

플라즈마 표면처리를 이용한 YBCO Coated Conductor의 Ag 박막층 증착에 관한 연구

정현기, 양성채^a, 최병정, 두호익

전북대학교 전기공학과

Study on the Ag Thin Film Layer Deposition of the YBCO Coated Conductor Using a Plasma Surface Treatment

Hyun-Gi Jeong, Sung-Chae Yang^a, Byoung-Jung Choi, and Ho-Ik Du

Department of Electricity Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 54896 Korea

(Received November 4, 2016; Revised November 29, 2016; Accepted November 29, 2016)

Abstract: The Ag thin film of YBCO (yttrium barium copper oxide) CC (coated conductor) protect the YBCO layer and, at the same time, affects the electrical characteristics of the YBCO CC. Therefore, YBCO CC with the commercialization of the Ag thin film layers makes it easy to establish a process, it can lead to a variety of characteristic changes in YBCO CC. In this paper, plasma surface treatment was carried out to facilitate the deposition of the Ag thin film and the deposition process of YBCO CC. Surface roughness from the test results was increased as the time of the plasma surface treatment increased from 5 to 20 minutes. On the other hand, the surface roughness was decreased for the time of the plasma surface treatment over 20 minutes. Furthermore, after depositing, the increasing of deposit amount and reduced lifting phenomenon showed a similar tendency with the rise time of surface roughness.

Keywords: YBCO coated conductor, Plasma surface treatment, Surface roughness, Thin film

1. 서 론

근래 YBCO coated conductor (이하 YBCO CC)를 사용한 전력기들이 개발되고 있다 [1,2]. YBCO CC는 4가지 박막으로 이루어진 복합체이다. 그중 은(이하 Ag)박막은 YBCO층을 보호하는 역할을 하는 동시에 Ag 박막의 두께를 변화하였을 시 YBCO CC의 전기적 특성을 변화시킨다 [3]. 따라서 상용화된 YBCO CC의

Ag 박막 층을 간편하게 증착한다면, YBCO CC의 다양한 특성 변화를 가져올 수 있고, 이를 통해 적용분야의 다변화를 모색할 수 있다.

본 논문에서는 YBCO CC의 Ag 박막 층의 증착을 위한 실험을 진행하였다. 증착공정 전 플라즈마 표면처리를 실시하여 박막 표면 거칠기 증가와 증착되는 Ag 박막의 두께가 향상될 것이라고 예상된다 [4]. 또한 표면 거칠기가 상승하게 되어 박막의 들뜬 현상도 감소될 것이다. 실험 결과 분석을 위하여 2가지 기기를 사용하였다. 표면 거칠기 분석을 위하여 AFM (atomic force microscope)을 사용하였고, 증착된 Ag 박막 두께와 박막의 부착 상태를 확인하기 위하여 FESEM (field emission scanning electron microscope)을

a. Corresponding author; yangsc@jbnu.ac.kr

사용하였다.

2. 실험 방법

2.1 YBCO coated conductor

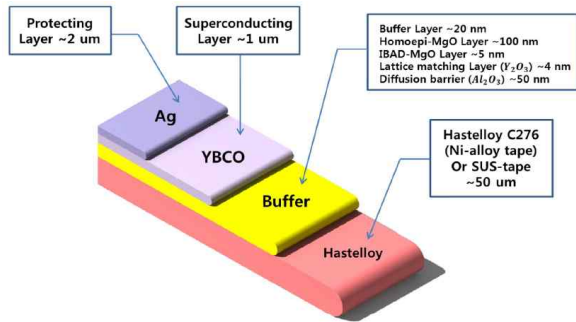


Fig. 1. Structure of the YBCO coated conductor.

본 논문에서 사용된 YBCO CC는 그림 1과 같이 4 가지 박막으로 이루어진 복합체이다 [5]. YBCO (yttrium barium copper oxide, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$)라는 초전도체가 $1\mu\text{m}$ 정도 있고, 그 위에는 Ag 박막 층이 약 $2\mu\text{m}$ 정도 증착되어져 있다. Ag 박막은 YBCO 층을 보호하며, Ag 박막 층의 두께에 따라 YBCO CC의 전기적 특성이 변화한다.

