

RABiTS-PLD 법을 이용한 장선 박막형 고온초전도선재

고락길^{1,3}, 김호섭¹, 하홍수^{1,4}, 양주생¹, 박유미¹, 송규정¹, 오상수¹, 박찬² 김영철³
 한국전기연구원¹, 서울대학교², 부산대학교³, 성균관대학교⁴

Long length HTS coated conductor by RABiTS-PLD method

Rock-Kil Ko^{1,3}, Ho-Sup Kim¹, Hong-Soo Ha^{1,4}, Joo-Sang Yang¹, Yu-mi Park¹, Kyu-jeong Song¹
 Sang-soo Oh¹, Chan Park², Young-cheol Kim³

Korea Electrotechnology Research Institute¹, Seoul National Univ.², Pusan National Univ.³, Sungkyunkwan Univ.⁴

Abstract : 냉간 압연과 열처리 공정을 통해 2축 배향성을 가지는 금속 기판 위에 산화물 박막을 증착 시켜 같은 정도의 2축 배향성을 갖도록 제조된 RABiTS template 위에 YBCO 초전도체를 PLD 방법으로 증착하여 YBCO coated conductor 선재를 제조하였다. RABiTS template은 NiW/Y₂O₃/YSZ/CeO₂ 구조로 DC reactive sputtering와 PLD 방법에 의해 증착되었다. 모든 공정은 reel-to-reel 방식의 연속 공정으로 이루어졌다. 1m와 10m급의 장선 고온초전도선재를 제조하고, 이에 대한 전기적 특성과 초전도 및 다층 산화물 완충층에 대한 결정성, 표면 특성에 대한 분석을 수행하였다. 그 결과 1m 길이에서 end-to-end 107A와 10.6m 길이에서 end-to-end 51A의 임계 전류를 획득하였다. 제조된 박막형 선재의 초전도 층과 다층의 산화물 완충층 모두 금속 기판의 결정성을 그대로 유지하면서, epitaxial하게 성장하였으며, 최종 YBCO의 in-plane FWHM 값은 > 9°를 유지 하였다.

Key Words : 고온초전도, YBCO, RABiTS, PLD, coated conductor

1. 서 론

전력기기로의 응용을 위한 실질적인 YBCO coated conductor 제조에 있어서 장선이면서 높은 전류 통전 성능과 낮은 제조비용은 매우 중요시되는 점이다. 이러한 점을 만족시킬 수 있는 가능성 있는 기술은 2축 배향성의 template를 얻는 다양한 방법과 많은 증착 기술에서 시도되고 있다.[1] RABiTS는 냉간 압연과 열처리를 통해 2축 배향된 금속 기판 위에 기판의 2축 배향성을 그대로 유지하면서 완충층 산화물을 증착하는 공정으로 간단하면서도 낮은 공정비용으로 우수한 2축 배향성의 장선 coated conductor 제조용 금속 기판을 얻을 수 있는 공정 기술이다.[2] PLD는 가장 일반적이고 우수한 성능의 산화물 초전도 박막을 증착하는 기술 중의 하나이다. PLD 기술은 다른 증착 기술에 비해 비교적 적은 조정 변수와 증착 과정 중의 정확한 조성비, 넓은 분압 영역 그리고 타 PVD 공정에 비해 높은 증착율이 장점이다. 그러므로 2축 배향된 기판과 초전도 층을 위한 RABiTS-PLD 공정은 높은 성능을 가지면서 저렴한 기판을 사용하여 장선의 coated conductor를 제조할 수 있는 또 다른 공정이 될 수 있다. 본 논문에서는 연속공정을 통해 이축 배향된 금속 기판 위에 DC reactive sputtering[3] 과 PLD 증착법으로 완충층과 초전도층, 그리고 보호층까지 증착하여 m급의 coated conductor를 제조하고 그 성능을 평가하였다.

2. 실험

m급의 YBCO coated conductor 제조를 위해 reel-to-reel 방식으로 금속 기판의 이동이 가능한 DC reactive sputter와 PLD 증착 장비를 이용하여 이축 배향된 금속 기판 위에

NiW/Y₂O₃/YSZ/CeO₂/YBCO/Ag의 구조를 갖는 coated conductor를 제조하였다. 표 1은 제조된 coated conductor의 다층 구조와 증착 물질 및 증착 방법에 대한 정보를 보여주고 있다.

표 1. coated conductor의 다층 구조와 증착 물질 및 방법

Structure	Material	Deposition method
protective layer	Ag	DC sputtering
HTS layer	YBCO	PLD
capping layer	CeO ₂	PLD
diffusion barrier	YSZ	DC reactive sputtering
seed layer	Y ₂ O ₃	DC reactive sputtering
textured tape	Ni-3%W	

본 연구에서 사용된 2축 배향된 장선의 금속 기판은 10mm 폭과 50μm 두께를 갖는 Ni 3%W 합금 테이프를 Oxford Superconducting Technology (OST) 회사로부터 지원 받았다. 그 위에 seed layer와 diffusion layer로써 Y₂O₃/YSZ 완충층을 금속 target과 수증기를 산화 작용 가스로 사용하는 DC reactive sputtering을 사용하여 증착하였으며, 이렇게 제작된 NiW/Y₂O₃/YSZ tape 위에 CeO₂와 YBCO를 각각 cap layer와 HTS layer로써 PLD 장치를 이용하여 증착하였다. 모든 다층 산화물 증착은 reel-to-reel 연속 공정으로 이루어졌다. YBCO 증착 후 증착 챔버 내에서 외부와의 접촉없이 DC sputtering방법을 사용하여 in-situ로 Ag를 증착하였으며, 450℃에서 2-4시간 동안 산소를 1 atm으로 흘려주면서 후 열처리를 과정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

