

의사 집중상수 소자 공진기의 새로운 비 인접 결합을 이용한 7-극 고온초전도 마이크로스트립 대역 통과 필터

7-Pole HTS Bandpass Filter Using New Non-adjacent Coupling of Pseudo-lumped Element Resonators

전부경 · 김종현* · 이찬주** · 민병철*** · 최영환***

Boo-Kyung Jeon · Jong-Heon Kim* · Chan-Joo Lee** ·
Byoung-Chul Lee*** · Young-Hwan Choi***

요 약

본 논문에서는 필터의 설계 및 구현이 용이하고 소형화가 가능한 새로운 구조의 고온초전도 마이크로스트립 형태의 의사 집중상수 소자 공진기를 제안하였다. 또한, 공진기들 사이의 비 인접 결합을 이용하여 notch를 갖는 필터특성의 7-극 대역 통과 필터를 설계, 제작하였다. 7-극 notch를 갖는 필터는 두께 0.5 mm, 유전율 23.5의 LaAlO₃ 기판상에 YBCO를 양면 증착하여 제작하였다. 측정 결과, 절대 온도 20 K에서 중심 주파수 1774 MHz, 대역폭 8 MHz를 나타내었으며 삽입 손실 값은 0.8 dB, 그리고 1 MHz 차단대역 (cut-off-band)에서 33 dB 감쇠를 나타내었다.

Abstract

This paper presents a novel HTS microstrip pseudo-lumped element resonator for the compact and simple filter design. A 7-pole bandpass filter with quasi-elliptic response is designed and fabricated using non-adjacent couplings between resonators. A seven-pole quasi-elliptic filter is fabricated using double sided YBCO on a LaAlO₃ substrate with thickness of 0.5 mm and dielectric constant of 23.5. The filter has an insertion loss of 0.8 dB at 20K, a bandwidth of 8 MHz at the center frequency of 1774 MHz, and an attenuation of 33 dB for the cut-off-band of 1 MHz.

I. 서 론

이동통신 시스템의 기지국 및 중계기에 사용되는 필터들은 인접 통신 채널에 장애가 되는 스푸리어스 방사를 억제하고, 원하는 신호만을 수신할 수 있는 높은 주파수 선택도를 요구하고 있다^[1]. 그러나 현재 사용되고 있는 comb-line 필터나 유전체 공진

기를 이용한 형태의 필터는 이런 인접 채널과의 간섭을 줄이기 위해 공진기의 차수를 증가시키면, 통과대역의 삽입손실이 증가할 뿐만 아니라 전체 필터뱅크의 무게 및 크기를 증가시키는 단점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 고온초전도 박막을 이용한 필터가 제안되었다. 낮은 표면저항 특성과 높은 양호도(Q>10,000)를

(주)에이스테크놀로지 통신기술연구소(Communication R&D Institute, ACE Technology)

* 광운대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Kwangwoon University)

** 신흥대학 전자통신과(Dept. of Electrocommunication Engineering, Shinheung College)

*** LG 종합기술원 소자재료연구소(Devices & Materials Lab., LG Cooperation Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20000417-041

· 수정완료일자 : 2000년 9월 4일

갖는 고온초전도 필터의 경우에는 적은 삽입 손실 값을 가지면서 동시에 1% 이내의 협대역 특성을 가지는 대역통과 필터의 구현이 가능하다^[2]. 또한, notch를 갖는 응답특성을 갖는 필터의 구현도 용이하므로 주파수 선택도가 우수하면서 동시에 소형인 필터를 만들 수 있는 장점이 있다.

준 타원함수형 응답특성을 얻기 위해서 비 인접 결합(non-adjacent coupling)이 용이한 공진기로 개방루프(open-loop) 형태의 공진기와 집중상수 소자(lumped-element) 형태의 공진기들이 제안되었다^{[2]~[4]}. 개방루프 공진기는 구조가 간단하며 쉽게 비 인접 결합을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있으나 유전율이 높아질수록 원하지 않는 비 인접 결합이 발생하여 회로의 설계가 매우 어려워지는 단점을 가지고 있으며, 반면에 집중상수 소자로 구현된 공진기는 인덕터 성분의 구조를 변형하여 설계 사양에 맞는 비 인접 결합을 구현하기가 편리한 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 집중상수소자 형태 공진기의 인덕터 성분을 삼색선(tri-section)구조에 알맞은 형태로 변형하여 구조를 단순화한 새로운 형태의 공진기를 제안하였으며 이 공진기들에 의한 비 인접 결합을 이용하여 통과대역의 아래쪽에 notch를 갖는 대역 통과필터를 설계 및 제작하여 인접채널과의 간섭을 최소화하였다.

