

YBa₂Cu₃O_{7-δ} Modified Hairpin-Type Bandpass Filter

K. R. Jung^{a,*}, S. J. Park^b, J. H. Sok^b, E. H. Lee^b, and J. H. Kang^a

^a University of Incheon, Incheon, Korea

^b Samsung Advanced Institute of Technology, Suwon, Korea

Received 25 March 2001

변형된 Hairpin-Type의 YBa₂Cu₃O_{7-δ} 대역통과 필터

정구락^{a,*}, 박상진^b, 석중현^b, 이은홍^b, 강준희^a

Abstract

We have fabricated a modified hairpin-type YBa₂Cu₃O_{7-δ} (YBCO) 2-pole microstrip bandpass filter with the center frequency of 5.8 GHz. We designed a hairpin-type filter with interdigital-coupled inner poles to improve the filter performance. Compared to a typical hairpin-type filter of the same size, the center frequency, the bandwidth and the insertion loss appeared smaller by 14.5 %, 29.6 %, and 0.55 dB, respectively. The dimensions of the filter were 13.7mm x 3.3 mm. YBCO films deposited on *r*-cut sapphire buffered with a CeO₂ thin layer were used for making the filter.

Keywords: bandpass filter, YBCO, CeO₂, hairpin, microstrip, ArF

I. 서론

고온 초전도체의 고주파 영역에서의 low loss, low distortion을 이용한 마이크로파 소자 개발 연구는 최근 hybrid 기술을 사용하여 대면적 고온초전도박막 위에 집적회로를 만드는 응용 연구도 가능하게 하고 있다 [1]. 현재 고온초전도 고주파소자의 제작에는 주로 고온초전도 박막이 이용되고 있는데, 이러한 고온초전도 박막으로 제작된 narrow band 마이크로스트립 필터 [2]나 multiplexer, 안테나와 같은 고주파 수동소자는 이동통신용 기지국에 설치되거나 위

성통신용 소자로서 상용화될 단계에 와 있다. 고온초전도 마이크로파 수동소자의 특성은 고온초전도 박막 성장에 사용된 기판의 특성에 의해 큰 영향을 받게 되는데, 이러한 기판에 의한 손실을 최소화하기 위해서는 기판의 loss tangent (*tand*)가 작아야 한다 [3].

고온초전도박막 제작 시, 일반적으로 pulsed laser deposition ('PLD'라 함) 방식에 사용되는 laser의 파장 범위는 200 ~400 nm로 알려져 있다. 이는 대부분의 물질이 파장이 200 ~400 nm사이의 빛에 대해 강한 흡착력을 갖기 때문인데, 파장이 짧을수록 흡착계수(absorption coefficient)는 증가하고 성장된 박막 상의 boulder의 수는 감소하는 것으로 알려져 있다

*Corresponding author. Fax: +82 2 958 5692
e-mail: krjung@kist.re.kr

[4]. 본 연구에서는 국내에서 보통 사용하는 파장이 248nm인 KrF Excimer Laser 대신에 파장이 193nm인 ArF Excimer Laser가 고온초전도 박막 성장에 사용되었다. 기판으로는 고온초전도체 박막의 성장에 널리 쓰이는 LaAlO₃, SrTiO₃ [5] 대신에 낮은 유전율과 매우 작은 tanδ을 지니면서도 값이 저렴한 sapphire가 사용되었다. 필터 설계 시 신뢰성을 높이기 위하여 EM simulator인 HFSS와 circuit simulator인 Serenade가 모두 시뮬레이션 결과를 얻는데 사용되었다. 전형적인 hairpin-type 필터의 내부에 interdigital coupling 구조의 pole들이 삽입될 경우 같은 크기의 hairpin type 필터에 비해 중심주파수, 통과대역, 삽입손실 값이 모두 작아짐이 관측되었다.

II. 박막제작 및 특성

ArF Excimer Laser는 KrF Excimer Laser 보다 파장이 짧음으로 beam의 확산이 크다. 본 연구에서는 laser와 chamber사이의 거리를 최소화하여 laser beam의 확산이 가능한 최소가 되도록 PLD System을 구성하였다. Figure 1은 본 연구에 사용된 PLD System의 개략도인데, laser 광원과 target 간의 beam 경로 거리는 0.965m이다.

