

# 고온 초전도 에피텍셜 박막을 이용한 SIR 마이크로스트립 대역통과 필터의 제작 및 특성연구

論 文

48C-5-8

## Fabrication & Characteristics of SIR Microstrip Bandpass Filters using Deposition of High-Tc Superconducting Epitaxial Films

朴經國\*, 鄭東哲\*\*, 鄭龍采\*\*\*, 林成勳\*\*, 任星禹\*\*, 韓秉誠§

(Kyung-Kuk Park, Dong-Chul Chung, Yong-Chae Jeong, Sung-Hun Lim, Seong-Woo Yim, Byoung-Sung Han)

**Abstract** - In this paper, we designed and fabricated High-Tc Superconducting (HTS) microstrip bandpass filters using Stepped Impedance Resonators(SIR) and studied on their characteristics. The high-Tc superconducting  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  epitaxial films were deposited by Pulse Laser Deposition (PLD) system on MgO. The fabricated filters were designed so as to operate in Ku band with central frequency 17.25 GHz, bandwidth 2.896% and ripple 0.01 dB. These filters were composed of parallel coupled microstrip SIR of which impedance ratio (K) are 0.5, 1.5. In the measured response, HTS filters had showed insertion loss below  $\approx$  -0.5 dB. For comparison with normal conducting filter, we fabricated the Au counterpart that consists of the resonators as K=1.5 in the same dimension and measured performance of the Au filter. In comparison, HTS filter designed optimally got superior response to gold counterpart.

**Key Words** : HTS microstrip bandpass filter, Stepped Impedance Resonator(SIR), Epitaxial films, Impedance ratio(K), Pulse Laser Deposition(PLD) system.

### 1. 서 론

마이크로파 대역에서 마이크로스트립 선로는 생산성, 제작의 용이성 등의 이점을 가지어 슬롯선로나 코플레너 도파관을 대체하여 MIC (Microwave Integrated Circuit)로 사용되고 있으며 이의 적용은 전송선, 임피던스 정합회로, 방향성 결합기, 필터 등 응용 영역이 매우 넓다. 널리 보급되고 있는 금속성을 갖는 재료로 이뤄진 마이크로스트립 회로를 산화물로 이뤄진 고온 초전도체를 이용한 회로로 대체하면 상대적으로 적은 전력소모에 의한 손실을 가질 수 있다.

1986년 George Bednorz와 Alex Muller의 산화물 고온 초전도체의 발견<sup>1)</sup> 이후 상대적으로 유전손실이 적은 특성을 갖는 기판 위에 고온 초전도체 에피텍셜 박막을 증착시키는 박막 성장 기술은 성공적으로 발전해 왔다. 이러한 발전은 고온 초전도체를 이용한 마이크로파 소자<sup>2,3,4)</sup>의 응용을 가능하게 하고 있다.

마이크로파 대역에서의 고온 초전도 박막은 같은 조건하에서 표면저항이 구리나 금 같은 금속 재료에 비해 10~1000배 정도 작은 값을 가지며, 침투깊이가 주파수에 무관하다는 이점을 지니어 주파수의 높은 공진 양호도 Q와 적은 손실을 가지게 된다. 이에 따라 고온 초전도체의 마이크로파 응용에 관한 많은 연구가 수행되고 있다.

본 논문은 고온초전도체의 마이크로파 소자 응용의 일환으로 스텝 임피던스 공진기<sup>5)</sup>로 구성된 마이크로스트립 대역통과 필터를 설계하고 고온초전도체인  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  산화물을 비유전율 ( $\epsilon_r$ )이 77K의 온도에서  $\approx$ 9.6인 MgO 기판위에 c-axis으로 증착시킨 에피텍셜 박막으로 제작하여 고온 초전도체에 의한 필터의 특성을 살펴본 것으로 동일한 크기를 갖는 금 박막에 의한 필터와의 특성 비교를 하였다

### 2. 마이크로스트립 대역통과 필터의 설계

본 논문에서 디자인한 마이크로스트립 대역통과 필터는 삼입손실법에 의한 Tchebyscheff형으로 Ku-밴드내의 중심주파수 17.25 GHz에서 2.896%의 대역폭과 0.01 dB의 통과대역 균일리플을 갖도록 하였다. 필터의 구성은 그림 1과 같은 비균일 임피던스를 갖는 스텝 임피던스 공진기의 평행결합에 의한 것으로 공진기의 임피던스 비 (K)를 0.5, 1.5로 한 두 형태를 갖도록