II. 필터의 설계

2-1 등가회로 설계

그림 1의 흐름도는 고온초전도 마이크로스트립 필터의 설계 과정을 나타낸다. 먼저 설계 규격에서 필요로 하는 저역통과 프로토타입 값을 설정한 후, mapping 과정을 통해 대역통과 필터로 변환한다. 또한 인버터를 사용하여 한 종류의 공진기와 인버터들로 구성된 대역 통과 필터로 구현이 가능하다. 각 공진기들 사이의 인버터들은 결합 계수로 표현할 수 있으며, 입, 출력단에 있는 인버터들은 외부 양호도값 Q_e (external Q)로 나타낸다.

그림 2는 임피던스 인버터와 직렬 공진기로 이루어진 n 차 대역 통과 필터의 등가 회로이다. 공진기

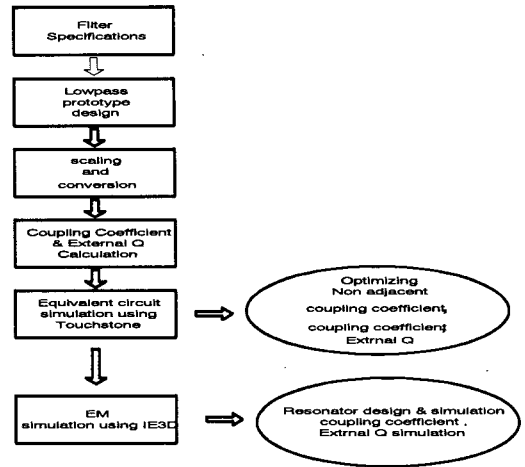


그림 1. 대역 통과 필터의 설계 과정

Fig. 1. Design process of bandpass filter.

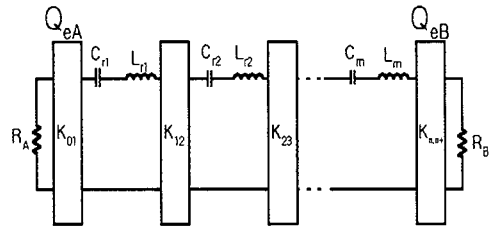


그림 2. 임피던스 인버터를 가지는 n 차 대역통과 필터의 등가 회로

Fig. 2. Equivalent circuit of n -pole BPF with impedance inverter.

들 사이의 결합 계수 $k_{ij}(i,j=1,2,3,\dots)$ 및 입, 출력 Q_{el} ($l=A, B$)값은

$$k_{i,i+1} = \frac{\Delta\omega}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \quad (1)$$

$$Q_{eA} = \frac{g_0 g_1}{\omega} \quad (2)$$

$$Q_{eB} = \frac{g_n g_{n+1}}{\omega} \quad (3)$$

로 표시되며^[5], 여기서 g_i 는 i -번째 저역통과 프로토타입 값이고, $\Delta\omega$ 는 비대역폭이다.

그림 3에서는 캐패시터 성분으로 구성된 T-형태의 인버터를 사용하였으며, 인버터에 사용되어진 캐패시터 값인 $C_{m(i,i+1)}$ 는

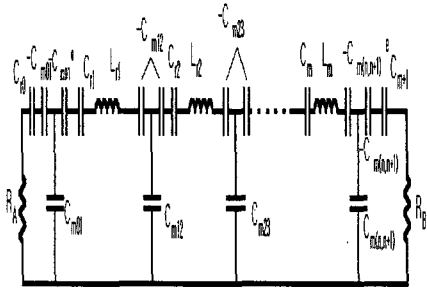


그림 3. n차 대역 통과 필터의 등가 회로
Fig. 3. Equivalent circuit of n-pole BPF.

$$C_{m(i,i+1)} = \frac{\sqrt{C_{ri} C_{ri+1}}}{k_{i,i+1}} \quad (4)$$

을 이용하여 구할 수 있으며 C_{ri} 값은 i 번째 직렬 공진기의 캐패시터 성분의 값을 나타낸다. 여기서 $i=0$ 인 경우에는

$$C_{m01} = 1 / \omega_0 K_{01} \sqrt{1 + \frac{1}{R_A \omega_0^2 C_{r0}^2}} \quad (5)$$

으로 표현된다. 여기서 $K_{i,i+1}$ 은 결합 계수 값을 나타내며, R_A 는 입력 임피던스 값을 나타낸다.

