

펄스 레이저 증착법에 의한 금속기판상 초전도 박막의 증착

정영식, 이상렬
연세대학교 전기공학과

Growth of superconducting thin film on metallic substrate by pulsed laser deposition

Young Sik Jeong, Sang Yeol Lee
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract - 금속기판상 초전도 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) 박막을 yttria-stabilized zirconia (YSZ) 완충막을 이용하여 in situ 펄스 레이저 증착법에 의해 증착하였다. YBCO 박막을 직접 금속기판에 증착하게 되면 YBCO 박막과 금속기판 사이의 계면에서 상호확산현상이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위해 YSZ 완충막이 사용되었다. YSZ 완충막의 증착온도가 박막의 결정성과 전기적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 YSZ 완충막은 여러 가지 온도로 증착되었다. YBCO 박막의 증착온도와 같은 온도로 YSZ 완충막을 증착했을 때보다 YBCO 박막의 증착온도보다 높은 온도로 YSZ 완충막을 증착했을 경우, 증착된 YBCO 박막은 x선 회절에 의해 c 축 방향으로 성장하였음을 알 수 있었고, 저항이 0이 되는 임계온도가 83K가 되는 실험결과를 얻었다.

1. 서 론

고온 초전도체가 1986년에 발견된 이래로 높은 임계전류밀도(J_c)를 갖는 길고 유연한 고온 초전도체를 제작하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있다 [1-3]. 고온 초전도체 중 최근에 많이 사용되는 YBCO는 쉽게 부서지는 성질 때문에 선재로 만들어 이용하는 것은 바람직하지 못하고 [4] 그 대신에 유연성을 갖는 금속기판 위에 증착시켜 사용한다. 그러나, YBCO 박막을 금속기판에 직접 증착시킬 경우 박막과 금속기판 사이의 계면확산현상으로 인해 초전도 특성의 저하를 가져오게 된다 [5]. 그러므로 금속기판상 고품질의 YBCO 박막을 증착하기 위해서는 계면확산을 막는 완충막이 필요하며 이를 위해 Si 기판 위에 완충막으로 보통 사용되고 있는 YSZ 완충막을 사용한다. YSZ 완충막은 계면확산의 방지는 물론 YBCO 박막과 금속기판으로 주로 사용되는 Hastelloy (Ni-Cr-Mo 합금) 사이의 열팽창의 차이 ($YBCO=13 \times 10^{-6} K^{-1}$, $YSZ=11.4 \times 10^{-6} K^{-1}$, $Hastelloy=11.3 \times 10^{-6} K^{-1}$)로 인한 박막의 균

열현상 또한 방지한다 [6-8]. 이 논문에서는 YSZ 완충막의 증착온도가 YBCO 박막의 결정성과 전기적 특성에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

그림 1에 나타난 펄스 레이저 증착시스템을 이용하여 금속기판에 YBCO 박막증착 실험을 하였다. 레이저·빔으로는 248 nm의 파장을 갖는 KrF 엑시머 레이저가 이용되었으며 타겟표면과 레이저 빔이 이루는 각도를 45° 로 유지하고 렌즈를 통해 집광시킨 레이저 빔의 에너지밀도를 YSZ 증착시 $1.9 J/cm^2$ 로, YBCO 증착시 $0.93 J/cm^2$ 로 유지시켰다.

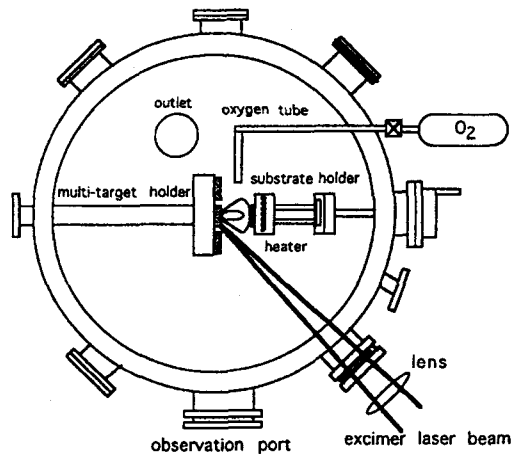


그림 1. 펄스 레이저 증착시스템 개략도.