2.2 플라즈마 표면처리

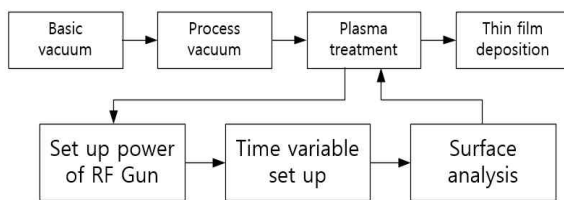


Fig. 2. Flow chart of the plasma surface treatment.

그림 2는 플라즈마 표면처리 구성도이다. 본 논문에서 제안하고 있는 플라즈마 표면처리는 Ag 층의 표면 거칠기를 변화시키는 물리적 처리 과정이며, 이때 사용된 기체는 비활성 기체인 Argon(이하 Ar)가스이다. Ar 가스를 선택한 이유는 양이온의 물리적인 충돌과 에너지 교환 효과만 기대할 수 있기 때문이다 [6]. 상

Table 1. Plasma surface treatment conditions.

Process condition	value
Gas	Ar
Gas flow	125 sccm
Treatment time	0, 5, 10, 20, 25, 30 min
Treatment power	50 W

이한 거칠기를 갖는 샘플 제작은 표면처리 시간차를 적용하여 6가지 경우로 제작하였다. 이하 플라즈마 표면처리 조건들은 표 1에 제시하였다.

2.3 증착공정

그림 3은 증착공정에서 사용한 magnetron sputtering deposition system이다. 증착공정은 크게 3가지 과정으로 진행된다. 첫번째 공정에서는 챔버 내부의 불순물을 제거한다. 불순물을 제거하기 위해서 초기진공압력을 고진공인 9.6×10^{-7} torr으로 유지하였다. 두번째 공정은 증착 전 플라즈마 환경을 조성하는 단계이다. Ar 가스를 사용하여 플라즈마를 조성하는 3.4×10^{-2} torr 압력으로 조성하였다. 끝으로, 설정된 증착압력 하에서 Ag를 2시간 동안 증착하였다. 이하 증착공정 조건들은 표 2에 제시하였다.

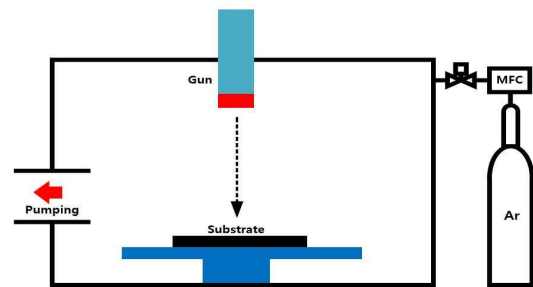


Fig. 3. Magnetron sputtering deposition system.

Table 2. Magnetron sputtering deposition conditions.

Process condition	Value
Basic vacuum	9.6×10^{-7} torr
Deposition vacuum	3.4×10^{-2} torr
Gas	Ar
Gas flow	125 sccm
Target	Ag (99.99%)
Gun angle	15°
Distance between gun and substrate	160 mm
Gun power	150 W
Deposition time	2 h

3. 결과 및 고찰

그림 4와 그림 5는 플라즈마 표면처리시간에 따른 AFM 결과이다. 플라즈마 표면처리시간이 증가 할수록 (그림 4(a)~(d)) 표면의 작은 클러스터들이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 작은 클러스터의 결합에너지가 감소하여 분해된 것이라고 사료되어진다. 정확한 표면 거칠기를 확인하기 위하여 Ra(중심선 표준 거칠기)를 확인하였다. 그림 5에서 확인할 수 있는 것처럼 표면처리시간이 0분에서 20분으로 증가할수록 표면 거칠기는 193.17 nm에서 208.11 nm으로 증가하는 경향을

보인다. 플라즈마 표면처리시간이 20분을 초과하게 되면(그림 4(e)~(f)) 작은 클러스터들이 다시 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 표면처리시간의 증가에 따른 큰 클러스터들의 결합에너지가 감소하여 분해된 것이라고 사료된다. 이에 대한 Ra수치를 확인하면, 그림 5와 같이 표면 거칠기가 208.11 nm에서 180.66 nm로 감소되는 경향이 보인다. 이러한 2가지 경향이 나타난 이유로는 Ar에 의해 에너지가 박막표면으로 전달되어 작은 클러스터들이 먼저 분해되어 표면 거칠기가 증가한 것이라고 사료된다. 그러나 20분을 초과하게 되면 전달받은 에너지에 의하여 큰 클러스터들이 작은 클러스터들로 분해되어서 표면 거칠기가 감소되는 것으로 사료되어진다.

