

MgO(100)기판에 성장시킨 Bi2212 에피택셜 박막의 R-T특성

양승호, 임중관, 박용필*
*동신대학교

R-T characteristic of Bi2212 Epitaxial thin films by growth in MgO(100) substrate

Seung-ho Yang, Jung-kwan Lim, Yong-pil Park*
*Dongshin Univ.

Abstract : BSCCO thin films have been fabricated by epitaxy growth at an ultra-low growth rate. The growth rates of the films was set in the region from 0.17 to 0.27 nm/min. MgO(100) was used as a substrate. In order to appreciate stable existing region of Bi 2212 phase with temperature and ozone pressure, the substrate temperature was varied between 650 and 720 °C and the highly condensed ozone gas pressure (PO₃) in vacuum chamber was varied between 2.0×10⁻⁶ and 2.3×10⁻⁵ Torr.

Key Words : BSCCO Thin Films, Epitaxy growth, MgO(100)

1. 서론

초전도 박막을 이용한 전자 디바이스는, 종래의 반도체 소자보다 2단위 정도 고속이면서, 3단위 정도 적은 소비 전력으로 작동하는 꿈의 디바이스이며, 21세기 IT기술을 지탱하는 장래의 핵심기술로서 주목받고 있다. 초전도 박막은 선재와 같이 액체질소 온도에서의 초전도 발현은 가능해졌지만, 임계자계 향상이 큰 과제이다. 더욱이 박막의 경우에는, 기판과의 가공 기술개발이라는 난제도 남아 있다. 특히, BSCCO 초전도체는 다성분 화합물로서, 구성 성분들 사이의 복합 반응에 대한 기초 정보 없이 BSCCO 단상을 제작하는 것은 거의 불가능한 일이다.

성장하는 박막의 결정 방위를 기판의 결정 방위로 제어하여 배향 막을 얻는 방법인 에피택셜 성장으로 박막을 제작하면 기판에서 2차원적인 성장을 시킬 수 있으므로 표면이 매우 고르고 성능이 우수한 고품질의 초전도 박막의 단결정을 제작 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 산화물 초전도 박막의 고품질화를 목적으로 에피택셜 성장법을 채택하여 BSCCO 초전도 박막을 제작하고, 제작된 박막에 대한 R-T특성을 분석하였다.

2. 실험

본 연구에서 BSCCO 초전도 박막은 자유 증발 셀을 이용한 증발법[1]으로 초 저속 성장시켰다. 단, 동시증착에서도 Bi 원소의 부착률이 예측 값보다 낮은 것으로 확인 되었으므로 일부 장치를 다음과 같이 개선하였다. 즉, Bi 원소에 대해서는 도가니를 이용한 자유증발 셀을 새롭게 제작, 증발원으로 이용하여 Bi의 flake 수를 충분히 확보하고자 하였다. 도가니 재료는 금속과의 반응성을 고려하여 Al₂O₃를 채택하고 가열용 히터는 코일형으로 감은 Ta 선을 사용했다. 도가니 내 Bi 액면의 온도저하를 보상하기 위해 히터 선은 도가니의 상·하부에 각각 나누어 부착

하였다. 도가니의 온도는 도가니 위·아래에 부착한 열전대로 모니터하여 온도제어가 가능하도록 하였다. 통상 사용하는 도가니의 온도는 400~500 °C 정도이다. 도가니는 그림 1과 같이 성장실 하측의 전용 포트에 부착하였으며 도가니와 기판과의 거리는 약 50 cm이다. 또한 Sr, Ca 및 Cu는 냉음극 Saddle-Field 형 이온 건을 진공 챔버 내부에 장착하여 동시에 스퍼터 하였으며, 기판으로는 MgO(100)기판을 650~720°C까지 조절하였고 산화가스로는 오존[2]을 사용하였다.

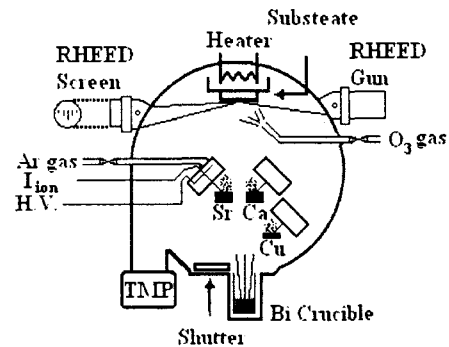


그림 1. 도가니를 이용한 IBS장치의 개략도

3. 결과 및 검토

박막 조성이 Bi2212상의 화학양론과 일치하도록 각 원소의 증착 속도를 설정하였고 산화가스압과 기판온도를 변화시키며 성장하였다. 이때 Bi 원소의 부착계수는 앞서 기술한 바와 같이 기판온도에 강하게 의존하므로 기판온도를 변화시켜 증발량을 조정하여 기판 상에 항상 일정량의 Bi 원소가 부착할 수 있도록 하였다. 제작된 박막은 조성 분석을 통해 Bi2212 혹은 Bi2223 조성의 박막만을 데이터로 채용하였다.

그림 2에 Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2로 조성을 고정했을 때의

Bi 계 초전도상의 생성상도를 표시하였다. 횡축은 기판 온도(K)의 역수, 종축은 산화가스 O₃ 압의 대수를 취한 것이다. 그림 중 ○는 Bi2201상이 생성된 박막을 나타내고, ●은 Bi2212상, ⊙은 Bi2223상의 생성을 각각 나타내고 있다.

