

전기영동법을 이용한 2층 구조 초전도선재 제작

Double layered Superconductor Wire using Electrophoresis

소대화*, 박정철**, 전용우***, 이영매*, 조용준*, 임병재*

Soh Deawha*, Park Jungcheol**, Jeon Yongwoo***, Li Yingmei*, Cho Yongjoon*, Lim Byungjae*

Abstract

In this paper, for the study on the fabrication of YBCO superconductor wire, a double layered YBCO superconductor wire was fabricated by electrophoretic method on metal Ag wire(Φ0.8 mm). On the basis of previous researches for the fabrication of superconductor wire, the acetone suspension solution with 8 vol.% of 1% PEG(1000) was used and high molecular adhesive was experimentally performed for an improvement of the critical current density of superconductor wire. It was found that the Ag inter-layer deposited on the superconductor wire affect to the state of second YBCO film and its critical current density.

Key Words : YBCO superconductor wire, electrophoretic method, high molecular adhesive

1. 서론

현재 초전도 선재의 실용화[1]를 위해서 임계전류(I_c)값을 향상시키고 장선재(長線材)의 양산을 위한 기술 개발이 요구되고 있다. 초전도 선재제작에서 임계온도와 임계자장의 값은 물질고유의 특성 값으로써 현재 제작에 사용되고 있는 초전도재료의 특성상 그 값이 크게 변하지 않으나 임계전류밀도는 초전도 선재화 제작 과정 중의 형성모양과 열처리 과정 중에 나타나는 임계의 형태, 밀도 및 결정화 정도의 차이로 값이 크게 변화하기 때문에 선재의 임계전류밀도값의 크기는 제조 과정의 영향을 많이 받게 되는 요소이다[2]. 산화물계 초전도체는 세라믹 특성상 금속계 초전도선재와 같이 기계적, 물리적 성질이 우수하지 못하기 때문에 국내의 주요 연구과제로 대두되고 있는 초전도 선재의 제작에서 제작방법 및 공정상의 엄격함과 제작장비의 고비용 문제 등으로 많은 어려움이 있다.

또한 세라믹 계열이라는 특성으로 인하여 연성 등이 부족하여 쉽게 깨지는 단점과 초전도 입자의 고각입계(high angle grain boundary) 및 약연접(weak link) 등으로 인하여 발생하는 임계전류밀도의 감소문제 등의 이유로 세라믹 고온초전도체를 이용한 선재 제작방법에는 공정상의 어려움이 따르게 되어 이를 극복하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다[3,4].

본 논문에서 YBCO 초전도 분말을 이용한 초전도 후막선재 제작 기술에 관한 연구로써, 단층구조의 전기영동전착 초전도선재에서 발생되어 임계전류밀도의 감소에 영향을 미치는 크랙의 영향 감소 및 2차 전착을 통해 단층 구조의 초전도 선재와 비교하여 임계전류밀도를 향상시키고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험장치

YBCO 초전도 전착선재 제작을 위해서 그림 1의 전착장치를 사용하였으며, YBCO 초전도 현탁용매는 25 ml의 아세톤 및 알코올계 용매에 YBCO 초전도 분말 0.25 g을 전착조에 넣어 혼합하고 분산시켰으며, Ag 모재와 양극(+) 사이의 거리는 1 cm로 고정시켜 전착막을 제작하였다.

* 명지대학교 전자정보통신공학부
(경기도 용인시 남동 산 38-2,
Fax: 031-336-7244

E-mail : dwhs0h@mju.ac.kr)

** 경원전문대학 전자정보과

*** 성덕대학 전자과

전착이 끝난 후막선재는 급격한 열처리로 인한 잔류응매의 휘발로 발생하는 기공과 크랙 발생을 감소시키기 위하여 상온에서 24시간 자연 건조시킨 후, SiC 튜브형 노를 이용하여 소결 및 산소흡착 처리를 수행하였다.

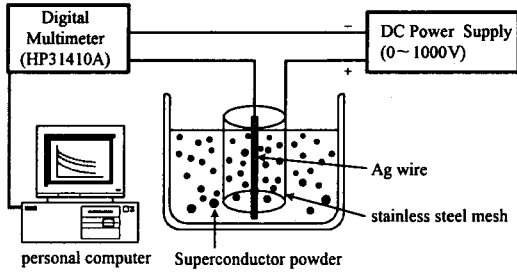


그림 1. 전기영동 후막선재 전착 장치의 개략도[5]
Fig. 1. Schematic diagram of electroplating system for wire deposition.

2. 이중구조 YBCO 초전도 후막선재 제작

이중구조의 후막선재를 제작하기 위하여 Ag 모재에 YBCO를 전착한 후, 800°C에서 6시간 열처리를 거친 다음 전기영동전착법으로 Ag₂O를 전착시킨 후, 600°C에서 2시간 동안 열처리를 수행하여 후막선재 표면에 Ag막을 만들었다. 동일한 전기영동전착 조건으로 Ag막에 YBCO를 이중으로 전착시킨 후, 열처리과정을 거쳐 Ag막을 생성시켰다. 전착된 이중구조의 시편을 소결과정과 산소흡착과정을 수행하고 전기적 특성을 측정하였다.