그리고 입·출력단의 공진기들과 인접해 있는 $C_{m(i,i+1)}^e$ 는

$$C_{m01}^e = \frac{C_{m01} \left(R_A^2 + \frac{1}{\omega_0^2 C_{r0}^2} \right)}{R_A^2 + \frac{1}{\omega_0^2 C_0 C_{r0}}} \quad (6)$$

으로 구할 수 있다. 또한 입, 출력단의 임피던스 인버터의 값은 음의 값을 나타내므로 이를 양의 값으로 나타내기 위해서 C_{r0} 와 C_{m1} 값을 추가하였다 [5].

임피던스 인버터에 사용되어진 캐패시터 성분들은 인접해 있는 공진기들의 캐패시터들과 식 (7)~식 (9)을 이용하여 합성할 수 있다.

$$C_0 = \frac{C_{m01} C_{r0}}{C_{m01} - C_{r0}} = C_{n+1} \quad (7)$$

$$C_1 = \frac{C_{r1} C_{m01} C_{m12}}{C_{m01} C_{m12} - C_{m12} C_{r1} - C_{r1} C_{m01}} = C_n \quad (8)$$

$$C_i = \frac{C_{ri} C_{m(i-1,i)} C_{m(i,i+1)}}{C_{m(i-1,i)} C_{m(i,i+1)} - C_{m(i,i+1)} C_{ri} - C_{ri} C_{m(i-1,i)}} \quad (9)$$

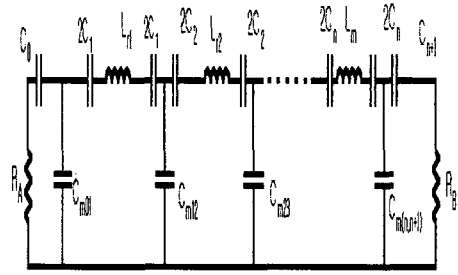


그림 4. T형태의 임피던스 인버터를 가지는 n차 대역 통과 필터의 등가 회로

Fig. 4. Equivalent circuit n-pole BPF with T network for capacitance.

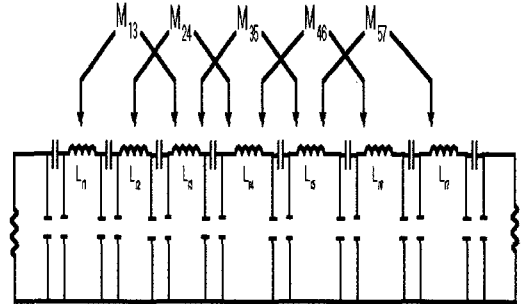


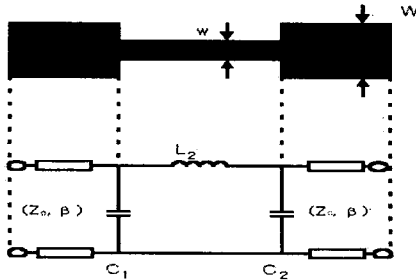
그림 5. 비 인접 결합을 가지는 대역 통과 필터의 등가 회로

Fig. 5. Equivalent circuit of bandpass filter with cross coupling.

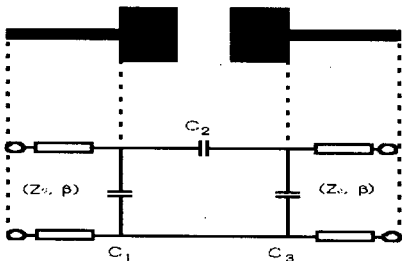
그림 4는 임피던스 인버터의 캐패시터와 직렬 공진기의 캐패시터를 구성하여 나타낸 등가회로이다.

마지막으로, 캐패시터로 구현한 T-형 회로를 다시 π -형 회로로 변환하고 비 인접 결합을 고려한 대역 통과 필터의 등가회로의 구조를 그림 5에 나타내었으며, 여기서 $M_{i,i+2}$ 는 인접해 있지 않은 공진기들 사이의 비 인접 결합을 나타내고 있다.

계산된 결합 계수와 입, 출력 Q값을 바탕으로 등가 회로 시뮬레이션을 행하였고 비 인접 결합 값을 조절하여 전달 영점(transmission zero)이 발생하는 위치를 설계 사양에 맞도록 최적화한다. 이러한 등가회로 설계는 전달 영점이 발생하는 위치를 쉽게 예상하여 실질적인 마이크로스트립 형태의 필터 구현을 용이하게 할 수 있는 장점을 가진다.



(a) 인덕터 성분
(a) Inductor element.



