

26GHz대 정자표면파 대역통과 필터 설계 및 제작

김 명 수, 김 동 영, 이 상 석
한국전자통신연구원 부품기술개발부 세라믹RF부품팀
전화 : 042-860-4828 / 핸드폰 : 011-711-4828

Design and Implementation of Magnetostatic Surface Wave Band Pass Filter at 26GHz Range

Meyngsoo Kim, Dong-Young Kim, Sang Suk Lee
Ceramic RF Components Team, Component Technology Development Division, ETRI
E-mail : meyngsoo@etri.re.kr

Abstract

Telecommunication system demands for increased bandwidths and operating frequencies for analog signal processing could be satisfied in the near future by the emergence of a novel technology based on magnetostatic waves propagating in low loss ferrimagnetic films. The magnetostatic wave is the only available technology for analog signal processing directly at millimeter wave frequencies. This paper has been studied the design and implementation of a Magnetostatic Surface Wave band-pass filter for LMDS system.

주파수에서 신호처리를 할 수 있다. 또한 단결정 YIG(Yttrium Iron Garnet)와 같은 저손실 자성체를 통해 SAW와 전자파의 중간 속도로 전파하는 정자표면파의 특성 때문에 MMIC기술을 이용하여 소형, 저손실, 주파수동조 필터가 구현 가능하다.

수GHz대에서 SAW 소자의 기능은 밀리미터파대 근처에서 정자표면파 필터로 구현 가능하며, 대역선택성이 우수한 필터의 기능과 외부자계 세기의 조절에 의한 중심주파수의 이동도 이룰 수 있다. 본 논문에서는 외부자계가 동작주파수에 적합하게 고정된 경우 자화된 페리자성체에서 전파될 수 있는 정자표면파를 입력부에서 전자파결합으로 여기시키고 발생된 정자표면파를 자성체를 통해 전파시킨 후 출력부에서 역 변환하는 원리를 이용하여 대역선택성이 우수한 밀리미터파대 필터를 구현하고자 하였다.

I. 서론

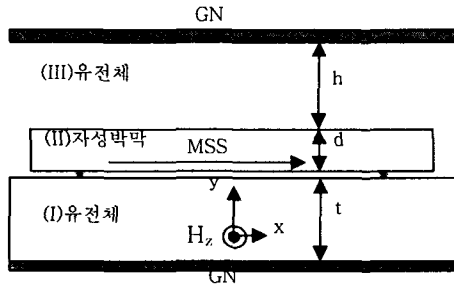
주파수 자원의 활용 범위가 LMDS 서비스 등과 같이 고주파 광대역화 됨에 따라 시스템의 신호처리부도 이러한 경향을 따르고 있다. 탄성표면파(Surface Acoustic Wave; SAW)소자가 lithography시의 resist 최저 두께에 기인한 전자빔 산란에 의한 IDT(InterDigital Transducer) 전극의 최저 넓이 제한으로 3GHz이상의 주파수 영역에 사용되기 어렵다. 탄성표면파 소자 대신 정자표면파(Magneto-Static Surface Wave:MSSW) 소자를 사용하면 3GHz이상의

II. 26GHz대 정자표면파 필터의 설계

2.1 정자표면파 필터의 구조 및 재질특성

포화자화도($4\pi Ms$)를 지닌 자성체 기판에 외부에서 DC자계(H_0)가 z축으로 인가되면 자성체의 자화상태에 따라 자성체의 투자율 텐서를 식(1)과 같이 얻는다 [1].

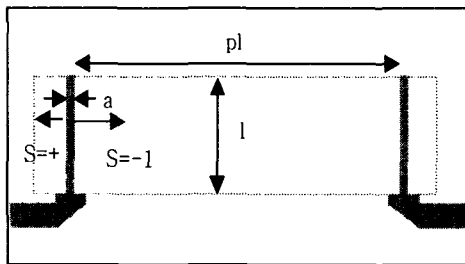
$$[\mu] = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu & -j\kappa & 0 \\ j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



(그림 1) 정자표면파 필터의 구조

그림1과 같은 다층구조에서 자화된 자성체 내부에서 발생될 수 있는 정자표면파의 분산특성은 식(2)와 같이 된다. 여기서 $\mu_{11}=\mu$, $\mu_{12}=\kappa$, $s=\pm 1$ 등은 자성체의 자화 상태에 따른 값이고 s 는 정자파의 전파방향 및 k_0 는 전파상수를 나타낸다[1].

