

Cylindrical Hollow Cathode Sputtering Deposition for Uniform Large Area YBCO Thin Film

균질한 대면적 YBCO 박막증착을 위한 실린더형 할로우 캐소드 스퍼터링 증착법

Jeong-Dae Suh, Seok Kil Han, Gun Yong Sung, and Kwang Yong Kang

서정대, 한석길, 성건용, 강광용

P.O. Box 106, YuSong, TaeJeon, Korea 305-600, Telecommunications Basic Research
Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute

대전광역시 유성우체국 사서함 106, 한국전자통신연구원 원천기술연구본부

We have fabricated $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films by cylindrical hollow cathode sputtering. For 2 inch diameter of MgO (100) substrate, we obtained the zero resistance temperature in the range from 83 K to 86 K and thickness uniformity better than 5 % over the whole area. Also, the average deposition rate was 100 nm/h which is higher than 10 times compare to conventional off-axis sputtering method. These results indicate that cylindrical hollow cathode sputtering seems to have unique capabilities for high rate and homogeneous deposition of large area thin film.

1. 서론

YBCO 고온초전도 박막은 매우 낮은 마이크로파 표면저항과 높은 품질계수를 가지고 있기 때문에 마이크로파 통신부품 소자응용에 적합한 물질로 생각되고 있다[1]. 이러한 YBCO 고온초전도 박막을 사용하여 마이크로파 소자를 구현하기 위해서는 마이크로파 소자 구조를 설계할 수 있는 2 인치 크기 직경을 갖는 대면적 박막의 성장이 필수적이다. 그런데 대면적 박막성장에 있어서 최대의 문제점은 박막전체의 특성이 균질하여야 하는 점이다. 그 동안 대면적 고온초전도 박막성장을 위하여 펄스레이저 증착법과 off-axis 스퍼터링 증착법이 가장 많이 사용되어 왔다[2-4]. 펄스레이저 증착법에서는 집광된 레이저 빔에 의한 타겟표면의 증발영역이 매우 협소하기 때문에 플라즈마(플룸)의 크기가 작아서 대면적 박막을 증착하기 위해 플라즈마를 기판에 수직으로 스캔(scan)하는 방법으로 대면적 고온초전도 박막을

성장하였다. 그러나 이러한 방법으로 성장한 대면적 고온초전도 박막은 균질도가 낮은 단점이 있다. 이에 반하여 off-axis 스퍼터링 증착법을 사용하는 경우에는 플라즈마의 크기가 충분히 크기 때문에 대면적 박막 전체의 균질도는 높지만 타겟과 기판이 수직하게 배치되어 있어서 증착속도가 매우 느린 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 대면적 박막성장의 문제점을 해결하기 위하여 실린더형 할로우 캐소드를 이용한 스퍼터링 증착법으로 대면적 고온초전도 박막을 성장하였다. 이 증착법에서는 캐소드에 인가된 전기장에 의해 실린더형 캐소드 표면에서 방출된 전자가 실린더 내에서 주기적으로 진동하게 되므로 캐소드 표면에서 방출되는 물질의 양이 평면형 타겟을 사용하는 일반적인 스퍼터링 증착법에 비하여 증가하게 된다[5]. 또한 실린더형태의 캐소드 표면에서 발생하는 플라즈마가 서로 혼합되므로 균질한 대면적 박막을 고증착속도로 성장시킬 수 있는 장점이 있다.

2. 실험방법

YBCO 박막은 할로우 캐소드 방전시스템을 사용하여 직류 스퍼터링 증착법으로 제조하였다. 본 연구에서 사용한 실린더형 할로우 캐소드 스퍼터링 시스템의 구조를 그림 1에 나타내었다. 이 시스템은 실린더형 YBCO 캐소드 타겟과 아노드가 90도 off-axis 로 배열되어 있기 때문에 산소이온에 의한 resputtering 효과를 방지할 수 있고 스퍼터링 가스가 아노드 쪽에서 공급되어 기판쪽으로 흐르기 때문에 YBCO 타겟에서 방출된 증착물질을 기판쪽으로 이동시킬 수 있어서 박막의 증착속도가 증가되는 효과를 갖는 특징이 있다.

