

수정된 TFA-MOD법에 의한 (100) SrTiO₃ 단결정 기판 위 고 임계전류 밀도 YBa₂Cu₃O_{7-δ} 박막 제조

Fabrication of high-*J_c* YBa₂Cu₃O_{7-δ} thin films on (100) SrTiO₃ single crystal substrates by a modified TFA-MOD method

위성훈*, 신거명**, 송규정***, 홍계원[&], 문승현[§], 박찬***, 유상임[#]

Sung-Hun Wee*, Keo-Myung Shin**, Kyu-Jung Song***, Gye-Won Hong[&],
Seung-Hyun Moon[§], Chan Park[%], and Sang-Im Yoo[#]

Abstract: High critical current density, *J_c* over 1 MA/cm² at 77 K in a self field was successfully achieved from the YBCO film prepared on (100) SrTiO₃ single-crystal substrates by the TFA-MOD process. Unlike a normal TFA-MOD process, we prepared the TFA precursor solution by dissolving YBCO powder into the trifluoroacetic acid. A significant amount of the second phases, including BaF₂, was observed in the films fired at 700~725°C for 2 h under P(O₂)=10⁻³ atm and P(H₂O)=4.2%, most probably due to an insufficient reaction time, and hence *T_c* was greatly degraded. However, the films fired at 750~800°C for 2 h were composed of strongly c-axis oriented YBCO grains without any second phases, and exhibited the *T_c* values of 89.5 ~ 91 K with a sharp transition. With increasing the firing temperature from 750 to 800°C, average grain size of YBCO was increased and grain connectivity was enhanced. The highest *J_c* value of 1.1 MA/cm² was obtained from the YBCO film fired at 800°C.

Key Words: YBCO thin films, TFA-MOD process, critical current density, spin coating

1. 서 론

액체질소를 냉매로 하는 고온초전도 선재 (coated conductor)를 실용화하기 위해서는 100 A/cm-width 이상의 고 임계전류를 통전할 수 있는 100m 이상의 장선재 제조가 필수적이다. 이것을 달성하기 위해 요구되는 고온초전도 선재의 가장 기본적인

물성 중 하나는 액체질소 온도(77K)에서 1 MA/cm² 이상의 고 임계전류밀도(*J_c*)를 나타내야 한다는 것이다. 이러한 높은 *J_c*의 달성이 가능하여 임계전류 100 A/cm-width 이상의 1~50 m급 YBa₂Cu₃O_{7-δ} (YBCO) 선재 제조를 위해 주로 사용되어 온 제조법에는 pulsed laser deposition (PLD), metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD), metal organic deposition (MOD) 등이 있다.

이 가운데 가장 일반적으로 사용되고 있는 방법은 물리적 증착법인 PLD법인데, 이 제조법은 다른 방법에 비해 높은 *J_c* 특성을 가지는 선재를 재현성 있게 제조하기가 수월하여 가장 좋은 특성의 YBCO 선재가 이 방법으로 제조되어 보고되어 온 반면에, 장선재 장비 제작을 위해서는 많은 비용이 소요되므로 상용화시 경제성이 희박하다는 점이 극복해야 할 과제로 남아 있다. 이에 반해 화학적 증착 방법인 MOCVD법과 MOD법이 훨씬 경제적이라고 판단되어 많은 연구개발이 진행되어 왔는데, 그 중에도 MOD법이 경제성 측면에서 더 우수하다는 것이 중론이다.

YBCO 박막을 제조하기 위한 초기의 일반적인 MOD법은 열분해 (pyrolysis) 과정에서 BaCO₃ 상이 형성되는 것을 피할 수 없었으므로 90 K이상의 높은 임계온도(*T_c*) 및 77 K에서 1 MA/cm² 이상의 높은 *J_c* 값을 갖는 박막을 제조할 수 없었는데[1-2], 이러한 어려움을 극복할 수 있었던 것은 A. Gupta 등[3]이 최초로 보고한 trifluoroacetates (TFA)를 사용한 TFA-MOD법이다. 이 방법은 기존의 MOD법과 달리 열분해 과정에서 BaCO₃의 형성을 막을 수 있으므로 McIntyre 등[4,5]에 의해 처음으로 단결정 기판 위에 1 MA/cm² 이상의 *J_c*를 갖는 YBCO 박막이 보고 되었고, 최근에는 많은 연구 그룹이 단결정 기판 뿐 아니라 완충층을 입힌 Ni 및 Ni 합금 기판 위에 수 MA/cm²의 *J_c*를 갖는 YBCO 박막을 보고하였다[6-13].

