

Fabrication of YBCO Coated Conductor by oxide-precursor-based MOD process employing IBAD substrate

Y. K. Kim^{*,a}, J. M. Yoo^a, J. W. Ko^a, S. Y. Heo^a, G. W. Hong^b, H. G. Lee^b, H. S. Chung^c

^a Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, Korea

^b Korea Polytechnic University

^c Ajou University

Received 13 August 2004

IBAD 기판을 적용한 산화물 전구체 MOD 공정에 의한 YBCO coated conductor의 제조

김영국^{*,a}, 유재무^a, 고재웅^a, 허순영^a, 홍계원^b, 이희균^b, 정형식^c

Abstract

YBCO coated conductors have been fabricated with a newly developed oxide-precursor-based MOD process. The precursor solution was synthesized with low cost YBCO powders as starting materials and YBCO coated conductors have been deposited on IBAD substrate (CeO₂/IBAD-YSZ/SS). YBCO coated conductor prepared by dip coating shows transport I_c of 15 A/cm-w at 77 K. Microstructural and crystallographic analyses indicate that YBCO layer was grown in epitaxy with substrate and exhibited well-developed dense microstructure. Also discussed are processing and analysis of YBCO coated conductor by slot-die web coating method. It was shown that this oxide-based MOD process provides a low cost route to coated conductor with high J_c .

Keywords : YBCO, MOD-TFA, IBAD, critical current, web coating

1. Introduction

YBCO (YBa₂Cu₃O_{7-δ}) coated conductor는 기존 BSCCO 선재에 비하여 자장 하 임계전류특성이 우수하고, 고가의 은을 거의 사용하지 않으므로 선재의 가격을 낮출 수 있다는 장점이 있다 [1]. 이에 따라 특성 및 경제성이 우수한 YBCO coated conductor를 제조하기 위하여 다양

한 공정법이 시도되고 있으며, 그 중에서도 MOD-TFA 공정은 비진공 공정이며, 1 MA/cm² 이상의 임계 전류밀도를 가지는 YBCO 박막의 제조가 가능하여 coated conductor 실용화에 적용될 가능성이 매우 높다 [2-6]. 그러나 통상적인 MOD-TFA 공정은 전구체 용액 제조 시 비교적 고가의 금속 아세트산염 사용하므로 공정의 경제성을 향상시키기 위해서는 저가의 원료 물질로 대체하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 기존의 통상적인 MOD-TFA 공정에서 전구체로 사용되던 금속 아세트산염

*Corresponding author. Fax : +82 55 280 3343
e-mail : voice21@kmail.kimm.re.kr

대신에 YBCO 산화물 분말을 출발물질로 사용하여 경제성이 우수한 MOD용 전구체 용액을 제조하였다. 또한 본 전구체 용액을 적용하여 IBAD 기판($\text{CeO}_2/\text{IBAD-YSZ/SS}$)을 적용하여 YBCO coated conductor를 제조하였으며, web coating법을 적용하여 장선화를 위한 기초 연구를 수행하였다.

II. Experimentals

MOD용 전구 용액의 제조를 위해서 YBCO 산화물 분말을 시작물질로 사용하였다. YBCO 분말을 증류수와 TFA의 혼합용액에 용해시킨 후 수 시간동안 교반하여 수용액을 제조하였다. 이후 수용액을 진공 증류하여 수분 및 잔류 아세트산 등을 제거하였다. 불순물이 제거된 용액은 파란색의 gel 상태였으며 이를 매탄올에 희석하여 농도를 제어하여 최종적으로 전구용액을 제조하였다 [7].

YBCO coated conductor의 제조를 위해 $\text{CeO}_2/\text{IBAD-YSZ/SS}$ 의 구조를 가지는 IBAD tape (폭 4 mm)를 기판으로 사용하였으며, 전구 용액의 특성 분석을 위해 LAO 단결정 기판을 적용하여 YBCO 층을 제조하였다.

기판 위에 전구체 용액을 coating하기 위하여 단결정 기판의 경우 spin coating법을 사용하였으며, IBAD 기판의 경우 dip coating법을 적용하였다. 한편 장선재 제조를 위한 기초 연구의

일환으로 Fig. 1과 같이 연속공정이 가능한 slot-die coating 장치를 제작하였으며 10cm 길이의 IBAD tape를 이용하여 coating하였다.

