

RABITS와 PLD를 이용한 YBCO coated conductor 제조

박찬, 고각길, 신기철*, 송규정, 정준기, Dongqi Shi, 유상임**, 염도준***
한국전기연구원, 부산대학교 무기재료공학과*, 서울대학교 재료공학부**, 한국과학기술원 물리학과***

Manufacturing of YBCO coated conductor using RABITS as the texture template and pulsed laser for the multi-layer oxide film deposition

C. Park, R.K. Ko, K.C. Shin*, K.J. Song, J.K. Chung, D. Shi, S.I. Yoo**, and D.J. Youm***

Applied Superconductivity Laboratory, Korea Electrotechnology Research Institute

Department of Inorganic Materials Engineering, Pusan National Univ.*

School of Materials Science & Engineering, Seoul National Univ.**

Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science & Technology***

Abstract

다층의 산화물 박막으로 이루어진 coated conductor의 제조를 위하여 각층의 증착조건이 최적화 되어야 한다. 가공/열처리를 통하여 2축배향성을 가지는 Ni 금속 기판위에 Y₂O₃, YSZ, CeO₂ 등의 산화물 완충층을 증착한 후 초전도층인 YBCO를 증착하였다. 12도와 8도의 in-plane fwhm (full width at half maximum)과 out-of-plane fwhm을 가지는 Ni 기판을 이용하여 13도와 4.5도의 in-plane 및 out-of-plane fwhm을 가지는 YBCO coated conductor를 제조하였다. 임계온도 (T_c), 임계전류 (I_c), 및 임계전류밀도 (J_c) 는 각각 84K, 3.3A, 및 310,000 A/cm² 이었다.

Key Words :coated conductor, pulsed laser deposition, superconductor, wire

1. 서 론

액체질소온도와 고자장하에서도 높은 통전능력을 보이는 고온초전도체인 YBa₂Cu₃O_{7-δ} (YBCO)를 유연성을 가지는 장선의 선재형태로 만든 coated conductor (박막형 선재)는 고온초전도체의 대전력 기기 응용을 위하여 가장 필요한 부분 가운데 하나이다. YBCO 초전도체의 통전능력을 저하시키는 고각입계를 줄이기 위하여, 2축 배향성을 가지는 금속 기판 혹은 다결정 금속기판위에 증착된 2축 배향 산화물층위에, 집합조직을 초전도층까지 전달하는 역할 및 금속기판의 금속이 초전도층으로 확산되어 초전도층의 전기적 특성을 열화시키는 것을 막아주는 확산장벽으로서의 역할 등을 수행하는 완충층과 실제 전류가 흐르는 초전도층을 박막으로 증착한다. Coated conductor는 금속 모재/여러 층의 산화물 완충층/초전도층/보호층의 구조를 가진다. 초전도층에 요구되는 2축배향 (textured template)을 가공/열처리된 금속기판으로부터 얻는 Rolling-Assisted-Biaxially-Textured-Substrate (RABITS)공정[1], assisting ion gun을 이용하여 다결정 금속기판위에 2축배향된 산화물 박막을 증

착하여 초전도층의 집합조직을 얻게 되는 Ionized Beam Assisted Deposition (IBAD)[2] 과 기판을 타겟과 평행하지 않게 일정각도로 기울여서 산화물 박막을 증착함으로써 (inclined substrate deposition; ISD)[3] 얻을 수 있는 집합조직을 초전도층까지 전달하여 2축배향된 YBCO 박막을 얻는 방법 등이 사용되고 있다. 다층의 산화물 완충층과 초전도층의 증착을 위하여 pulsed laser deposition (PLD), evaporation, sputtering, sol-gel, metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD), metal-organic decomposition (MOD) 등의 다양한 박막증착 공정들이 사용되고 있다.

본 연구에서는 RABITS 공정을 이용하여 제조된 texture template위에 PLD법으로 완충층과 초전도층을 증착하여 단선의 coated conductor를 제조하였다. RABITS 공정에서 가장 널리 사용되고 있는 완충층 구조인 CeO₂/YSZ/Y₂O₃를 Ni기판을 이용하여 증착한 후 YBCO 박막을 증착하였다.

2. 실험

실험에 사용된 2축배향 Ni 기판은 한국과학기술

원에서 냉간압연 및 열처리를 통하여 제조되었다. PLD에 사용된 여러 산화물 타겟들은 서울대학교에서 제조되었다. 실험에 사용된 다층박막의 구조는 Ag/YBCO/CeO₂/YSZ/Y₂O₃/금속기판 이었다. Ag층은 YBCO층을 보호하고, 초전도특성 측정시 전기접촉을 향상시킬 목적으로 sputtering을 이용하여 증착되었다. 150~200mJ의 펄스에너지를 가지는 248nm의 엑시머 레이저가 사용되었으며, 박막 증착온도는 600C~830C였다. 1차완충층인 Y₂O₃박막은 금속기판의 산화를 방지하기위하여 환원분위기 (P(Ar/4%H₂) = 200mTorr), 600~700C에서 증착되었으며, 나머지 층들은 산소 분위기 (P(O₂) = 0.1~200mTorr), 700~800C에서 증착되었다. 다층박막의 집합조직과 미세조직은 XRD, SEM 및 광학현미경을 이용하여 분석하였고, 초전도특성은 1uV/cm의 기준으로 4-probe 법을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가공/열처리공정을 통하여 2축배향시킨 Ni 기판 위에 1차 완충층 (Y₂O₃), 2차 완충층 (YSZ), 3차완충층 (CeO₂), YBCO 초전도층, Ag 보호층을 차례로 증착한다. 1차완충층은 금속기판의 산화를 방지하면서 epitaxial 하게 산화물 박막이 증착되어야 하므로, 그 과정이 다른 산화물 증착과 다르다. 1차완충층은 금속의 2축배향성을 산화물인 초전도층까지 전달하기 위한 2축배향의 씨 (seed) 역할을 하는 층이다. 2차완충층인 YSZ층은 Ni이 초전도층까지 확산하여 초전도특성을 열화시키는 것을 방지하는 역할 (diffusion barrier)을 하며, 초전도층과의 격자정합이 YSZ보다 우수한 CeO₂박막으로 이루어진 3차완충층은 초전도층의 in-plane 배향을 더 좋게 만드는 역할을 한다. 모든 완충층은 금속기판이 가지고 있는 2축배향을 초전도층까지 전달하는 역할도 수행한다.

