

헤어핀 초전도체 필터와 구리 필터의 주파수 응답비교

Comparison frequency responses of hairpin type superconducting filters and copper bandpass filters

박정호*, 송석천*, 이상렬*

(Jung Ho Park*, Seok Cheon Song* and Sang Yeol Lee*)

Abstract

For the performance enhancement of communication system, high quality filters are required. Also a minimization of size of filter is required for the interation of devices in the limited area. Conventional metal filters made of copper can be substituted by high quality high temperature superconducting(HTS) films for better performance. Hairpin type filters have been designed with the center frequency 14 GHz for the size reduction. 3-pole and 4-pole filters centered at 14 GHz with the bandwidth of about 300 MHz were designed and fabricated. With the simulation results, the frequency responses showed low insertion loss and sharp skirts characteristics. The frequency response of HTS 14 GHz filter was measured at 77 K and compared with the simulation results. We have compared YBCO filters and copper filters which were made with the same design rules. Simulated and measured frequency responses reveal that HTS YBCO hairpin type bandpass filters show better performance than copper filters.

Key Words(중요용어) : HTS, hairpin type, bandwidth, filter, frequency response

1. 서론

필터는 인공위성, 이동통신에 이용되기 위해서는 높은 주파수가 요구된다. 위성통신 시스템을 향상시키기 위해서는 우수한 스킵(skirt) 특성, 적은 삽입손실, 그리고 높은 전력 처리능력 등의 특성을 가진 필터가 요구된다[1][2]. 고온 초전도체 필터는 작은 표면저항을 갖기 때문에 마이크로파 수동소자로의 응용에 가장 적합하다. 구리 필터의 경우 가장 문제가 되는 큰 손실이 없으며, 따라서 위성통신 시스템의 마이크로파 스트립선 필터 등의 응용에 적절하다. 그러나, 수동소자에서의 손실은 주파수가 증가됨에 따라 커진다. 필터는 이용도와 분별력을 위해 낮

은 삽입손실과 날카로운 스킵 특성을 가져야 한다. 표면저항이 적은 물질을 사용했을 때 기존의 구리 같은 금속보다는 고온 초전도체에서 주파수 손실이 적게 나타났다. 그러나, 고온 초전도체 박막은 임계온도 이하에서 액화질소 속에 냉각시켜야 하고 초전도 상태를 보전하기 위해서 냉각장치가 필요하다. 이러한 문제를 극복하기 위해 소자의 크기는 더 작게하고 냉각장치의 수는 많게 한다. 초전도체가 갖는 무저항 특성에 의한 저손실 특성 및 매우 낮은 마이크로파 표면저항, 일반 마이크로스트립 공진기나 필터에 비해 매우 높은 Q값의 이점으로 인하여 통신시스템의 성능을 매우 향상시켜줄 것으로 예상되며, 특히 위성에 탑재될 때에는 우주 공간의 극저온으로 인해 냉각장치가 필요치 않다는 장점이 있고 마이크로스트립 소자가 가지는 소형 및 경량화의 특성을 충분히 살려줄 수 있다는 장점이 있다. 박막을 제조하는 몇가지 방법중에 펄스 레이저 증착법은 증

* 연세대학교 전기·컴퓨터공학과
(서울특별시 서대문구 신촌동 연세대학교)
Fax: 364-9770
E-mail: piezoelectric@hanmail.net

착된 필립의 배향성을 조절할 수 있고 간단한 제조 공정으로 제조가 가능하다. 헤어핀 필터는 그 자체의 단점인 의사 주파수응답이 나타나는데, 의사 주파수응답을 중심 주파수로 쓰이지 않는 주파수 대역으로 보내도록 설계하였다. 그러나 이 증착법은 2가지 단점을 가지고 있다. 즉, 작은 방울생성(droplets), 파생물발생(outgrowth)이다. 타겟에서 생성되는 작은 방울들은 레이저밀도를 감소시켜 제거할 수 있고, 기판에서의 파생물들은 레이저변수, 타겟과 기판과의 거리, 온도를 변화시키므로써 감소시킬 수 있다[3][4]. 그러므로, 펄스 레이저 증착법은 고품질 박막을 생산하기 위해 적당한 기술이다. 이러한 박막위에서 미소 스트립 헤어핀 YBCO 필터를 만들었다[6]. 박막은 하나의 헤어핀과 2개의 평행공진기로 구성되어 있다. 우수한 품질의 에피택셜한 박막을 얻을 수 있고 더 낮은 온도에서도 증착이 가능한 펄스 레이저 증착법을 이용하여 YBCO 박막을 증착한다. 본 논문에서는 고온초전도 YBCO 박막을 이용하여 마이크로파 수동소자인 대역통과 필터를 구현하여 일반도체인 구리로 제작된 필터와 그 특성을 비교하여 고온 초전도 필터의 특성을 관찰하였다.

