

## 초전도 세라믹 후막의 전기적 특성

### Electric Properties of Superconducting Ceramic Thick Films

이상현<sup>1,a</sup>

(Sang Heon Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

BiSrCaCuO superconducting ceramic thick films were fabricated by chemical process. The x ray diffraction pattern of the BiSrCaCuO thick films contained 110 K phase. The critical temperature of BiSrCaCuO thick films were  $T_c=95$  K-97 K. The critical temperature and critical density of BiSrCaCuO thick film grown at 750 °C were  $T_c = 95$  K and  $J_c= 7 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>. We obtained high- $J_c$  as grown BiSrCaCuO on an MgO substrate by low pressure CVD.

**Key Words** : BiSrCaCuO, Electric properties, Chemical process

#### 1. 서론

고온 초전도체의 밝기는 산업전반에 무한한 응용성 때문에, 학문적인 측면뿐만 아니라, 초전도 소자들의 실현을 위해 electronics, computer technology 및 반도체와 초전도 현상을 응용한 hybrid 소자 등 다양한 분야에서 진 세계적으로 연구되고 있다[1-4]. 이와 같이 고온 초전도체의 응용은 현대 산업의 많은 분야에서 시도되고 있으며 그중 가장 실용화에 근접되어 있는 것으로 초전도 후막선재 제조 기술 분야가 특히 주목을 받고 있다. 초전도 후막 선재는 기술 개발의 성공 가능성이 클 뿐 아니라 실용화에 성공하여 기술을 선점할 경우 에너지 산업뿐 아니라 여러 기술에 미치는 영향이 매우 클 것으로 사료 된다. 초전도 선재 제조를 위해 물리적 증착법과 화학적 증착법이 제시되어 검토 되고 있다. 물리적 방법으로는 전자선 증발법 (e-beam evaporation), Sputtering 법 및 PLD(Pulsed Laser Abrasion Deposition)법

등이 연구 되고 있다. 그러나 위에 제시된 방법들은 모두 고진공의 장치가 필요한 동시에 연속적으로 공급되는 기판의 온도를 균일하게 유지하는데, 어려움이 있으며 장치의 가격이 비싸다. 따라서 산업적으로 세라믹 후막의 제조에 폭 넓게 사용되고 있는 화학적 증착법이 그 대안으로 부상되고 있다. 화학적 증착법은 물리적 증착법에 비하여 설비비가 높지 않을 뿐만 아니라 낮은 진공도로 인하여 기판의 가열이 상대적으로 용이하다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 산업현장에서 널리 사용되고 있을 정도로 기술적으로 완성 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 화학 프로세스로 BiSrCaCuO계 초전도후막을 제작하여 초전도 후막의 전기적 특성을 명확하게 조사 하는 것을 목적으로 하며, 이러한 전기적 효과의 기초물성에 대하여 정성적으로 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험 방법

본 연구에서는 Chemical vapor process법으로 BiSrCaCuO 후막을 제조 하였다. precursor 재료로는 BiCl<sub>3</sub>, SrI<sub>2</sub>, CaI<sub>2</sub>, 및 CuI의 할로젠 화합물을 선택하였고, 공기와 불순물과의 접촉을 차단하기 위하여 glove box 안에서 정량화 하였다. MgO(001)을 기판으로 하여 c축으로 정렬된 BiSrCaCuO 초

1. 선문대학교 전자공학부

(충남 아산시 당진면 갈산리 100)

a. Corresponding Author : shlee@sunmoon.ac.kr

접수일자 : 2005. 1. 3

1차 심사 : 2005. 2. 15

2차 심사 : 2005. 3. 30

심사완료 : 2005. 4. 13

표 1. BiSrCaCuO 초전도 후막의 합성조건.

Table 1. Fabrication conditions of BiSrCaCuO thick film.

