

Pulsed Laser Deposition법을 이용한 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 계
 고온 초전도 박막의 제작
 (Fabrication of High Quality $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Superconducting
 Thin Films by Pulsed Laser Deposition)

삼성종합기술원 신소재연구실 고온초전도팀

이 은홍, 박 상진, 송 인상¹⁾, Dosquet Christelle²⁾, 공 준호, 석 중현, 송 이현, 이 조원

1. 서 론

고온초전도체를 전자 디바이스로 응용하기 위해서는 박막 제작이 필수적인데, 최근 들어 Excimer laser를 에너지원으로 하여 양질의 초전도 박막을 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Pulsed Laser Deposition(PLD)법은 강한 에너지의 laser를 사용하기 때문에 deposition rate가 빠를 뿐만 아니라, 박막의 조성을 용이하게 제어할 수 있다. 더욱이 거의 모든 물질을 박막화할 수 있기 때문에 초전도체 뿐만 아니라 절연체, 반도체 등의 여러 가지 물질을 다층 박막으로 제작하는 것이 용이하여 초전도 디바이스를 제작하는데 매우 유용하다. 본 논문에서는 최근 각광을 받고 있는 PLD법을 사용하여 양질의 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (이하 YBCO) 박막을 제조하는 경우, 주요 특성에 미치는 여러 가지 제조 변수들의 효과를 관찰하였다. 또한 step을 제작한 단결정 기판 위에 YBCO 박막을 형성하고 patterning하여 미세자장 센서인 초전도 양자간섭소자(SQUID)를 제작하여 특성을 관찰하였다.

2. 실험 방법

KrF excimer laser를 사용하여 pulse당 800-1000 mJ의 energy를 갖는 beam을 발생시켰다. 소결한 YBCO 타겟 위에 laser beam을 5 Hz로 조사하여 3~10분 동안 단결정 기판 위에 박막을 제조하였다. 기판은 결정면이 (100)인 MgO 또는 LaAlO_3 단결정을 사용하였으며, 기판 온도, 기판-타겟 사이 거리를 각각 700~820°C, 50~80 mm로 변화시켰다. Chamber내의 분위기는 산소로서 100~500 mTorr의 압력을 유지하였다. Deposition 후 chamber 산소 분위기를 500 Torr로 올려 550°C에서 45분 유지한 후 상온으로 냉각하였다. 한편, SQUID를 제작하기 위해 chemical 용액을 사용하여 MgO 기판 위에 step을 제작한 후, YBCO 박막을 형성하였다. 설계한 SQUID 형상으로 patterning하여 I-V, V- ϕ 특성을 측정하였다.

3. 실험 결과

그림 1은 박막 제작시 기판 온도(T_s)에 따른 임계온도(T_c) 변화를 나타낸 것이다. MgO 단결정을 기판으로 사용한 경우, 온도가 720°C로부터 증가함에 따라 T_c 가 점진적으로 증가하여 800°C에서 91.5 K의 매우 우수한 특성을 나타내었다. 또한 LaAlO_3 기판 경우도 유사한 경향을 나타내었으며, 두 기판 모두 T_s 가 780°C 이상인 경우 90 K 이상의 T_c 를 나타내었다. 한편, 기판 온도가 760°C 이상인 경우는 기판 종류에 무관하게 기판 면에 수직한 방향으로 c-축이 완벽하게 배열되었음을 XRD θ - 2θ 측정으로 확인하였다. 특히 MgO, 780~820°C 조건으로 제작한 박막은 in-plane alignment로 결정 배향이 이루어졌음을 YBCO (104)면 ϕ -scan으로 확인하였다.

