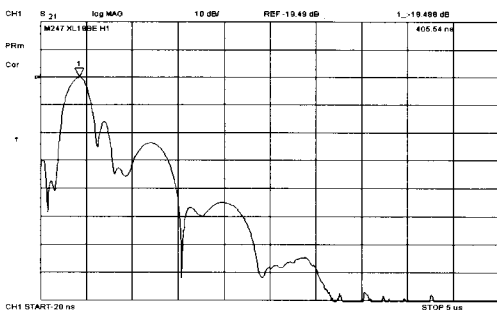
(e)

그림 3e. 경사진 빗살무늬 변환기 필터의 되돌림 손실
Fig. 3e. The return loss of the SFIT type filter.



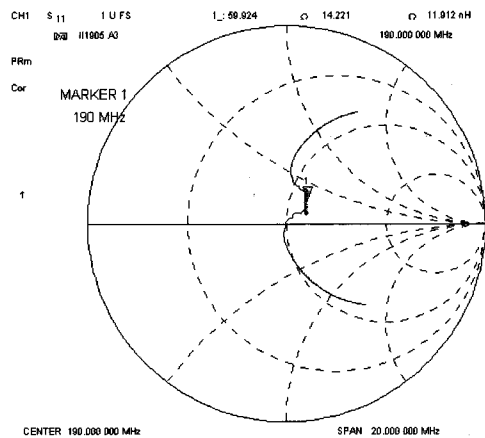
(c)

그림 3c. 주파수 응답특성에 대한 리플특성
Fig. 3c. The ripple characteristics of the frequency response.



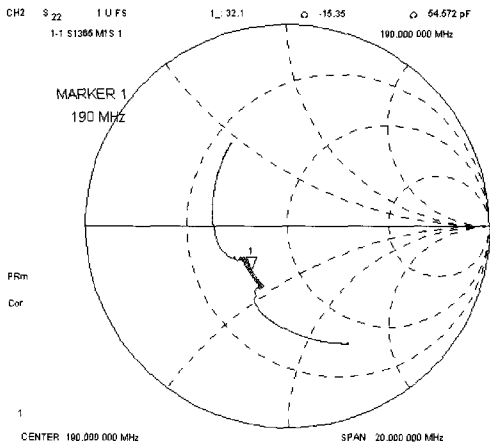
(d)

그림 3d. 경사진 빗살무늬 변환기 필터의 시간영역 특성
Fig. 3d. The time domain characteristics of the SFIT type filter.



(a)

그림 4a. 필터의 입력 단자에서 측정된 스미스 차트
Fig. 4a. The Smith chart(S11) of the filter.



(b)

그림 4b. 필터의 출력 단자에서 측정된 스미스 차트
Fig. 4b. The Smith chart(S22) of the filter.

이상과 같은 결과로 미루어 본 연구에서 채택한 전극구성에서 전체적인 C값을 작게 하기 위하여 입출력 모두 Series로서 필터를 구성하게 되면, 필터의 경우 삽입손실이 좋고, Return-loss가 좋을 때 리플 등 필터의 특성이 좋은 결과를 보이고 있다. 이로서 Admittance가 작아 정합이 쉽게 할 수 있도록 하였다. 그러나 앞선 연구결과보다는 삽입손실이 약간 큰 결과를 얻을 수 있었으며, 3dB에서의 통과 대역은 3.4MHz 정도이고, 40dB에서의 대역은 7.3MHz 정도로 측정되었다. 아울러 Rejection은 -50dB 이하의 결과를 가져오고 있으나 중심주파수에서부터 10MHz 떨어진 지점에 -47dB의 Rejection을 보이고 있다. 이는 기판의 Rayleigh SAW 이외에 BAW에 의하여 발생되는 발진에 의하여 필터의 Rejection에 나쁜 영향을 미치는 것으로 분석된다. 그러나 스미스 차트 상에서 필터의 매칭 상태는 안정적인 결과를 얻었다고 하겠다.

VI. 결 론

본 연구에서 설계 및 제작한 경사진 빗살무늬 변환기 형태의 표면탄성과 필터는 작은 면적에 일정한 갯수의

IDT를 형성시켜 Shape factor를 개선하기 비교적 음파의 속도가 느린 Langasite를 사용하였다.

Langasite 기판 위에 형성시킨 빗살무늬 변환기 전극 수는 50쌍, 두께는 5000Å 으로 하였으며, IDT 전극과 독립인 반사기를 삽입하였고, 반사기 폭은 $3.6\mu\text{m} (\cong 1\lambda/4)$ 로, IDT 전극 폭, 반사기와 IDT전극 사이 거리는 각각 $2.4\mu\text{m}$ 와 $2.0\mu\text{m}$ 로 하였다.

표면탄성과 필터는 적절치 못한 임피던스 정합상태에서 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.

반사기의 위상천이(Phase shift)값은 45° 정도로서 적합하지 않은 결과를 가져왔으나, 임피던스 정합 후 필터의 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서 대역 폭은 7.3 MHz 정도 및 삽입 손실은 13.3dB 정도로 측정되었고, 리플은 0.4dB 이하의 리플 특성 결과를 얻었으며, 3dB에서의 대역폭은 3.4MHz 정도로 측정되었다.

참고문헌

- [1] M. Hikita, H. Kojima, T. Tabuchi and Y. Kinoshita, "800MHz high performance SAW filter using new resonant configuration", IEEEtrans. 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] 유일현외, 경사진 빗살무늬 변환기를 이용한 대역 통과 필터 제작, 한국 해양 정보통신 학회지, 제9권. 제2호, pp308-315, 2005.
- [10] 유일현, SFIT 형태를 이용한 SPUDT형 필터 제작에 관한 기초실험, 한국 해양 정보통신 학회지, 제11권. 제10호, pp1916-1923, 2007.
- [11] 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(Ilhyun, You)

2001년 2월 인하대학교
응용물리학과
2003년 3월 ~ 현재 세명대학교
정보통신학부 교수

※ 관심분야 : 통신소자, SAW 필터