

## BSCCO 박막의 저항-온도 특성

천민우, 양승호, 박용필  
동신대학교

### R-T Characteristic in BSCCO Thin Films

Min-Woo Cheon, Sung-Ho Yang, and Yong-Pil Park  
DongShin Uni.

#### Abstract

BSCCO thin films fabricated by using the evaporation method. As a result, although the composition of Bi2212 was set up, the phase of Bi2201, Bi2212 and Bi2223 was formed. The formation area of these stable phases is indicated as inclined line in the direction of the right lower end from the Arrhenius plot of the substrate temperature-oxidation gas pressure, and are distributed in very small area. The activation energy for the phase transformation from the Bi2201 to the Bi2212 is estimated in terms of the Avrami equation.

**Key Words** : BSCCO, Ion Beam Sputtering Method, R-T characteristic

#### 1. 서 론

인류 문명의 발달과 함께 발전해 온 반도체 디바이스의 집적화 기술도 이미 물리적인 한계에 달하였고 특히 반도체 소자의 고속화 연구가 많이 진행되고 있으나, 반도체 소자를 고속화 할 경우 nano 크기의 선폭으로 제작하는 것이 매우 힘들고 실제 제작하여 사용할 때 많은 에너지 소비로 인한 발열 문제가 대두되고 있는 실정이다. 따라서 미세화, 발열 처리 및 고속화 등이 큰 문제로 제기되고 있으며 저 소비 전력화와 고속화 두 문제점을 동시에 해결 할 수 있는 신소재와 새로운 디바이스의 개발이 요구되고 있다. 이러한 문제점의 해결 방안으로 BSCCO( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}$ ;  $n \geq 0$ ) 박막을 이용한 디바이스가 해결책으로 떠오르고 있다.

이러한 BSCCO 박막으로 제작한 소자의 대표적인 예로 조셉슨 소자를 이용한 초전도 양자 간섭계(SQUID)를 들수 있다. 이는 조셉슨 전류와 자계

와의 간섭을 이용하여 극히 미약한 자장을 검출할 수 있는 장치로서 초전도 현상을 실용화한 대표적인 경우이다. 또한 초전도 박막은 super 컴퓨터와 같은 초고속 LSI, 우주 통신용 안테나, 믹서, 군사 장비, 초전도 트랜지스터, 초전도 센서 및 초전도 한류기 등에 광범위하게 응용할 수 있으며, 이의 연구·개발에는 첨단 고급 기술의 축적이 요구되므로 인접 학문 및 주변 산업의 진보를 촉진시킬 수 있어 파급 효과가 매우 큰 연구 분야라 할 수 있다.

하지만 BSCCO 시스템과 같이 다성분 화합물에 대한 연구는 동질이상 때문에 구성 성분들 사이의 복합 반응에 대한 기초 정보 없이 BSCCO 단상을 제작하는 것은 매우 까다롭다. 성장하는 박막의 결정 방향을 기판의 결정 방향으로 제어하여 배향 막을 얻는 방법인 에피택셜 성장으로 박막을 제작하면 기판에서 2차원적인 성장을 시킬 수 있으므로 표면이 매우 고르고 성능이 우수한 고품질의 초전

도 박막의 단결정을 제작 할 수 있다.

본 연구에서는 에피택셜 성장으로 BSCCO 박막을 제작하고 저항률-온도 및 상 생성에 관련된 특성을 분석 하였다.

### 2. 실험

본 연구에서는 BSCCO 박막은 증발 법[1]으로 초 저속 성장시켰다. Bi 원소의 특이한 부착율을 개선하기 위하여 자유증발 셀에서 증발시키는 방법을 채택하였고 Sr, Ca 및 Cu는 냉음극 saddle-field 형 이온 건을 진공 챔버 내부에 장착하여 동시에 스퍼터 하였으며, 기판으로는 MgO(100), 산화가스로는 오존[2]을 사용하였다.

표 1. 성막 조건.