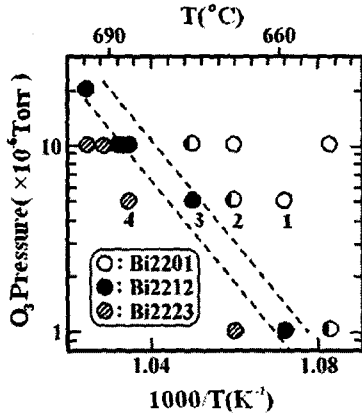


그림 2. Bi2212의 조성으로 제작한 박막의 생성상도.

각 상의 생성 영역은 금속원소의 증기압 곡선과 동일한 양상으로 우측 하단 쪽으로 band 상태의 분포를 보이고 있다. 일정한 압력 선상에서 비교하면, 기판온도가 저온에서 고온 측으로 이동함에 따라 박막의 결정구조는 Bi2201 → Bi2212 → Bi2223으로 변화한다. 또한 기판온도가 일정한 선상에서는 가스 압력에 따라 동일한 양상의 변화가 보인다. 따라서 단위격자에서 c 축의 길이가 길어지면 그 생성 영역은 고온 저압 측으로 이동해 가는 것을 알 수 있다. 그림 2에서 박막조성이 Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2임에도 불구하고 Bi2201과 Bi2223상의 생성을 볼 수 있었다.

박막 성장을 종료한 직후의 RHEED패턴을 그림 3에 표시하였다. RHEED패턴의 스트리크는 모두 MgO 기판 단체의 스트리크보다 첨예하며 결정 표면이 평활하고 결정성이 양호한 큰 도메인을 형성하고 있는 것을 알 수 있다.

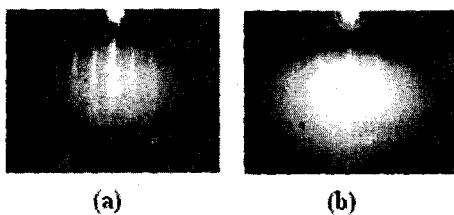


그림 3. Bi2212 조성으로 생성된 생성막의 RHEED 패턴

MgO 기판의 <100> 방향으로부터 전자선을 입사한 경우를 (a)에 표시하였는데 스트리크(streak) 선단이 2개로 분열하고 있어 상호 직교하는 두 결정 방위의 BSCCO 막이 기판상에 존재하는 것을 알 수 있다. MgO 기판의 <110> 방향으로부터 전자선을 입사한 경우를 (b)에 표시하였다. 이 경우 기본 주기의 스트리크 사이에 수 개의 초주기 스트리크를 관찰할 수 있는데 이는 BSCCO 결정 b축 방향의 변조 구조에 기인한 것이다. 즉, 본 연구에서 생성한 BSCCO막과 MgO 기판의 에피택셜 방향은

BSCCO(100)//MgO(110) 및 BSCCO(010)//MgO(110)의 관계로 되어 있다.

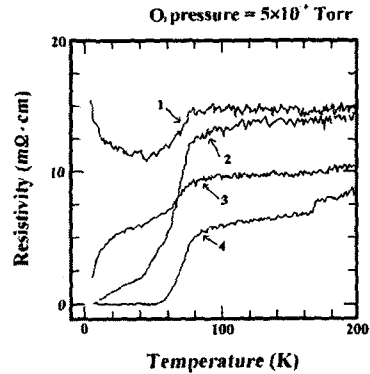


그림 4. 생성막 샘플 1, 2의 저항률-온도 특성

그림 4에 생성막의 저항률-온도 특성을 나타낸다. 샘플 번호는 그림 2의 번호와 동일하다. 2, 3 및 4번 박막에서는 온도에 대해 저항률이 적선적으로 감소하며 금속 특성을 나타내고 있다. 또한 기판 온도가 상승함에 따라 제로 저항온도(T_{czero})는 높아지고 있다. Bi2201 단상의 샘플 1번 박막에서는 낮은 온도 영역에서 반도체 특성을 보이는 저항률 상승을 관찰할 수 있다.

4. 결론

높은 전이온도를 나타내는 Bi2212상에 박막 조성을 고정하여 성막 한 결과, 기판 온도 및 산화 가스압을 최적화함으로써 각 상의 단상막을 얻을 수 있었다.

박막조성을 Bi2212로 설정했음에도 불구하고, 어느 경우나 Bi2201, Bi2212 및 Bi2223상이 생성되었다.

이들 안정상의 생성 영역은 기판 온도-산화 가스압의 Arrhenius 플롯에서 우측 하단 방향으로 경사진 직선으로 표시되며 매우 좁은 영역에 분포되어 있다. RHEED에 의해 *in-situ*로 박막의 표면 구조를 해석한 결과, 박막의 에피택셜 방향은 MgO 기판의 <110> 방향에 대해 박막의 <100> 방향이 평행으로 되었다. 또한, 제작된 박막에서 온도에 대해 저항률이 금속 특성을 나타내고 있었고 기판 온도가 상승함에 따라 제로 저항온도는 높아지고 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] D. G. Lee and Y. P. Park, "Thermodynamic conditions for formation of single phase in BSCCO thin films", J. of KIEEME, vol. 15, No. 2, p. 173, 2002.
- [2] H. K. Lee and Y. P. Park, "Evaluation of ozone condensation system by T. D. method", J. Trans. on EEM, vol. 1, No. 2, p. 18, 2000.