

레이저 어블레이션에 의한 초전도 이중모드 공진기 제작

Fabrication of Superconducting Dual Mode Resonator using Laser Ablation

박주형, 양승호, 이상렬, 안달, 석중현
(Joo-Hyung Park, Seung-Ho Yang, Sang-Yeol Lee, Dal Ahn, Jung-Hyun Sok)

Abstract

Dual mode resonators were fabricated using high temperature superconductor. The deposited material was $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) on MgO(100) substrate using pulsed laser deposition. Dual mode resonators were patterned by standard photolithography process and wet etching. At the back-side of the substrate, the ground plane with the metal layer of Ti and Ag was fabricated. The transition temperatures of YBCO films were 85-88 K, and network analyzer was used for testing the performance of the resonators. The input/output feedline angles of each resonator were 60° and 100° . The resonant frequency of resonators was 10 GHz. In this paper, dual mode resonator was fabricated for the application of satellite communication.

Key Words(중요용어) : pulsed laser deposition(펄스레이저 증착법), superconducting thin film(초전도 박막), YBCO, dual mode resonator(이중모드 공진기)

1. 서론

마이크로파를 이용하는 통신이 중요성을 더해감에 따라 일반 금속을 이용하던 여러 부분에 대해서 초전도체로의 대체를 연구하고 있다. 위성통신용 필터는 효율적인 전파전파를 위해서 매우 작은 손실을 가져야 하고, 제한된 주파수 영역을 이용하기 위해서는 협소한 대역폭을 가지는 것이 중요하다.¹⁾ 고품질의 필터 응용을 위해서는 고품질의 공진기가 제작되어야 한다. 마이크로스트립 이중모드 구조는 안정된 주파수 응답과 매우 좁은 대역폭을 갖는 필터가 요구하는 조건을 만족한다.²⁾

마이크로파 영역에서 초전도체는 일반 금속보다 낮은 표면저항을 가진다.³⁾ 그로 인하여, 초전도체로 제작된 공진기나 필터 등의 전송선소자는 일반 금속에 비하여 낮은 손실과 높은 양호도를 가진다.

그러므로, 더 우수한 특성을 나타내는 초전도 박막 소자 기술은 마이크로파 응용에 매우 적절하고, 더욱이 고온초전도체인 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) 박막은 높은 임계온도를 가지기 때문에 액체질소 온도에서 소자로서의 실용화가 기대된다.

고품질의 위성통신용 소자를 제작하기 위해서는 먼저 고온초전도 YBCO 박막을 에피택셜하게 증착하는 기술을 확보해야 한다. 다른 박막 증착 기술들이 YBCO를 증착하는데 성공적이었지만, 펄스 레이저 증착법은 다른 기술보다 쉽게 에피택셜한 박막을 얻을 수 있고, 다른 증착방식들에 비하여 낮은 증착온도를 갖기 때문에 더 우수한 품질의 YBCO 박막을 증착할 수 있는 것으로 알려져 있다.⁴⁾

이 논문에서는 고온초전도 YBCO 박막을 이용하여 마이크로파 수동소자인 이중모드 공진기를 제작하여 주파수 응답을 측정함으로써 공진기 구조변화에 따른 특성 변화를 관찰하고자 한다.

2. 실험방법

MgO(100) 기판 위에 5000 Å의 YBCO 박막을 증착시키기 위해 그림 1과 같은 펄스 레이저 증착 시스템을 이용하였다. 355 nm 파장을 가지는 Nd:YAG 레이저를 사용하였고, 반복율은 5 Hz였다. 증착된 박막의 전기적특성과 표면특성을 통하여 기

판온도(750 °C), 산소분압(200 mTorr), 타겟-기판간의 거리(5 cm), 타겟 표면에서 에너지 밀도(1.3 J/cm²)의 최적증착 조건을 도출하였다.

최적 조건하에서 증착된 고온초전도 YBCO 박막의 임계온도는 85-88 K 정도였고, x-ray diffraction(XRD)를 이용하여 박막의 배향성이 관찰됐다. 기판의 뒷면에는 Ti 와 Ag의 금속층을 증착하여 접지평면을 제작하였다. 이렇게 만들어진 YBCO 박막은 일반적인 포토리소그래피법과 습식 에칭을 이용하여 이중모드 공진기가 패터닝되었고, 벡터 네트워크 어널라이저(HP8510C)로 주파수 특성을 분석하였다.

