

초전도 YBCO 필터의 중심 주파수 변화 연구

송석천, 이상열
연세대학교 전기전자공학과

A Study on the Shift of Center Frequencies of Superconducting 14 GHz YBCO Filters

Seok-Cheon Song, Sang Yeol Lee
Department of Electronic and Electrical Engineering, Yonsei Univ.

Abstract - 고온 초전도 YBCO 박막을 Nd:YAG 레이저를 이용하여 MgO 기판에 증착시켰다. 박막을 마이크로스트립형 통신소자로 제작하기 위해 포토리스그래피 방법으로 습식 에칭을 시켰다. 제작된 박막에 접지면을 입히기 위해 스퍼터링 방식으로 Ti 층을 30 nm 증착하고, 열 증발기로 Ag를 2 μm 정도로 증착을 시켰다. 소자의 주파수 응답을 측정하기 위해 캐비티를 제작하여 측정하였다. 제작된 필터의 중심 주파수는 14 GHz이다. 박막을 냉각시키며 그 중심 주파수를 측정하여 임계 온도를 측정할 수 있었다. 필터는 두 가지 디자인을 이용하였으며, 임계 온도에서의 중심주파수가 일정하게 이동함을 관찰할 수 있었다.

이저 증착 시스템에서 타겟 표면과 레이저빔이 이루는 각도는 38° 였으며, 일반적으로는 45° 를 이루어진 시스템이 최적이지만 히터 블록을 고려하여 38° 정도로 맞추었다. 조사된 레이저의 에너지 밀도는 약 1.2 J/cm² 이다. 기판으로는 1 cm × 1 cm 크기의 MgO 물질을 사용하였고 표면의 청결을 위해 아세톤과 메탄올에서 초음파 세척기로 1분씩 세척하여 질소가스로 건조시켰다. 산소압 200 mTorr에서 증착하였으며, YBCO 박막이 증착된 후, 산소압을 500 Torr 이상으로 증가시켜 500 °C까지 천천히 냉각시키고 30 분간 산소 후 열처리를 했다.

박막의 전기적인 특성을 분석하기 위해 크라이오제닉 쿨러를 이용하여 임계온도를 측정하였고 그 결과 약 88K의 임계온도를 가짐을 확인하였다.

1. 서 론

폭증하는 전파 수요에 대처하고 높은 효율을 얻기 위해 한정된 주파수 자원이 적극적으로 개발 활용되고 있다. 이를 위한 기존의 필터들은 많은 한계상황에 도달한 상태이므로 다른 물질의 개발이 필수적인 상태에 이르렀다. 통신 분야에서 고온초전도체의 이용은 초전도체의 독특한 특성으로 무선통신, 개인휴대 통신, 위성통신 등의 소형, 경량화는 물론 가역주파수 대역이 점차적으로 높아가고 있는 실정에서 초전도체의 이용이 임지를 굳히고 있다. 이미 선진국에서는 개인 휴대통신의 기지국에 초전도체를 이용한 필터뱅크가 적용이 되고 있다. 초전도 수동 소자(안테나, 필터, 멀티플렉서)들은 기존의 물질들에 비해 낮은 표면저항으로 인하여 낮은 손실과 높은 양호도를 가진다. 그러므로, 우수한 특성을 나타내는 마이크로파 응용소자에 매우 적절하고 더욱이 고온초전도체인 YBa₂Cu₃O_{7-x} (YBCO) 박막은 높은 임계온도를 가지기 때문에 액체질소 온도에서 소자로서의 실용화가 기대된다.