YBCO 타겟은 지름이 9 cm인 튜브형 소결체 타겟을 사용하였다. YBCO 박막은 MgO (100) 단결정 기판을 720-800 °C의 온도영역으로 승온한 후, 200 mTorr의 스퍼터링 압력하에서 90-180 W의 스퍼터링 전력을 타겟에 인가하여 2시간 동안 증착하였다. 증착된 YBCO 박막의 두께는 a-step profilometer를 사용하여 분석하였고, 전기적 특성은 4단자법을 사용하여 측정하였다.

대면적 YBCO 박막을 성장하기 위하여 먼저 할로우 캐소드 방전 스퍼터링 증착변수의 영향을 고찰한 후, 최적의 증착변수를 선택하였으며 이 성장조건을 이용하여 지름이 2인치 크기의 MgO (100) 단결정 박막을 사용하여 대면적 YBCO 박막을 성장하였다.

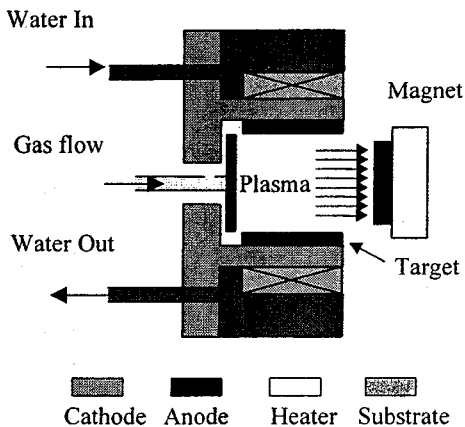


Fig. 1: Schematics of hollow cathode discharge sputtering system

3. 결과 및 고찰

3-1. YBCO 박막의 최적성장 조건 규명.

Fig. 2에 기판온도에 따른 YBCO 박막의 영저항 온도변화를 나타내었다. 스퍼터링 증착압력은 200 mTorr ($Ar/O_2=0.9$)로 고정하였다. Fig. 2에서 보듯이 증착온도가 720 °C에서 760 °C로 증가함에 따라 영저항 온도는 83 K에서 86 K로 증가하였으나 760 °C 이상의 온도에서 증착한 YBCO 박막의 영저항 온도는 감소되었다. 이러한 이유는 기판의 온도가 너무 낮으면 YBCO 박막의 결정성이 좋지 않고, 너무 높으면 YBCO 결정상이 분해되기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 실험 결과로부터 760 °C의 기판온도가 최적의 YBCO 박막성장온도임을 확인할 수 있었다. 기판과 타겟간의 거리가 YBCO 박막의 영저항 온도에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 기판의 온도는 760 °C, 스퍼터링 압력은 200 mTorr 그리고 스퍼터링 가스조성비는 0.9로 고정하였으며 스퍼터링 전력은 150 W을 인가하여 박막을 성장하였다.

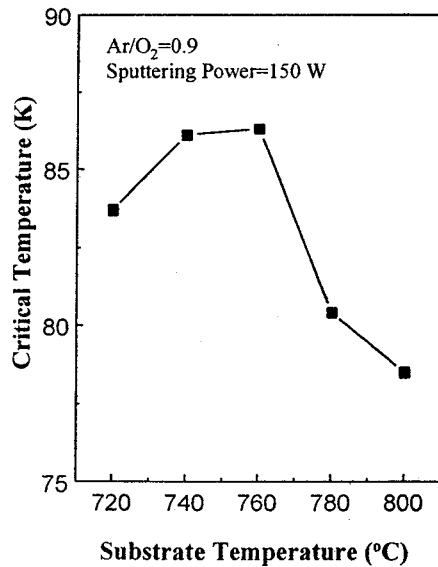


Fig.2. Dependence of zero resistance temperature of YBCO thin films on substrate temperatures.

