

Coated conductor에서 임계전류의 불균일

이남진, 오상수*, 김호섭*, 하동우*, 하홍수*, 고락길*, 김태형*, 문승현**, 염도준
한국과학기술원, 한국전기연구원*, (주) 서남**

A inhomogeneity of critical current at the long length coated conductors

Nam-Jin Lee, Sang-Soo oh*, Ho-Sup Kim*, Dong-Woo Ha*, Hong-Soo Ha*,
Rock-Kil Ko*, Tae-Hyung Kim*, Seung-Hyun Moon**, Do-Jun Youm
KAIST, Korea Electrotechnology Research Institute, SuNam corp.

Abstract : The high critical current (I_c , A) of SmBCO coated conductor in a magnetic field, the high production rate and the high material yield are promising for applications. The inhomogeneity of I_c at the long length coated conductor is very important problem for electric application. So we researched the reason of inhomogeneity of I_c at long length tape prepared by batch type co-evaporation system called by EDDC. The long length SmBCO coated conductors were developed on LaMnO₃/IBAD-MgO/Y₂O₃/Al₂O₃/Hastelloy C276 template. The distribution of I_c are from 0 to 397 A/cm at 77 K and self field. We have studied the microstructures of these films by using SEM, EDS and X-ray diffraction. The XRD and composition by EDS results of SmBCO film reveals subtle difference. But, the microscopic observation by SEM show the microcrack at the sample with low I_c .

Key Words : High-temperature superconductor, coated conductor, SmBCO, Critical current

1. 서 론

1986년 고온 초전도체가 발견된 이후, 고온 초전도체의 상용화, 그리고 이를 이용하여 고자장 마그네트, 저 손실 송전선, 초전도 저장장치 (SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage) 에 적용하기 위한 연구 및 개발들이 활발하게 진행 되고 있다. 최근의 고온 초전도체에 대한 연구는 2세대 초전도 또는 coated conductors (CCs)라고 불리는 고온 초전도체에 대부분의 연구 및 개발이 집중 되고 있다. Coated conductor는 액체 질소 온도 (77K) 그리고 높은 자장하에서도 초전도 응용기기에 응용 가능한 초전도체로 가장 유망한 도체이다. 현재, CCs 선재는 몇몇 회사에 의해 상용화 되었으며, 전력응용 기기에서의 응용에 연구가 집중되고 있다. 비록 고온 초전도체의 제조 공정 조건이 초전도 입자들이 정렬 되도록 제어 가능하지만, 여전히 공정 중에서의 결함 및 조작 중의 실수로 전류를 제한한다. 고온 초전도의 상용화를 위하여, 결함이 없는, 즉 임계전류의 분포가 균일한 1 km 급 선재의 제조가 필수적이다. 따라서 초전도 전 공정중에서 I_c 불균일의 원인을 파악하고 해결할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 Evaporation using Drum in Dual Chamber (EDDC) 법으로 제조된 100m 급 SmBCO 초전도체에서 불균일한 I_c 분포를 가지는 부분을 채취하여, I_c 의 분포의 불균일 원인을 조사하고자 하였다.

2. 실험 방법

LaMnO₃/IBAD-MgO/Y₂O₃/Al₂O₃/Hastelloy C276 template를 사용하여 SmBCO 초전도층을 증착하였다. SmBCO 초전도층의 증착은 동시 열 증발법인 Evaporation using Drum in Dual Chamber (EDDC) 시스템을 이용하였다. 증착 방법은 참고논문 [1-2]에 보고하였다. SmBCO 박막의 배향특성 확인을 위해 Bruker사의 General Area Detector Diffraction System (GADDS)를 이용하였으며, 미세 조직 및 조성은 히타치사의 FESEM S-4800을 이용하였다. 임계전류 (I_c)는 액체 질소의 비점 (77K), 자장 인가 없이 4단자 dc 통전법을 사용하였다. I_c 의 전압기준은 1 μ V/cm로 측정하였다.

3. 결과 및 검토

100 급으로 제조된 SmBCO 초전도체에서 임계전류가 397, 265, 57, 11 A/cm인 네 가지 시편을 준비하여 임계전류 불균일의 원인을 조사하고자 하였다. 그림 1은 임계전류 값에 따른 XRD 패턴을 나타내었다. 임계전류 값에 관계없이 (00n) 방향으로 성장하였다. 그리고 임계 전류가 397, 265, 57, 11 A/cm의 시편에서 각각, $I_{(005)}/I_{(103)+I_{(005)}}$ x 100의 값은 99.5, 99.6, 99.9, 99.5%, SmBCO(005) 면의 ω -scan 반가폭의 값은 1.04, 1.28, 0.97, 1.06° 그리고 SmBCO (102) 면의 ϕ -scan의 반가폭의 값은 5.9, 6.3, 6.2, 6.6° 로 거의 변화가 없었다. 그림 2는 (a) $I_c = 397.5$ A/cm, (b) $I_c = 11.3$ A/cm의 시편의 SmBCO 박막의 미세구조를 나타내었다. 그리고 표 1 에는 임계 전류별 시편의 Sm : Ba :

Cu의 조성비를 나타내었다. 미세 구조 및 조성비에서도 임계전류 변화에 따른 차이점이 확인 되지 않았다.

