

논문 15-6-12

## 마이크로파 소자응용을 위한 YBCO 박막의 두께 및 증착온도에 관한 특성연구

### Thickness and Orientation Effect on the YBCO Thin Films For Microwave Device Applications

전희석, 허창희, 한경보, 전창훈, 이상열\*

(Hee Sauk Jhon, Chang Hoi Hur, Kyoung Bo Han, Chang Hoon Jeon, and Sang Yeol Lee\*)

#### Abstract

The effect of the superconducting film thickness on the surface resistance has been investigated. Superconducting YBCO thin films have been grown on MgO substrates by pulsed laser deposition. The dependence of the orientation of YBCO film on thickness has been investigated by X-ray diffraction technique. X-ray diffraction indicated that the film orientation was changed by increasing the film thickness and by changing the substrate temperature. The microwave properties of the films with mixed orientations of a-axis and c-axis will be reported for the applications of microwave devices.

**Key Words** : YBCO, Superconducting, PLD, Orientation, Grain

#### 1. 서론

위성통신 및 이동통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해서 여러 가지 방법이 쓰이고 있으며, 현재 이러한 microwave 소자 제작에 있어서 일반도체로 제작되어지고 있는 실정이다. 그러나, 일반도체로 제작된 마이크로파 소자의 성능은 마이크로스트립 구조의 경우에 전도손실에 의하여 크게 감소된다. 이에 비해 일반도체 대신 초전도체를 사용하면 표면저항이 0에 가까워서 전도손실을 줄일 수 있다[1,2]. 특히, 저온초전도체보다 고온초전도체를 이용하면 적용 온도 범위가 더 넓어서 작동 온도가 충분히 낮은 위성통신 시스템의 마이크로파 스트립선 필터 등의 응용에 적절하다고 판단된

다. 이러한 초전도, 박막형 소자는 작은 표면저항 뿐 아니라 아주 높은 양호도(Q-factor)를 가지기 때문에[3] 한정된 전파 자원을 효과적으로 이용할 수 있게 해준다. 이러한 고품질의 마이크로파 소자를 고온초전도 박막을 에피택셜하게 증착하는 기술을 확보하는 것 또한 중요하다. YBCO 박막을 성장시키게 되면 먼저 일정 두께까지는 c-축으로 성장하게 되며 일정 두께 이상일 때는 a-축과 c-축이 혼재되는 현상이 발생하게 되고, 일반적으로 c-축으로 에피택셜하게 성장한 박막이 a-축과 c-축이 혼재된 박막보다 그 특성이 훨씬 우수하다고 보고되고 있다[4]. YBCO의 물리적 특성은 그 성장 방향에 따라 그 특성이 차이가 있기 때문에 이러한 혼합된 성장 방향은 YBCO 박막의 전기적 특성 및 표면 상태에 큰 영향을 끼친다. 즉 이러한 바람직하지 않은 혼합된 결정입자 경계에 의하여 YBCO 박막의 표면저항이 증가하게 되어 최대 전류밀도를 제한하게 되고, 거친 박막표면을 형성하게 되어 성공적인 디바이스 응용에 영향을 미치는

\* : 연세대학교 전기전자공학과  
(서울시 신촌동 134,  
Fax : 02-364-9770  
E-mail : sylee@yonsei.ac.kr)

2001년 11월 23일 접수, 2001년 12월 26일 1차 심사 완료  
2002년 3월 7일 최종 심사 완료

것이다. 또한 기판의 증착온도가 증가할수록 증착되는 원자들의 에너지가 증가되면서 보다 양질의 박막을 성장시킬 수 있게 된다. 그러므로 에피택셜 박막의 두께와 증착온도에 따른 결정입자의 방향성에 대한 연구는 성공적 디바이스 응용에 있어서 필수적인 사항이다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