전구체 용액이 coating된 기판에 Araki 등이 적용한 MOD-TFA 공정과 동일한 하소 및 열처리 조건을 적용하여 최종적으로 YBCO coated conductor를 제조하였다 [4]. 특히 열처리 공정은 810°C 에서 Ar/O_2 혼합기체 하에서 이루어졌으며, XRD, SEM 등을 이용하여 YBCO coated conductor의 결정 구조 및 미세구조를 분석하였다. 또한 YBCO층의 보호를 위해 rf magnetron sputter (KERI)를 이용하여 표면에 Ag 층을 성막하였으며, 일반적인 4단자법으로 임계전류값을 측정하였다(77 K, self field 조건).

III. Results and Discussions

YBCO 산화물 분말을 전구체로 사용하여 제조된 MOD 전구용액은 밝은 파란색을 띄며 coating 시 기판에 대한 젖음(wetting) 특성도 우수하였다. 본 연구에서는 YBCO 산화물 전구체 용액의 특성 분석을 위하여 LAO 단결정 기판 위에 spin coating법으로 전구용액을 도포하였다. Fig. 2에는 LAO 단결정 기판 위에 제조된 YBCO 박막의 미세구조를 나타내었다.

YBCO 박막은 표면에 기공이나 균열 등이 적은 치밀한 미세조직을 가진다는 것을 알 수 있다. YBCO (102) pole에 대한 phi-scan 결과 90° 간격을 두고 4개의 peak이 존재하며 peak 들의

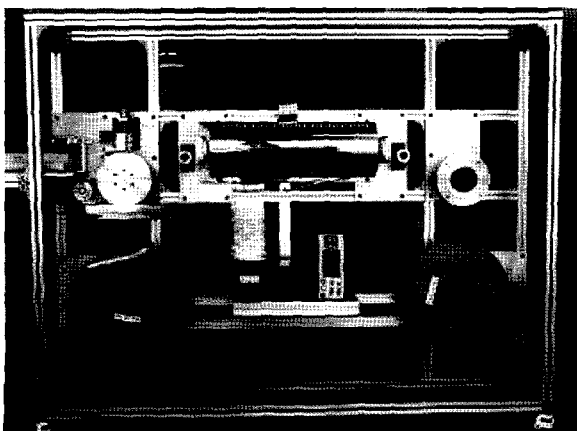


Fig. 1. A slot-die web coating machine for preliminary study of scale-up process (designed by KIMM).

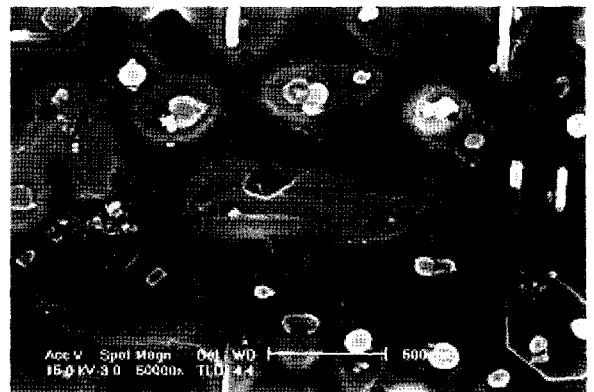


Fig. 2. Surface morphology of YBCO thin film prepared by YBCO oxide-based precursor solution.

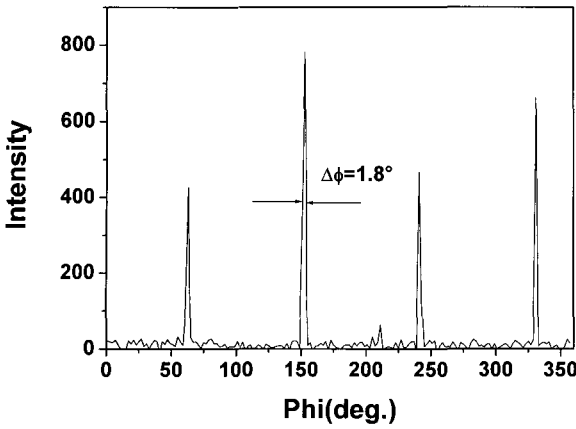


Fig. 3. XRD phi-scan of YBCO thin film prepared by YBCO oxide-based precursor solution.

