

마이크로스트립 평행결합선을 이용한 초전도 협대역 필터의 제작

박주형*, 이상렬*, 윤형국**, 윤영중**
*연세대학교 전기공학과, **연세대학교 전파공학과

Fabrication of Superconducting Narrow Bandpass Filters with Parallel Microstrip Line

Joo Hyung Park*, Sang Yeol Lee*, Hyung Kuk Yoon**, and Young Joong Yoon**

*Dept. of Electrical Eng. Yonsei University, **Dept. of Radio Communication Eng. Yonsei University

Abstract - We have designed and developed narrow bandpass multipole filters for satellite communication using $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) thin films on MgO substrates. The superconducting film used in this study was prepared by laser ablation on one side polished MgO (100) substrates. A Nd:YAG laser was used to fabricate YBCO thin films. The wave length of the laser was 355 nm. The laser beam was focused onto a YBCO target rotating linearly to avoid deep craters that may eject macroscopic YBCO particles. The YBCO films were grown at 750 °C in the oxygen partial pressure of 200 mTorr. The deposited YBCO thin films were patterned by conventional wet-etching method. The transition temperatures of YBCO thin films were 85 - 88 K and the film thicknesses were about 5,000 Å. By comparing the performances of normal-metal filters and YBCO filters, we observed that superconducting YBCO multipole filters have been showed superior performances at 77 K.

2. 본 론

2.1 실험방법

펄스 레이저 증착 시스템을 이용하여 MgO (100) 기판 위에 5,000 Å 두께의 YBCO 박막을 증착하였다. Nd:YAG 레이저의 355 nm 파장을 이용하였으며, 반복율은 5 Hz였다. 그림 1과 같은 펄스 레이저 증착 시스템에서 타겟 표면과 레이저 빔이 이루는 각도는 45°였으며, 레이저 빔은 렌즈를 통해 집광되어 1.3 J/cm²의 에너지 밀도를 보였다. 증착에 앞서 1 cm × 1 cm 크기의 MgO 기판을 아세톤과 메탄올에서 초음파 세척기로 5분씩 세척하여 질소가스로 건조시켰다. 기판온도 750 °C, 산소압 200 mTorr에서 증착하였으며, YBCO 박막이 증착된 후, 산소압을 500 Torr로 증가시켜 500 °C까지 천천히 냉각시키고 30 분간 산소 어닐링을 행하였다.

1. 서 론

위성통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 우수한 스킨(skirt) 특성, 적은 삽입손실, 그리고 높은 전력 수용능력 등의 특성을 가진 필터가 요구된다. 그러나 마이크로파 수동소자의 성능은 특히 일반도체로 제작된 평면형 구조의 경우에 전도손실에 의하여 크게 감소된다. 이에 비해 일반도체 대신 초전도체를 사용할 경우에 더 우수한 성능을 가질 것으로 예상되고 있다. 특히, 고온초전도체는 마이크로파 수동소자로의 응용에 가장 적합하다. 고온초전도체 필터는 작은 표면저항을 갖기 때문에 일반도체의 경우 가장 문제가 되는 큰 손실이 없으며, 따라서 위성통신 시스템의 마이크로파 스트립선 필터 등의 응용에 적절하다. 이러한 초전도 박막형 필터는 작은 표면저항 뿐만 아니라 스킨 특성도 우수하고, 아주 높은 양호도(Q-factor)를 가지기 때문에 멀티플렉서와 같은 초전도 서브시스템에 구현될 수 있는 요구조건을 충분히 만족시킬 수 있다.

또한, 고품질의 위성통신용 소자를 제작하기 위해서는 고온초전도 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) 박막을 에피택셜하게 증착하는 기술을 확보해야 한다. 이를 위하여 다른 박막 증착법에 비하여 더 용이하게 더 우수한 품질의 에피택셜한 박막을 얻을 수 있으며, 상대적으로 더 낮은 증착 온도에서도 증착이 가능한 펄스 레이저 증착법을 이용하여 YBCO 박막을 증착한다. 본 논문에서는 고온초전도 YBCO 박막을 이용하여 협대역을 가지는 마이크로파 수동소자인 대역통과 필터를 구현하여 일반도체인 구리로 제작된 필터와 그 특성을 비교하여 고온초전도 필터의 특성을 관찰하고자 한다.