(b) 캐패시터 성분.
(b) Capacitor element.

그림 6. 마이크로스트립 라인에서 인덕터와 캐패시터의 등가 회로
Fig. 6. Equivalent circuits of L and C elements on microstrip line.

2-2 마이크로스트립 설계

의사 집중상수 소자 공진기는 그림 6과 같이 인덕터와 캐패시터의 두 성분으로 구성할 수 있으므로 등가 회로상의 인덕터와 캐패시터 성분들은 마이크로스트립으로 구현이 가능하다. 따라서, 인덕터의 성분을 여러 가지 구조로 변형하여 필터의 전체 크기를 최소화 할 수 있도록 설계할 수 있으며 또한 비 인접 결합이 발생할 수 있도록 구조를 변형하여 사용할 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 새로운 형태의 의사 집중상수 소자로 구성된 단일 공진기의 구조를 나타낸다. 여기서 입, 출력 급전선(feed-line)은 공진기의 공진주파수에 영향을 주지 않도록 충분한 거리를 유지하였다. 비 인접 결합을 구현하기 위하여 삼색선 구조로 설계하므로써 기존의 4벌씩(quadru-

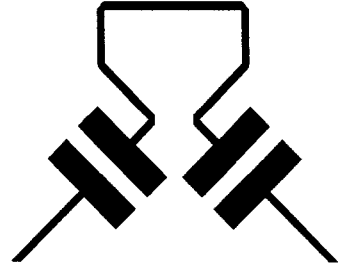


그림 7. 마이크로스트립 공진기의 설계도
Fig. 7. Layout of microstrip resonator.

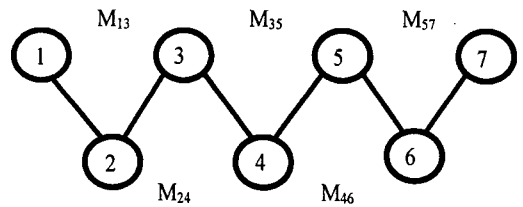


그림 8. 삼색선 구조
Fig. 8. Tri-section structure.

plet) 구조에 비하여 공진기 수를 줄이면서 더 큰 비 인접 결합계수를 얻을 수 있어서 필터를 구현하는데 매우 유리하다^{6, 7}.

그림 8은 본 논문에 사용한 삼색선 구조를 나타내었다. 이때 비 인접 결합 계수가 음의 결합을 나타내면 통과대역의 왼쪽 모서리 부분에 전달영점이 발생하게 되며 반대로 양의 결합이 되면 통과 대역의 오른쪽 부분에 전달 영점이 발생한다. 본 논문에서는 삼색선(tri-section)구조를 사용하여 7개의 공진기에서 5부분의 교차 결합(cross coupling)이 발생하도록 하여 통과 대역의 왼쪽 모서리 부분에 전달 영점이 발생하도록 하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션

본 논문에서는 유전율 23.5, 두께 0.5 mm인 유전체 기판 LaAlO₃을 이용하여 중심주파수 1775 MHz, 대역폭 8 MHz, 리플 특성 0.5 dB, 그리고 1 MHz 차단대역에서 40 dB 감쇠를 갖는 7-극 고온초전도 대역 통과 필터를 설계하고 시뮬레이션하였다.

그림 9는 상용 마이크로파 CAD 프로그램인 Tou-

의사 집중상수 소자 공진기의 새로운 비 인접 결합을 이용한 7-극 고온초전도 마이크로스트립 대역 통과 필터

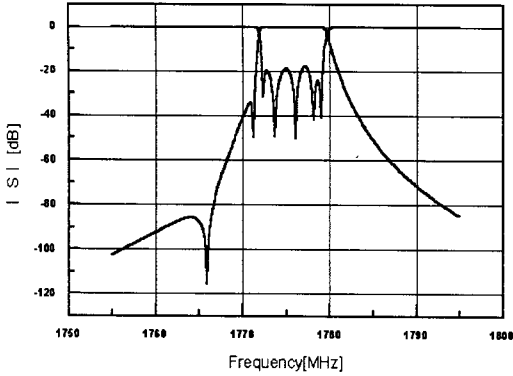


그림 9. 등가 회로 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation result of an equivalent circuit.

