

IBAD-MgO 템플릿을 이용한 SmBCO 박막선재의 제조

하홍수^{***}, 김호섭^{*}, 양주생^{*}, 정예현^{***}, 김호경^{****}, 유권국^{****}, 고락길^{*}, 송규정^{*}, 하동우^{*}, 오상수^{*}, 염도준^{***}, 박천^{****},
유상임^{****}, 문승현^{****}, 주진호^{**}
한국전기연구원^{*}, 성균관대학교^{**}, KAIST^{***}, (주)서남^{****}, 서울대학교^{*****}

Fabrication of SmBCO Coated Conductors using IBAD-MgO Template

Hong-Soo Ha^{***}, Ho-Sup Kim^{*}, Ju-Saeng Yang^{*}, Yae-Hyun Jung^{***}, Ho-Kyum Kim^{****}, Kwon-Kuk Yoo^{****}, Rock-Kil Ko^{*},
Kyu-Jeong Song^{*}, Dong-Woo Ha^{*}, Sang-Soo Oh^{*}, Do-Jun Yeom^{***}, Chan Park^{****}, Sang-Im Yoo^{****}, Seong-Hyun, Moon^{****},
Jin-Ho Joo^{**}
KERI^{*}, SungKyunKwan Univ.^{**}, KAIST^{***}, SuNam Co.^{****}, Seoul Univ.^{*****}

Abstract : We have fabricated SmBCO coated conductor on IBAD-MgO substrates using unique co-evaporation method. The batch type co-deposition system was specially designed and named as EDDC(evaporation using drum in dual chamber) that is possible to deposit superconducting layer with different composition ratio at low temperature of 700 °C. In this study, we have investigated the influence of SmBCO phase composition and texture of IBAD-MgO template on the critical current density. We have changed the deposition rates of Sm, Ba and Cu during co-evaporation to examine the optimal composition ratio shown better critical current density. The composition ratio and surface morphology of SmBCO coated conductors were analyzed by the EDX and SEM, respectively. A higher critical current density was measured at superconducting phase composition ratio of Ba deficiency, Sm or Cu rich compared to the Sm1Ba2Cu3Ox stoichiometry.

Key Words : IBAD-MgO, SmBCO, coated conductor, critical current

1. 서 론

고온초전도 박막선재의 상용화를 위하여 고임계전류 특성을 가진 장선재 개발에 전 세계적으로 연구를 집중하고 있다. 특히 최근에는 미국의 SuperPower 사가 IBAD-MgO기판 위에 MOCVD로 초전도층을 증착하여 322 m 길이에 219 A의 임계전류를 갖는 세계 최고성능의 선재를 개발하였다[1]. 그리고 일본의 경우도 ISTE에서 IBAD-GZO 기판에 PLD로 초전도층을 증착하여 212 m 길이에 245 A의 임계전류 특성을 가진 선재를 개발 하였다 [2]. 현재 초전도박막선재의 경우 IBAD기판을 이용한 경우가 우수한 초전도 특성을 나타내고 있다. 한편 이축배향된 기판에 세라믹 완충층을 증착한 후 초전도층을 증착하게 되는데 다양한 방법들이 제안되어 사용되고 있다. PLD법은 우수한 초전도 특성을 가진 초전도 선재를 제조할 수 있는 장점이 있으나 대신 상용화시 경제성 문제로 인하여 MOCVD 또는 MOD 등의 저렴하다고 예측되는 방법들이 주목받고 있다.

하지만 본 연구에서는 batch type의 동시증발법을 채용하여 증착속도가 빠르고 금속원소를 사용하므로 인해 경제적인 면을 추구하고자 하였다. 이 방법은 기존에 KAIST에서 최초로 초전도 박막증착을 위하여 고안되어졌으며[3] 현재 본 연구원에서 100 m 선재제조가 가능하도록 대형으로 개량화된 장비(EDDC)가 운용중이다. 동시증발법은 초전도상을 이루는 각 성분원소들을 각각 제어하면서 증발시켜 기판에서 초전도상을 만드는 방법으로써 다양한

조성비로 증발이 가능한 장점이 있다. SmBCO의 경우 Ba와의 치환에 따른 초전도 특성 변화를 고려하여 Sm의 조성비를 1.이상으로 Ba의 조성을 2 미만으로 조절한 경우가 대부분을 이룬다.

따라서 본 연구에서는 이러한 조성비 변화에 따른 초전도 특성의 변화를 확인하고자 하였으며 특히 Sm과 Ba의 비와 함께 Cu의 비를 달리하여 초전도 특성 변화를 관찰하여 최적의 조성비를 찾고자 하였다. 아울러 동시증발법의 경우 QCM을 이용한 증발율 제어가 조성비의 ±0.1이내의 오차를 나타내므로 상대적으로 넓은 조성비 window에서 안정한 초전도 특성을 나타내는 조성 영역을 찾고자 하였다.

2. 실험

먼저 초전도 박막증착을 위한 IBAD-MgO 템플릿을 준비하였다. 두께가 0.1 mm인 니켈기의 고내열 합금인 Hastelloy C-276 기판을 전해연마하여 표면을 평탄하게 한 후 비정질층과 IBAD-MgO 층을 순서대로 증착하였다. 이후 초전도층과 MgO 층과의 격자 mismatch를 완화하고 이축배향특성 향상을 위하여 PLD로 LaMnO₃층을 약 100 nm 정도 증착하였다.

