

CeO₂ capping layer의 증착 방법에 따른 YBCO coated conductor 특성 연구

양주생, 고락길, 김호섭, 하홍수, 박유미, 송규정, 오상수, 박찬*, 조월령**

한국전기연구원, *서울대학교, **이화여자대학교

Study on YBCO coated conductor characteristics dependent on deposition method of CeO₂ capping layer

Joo-saeng Yang, Rock-kil Ko, Ho-sup Kim, Hong-soo Ha, Yu-mi Park, Kyu-jeong Song, Sang-soo Oh, Chan Park*, William Jo**

Korea Electrotechnology Resarch Institute. *Seoul national Univ. **Ewha woman Univ.

Abstract : YBCO 박막형 초전도체(coated conductor) 제조를 위해서는 여러 층의 완충층이 필요하다. 현재 일반적인 완충층의 구조는 seed layer로써 Y₂O₃, diffusion barrier로 YSZ, capping layer로 CeO₂가 사용되고 있다. 특히, capping layer로 CeO₂는 YBCO와 lattice mismatch가 매우 우수한 산화물로 이용되고 있다. 본 연구에서는 CeO₂ capping layer가 증착 방법에 따라 그 위에 증착되어지는 초전도층의 특성에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다. CeO₂를 thermal evaporation과 PLD (pulsed laser deposition) 증착 방법으로 증착 한 후 그 위에 PLD 방법으로 YBCO를 증착하여 coated conductor의 성능을 평가하였다.

Key Words : CeO₂ capping layer, YBCO, coated conductor, PLD, thermal evaporation

1. 서 론

박막형 초전도 선재는 보호층/초전도층/완충층(caping layer)/완충층(diffusion barrier)/완충층(seed layer)/금속기판의 구조를 기본으로 하며, 완충층의 역할은 초전도 박막과 기판사이의 원치 않는 반응을 억제 시키면서 금속 기판의 2축 배향성을 초전도층까지 유지 시키는 것이다. 그러므로 완충층 물질은 화학적으로 기판과 초전도박막에 모두 안정적이어야 한다. 또한 박막의 crack과 박리 현상을 막기 위해 기판과 초전도층 사이를 연결시켜 줄 수 있는 중간 값의 열팽창계수와 격자 상수 값을 갖는 물질의 선택이 유리하다. YBCO 박막형 초전도선재를 제조하기 위해서는 여러 층의 산화물 완충층이 필요하다. 현재 2축 배향된 금속 기판 위에 완충층을 증착하는 RABiTS template의 경우, 일반적인 완충층의 구조는 seed layer로써 Y₂O₃, diffusion barrier로 YSZ, capping layer로 CeO₂가 사용되고 있다. 특히, capping layer로 CeO₂는 YBCO와 lattice mismatch가 0.14%로 매우 우수한 산화물이기 때문에 널리 이용되고 있으며, CeO₂의 특성에 따라 YBCO의 특성에 영향을 줄 수 있음이 보고되고 있다.[1] 본 연구에서는 CeO₂ buffer layer가 증착 방법에 따라 그 위에 증착되어지는 초전도층의 특성에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다. 이를 위해 CeO₂를 thermal evaporation과 PLD 증착 방법으로 증착 한 후 그 위에 PLD 방법으로 YBCO를 증착하여 coated conductor의 성능을 평가하였다.

2. 실험

2.1 NiW/Y₂O₃/YSZ 증착

냉간 압연과 열처리 공정을 통해 얻어진 2축 배향성을 갖는 Ni-3%W 합금 기판 위에 Y₂O₃/YSZ 완충층을 증착하

여 NiW/Y₂O₃/YSZ 구조를 갖는 RABiTS 기판을 제조하였다. 금속 target과 수증기를 산화 작용 가스로 사용하는 DC reactive sputtering의 증착 기술을 이용하였으며, 모든 공정은 reel-to-reel 연속 공정으로 이루어졌다.[2]