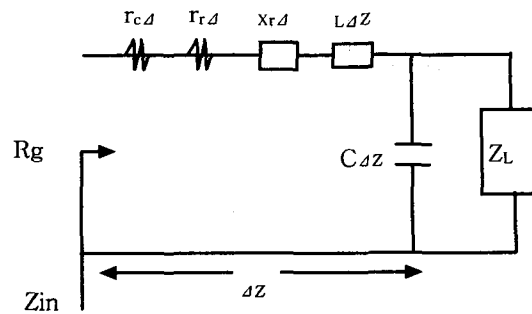
$$\exp 2ik_0l = \frac{(\mu_{11} - \mu_{12}s - 1)(\mu_{11} + \mu_{12}s - \tanh(k_0l))}{(\mu_{11} + \mu_{12}s + 1)(\mu_{11} - \mu_{12}s + \tanh(k_0l))} \quad (2)$$



(그림 2) 정자표면파 여기 구조

정자표면파를 여기시키는 입력부와 출력부에서 전자파와 정자파 간의 상호변환을 그림1에 주어진 유전체의 두께와 자성체의 두께를 고려하고 그림2의 여기선로의 폭과 길이를 그림3과 같이 등가회로에 변환하여 해석할 수 있다[1]. 이상에서 구해진 정자표면파 통과대역과 통과대역 내에서 에너지 전파손실 및 입력력부의 에너지 변환손실을 이용하여 정자표면파 필터의 설계를 하였다.

설계된 필터는 그림1에서 자성체의 두께 $d=0.12\text{mm}$, 자성체의 포화자화도 $4\pi M_s = 1760\text{ G}$, $\gamma = 1.5 \times 10^{-4}$,



(그림 3) 입력부(출력부) 여기구조의 등가회로

$H=0.50e$ (at 9GHz), $H_{dc}=8370\text{ Oe}$, 유전체(I)은 유전율 9.9, $t=0.254\text{mm}$, 유전체(III)은 유전율 1, $h=3\text{mm}$ 그림2에서 여기 선로의 폭과 길이는 $a=0.2\text{mm}$, $l=2.0\text{mm}$, $pl=7\text{mm}$, 50Ω 선로의 폭= 0.251mm 이다.

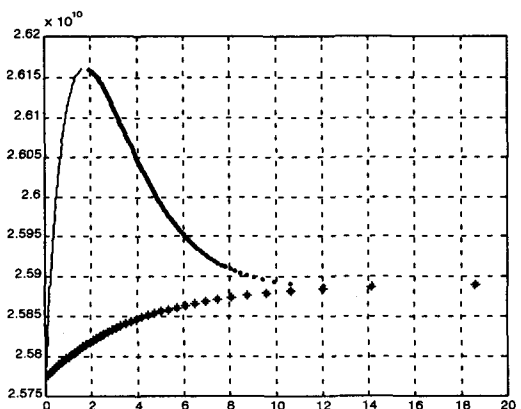
2.2 정자표면파 필터의 전파손실

이러한 분산 관계에서 주파수를 파수로 미분하여 정자표면파의 군속도를 식(3)로 계산할 수 있다.

$$v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} \quad (3)$$

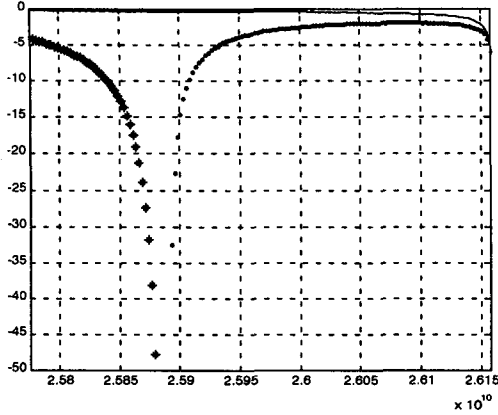
따라서 입출력부 간의 간격과 군지연시간을 사용하여 일정거리를 정자표면파가 전파하는데 걸리는 시간을 계산하고 이 전파시간을 식(4)에서 구해진 자성체의 페리자성 공명반치폭에 기인하여 발생하는 단위시간당 손실(L)에 곱하면 정자표면파의 전파손실을 쉽게 계산할 수 있다[2].

$$L = -\frac{20 \log e^{-1/\tau k}}{t \times 10^6} \text{ (dB / } \mu\text{s)} \quad (4)$$



(그림 4) 정자표면파의 분산특성

외부장계의 방향이 z축으로 인가된 정자표면파의 분산특성과 등가회로에 의해서 해석된 전파손실을 그림4, 그림 5에 나타내었다.