Heating Temperature of precursor materials	$T_{BiCu} = 150-170\text{ }^\circ\text{C}$ $T_{Ca} = 400-450\text{ }^\circ\text{C}$ $T_{Sr} = 400-450\text{ }^\circ\text{C}$
Source speed	15 cm/min
Deposition Temperature	700-800 $^\circ\text{C}$
Flow rate of carrier gas	700 sccm
Flow rate of reactant gas	200-500 sccm
Total pressure	1 Torr
Deposition time	30-50 min
Substrates	MgO (001) single crystal

전도 후막의 증착 조건을 고찰 하였다. HCl과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 혼합 용액에서 세척하여 기판 표면의 불순물을 제거하였다. 합성온도는  $T_{BiCu} = 150-170\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{Ca} = 400-450\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{Sr} = 400-450\text{ }^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 기판의 온도는 700-800  $^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 자세한 합성조건은 표 1에 나타내었다. BiSrCaCuO 초전도 후막의 결정구조를 알고자 Rigaku사의 x-ray diffraction을 사용하였고, x선 회절구간(2θ)는 0-45°이었다. 박막의 온도에 따른 저항을 측정하기 위하여 측정부분에 실리콘 다이오드 온도센서를 설치하여 온도변화와 저항과의 관계를 AC 4단자법을 이용하여 전기저항을 측정하였다. 전류 및 전압 단자는 접촉저항을 줄이기 위하여 In을 전극 재료로 사용하였고, 리드선은 약 0.08 mmφ의 구리선을 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 MgO(100)을 기판으로 한 BiSrCaCuO 초전도 후막의 X선 회절 분석 결과를 그림 1에 나타낸다.

그림에서 80 K와 20 K의 BiSrCaCuO phase는 관측 되지 않고, Bi<sub>2.0</sub>Sr<sub>2.0</sub>Ca<sub>2.0</sub>Cu<sub>3.6</sub>Ox 조성의 110 K phase가 메인 peak로 관측된다[5]. 초전도 후막의

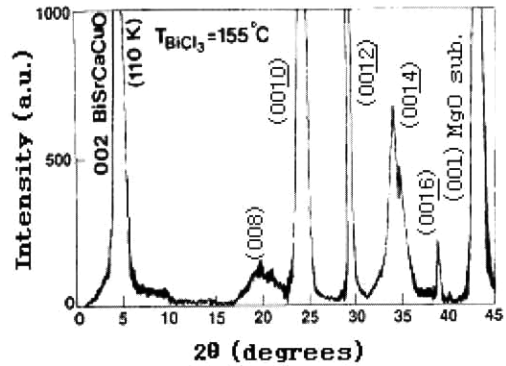


그림 1. BiSrCaCuO 초전도 후막의 XRD pattern.  
Fig. 1. XRD pattern of BiSrCaCuO thick film.

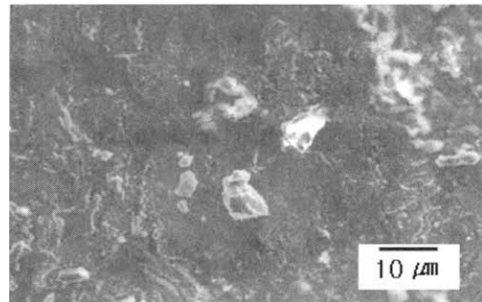


그림 2. BiSrCaCuO 후막의 SEM사진.  
Fig. 2. SEM micrograph of BiSrCaCuO.

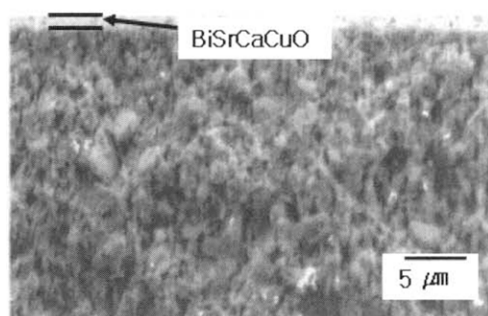


그림 3. BiSrCaCuO 후막의 단면 SEM 사진.  
Fig. 3. Cross sectional SEM of BiSrCaCuO.

격자상수값은 c 와 a 축에서 각각 3.701 nm와 0.5401 nm로 나타난다. 이 값은 Dou 등이 보고한 결과(c=3.71 nm, a=b=0.5405 nm)와 비교하여 거의

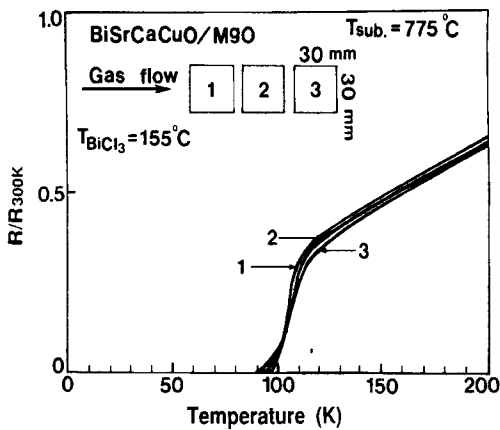


그림 4. BiSrCaCuO 시료의 전기저항의 온도의존성.  
Fig. 4. Temperature dependence of the electrical resistance of BiSrCaCuO.