기판	MgO(100)
기판온도	660 ~ 720°C
분위기 가스	O3(90 mol%)
Sr, Ca, Cu의 증발량	약 $2.5 \times 10^{12} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$
성막속도	0.02 nm/sec
막두께	40 nm (4 hours)
타겟	Sr, Ca, Cu metal
Bi 증발량	$3 \times 10^{12} \sim 1 \times 10^{14} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$

자유 증발 셀을 채용함으로써 기판 온도에 대한 의존성이 큰 Bi 원소의 부착량을 넓은 온도 범위에 걸쳐 일정하게 유지할 수 있고 박막의 상 생성에 관해 보다 정확한 논의가 가능하게 되었다. 제작한 BSCCO 박막은 Energy Dispersive X-ray Spectroscopy로 조성을 분석하였으며 결정 구조는 XRD로 조사하였다. 본 연구에서의 성막 조건을 표 1에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

Bi 계 초전도체는 단위 격자(unit cell) 내의  $\text{CuO}_2$  면 수에 따라 Bi2201 ~ Bi2223상까지 복수

의 결정 상이 존재한다. 이들 결정상의 생성 온도, 분위기 가스압 및 조성 등의 관계를 표시한 것이 생성상도이다.

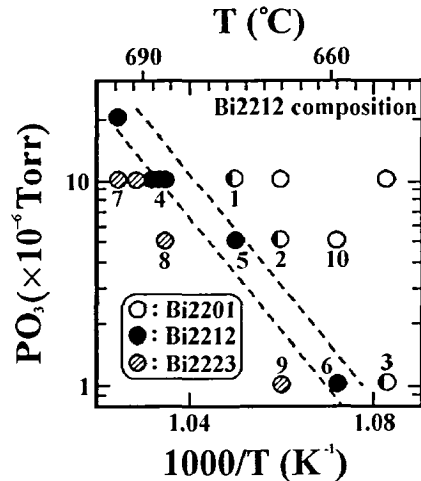


그림 1. Bi2212의 조성으로 제작한 박막의 생성상도.

그림 1에 Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2로 조성을 고정했을 때의 Bi 계 초전도상의 생성상도를 표시하였다. 횡축은 기판온도(K)의 역수, 종축은 산화가스  $\text{O}_3$  압의 대수를 취한 것이다. 그림 중 ○는 Bi2201상이 생성된 박막을 나타내고, ●은 Bi2212상, ⊗은 Bi2223상의 생성을 각각 나타내고 있다. 혼합된 그림 표시는 XRD의 피크가 Bi2201 단상[(002) 피크 위치=7.24°], Bi2212 단상[(002) 피크 위치=5.75°] 및 Bi2223상 단상[(002) 피크 위치=4.77°]의 어느 쪽에도 속하지 않은 것이다. 이들은 (002) 피크 위치가 이상적인 Bi2201상과 Bi2212상 또는 Bi2212상과 Bi2223상과의 사이에 위치해 있고, 이들 상이 혼합된 혼합 결정계의 생성을 나타내고 있다[3].

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 가

는 것을 알 수 있다. 또 그림에 표시된 것보다 높은 온도 영역에서는 Bi 계 초전도상의 생성은 관측되지 않았으며 약간의 CaO의 피크가 확인될 뿐이었다.

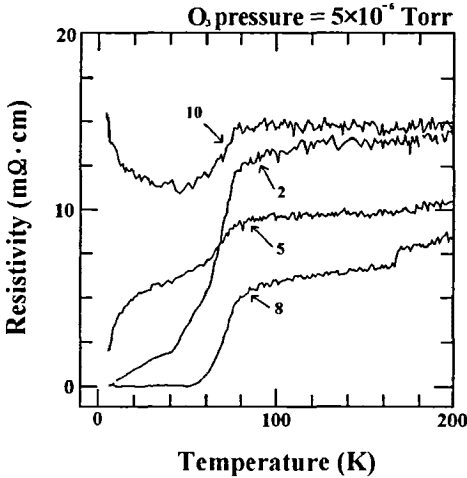


그림 2. 생성막의 R-T 특성.

그림 2에 생성막의 R-T 특성을 나타냈다. 샘플 번호는 그림 1의 샘플 번호와 동일하다. 어느 박막에서나 온도에 대해 저항률이 직선적으로 감소하며 급속 특성을 나타내고 있다. 또한 기판 온도가 상승함에 따라 제로저항온도( $T_{czero}$ )는 높아지고 있다. Bi2201 단상의 샘플에서는 낮은 온도 영역에서 반도체 특성을 보이는 저항률 상승을 관찰할 수 있다.