2. 실험방법

펄스 레이저 증착 시스템을 이용하여 크기 1 cm × 1 cm, MgO (100) 기판위에 우수한 성질의 YBCO 박막을 증착하였다. 355 nm 파장을 가지는 Nd:YAG 레이저를 이용하였으며 반복율은 5 Hz 였다. 타겟에 조사되는 레이저빔은 약 1.2 J/cm²의 에너지 밀도를 가지고 있다. 초점이 맞추어 조사된 레이저 빔에 의해 타겟 표면 위에서 형성된 콘의 영향을 줄이기 위하여 타겟을 DC모터로 회전을 시켰고 조작장치에 의해 수월하게 타겟의 축을 이동시켰다. 최적조건의 타겟과 기판과의 거리는 5 cm 이고, 타겟표면과 레이저 빔이 이루는 각도는 약 38° 였으며, 저항성 히터의 온도는 약 740°C, 분위기가스의 압력은 200 mtorr으로 증착하였다[7].



그림 1. 하이브리드 헤어핀 필터

Fig. 1. Hybrid hairpin-line bandpass filter

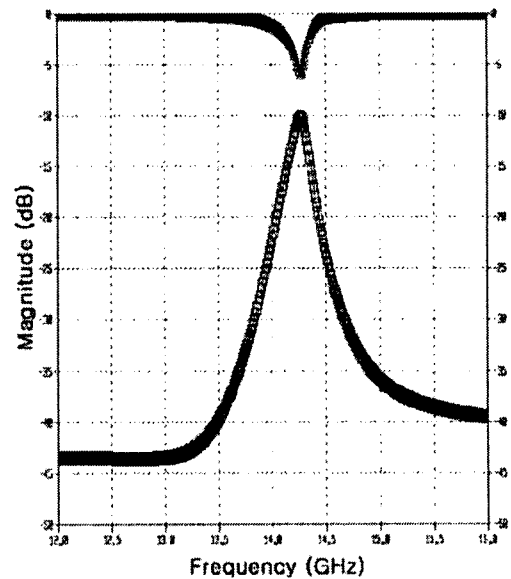


그림 2. 구리 필터의 시뮬레이션

Fig. 2. Simulated frequency response of copper filter

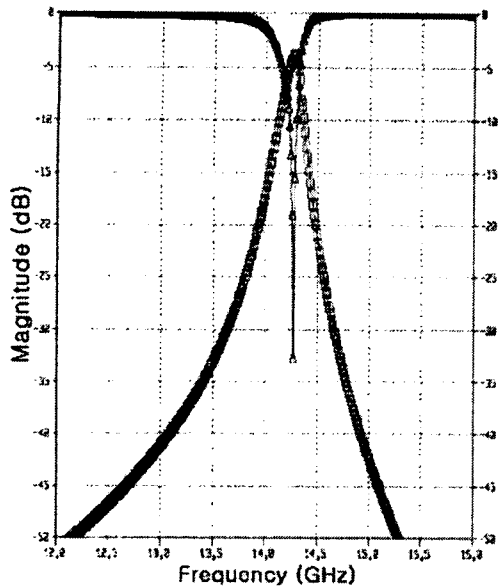


그림 3. 고온 초전도체 필터의 시뮬레이션
Fig. 3. Simulated frequency response of HTS filter

증착된 YBCO 박막을 일반적인 포토 리소그래피 법과 습식 에칭을 이용하여 패턴을 제작하였다. 기판 뒷면의 접지면은 기판과 은의 접합을 위해 먼저 E-beam 증발기를 Ti를 30 nm 증착하고 그 위에 열증발기를 이용해, Ag을 1 μm 증착하였다. 헤어핀 필터로 제작된 패턴을 그림 1에 나타내었다. 여기에서는 같은 패턴의 특성비교를 위해 구리 필터와 YBCO 필터를 제작하였다. 그림 2, 그림 3에서는 시뮬레이션 결과 구리 필터의 삽입손실과 3 dB 대역폭이 1.09 %와 -11.3 dB로 나타났고, 대조적으로 YBCO의 삽입손실과 3 dB 대역폭이 0.49 %와 -3.0 dB로 나타났다. 주파수 특성은 넷워크 어널라이저 (HP8722D)를 이용하여 분석하였고, 시뮬레이션된 주파수 응답과 실제 측정된 주파수 응답을 비교했다.

3. 결과 및 고찰

증착된 YBCO 박막의 결정성과 배향성은 XRD와 SEM에 의해 관찰하였다. 이전의 연구에 YBCO 박막은 강한 c축 배향성을 가지며 PLD의 단점들, 즉 표면 거칠기, 성장의 비대칭성들은 나타나지 않았다 [7]. 4단자법으로 측정된 박막의 임계온도 변화는 66~89 K 범위에 존재함을 알 수 있었다.