2.2 CeO₂ 증착

NiW/Y₂O₃/YSZ 위에 capping layer로 CeO₂를 thermal evaporation과 PLD법으로 증착하였다. thermal evaporation을 이용한 CeO₂ 증착은 Ce ingot를 원료로 기판 온도 750℃에서 수증기를 이용하여 2~3×10⁻⁵ Torr의 분압을 유지하며, 1Å/sec.의 증착률로 두께 20~100nm를 증착하였다. PLD를 이용한 CeO₂ 증착은 248nm 파장을 가지는 KrF excimer laser를 이용하여, 약 ~100 mJ/pulse의 에너지를 레이저 펄스 속도 10Hz로 증착하여 50~400nm 두께로 증착하였다. 이때 사용한 target 위의 레이저 스팟 크기는 ~1×5mm로 약 2 J/cm²의 레이저 에너지 밀도를 가지며, 기판-타겟 간의 거리는 4.5cm, 증착 온도는 650℃, 산소 분압 0.1 mTorr이었다.

2.3 YBCO 증착

thermal evaporation과 PLD법으로 증착된 CeO₂ capping layer를 갖는 기판 위에 PLD 법을 이용하여 YBCO 층을 증착 하였다. CeO₂ 증착 시 사용한 PLD 장치를 사용했으며, 산소 분압 200 mTorr에서 증착 온도는 720~830℃, 산소분압은 200 mTorr 조건을 사용했으며, 그 외 조건은 CeO₂ 증착조건과 같다. 증착 후 500℃에서 500 Torr의 산소 압력을 유지하면서 in-situ로 30분간 후 열처리를 수행하였다.

2.4 특성 평가

증착된 CeO₂ 층과 그에 따른 YBCO 초전도 층의 상

(phase)과 결정성을 분석하기 위해 θ - 2θ scan, omega scan, phi scan의 XRD 분석을 하였다. 증착 표면의 상태와 증착 두께 측정을 위해 전계방출주사현미경(FESEM)과 AFM을 이용하여 분석하였다. 초전도층의 물성은 일반적인 직류 4단자법을 이용하여 I_c 와 T_c 를 측정했으며, 초전도층의 두께를 고려하여 J_c 를 계산하였다. 이를 위해 sputter를 이용하여 YBCO 초전도층 위에 약 $2\sim 3\mu\text{m}$ 두께의 Ag 전극을 증착하였다.

3. 결과 및 검토

DC reactive sputter로 제작된 NiW/Y₂O₃/YSZ 기판의 경우 모두 (00l) 방향으로 성장했으며, NiW 금속 기판의 phi scan에 대한 FWHM 값인 $6\sim 7^\circ$ 가 그 위 완충층에 epitaxy 배향되어 Y₂O₃/YSZ 모두 phi scan에 대한 FWHM 값은 $7\sim 8^\circ$ 였다. 표 1은 증착된 CeO₂ 층의 XRD ω -scan을 통한 out-of-plane 과 ϕ -scan을 통한 in-plane의 FWHM 값을 나타내었다. PLD와 thermal evaporation로 증착된 CeO₂ 층의 FWHM 값은 서로 비슷했으며, 이로써 두 가지 증착 방법으로 증착된 CeO₂ 층이 모두 epitaxy하게 성장되었음을 확인할 수 있었다.

표 1. 증착된 CeO₂층의 ω -scan과 ϕ -scan 분석.

	$\Delta\omega$ CeO ₂ (200)	$\Delta\phi$ CeO ₂ (111)
PLD	5.2°	8°
Thermal evaporation	5.7°	7.5°

그림1은 두 가지 증착 방법에 따라 증착된 CeO₂ 층 위에 증착된 YBCO의 XRD θ - 2θ scan 결과를 보여주고 있다. PLD CeO₂ 위에 증착된 YBCO는 강한 (00l) peak를 보이는 반면, thermal evaporation CeO₂는 (00l)으로 성장은 했지만, YBCO의 (004), (007) peak의 강도가 낮아 PLD CeO₂에 더 우수한 YBCO 성장이 이루어졌음을 알 수 있다. 특히, thermal evaporation CeO₂의 경우 NiO peak이 나타났으며, 이는 YBCO 증착 시 완충층이 기판으로부터의 diffusion을 효과적으로 차단하지 못 했음을 의미한다.