\* 準 會 員 : 全 北 大 學 校 電 氣 工 學 科 碩 士

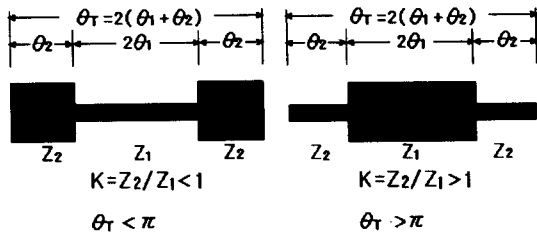
\*\* 正 會 員 : 全 北 大 學 校 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

\*\*\* 正 會 員 : 全 北 大 學 校 情 報 通 信 工 學 科 教 授

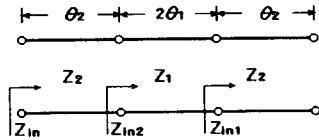
§ 正 會 員 : 全 北 大 學 校 電 氣 工 學 科 教 授, 工 業 技 術 研 究 所

接 受 日 字 : 1998 年 9 月 30 日

最 終 完 了 : 1999 年 4 月 14 日



(a)



(b)

그림 1. (a) 스텝 임피던스 공진기의 구조

(b) 전송선 등가모델

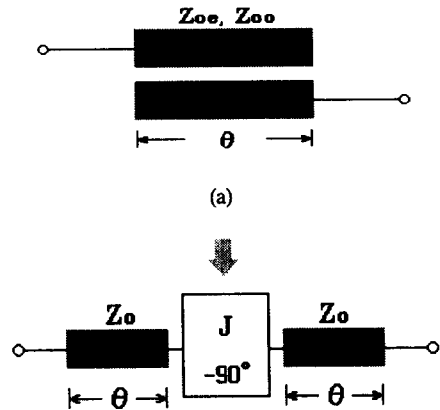
Fig. 1 (a) structures of the SIR (stepped impedance resonator)

(b) equivalent model of the SIR

하였다. 그리고 기판은 비유전율 ( $\epsilon_r$ )이  $\approx 9.6$  인 MgO로 크기가  $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$  인 것을 사용하였다. 이 기판은 기계적 강도가 약하고 흡습성은 높지만 10 GHz 주파수 대역에서 적절한 기판으로 알려져 있는 것으로 격자 정합이 우수하고 유전상수의 등방성을 유지한다<sup>6)</sup>.

그림 1의 구조를 갖는 공진기에 의한 필터 설계를 위해서는 먼저 공진기에서의 기본 공진조건을 구하고 서셉턴스 슬롭계수를 정하여 그림 2와 같은 임의의 전기적 길이 ( $\theta$ )를 가지는 결합회로에 대한 어드미턴스 인버터 계수를 구하여야 한다<sup>7)</sup>. 식 (2-1)은 그림 1 (b)의 개방단에서 본 공진기의 입력어드미턴스로써 기본공진은 입력어드미턴스 ( $Y_{in}$ ) 가 0일 때 일어나므로 이 조건은 식 (2-2)로 나타낼 수 있다. 식 (2-1)에서 K는 임피던스 비로  $Z_2/Z_1$ 이다. 대역통과 필터의 설계공식을 간단히 하기 위하여  $\theta_1 = \theta_2$ 로하면 공진조건은 식 (2-3)과 같이 되고 식 (2-3)에서  $\theta_0$ 는 공진주파수( $f_0$ )에서 선로의 전기적 길이가 된다<sup>5)</sup>. 공진기 회로의 공진특성을 구하기 위한 서셉턴스 슬롭계수는 식 (2-4)와 같이 구할 수 있고 공진기들의 결합회로에 대한 어드미턴스 인버터 계수는 식 (2-5)처럼 구할 수 있다. 식 (2-5)에서 소자값  $g_j$ 와 상대 대역폭  $w$ 는 대역통과 필터의 기본적인 설계 계수로 부터 주어진다<sup>7)</sup>. 이로부터 결합선로에 대한 even-odd 모드 임피던스를 식 (2-6)에 의하여 구할 수 있고, 따라서 평행 결합선로의 패턴 치수를 얻을 수 있다<sup>8)</sup>.

평행 결합선로와 공진기의 치수를 정한 후 EEsof, Touchstone



(a)

(b)

그림 2. (a) 평행결합 선로 (b) 인버터에 의한 등가회로

Fig. 2 (a) parallel coupled line (b) equivalent model with an inverter

에 의한 최적화 과정을 하여 고온초전도 에피택셜 박막을 구성될 패턴의 치수를 정하였다. 임피던스 비에 따른 최적설계 대역통과 필터의 각종 파라미터들을 표 1과 표 2에 나타내었다.