TFA-MOD법에서는 일반적으로 TFA 전구체 용액을 제조하기 위하여 고순도의 이트륨(Y), 바륨(Ba), 구리(Cu)-아세테이트를 출발 물질로 사용하여 TFA 전구체(precursor) 용액을 제조하며, 기판위에 균일하게 막을 코팅한 후, 열처리 온도 및 시간, 산소 분압, 그리고 수증기압 등의 변수들을 주의 깊게 조절하며 열처리해야 한다. 이에 반해, 본 논문에서는 서울대와 한국 산업기술대가 최근 공동으로 연구 개발한 보다 경제적인 방법인 YBCO 분말을 출발 물질로 하여 TFA 전구체 용액을 제조하는 방법[15]을 사용하여 열처리 온도가 SrTiO₃ 단결정 기판 위에 제조된

* 학생회원 : 서울대 재료공학부 박사과정
 ** 학생회원 : 서울대 재료공학부 석박사통합과정
 *** 정 회원 : 한국전기연구원 초전도재료연구그룹
 & 정 회원 : 한국산업기술대학교 에너지대학원 조교수
 § 정 회원 : 서울대학교 재료공학부 BK 계약 조교수
 # 정 회원 : 서울대학교 재료공학과 부교수
 원고접수 : 2004년 3월 15일
 심사완료 : 2004년 3월 26일

YBCO 박막의 미세구조 및 초전도 특성에 미치는 영향을 체계적으로 연구한 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험 방법

먼저 고상반응법으로 준비한 YBCO 분말을 증류수로 희석한 trifluoroacetic acid 용매에 상온에서 용해하였다. YBCO 분말이 완전히 용해되어 투명한 파란색 용액을 형성하도록 3 시간동안 교반한 후, 용액을 80°C까지 가열하면서 용매를 제거하였다. 가열된 용액은 용매가 증발하면서 진한 파란색의 매우 점성이 큰 젤을 형성한다. 건조된 젤을 메탄올에 녹여 TFA 전구체 용액을 제조하였다. 이 때, 용액의 농도는 총 금속 양이온을 기준으로 1.5 M이 되도록 조절하였다.

Spin coater를 이용하여 (100) SrTiO₃ 단결정 기판위에 TFA 전구체 용액을 떨어뜨려 4000 rpm에서 약 2분 동안 회전시켜 TFA 전구체 박막을 제조하였다. YBCO 초전도 상을 형성시키기 위하여 전구체 박막을 그림 1에 나타낸 열처리 과정에 따라 2회 열처리하였다. 먼저 400 cc/min 이상 산소를 흘려주면서 산소 분위기에서 수증기압을 4.2% 유지하면서 400°C까지 열처리하였다(그림 1(a) 참조). 이 때 TFA 전구체 박막은 금속과 결합하고 있던 유기물이 분해 되면서 M-O-F (Metal-Oxygen-Fluorine)상을 갖는 oxy-fluoride막으로 변화한다. 이를 다시 1000 ppm의 산소 분압을 유지하면서 700-850°C사이의 온도에서 2 시간 동안 열처리하였다. 이때 수증기압은 형성된 YBCO박막이 H₂O와 반응에 의하여 상분해 되는 것을 막기 위하여 열처리가 끝나기 10분전에 0%로 유지하였다. 마지막으로 산소 어닐링을 위하여 525°C이하에서는 산소분위기로 치환하여 450°C에서 30 분간 유지한 후 상온까지 냉각하였다.