펄스 레이저 증착 시스템을 이용하여 MgO(100) 기판 위에 500 ~ 2000 nm 두께의 YBCO 박막을 증착하였다[7]. Nd:YAG 레이저의 3차 고조파인 355 nm 파장을 이용하였으며, 반복율은 5 Hz였다. 조사된 레이저의 에너지 밀도는 약 1.2 J/cm<sup>2</sup> 이다. 기판으로는 1 cm × 1 cm 크기의 MgO 물질을 사용하였고 표면의 청결을 위해 아세톤과 메탄올에서 초음파 세척기로 2분씩 클리닝을 한 후 DI(De-ionized)용액을 이용하여 마지막 세척을 하고 질소가스로 건조시켰다. 타겟은 박막 증착 전에 항상 거칠기 1000의 사포를 이용하여 갈아서 평탄화 시킨 후에 타겟 홀더에 부착시켰다. 산소압 200 mTorr에서 증착하였으며, 증착온도는 700 ~ 750°C로 변화시켜 가면서 박막을 증착하였다. 또한 증착 두께를 1 $\mu$ m에서 1.5 $\mu$ m까지 변화시키기 위해서 증착 시간을 14초에서 21초로 각각 변화시켰다. YBCO 박막이 증착된 후, 750°C인 기판온도를 500°C까지 천천히 냉각시키고 30분간 500torr인 산소분위기 상태에서 후열처리를 실시하였다. 본 실험에서는 증착된 YBCO박막들에 대한 주파수 특성을 파악하기 위해서, 매우 간단한 구조이면서 제작과 해석

이 쉬운 Ring resonator를 사용하였다[6]. 증착된 YBCO 박막들에 의한 대한 주파수특성을 파악하기 위해서, 매우 간단한 구조이면서도 제작과 해석이 쉬운 Ring resonator를 사용하였다. 그림 1은 MgO 기판위에 증착되어진 stripline Ring resonator의 패턴화된 모습으로써, photolithography wet-etching 방법을 이용하여 제작된 것이다. 실험에서 XRD는 박막의 결정구조를 알아보기 위하여 사용하였으며 RIGAKU 사의 X선 회절기를 이용하였으며 사용한 X-ray는 Cu-K $\alpha$  line( $\lambda$ = 0.15405 nm)이다. 전기적인 특성의 측정을 위해 표준 4단자법을 사용하였으며 크라이오칼러 모델을 사용하여 박막의 임계온도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

YBCO 박막의 구조적 특성과 결정성을 알아보기 위하여 X-ray 회절패턴(XRD : X-ray Diffraction)을 조사하였다[5]. 측정된 XRD 결과가 그림 2에 나타나 있다. 정리된 XRD 결과에서 알 수 있듯이 두께를 변화시킴에 따라서 방향성의 전이가 관찰되었다. 즉 750°C에서 증착된 박막의 경우 그림에서 보여주는 결과와 마찬가지로 (001) 피크에서부터 (006) 피크에 이르기까지 양질의 박막임을 확인시켜주는 (00 $l$ ) 피크만 관찰되고 있음을 알 수 있었다.이로부터 750°C에서 1.5 $\mu$ m 두께로 성장된 박막은 c축으로 단일한 방향성을 가지고 잘 성장되었음을 확인 할 수 있다. 그러나 같은 두께인 박막이라 할지라도 온도가 상대적으로 낮은 700°C의 경우에도 역시 혼합된 방향성을 의미하는 a축 성장 피크인 (200) 피크가 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

이와 같이 박막의 두께가 증가함에 따라 박막의 배향성이 c축 단일 성장에서 혼합된 적층성장으로 변하는 경향성을 보이는 메커니즘을 보이고 있다. 이러한 관찰로부터 같은 두께의 박막이라고 할지라도 온도를 더 증가시켜줌에 따라 단일한 방향성을 가지고 성장할 것임을 예측할 수가 있었다. 또한 비록 상대적으로 낮은 온도인 700°C일지라도 1000 nm까지는 c축 방향으로 단일 배향성을 가지고 성장함을 확인하였고, 750°C에서는 1500Å의 두께까지는 c축 방향으로 단일 배향성을 가지고 성장함을 알 수 있다. 그림 3은 MgO 기판상 YBCO 박막의 온도 대 저항의 그래프를 도시한 그림이다. 그림에서 보이는 것처럼 동일한 온도 하에서 박막

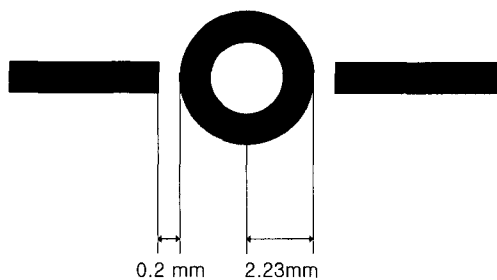


그림 1. MgO 기판위에 증착된 Ring-resonator.  
Fig. 1. Ring-resonator fabricated with YBCO thick film on MgO substrate.