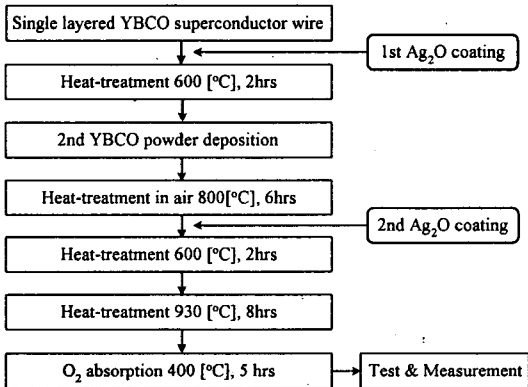
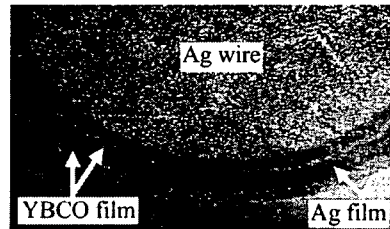


그림 2. YBCO 초전도 후막선재의 2층 구조 제작 흐름도

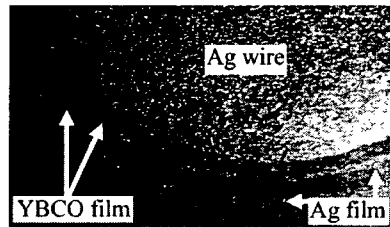
Fig. 2. Flow chart of 2nd-layered YBCO superconductor wire preparation.

3. 결과 및 고찰

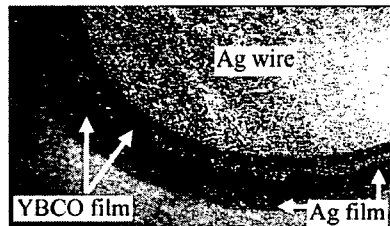
아세톤 용매에서 1% PEG(1000)을 8 vol.% 첨가하였을 때 초전도체 YBCO 후막선재의 임계전류밀도값은 최대값을 나타냈다. 이 결과를 바탕으로 1% PEG(1000)을 8 vol.% 첨가한 아세톤 현탁 용매에 전착전압 200 V/cm, 전착시간 30 초의 조건으로 YBCO 초전도체 분말을 Ag 모재에 전착하고 열처리한 후, Ag₂O를 전기영동 전착법으로 전착하였다. 또한 다층 구조에서 중간층 Ag막의 영향을 알아보기 위하여 Ag₂O의 전착전압은 모두 100 V/cm로 하였지만 전착시간을 각기 15초, 30초 45초 주었다.



(a) 10 μm



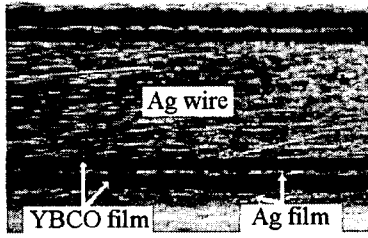
(b) 15 μm



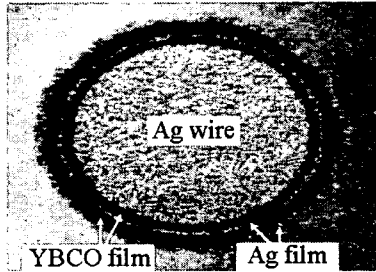
(c) 20 μm

그림 3. Ag막의 두께에 따른 후막선재의 측면 사진

Fig. 3. Longitudinal section views of wire with variable Ag film thickness.



(a)



(b)

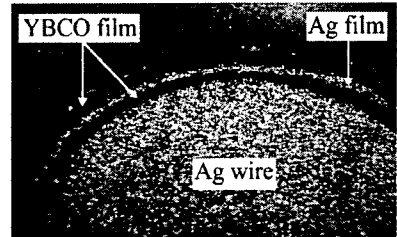
그림 4. 이중구조 후막선재의 측면사진(a)과 단면 사진(b)

Fig. 4. Longitudinal (a) and cross (b) section views of double layered wire.

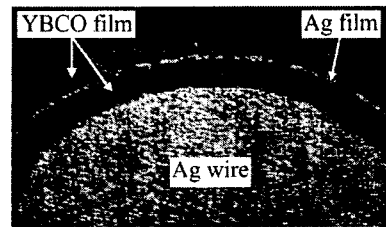
제작된 중간층 Ag막은 그림 3에서와 같이 전착 시간에 따라 각각 10 μm , 15 μm , 20 μm 두께를 나타냈다. 후막선재의 이중구조는 동일한 전착조건으로 두 번째 YBCO 막을 형성하고 열처리하였다. 마지막으로 Ag_2O 를 재차 전착하고 열처리를 거친 다음 최종 Ag막을 형성하였다(그림 4). 제작된 시편을 단층구조와 같은 방법으로 마지막 소결처리 과정과 산소흡착 과정을 거친 후 임계전류밀도를 측정하였다. 측정결과, 중간층 Ag막의 두께가 15 μm 인 시편에서 최대값인 1590 A/cm²의 임계전류밀도값을 얻었다.

