

YBa₂Cu₃O_x 단결정의 용융온도 및 유지시간에 따른 물리적 특성 변화

박병삼, 한상철, 한영희, 정년호, 윤희중, 김경진, 오제명, 성태현
한전전력연구원 신기술센터

Physical properties with melting temperature and holding time for YBa₂Cu₃O_x single crystal

Byung-Sam Park, Sang-Chul Han, Young-Hee Han, Nyeon-Ho Jeong, Hee-Joong Yun,
Kyung-Jin Kim, Je-Myung Oh, Tae-Hyun Sung
Advanced Tech. Center, KEPRI

pbs0926@kepri.re.kr

Abstract - YBa₂Cu₃O_x (Y123) single crystal was grown by TSMG (top seeded melt growth) method. Physical properties of Y123 single crystal were dependent on the shape and distribution of Y₂BaCuO_x (Y211) in it and on the oxygenation temperature and the holding time. In this work, It was investigated to an optimal oxygenation condition and a dependence of melting temperature and holding time on physical properties. The optimal oxygenation condition was found that it was heat-treated for 30 hours at 450 °C. Also it was found that the critical current density and the size of Y211 were increased with the melting temperature and the holding time.

1. 서 론

Y123 단결정은 초전도 베어링 (플라이휠), 고자장 마그네트 및 초전도 자기분리 장치 등에 이용되고 있으며 [1-2], 이러한 응용기기의 성능 향상은 포획자장 및 자기 부상력의 증가와 밀접한 관계를 가지고 있다. Y123 단결정의 성능 향상을 위해서는 전류가 흐르는 폐회로의 크기가 대면적화 되어야 하며, 높은 임계전류밀도 J_c를 가지도록 제조되어야 한다. 폐회로를 대면적화 하기 위한 방법으로 대면적의 Y123 단결정을 종자결정 성장법(TSMG법)으로 제조하는 연구가 진행되고 있다 [3-4]. 또한 Y123 단결정은 산소 어닐링을 통해 산소를 결정격자 내에 넣고 있으며, 격자 내로 확산하여 들어간 산소의 양에 비례하여 임계온도 T_c 및 임계전류밀도 J_c와 같은 물리적 특성이 향상된다 [5-6].

본 연구에서는 첫째로 산소 어닐링 온도 및 시간에 따른 물리적 특성을 측정하여 비교하여 보았으며, 둘째로는 Y123 단결정의 용융온도 및 유

지시간에 따른 물리적 특성 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

Y123 단결정은 종자결정 성장법으로 성장시켰으며, 성장된 단결정은 c축 방향에 수직면의 크기가 4mm×4mm가 되도록 절단하였다. 절단한 단결정은 산소 어닐링 로에 넣어 450 °C, 475 °C, 500 °C에서 각각 3 시간, 10 시간, 30 시간 동안 유지하였다. 산소 열처리된 시편은 PPMS (physical properties measurement system)을 이용하여 77 K에서의 자기이력곡선을 얻었으며 이를 통해 외부 자장에 따른 임계전류밀도의 변화를 조사하였다. 그 결과 가장 좋은 특성을 나타낸 조건을 산소 열처리 조건으로 선택하였다.

TSMG 결정성장법의 단결정을 제조할 경우 용융온도 및 용융시간에 따라 단결정내 Y211의 형상과 분포의 변화가 있게 된다. 이러한 변화를 광학현미경을 통하여 조사하였으며, 산소 열처리 후의 물리적 특성 변화를 PPMS를 통해 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 산소열처리 조건에 따른 물리적 특성 변화

외부 자장이 없을 경우, 서로 다른 산소 열처리 온도에 대해서 유지시간에 따른 J_c의 변화를 log 스케일로 fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 500 °C에서는 3 시간 유지한 경우가 10 시간 및 30 시간의 경우보다 좋은 결과를 나타내었으며, 450 °C 및 475 °C에서는 30 시간의 결과가 가장 좋았다. 이것은 500 °C에서 장시간 유지할 경우에는 오히려 결정격자 내의 산소가 밖으로 빠져 나오기 때문인 것으로 보인다. 또한

475 °C보다는 450 °C의 경우가 전체적으로 높은 J_c 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

외부자장이 있을 때 각 산소열처리 조건에서 J_c 값의 변화를 fig. 2 - fig. 4에 나타내었다. 500 °C의 경우 전반적으로 J_c 값이 낮고 450 °C로 갈수록 높은 J_c 를 얻을 수 있었으며, 외부 자장이 가해질 때 J_c 값이 크게 감소하는 것을 볼 수 있었다.

