

# 의용센서에 응용하기 위해 제작한 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$ 박막의 특성

양승호, 박용필\*

\*동신대학교

## Characteristics of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$ Thin Films Fabricated for apply to Biomedical Sensors

Seung-Ho Yang\*, Yong-pil Park\*

\*Dongshin University

**Abstract :**  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$  superconducting thin films have been fabricated by atomic layer-by-layer deposition using IBS(Ion Beam Sputtering) method. During the deposition, 90 mol% ozone gas of typical pressure of  $1 \sim 9 \times 10^{-5}$ T orr are supplied with ultraviolet light irradiation for oxidation. XRD and RHEED investigations reveal out that a buffer layer with some different compositions is formed at the early deposition stage of less than 10 units cell and then Bi-2201 oriented along the c-axis is grown.

**Key Word :**  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$ , Superconducting thin film, Layer-by-Layer Deposition Method

### 1. 서 론

초전도체는 기존의 금속이나 반도체가 지니지 못하는 특수한 전기적 특성을 지니고 있어, 기존의 소자로는 구현할 수 없는 수준의 초고감도, 초고속, 초고효율의 센서 및 정보전자 소자 개발이 가능하다. 박막 응용의 경우에는, 박막의 저전류손실 특성을 이용한 수동소자와 조셉슨 접합 등 초전도접합을 이용한 능동소자가 있는데, 수동소자에는 저손실 고주파통신 등의 응용을, 능동소자에는 SQUID(초전도양자간섭장치) 등과 같은 생체자기응용, 초고속 디지털소자 응용이 가능하다. 의료분야에서 응용할 수 있는 것으로는 SQUID, MRI (Magnetic Resonance Imaging), NMR(핵자기공명, Nuclear Magnetic Resonance), 자기차폐장치가 있다. 이렇게 초전도 박막은 의료분야 외에 super 컴퓨터와 같은 초고속 LSI, 우주 통신용 안테나, 망서, 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. 특히 실용화를 고려할 때 액체 질소 온도 이상에서 응용 가능한 고온 초전도 박막의 개발이 절실히 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 고온 초전도 박막의 고품질화를 목적으로 기초 연구를 수행하였으며, 순차 증착법[1]을 채택하여 Bi-초전도 박막을 제작, 그 특성을 분석하였다.

### 2. 실험

그림 1에 순차 증착 장치의 개략도를 표시하였다. 테이블 위에 Bi, SrO, Cu 및 Ca 타깃을 흡을 파서 부착하였으며 컴퓨터 제어에 의해 회전 및 정지할 수 있도록 하였다. 1 대의 이온 건으로부터 생성되는 이온빔으로 각 타깃을

스퍼터하였으며, Bi2201 또는 Bi2212상의 결정 구조에 맞추어, Bi→Sr→Cu→(Ca→Cu)→Sr→Bi 의 순으로 스퍼터하고, 이것을 단위격자의 반값으로 통상 40 사이클 반복했다. 히터, 기판 홀더 및 진공 배기 장치는 이미 보고한 동시 스퍼터 성막 장치와 동일하다.[2]

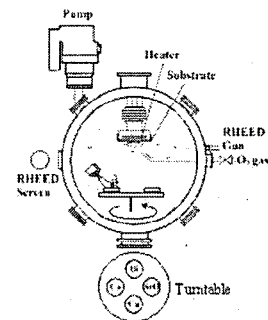


그림 1. 순차 증착 장치의 개략도.

### 3. 결과 및 고찰

순차증착으로 Bi2201상을 제작한 후, XRD 패턴을 그림 2에 나타냈다.

이 때 1 회의 증착 과정은 Bi→Sr→Cu→Sr→Bi이다. XRD 패턴으로부터 c 축으로 배향한 Bi2201 단상 막이 얻어진 것을 알 수 있다. 피크의 반값의 폭은 약 0.2°이며 결정성은 양호하다. 단, 동시증착에서 제작한 Bi2201 박막에 보여진 라우에 진동 피크는 관측되지 않았다. 이처럼 기판 온도, 산화가스압을 최적화 함으로써 순차 증착법에서 Bi2201 단상 막을 비교적 용이하게 생성할 수 있다.

다음으로 순차증착으로 Bi2212 단상 막의 제작을 시도했다. 이 경우의 증착 과정은 Bi→Sr→Cu→Ca→Cu→Sr→Bi이다. 그림 3에 제작한 막의 대표적인 XRD 패턴을 나타

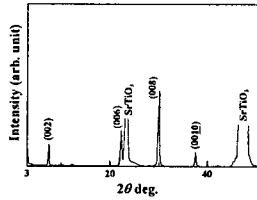


그림 2. Bi2201 생성막의 X 선 회절 패턴.