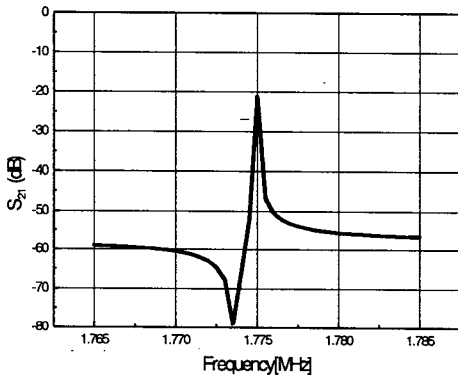


그림 10. 단일 공진기의 주파수 응답
Fig. 10. Frequency response of a single resonator.

chstone을 이용하여 얻은 등가회로 모델의 주파수 응답 특성이다. 등가회로 시뮬레이션을 통해 얻은 결합 계수 $k_{12} = k_{45} = 0.0039$, $k_{23} = 0.00248$, $k_{34} = k_{56} = 0.00225$ 이고 external Q값은 141 그리고 비 인접 결합 계수는 -0.0005 였다.

EM 시뮬레이터인 IE3D를 사용하여 마이크로스트립 형태의 단일 공진기의 주파수 응답 특성은 그림 10과 같다. 입, 출력 급전선이 설계한 공진기의 공진 주파수에 영향을 주지 않도록 거리를 충분히 두었으며, 공진기의 피크점이 -20 dB이하에서 발생하도록 설계하였다. 공진기의 공진주파수는 1775 MHz를 나타내도록 설계하였으며, 공진기의 무부하 양호도 Q_0 (unloaded Q)값은 약 18,000이었다.

등가회로에서 구한 공진기들 사이의 결합 계수값은 인접해 있는 공진기들 사이의 간격으로 표현된

다. 따라서 두 개의 공진기를 이용하여 공진기 사이의 간격을 변화시키면서 간격의 변화에 따른 결합 계수의 변화를 EM 시뮬레이션을 통하여 관찰하였다. 그림 11과 같은 두 개의 피크점 (f_1, f_2)을 가지는 주파수 응답으로부터, 이런 두 공진기와 간격에 따른 결합 계수 값은

$$k = 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \quad (10)$$

로 구할 수 있으며, 두 피크점 사이의 주파수 간격은 두 공진기 사이의 간격이 멀어질수록 서로 가까워진다. 공진기간의 간격변화에 따른 결합 계수의 변화를 시뮬레이션하였으며, curve-fitting한 결과는 그림 12와 같다.

또한, 등가회로의 입, 출력 external Q값을 일치시키기 위해 입, 출력 급전선의 위치를 선정해 줄 필요가 있다. 본 논문에서는 직접결합(direct feeding) 방식을 사용하였으며, 최적의 위치를 선정하기 위해서 위치를 변화시키면서 등가회로 설계를 통해 얻

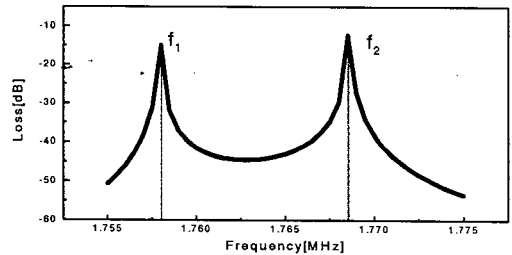


그림 11. 결합된 공진기의 주파수 응답
Fig. 11. Frequency response of a resonator pair.

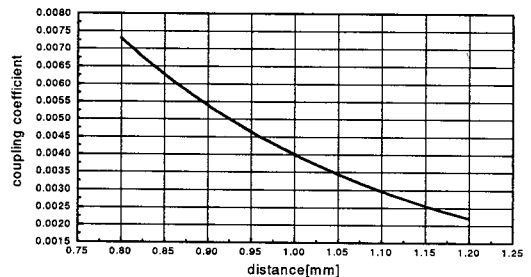


그림 12. 공진기간 거리의 변화에 따른 결합 계수
Fig. 12. Coupling coefficient versus distance of resonators.

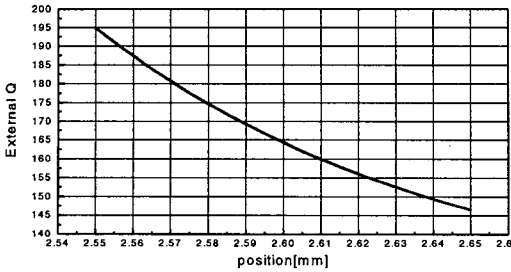


그림 13. 급전선 위치에 따른 외부 Q값
Fig. 13. External Q versus feedline position.