의 두께가 증가할수록 임계온도는 점점 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 동일한 두께일 때에는 박막의 증착시 기판온도가 높을수록 임계온도는 증가하는 경향을 보였다. 이는 그림 1의 박막의 구조적 특성의 변화와 같은 경향을 보였다. 따라서 박막의 배향성이 c축 단일 성장한 박막의 임계온도는 높은 값을 가지는데 비하여 배향성이 혼합된 박막에서는 단일 성장한 박막에 비하여 임계온도 값이 현저히 저하되는 것을 확인할 수 있다. 같은 온도

에서 증착되어 질 때 YBCO 박막의 두께가 증가할수록 박막의 결정성은 저하되었으며 이에 따라 임계온도도 85K에서 77.5K로 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 4는 각기 다른 온도에서 증착되어진 두께 1000 nm를 갖는 ring resonator의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 결과적으로 750°C에서 증착된 박막이 700°C에서 증착된 박막에 비해 높은 선택특성을 갖음을 확인되었고, 이로 인하여 resonator의 특성이 더욱 향상되었음을 관찰할 수 있었다.

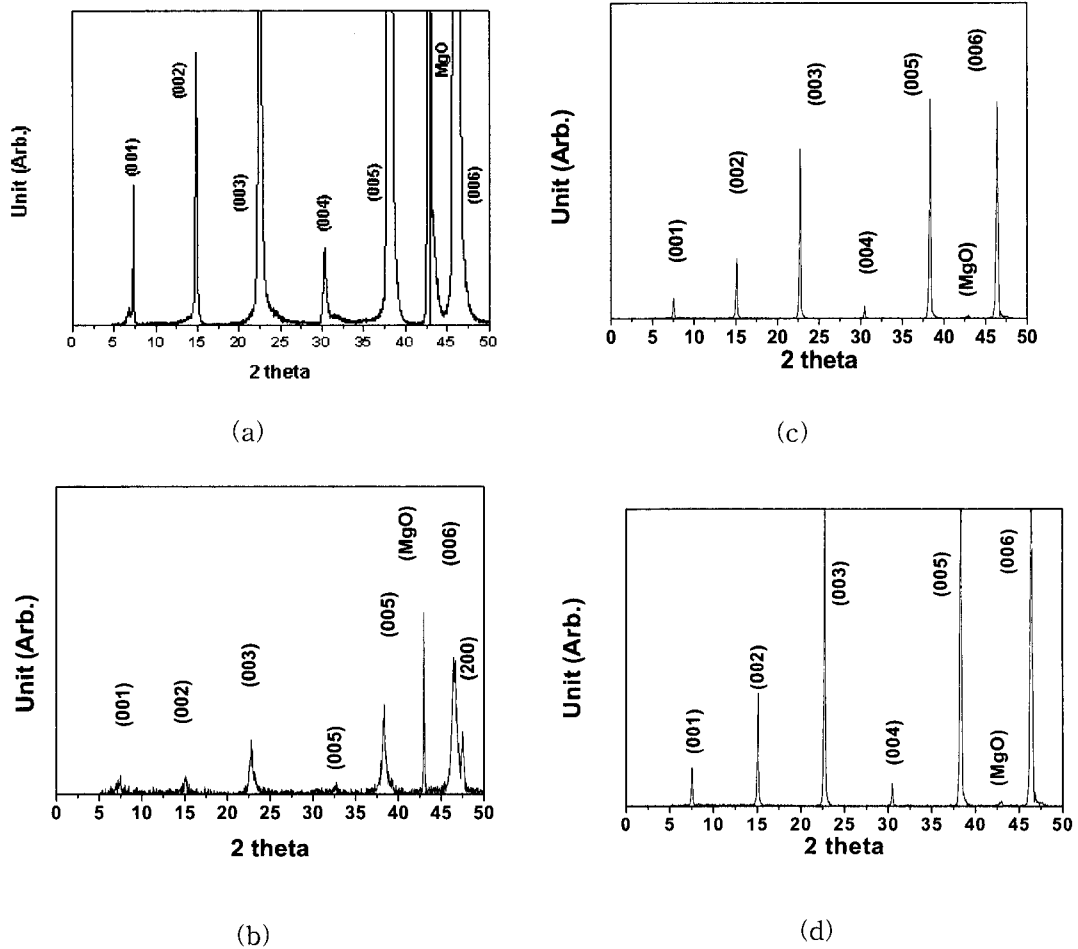
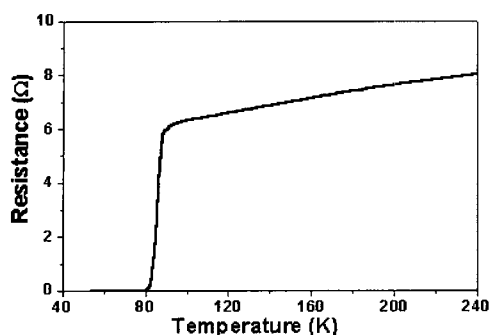
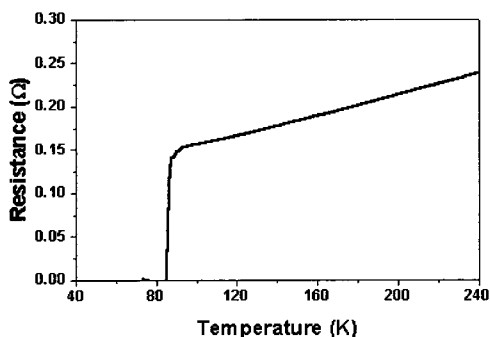