AFM을 이용한 분석으로는 신뢰성이 부족하여 접촉각 분석을 추가적으로 진행하였다. 그림 6은 각각의 거칠기에 따른 접촉각을 측정한 것이다. 이를 통해서 20분을 기준으로 2가지 경향을 확인하였다. 20분 이전에서는 접촉각이 감소하였고, 20분 초과에서는 접촉각이 증가하였다. 이를 통해 20분까지는 박막의 접촉력

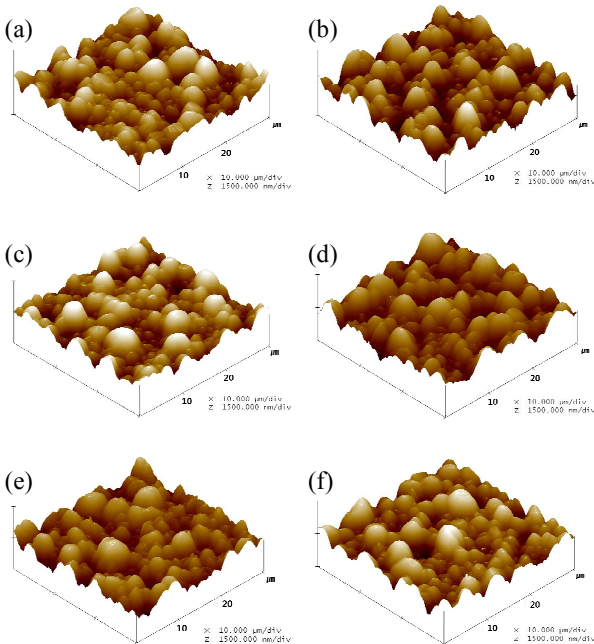


Fig. 4. AFM image of the plasma surface treatment time change; (a) 0 min, (b) 5 min, (c) 10 min, (d) 20 min, (e) 25 min, and (f) 30 min.

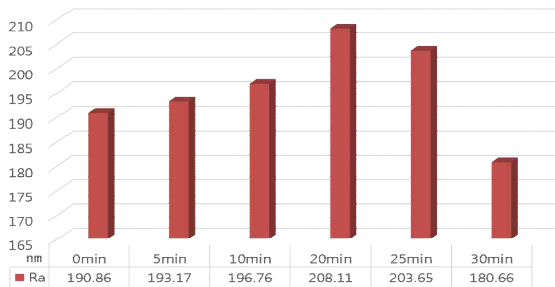


Fig. 5. Roughness analysis.

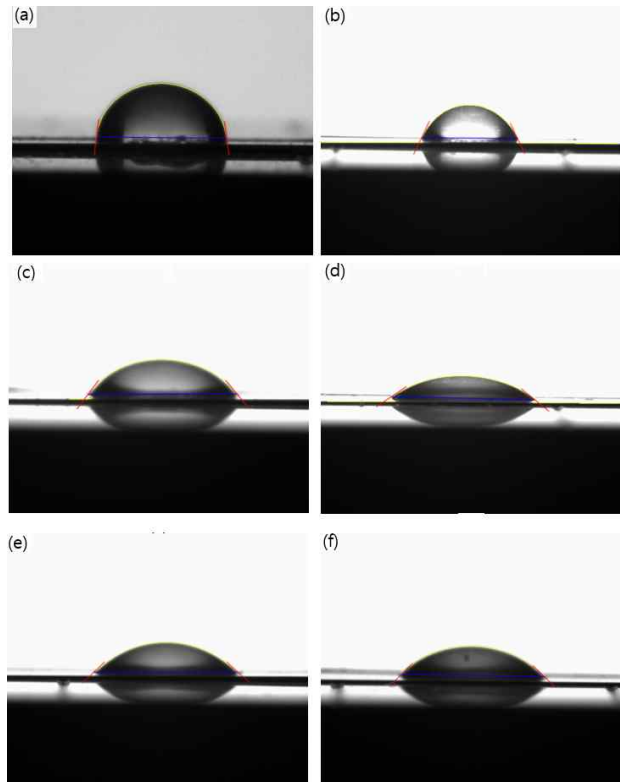


Fig. 6. Contact angle's of the plasma surface treatment time change; (a) 0 min, (b) 5 min, (c) 10 min, (d) 20 min, (e) 25 min, and (f) 30 min.