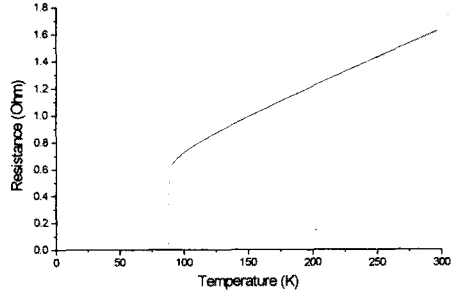
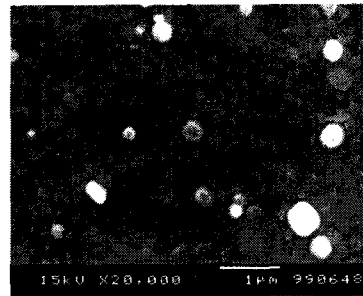


그림 1. 온도대 표면저항 그래프

제작된 박막의 두께를 SEM으로 촬영한 결과 평균 크레인 크기는 0.3 μm였고, 두께는 5000 Å 정도였다 [5].

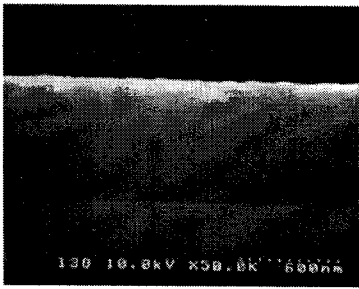


(a)

2. 본 론

2.1 제작

펄스 레이저 증착 시스템을 이용하여 MgO (100) 기판 위에 5,000 Å 두께의 YBCO 박막을 증착하였다. Nd:YAG 레이저의 삼차 고조파 355 nm 파장을 이용하였으며, 반복율은 5 Hz였다. 그림 1과 같은 펄스 레



(b)

그림 1 YBCO 박막의 (a) 표면과 (b)단면의 SEM 영상

YBCO 박막을 일반적인 포토리소그래피법과 습식 에칭을 이용하여 마이크로스트립 형태역 필터로 제작하였다. MgO 기판의 뒷면의 접지면은 열 증발기를 이용해 은을 증착하여야 하는데, 은과 MgO 기판간의 접착력이 좋지 않기 때문에 버퍼층을 스퍼터링 증착법으로 Ti를 30 nm 성장시켰다. 은(Au)은 열 증발법으로 약 2000 nm의 두께로 도포하였다

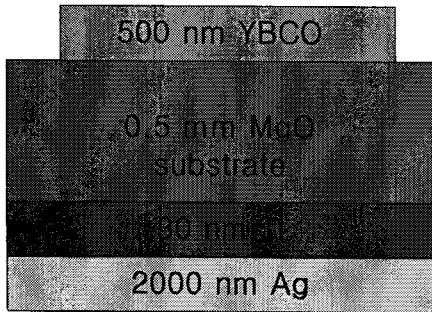


그림 2. YBCO 통신소자의구조

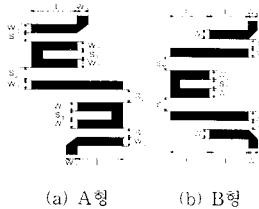


그림 3. 헤어핀형 3극 필터

그림 3은 헤어핀 형태로 제작된 필터이다. 전체 폭은 1 cm로 기판 크기에 맞는 3극을 사용하였다. 각각은 중심주파수를 14 GHz를 목표로 제작하였다.

2.2 측정

제작된 HTS 형태역 필터의 마이크로웨이브 측정을 위해 캐비티를 제작하여 HP-8722D 벡터 네트워크 어널라이저로 측정하였다. 캐비티는 구리로 제작이 되었으며 외부의 고주파 영향을 줄이기 위해 사용하였다.

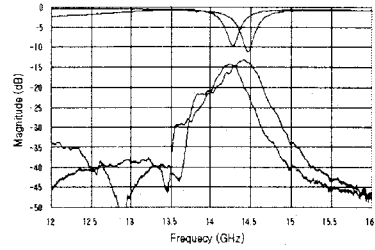


그림 4 패턴 A의 중심주파수 변화

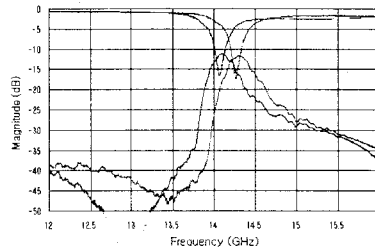


그림 5 패턴 B의 중심주파수 변화

설계한 필터의 중심 주파수는 14 GHz이고 간격은 사용하는 주파수의 $\lambda/4$ 가 되도록 설계하였다.