났다. XRD 그림 3(a)에서는 Bi2212상 대신에 Bi2201상과 유사 스피넬 구조를 가진 a 축으로 배향한 SrBi2O4가 생성되고 있다. 또한 (b)의 샘플은 Bi의 스퍼터 시간을 길게 한 경우로 CaCuO2 등[3][4] 불순물상의 피크밖에 볼 수 없다. 이처럼 Bi2212상의 생성을 목적으로 성막 했음에도 불구하고, 어떠한 기판온도, 오존 가스압 조건에서도 XRD의 피크에서는 Bi2212층의 생성은 확인할 수 없었다. 또한 박막의 조성은 Bi원소의 경우 화학양론보다 현저하게 부족했다. 따라서 스퍼터 시간에 따라 박막에 포함된 원자의 수 및 조성을 조사하였다.

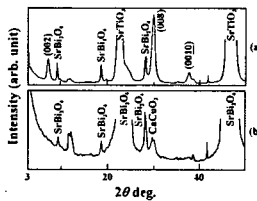


그림 3. Bi2212 생성막의 X 선 회절 패턴.

순차 성막에서 각 원자층을 성막할 때 적절한 수의 원자가 공급될 필요가 있다. 적절한 원자수인 에피택셜 성막이 이루어지고 있는 기판 상에 이상적인 결정이 형성되었을 때의 한 층 당의 원자수다.

Bi2212상의 생성을 목적으로 제작한 막에서 Sr, Cu 및 Ca 원소의 1 회 당 스퍼터 시간에 대한 피복률의 변화는 각각의 타깃을 스퍼터하는 시간에 비례하여 상승하였다. Bi 원소의 스퍼터 시간에 대한 피복률의 변화를 그림 4에 나타냈다. 그림 4중 ●는 Bi2201상이 얻어진 막, ○는 Bi2201상의 생성이 보여졌던 막을 나타낸다. 그림으로부터 초기에는 박막 중에 Bi 원소의 양이 스퍼터 시간과 함께 상승하고 있으나 약 70 초를 경계로 급속히 감소하는 것을 알 수 있다 이때 Bi 원소의 피복률은 최대 30%가 된다.

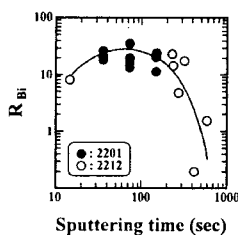


그림 4. Bi 원소의 스퍼터 시간에 대한 피복률.

그림 5는 이때의 Bi원소의 스퍼터 시간에 대한 XRD 패턴의 변화를 보여주고 있다. 여기서 기타 타깃에 대한 스퍼터 시간, 기판온도 및 산화가스압 등의 조건은 모두 일정하게 유지했다. XRD 패턴으로부터 200 sec보다 스퍼터 시간이 긴 경우에는 Bi2201상의 생성조차 관찰되지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 Bi 원소의 피복률, 다시 말해 원자수와 생성상 사이에는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

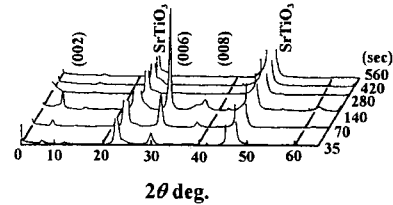


그림 5. Bi 스퍼터 시간에 대한 XRD 패턴.

#### 4. 결 론

순차 증착법으로 Bi2212상 제작 시 Bi 및 Ca의 스퍼터 시간을 최적화함으로써 미량의 Bi2212 상을 생성할 수 있었으나 실제로 생성된 것은 결정성이 좋지 않은 Bi2201상과 이상의 SrBi2O4이었다. Bi원소의 스퍼터 시간과 생성막 내에 포함된 Bi 원자수의 관계를 조사한 결과 이상치의 30%를 초과할 수 없음을 알 수 있었다. Bi의 스퍼터 시간을 증가한 경우 역으로 Bi의 함유 원자수는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 Bi계 박막의 저속 성막에서 Bi원자의 재증발이 성막 속도와 비슷한 수준으로 발생하는 것이 원인으로 판단된다.

순차증착은 각 원료 원소를 필요한 수 만큼 스퍼터하기 위해 아주 오랜 시간이 소요되므로 Bi원소의 재증발과 성막 도중 단계에서의 이상 생성을 제어하기 곤란했다. 순차 증착 중 박막 표면의 조성은 항상 목적 조성과 상이하였고 결정학적으로도 매우 불안정한 상태로 에너지 면에서 안정된 중간 생성상을 형성하였다. 이처럼 초저속 순차 증착으로 BSCCO 초전도상을 형성하는 것은 매우 어려운 과제라고 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] H. K. Lee, Y. P. Park, J. U. Lee, "Layer-by-Layer Deposition of Bi-thin films by IBS Process", 한국전기 전자재료학회 춘계학술대회논문집, pp. 64-69, 2000.
- [2] Y. P. Park and J. U. Lee, Journal of KIEEME, 10, 5, pp. 425-433, 1997.
- [3] Y. P. Park and J. U. Lee, "Layer-by-layer deposition of BSCCO thin films using ion beam sputtering method", J. of KIEEME, Vol. 11, No. 4, pp. 334-339, 1998.
- [4] K. Abe and S. Komatsu, "Ferroelectric properties in epitaxially grown  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  thin films", J. Appl. Phys. Vol. 77, No 12, pp. 6461-6465, 1995.