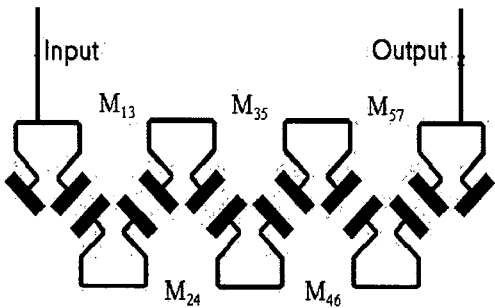


그림 14. 대역 통과 필터의 설계도
Fig. 14. Layout of bandpass filter.

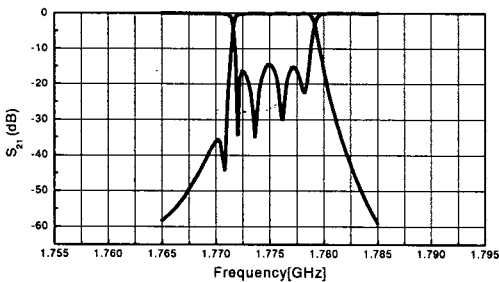


그림 15. EM 시뮬레이션 결과
Fig. 15. Electromagnetic simulation result.

은 Q값과 일치시켰으며, 위치변화에 따른 Q값을 그림 13에 나타내었다.

그림 14는 본 논문에서 설계한 7차 고온 초전도 대역통과 필터의 설계도이며 그림 15는 IE3D를 이용한 필터의 주파수 응답특성이다. 설계한 고온초전도 대역 통과 필터의 주파수 응답 특성은 중심주파수 1775 MHz에서 대역폭 8 MHz를 나타내었으며 통과 대역의 왼쪽 부분에 전달 영점이 발생하여 스

킷 기울기(skirt slope) 특성이 1MHz의 차단대역에서 40 dB이상의 값을 나타내었으며 전달 영점의 측면돌출부(side-lobe)는 약 -35 dB지점에서 발생하였고 이는 등가 회로 시뮬레이션 결과와 매우 유사함을 알 수 있었다.

IV. 제작 및 측정

4-1 필터의 제작

본 논문에서는 유전율 23.5인 LaAlO₃ 기판에 Laser Ablation 기술을 이용하여 YBCO를 증착한 고온 초전도박막을 사용하여 그림 16과 같은 공정을 통하여 필터를 제작하였다^[8].

첫 번째 공정으로 YBCO를 LaAlO₃ 기판의 양면에 증착한 후 접지 면을 금도금하여 두랄루민으로 제작하여 금도금한 치구(jig)와의 접촉특성을 향상시킨다. 그 다음 공정으로 표준 반도체 공정인 포토 리소그래프(photolithograph) 과정과 Ion milling을 통해 YBCO에 설계한 패턴을 만든다. 제작된 필터를 커넥터와 연결하기 위해서는 필터의 입, 출력 단(edge)을 금으로 도금하는 lift-off 공정을 거친다. 마지막 공정으로 YBCO에 산소를 공급해 주고 금으로 도금한 부분이 YBCO와 잘 접촉이 되도록 열처

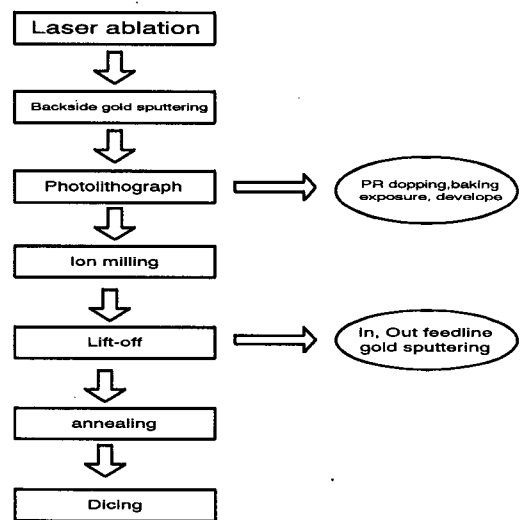


그림 16. 고온초전도 대역 통과 필터의 제작 과정
Fig. 16. Fabrication process of HTS bandpass filter.

의사 집중상수 소자 공진기의 새로운 비 인접 결합을 이용한 7-극 고온초전도 마이크로스트립 대역 통과 필터

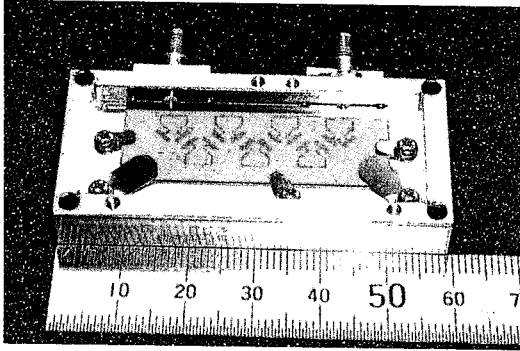


그림 17. 7-극 고온초전도 대역 통과 필터의 실물도
Fig. 17. The picture of 7-pole HTS bandpass filter.