그림 2는 800°C, 500 mTorr의 조건으로 제작한 박막의 측정 온도에 따른 임계전류밀도(J_c) 변화를 나타낸 것이다. 액체 질소 온도인 77 K에서 6×10^6 A/cm²의 매우 높은 J_c 를 나타내었으며, 임계 온도 부근인 88 K에서도 2×10^5 A/cm²의 특성을 나타내었다. 이는 XRD 분석에서 확인한 바와 같이 박막의 배향 정도가 우수하기 때문이며, 기판 위에 제작한 박막이 거의 epitaxial하게 성장하였음을 나타내는 것이다. 온도에 따른 이 같은 J_c 변화 경향은 초전도 이론인 BCS적 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

1 서강대학교 물리학과 박사과정

2 Ecole Nationale Supérieure de Chimie et de Physique de Bordeaux

또한 박막 두께에 따른 특성 변화를 관찰하고자 laser beam shot에 따른 특성의 변화를 관찰하였다. 800°C, 500 mTorr의 조건에서 beam shot 수를 3,000에서 7,500 shots까지 변화시켜 두께가 2,000~5,000 Å인 박막을 제작하였다. 제작한 박막 모두 90 K 이상의 T_c 를 나타내었으며 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이내의 특성 재현성을 보였다.

그림 3은 기판과 타겟 사이 거리에 따른 T_c 변화를 나타낸 것으로서, 800°C, 400 mTorr의 조건에서 laser beam density를 1 J/cm^2 로 유지하였다. 기판-타겟 사이 거리가 멀어짐에 따라 T_c 가 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었는데, 5~6 cm에서 가장 양호한 특성을 나타내었다. 최적 기판-타겟 사이 거리는 laser beam에 의해서 형성된 plume의 크기와 거의 일치하였는데, 이는 plume 끝 부분에서 Y, Ba, Cu가 화학양론비인 1:2:3에 가장 근접하기 때문으로 해석된다.

그림 4는 800°C, 500 mTorr에서 제작한 박막의 표면을 AFM으로 관찰한 사진으로서, 직경 $1 \mu\text{m}$ 크기의 boulder 들이 수 개 형성되어 있음에도 불구하고, matrix 자체는 수 십 Å 이하의 매우 우수한 roughness를 나타내고 있다.

그림 5는 step을 형성한 기판 위에 박막을 형성하여 제작한 step-edge junction의 I-V 특성으로서, 77 K에서 $70 \mu\text{A}$ 의 비크적 큰 I_c 값을 나타내었다.

그림 6은 동일한 junction의 $V-\Phi$ 특성으로서, magnetic flux에 따른 전압 변화를 나타내고 있으며, $6 \mu\text{V}$ 의 ΔV 를 관찰하였다. 한편, 77 K에서 Noise 특성은 10 Hz, 400 Hz에서 각각 $450 \mu\Phi_0$, $150 \mu\Phi_0$ 를 나타내었다.

4. 결 론

PLD법을 이용하여 양질의 YBCO 고온초전도 박막을 제작하였다. 또한 이를 이용하여 step edged dc SQUID를 제작하여, 77 K에서 비교적 높은 I_c 값을 얻었고 $V-\Phi$ 특성을 관찰하였다. 한편, Noise 값은 10 Hz에서 $450 \mu\Phi_0$ 으로서 인체 자장 측정 시스템에 사용할 수 있을 정도로 우수하였다.

