BSCCO 선재에서 초전도심의 깊이에 따른 집합조직 연구

지봉기, 임준형, 이동욱, 장석헌, 주진호, 나완수*
성균관대학교 금속재료공학부, 전기전자컴퓨터공학부*

A study of texture through the depth of superconductor core

Ji Bong Ki, Lim Jun Hyung, Lee Dong Wook, Jang Seok Hern, Joo Jinho, Nah Wansoo
Sungkyunkwan University

bkji@nature.skku.ac.kr, jinho@skku.ac.kr

Abstract - We evaluated the degree of texture through depth of the superconductor core of Bi-Sr-Ca-Cu-O(BSCCO) superconductor tape. The degree of texture was characterized by pole figure analysis, indicating that the degree of texture varied significantly with depth of the superconductor core. It was observed that the degree of texture was higher near the interface than inside the superconducting core. Based on the result of degree of texture, the region near the interface is thought to carry significant current compared to that inside the core.

1. 서 론

높은 J_c값을 얻기 위한 BSCCO(2223) 초전도선재의 최적두께는 여러 번 보고되었으나 그 이론과 실험결과가 서로 일치하지 않고 뒷받침할 만한 J_c값과 미세조직의 상관관계가 명확히 관찰되지 않았다. 또한 초전도심의 부분별 초전류의 이동을 분석하기 위해 선재의 두께방향으로 연마해감에 따라 J_c값을 측정한 보고들도 서로 상반된 결과를 보여주고 있으며 계면주위의 우수한 집합조직의 형성을 입증해 줄 수 있는 명확한 미세조직의 사진이 발표되지 않고 있어 이 이론을 뒷받침해주지 못하고 있다.

Larbalestier [1], Yamada[2], 등은 각각 실험에서 초전류가 대부분 입계근처의 초전도심으로 지나간다고 관찰하였으나, Glowacki[3], Grasso[4]는 유사한 실험에서 초전류가 초전도심에서 균일하게 분포하여 지나간다고 보고하였다. 특히 Larbalestier는 계면주변의 입자가 초전도심의 내부보다 더 크고 집합조직도 더 우수하며 제 2상이 적다고 주장하였으나 입자의 상대적 크기에 대한 근거제시가 부족하였다. 그러나 Glowacki는 계면 주변과 초전도심 내부의 집합조직은 차이가 없이 같고 오직 제 2상의 정도만 차이가 난다고 주장하였다. 그러므로 초전도상과 피복재료인 Ag 사이의 계면에서 상호작용 유무나 영향 등에 관한 분석은 2223 초전도 선재의 제조에 매우 중요한 인자임에 분명하다.

본 연구에서는 PIT법을 통해 2223 선재를 제조하였으며, 초전도 특성에 영향을 주는 인자로서 초전도심과 계면의 불균일 정도 및 Larbalestier와 Glowacki의 상반된 실험결과를 피복금속으로부터 깊이에 따른 초전도심의 집합도 변화를 극점도를 통하여 관찰하였다.

2. 실 험 방 법

초전도 분말의 조성이 $Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr_{2.0}Ca_{2.2}Cu_{3.0}O_{10+\delta}$가 되도록 Bi_2O_3, PbO, $SrCO_3$, $CaCo_3$, CuO 분말들을 적정량 혼합하였다. 혼합한 분말을 에탄올과 알루미나 볼과 함께 폴리에틸렌 용기에 넣어 24시간 볼 밀(ball mill) 처리를 하였다. 균일하게 혼합된 슬러리(slurry)를 건조 후 700-855℃, 대기 분위기에서 24시간, 3회 하소처리 후 800℃, 대기 분위기에서 24시간 동안 탈기처리 하여 2223 분말을 제조하였다.

초전도선재 제조는 PIT 방법을 이용하였으며, 인발공정은 매 공정단계마다 단면감소율을 약 10-15%로 하여 직경 2.0 ㎜까지 변화시켰다. 이후 압연공정은 매 단계 두께 감소율을 약 10%로 하여 두께 200 ㎛의 선재를 제조하였다.