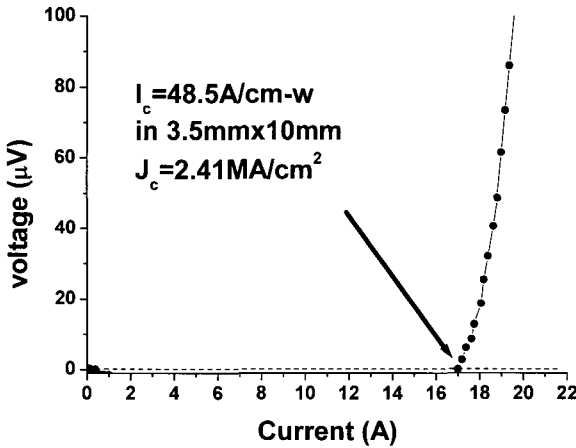


Fig. 4. Critical current of YBCO thin film prepared by YBCO oxide-based precursor solution.

FWHM (Full width at half maximum)은 1.8° 로서 박막의 이축배향성이 우수하다는 것을 알 수 있다 (Fig. 3).

한편 4단자법을 이용한 박막 시료의 임계전류 측정 결과 $I_c=48.5 \text{ A/cm-w}$ 였으며, 단면 관찰 결과 박막의 두께는 200 nm 이었으며 임계전류 밀도값(J_c)은 $J_c=2.41 \text{ MA/cm}^2$ 였다(Fig. 4).

본 연구 결과로부터 YBCO 산화물 전구체를 이용한 MOD 공정을 통하여 치밀한 미세구조를 가지며, 임계전류밀도가 높은 YBCO 박막을 제조할 수 있으므로 본 공정이 YBCO coated conductor 제조에 적용가능하다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 $\text{CeO}_2/\text{IBAD-YSZ}/\text{SS}$ 의 구조를 가지는 templated metallic tape (폭 4 mm , 길이 2 cm)를 적용하여 YBCO coated conductor를 제조하였다. Fig. 5에는 제조된 YBCO coated conductor의 X선 회절분석 결과를 나타내었다. 2θ -scan 결과로부터 제2상은 거의 관찰되지 않으나, 열처리 과정에서 기판의 완충층 일부와 YBCO가 반응하여 BaCeO_3 가 발생한 것을 알 수 있다. YBCO층에 대한 (103) pole figure 분석 결과는 YBCO층이 이축배향되어 있다는 것을 보여준다. 또한, phi-scan 분석 결과 기판의 YSZ 층은 $\Delta\phi=11.3^\circ$ 였으며, YBCO 층은 $\Delta\phi=9.4^\circ$ 였다.

본 시료에 대하여 임계전류 값을 측정한 결과 6 A의 전류를 인가하였을 때까지 초전도성

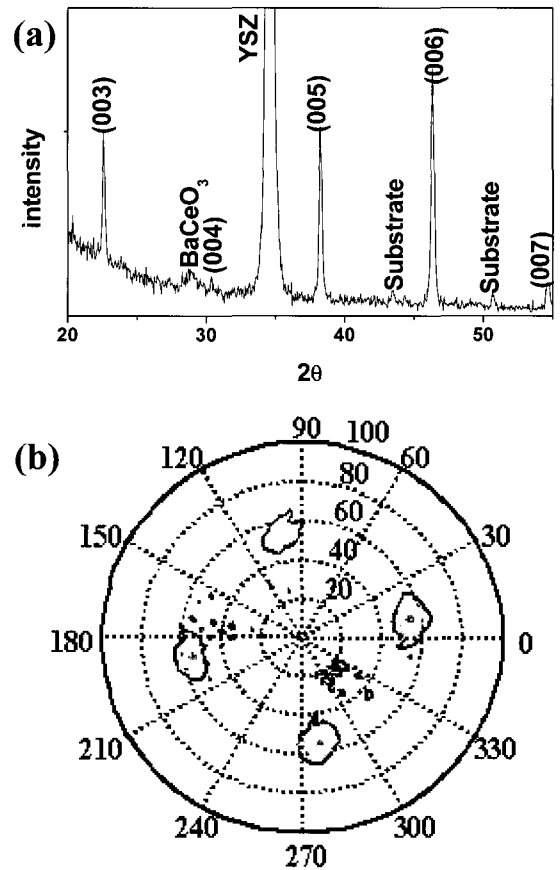


Fig. 5. XRD of YBCO coated conductor prepared by YBCO oxide-based MOD precursor solution: (a) 2θ -scan, (b) YBCO (103) pole figure.