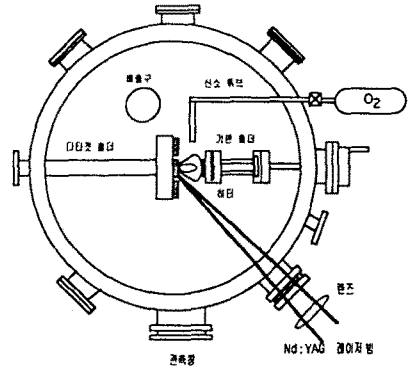


그림 1. 펄스 레이저 증착시스템

YBCO 박막은 일반적인 4단자법을 이용하여 전기적 특성이 측정되었으며, X-ray diffraction(XRD)를 이용하여 배향성이 관찰되었다. 이렇게 만들어진 YBCO 박막은 일반적인 포도 리소그래피 법과 습식 에칭을 이용하여 마이크로파 스트립선 협대역 필터로 제작되었다. 제작된 필터는 네트워크 어널라이저(HP8510C)를 이용하여 주파수 특성을 분석하였다.

2.2 결과 및 고찰

YBCO 초전도 박막의 임계온도는 4 단자 측정법으로 측정되었으며, 박막의 배향성은 XRD로 분석하였다. 그림 2는 YBCO/MgO 박막의 온도에 따른 저항의 변화를 측정된 것으로 임계온도는 88 - 89 K를 보였다.

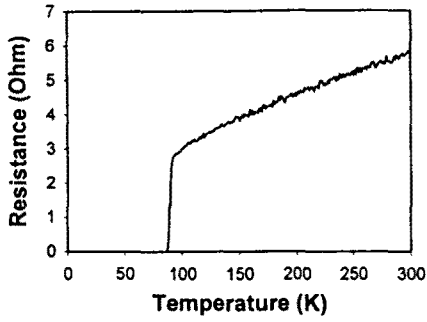


그림 2. 온도 대 저항 측정 결과

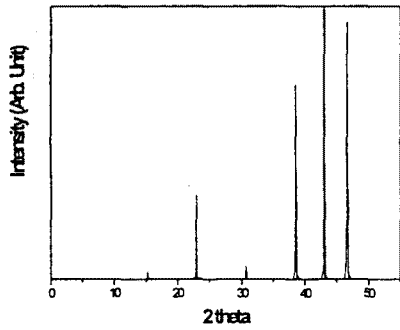


그림 3. 증착된 5000 Å 두께의 고온초전도 YBCO 박막

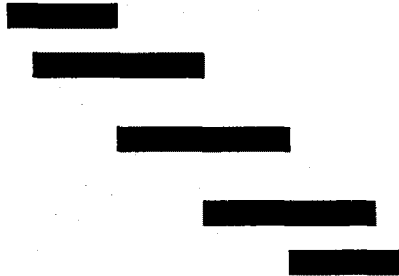
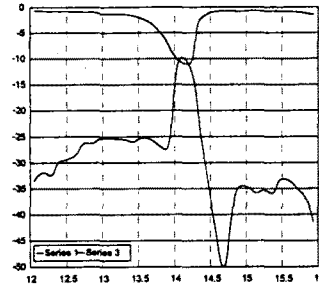


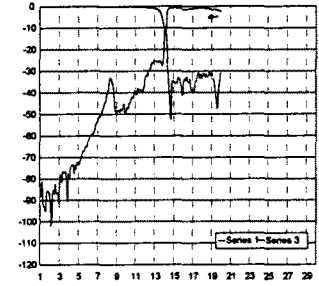
그림 4. 제작된 대역통과 여파기의 패턴

그림 3은 750 °C, 200 mTorr에서 증착된 1 μm 두께의 YBCO 박막에 대한 XRD 패턴을 보이고 있다. 그림에서 보듯이 YBCO 박막이 단일한 축 배향성을 가지고 c축으로 잘 성장하였음을 알 수 있다. 따라서 이와 동일한 조건에서 동일한 두께로 우수한 박막을 증착하여 수동소자 제작에 응용하였다.

그림 4는 제작된 YBCO 3극 대역통과 여파기의 모습이다. YBCO 대역통과 여파기는 그림과 같이 2극, 3극 필터가 각각 제작되었다. 그림 5는 일반 도체인 구리로 제작된 3극 대역통과 여파기의 특성을 보여주고 있다. 그림 6은 동일한 spec.의 YBCO 3극 대역통과 여파기를 제작하여 65K에서 그 주파수 특성을 알아본 것이다.