$$Y_{in} = j Y_2 \frac{2(K - \tan \theta_1 \tan \theta_2)(\tan \theta_2 + K \tan \theta_1)}{K(1 - \tan^2 \theta_2)(1 - \tan^2 \theta_1) - 2(1 + K^2) \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (2-1)$$

$$K = \tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2 \quad (2-2)$$

$$K = \tan^2 \theta_0 \quad (\theta_0 = \tan^{-1} \sqrt{K}) \quad (2-3)$$

$$b = \frac{\theta_0}{2} \cdot 2(1+K) \cdot \frac{2}{1+K} \cdot Y_2 = 2\theta_0 Y_2 \text{ [ } \overline{\text{S}} \text{]} \quad (2-4)$$

$$J_{01} = \sqrt{\frac{Y_0 b_1 w}{g_0 g_1}} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_0 g_1}}$$

$$J_{j,j+1} = w \sqrt{\frac{b_j b_{j+1}}{g_j g_{j+1}}} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_j g_{j+1}}}, \quad (j=1 \sim n-1)$$

$$J_{n,n+1} = \sqrt{\frac{Y_0 b_1 w}{g_n g_{n+1}}} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_n g_{n+1}}} \quad (2-5)$$

$$Z_{oe} = \frac{1}{Y_0} \cdot \frac{1 + (J/Y_0) \csc \theta + (J/Y_0)^2}{1 - (J/Y_0)^2 \cot^2 \theta}$$

$$Z_{oo} = \frac{1}{Y_0} \cdot \frac{1 - (J/Y_0) \csc \theta + (J/Y_0)^2}{1 - (J/Y_0)^2 \cot^2 \theta} \quad (2-6)$$

표 1. 대역통과 필터의 설계 파라미터  
Table 1. Design parameters of the bandpass filters

K = 0.5		
어드미턴스 인버터 $J_{i,i+1}$	$J_{01}, J_{34}$	0.0048
	$J_{12}, J_{23}$	0.0009
선로 임피던스 $Z [\Omega]$	$Z_1$	100
	$Z_2$	50
공진기의 길이 $l$ [deg.]	$\theta_T$	141.058
	$\theta_o$	35.264
서셉턴스 슬롭계수 $b$ [mho]	0.02462	
Even-odd 임피던스 $(Z_{oe})_{i,i+1}$ $(Z_{oo})_{i,i+1} [\Omega]$	$(Z_{oe})_{01} (Z_{oe})_{34}$	82.85540
	$(Z_{oo})_{01} (Z_{oo})_{34}$	36.33314
	$(Z_{oe})_{12} (Z_{oe})_{23}$	54.28535
	$(Z_{oo})_{12} (Z_{oo})_{23}$	46.34285

(a)

K = 1.5		
어드미턴스 인버터 $J_{i,i+1}$	$J_{01}, J_{34}$	0.0057
	$J_{12}, J_{23}$	0.0013
선로 임피던스 $Z [\Omega]$	$Z_1$	33.33
	$Z_2$	50
공진기의 길이 $l$ [deg.]	$\theta_T$	203.074
	$\theta_o$	50.768
서셉턴스 슬롭계수 $b$ [mho]	0.03544	
Even-odd 임피던스 $(Z_{oe})_{i,i+1}$ $(Z_{oo})_{i,i+1} [\Omega]$	$(Z_{oe})_{01} (Z_{oe})_{34}$	76.69996
	$(Z_{oo})_{01} (Z_{oo})_{34}$	37.68975
	$(Z_{oe})_{12} (Z_{oe})_{23}$	54.61706
	$(Z_{oo})_{12} (Z_{oo})_{23}$	46.10535

(b)

표 2. 마이크로스트립 대역통과 필터의 패턴치수  
Table 2. Physical demension of the microstrip bandpass filers

(단위 : mm)

K = 0.5		선 폭 결합간격 길이		
$Z_0$	0.49780			1.16883
$Z_1$	0.07811			
$(Z_{oe}, Z_{oo})_{01} (Z_{oe}, Z_{oo})_{34}$	0.29728	0.06149	0.64445	
$(Z_{oe}, Z_{oo})_{12} (Z_{oe}, Z_{oo})_{23}$	0.40953	0.55682		
(a)				
K = 1.5		선 폭 결합간격 길이		
$Z_0$	0.49780			1.67370
$Z_1$	0.80282			
$(Z_{oe}, Z_{oo})_{01} (Z_{oe}, Z_{oo})_{34}$	0.32453	0.05593	0.70360	
$(Z_{oe}, Z_{oo})_{12} (Z_{oe}, Z_{oo})_{23}$	0.35303	0.65358		

(b)