중간층 Ag막이 10 μm 인 경우 소결처리 중에 1차 전착막과 2차 전착막의 YBCO 후막간에 서로 영향을 미치게 된다. 즉, 중간층 Ag막이 얇게 되면 2차 전착막에서 발생된 큰 크랙들이 1차 전착막에 충격이 주게되어 크랙을 발생시키는 원인으로 작용하게 된다. 이것은 막의 두께가 두꺼울수록 표면의 크랙 발생으로 임계전류밀도를 감소시킨다는 본 논문의 연구결과로서 해석할 수 있다. 또한 전기영동법을 이용하여 Ag_2O 를 전착시키는 방법으로 중간층 Ag막을 20 μm 이상으로 두껍게 형성시키기 위해서는 전해질인 요오드를 첨가해야 되고

이는 표면의 크랙과 기공을 유발시켜 균일한 Ag막의 형성을 방해하게 된다[6]. 균일하지 못한 Ag막은 YBCO 분말의 균일한 전착에 영향을 끼치게 되어 전착후막의 크랙발생 원인으로 나타난다. 결과적으로 중간층 Ag막의 두께와 상태는 다층구조 후막선재의 초전도특성에 영향을 미치게 되는 것이다.



(a)



(b)

그림 5. 1차 전착막의 두께에 따른 중간층 Ag막의 상태 사진

Fig. 5. Photographs of interlayer Ag film with different thickness of 1st deposited film.

그림 5는 1차 전착된 YBCO 층의 두께에 따른 중간층 Ag막의 두께 형태를 나타냈다. 1차 YBCO 후막전착의 두께가 15 μm 인 시편과 55 μm 인 시편의 표면에 Ag 막을 전착하였다. 그 결과, 1차 YBCO 전착후막의 두께가 얇은 시편의 Ag막이 두껍게 전착되었다. 그림 5(b)에서 중간층 Ag막이 얇은 원인은 다음 두 가지로 분석할 수 있다. 첫째, 1차 YBCO 후막이 두꺼우므로 Ag_2O 의 전착이 동일한 전착전압에서 매우 적게 이루어졌기 때문이다. 둘째, 열처리 과정에서 1차와 2차 전착된 두꺼운 YBCO 막은 입자사이에 고상반응을 일으키면서 밀도가 증가되는 동시에 중간층 Ag막은 쉽게 두꺼운 YBCO후막의 크랙 사이로 침투하기 때문이다. 결과적으로 전기영동전착 과정과 열처리 과정에서

중간층 Ag막은 1차와 2차 전착된 YBCO 후막의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

가장 높은 임계전류밀도값을 갖는 조건인 아세톤에 1% PEG(1000)을 8 vol.% 첨가한 현탁용매에서 Ag막을 전기영동전착법으로 중간층을 형성시켜 이층구조의 YBCO 후막 선재를 제작한 결과, 중간층 Ag막은 1차 전착된 YBCO 후막이 두꺼울수록 전착이 매우 적게 형성되는 것으로 나타났다.

열처리 과정에서는 1차층과 2차층의 YBCO 전착 후막이 두꺼울수록 입자사이에 고상반응을 일으켜 후막의 밀도가 증가되고 동시에 중간층 Ag막은 쉽게 두꺼운 YBCO 후막으로 침투하기 때문에 Ag막의 두께가 이층구조 후막선재의 특성에 영향을 미친다는 것을 확인하였고, 중간층의 Ag막이 15 μm 인 시편에서 가장 높은 2,890 A/cm²의 임계전류밀도값을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 KISTEP에서 시행한 국제공동연구사업(과제번호: M1-0011-00-0043)의 지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] H. Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi, and T. Asano, "超低溫の物性物理", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. L209, 1988.
- [2] 張基瑞, 解思深, "高溫超導電性", 浙江大學出版社, p. 5, 1992.
- [3] 소대화, 박정철, 이영매, 추순남, "후막전착 YBCO 초전도선재 제조연구(I)", 한국전기전자재료학회논문지, 12권, 10호, p. 937, 1999.
- [4] 소대화, 이영매, 임병재, 김태완, 전용우, 코로보바 나탈리아, "폴리머를 첨가한 현탁용매에 따른 초전도 후막의 표면특성", 한국전기전자재료학회 2000 추계학술대회논문집, p. 503, 2000.
- [5] D. W. Soh, Y. M. Li, J. C. Park, Y. J. Cho et al., "Preparation of superconducting YBCO thick film by electrophoresis", Physica C, Vol. 337, No. 1-4, p. 44, 2000.
- [6] 박정철, "EPD법에 의한 초전도선재의 크랙현상과 임계전류밀도향상에 관한 연구", 명지대학교 대학원 박사학위논문, 1999.