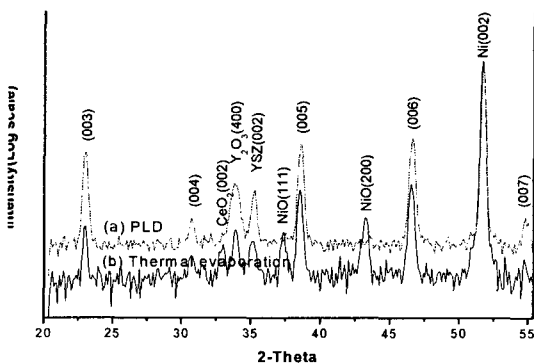
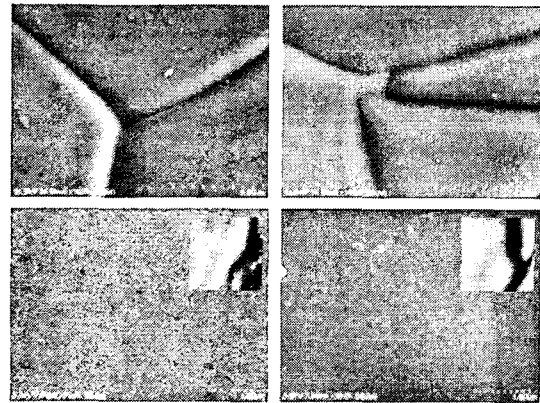


그림 1. PLD와 thermal evaporation으로 증착된 CeO₂층 위에 PLD법으로 증착한 YBCO의 XRD θ - 2θ scan (a) PLD CeO₂, (b) Thermal evaporation CeO₂



(a) Thermal evaporation (b) PLD
그림 2. CeO₂의 FESEM, AFM images.

그림 2는 CeO₂의 표면에 대한 FESEM와 AFM image를 보여주고 있다. thermal evaporation과 PLD 모두 균일하고 치밀한 표면을 보여주고 있으며, 모두 3nm 이하의 비슷한 표면 평활도를 가졌다. 직류 4 단자법에 의한 전기적 특성 분석 결과, PLD CeO₂ 위에 증착한 YBCO 시편에서는 $1\text{MA}/\text{cm}^2$ 이상의 J_c 값을 재현성 있게 얻은 반면, thermal evaporation CeO₂의 경우 NiO의 diffusion 문제로 인해 재현성 있는 실험이 어려웠다.

4. 결론

본 연구에서는 CeO₂를 thermal evaporation과 PLD 증착 방법으로 증착 한 후 그 위에 PLD 방법으로 YBCO를 증착하여 CeO₂의 증착 방법에 따른 YBCO coated conductor의 성능을 평가 하였다. 두 가지 방법 모두 CeO₂층은 (00l) 방향으로의 성장은 이루어졌으나, 그 위에 YBCO를 PLD로 증착할 경우, PLD CeO₂ 위에 YBCO가 잘 성장했으며, $1\text{MA}/\text{cm}^2$ 의 J_c 를 갖는 coated conductor를 재현성 있게 제조할 수 있었다. thermal evaporation CeO₂의 경우 YBCO 증착 시 CeO₂의 박리현상이 관측되었으며, 이는 금속 기판으로부터 NiO의 diffusion을 효과적으로 막지 못하는 것으로 사료되며, 이에 대한 분석 연구가 진행 중이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] D.Q. Shi, P. Ma, R.K. Ko, H.S. Kim, H.S. Ha, J.K. Chung, K.J. Song, C. Park, S.H. Moon and S.I.Yoo, KIASC Journal, vol. 6, No. 4, p.1-4. 2004
- [2] H.S. Kim, S.Q. Shi, R.K. Ko, J.K. Chung, H.S. Ha, K.J. Song, C. Park, KIEEME. Journal Vol. 17, No. 12, p.1356-1361, 2004