### 3. 필터의 제작

#### 3-1 박막의 증착

본 논문에서 제작된 대역통과 필터의 스트립 도체로 이용된 고온초전도체  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  에피택셜 박막은 펄스 레이저 증착 (Pulsed laser deposition, PLD)법에 의해 증착 시키었다. 박막의 증착에 사용한 PLD는 248nm의 파장을 가지고 자외선 영역 발진을 하는 KrF를 사용한 Lambda Physik Compex-205 엑시머 레이저를 이용하였다. 박막 증착시 기판의 온도는 780°C로 고정하였고 산소압은 200 mTorr, 에너지 밀도는 1.7 J/cm<sup>2</sup>로 하였다. C-axis로 에피택셜하게 성장한  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  박막 두께는 3000 Å 정도로 저온장치내에서 사단자법을 이용하여 온도변화에 따른 전기저항을 측정된 결과 임계온도 (Tc)가  $\approx 89K$ 에서 초전도성 (R=0)을 나타내었으며 임계전류밀도는  $\approx 2 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>이다. 필터의 접지면으로서 사용한 Au 박막의 증착은 thermal evaporation에 의해 2 $\mu$ m의 두께를 갖도록 하였고 고온 초전도체와의 필터의 응답특성 비교를 위한 Au 박막의 두께는 YBCO 에피택셜 박막의 두께와 동일하도록 증착하였다.

#### 3-2 필터의 미세형상화

Photo-lithography와 ion-milling 공정은 필터의 미세형상화를 위해 사용되었다. 이 때 사용된 마스크는 크롬 (Cr)을 이용한 전자선 마스크로 표 2에서 나타난 패턴치수를 CAD 프로그램인 Cadence을 이용한 gds화일로 형상화하여 conversion한 후 Leica 사 제품 EBMF-10.5를 이용하여 제작하였다. Ion-milling시의 식각장치의 조건은 beam voltage는 350V이고 beam current와 accelerator current는 각각 25mA, 2mA으로 하였고 식각율은 170 Å/min으로 하였다.

### 4. 측 정

MgO 기판 위에 성장된 박막의 미세형상화로 완성된 필터는 3단으로 구성된 시험치구 (jig)에 은 paste로 접착하고 필터의 양단에 SMA 커넥터를 인듐 압착으로 연결 시키었다. HTS 필터에서는 필터 양 끝단에 300 nm의 Au 전극을 lift-off 공정에 의해 형성시켜 커넥터 연결시의 접촉손실을 최소화 하도록 하였다. 시험치구에 장착되어 커넥터와 연결된 HTS (Au)필터는 헬륨 순환방식 냉각기에 의한 저온 유지 장치 (cryostat)에 탑재, 진공상태로 290 K와 액체질소 온도인 77 K에서 vector network analyzer, HP8501C를 이용하여 필터의 특성을 측정하였다. 그림 3은 측정을 위해 시험치구에 장착된 필터와 미세형상화되어 layout된 필터의 모습을 나타내고 있으며, 필터의 특성을 측정하기 위한 시스템의 구조는 그림 4에 나타내고 있다. 그림 3에서 K가 1.5인 필터는 HTS 필터의 일반금속 박막에 의한 필터와의 비교를 위해 Au 필터를 같은 크기로 제작되었다.

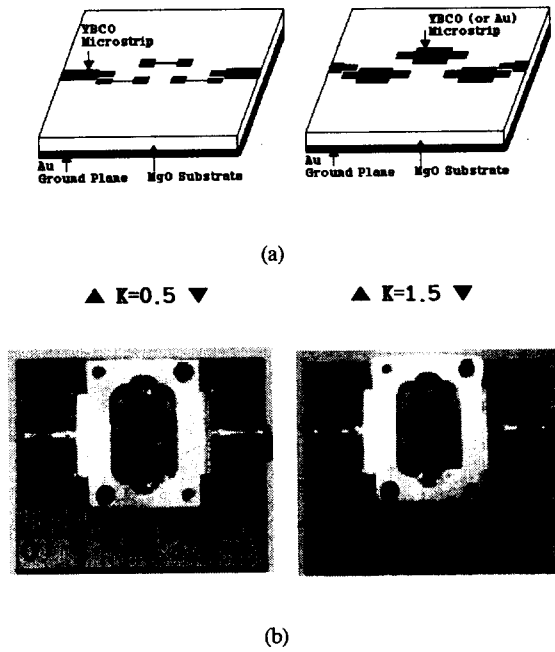


그림 3. 구현된 마이크로스트립 대역통과 필터 (a) layout된 HTS(Au) 필터 (b) 시험치구(jig)에 장착된 필터  
 Fig. 3 Realized microstrip bandpass filters (a) layout of the HTS(Au) filters (b) fitted filters with jigs