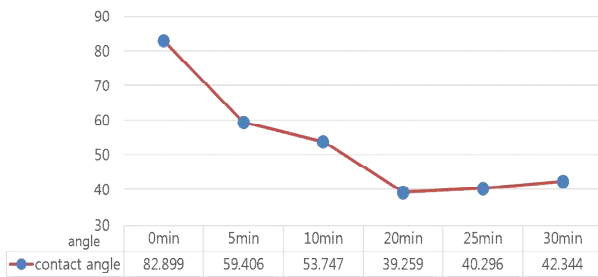


Fig. 7. Contact angle's analysis.

이 증가하였다고 분석할 수 있다.

AFM을 통해 박막 표면 거칠기에 대한 분석을 진행하였고, 플라즈마 표면처리 후 증착박막두께 확인과 박막 상태를 확인하기 위하여 FESEM을 사용하였다. 그림 8은 플라즈마 표면처리 후 FESEM 이미지이다. FESEM 이미지 좌측 아래에 있는 수치는 이미지 측정시의 명암을 조절하는 변수로 결과에는 영향을 미치지 않는다.

박막 상태를 확인하였을 때, 표면처리를 미실시한 것(그림 8(a))에서는 박막의 들뜬 현상이 발생하였다. 이후 표면처리를 실시한 데이터에서는 들뜬 현상이 발생되지 않았다. 들뜬 현상은 박막에서의 치명적인 현상으로 박막에서는 최우선적으로 방지해야 한다. 표면처리를 실시하면 들뜬 현상이 발견되지 않기 때문에 이를 통해서 박막의 접착력 향상을 알 수 있었다.

표면 거칠기가 상승한 경향에서의 박막 증착 두께를 확인하여보면 증착된 Ag 두께가 0분에서는 560 nm, 10분에서는 310 nm, 20분에서는 500 nm로 확인되었다. 0분에 비하여 증착두께가 줄어들었으나 표면처리가 실시되는 상황에서는 20분까지는 증착 두께가 증가한다. 증착두께가 표면처리를 미실시한 샘플과 비교하여 낮은 이유는 표면처리를 실시하면서 기존 표면 두께(2 μm)에 영향을 가해서 기존 표면 두께가 감소하기 때문에 증착두께는 감소된 것으로 사료된다.

표면 거칠기가 감소하는 20분 이후에서는 증착 두께가 각각 230 nm와 160 nm로 확인되었다. 이를 통해서 증착두께가 20분을 기준으로 이전은 증가하고 20분 이후로는 감소한다는 것을 확인할 수 있었다. 5분 데이터는 AFM 분석을 통해서 표면 거칠기가 증가한다는 것을 알 수 있었기 때문에 FESEM에서는 10분 데이터를 통해서 예상할 수 있기 때문에 생략하였다.

이러한 결과에 근거하여서 플라즈마 표면처리가 박막두께 향상과 박막의 들뜬 현상 감소에 도움이 된다고 판단된다 [7].