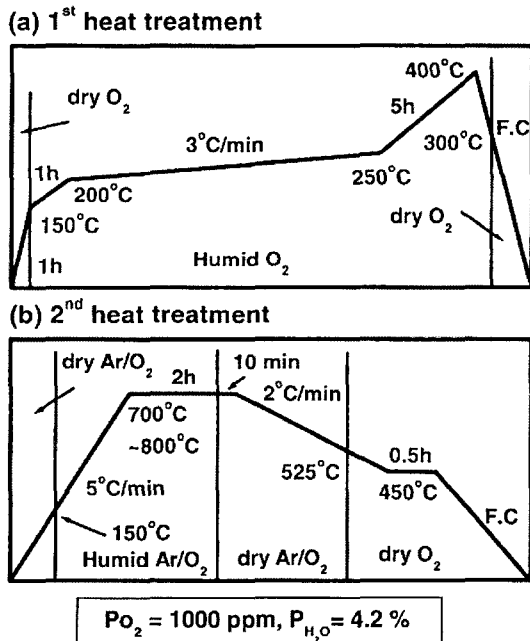


그림 1. (a) 1차 및 (b) 2차 열처리 공정도.
Fig. 1. Heat treatment schedules for the first stage (a) and the second stage (b).

박막의 상과 배향성을 분석하기 위해 XRD θ -2 θ scan으로 분석하였다. 또한 박막의 c-축 배향성의 정도를 알아보기 위하여 (005) peak에 대한 rocking curve를 측정된 후, 측정된 곡선의 반치폭 (full width at half maximum, FWHM)을 구하였다. 박막의 표면 미세구조와 두께는 전계 방출 주사전자현미경(field-emission scanning electronmicroscope)으로 분석하였다.

박막의 초전도 물성은 직류 4단자법을 이용하여 저항-온도 ($R-T$) 특성과 전류-전압 ($I-V$) 특성을 측정된 후, 임계 온도 (T_c)와 임계 전류 밀도 (J_c) 값을 구하였다.

3. 본 론

3.1. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO박막의 제조

그림 2는 2차 열처리 온도 변화에 따른 YBCO 박막의 θ -2 θ X-선 회절분석 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 모든 박막의 YBCO상은 c-축 배향성을 갖는 것을 알 수 있다. 그러나 700°C와 725°C에서 열처리한 박막의 경우, 그림에 표시한 것처럼 미확인 상(●)과 BaF₂상(■)으로 확인되는 이차상 피크를 보이는 반면에, 750°C 이상에서는 미반응 이차상 피크는 전혀 나타나지 않으며 강한 c-축 배향된 YBCO상을 나타내고 있다. 2차 열처리를 통하여 oxyfluoride film은 YBCO상으로 바뀌게 된다. 그러나 2차 열처리 온도가 낮거나 시간이 부족하면, 완전히 반응하지 못하고 BaF₂와 같은 미반응상이 남게 된다. Araki 등[8]은 2차 열처리 과정에서 발생하는 HF의 양을 측정하여 완전한 YBCO상 형성에 필요한 열처리 온도와 시간에 대한 실험식을 구하였는데, 보고 된 실험식에 따르면 본 실험조건 ($P(O_2)=10^{-3}$ atm, $P(H_2O)=4.2\%$, 열처리 시간=2h)에서 반응이 완료 되려면 열처리 온도가 750°C 이상 되어야 한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 750°C 이하의 열처리 온도에서는 반응 속도가 느려 2 시간 유지한 후에도 미반응물이 남는 것으로 이해할 수 있다.

그림 3은 열처리 온도 변화에 따른 c-축 배향성 정

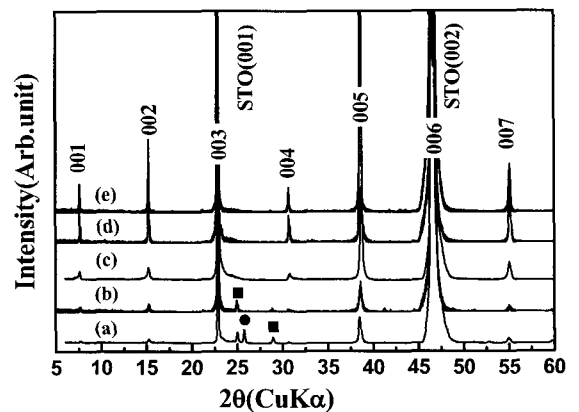


그림 2. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO 박막의 X-선 회절도: (a) 700°C, (b) 725°C, (c) 750°C, (d) 775°C, (e) 800°C. 여기서, ■ : BaF₂, ● : 미확인 상.
Fig. 3. X-ray diffraction patterns of the YBCO films fired at (a) 700°C, (b) 725°C, (c) 750°C, (d) 775°C, and (e) 800°C for 2h. Where, ■ : BaF₂, ● : unknown phase.