초전도층 증착을 위한 EDDC장치는 상부챔버와 하부챔버로 나뉘어지며 중간에 양쪽 챔버의 분압차이를 유지할 수 있는 진공배기장치가 있다. 하부챔버는 증발을 위한 각 성분별 증발원이 장착되어 있으며 상부챔버는 초전도선재를 감을 수 있는 드럼이 있고 초전도상 생성을 위한 산소

분압을 유지할 수 있다.

EDDC장치에 준비된 IBAD-MgO 템플릿을 장착 후 Sm, Ba, 그리고 Cu를 조성비를 조절하면서 진공증착하였다. 이때 선재가 감긴 드럼은 700 °C의 고온에서 고속으로 회전을 하면서 초전도층의 증착과 산화반응을 반복하였다. 조성비는 Sm에 대해 Ba과 Cu를 각각 1.5 ~ 2.1, 2.1 ~ 3.6 까지 변화시켰으며 각각의 조성비는 EDX를 이용하여 측정하였다. 초전도층 증착 후 안정화재인 Ag를 sputter로 증착 후 450 °C로 4시간 열처리하였다. 제조된 초전도 박막 선재는 XRD를 이용하여 이축배향 특성을 측정하였으며 SEM으로 조성비 변화에 따른 표면 형상 변화를 관찰하였다. 초전도 특성 평가를 위하여 77 K, 자기자장 하에서 4 단자법으로 임계전류를 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 조성비 변화에 따른 각 초전도 박막 선재의 임계전류 측정 결과를 나타내었다. Ba의 조성비가 1.9 ~ 2.0의 경우에서 가장 높은 임계전류값을 나타내었으며 Cu의 조성비는 3.2 ~ 3.4에서 우수한 초전도통전 특성을 나타내었다. Sm1Ba1.9Cu3.2의 조성비에서 158A/cm-w의 가장 높은 임계전류값을 나타내었으며 그때 임계전류 밀도는 2.6 MA/cm²로 우수하였다. 그림 2에서 SEM으로 표면을 관찰한 결과 매우 치밀한 구조를 가졌으며 아울러 500 nm크기 내외의 미세한 입자들이 고루 분포하고 있는 것을 관찰 할 수 있었다. 이것은 matrix의 경우 초전도상을 나타내고 있으므로 잉여의 Cu가 산화물로 미세하게 분포하는 것으로 사료된다. 그림 3에서 EDX를 이용한 실제 증착 조성비를 분석한 결과 샘플별로 연속적인 조성비를 나타내었으며 최적 조성비영역은 Sm을 기준으로 할 때 Ba이 2 이하, Cu가 3이상이었다. 동시증발법의 특성상 조성비 조절 오차 범위가 조성비로 약 ± 0.1 정도이고 본 실험에서 나타난 최적조성비 영역과 거의 비슷하므로 조성비 조절에 따른 특성 변화가 거의 없을 것으로 사료된다.

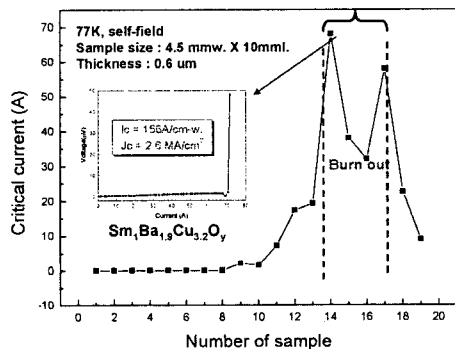


그림 1. 조성비에 따른 임계전류 분포.

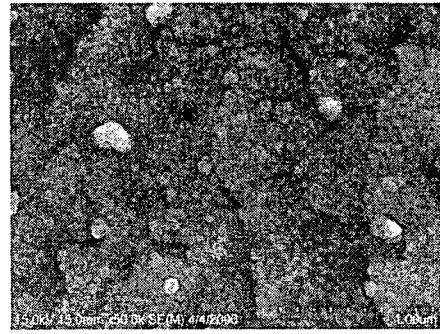


그림 2. Sm₁Ba_{1.9}Cu_{3.2}O_y 조성의 초전도 박막 선재의 표면 SEM 사진.

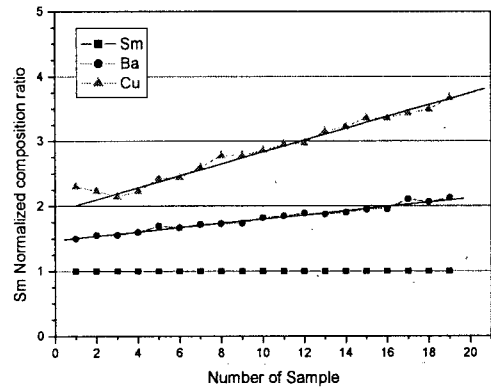


그림 3. EDX를 이용한 샘플별 조성비 측정 결과.

4. 결론

IBAD-MgO 기판을 이용하여 다양한 조성비로 SmBCO 초전도 층을 증착하였다. 최적 조성비 영역은 Sm 대비 Ba 이 1.9 ~ 2.0, Cu가 3.2 ~ 3.4로 나타났으며 이때 2.6 MA/cm²의 우수한 초전도 특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Venkat Selva et. al., DOE 2006 annual superconductivity peer review
- [2] Y. Yamada et. al., ACASC2005, Vol. 1, p. 47, Busan, Korea, 2005
- [3] B. S. Lee et. al., Supercond. Sci. Technol., Vol. 17, p.580, 2004