그림 4와 5는 입출력단의 S_{11} (위쪽), S_{21} (아래쪽) 크기를 나타낸 것으로, S_{11} 의 최하단과 S_{21} 의 최상단이 만나는 점이 중심주파수이다. 각각의 패턴의 중심주파수 이동을 살펴보면 전이 구간(88~89K)에서의 중심 주파수는 A형이 약 14.95 GHz이고 B형은 약 14.53 GHz이다. 77K에서는 A형이 약 14.55 GHz이고 B형은 약 14.18 GHz이다.

상온에서는 거의 전달되는 파가 없다가 임계 온도 이하에서 필터링이 된다. 그림 3과 4의 결과에서 보면 초전도체는 온도에 따라 민감하게 중심주파수가 이동하게 된다. 그 이유는 초전도체의 캐피태 인덕턴스가 온도에 따라 증가하여 공진주파수에 변화를 주기 때문이고 또한 기판과 박막의 열팽창계수가 일치하지 않아 일부에서 초전도 상태가 깨질 수 있기 때문이다(6-8).

각각의 필터 모두 전이온도와 77K에서 중심주파수의 변화를 나타냈고, 그 변화폭은 각각 0.38 GHz, 0.37 GHz였다. 따라서 임계 온도와 높고 전이 구간이 길지 않은 고품질 박막이 요구된다.

3. 결 론

펄스 레이저 증착법을 이용하여 초전도 마이크로파 소자를 제작하여 그 중심주파수 이동을 관찰하였다. 제작된 소자는 14 GHz의 중심주파수를 가지는 헤어핀 형태로 제작되었으며, 전이 온도 구간과 액체질소 온도 77K에서의 중심주파수를 비교하였다. 제작된 두 박막은 실제 측정된 결과 그 중심 주파수는 달랐지만 중심주파수의 변화는 0.38, 0.37 GHz로 비슷하였다. 위와 같이 마이크로 스트립 형태로 제작된 필터의 경우 온도에 따라 중심 주파수가 약간씩 틀려지므로 온도를 약간씩 조절하여 중심주파수를 정확하게 조절할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 연세대학교 교내연구비 과제번호

2000-1-0104에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

- [1]. Akira Enokihara and Kentaro Sesun. "5-GHz Hi-Tc Superconducting Microstrip Bandpass Filter of Miniaturized Configuration", Journal of superconductivity, Vol. 10, No. 1, 1997.
- [2]. S. Jerry Fiedziuszko, John A. Curtis, Stephen C. Holme, and Raymond S. Kwok. "Low Loss Multiplexers with Planar Dual Mode HTS Resonators", IEEE, Vol. 44, No. 7, 1996.
- [3]. Petri Piirpnen, Juha Mallat, and Antti V. Räisänen. "Cryogenic Millimeter-Wave Ring Filter for Space Allocation", IEEE, Vol. 46, No. 9, 1998)
- [4] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster "Cross Coupled Microstrip Hairpin -Resonator Filters," IEEE, Vol. 46, No. 1, 1998.
- [5] T. Dahm, D. J. Scalapino, and B. A. Willemsen. "Phenomenological Theory of Intermodulation in HTS Resonators and Filters", Journal of Superconductivity, Vol. 12, No. 2, 1999.
- [6] Y.S. Jeong, J.H. Park, and S.Y. Lee, "Epitaxial growth of YBCO on Hastelloy with YSZ buffer layer by laser ablation", Thin Solid Film Vol. 318, pp. 262-264, 1998.
- [7] Z.Y. Shen, High-temperature superconducting microwave circuits, Artech House, p. 106, 1994.
- [8] Hyung Kuk Yoon, Young Joong Yoon, Joo Hyung Park and Sang Yeol Lee, "Hairpin-line/ Half-wave Parallel-coupled-line Narrowband Bandpass Filters Using High Temperature Superconducting Thin Films", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, NO. 2, 1999