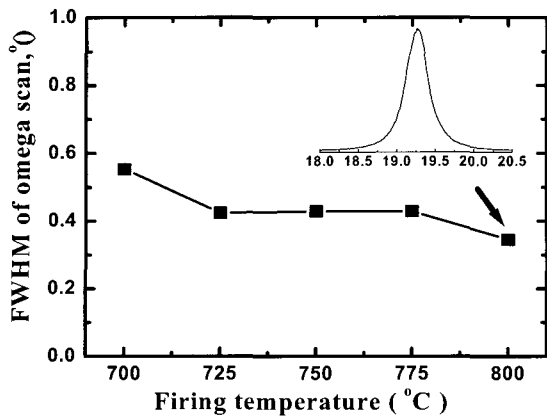


그림 3. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO (005) X-선 회절피크의 rocking 곡선의 반치폭값.

Fig. 3. FWHM of (005) X-ray rocking curves for YBCO films on (100) SrTiO₃ as a function of firing temperature.

도를 확인하기 위하여, (005) 피크에 대하여 rocking curve를 측정한 후, 측정된 곡선의 반치폭을 나타낸 것이다. 700°C의 경우 0.5° 이상의 높은 반치폭을 보이고 있지만 열처리 온도 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며, 800°C에서 0.34°로 가장 작은 값을 나타내고 있다. PLD법에 의하여 단결정 위에 증착한 YBCO 박막의 경우 약 0.1~1° 정도의 반치폭을 갖는다고 보고 되고 있어, TFA-MOD법으로 제조한 YBCO 박막도 PLD법 의해 제조된 박막과 비슷한 정도의 c-축 배향성을 가짐을 알 수 있다[17].

그림 4는 2차 열처리 온도 변화에 따른 박막의 미세 구조를 나타낸 것이다. 모든 박막이 매우 많은 기공을 갖고 있는 전형적인 TFA-MOD법에 의해 제작된 YBCO의 미세구조를 보이고 있다[13,14]. 높은 기공률은 TFA-MOD법의 가장 큰 단점으로, 이를 해결하기 위한 많은 노력이 필요하다. 그림 4(a)에 나타난 700°C에서 열처리한 박막의 경우, 매우 작은 YBCO 결정립이 미반응물로 둘러싸인 것을 알 수 있는데, 이것은 그림 2의 X-선 분석결과에서 예측된 것이기도 하다. 보다 자세히 관찰해보면 군데 군데 c-축 방향으로 길이가 짧은 침상의 결정립이 존재하고 있는데, 이런 형상의 결정립은 일반적으로 이는 a 또는 b 축 배향된 YBCO 결정립으로 알려져 있으며, 낮은 열처리 온도에서 흔히 관찰되는 것으로 보고 되어 있다 [11]. 725°C에서 열처리한 박막의 경우 미반응물이 훨씬 줄었지만, 여전히 관찰되고 있고, 침상형의 결정립은 전혀 발견되지 않는다. 열처리 온도가 더 증가함에 따라 미반응물은 전혀 관찰되지 않으며 YBCO 결정립의 크기가 증가하여 결정립계를 관찰할 수 없을 정도로 결정립들 간의 연결성이 향상됨을 알 수 있다.

3.2 YBCO 박막의 초전도 특성

YBCO박막의 열처리 온도 변화에 따른 T_c 와 전이 온도 폭 ΔT_c 를 그림 5에 나타내었다. 750°C이상에서 열처리한 경우, 90 K 이상 높은 T_c 와 1 K 정도의 좁은 전이폭을 갖는 우수한 YBCO 박막을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 700°C와 725°C에서 열처리한 박막의 경우, 각각 50 K, 64 K으로 낮은 T_c 와 15 K 이상의 매우 넓은 ΔT_c 를 보이고 있다. 이렇게