위의 설명에서처럼 SmBCO의 배향 특성, 미세구조 그리고 조성비에 아무런 차이점이 없어 $I_c = 11.3 \text{ A/cm}$ 일 때의 미세구조 세밀하게 관찰하여 크랙을 발견하였다.

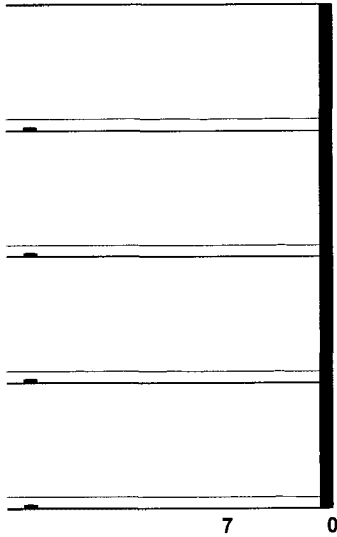


그림 1. 임계전류 값에 따른 XRD 패턴

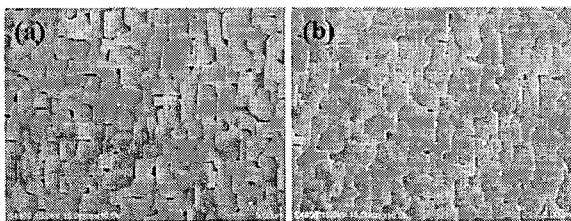


그림 2. SmBCO 초전도체의 미세구조

(a) $I_c = 397.5 \text{ A/cm}$, (b) $I_c = 11.3 \text{ A/cm}$.

표 1. $\text{Sm}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Cu}_y\text{O}_{7.6}$ 의 조성비

| Sample | Sm | Ba | Cu | x | y |
|----------|------|------|------|------|-------|
| 397 A/cm | 1.09 | 2.03 | 2.88 | 0.04 | -0.23 |
| 265 A/cm | 1.09 | 2.03 | 2.87 | 0.05 | -0.25 |
| 57 A/cm | 1.08 | 2.04 | 2.88 | 0.04 | -0.24 |
| 11 A/cm | 1.09 | 2.03 | 2.88 | 0.04 | -0.23 |

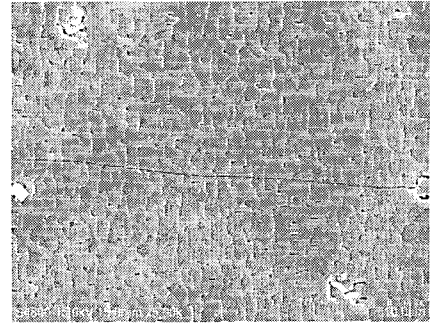


그림 4 $I_c = 11.3 \text{ A/cm}$ 의 시편에서 발견된 크랙의 SEM 이미지

이와 크랙의 원인은 (1) EDDC 증착 공정중 물리적 손상 및 장시간 열처리로 인한 기판 금속 원소의 초전도 박막 쪽으로의 확산, (2) 기판 금속 물질이 초전도층으로 확산 하지 못하도록 확산 방지막 역할을 하는 비정질 Al_2O_3 의 결정화에 기인한 것으로 사료된다. 현재는 이러한 문제들이 어느 정도 극복된 상태이다.

4. 결 론

높은 임계 전류를 가지는 시편과 낮은 임계 전류를 가지는 시편을 이용하여 SEM, EDX, 집합조직 분석을 행하였으나 큰 차이는 관찰 되지 않았다. 우리는 시편에서 미소 크랙이 임계 전류 불균일의 원인이라는 것을 확인하였다. 비록 I_c 의 불균성의 원인은 명확하지는 않지만, 우리는 임계전류의 불균일성의 원인은 부분적인 delamination 또는 크랙, 또는 증착공정 중에서 일시적인 문제라고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프로티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H.S. Kim, H.S. Ha, T.H. Kim, J.S. Yang, R.K. Ko, K.J. Song, D.W. Ha, N.J. Lee, S.S. Oh, D.J. Youm, Chan Park, Physic C 460-462, 2007, pp. 1361-1362.
- [2] S S Oh, H S Ha, H S Kim, R K Ko, K J Song, DWHa, T H Kim, N J Lee, D Youm, J S Yang, H K Kim, K K Yu, S H Moon, K P Ko and S I Yoo, Supercond. Sci. Technol. 21, 2008, pp. 1-6.