그림 3은 기판온도 675°C, 가스압  $5 \times 10^{-6}$  Torr에서 각 원소의 증발량을 조절하여 조성을 바꿔 성막 한 경우의 상도이다. 지금까지와는 달리 일정한 기판 온도와 가스압 조건에서 박막 조성 변화에 따른 생성상의 차이를 조사하였다. 그림에서 ○, ● 및 ⊙는 각각 Bi2201, Bi2212 및 Bi2223상이 생성된 막을 나타낸다. 그림으로부터 Bi2201, Bi2212, Bi2223 각 상은 각각의 화학양론에 따라 band 상의 영역으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 이 영역은 각 생성 상 Cu와 Sr+Ca의 양에 대해 다소 허용범위가 있으나 Bi 원소의 함유량에 대해서는 허용범위가 거의 없음을 나타내고 있다. 각 상의 생성 영역의 위치 관계로부터 Bi 원소의 양이 어느

정도 생성막의 결정구조를 결정하는 것을 알 수 있다. 벌크의 평형 상태도에 관한 연구에서는 Bi 계 초전도상의 생성은 매우 좁은 범위로 한정되고 [4], 이상 생성물의 성장을 막는 것은 곤란하다는 것을 지적되고 있다.

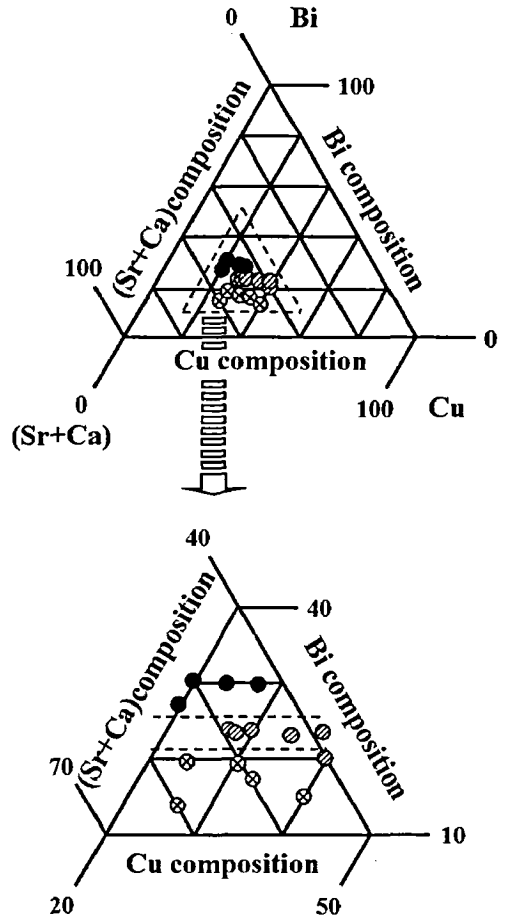


그림 3. Bi계 초전도 상의 상태도.

#### 4. 결론

BSCCO 박막을 증발 법으로 초 저속 성막하였다. 조성을 Bi2212로 하였으나 Bi2201, Bi2212, Bi2223상이 모두 성막 되었고, 성막 조건을 최적화함으로써 Bi2201상 및 Bi2212상의 단상막을 얻을 수 있음과 Bi 원소의 부차계수는 기판 온도 변화와 Bi2212상 생성에 명확히 관계되어 있음을 확인

하였다. 어느 박막이나 온도에 대한 저항률이 금속 특성과 같이 직선적으로 감소하였다. 또한, 기판 온도가 상승함에 따라 제로저항온도는 높아졌고 Bi2201의 샘플에는 낮은 온도 영역에서 반도체 특성을 관찰하였다.

일정한 기판 온도와 가스압 조건에서 박막 조성 변화에 따른 생성상의 차이를 조사에서도 Bi2201, Bi2212, Bi2223 각 상은 각각의 화학양론에 따라 band 상의 영역으로 분포하고 있음을 알 수 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.
- [3] R. S. Roth, C. J. Rawn, B. P. Burton, and F. Beech, "Phase equilibria and crystal chemistry in portions of the system SrO-CaO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO, Part II-the system SrO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO", J. Res. Natl Inst. Stand. Technol, vol. 95, No. 3, p. 291, 1990.
- [4] Y. Idemoto, T. Toda, and K. Fueki, "Comparison of Bi-rich and Cu-rich oxides of the Bi-2212 phase", Physica C, 249, p. 123, 1995.