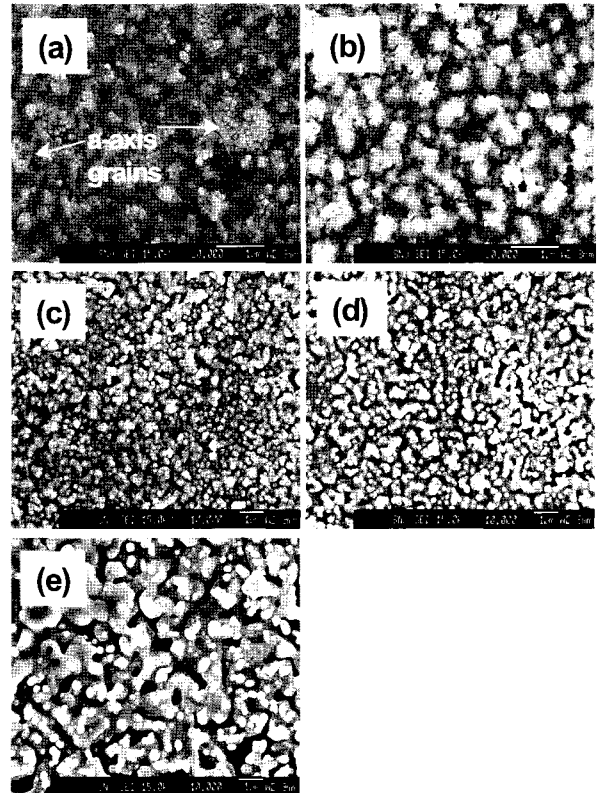


그림 4. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO 박막의 미세 구조 : (a) 700°C, (b) 725°C, (c) 750°C, (d) 775°C, and (e) 800°C.

Fig. 4. Micrographs of the YBCO film on (100) SrTiO₃, fired at (a) 700°C, (b) 725°C, (c) 750°C, (d) 775°C, and (e) 800°C for 2h.

T_c 가 감소하는 원인은 그림 2의 X-선 회절 분석결과와 그림 4의 미세구조 분석결과에서 확인되는 BaF₂ 등의 미반응 이차상들의 영향으로 사료된다. 박막 내 미반응물과 더불어 a-축 방향 결정립의 존재는 박막의 균일성을 저해하여 T_c 감소 및 넓은 ΔT_c 를 나타내게 한다[12]는 보고가 있는데, 그림 4(a)에서 알 수 있는 바와 같이 박막의 시편 내에 a-축 방향 결정립으로 보이는 것들이 산재해 있고, 그림 4(b)에서는 거의 관

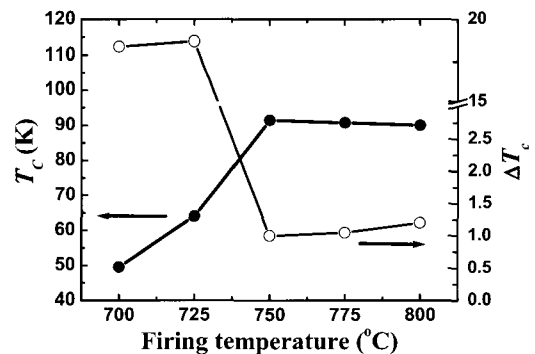


그림 5. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO 박막의 T_c 와 ΔT_c .

Fig. 5. T_c and ΔT_c of the YBCO films as a function of firing temperatures.

찰되지 않는 점으로 미루어 a-축 방향 결정립의 존재를 T_c 감소와 연결시키는 것은 우리의 박막에는 부적절하다고 여긴다. 그림 4의 미세구조로 볼 때, 미반응물이 YBCO 결정립을 에워싸고 있음으로 해서, 산소 어닐링시에 결정립내로 산소가 확산되는 경로가 차단하고 게다가 결정립간의 연결성도 좋지 않아 일어나는 현상으로 보는 것이 개연성이 높다.

T_c의 감소 원인을 규명하기 위하여 그림 2의 X-선 회절 분석 데이터를 사용하여 c-축 격자상수를 계산해 보았는데, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 700°C와 725°C에서 열처리한 박막의 격자상수 값이 11.703Å으로 750°C 이상에서 열처리한 박막의 격자상수 값 11.675Å~11.685Å보다 큰 값을 나타내었다.

YBCO의 산소 결핍이 증가함에 따라 T_c가 감소하고, c-축 격자 상수가 증가한다는 것은 이미 잘 알려져 있는데[16], 계산된 c-축 방향의 격자상수 변화는 T_c 감소의 경향과 일치하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 곧 T_c의 감소가 산소의 결핍과 관련이 있음을 입증한다.