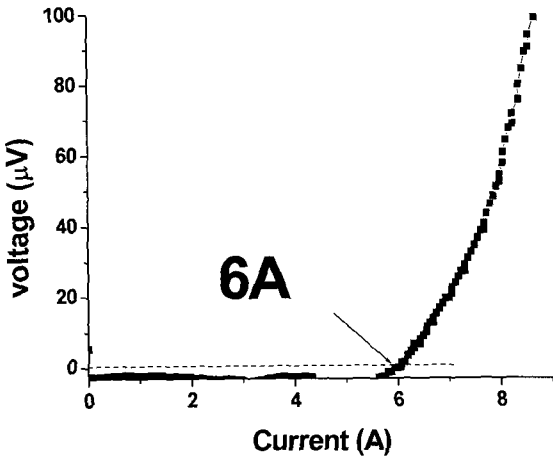


Fig. 6. Critical current of 2cm-long YBCO coated conductor prepared by YBCO oxide-based precursor solution.

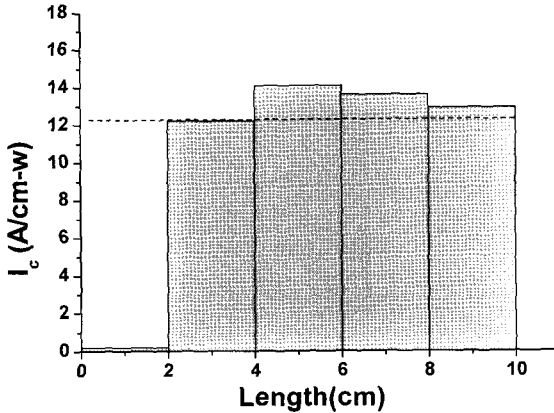


Fig. 7. Distribution of critical current for 10cm-long YBCO coated conductor prepared by YBCO oxide-based precursor solution.

을 유지하였으며, 1cm로 환산하면 $I_c=15$ A/cm였다 (Fig. 6).

한편 본 연구에서는 10 cm길이의 IBAD tape을 적용하여 slot-die web coating법으로 전구용액을 coating하였다. 적절한 열처리 후 제조된 YBCO coated conductor는 균일한 외형을 가지고 있으나, 끝부분에는 일부 결함을 포함하고 있었으며 이는 열처리 과정의 기체 공급이 일부 불균일한 것에 기인하는 것으로 보인다. 특히 구간별 임계전류 값 측정결과 외형이 좋지 않은 구간 (2 cm)에서는 매우 낮은 I_c 값이 측정

되었으며, 나머지 8 cm 구간에서는 전체 임계전류 값이 12.3 A/cm-w의 값을 가지는 것으로 나타났다 (Fig. 7).

IV. Conclusions

본 연구에서는 기존 금속 아세트산염에 비하여 저가의 전구체인 YBCO 분말을 이용하여 MOD용 전구용액을 제조하였다. 또한 제조된 전구용액을 적용하여 $LaAlO_3$ 단결정 및 $CeO_2/IBAD-YSZ/SS$ 구조의 templated metallic tape 위에 치밀하고 기공이 적은 미세구조를 가지는 YBCO 초전도 층을 제조하였다. 이때 IBAD 기판 위에 제조된 YBCO coated conductor는 2 cm 길이에서 $I_c=15$ A/cm-w였다. 또한 자체 제작한 slot-die web coater를 이용하여 8cm 구간에서 $I_c=12.3$ A/cm-w인 YBCO coated conductor를 제조하였다.

Acknowledgment

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도 응용기술 개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] L. Masur *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. 11, 3256 (2001)
- [2] D. T. Verebelyi, U. Schoop, C. Thieme, X. Li, W. Zhang, T. Kodenkandath, A. P. Malozemoff, N. Nguyen, E. Siegal, D. Buczek, *Supercond. Sci. and Tech.* 16, L19, 2003.
- [3] J. T. Dawley, P. G. Clem, M. P. Siegal, D. L. Overmyer, *J. Mater. Res.*, 16, 13, 2001.
- [4] T. Araki, K. Yamagiwa and I. Hirabayashi, *Cryogenics* 41, 675 (2001).
- [5] T. Araki, I. Hirabayashi, *Supercond. Sci. Tech.* 16, R71 (2003).
- [6] S. Sathyamurthy and K. Salama, *IEEE Trans. on Appl. Supercon.*, 11, 2935 (2001).
- [7] 위성훈 *et al.*, 한국초전도저온공학회지, 6, 12 (2004).