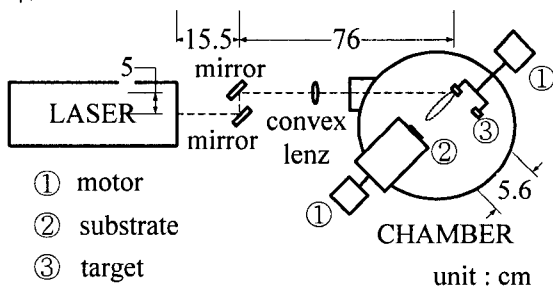


Fig. 1. A schematic diagram of PLD system.

Sapphire 기판과 YBCO 박막은 서로 구조적, 화학적으로 맞지 않기 때문에 구조적으로나 화학적으로 sapphire 기판과 YBCO 박막이 서로 반응하는 것을 막아 주는 buffer 층이 필수적으로 요구된다 [6]. 이러한 Buffer 층으로는 YSZ, MgO, CeO₂ 등이 알려져 있는데, 본 연구에서는 buffer 층으로 CeO₂ 박막을 사용하였다. 격자상

수가 5.411Å인 cubic CeO₂ 와 sapphire 기판과의 격자 불일치는 5.7 % - 13.7 % 인 반면에 CeO₂와 YBCO 간의 격자 불일치는 1 % 정도이다 [7]. 참고로 Epitaxial 박막의 성장을 위해서는 박막과 기판의 격자 불일치가 2% 미만이어야 한다 [8]. YBCO 박막 성장 시 기판을 3 rpm으로 회전시켰는데, 이는 박막 표면의

Table I. Deposition conditions for YBCO films and CeO buffer layer on r-cut sapphire.

조건	박막	
	CeO ₂	YBCO
산소분압	100mTorr	200mTorr
Laser Energy	1.11 J/cm ²	
기판온도	760℃	740℃
거리	56cm	
기판회전	3rpm	
Target 회전	17.5rpm	
기판	Sapphire(1102)	

particle 수를 줄이고 박막의 균일성을 향상시키기 위한 것이다. YBCO 박막의 성장조건은 Table I에 기술된 바와 같다. 기판 회전이 박막의 표면에 미치는 영향은 Figures 2(a)와 2(b)의 박막의 표면에 대한 사진에서 알 수 있다. Figure 2(a)는 회전하는 기판 위에 성장된 YBCO 박막의 표면 사진으로서 이러한 YBCO 박막의 경우 기판의 회전 없이 성장된 YBCO 박막 (Fig. 2(b))에 비해 표면의 particle 수가 적어짐을 보여준다. 본 연구에서는 기판을 회전시키면서 박막을 제작하기 위하여, 대부분의 박막 제작에 사용되는 resistive heater 대신 quartz ramp를 사용하여 기판 holder를 가열하는 방식을 택하였으며, 기판은 silver paste를 사용하여 기판 holder에 부착하였다. Figure 3은 sapphire 기판 위에 성장시킨 CeO₂ 박막의 X-ray diffraction (XRD) pattern인데 CeO₂ 박막이 c-축 방향으로 잘 성장되었음을 보여준다.

YBCO 박막의 저항은 4 단자법을 이용하여 측정하였으며, 박막과 도선의 연결에는 인듐과 silver paste를 사용하였다. 측정은 300K부터 20K까지 온도를 낮추면서 행하였는데, Labview program을 사용하여 측정된 값이 자동으로 저