그림 7은 775°C와 800°C에서 열처리한 박막의 I-V 곡선과 J_c 값을 나타내었다. 시편의 I-V 곡선은 4~6×10 mm의 크기의 샘플에 2 μm 두께의 Ag 전극을 d.c.sputtering 방법으로 입힌 후, 0.5 A/s의 스캔 속도로 전류를 가하면서 측정한 것이다. I_c는 1 μV/cm를 기준으로 계산하였으며 박막의 두께(0.25 μm)을 고려하여 J_c 값을 계산하였다. 750°C에서 열처리한 박막은 J_c 값이 0이었는데 그림 4(c)의 미세구조에서 관찰할 수 있듯이 YBCO 결정립 간의 연결성이 매우 좋지 않아 얻어진 결과로 생각되고, 775°C와 800°C에서 열처리한 박막은 각각 0.44, 1.1 MA/cm²의 값을 나타내었다는데 775°C보다 800°C에서 열처리한 박막의 더 큰 J_c 값을 나타낸 이유는 800°C에서 열처리한 박막이 보다 우수한 c 축 배향성을 가지며 결정립 간에 연결성이 좋아 임계에서의 J_c 감소가 상대적으로 덜 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

YBCO 분말을 TFA 용매에 넣어 제조한 전구체 용

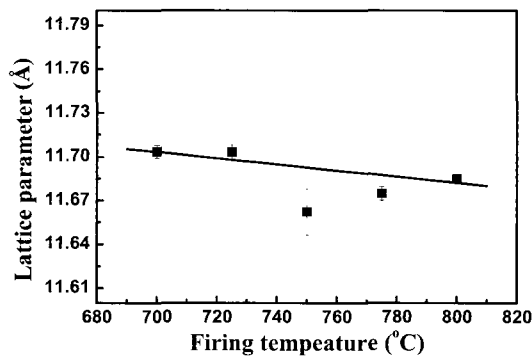


그림 6. 열처리 온도 변화에 따른 YBCO 박막의 c-축 격자상수 값.

Fig. 6. Lattice parameter of c-axis of the YBCO films as a function of firing temperatures.

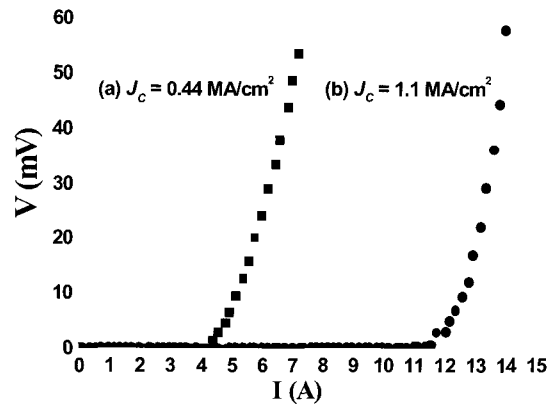


그림 7. (a) 775°C와 (b) 800°C에서 2 시간 동안 열처리한 YBCO 박막의 I-V 곡선.

Fig. 7. I-V curves of the YBCO films on (100) SrTiO₃ fired at (a) 775°C and (b) 800°C for 2h.

액을 spin coating법으로 SrTiO₃ (100) 단결정 기판위에 코팅한 후, 동일한 조건으로 400°C까지 1단계 열처리를 마친 박막에 대해, 온도 구간 700~800°C에서 2시간 동안 2단계 열처리 할 경우 제작된 YBCO 박막의 미세구조와 초전도 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석한 결과, 다음의 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 열처리 온도가 750°C 보다 낮으면 BaF₂ 등의 미반응 이차상이 잔류하여 초전도 특성이 나빠지므로, 90 K 급의 높은 T_c와 좁은 폭의 ΔT_c를 갖는 YBCO 박막을 얻기 위해서는 750°C 이상의 열처리 온도가 요구된다. 이 결론은 상대적으로 낮은 열처리 온도에서 공정을 최적화하기 위해서는 미반응물이 잔류하지 않도록 열처리 시간을 조절하여야 한다는 점을 내포한다. 둘째, 열처리 온도가 증가함에 따라, 700°C 시편에서 관찰되던 약간의 a-축 배향 YBCO 결정립이 사라질 뿐 아니라, c-축 배향 결정립의 평균 입경이 증가하고 결정립 간의 연결성이 향상되며, c-축 배향성도 증가하여 J_c 값을 증가시키는 요인으로 작용한다. 따라서 상압 하 액체질소 온도 및 self-field에서 J_c가 1 MA/cm² 가 넘는 우수한 박막을 800°C의 열처리 온도에서 얻을 수 있었고, 열처리 온도가 750°C 까지 낮아짐에 따라 비록 T_c와 전이 폭은 유사하나 J_c값이 급격히 감소하는 현상을 이해할 수 있었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] Z. Aslanoglu, Y. Akin, M. I. Kwani, W. Sigmund, Y. Hascic다, "Influence of the low partial pressures on thick YBCO coated