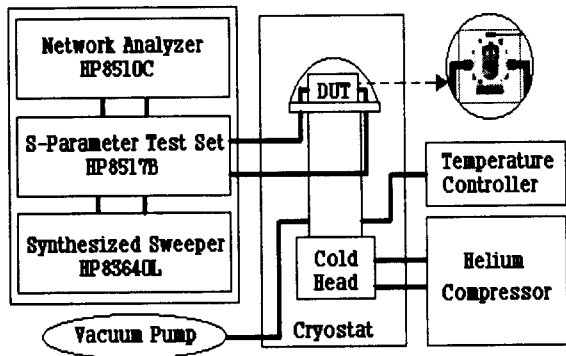
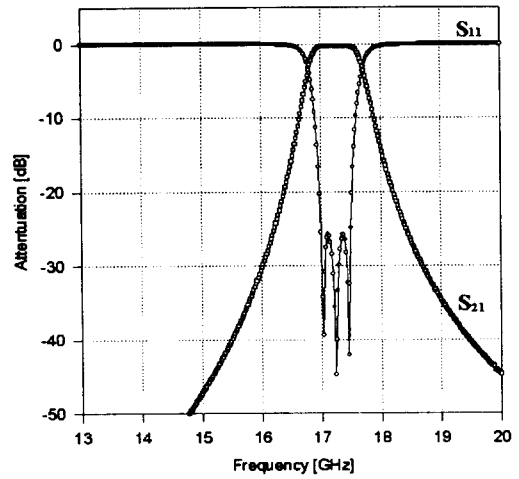


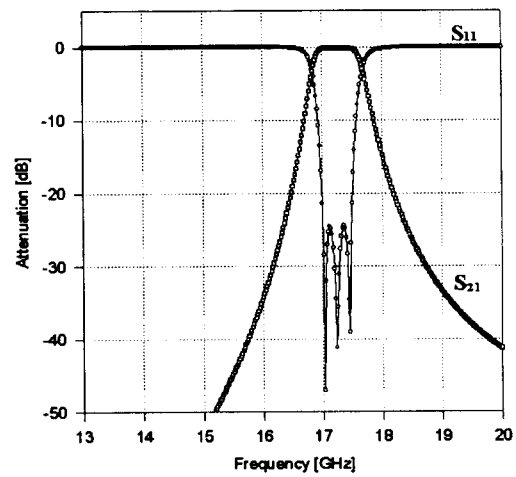
그림 4. 측정 시스템  
 Fig. 4 Measurement system

### 5. 측정 결과

제작된 HTS 대역통과 필터는 공진기의 임피던스의 변화에 따른 SIR에 의한것으로 임피던스 비 (K)에 따른 두 필터의 대역통과 필터의 특성은 그림 5, 6, 7에 나타내고 있다. 그림 6, 7을 보면 상온에 가까운 290 K에서는 필터로서의 특성을 나타내지 않다가 YBCO 초전도체의 임계온도에서 통과대역내의 삽입 및 반사손실이 급상승 및 저하하여 액체 질소의 온도인 77K에서는 그림 5의 전산모사예의한 특성과 거의 유사한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 그림 5의 응답은 Touchstone에 의한 것으로 K값에 따른 각 필터의 삽입손실 (Insertion Loss, IL) 특



(a)



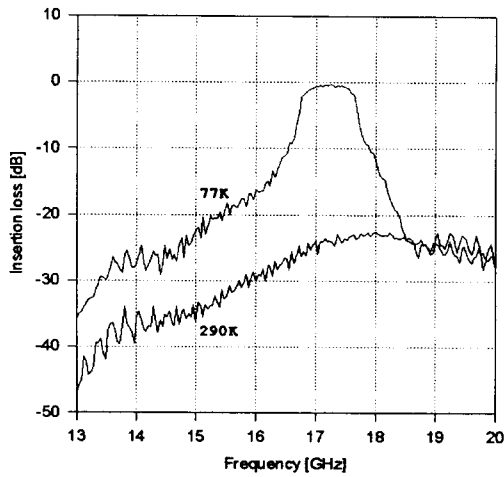
(b)

그림 5. HTS 마이크로스트립 대역통과 필터의 전산모사 특성 (a) K=0.5인 필터 (b) K=1.5인 필터

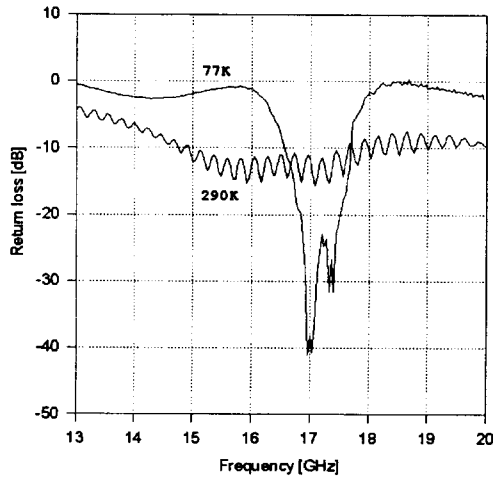
Fig. 5 Simulated characteristics of HTS microstrip bandpass filter (a) with K=0.5 (b) with K=1.5