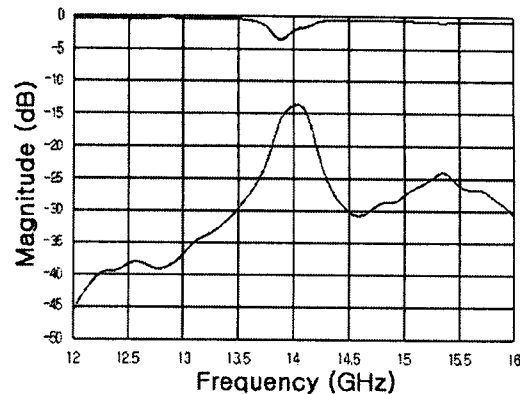


그림 4. 77 K에서 구리 필터의 주파수 응답
Fig. 4. Measured frequency response of copper filter at 77 K

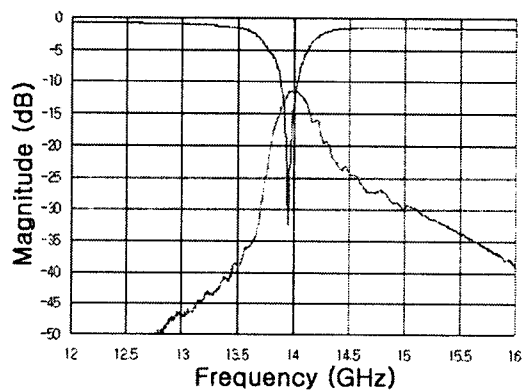


그림 5. 77 K에서 YBCO 필터의 주파수 응답
Fig. 5. Measured frequency response of YBCO filter at 77 K

500 nm 두께의 YBCO 박막을 제작하여 3극 대역통과 여파기 필터를 제작되었다. 비교를 위해 3극 평형 마이크로 스트립 타입의 구리 필터도 같은 패턴으로 제조되었다. 외부요인에 의한 영향을 제거하고 필터의 마이크로파 측정을 위해 구리 캐비티를 제작하여, 액화질소(77K)에 담가서 측정했다. 그림 4와 그림 5에 나타내 것같이 구리와 초전도 필터의 측정된 주파수 응답을 나타내었다. 구리 필터의 중심 주파수는 14 GHz로 나타났으나, YBCO 필터의 중심 주파수는 13.95 GHz로써 중심주파수가 더 낮은 주파수로 옮겨진다. 초전도체의 전파속도는 온도가 변함에 따라 결정적으로 변한다. 구리 필터의 삽입손실이 -14 dB, 3 dB 대역폭은 2.367 %, 고온 초전도체

필터의 삽입손실이 -12 dB, 3 dB 대역폭은 0.14 %, 기울기는 220 dB/GHz가 각각 측정되었다. 실험데이터는 3 dB 대역폭과 YBCO 초전도체 필터의 기울기 특성이 구리 필터에 비해 매우 우수하게 나타났다.

4. 결론

500 nm 두께의 YBCO 박막을 펄스 레이저 증착 방법으로 수정질의 MgO 기판위에 크기 1cm×1cm, 피크 (100)을 나타내게 만들었다. 3극 하이브리드 헤어핀 타입 필터들은 포토리소그래픽 법과 습식 에칭을 이용하여 마이크로파 평형 결합선형 대역 통과 필터로 제작되었다. 초전도 필터와 비교해서 구리 필터 역시 같은 패턴으로 제작되었다. YBCO 필터의 측정된 중심주파수는 13.95 GHz였고 시뮬레이션 결과와 잘 일치했다. 구리 필터와 YBCO 필터를 비교했을 때 YBCO 필터는 더 높은 선택성, 더 낮은 손실을 갖는 대역폭을 나타냈다. 실제적인 위성통신에서 초전도장치가 온도와 일치되게 제조되었을 때 더욱 효과적이다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] C.H. Chen, J. Kwo, and M. Hong, "Microstructures of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconducting thin films grown on a $SrTiO_3$ (100) substrate", *Appl. Phys. Lett.* 52 (1998)
- [2] T. Yoshitake, H. Tsuge, and T. Inui, "Effect of microstructure of $YBa_2Cu_3O_x$ films on power handing capability studied with microstrip resonators", *J. Appl. Phys.* 76 (7), p.4256 (1994)
- [3] E.K. Hollman, O.G. Vendik, A.G. Zaitsev and B.T. Melekh, *Supercond. Sci. Technol.* 7, 609 (1994)
- [4] B.F. Cole, G.C. Liang, N. Newman, K. Char, G. Zaharchuk, and J.S. Martens, "Large-area thin films on sapphire for microwave applications", *Appl. Phys. Lett.*, 61, p.1727 (1992)
- [5] Jia-Sheng Hong and Michael J, Lancaster "Cross Coupled Microstrip Hairpin-Resonator Filters," *IEEE*, Vol. 46. No. 1. (1998)
- [6] Petri Piirpnen, Juha Mallat, and Antti V. Rinen, "Cryogenic Millimeter-Wave Ring Filter for Space Allocation", *IEEE*, Vol. 46. No. 9. (1998)
- [7] Joo Hyung Park, Sang Yeol Lee "Orientation transtion in a thick laser deposited YBCO film observed by glancing angle X-ray Diffraction", *Physica C* 05223, Vol. 3, pp. 112-116 (1999)