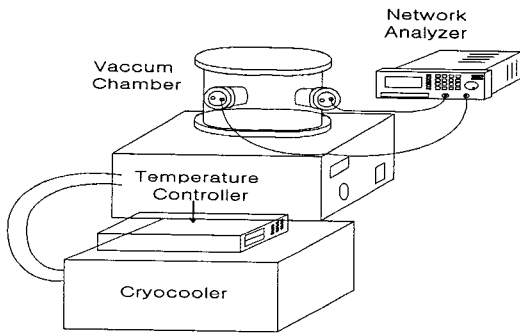


그림 18. 고온초전도 대역 통과 필터의 측정 구성도
Fig. 18. The measurement set-up of HTS bandpass filter.

리 공정을 거친다. 위의 모든 제조 공정이 끝난 후, 제작한 기구물에 맞게 필터를 절단하여 측정한다.

4-2 필터의 측정

제작한 고온초전도 대역 통과 필터의 실물도는 그림 17과 같으며, 측정을 위해서는 진공 챔버, 온도를 낮추기 위한 냉각기 그리고 냉각기의 온도를 제어할 수 있는 온도 제어기가 필요하다. 고온초전도 필터의 특성을 측정하기 위한 일반적인 측정 장비의 구성도는 그림 18과 같다.

그림 19는 절대 온도 20K와 40K에서 측정한 대역 통과 필터의 주파수 응답 특성(S_{21})이다. 절대 온도 20K에서 동작하는 필터는 중심주파수 1784 MHz에서 약 8 MHz의 대역폭을 나타내었으며 삽입 손실은 0.8 dB이고 리플은 0.35 dB를 얻었다. 통과

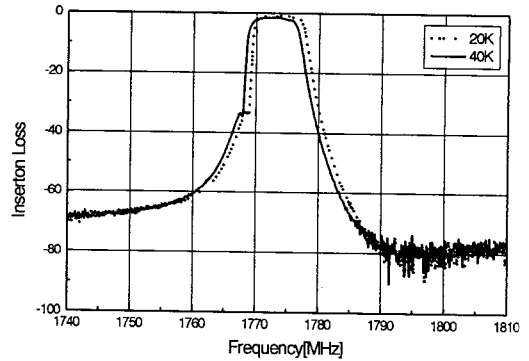


그림 19. 20K에서 측정한 대역 통과 필터의 주파수 응답(S_{21})
Fig. 19. Frequency response(S_{21}) of bandpass filter at 20K.

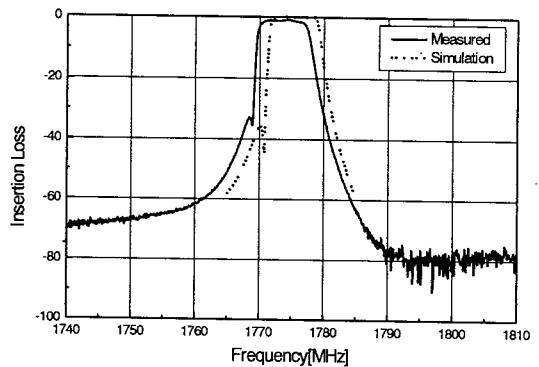


그림 20. 시뮬레이션 값과 측정값의 비교
Fig. 20. Comparison between the simulation and measured value.

대역과 전달영점 사이에 놓여있는 1 MHz 차단대역에 대한 감쇠는 33 dB이다. 절대 온도 40K의 경우, 고온 초전도 필터는 온도의 변화에 따른 역학 인덕턴스(kinetic inductance) 성분 값이 변화하므로 필터의 중심 주파수가 온도의 변화에 따라 이동하는 특성을 알 수 있으며 온도의 증가에 의해 역학 인덕턴스 성분의 증가로 중심주파수가 1 MHz정도 왼쪽으로 이동하였고 표면 저항 값이 또한 증가하여 삽입 손실이 20K에서 보다 평균 약 0.4 dB 증가하였다. 그러나 대역폭과 리플값은 동일하였다.