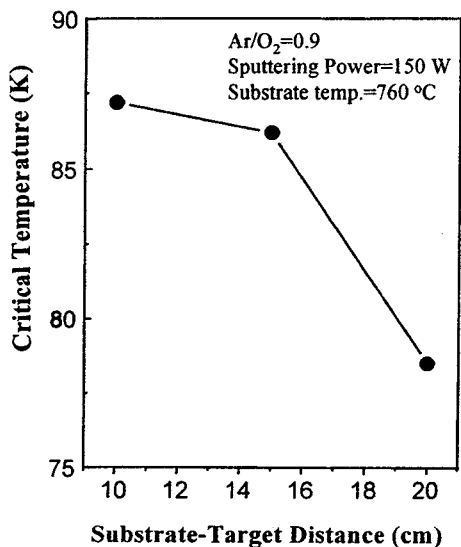


Fig. 3. Dependence of the zero resistance temperature of YBCO thin films on the target-substrate distance.

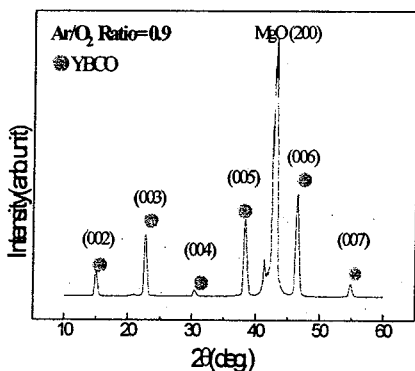


Fig.4. X-ray diffraction analysis on a YBCO thin film grown under the conditions of 760°C substrate temperature and 200 mTorr ($Ar/O_2=0.9$) sputtering pressure, and 10 mm target-substrate distance.

기판의 거리가 타겟으로부터 멀어짐에 따라 박막의 두께가 얇아져 박막에 응력이 발생하기 때문으로 생각할 수 있다. 할로우 캐소드 증착법의 최적 증착조건에서 성장한 YBCO 박막의 X-선 회절분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보듯이 YBCO 박막피크는 (00L) ($L=2,3,\dots$ 정수) 회절피크만 나타내었다. 이것은 YBCO 결정의 c-축이 기판에 수직으로 배향되어 성장하였음을 의미한다. 따라서 YBCO 박막은 c-축 배향성으로 성장하였음을 알 수 있다.

거리가 타겟으로부터 멀어짐에 따라 박막의 두께가 얇아져 박막에 응력이 발생하기 때문으로 생각할 수 있다. 할로우 캐소드 증착법의 최적 증착조건에서 성장한 YBCO 박막의 X-선 회절분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보듯이 YBCO 박막피크는 (00L) ($L=2,3,\dots$ 정수) 회절피크만 나타내었다. 이것은 YBCO 결정의 c-축이 기판에 수직으로 배향되어 성장하였음을 의미한다. 따라서 YBCO 박막은 c-축 배향성으로 성장하였음을 알 수 있다.

3-2. 할로우 캐소드 스퍼터링 증착법을 이용한 대면적 YBCO 박막의 성장.

이상의 최적 실험조건을 바탕으로 2인치 MgO (100) 기판위에 대면적 YBCO 박막을 성장하여 대면적 박막의 균질도를 분석하였다. 영저항 온도 분포 측정결과를 Fig. 5에 나타내었다. 2인치 대면적 박막의 중심부위의 영저항 온도는 86 K를 나타내었고, 가장자리 부위의 영저항 온도는 83 K를 나타내어 비교적 균일한 특성을 가진 대면적 박막이 성장하였음을 확인하였다.