위에 기술한 다층의 산화물 박막을 증착하기 위하여 각층의 기판온도, 증착분위기, 레이저 펄스 에너지 등의 많은 증착변수들이 최적화되어야 한다. 표 1은 제조된 coated conductor의 다층구조와 두께, 증착온도, XRD omega scan과 phi scan 으로부터 얻은 out-of-plane fwhm과 in-plane fwhm을 보여준다. 2~3 um의 두께를 가지는 Ag 보호층을 포함하여 전체두께가 약 74um이며, Ni의 2축배향성이 완충층을 통하여 초전도층까지 전달되는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 다층의 산화물 박막으로 이루어진 YBCO coated conductor의 구조, 각층의 두께, 증착온도와 2축배향성.

Table 1. The structure of the coated conductor fabricated in this study, and the thickness, substrate temperature, in-plane & out-of-plane fwhm of each layer.

	두께	증착 온도	in-plane fwhm	out-of-plane fwhm
YBCO	350nm	760C	13	4.5
CeO ₂	25nm	780C		
YSZ	330nm	780C	14	10
Y ₂ O ₃	150nm	650C	10	11
Ni	70um		12	8

그림 1은 표 1의 coated conductor의 초전도특성을 보여준다. 임계온도 (T_c), 임계전류 (I_c), 및 임계전류밀도 (J_c)는 각각 84K, 3.3A, 및 310,000 A/cm² 이었다.

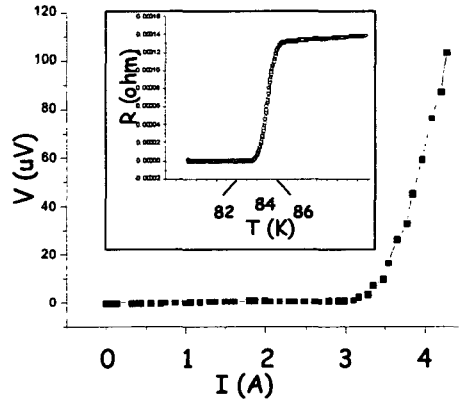


그림 1. 표 1 coated conductor의 초전도 특성.

Fig 1. XRD Superconducting properties of the coated conductor shown in table 1.

그림 2는 SEM 으로 관찰한 표면 미세조직을 보여준다. 입자크기는 수십 um (30~80um)정도이며, PLD 공정으로 증착된 박막의 특징인 표면의 particulate들이 관찰된다.

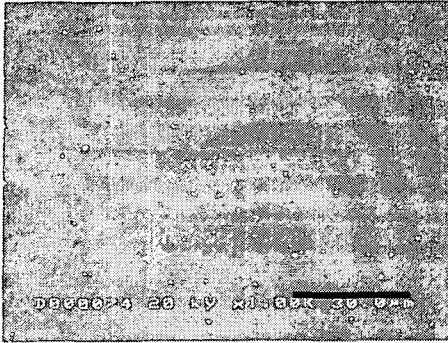


그림 2. SEM으로 관찰한 YBCO 박막의 표면 미세조직.

Fig 2. SEM micrograph of the surface of the YBCO film.

금속기판의 2축배향성을 향상시키고, 증착조건을 개선하는 연구가 진행중이며, 장선화를 위한 장비개발도 동시에 추진중에 있다.

4. 결론

4개의 층으로 이루어진 다층의 산화물 박막을 2축배향된 Ni 기판에 증착하였다. Ni의 배향성이 3개의 층으로 이루어진 완충층을 거쳐서 마지막 초전도층까지 전달됨을 확인할 수 있었고, 2축배향된 YBCO 초전도층은 84K의 임계온도, 3.3A의 임계전류, $0.31\text{MA}/\text{cm}^2$ 의 임계전류밀도를 가졌다. 다층의 산화물 박막 증착조건을 개선하는 연구와 장선의 선재를 제조하기위하여 필요한 증착장비를 개발하는 노력이 진행 중이다.

감사의 글

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

참고 문헌

[1] D. P. Norton, A. Goyal, J. D. Budai, D. K. Christen, D. M. Kroeger, E. D. Specht, Q. He, B. Saffian, M. Paranthaman, C. E. Klabunde, D. F. Lee, B. C. Scales and F. A. List, "Epitaxial $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ on biaxially

Textured Nickel(001): An approach to superconducting tapes with high critical current density.", Science, Vol. 274, pp. 755, 1996.

- [2] Y. Iijima, N. Tanabe, O. Kohno and Y. Ikeno, "processing and transport characteristics of YBCO tape conductor formed by IBAD method.", Appl. Phys. Lett., Vol. 60, pp. 769, 1996.
- [3] K. Fujino, N. Yoshida, S. Okuda, T. Hara, T. Ohkuma, and H. Ishii, Advances in Superconductivity VII, p.629, Springer, Tokyo (1995); K. Hasegawa, K. Fujino, H. Mukai, M. Konishi, K. Hayashi, K. Sato, S. Honjo, Y. Sato, H. Ishii, and Y. Iwata, Applied Superconductivity, 4, 487 (1996).