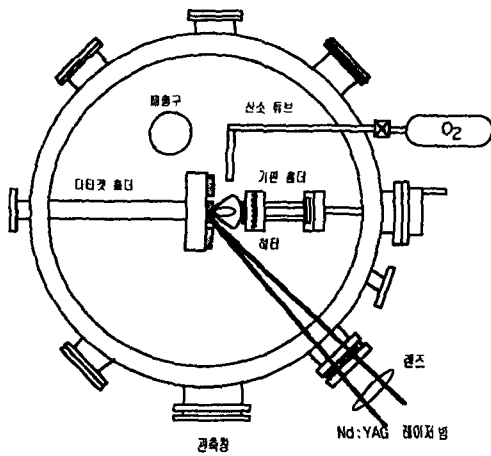


그림 1. 펄스 레이저 증착 시스템
Fig. 1. Pulsed laser deposition system

3. 결과 및 고찰

펄스 레이저 증착법으로 제작한 YBCO/MgO 초전도 박막은 일반적인 4단자법을 이용하여 전기적 특성이 관찰되었다. YBCO 박막의 임계온도는 그림 2와 같이 85-88 K를 보였다.

그림 3은 최적조건에서 증착된 5000 Å 두께의 고온초전도 YBCO 박막에 대한 XRD 패턴을 보이고 있다. 이 패턴으로부터 YBCO 박막이 a축 성장이 없는 단일축 배향성을 가지고 c축으로 성장하였음을 확인할 수 있었다.

그림 4는 패터닝 이중모드 고리형 공진기의 모습이다. 이 그림은 실제로 마스크 제작시에 사용된 패턴을 형상화한 것이다. (a)는 고리형공진기의 입출력 단자 사이의 각도가 60° 인 경우이고, (b)는 입출력 단자 사이의 각도가 100° 인 경우를 보여준다.

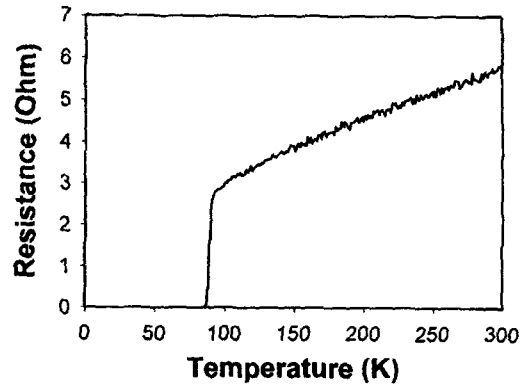


그림 2. 온도 대 저항 측정결과
Fig. 2. R(T) measurement

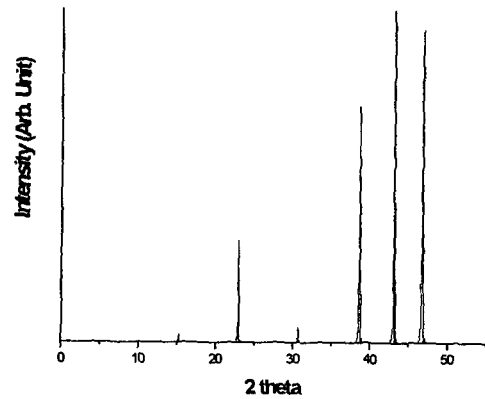


그림 3. YBCO 박막의 XRD 패턴
Fig. 3. XRD pattern of YBCO thin film

그림 5는 c축으로 단일 축 배향성을 가지고 5000 Å 두께로 증착된 YBCO 박막으로 앞서 언급한 2가지 종류의 이중모드 고리형 공진기를 제작하여 주파수 특성을 측정된 결과이다. 저온 마이크로파 응답특성을 측정하기 위하여 벡터 네트워크 어널라이저와 특수하게 설계, 제작한 3-성분 캐비티를 이용하였다.

77K일 때의 중심주파수는 8.5 GHz로서 시뮬레이션 결과에서 중심주파수가 10 GHz로 나타난 것에 비해 약 1.5 GHz 정도의 변이가 있었다. 이는 온도에 따른 초전도 박막의 인덕턴스 변화에 의해 공진 주파수 변이가 발생하기 때문이라고 예측된다. 입출력 단자 사이의 각도가 60° 인 경우 삽입손실이 -3.5 정도로 관찰되었고, 100° 인 경우 -4.5 정도로 관찰되었다. 대역폭은 각각 100 MHz, 87 MHz임

을 알 수 있었다.