성인  $S_{21}$ 과 반사손실 (Return Loss, RL) 특성인  $S_{11}$ 을 13 GHz에서 20 GHz의 주파수 영역에서 실행하여 구한 것으로 전산모사에 의한 결과를 살펴보면 3 dB 대역폭은 16.85 GHz ~17.65 GHz 으로 800 MHz의 대역폭을 가지며 통과대역안의 17 GHz ~17.5 GHz 영역에서는 -0.3 dB 이하에서 IL의 적은 편차를 가지며 동작하였다. 그리고 그 안에서의 RL 은 -25 dB이상을 나타내었다. 전산모사시의 MgO 기판의 비유전율은 유전율 측정에 의하여 77 K일때의 유전율인 9.6을 고려하였다.

그림 5의 응답 특성과 함께 그림 6, 7에서 나타낸 두 필터의 측정 결과를 살펴보면 K가 0.5일때는 3 dB 통과 대역폭은 16.74 GHz ~17.62 GHz (880 MHz)이고 16.96 GHz ~17.52 GHz



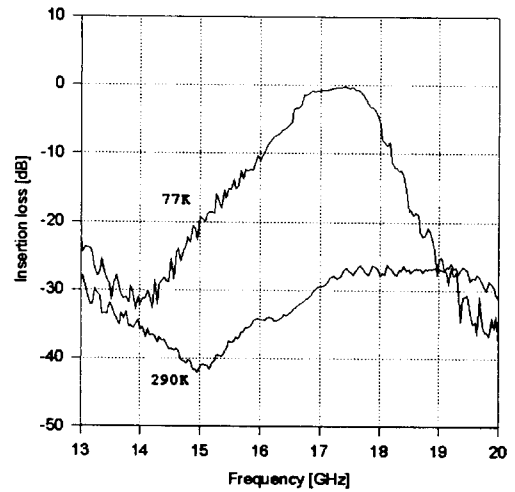
(a)



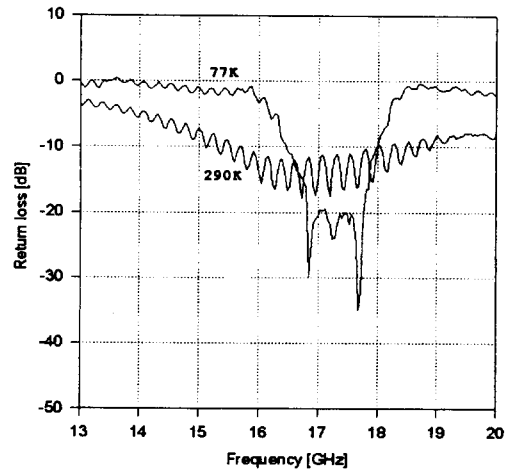
(b)

그림 6. K=0.5인 HTS 마이크로 스트립 대역통과 필터의 특성  
(a) 77 K (290 K)에서의  $S_{21}$  (b) 77 K (290 K)에서의  $S_{11}$   
Fig. 6 Characteristics of the HTS microstrip bandpass filter with  $k=0.5$  (a)  $S_{21}$  at 77 K (290 K) (b)  $S_{11}$  at 77 K (290 K)

(560 MHz)에서는 편차가 적게 동작하였다. 그리고 이 대역의 중심주파수 ( $f_0=17.24$  GHz)에서 IL인  $S_{21}$ 과 RL인  $S_{11}$ 이 각각 -0.45 dB, -25.57 dB이었다. K가 1.5일 때는 3 dB 대역폭은 16.68 GHz ~17.76 GHz (1080 MHz)이고 편차가 적은 대역은 16.92 GHz ~17.64 GHz (720 MHz)로 이 대역의 중심주파수 ( $f_0=17.28$  GHz)에서  $S_{21}$ 과  $S_{11}$ 은 -0.34 dB, -22.92 dB의 HTS 필터의 특성을 구하였다. 측정된 Ku밴드에서의 SIR로 구성된 HTS 마이크로스트립 대역통과 필터의 특성은 전산모사 특성과



(a)