- conductor by sol-gel process", *Physica C*, 384, 501-506, 2003.
- [2] B. Zhao, H. B. Yao, Z. H. Han, Y. L. Xu, D. L. Shi, "Effect of precursor stoichiometry on the superconducting properties of fluorine-free sol-gel YBCO thin film", *Physica C*, 386, 348-352, 2003.
- [3] A. Gupta, R. Jagannathan, E. I. Cooper, E. A. Giess, J. I. Landman, and B. W. Hussey, "Superconducting oxide films with high transition temperature prepared from metal trifluoroacetate precursors", *Appl. Phys. Lett.*, 52, 2077-2079, 1988
- [4] Paul C. McIntyre, Michael J. Cima, Man fai Ng, "Metalorganic deposition of high- J_c $Ba_2YCu_3O_{7-x}$ thin films from trifluoroacetate precursors onto (100) $SrTiO_3$ ", *J. Appl. Phys.*, 68, 4183-4187, 1990
- [5] Paul C. McIntyre, Michael J. Cima, John A. Smith, Jr., and Rober B. Hallock, "Effect of grown conditions on the properties and morphology of chemically derived epitaxial thin film of $Ba_2YCu_3O_{7-x}$ thin films on (001) $LaAlO_3$ ", *J. Appl. Phys.*, 71, 1868-1977, 1992
- [6] S. Sathyamurthy and K. Salama, "Application of solution deposition to fabricate Y-Ba-Cu-O coated conductor", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 11, 2935-2938, 2001
- [7] J. T. Dawley, P. G. Clem, M. P. Siegal, D. L. Overmyer, and M. A. Rodriguez, "Thick sol-gel Derived $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Films", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 11, 2873-2876, 2001
- [8] T. Araki, Y. Takahashi, K. Yamagiwa, Y. Iijima, K. Takeda, Y. Yamada, J. Shibata, T. Hirayama, and I. Hirabayashi, "Firing condition for entire reaction of fluorides with water vapor in metalorganic deposition method using trifluoroacetate", *Physica C*, 357-360, 991-994, 2001
- [9] Q. Li, W. Zhang, U. Schoop, M. W. Rupich, S. Annavarapu, D. T. Verebelyi, C. L. H. Thieme, V. Prunier, X. Cui, M. D. Teplitsky, L. G. Fritzemeier, G. N. Riley Jr., M. Paranthaman, A. Goyal, G. F. Lee, and T. G. Holesinger, "Progress in solution-based YBCO coated conductor", *Physica C*, 357-360, 987-990, 2001
- [10] Y. A. Jee, B. Ma, V. A. Maroni, M. Li, B. L. Fisher and U. Balachandran, "Texture development and superconducting properties of $YBa_2Cu_3O_x$ thin films prepared by a solution process in low oxygen partial pressure", *Supercond. Sci. Technol.*, 14, 285-291, 2001
- [11] J. A. Smith, M. J. Cima and N. Sonnenberg, "High Critical Density Thick MOD-Derived YBCO Films", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 9, 1531-1534, 1999
- [12] T. Araki, Y. Takahashi, K. Yamagiwa, T. Yuasa, Y. Iijima, K. Takeda, S. B. Kim, Y. Yamada, and I. Hirabayashi, "Fabrication of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Films on Buffered Metal Tapes Fired at Low Temperature by MOD Method using Trifluoroacetate Salts", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 11, 2869-2872, 2001
- [13] O. Castano, A. Cavallaro, A. Palau, J. C. Gonzalez, M. Rossell, T. Puig, F. Sandiumenge, N. Mestres, S. Pinol, A. Pomar and X. Obradors, "High quality $YBa_2Cu_3O_7$ thin films grown by trifluoroacetates metalorganic deposition", *Supercond. Sci. Technol.*, 16, 45-53, 2003
- [14] T. Ono, K. Matsumoto, K. Osamura, I. Hirabayashi, "Microstructural observation of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin film prepared by TFA-MOD method", *Physica C*, 392-396, 917-921, 2003
- [15] S. H. Wee, W. J. Jung, H. G. Lee, C. J. Kim, G. W. Hong, K. J. Song, J. G. Ghung, C. Park, S. H. Moon, and S. I. Yoo, "YBCO films prepared by the TFA-MOD process using YBCO powder as the starting material", 6th European Conference on Applied Superconductivity Proceedings, (to be published), 2004
- [16] J. D. Jorgensen, B. W. Veal, A. P. Paulikas, L. J. Nowicki, G. W. Grabtree, H. Claus, and W. K. Kwok, "Structural properties of oxygen-deficient $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ", *Physical Review B*, 41, 1863-1877, 1990
- [17] R. K. Singh, D. Kumar, "Pulsed laser deposition and characterization of high-Tc Y superconducting thin films", *Mater. Sci. & Eng.*, R22, 113-185 (1998)