선재는 840℃ 대기 분위기에서 50 시간 열처리하여 J_c 측정은 4단자법으로 77 K, 0 T에서 1 ㎶/㎝의 기준으로 행하였다. 초전도심의 깊이에 따른 집합도의 분석은 우선 에칭액을 이용하여 피복금속을 제거하고 2 ㎝ 길이의 조각 네 개를 RD (rolling direction)가 동일하게 나란히 위치하여, 표면과 표면으로부터 두께 방향으로 초전도 심을 15%, 29%, 39%, 51%씩 차례로 제거해가면서 Co-K_α 회절을 이용하여 (115) (119) (200) (0014) (220)면의 극점도를 측정하였다. 측정은 0°에서 70°까지 5°간격으로 기울임각(chi angle)을 변화시켜 가며 측정하였고, 방위분포함수 분석은 조화함수를 이용한 급수전개법을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

소결된 선재의 임계전류값을 측정하기 위하여 V-I 곡선을 구하여 그림 1에 나타내었다. 시편을 840℃ 온도와 대기 분위기에서 50시간 열처리한 후 임계전류(I_c)를 외부자기장이 '0'인 상태에서 측정하였다. 측정된 임계전류는 19.8 A 이며, n값은 전계범위 1~ 5 μV에서 21.1로 측정되었다.

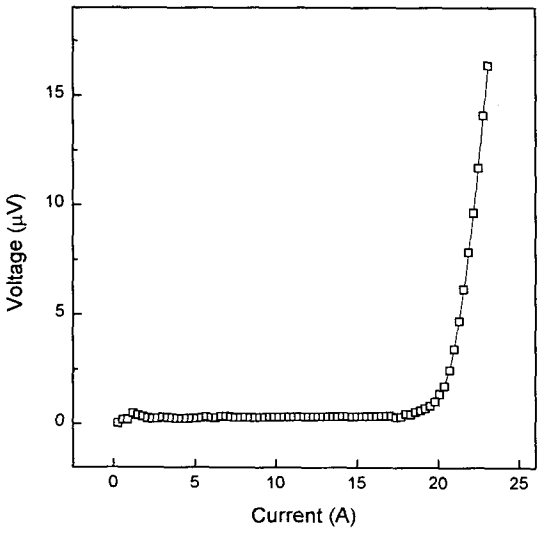


Fig. 1. Critical current(I_c) of superconductor tape

시편의 집합도가 우수함을 알아보기 위하여 시편의 기울임 각(chi angel)을 달리하며 측정한 X-선 회절무늬를 그림 2에 나타내었다. 이는 집합조직이 강하게 발달한 경우 시편의 기울임 각에 따라 결정면간의 회절강도가 틀려짐으로써 2223 초전도체와 같이 결정구조가 복잡한 경우에 모든 회절면의 위치를 정확히 알 수 있기 때문이다. 시편의 각도가 증가할수록 2223 상의 (00*l*)면 상의 회절강도값이 감소하는데, 이는 2223 결정립의 집합성이 ND축으로 더욱 잘 발달되었음을 뜻한다. 특히 시편을 기울이지 않은 경우 (00<u>10</u>), (00<u>12</u>), (00<u>14</u>) 등 (00*l*)면이 다른 면들에 비하여 월등한 강도값을 나타냈으며 2223(00<u>14</u>)의 강도값이 2212 (00<u>12</u>)의 강도값에 비하여 약 8.2배정도 높은 값을 나타내었다. 그러므로 각기 다른 기울임 각의 측정결과로부터 본 실험에 사용된 시편에 강한 집합조직이 형성되어 있음을 확인 할 수 있었다.

초전도심을 표면과 표면으로부터 두께 방향으로 15%, 29%, 39%, 51%씩 차례로 제거해가면서 (00<u>14</u>)면에 대한 측정된 극점도를 그림 3에 나타내었다. 측정된 값은 표면의 경우 압연방향(RD)으로 15°, 횡방향(TD)으로 19° 기울어 있으며, 표면으로부터 15% 깊이에서는 18°, 22°로 나타났다. 또한 표면으로부터 29%, 39% 및 51% 깊이에서는 압연방향(RD)으로 19°, 20° 및 21°, 횡방향(TD)으로 23°, 24° 및 25°로 기울어있어 표면으로부터 멀어지고 중심으로 가까워질수록 집합조직은 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 반가폭(FWHM) 또한 점차적으로 60% 가량 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초전도심이 피복금속으로부터 멀어짐에 따라 결정의 c-축 즉, 법선방향(ND)으로부터 방위분산이 일어나면서 {00*l*}〈001〉 방위가 덜 발달함을 알 수 있다. 이는 소결과정 중 초전도심이 2223/Ag 계면에서 Ag와 상호작용으로서 집합조직이 발달되는 것과 연관이 있는 것으로 판단된다.