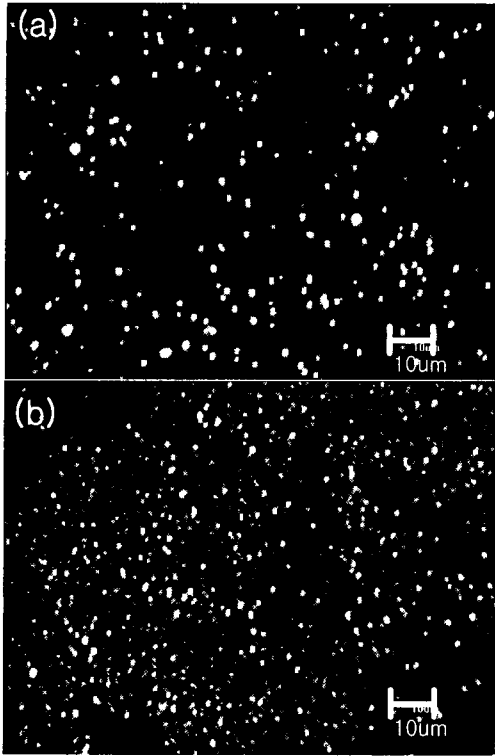


Fig. 2. Photograph of YBCO films prepared on (a) rotating substrate, and (b) a substrate without rotation.

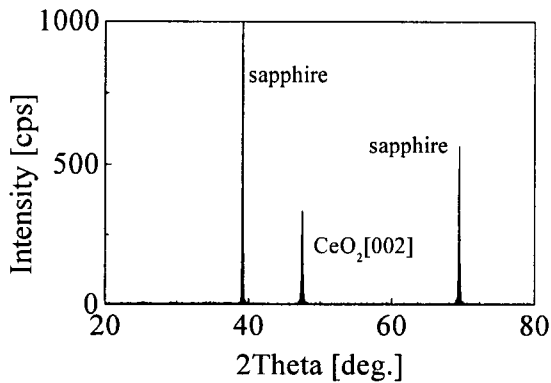


Fig. 3. XRD pattern of a CeO₂ film on sapphire substrate

장 되도록 하였다. 온도측정 센서로는 액체 질소 온도에서 보정된 Si-diode를 사용하였다.

Figure 4의 R-T 곡선은 Table I에 기술된 성

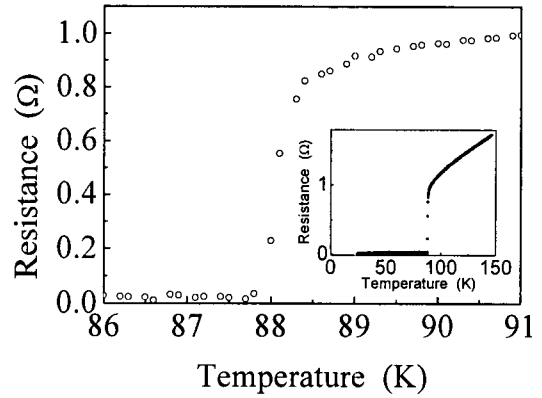


Fig. 4. The resistance versus temperature data for the YBCO film on CeO₂-buffered *r*-cut sapphire. Inset: The resistance versus temperature data near the critical temperature.

장조건으로 제작된 YBCO 박막의 저항 data인데 이 박막의 임계온도는 87.8 K이다.

III. 필터의 제작 및 특성

본 연구에서는 hairpin-type 필터의 설계를 위해서 EM simulator인 HFSS와 circuit simulator인 serenade를 함께 사용하여 simulation의 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다. 본 연구에서 고안한 hairpin-type 필터는 기존의 hairpin-type 필터에 interdigital coupling 구조의 pole들을 삽입한 형태를 가지고 있다. 이 필터는 planer ring type 필터를 [9] hairpin-type 필터에 적용한 것으로서 외부 pole(Figure 5(a)의 ②, ④) 과 내부 pole(Figure 5(a)의 ③, ⑤) 사이의 coupling을 좋게 하기 위하여 pole ②와 pole ③ 그리고 pole ④와 pole ⑤가 각각 interdigital-coupling 구조를 지나게 하였다 [2].