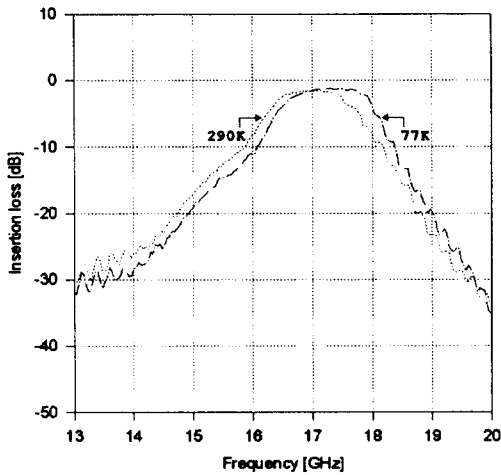


(b)

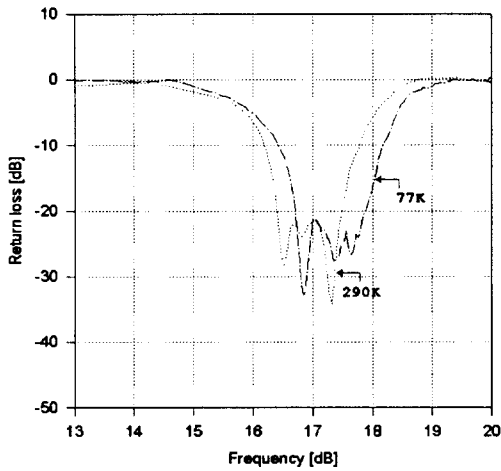
그림 7. K=1.5인 HTS 마이크로 스트립 대역통과 필터의 특성  
(a) 77 K (290 K)에서의  $S_{21}$  (b) 77 K (290 K)에서의  $S_{11}$   
Fig. 7 Characteristics of the HTS microstrip bandpass filter with  $k=1.5$  (a)  $S_{21}$  at 77 K(290 K) (b)  $S_{11}$  at 77 K (290 K)

거의 유사한 특성을 가지며 마이크로스트립 필터로서 상당히 적은 삽입손실을 가지고 동작함을 알 수 있다. 임피던스 비에 따른 두 HTS 필터의 삽입손실을 비교해 보면 K가 1.5일 때 더 적은 삽입손실을 가짐을 알 수 있다.

그림 8의 (a), (b)는 고온 초전도 박막과 일반 금속 박막에 의한 필터의 특성을 비교하기 위해 제작된 공진기의 K가 1.5일 때 HTS 필터와 같은 치수를 갖는 Au 필터를 HTS 필터의 측정 온도인 290 K와 77 K에서 특성을 측정하여 나타내었다. 그리



(a)



(b)

그림 8. K=1.5인 금 박막에 의한 필터의 특성 (a) 77 K (290 K) 에서의  $S_{21}$  (b) 77 K (290 K)에서의  $S_{11}$

Fig. 8 Characteristics of the filter by Au films with  $k=1.5$  (a)  $S_{21}$  at 77 K (290 K) (b)  $S_{11}$  at 77K (290 K)

고 그림 9에서는 HTS 필터와 Au 필터의 IL 특성을 비교하여 나타내고 있다. 먼저 그림 8의 (a) (b)에 나타난 Au 필터의 특성에서 HTS에서 필터의 특성을 나타낸 온도가 77 K일때를 보면 3 dB 대역폭은 16.64 GHz ~ 17.86 GHz (1220 MHz)이고 적은 편차를 갖는 대역은 16.92 GHz ~ 17.72 GHz (800 MHz)로 중심주파수 ( $f_0=17.32$  GHz)에서의  $S_{21}$ 과  $S_{11}$ 은 각 -1.28 dB, -24.72 dB이다. 그리고 290 K에서의 특성을 보면 중심주파수가 16.96 GHz로 310 MHz정도 천이되어 나타났다. 이는 기판으로

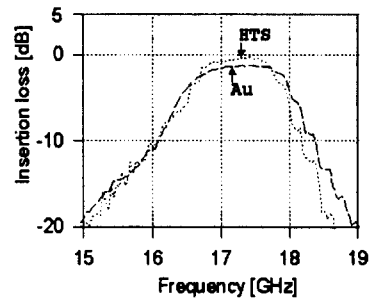


그림 9. K=1.5인 HTS 필터와 Au 필터의  $S_{21}$  특성의 비교  
Fig. 9 Comparison between HTS filter and Au filter in  $S_{21}$  characteristics

사용된 MgO의 온도에 따른 비유전율의 변화에 따른 것이다. 77 K에서의 Au 필터와 HTS 필터의 IL 특성을 그림 9에서 비교하여 나타내고 있다. 여기서 HTS 필터의 응답이 Au 필터보다 중심주파수에서  $\approx -1$  dB정도 향상되고 우수한 필터 특성 응답을 가짐을 알 수 있다.