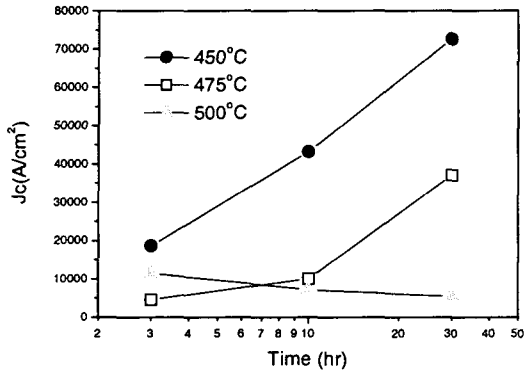


Fig. 1. J_c -log t properties of TSMG processed Y123 single crystals with oxygenation conditions (H//c-axis, 77 K)

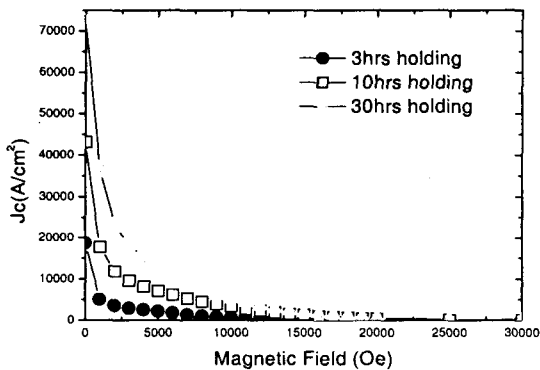


Fig. 2. J_c -B properties of Y123 single crystals with holding time at 450 °C (H//c-axis, 77 K)

3.2 용융온도 및 유지시간에 따른 변화

종자결정 성장법으로 단결정을 성장시킬 때 용융온도 및 유지시간에 따른 미세조직 변화 및 물리적 특성의 변화를 조사하였다.

각 용융온도 및 유지시간의 조건에서 외부 자장에 따른 자화도를 측정하였다. 이 결과를 이용하여 임계전류밀도 J_c 를 계산할 수 있었으며, 그 결과는 fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 용융온도가 1040 °C에서 1060 °C로 증가함에 따라 J_c 의 값이 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 1040 °C와 1050 °C 사이에서 가장 큰 차이가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이것은 각 성장 조건에 따른 시편의 미세조직을 광학현미경으

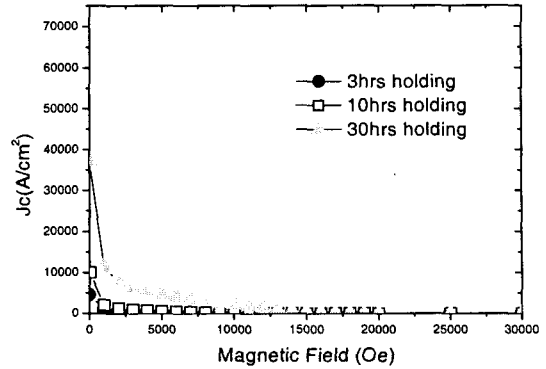


Fig. 3. J_c -B properties of Y123 single crystals with holding time at 475 °C (H//c-axis, 77 K)

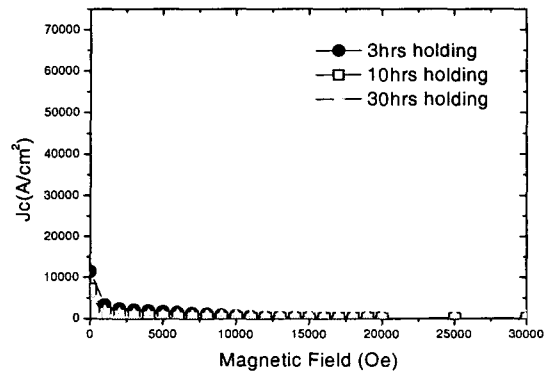


Fig. 4. J_c -B properties of Y123 single crystals with holding time at 500 °C (H//c-axis, 77 K)

로 관찰하여 나타낸 fig. 6에서 보는 바와 같이 1050 °C와 1060 °C의 경우 미세조직상 Y211의 분포와 크기가 큰 차이가 없는 반면 1040 °C의 경우 Y211상이 미세하게 분포되어 있기 때문인 것으로 보인다.

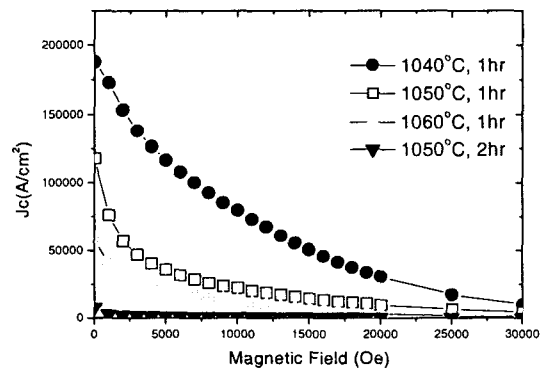
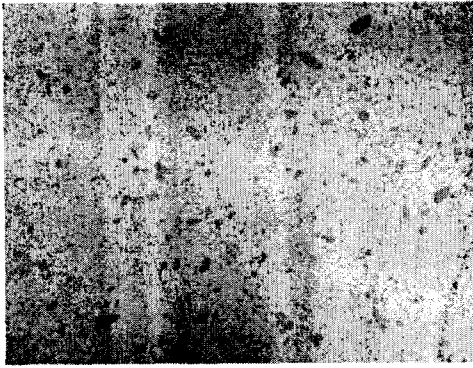
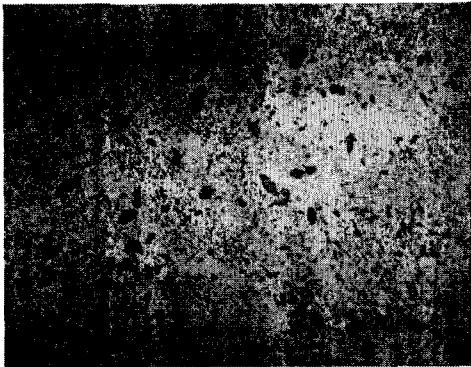