YSZ 타겟표면과 YBCO 초전도타겟표면을 사포로 문질러 표면을 최대한 매끈하게 만든 후 타겟을 회전가능한 타겟홀더에 은페이스트를 이용하여 부착하였다. 금속기판은 Hastelloy를 사용하였으며 기판

을 세척하기 위하여 아세톤, 메탄올, DI water 순으로 초음파 세척기로 5분씩 세척하여 질소가스로 건조시켰다. 기판온도는 YSZ 증착시 780°C와 830°C로, YBCO 증착시 780°C로 가열하였다. 산소압은 YSZ 증착시 200 mTorr, YBCO 증착시 400 mTorr이었다. YSZ 타겟과 기판사이의 거리는 4.5 cm, YBCO 타겟과 기판사이의 거리는 6 cm이었다. 레이저 반복율은 5 Hz이었고 YSZ와 YBCO는 각각 15분씩 증착되었고 YSZ 증착에 이어 곧바로 in-situ로 YBCO 박막을 증착시켰다. YBCO 증착이 끝난 후 산소압을 500 Torr로 증가시켜 550°C까지 천천히 냉각시키고 그 온도에서 30분간 어닐링을 하고난 후 상온으로 냉각시켰다. Scanning electron microscopy(SEM)와 Raman spectroscopy를 이용하여 YBCO 박막을 분석하였고 X-ray diffraction(XRD)을 이용하여 박막의 결정성을 알아보았다.

2.2 결과 및 고찰

그림 2는 YBCO 박막표면의 SEM 사진을 보이고 있다. YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도와 같은 780°C에서 증착되었던 경우(그림 2(a)) 박막의 표면은 거칠고 granular형태의 모습을 보이는 반면에, YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도보다 높은 830°C에서 증착되었던 경우(그림 2(b))에는 표면이 상당히 매끈하다는 사실을 알 수 있다.

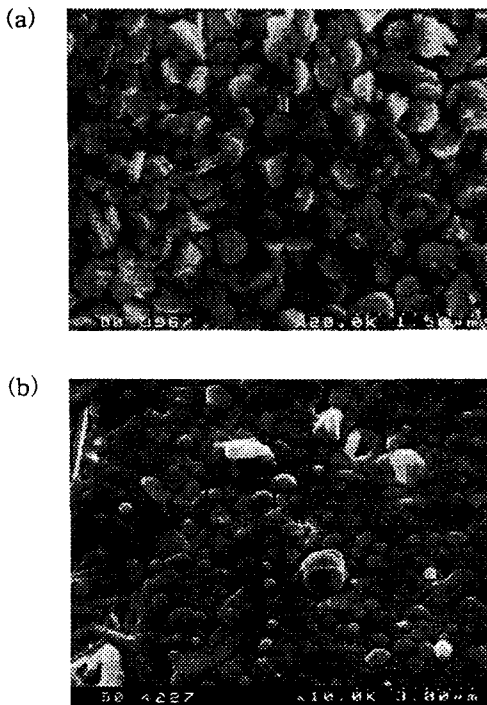


그림 2. YBCO 박막표면의 SEM 사진. (a) YSZ 완충막이 780°C에서 증착된 경우, (b) YSZ 완충막이 830°C에서 증착된 경우.

그림 3은 YBCO 박막에 대한 Raman spectroscopy를 나타내고 있다. YBCO의 고유한 peak은 150, 340, 500 cm^{-1} 에서 발견된다. YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도인 780°C에서 증착되었던 경우(그림 3(a)) 150, 500 cm^{-1} 에서의 peak들이 관찰되지 않는다. 그러나, YSZ 완충막이 830°C에서 증착되었던 경우에는 YBCO 고유의 peak들이 모두 명확히 관찰되어진다. 이런 결과는 YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도보다 높은 830°C에서 증착되었던 경우에 1-2-3 상이 형성되어질 수 있음을 나타낸다. 또한, XRD 데이터도 YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도보다 높은 온도에서 증착되었던 경우에 좁은 FWHM(Full Width at Half Maximum)을 나타내는 데, 이것은 YBCO 박막이 대부분 c 축 배향으로 형성되었음을 의미한다.

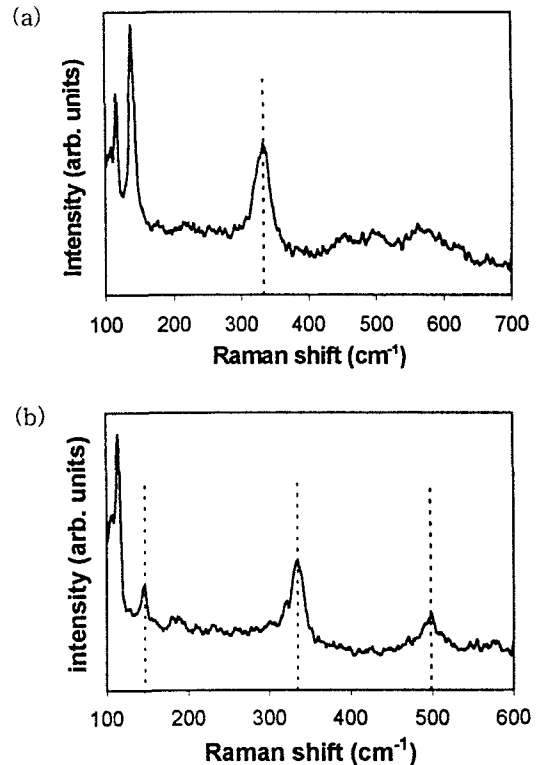


그림 3. YBCO 박막의 Raman spectroscopy. (a) YSZ 완충막이 780°C에서 증착된 경우, (b) YSZ 완충막이 830°C에서 증착된 경우.