### 6. 결 론

본 논문은 산화물 고온 초전도체인  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  의 마이크로 소자 응용의 일환으로 MgO 기판위에 에피텍셜 박막으로 성장시킨 구조를 가지고 마이크로스트립 대역통과 필터를 설계, 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 측정 결과 Ku 밴드에서의 스텝 임피던스 공진기의 구조의 변화에 따른 HTS 필터의 특성은 측정 결과에서와 같이 임계온도 이하에서 전산모사에 거의 일치하는 특성을 보이며, 저손실의 우수한 삽입손실 특성 ( $K=0.5 \rightarrow -0.45$ dB,  $K=1.5 \rightarrow -0.34$ dB)을 보였다. 그리고 공진기의 임피던스 비 (K)가 1.5일 때 HTS 필터와 Au 필터의 특성을 비교해 본 결과  $\approx -1$  dB정도 우수한 삽입손실 특성을 가짐을 알 수 있었고 일반 금속성 재질에 의한 마이크로스트립 필터 보다 우수한 특성을 가짐을 입증할 수 있었다. 위 결과로부터 고온 초전도 YBCO 에피텍셜 박막에 의한 Ku 밴드 대역에서의 마이크로 스트립 형태를 가진 마이크로파 소자 응용 가능성을 확인 할 수 있었으며, 앞으로 소형의 냉각시스템과 함께 일반 마이크로 스트립 회로를 대체함으로써 인한 효율의 증대를 기대할 수 있으리라 전망된다.

### 참 고 문 헌

[1] J. G. Bednorz, K. A. Muller, "Possible high- $T_c$  superconductivity in the Ba-La-Cu-O system", *J.*

*Phys.*, Vol. 64, pp. 189, 1986.

[2] C. M. Chorey, K. Kong, K. B. Bhasin, J. D. Warner and T. Itoh, "YBCO superconducting ring resonator at millimeter-wavefrequency", *IEEE Trans. Microwave theory Tech.*, Vol. 39, pp. 1408-1487, 1991

[3] S. H. Talisa, M. A. Janocko, C. Moskowitz, J. Talvacchio, J. F. Billing, R. Brown, D. C. Buck, C. K. Jones, B. R. McAvoy, Wagner, and D. H. Watt, "Low and high temperature superconducting microwave filters", *IEEE Trans. Microwave theory Tech.*, Vol. 39, No. 9, pp.1455-1461, 1991.

[4] G. C. Liang, D. Zhang, C. F. Shih, M. E. Johansson, and R. S. Withers, "High-power high-temperature superconducting microstrip filters for cellular base-station application", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 5, No. 2, pp.2652-2655, 1995

[5] M. Makimoto and S. Yamashita, "Bandpass filters using pararell coupled stripline stepped impedance resonators", *IEEE Trans., Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-28, pp. 1413-1417, Dec.,1980.

[6] J. Talvacchio, G. R. Wagner and S. H. Talisa, "High-Tc film development for electronic applications", *Microwave Journal*, July pp.105-114, 1991

[7] G. L. Mattahaei, L. Young, E. M. T. Jones, *Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures*, Artech House Books, 1980

[8] Terry Edwards, *Foundations for microstrip circuit design*, Jhon Wiley & Sons, Inc., 1991.

## 저 자 소 개

### 박 경 국 (朴 經 國)

1974년 6월 5일생. 1997년 2월 호원대 전 자공학과 졸업.  
1999년 2월 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사)  
Tel : (0652) 270-2396  
E-mail : kyungkuk@electric.chonbuk.ac.kr



### 정 동 철 (鄭 東 哲)

1967년 8월 24일생. 1994년 2월 전북대 전기공학과 졸업. 1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

Tel : (0652) 270-2396

E-mail : dchung@electric.chonbuk.ac.kr



### 정 용 채 (鄭 龍 采)

1963년 7월 15일생. 1989년 2월 서강대 전자공학과 졸업. 1991년 2월 서강대 대학원 전자공학과 석사. 1996년 8월 서강대 대학원 전자공학과 박사. 1991년 2월~1998년 2월 삼성전자 정보통신본부 선임연구원. 현재 전북대 정보통신공학과 전임강사.

Tel : (0652) 270-2396

E-mail : ycjeong@moak.chonbuk.ac.kr



### 임 성 훈 (林 成 勳)

1973년 11월 1일생. 1996년 2월 전북대 전기공학과 졸업. 1998년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

Tel : (0652) 270-2396

E-mail : sunghun@electric.chonbuk.ac.kr



### 임 성 우 (任 星 禹)

1973년 2월 28일생. 1997년 2월 전북대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

Tel : (0652) 270-2396

E-mail : uim@electric.chonbuk.ac.kr

### 한 병 성 (韓 秉 誠)

전기학회 논문지 제48A권 3호 참조

Tel : (0652) 270-2396

E-mail : hbs@moak.chonbuk.ac.kr