관찰된 집합조직의 결과만을 고려할 때 초전류는 초전도심의 내부보다는 계면주위에서 더 우수하게 흐를 것으로 사료되며, 본 실험의 결과는 Larbalestier와 Yamada의 주장과 어느정도 일치하는 것으로 나타났다.

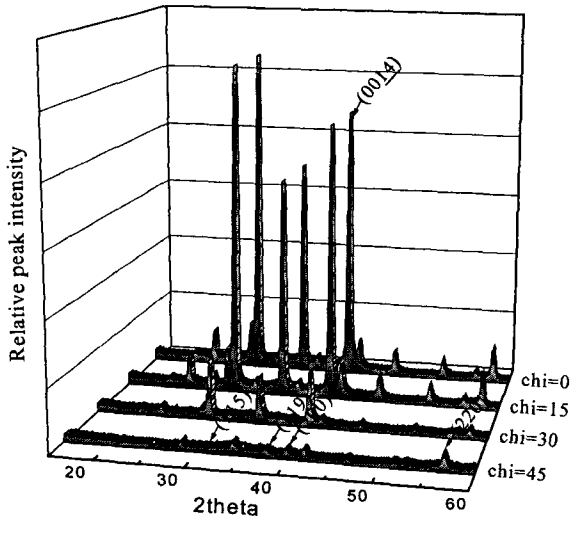
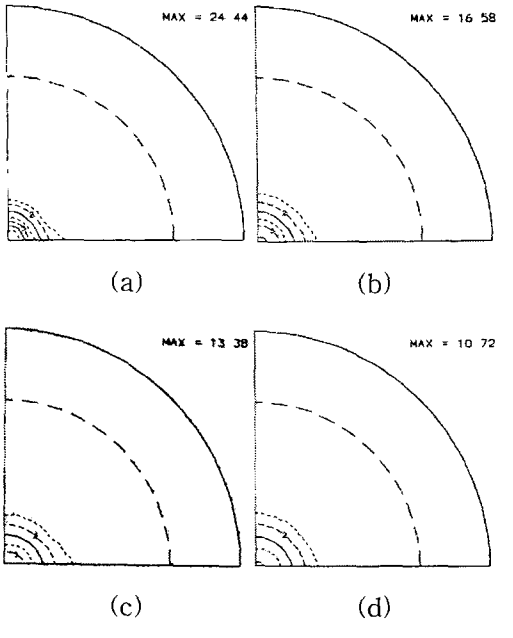
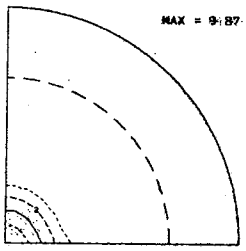


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of superconductor tape through chi angle





(e)

Fig. 3 (0014) experimental pole figure of (a) surface (b) 15% cut off (c) 29% cut off (d) 39% cut off (e) 51% cut off

4. 결 론

초전도심의 깊이에 따른 극점도 관찰결과 집합조직은 표면과 내부에서 분명한 차이를 보였다. 측정된 결과는 표면의 경우 압연방향(RD)으로 15°, 횡방향(TD)으로 19° 기울어있으며, 표면에서 15% 깊이에서는 18°, 22°로 나타났다. 또한 표면으로부터 29%, 39% 및 51% 지점에서는 압연방향(RD)으로 19°, 20° 및 21°, 횡방향(TD)으로 23°, 24° 및 25°로 기울어있어 표면으로부터 멀어지고 중심으로 가까워질수록 집합조직은 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 즉 초전도심이 피복금속으로부터 멀어짐에 따라 결정의 c-축 즉, 법선방향(ND)으로부터 방위분산이 일어나면서 {00*l*}〈001〉 방위가 덜 발달되는 것으로 관찰되었다.

[참 고 문 헌]

[1] D. C. Larbalestier, X. Y. Cai, Y. Feng, H. Edelman, A. Umezawa, G. N. Riley Jr. and W. L. Carter, Physica C, 221, p299, 1994

[2] Y. Yamada, J. Q. Xu, J. Kessler, E. Seibt, W. Goldacker, W. Jahn and R. Flukiger, Physica C, 185, p2483, 1991

[3] B. A. Glowachi, W. Lo, J. Yaun, J. Jackiewicz and W. Y. Liang, IEEE Trans. on Appl. Supercond., 3, 1, p953, 1993

[4] G. Grasso, B. Hansen, A. Jeremie and R. Flukiger, Physica C, 241, p45, 1995