DC reactive sputtering 증착법으로 2축 배향된 금속기판 위에 성장한 Y_2O_3/YSZ 박막과 그 위에 PLD 증착법으로 증착된 $CeO_2/YBCO$ 박막 모두 금속 기판으로 부터의 diffusion을 효과적으로 막고, 기판에서 제공한 2축 배향성을 유지하면서 재현성 있게 성장되었다. 다층 박막의 XRD θ -2 θ , phi-scan, omega-scan 분석을 통한 각 박막의 결정성 분석 결과 최초 NiW의 in-plane과 out-of-plane의 FWHM 값인 7.4° 와 3.8° 은 최종 YBCO의 경우 7.4° 와 10.18° 로 성장되었다. in-plane의 경우 NiW의 결정성을 그대로 유지한 반면, out-of-plane의 경우 약 6.4° 의 증가되었다. 이는 seed layer의 Y_2O_3 증착 시부터 발생되고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 1.과 그림 2.는 DC reactive sputtering과 PLD로 증착된 다층 박막에 대한 XRD 분석을 보여주고 있다.

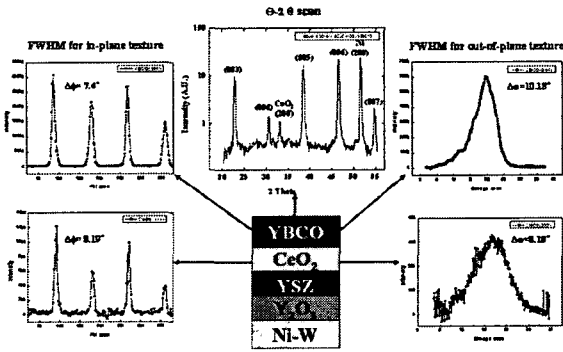


그림 1. DC reactive sputtering 방법으로 증착된 NiW/ Y_2O_3 /YSZ 다층 박막에 대한 XRD 분석

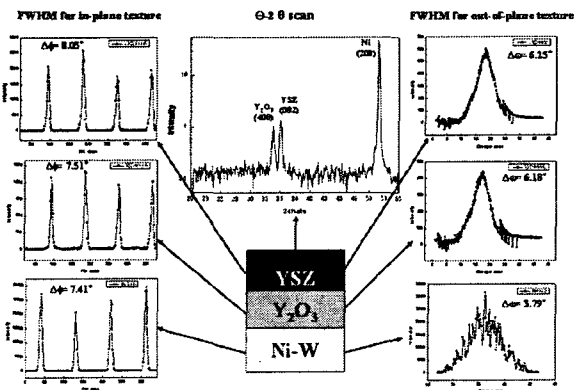
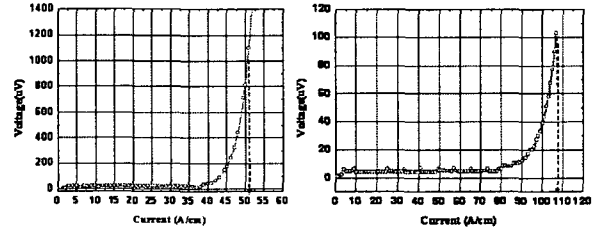


그림 2. NiW/ Y_2O_3 /YSZ tape 위의 PLD로 증착된 $CeO_2/YBCO$ 다층 박막에 대한 XRD 분석

제조된 선재의 전기적 특성 평가를 위해 액체 질소 온도 77K, self field에서 DC 4 단자 측정법을 이용하여 $1\mu\text{v}/\text{cm}$ 기준으로 end-to-end 임계 전류와 길이 방향으로 임계 전류 분포를 측정하였다. 그 결과 길이 1m와 10.6m에서 각각 107A와 51A의 임계 전류를 각각 획득하였고, 길이 방

향으로 대체로 균일한 임계 전류 분포를 확인하였다. 이는 최대 540.6A.m의 성능으로 현재까지 YBCO coated conductor로써는 국내 최고 성능이다. 그림 3.은 길이 1m와 10.6m에 대한 임계전류를 나타내는 I-V 그래프이다. 선재의 T_c 는 86K-87K로 측정되었다.



(a) 10.6m-51A CC (b) 1m-107A CC

그림 3. end-to-end 임계 전류 I-V 그래프

4. 결론

연속 reel-to-reel RABiTS-PLD 공정을 이용하여 높은 I_c 값을 갖는 YBCO coated conductor를 제조하였다. 그 결과 길이 1m와 10.6m에서 양단 임계전류는 각각 107A와 51A였으며, 최대 540.6A.m의 현재까지 국내 최고 성능의 coated conductor를 제조하였다. 본 연구를 통해 제시한 2축 배향성을 갖는 template와 초전도층 증착 방법에 대한 RABiTS-PLD 공정은 고성능의 장선 coated conductor 제조를 위한 다양한 제조 방법들의 조합 중에서 또 하나의 유용한 방법이 될 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 금속 테이프를 제공하여 준 OST의 Dr. K. R. Marken에게 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] Goyal Amit, "Second-generation HTS Conductors", Kluwer Academic Publishers, 2004
- [2] 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. Sales, and F. A. List, "Epitaxial $YBa_2Cu_3O_7$ on biaxially textured nickel (001): An approach to superconducting tapes with high critical current density", *Science*, vol. 274, pp.755, 1996.
- [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