필터의 특성을 측정하기 위하여 filter package를 설계하고 제작하였으며, filter package의 열이 sample에 잘 전달될 수 있도록 silver paste를 이용하여 filter package에 sample을 부착하였다. 필터의 특성을 측정할 때에는 1~50 GHz 주파수 범위에서 reflection과 transmission

data를 동시에 측정할 수 있는 HP 8510C network analyzer를 사용하였는데, 측정 전에 상온에서 2-port calibration을 하여 reflection과 transmission data를 함께 측정하였다. 고온 초전도 필터와 cable을 연결하기 위하여 SMA

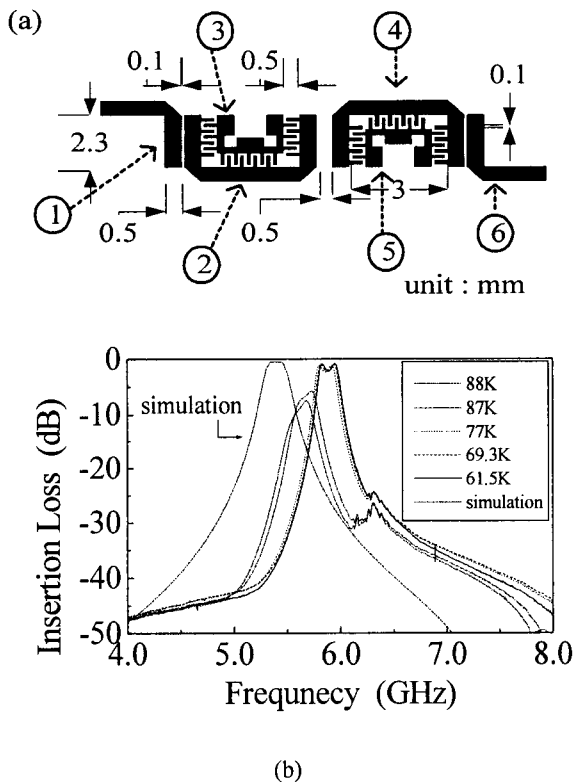


Fig. 5. Hairpin type filter with interdigital coupled innerpoles. (a) Layout (size : 13.7mmX3.3mm). (b) Microwave properties of simulation and measurement.

connector를 사용하였으며, 박막과 SMA connector사이의 접합을 좋게 하기 위하여 silver paste를 사용하여 접착하였다.

Figures 5(a)와 5(b)는 각각 내부 pole을 삽입한 hairpin type 필터의 layout과 이 필터에 대한 simulation 결과 및 특성 측정결과로서 77 K에서 측정된 필터의 중심 주파수, 삽입손실, 통과대역, 3dB 통과대역 그리고 ripple은 각각 5.854GHz, 2.3 dB, 145 MHz, 213 MHz, 1.3 dB인 것으로 관측되었다. 또한 61.5K에서의 중심 주파수, 삽입손실, 통과대역, 3dB 통과대역 그

리고 ripple은 각각 5.895GHz, 2.2 dB, 171 MHz, 216 MHz, 1.2 dB인 것으로 관측되었는데, 이러한 값은 같은 크기의 일반적인 hairpin-type 필터에 비해 중심주파수, 통과대역 그리고 삽입손실이 각각 14.5%, 29.6% 그리고 0.55dB 만큼 줄어 든 것이다 [9]. Figure 5(b)에서 simulation과 측정 결과 간에 많이 차이가 나는 이유는 기판과 박막 두께의 오차에서 기인한다고 본다. 참고로 simulation은 박막 두께를 0으로 하여 행하였으나 실제 제작된 시편의 두께는 500nm 이고, simulation 시 사용한 기판 두께는 0.5mm 이지만 실제 필터제작에 사용된 기판의 두께는 0.45mm이다.

Figure 5(b)에서 또한 임계온도 부근에서 온도에 따른 필터의 중심주파수 변화가 매우 커짐을 알 수 있는데, 61.5 - 77 K 사이에서의 중심주파수 변화는 25 MHz 정도의 작은 값임에 비해 77 - 87 K 영역과 87 - 88 K 영역에서는 각각 200 MHz와 50 MHz의 큰 값을 지닌다. 일반적으로 초전도체로 제작된 공진기의 공진 주파수는 온도에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다. 그 이유로는 크게 다음의 두 가지를 생각할 수 있는데, 그 하나는 초전도체의 침투깊이 (penetration depth)가 온도에 따라 변화하기 때문에 초전도의 inductance가 변화하고, 따라서 공진기 내의 전자파의 위상속도가 변화하여 공진 주파수가 변화함을 들 수 있고, 다른 하나는 기판의 유전상수의 온도 의존성에 의한 전자파의 위상속도 변화를 들 수 있다. 본 실험에 사용된 기판의 유전상수의 온도 의존성이 매우 작음을 고려할 때 본 실험에서 관측된 중심주파수의 온도에 따른 변화는 YBCO 박막의 침투깊이의 온도의존성에 의한 것으로 설명할 수 있을 것이다.