저 자 소 개



위성훈(魏聖勳)

1975년 9월 16일 생, 1998년 아주대학교 재료공학과 졸업, 2000년 서울대학교 재료공학과 대학원 졸업(공학석사), 2000~현재 서울대학교 대학원 재료공학부 박사과정



신거명(愼居明)

1977년 9월 18일 생, 2003년 인하대 공대 화학공학과 졸업, 2003~현재 서울대학교 대학원 재료공학부 석박사 통합과정



문승현(文勝鉉)

1964년 9월 23일생, 1987년 서울대학교 물리학과 졸업, 1994년 동 대학원 졸업(이학박사), 1994~2002년 LG전자기술원 선임연구원, 책임연구원, 2002~현재, 서울대학교 재료공학부 BK계약 조교수



송규정(宋奎丁)

1963년 4월 14일 생, 1986년 고려대학교 물리학과 졸업, 1988년 동대학원 졸업(이학석사), 1999년 미국 테네시주립대 대학원 졸업(이학박사), 1989-1993 기초과학지원연구원 연구원, 1995-1999 미국 오크리지국립연구소 위촉연구원 및 테네시주립대학교 연구조교, 1999-2000 미국 메사추세츠주립대 박사 후 연구원, 현재 한국전기연구원 초전도재료연구그룹 선임연구원.



박찬(朴燦)

1964년 4월 30일생 1986년 서울대학교 무기재료공학과 졸업, 1988년 동대학원 졸업 (공학석사), 1996년 New York State College of Ceramics at Alfred University 졸업 (공학박사), 1996~2000년, 미국 Oak Ridge 국립연구소 Research Associate, 2000~2001 미국 IGC-SuperPower senior materials scientist, 2001~현재 한국 전기연구원 초전도 재료연구그룹 책임연구원



홍계원(洪啓源)

1956년 4월 3일생, 1978년 서울대학교 요업공학과 졸업, 1980년, 한국과학원 재료공학과 졸업(공학석사) 1983년 3월 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사), 1983-2001년 8월, 한국원자력연구소 근무 1983-1984 canada AECL, 방문연구원, 2001.9-현재 한국산업기술대학교 에너지대학원 조교수



유상임

1959년 10월 10일생, 1982년 서울대학교 무기재료공학과 졸업, 1984년 동 대학원 무기재료공학과 졸업 (공학석사), 1992년 (미국) Iowa State University 졸업 (공학박사), 1992~1993년 (미국) Ames Laboratory-USDOE 박사후기 연구원, 1993~1995년 (일본) Superconductor Research Laboratory-ISTEC 초빙연구원, 1995~1998 (일본) Railway Technical Research Institute 주임연구원, 1998~현재 서울대학교 재료공학부 부교수