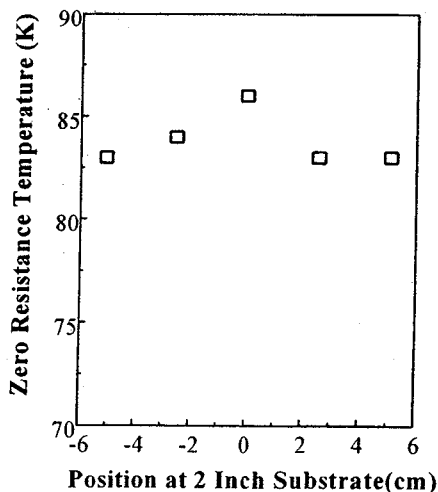


Fig.5. Dependence of zero resistance temperature of YBCO thin films on substrate positions.

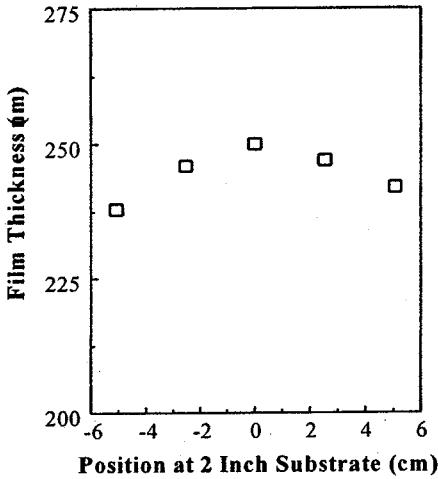


Fig.6. Dependence of film thickness of YBCO thin films on substrate positions.

박막의 두께분포를 a-step profilometer를 사용하여 분석한 결과 250 nm 두께에서 5%내의 균일한 두께를 나타내었다(그림 6). 대면적 YBCO 박막의 평균증착 속도는 대략 125 nm/h을 나타내었다. 이 값은 평탄한 타겟을 사용한 일반적인 스퍼터링 증착법보다 10배 이상 증착속도가 빠른 것을 나타낸다. 또한 2 인치 대면적 YBCO 박막의 결정성을 X-선 회절 분석으로부터 대면적 YBCO 박막전체가 c-축 배향으로 성장하였음을 알 수 있었고, 주사전자현미경을 사용하여 박막표면 형상의 관찰로부터 평탄한 표면을 가진 박막으로 성장하였음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

실린더형 할로우 캐소드 방전 스퍼터링 시스템을 사용하여 증착변수에 따른 YBCO 박막의 전기적, 구조적 특성을 고찰하였고 대면적 박막을 성장하였다. YBCO 박막의 최적 성장조건은 760 °C의 증착온도와, 200 mTorr(Ar/O₂=0.9)의 증착압력, 그리고 10 mm의 기판-타겟 거리로 규명되었고, 이 증착조건에서 성장한 YBCO 박막은 c-축 배향 성장과 86 K의 영저항 온도를 나타내었다. 이 증착조건을 사용하여 지름이 2인치 크기인 균질한 특성을 갖는 대면적 YBCO 박막을 성장할 수 있었으며, 이러한 결과는 대면적 박막 성장에서 가장 중요한 문제점인 균질한 특성을 갖는 대면적 박막성장에 할로우 캐소드 방전 스퍼터링 증착법이 효과적임을 입증한 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] J. M. Pond, K. R. Carroll, D. B. Chrisey, J. S. Horwitz, and V. C. Cestone, IEEE Trans. Appl. Supercon., Vol. 3(1), 1711 (1993).
- [2] J. A. Greea and M. D. Taba, J. Vac. Sci. Technol. A 13(3), 1175 (1995).
- [3] M. Lorenz, H. Hochmuth, H. Borner, and D. Natusch, Physica C 235-240, 639 (1994).
- [4] R. A. Rao, Q. Gan, C. B. Eom, Y. Suzuki, A. A. McDaniel, and J. W. P. Hsu, Appl. Phys. Lett., Vol. 69(25), 3911 (1996).
- [5] H. Koch, L. J. Friedrich, V. Hinkel, F. Ludwig, B. Politt, and T. Schurig, J. Vac. Sci. Technol. Vol. A9 (4), 2374 (1991).