(그림 5) 정자표면파의 전파손실(*:+방향,-: -방향)

2.3 정자표면파 필터의 변환손실

입력포트에서 입사된 에너지 중 자성체내의 정자파 에너지로 변환된 에너지의 크기를 방사손실[4]에 의하여 알 수 있으며 변환된 에너지가 자화된 자성체에서 입출력 트랜스듀서 간을 전파하여 출력 트랜스듀서에서 재변환에 의해 에너지의 전달이 이루어진다. 여기에서 방사저항(실수부)은 여기선로에서 양방향성분의 합으로 표현된다[4].

$$r_r = r_r^+ + r_r^- \quad (5)$$

방사저항의 허수부인 방사리액턴스 X_r 는 방사저항을 Hilbert transform을 취하여 식(6)와 같이 구할 수 있다.

$$X_r(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{r_r(\omega') - r_r(\omega)}{\omega' - \omega} d\omega' \quad (6)$$

유전체 상의 금속선이 -z축 방향으로 일정한 길이로 분포하고 끝단은 임피던스 Z_L 로 종단되었다고 가정하였다. 트랜스듀서의 입력 단자에서 입력임피던스는 다음과 같이 손실있는 전송선로의 식(7)으로 표현된다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(r_l l)}{Z_0 + Z_L \tanh(r_l l)} \quad (7)$$

여기서 Z_0 와 r_l 는 트랜스듀서의 특성임피던스와 전파상수이다. 입력임피던스를 구하면 포트 임피던스와 트랜스듀서의 입력임피던스의 관계에 의하여 입력포트에서 입사된 에너지가 입력포트로 되돌아 오는 방사손실을 계산할 수 있다.

에너지의 전달선로의 특성임피던스 R_g 와의 관계에 의하여 아래의 식(8)~식(11)으로부터 트랜스듀서의 입력 단자에서 반사계수, 입력 단자에서 출력 단으로 전

파되는 정자파 필터의 반사손실, 입출력부의 에너지 변환 손실이 얻어지며 앞에서 계산된 전파손실을 추가하면 삽입손실이 계산된다.

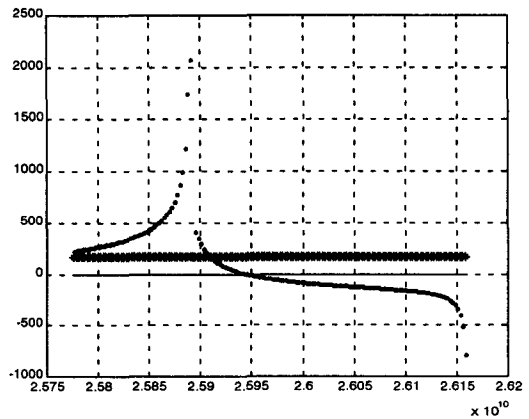
$$\Gamma = \frac{Z_{in} - R_g}{Z_{in} + R_g} \quad (8)$$

$$RL = -10 * \log|\Gamma|^2 \quad (9)$$

$$TL^\pm = -10 * \log \left[\frac{(1 - |\Gamma|^2) R_r^\pm}{R_c + R_r} \right] \quad (10)$$

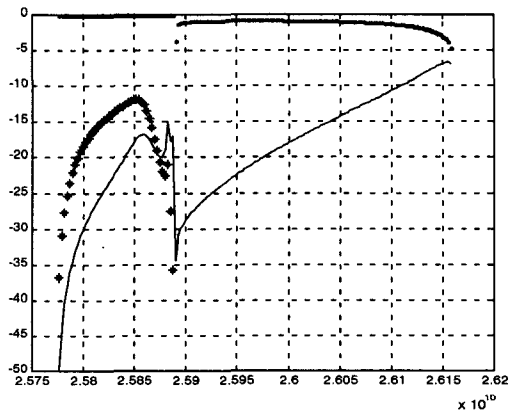
$$IL^\pm = 2TL^\pm + Lr^\pm \quad (11)$$

선로여기구조에서 선로의 폭과 자성체의 자화상태 및 접지면과 매질의 경계조건에 의하여 발생하는 정자표면파의 방사저항과 방사리액턴스는 그림6과 같다.