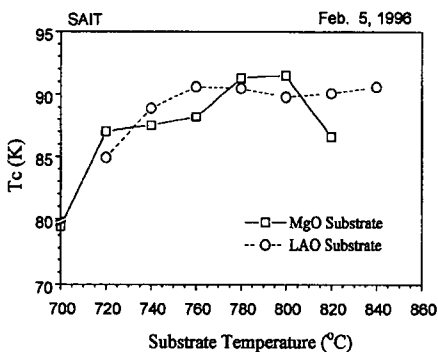


그림 1. 기판 온도에 따른 T_c 변화

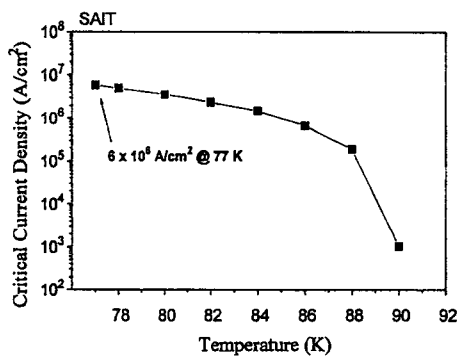


그림 2. 측정 온도에 따른 J_c 변화

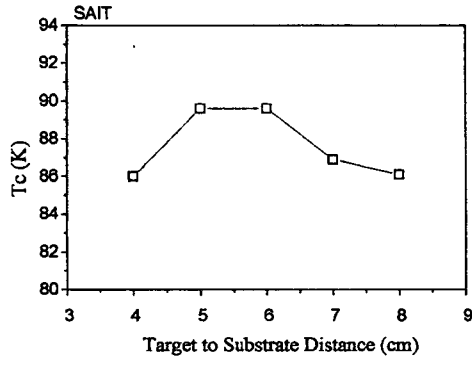


그림 3 기판과 타겟 사이 거리에 따른 T_c 변화

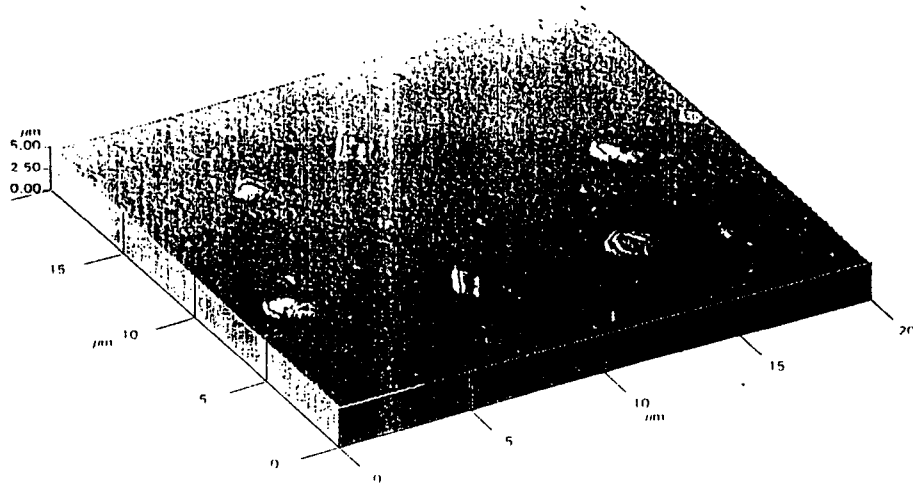


그림 4 YBCO 박막의 표면 AFM 사진.

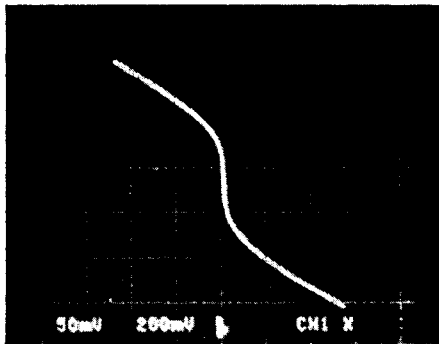


그림 5. 77 K에서 측정된 I-V 특성.

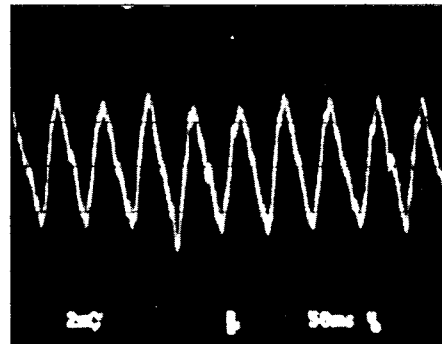


그림 6. 77 K에서 측정된 V-φ 특성.