Fig. 5. J_c -B properties of Y123 single crystals with melting temperature (H//c-axis, 50 K)

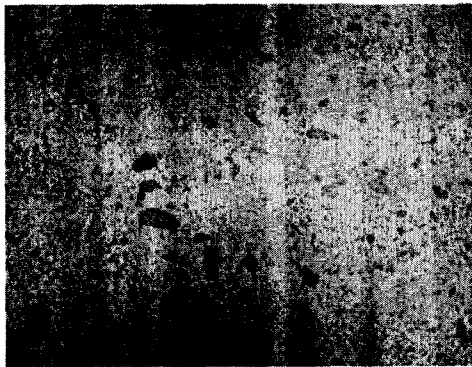
또한, 동일한 용융온도에서 유지시간에 따른 변화를 보기 위해 1050 °C에서 1 시간 및 2 시간



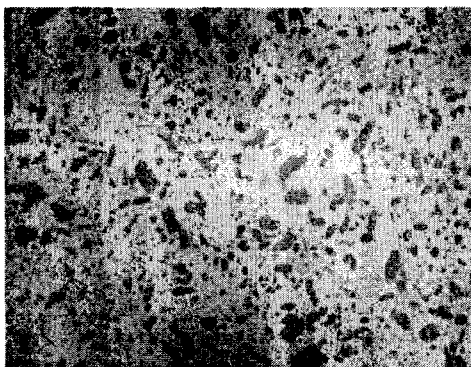
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Photograph of Y123 single crystal with melting temperature and holding time

(a) 1040 °C, 1 hr (b) 1050 °C, 1 hr
(c) 1060 °C, 1 hr (d) 1050 °C, 2 hr

유지시킨 경우, 각 시편의 자기적 특성을 측정 한 결과를 계산하여 얻은 임계전류밀도 J_c 를 fig. 5에 나타내었으며, 1050 °C에서 1시간 유지한 결과가 2시간 유지한 결과보다 J_c 의 값이 매우 크게 나타남을 알 수 있었다. Fig. 6.(b)와 fig. 6.(d)의 미세조직 사진을 비교하여 보면 유지시간이 짧을수록 Y211의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과로부터 Y211의 입자 크기가 미세하게 될 수록 임계전류밀도 J_c 가 증가한다는 것을 알 수 있었다.

따라서 높은 자기적 특성을 가지기 위해서는 최대한 용융온도를 낮추고 용융시간을 줄이는 것이 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

산소열처리 조건에 따른 Y123 단결정의 임계전류밀도 J_c 를 측정한 결과 450 °C 및 475 °C에서는 유지시간이 증가할수록 높은 값을 나타내었으며, 500 °C에서는 유지시간 증가에 따라 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그 결과 450 °C에서 30시간 열처리한 시편이 가장 높은 J_c 값을 나타내었다.

또한, 용융온도 및 유지시간의 증가에 따라 임계전류밀도 J_c 가 크게 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 용융온도 증가 및 유지시간의 증가에 따라 Y123내에 있는 Y211 입자의 크기가 증가한 결과임을 알 수 있었다. 가장 좋은 결과는 1040 °C에서 1시간 유지한 조건에서 얻을 수 있었으며, 외부자장이 없는 상태로 50 K에서 측정한 임계전류밀도 J_c 는 1.88×10^5 A/cm² 이었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hidemi Hayashi, Katsuya Tsutsumi, Physica C, article in press. (2003)
- [2] Masaru Tomita, Masato Murakami, Nature, 421, p517 (2003)
- [3] M.Morita, S.Takebayashi, M.Tanaka, K.Kimura, K.Miyamoto, K.Sarvano, Adv. Supercond., 3, p733 (1991)
- [4] R.L.Meng, L.Gao, P.Gautier-Picard, D.Ramirez, Y.Y.Sun, C.W.Chu, Physica C, 232, p337 (1994)
- [5] Cava R J, Hewat A W, Hewat E A, Batlogg B, Marezio M, Rabe K M, Krajewski J J, Peck W F and Rupp L W, Physica C, 165, p419 (1990)
- [6] Routbort J L and Rothman S J, J. Appl. Phys., 76, p5615 (1994)