(그림 6) 선로여기구조의 방사저항 및 방사리액턴스

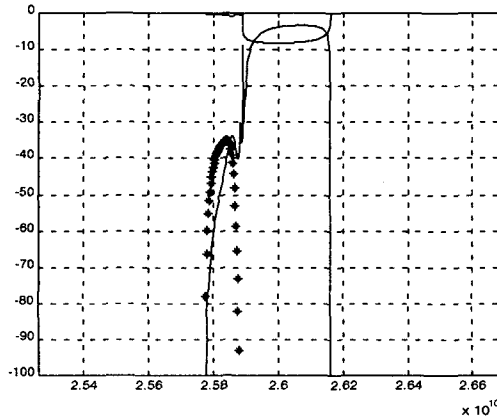
선로의 방사저항과 방사리액턴스 및 등가회로의 L, C 등이 고려된 입력임피던스로 얻어진 전자파와 정자표면파 간의 상호변환손실을 그림7에 나타내었다.



(그림 7) 전자파와 정자표면파 변환손실

2.4 정자표면과 필터 설계 특성

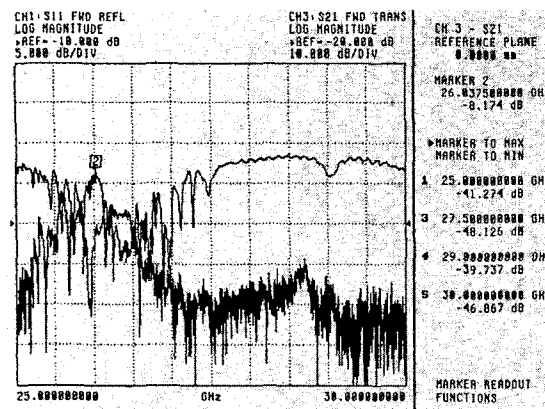
설계된 필터의 분산특성, 군속도, 방사저항, 입력임피던스 및 트랜스듀서의 등가 L, C를 이용하여 정자표면파의 전파손실과 변환손실을 계산하여 필터의 삽입손실과 반사손실을 그림 8에 나타내었다.



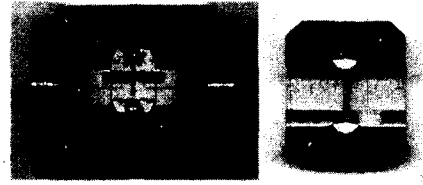
(그림 8) 정자표면파 필터의 전달특성

III. 26GHz대 정자표면파 필터 제작

설계된 구조에 적합한 필터를 제작하여 자체가 인가된 정자표면파 필터의 삽입손실 및 반사손실을 그림 9에 보였으며, 제작된 필터를 그림 10에 보였다. 실험측정된 필터는 외부자기장 $H_{dc}=8370$ Oe인 가시 26GHz에서 삽입손실 10dB, 반사손실 10dB를 얻었다. 반사손실에서 2dB 정도의 차이는 L, C값의 차이에 의한 입력 임피던스 차이가 원인이며, 정자체적파의 존재를 나타내는 통과대역 외부 주파수 영역에서의 전파도 함께 관측되어 필터의 감쇠특성을 나쁘게 하였다.



(그림 9) 정자표면파 필터의 전달특성



(그림 10) 제작된 정자표면파 필터

V. 결론

본 논문은 정자표면파 필터의 설계와 제작에 관하여 26GHz대에서 설계를 하였으며, 밀리미터파대 근처에서 정자표면파 필터를 구현하였다. 설계에서 고려된 정자표면파만으로 동작하는 필터의 감쇠특성은 우수한 것으로 예측되었으나, 정자체적파에 의한 통과대역외 전파의 영향도 상당한 것으로 관측되었다. 따라서 필터의 감쇠특성의 향상을 위하여 정자역체적파의 발생 억제를 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후 정자표면파 필터의 기술을 활용하여 밀리미터파대 신호처리용 지연선로, 상관기, 리미터등이 개발되어 밀리미터파대 신호의 직접적인 처리를 다룰 수 있을 것이다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] Achintya K. Ganguly, Denis C. Webb, and Crawford Banks, Complex Radiation Impedance of Microstrip-Excited Magnetostatic-Surface Waves, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-26, No. 6, June pp444-447, 1978.
- [2] Daniel D. Stancil, Phenomenological propagation loss theory for magnetostatic waves in thin ferrite films, J. Appl. Phys. Vol.59, No. 1, 1 Jan., pp218-224, 1986.
- [3] H. J. Wu, C.V. Smith, Jr., and J. M. Owens, Bandpass filtering and input impedance characterization for driven multielement transducer pair-delay line magnetostatic wave devices, J. Appl. Phys. Vol.50, No. 3, March pp2455-2457, 1979.
- [4] Achintya K. Ganguly and Denis C. Webb, Microstrip Excitation of Magnetostatic Surface Waves: Theory and Experiment, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-23, No. 12, Dec. pp998-1006, 1975