그림 20은 IE3D를 사용하여 설계한 주파수 응답 특성과 측정한 주파수 응답 특성을 비교한 그림이다. 대역폭 및 스킷 기울기 특성은 잘 일치하였으나,

표면저항의 증가와 시뮬레이터의 대입 변수와의 차이로 인하여 삽입 손실이 증가하였다. 이러한 불일치는 제조 공정의 재현성 문제와 마이크로스트립 라인과 SMA 커넥터 사이의 전이(transition)등에서 발생한 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 비 인접 결합을 이용한 notch를 갖는 주파수 응답 특성을 얻기 위해 삼색선 구조에 적합한 새로운 형태의 의사 집중상수 공진기를 제안하였다. 이 공진기를 이용하여 설계한 대역 통과 필터는 비 인접 결합에 의해 왼쪽 모서리 부분에 전달 영점이 발생하여 1 MHz 차단대역에서 40 dB이상의 우수한 주파수 선택도를 나타내었다.

측정결과, 절대 온도 20 K와 40 K에서 최적 설계 결과보다 중심 주파수가 왼쪽으로 이동하였으며, 대역폭은 두 온도에서 모두 8 MHz를 나타내었다. 절대 온도 20 K에서는 삽입 손실이 0.8 dB의 값을 나타내었고 40 K에서는 표면저항 값의 증가에 의해 삽입 손실이 1.2 dB로 증가하였고 감쇠 기울기는 통과대역의 아래부분에서 각각 33 dB와 34.8 dB를 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] C. Yu and K. Chang, "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Microstrip Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 46, no. 7, pp. 952-958, 1998.
- [2] J. S. Hong, "Cross-Coupled HTS Microstrip Open-Loop Resonator Filter on LAO Substrate," *IEEE Trans. MTT-S Digest*, pp. 1559-1562, 1999.
- [3] D. Zhang, G. C. Liang, C. F. Shin, M. E. Johansson, R. S. Withers, "Narrowband Lumped-Element Microstrip Filters Using Capacitively-Loaded Inductors," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 43, no. 12, pp. 3030-3036, 1995.
- [4] R. S. Kwok, D. Zhang, Q. Huang, T. S. Kaplan, J. Lu, and G. C. Liang, "Superconducting Quasi-Lumped Element Filter on R-Plane Sapphire," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 47, no. 5, pp.586-591, 1999.
- [5] G. L. Matthai, L. Young, and E. M. Jones, *Microwave Filters, Impedance-matching Networks, and Coupling Structures*, McGraw-Hill Book Co, pp. 83-162, 1964.
- [6] J. S. Wong, "Microstrip Tapped-Line Filter Design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 27, no 1. pp. 43-49, 1979.
- [7] M. Dishal, "A Simple Design Procedure for Small Percentage Bandwidth Round-rod Interdigital Filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 13, pp. 696-1698, 1965.
- [8] B. C. Min, Y. H. Choi, S. H. Moon, S. M. Lee, H. T. Kim, and B. D. Oh. "Doubled-side $YBa_2Cu_3O_7$ -Thin Films Deposited on 2-inch $LaAlO_3$ Wafers by Pulse Laser Deposition", *Korean Applied Physics (Ungyong Mulli)*, vol. 11, pp. 423-427, 1998.

의사 집중상수 소자 공진기의 새로운 비 인접 결합을 이용한 7-극 고온초전도 마이크로스트립 대역 통과 필터

전 부 경

1998년 2월 : 한국외국어대학교 전자공학과(공학사)
2000년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학석사)
2000년 3월~현재 : (주) 에이스 테트놀로지 연구원
[주 관심분야] RF 필터, M/W 회로 설계

김 중 헌

1984년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)
1990년 6월 : 독일 Ruhr Univ. Bochum 전자공학과(공학석사)
1994년 8월 : 독일 Dortmund Univ. 전자공학과(공학박사)
1995년 4월 : 광운대학교 전파공학과 조교수
1999년 4월~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] 초고주파 측정 및 센서, EMI/EMC, 초고주파 및 광 집적 회로

이 찬 주

1987년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)
1989년 8월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학석사)
1994년 8월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학박사)
1996년 4월~1997년 3월: 독일 Aachen 공대 Post Doc.
1994년~현재 : 신홍대학 전자통신과 조교수
[주 관심분야] RF 및 M/W 회로 설계

민 병 철

현재 : LG 종합기술원 소재재료 연구실 AD2 그룹 연구원
[주 관심분야] 고온초전도 마이크로스트립 필터

최 영 환

현재 : LG 종합기술원 소재재료연구실 AD2 그룹 연구원
[주 관심분야] 고온초전도 마이크로스트립 필터