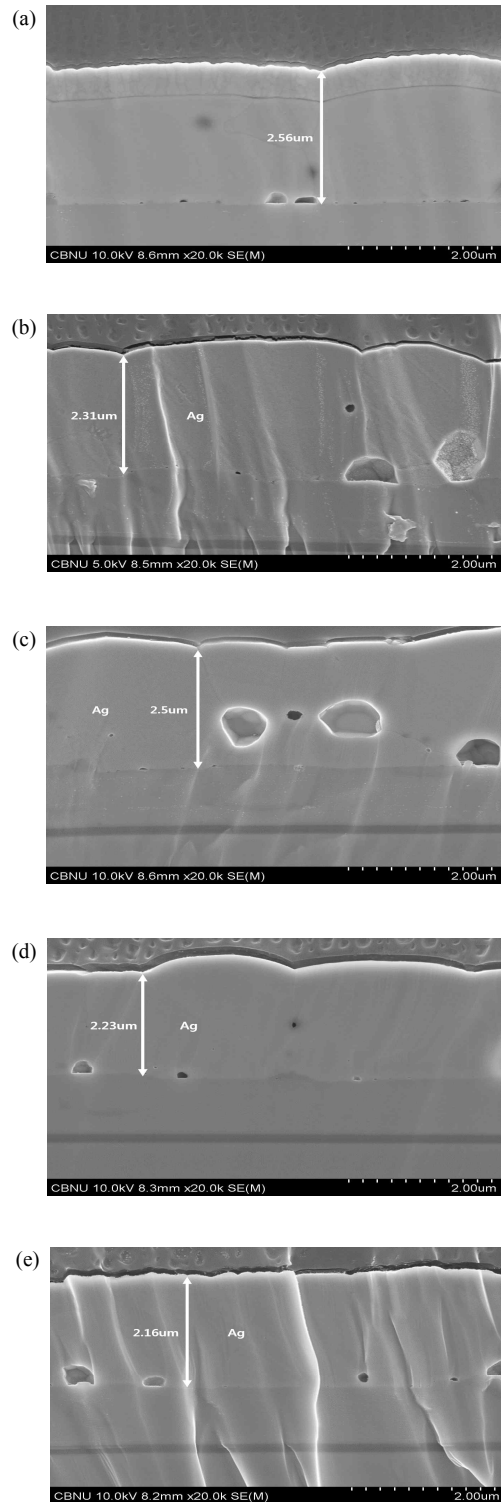


Fig. 8. FESEM image of the plasma surface treatment time change; (a) 0 min, (b) 10 min, (c) 20 min, (d) 25 min, and (e) 30 min.

4. 결 론

본 논문에서는 상용화된 YBCO CC의 Ag 박막 층을 새롭게 증착하여 적용 분야의 다변화를 목표로 진행하였다. Ag 박막 층을 추가 증착하기 전, 플라즈마 표면 처리를 실시하여 표면 거칠기의 변화를 준 뒤 추가 증착을 진행하였다. 실험 분석은 표면 거칠기 확인과 접촉각, 박막 증착 두께, 박막 상태 확인을 위해 AFM과 접촉각 측정기, FESEM을 사용하였다.

실험 결과 표면 거칠기의 상승 경향에서 증착 후 박막 퇴적량 증가와 박막의 들뜬 현상 감소가 확인되었다. 이를 통해 증착 후 퇴적량과 들뜬 현상은 표면 거칠기의 영향을 받는다고 사료된다. 증착 퇴적량의 증가와 들뜬 현상 감소는 Ag 박막 층의 증착에 중요한 요소로서, 두 요소의 성능 향상은 YBCO CC의 적용분야 다변화를 기대할 수 있다.

하지만 FESEM을 통해 들뜬 현상 감소를 확인하였지만 정량적 분석이 부족하기 때문에 추가적인 실험이 필요하다고 사료된다.

REFERENCES

- [1] M. W. Park, *World of Electricity*, **51**, 25 (2002).
- [2] T. Watanabe, Y. Shiohara, and T. Izumi, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **13**, 2445 (2003). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TASC.2003.811818>]
- [3] C. Park, *World of Electricity*, **56**, 25 (2007).
- [4] S. C. Park, J. H. Lee, J. W. Lee, I. H. Lee, S. E. Lee, B. I. Song, Y. K. Chung, and Y. B. Park, *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, **14**, 61 (2007).
- [5] A. Ishiyama, H. Ueda, T. Ando, H. Naka, S. Bamba, and Y. Shiohara, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **17**, 2430 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TASC.2007.897998>]
- [6] B. H. Cho, *A study on the enhancing adhesion strength of polycarbonates and Cu films by plasma surface treatment*, Korea Advanced Institute of Science and Technology of Master of Engineering, Daejeon (2002).
- [7] J. M. Lackner, W. Waldhauser, M. Schwarz, L. Mahoney, L. Majord, and B. Majord, *Vacuum*, **83**, 302 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2008.06.006>]