그림 2. MgO 기판위에 증착된 YBCO 박막의 XRD 패턴 (a) 700°C, 1 $\mu$ m (b) 700°C, 1.5 $\mu$ m (c) 750°C, 1  $\mu$ m (d) 750°C, 1.5 $\mu$ m.

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of YBCO films deposited on MgO substrate (a) 700°C, 1 $\mu$ m (b) 700°C, 1.5 $\mu$ m (c) 750°C, 1  $\mu$ m (d) 750°C, 1.5 $\mu$ m.



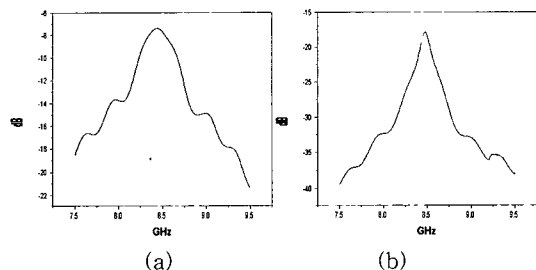
(a)



(b)

그림 3. MgO 기판상 증착된 YBCO 박막의  $T_c$   
(a) 700°C, 1 $\mu$ m (b) 750°C, 1 $\mu$ m.

Fig. 3. Transition temperature of (a) 700°C, 1 $\mu$ m  
(b) 750°C, 1 $\mu$ m.



(a)

(b)

그림 4. 서로 다른 온도에서 증착 되어진 박막의  
주파수 응답특성.

Fig. 4. Frequency response of HTS resonator  
with (a) 1000 nm, 700°C (b) 1000 nm, 750°C.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 증착온도와 두께에 관한 상관관

계를 규명하기 위해 펄스 레이저 증착법에 의해 YBCO 박막을 증착하였다. YBCO박막의 두께가 증가함에 따라 c축 단일성장으로부터 혼합된 성장으로의 천이가 발생하였으며, 같은 두께를 갖는 박막일지라도 증착온도가 달라짐에 따라 박막의 배향성에 변화가 발생함을 관찰하였다. 이러한 관찰로부터 같은 두께의 박막이라고 할지라도 온도를 더 증가시켜줌에 따라 단일한 방향성을 가지고 성장함을 확인 할 수 있었다. 이러한 차이가 박막의 microwave 특성에도 많은 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2000년도 연세대학교 연구처 논문지원 연구비의 지원 하에 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] S. Y. Lee, Q. X. Jia, W. A. Anderson, and D. T. Shaw, "In situ laser deposition of superconducting  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  thin films on GaAs substrate", J. Appl. Phys., Vol. 70, p. 7170, 1991.
- [2] G. W. Mitschang, "Space application and implication of high temperature superconductivity", IEEE trans. Appl. Superconduct., Vol. 5, p. 69, 1995.
- [3] Y. Shen, "High Temperature Superconducting Microwave Circuits", Artech House, Bosen, p. 103, 1995.
- [4] J. H. Park and S. Y. Lee, "Orientation transition in a thick laser deposited YBCO film observed by glancing angle X-ray diffraction", Physica C, Vol. 3, p. 112, 1999.
- [5] 허창희, 한경보, 이상렬, "PLD로 증착된 YBCO 박막의 두께에 따른 배향성과 전기적 특성 변화", 한국전기전자재료학회 2001학계학술대회 논문집, 2권, 2호, p. 671, 2001.
- [6] 이종철, "광전자용 GaAs 링 공진기의 연구동향", 전기전자재료학회논문지, 10권, 4호, p. 399, 1997.
- [7] 이재형, 김정환, 문병무, "PLD 를 이용한 강유전체(PZT,PST,PT)/YBCO박막 구조의 제작과 전기적인 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 7호, p. 541, 1998.