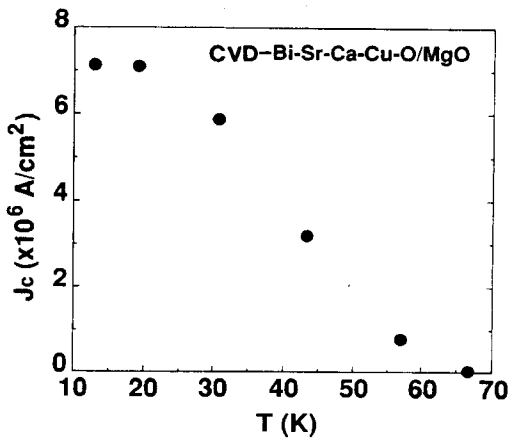


그림 5. CVD 법으로 합성한 BiSrCaCuO 시료의 임계 전류밀도의 온도 의존성.  
Fig. 5. Temperature dependence of the critical current density resistance of the BiSrCaCuO thick film grown by CVD.

일치하는 것으로 나타났다[6]. 그림 2와 3에 BiSrCaCuO 초전도 후막의 SEM사진을 제시한다. 그림에서 SEM으로 단면을 측정된 결과, 본 연구의 초전도 후막의 두께는 약 1.5  $\mu\text{m}$ 로 나타났다.

본 연구에서 제작한 BiSrCaCuO 초전도 시료의 전기 저항의 온도 의존성을 그림 4에 나타낸다. 그림 4의 삽입도는 동일한 합성 조건에서 quartz

tube에 흘리는 gas에 대하여 MgO기판이 놓인 상태를 설명하고 있다. 각각의 상태에서 BiSrCaCuO 초전도 후막의 전이 온도는 95 K에서 97 K를 나타내었다. 전체적으로 동일한 경향의 전기저항의 온도 의존성을 나타냈다.

그림 5는 시료 온도에 따른 BiSrCaCuO 초전도 후막의 임계전류 밀도를 측정한 결과이다.

그림에서 측정온도 20 K에서 BiSrCaCuO 후막의 임계전류 밀도는  $7 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  로 비교적 양호한 결과를 나타냈다.

본 결과는 초전도 선재로 응용이 가능한 임계전류 밀도로서 생각 되며, 향후 초전도체의 제조 방법등을 개선하여, 정량화된 후막 제조법을 완성한다면, 가능성 있는 초전도 선재의 제조법으로 추가될 수 있을 것으로 사료 된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 CVD방법으로 Pb를 첨가하지 않은 BiSrCaCuO 초전도 후막에서 110 K가 주된 peak의 단일상을 합성하였다. precursor 재료로는 할로젠 화합물을 이용하였으며, MgO(100)을 기판으로 하였다.

전기적 특성의 측정 결과, CVD법으로 합성한 BiSrCaCuO 초전도 후막의 임계온도는 약 95 K 이었고, 측정온도 20 K에서  $7 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  로 초전도 선재로 응용이 가능한 임계 전류 밀도를 얻을 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] H. Maeda, Y. Tanaka, and M. Hukutomi, "Bi-based high  $T_c$  superconductors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. 2, p. 209, 1988.
- [2] 박성재, 김용선, 김채욱, "회전실험에서의 다결정  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  초전도체의 Vortex flux의 거동", 전기전자재료학회논문지, 11권, 9호, p. 751, 1988.
- [3] 이희갑, 박용필, 이진현, 이준웅, "Evaluation of sticking coefficient in BSCCO thin film fabricated by co-sputtering", 전기전자재료학회논문지, 13권, 1호, p. 80, 2000.
- [4] 류경우, 최병주, "인접교류전류가 Bi2223 테이프의 통전손실에 미치는 영향", 전기전자재료

학회논문지, 14권, 3호, p. 251, 2001.

- [5] U. Endo, S. Koyama, and T. Kawai, "Preparation of the high- $T_c$  phase of Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductor", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. 27, L. 1476, 1989.
- [6] S. X. Dou, K. H. Song, H. K. Liu, C. C. Sorrell, M. H. Apperley, and N. Savvides, "Superconductivity in a Ag-doped Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O system", Appl. Phys. Lett., Vol. 56, p. 493, 1990.