그림 4는 YBCO 초전도박막의 임계온도를 보이고 있다. 그림 4(a)에서 보는 것과 같이 YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도와 같은 780°C에서 증착되었던 경우 YBCO 박막에 대한 저항의 온도의 존성이 상전도상태에서 반도체성을 보이며 on set 온도가 95K, 임계온도가 24K임을 알 수 있다. 반면에, YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도보다 높

은 830°C에서 증착되어진 경우 YBCO 박막에 대한 저항의 온도의존성이 상전도상태에서 금속성을 보이며 임계온도가 83K임을 그림 4(b)를 통해서 알 수 있다.

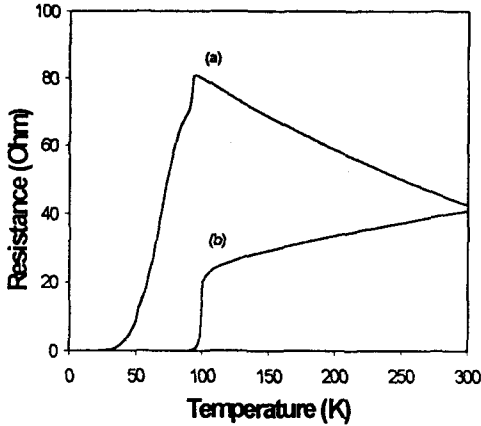


그림 4. YBCO 박막의 RT 특성. (a) YSZ 완충막이 780°C에서 증착된 경우, (b) YSZ 완충막이 830°C에서 증착된 경우.

3. 결 론

YSZ 완충막이 증착된 Hastelloy 기판 위에 고품질의 c축 배향된 초전도 YBCO 박막을 *in situ* 펄스 레이저 증착법으로 증착하였다. YSZ 완충막의 증착온도가 YBCO 박막의 특성에 미치는 영향이 체계적으로 연구되었다. YBCO 박막은 YSZ 완충막이 YBCO 박막의 증착온도보다 높은 온도에서 증착되어진 경우 c축 방향으로 잘 배향되었고 전기적 특성도 향상되었다. 이런 결과는 YSZ 완충막의 증착온도가 YBCO 박막의 적층성장에 영향을 미치기 때문에 일어났다고 추측되어진다.

[참 고 문 헌]

[1] T. Nabatame, S. Koike, O.B. Hyun, I. Hirabayashi, H. Suhara, and K. Nakamura,

"Transport superconducting properties of grain boundaries in $Tl_1Ba_2Ca_2Cu_2O_3$ thin films", *Appl. Phys. Lett.* 65, p.776, 1994

- [2] 이 상 렬, "Fabrication and characterization of various buffer layers using excimer laser", 제6회 레이저 가공기술 심포지움, p.169, 1995
- [3] N. Tomita, Y. Takahashi, and Y. Ishida, "Preparation of bicrystal in a Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductor", *Jpn. J. Appl. Phys.* 29, p.L30, 1990
- [4] A. Goyal, D.P. Norton, J.D. Budal, M. Paranthaman, E.D. Speccht, D.M. Kroeger, D.K. Christen, Q. He, B. Saffian, F.A. List, D.F. Lee, P.M. Martin, C.E. Klabunde, E. Hartfield, and V.K. Sikka, "High critical current density superconducting tapes by epitaxial deposition of $YBa_2Cu_3O_x$ thick films on biaxially textured metals", *Appl. Phys. Lett.* 69, p.1795, 1996
- [5] R.E. Russo, R.P. Reade, J.M. McMillan, and B.L. Olsen, "Metal buffer layers and Y-Ba-Cu-O thin films on Pt and stainless steel using pulsed laser deposition", *J. Appl. Phys.* 68, p.1354, 1990
- [6] E. Narumi, L.W. Song, F. Yang, S. Patel, Y.H. Kao, and D.T. Shaw, "Critical current density enhancement in $YBa_2Cu_3O_{6.8}$ films on buffered metallic substrates", *Appl. Phys. Lett.* 58, p.1202, 1991
- [7] R.P. Reade, X.L. Mao, and R.E. Russo, "Characterization of Y-Ba-Cu-O thin films and yttria-stabilized zirconia intermediate layers on metal alloys grown by pulsed laser deposition" *Appl. Phys. Lett.* 59, p.739, 1991
- [8] A. Kumar, L. Ganapathi, S.M. Kanetkar, and J. Narayan, "Synthesis of superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films on nickel-based superalloy using *in situ* pulsed laser deposition", *Appl. Phys. Lett.* 57, p.2594, 1990