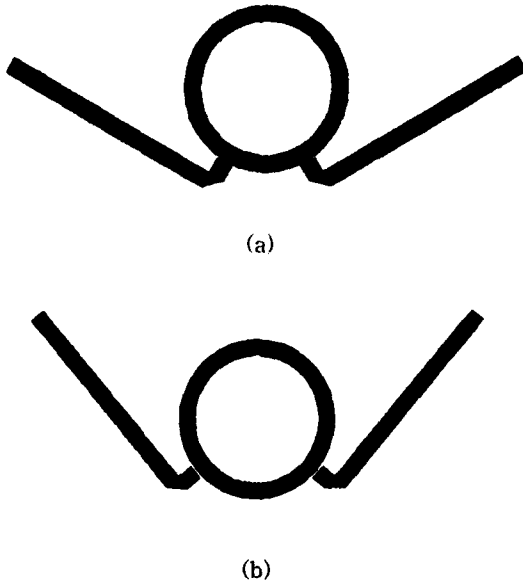


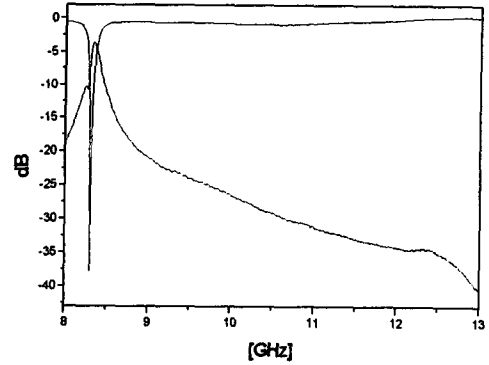
그림 4. (a) 입출력단자의 각도가 60° 인 이중모드 공진기의 개략도
(b) 입출력단자의 각도가 100° 인 이중모드 공진기의 개략도

Fig. 4. (a) Schematic diagram of dual-mode resonator with input/output angle of 60°
(b) Schematic diagram of dual-mode resonator with input/output angle of 100°

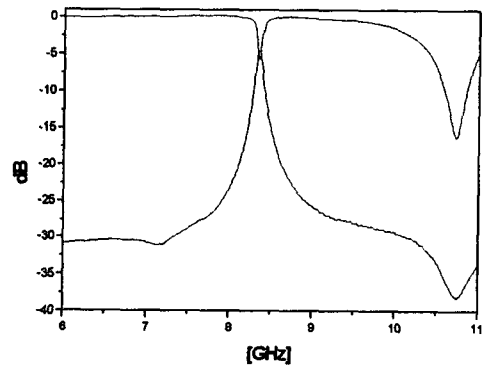
4. 결론

펄스 레이저 증착법에 의해서 고온초전도 YBCO 박막을 에피택셜하게 증착하였고, 전기적 특성과 단일축 배향성이 좋은 특성을 가진 박막이 증착되었음을 확인하였다.

증착된 박막은 중심주파수가 10 GHz인 이중모드 공진기로 패턴되었다. 입출력 단자의 각도를 변화시켜 제작된 공진기의 주파수 특성을 측정한 결과 8.5 GHz의 공진주파수와 각각 100 MHz, 87 MHz의 대역폭을 갖는 공진기를 구현할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 5. (a) 입출력단자의 각도가 60° 인 이중모드 공진기의 주파수 응답
(b) 입출력단자의 각도가 100° 인 이중모드 공진기의 주파수 응답

Fig. 5. (a) frequency response of dual-mode resonator with input/output angle of 60°
(b) frequency response of dual-mode resonator with input/output angle of 100°

감사의 글

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

참고 문헌

1. S.Y. Lee, K.Y. Kang, E.H. Lee, and D. Ahn, "High-Temperature Superconducting Dual-Mode Resonator on (100) MgO Substrate", J. Appl. Phys. Vol. 8, No. 2, p. 227, 1995
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. J.P. Hong and J.S. Lee, "Performance of microstrip bandpass filters using high- T_c superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films on $LaAlO_3$ ", Appl. Phys. Lett. 68 (21), p. 3034, 1996
4. F. Goerke, A. Thorns, and U. Merkt, "Laser deposition of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ films on MgO(100) at 100 mm target-substrate distance and oxygen pressures below 0.1 mbar" Applied Surface Science. 96-98, p. 708, 1996