IV. 결론

PLD 방법을 사용하여 양질의 고온초전도 YBCO 박막을 제작하였으며, 이를 사용하여 interdigital coupling 구조의 pole 들을 삽입한 hairpin-type 필터를 설계하고 제작하였다. 기존의 hairpin-type 의 필터에 interdigital coupling 구조의 pole 들을 삽입한 경우에 통과대역과 out-band 특성이 향상됨을 알 수 있었으며, 삽

입손실도 줄어드는 것을 알 수 있었다.

필터 제작 시 사용된 YBCO 박막은 파장이 193 nm 인 ArF Excimer Laser 를 사용하여 CeO₂-buffered *r*-cut sapphire 기판 위에 *in-situ* 로 에피성장된 것으로서 이 박막의 임계온도는 87.8 K, ΔT 는 약 0.5 K 이다.

본 연구에서 제작된 interdigital coupling 구조의 pole 들을 삽입한 필터는 그 위에 SrTiO₃ 박막을 성장시킨 후 내부 pole 과 외부 pole 양단에 전압차를 주는 방식을 통하여 tunable 필터 [10],[11]의 개발에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어연구센터의 지원과 과학기술부 특정연구개발사업의 지원으로 이루어졌습니다.

References

- [1] A. A. Dymnikov and O. D. Poustylnik, "Use of the phenomenon of high-temperature superconductivity for the creation of integrated devices of microwave electronics," *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 20(5), 937-965 (1999).
- [2] Dawei Zhang, *et al.*, "Microstrip Filters for wireless communications using High-Temperature Superconducting Thin Films," *Appl. Supercond.*, 3, 483-496 (1995)
- [3] Reinment K. Hoffmann, *Handbook of Microwave Integrated Circuits*, Artech House, 20-37 (1987).
- [4] Douglas B. Chrisey and Graham K. Hubler, Pulsed laser deposition of thin film, JOHN WILEY & SONS, 240-244 (1994).
- [5] X. D. Wu, *et al.*, "Epitaxial ordering of oxide superconductor thin films on (100) SrTiO₃ prepared by pulsed laser evaporation", *Appl. Phys. Lett.* 51(11), 861-863 (1987).
- [6] J. M. Phillips, *et al.*, "Comparison of Ba₂YCu₃O_{7.5} thin films grown on various perovskite substrates by coevaporation," *J. Matter. Res.*, 7, 2650-2657 (1990).
- [7] K Fröhlich, *et al.*, "Superconducting Yba₂Cu₃O₇ films prepared by aerosol metal organic chemical vapour deposition on Al₂O₃ substate with CeO₂ buffer layer," *Supercond. Sci. Technol.*, 10, 657-662 (1997).
- [8] K. N. Tu, J. W. Mayer, and L. C. Feldman, *Electronic Thin Science*, Macmillan Publishing Company, New York, 157-187 (1992).
- [9] K. R. Jung, *et al.*, "Fabrication of HTS Microstrip Bandpass Filters using CeO₂ buffered YBCO Films grown on a-Al₂O₃ substrates," *High Temperature Supercond.*, 9, 58-62 (1999)
- [10] J. Sok, J. S. Lee and E. H. Lee, "Tunability and loss tangent of ferroelectric SrTiO₃ films in YBa₂Cu₃O_y Superconducting resonator," *Supercond. Sci. Technol.*, 11, 875-879 (1998)
- [11] Guru Subramanyam, *et al.*, "A K-Band Tunable Microstrip Bandpass Filter Using a Thin-Film Conductor / Ferroelectric / Dielectric Multilayer Configuration," *IEEE Microwave and Guided wave letters*, 8(2), 78-80 (1998)