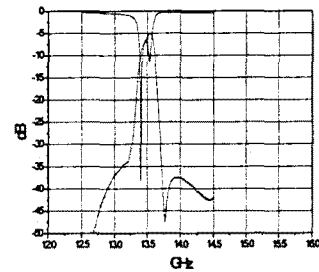


(a) 협대역 특성

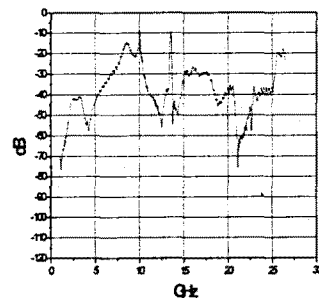


(b) 광대역 특성

그림 5. 구리로 제작된 3극 대역통과 필터의 주파수 응답특성 측정결과



(a) 협대역 특성



(b) 광대역 특성

그림 6. YBCO로 제작된 3극 대역통과 필터의 주파수 응답특성 측정결과

이러한 평행결합선형 2극, 3극의 대역통과 필터의 저온 마이크로파 주파수 응답특성을 측정하기 위하여 벡터네트워 어널라이저와 함께 특수하게 설계, 제작한 3-성분 캐비티를 이용하였다.

77 K일때의 중심주파수는 약 13.5 ~ 13.7 GHz로서 시뮬레이션 결과에 비하여 약 700 MHz 정도의 오차를 보였다. 이는 온도에 따른 초전도 박막의 인덕턴스 변화에 의해 공진주파수 변이가 발생하기 때문이라고 예측된다. 65 K에서 측정된 결과 고온초전도 2극 필터의 경우 3 dB 대역폭이 1.07 %, 3극 필터의 경우, 1.27 %로서 극히 협대역을 가짐을 확인하였다. 그리고 고온초전도 2극 필터의 경우 삽입손실이 -3.87 dB였으며, 3극 필터의 경우는 -5.01 dB가 측정되었다.

3. 결 론

레이저 어블레이션을 이용하여 단일 성장축을 가진 5,000 Å 두께의 YBCO 박막을 증착하였다. 증착온도는 750 °C 였으며, 200 mTorr의 산소분압 하에서 증착되었다. 증착된 박막은 일반적인 포토 리소그래피 법과 습식 에칭을 이용하여 마이크로파 평행결합선형 대역통과 필터로 제작되었다.

2극과 3극의 평행결합선형 대역통과 필터를 제작한 결과 2극 필터의 경우 3 dB 대역폭이 1.07 %, 3극 필터의 경우, 1.27 %로서 극히 협대역을 가짐을 확인하였으며, 각각의 삽입손실은 2극 필터의 경우, -3.87 dB와 3극 필터의 경우, -5.01 dB가 각각 측정되었다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구비 지원에 의한 결과임. (과제번호 : 96-0102-08-01-3)

[참 고 문 헌]

- [1] S.Y. Lee, Q.X. Jia, W.A. Anderson, and D.T. Shaw, "In situ laser deposition of superconducting YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films on GaAs substrates", *J. Appl. Phys.*, 70, p.7170, 1991
- [2] S.Y. Lee, K.Y. Kang, and D. Ahn, "Fabrication of YBCO superconducting dual mode resonator for satellite communications", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 5, p.2563, 1995
- [3] 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
- [4] C.H. Chen, J. Kwo, and M. Hong, "Microstructures of YBa₂Cu₃O_{7-x} superconducting thin films grown on a SrTiO₃ (100) substrate", *Appl. Phys. Lett.* 52, p.841, 1988
- [5] J.D. Budai, R. Feenstra, and L.A. Boatner, "X-ray study of in-plane epitaxy of YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films", *Phys. Rev. B* 39, p.12355, 1989
- [6] D.M. Hwang, T. Venkatesan, C.C. Chang, L. Nazer, X.D. Wu, A. Inam, and M.S. Hegde, "Microstructure of in situ epitaxially grown superconducting Y-Ba-Cu-O thin films", *Appl. Phys. Lett.* 54, p.1702, 1989
- [7] B.M. Clements, C.W. Nieh, J.A. Kittl, W.L. Johnson, J.Y. Josefowicz, and A.T. Hunter, "Nucleation and growth of YBaCuO on SrTiO₃", *Appl. Phys. Lett.* 53, p.1871, 1988
- [8] T. Yoshitake, H. Tsuge, and T. Inui, "Effect of microstructure of YBa₂Cu₃O_x films on power handling capability studied with microstrip resonators", *J. Appl. Phys.* 76 (7), p.4256, 1994