

# YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> coated conductors의 응용을 위한 단일완충층에 대한 연구

정준기, 최수정, 고락길, Donggi Shi, 신기철, 박유미, 하홍수, 김호섭, 송규정, 박찬  
한국전기연구원 초전도응용연구그룹

## A study on the single buffer layers for the application of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> coated conductors

J.K. Chung, S.J. Choi, R.K. Ko, Donggi Shi, K.C. Shin, Y.M. Park, H.S. Ha,  
H.S. Kim, K.J. Song, C. Park  
Applied superconductivity Laboratory  
Korea Electrotechnology Research Institute

jun3811@empal.com

**Abstract** - BaZrO<sub>3</sub>(BZO) and SrTiO<sub>3</sub>(STO) thin films were pulsed laser deposited on biaxially textured Ni and Ni-W alloy substrates to be used as single buffer layer for coated conductor. The texture of the films were analysed using the GADDS (general area detector diffraction system). Both films deposited on the metal tape were strongly (00l) oriented, and in-plane textured ( $\Delta\theta(\text{BZO})=9^\circ$ ,  $\Delta\theta(\text{STO})=10^\circ$ ).

### 1. 서 론

고온초전도체 상용화의 일환으로 BSCCO와 YBCO를 이용하여 초전도 전력기에 응용할 수 있는 선재를 제조하려는 노력이 진행되어 왔다.

2세대 초전도선재로 알려져 있는 YBCO coated conductor는 금속테이프 위에 YBCO 박막을 포함한 다층의 산화물 박막을 증착하는 방법으로 제조된다. 초전도층의 집합조직을 얻는 방법에 따라 RABiTS (rolling-assisted biaxially textured substrate)[1], IBAD(ionized beam assisted deposition), ISD (inclined substrate deposition)[2~3] 등의 공정으로 구분된다.

YBCO coated conductor는 입계에서의 약한 coupling 때문에 인접한 입계간의 배열각이 10° 이상일 때는 입계전류 밀도가 저하된다. 그러나 강한 pinning 특성으로 인해 자기장하에서 입계전류밀도 감소가 적으며 in-plane과 out-of-plane 입자 배열성을 높인다면 높은 입계전류 밀도를 얻을 수 있다.

고온초전도 박막 증착 공정으로는 열이나 전자빔을 이용한 증발 증착법, 스퍼터링법, 펄스레이저 증착법 (pulsed laser deposition; PLD), liquid phase epitaxy, metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)법 및

metal-organic decomposition (MOD)법 등이 사용되고 있다. 이러한 증착공정들은 각각 장·단점이 있는데, 이 중에서 PLD법은 고가의 장비가 필요하다는 단점에도 불구하고, 현재까지 장선의 coated conductor를 균일하게 빠른 속도로 제조하는데 가장 적합한 방식으로 인식되고 있다.[4]

초전도층/완충층(cap layer)/완충층(diffusion barrier)/완충층(seed layer)/금속의 구조를 가지는 coated conductor 제조를 위한 다층 산화물 박막을 2축배향성을 가지는 금속테이프에 증착하여 제조되는 coated conductor를 만들기 위하여 각 층의 최적화된 증착 조건을 찾기 위해 다양한 증착 방법과 조건들이 제시되고 있다. 완충층의 역할은 초전도박막과 기판사이의 원치 않는 반응을 막기 위한 것이 가장 일반적인 사용 이유이다. 완충층 물질은 화학적으로 기판과 초전도 박막에 모두 안정적이며 기판과 초전도층사이의 중간 값의 열팽창계수를 가지는 재료를 이용하여 박막의 crack을 억제하기도 하며 epitaxial한 박막 성장을 위해 격자상수 값이 중간인 재료를 이용한다.[5] 본 연구에서는 이러한 다층 박막 제조공정의 단순화와 경제성을 개선하고자 단일 완충층 후보로서 perovskite 구조를 가지는 BaZrO<sub>3</sub>(BZO), SrTiO<sub>3</sub>(STO)박막을 금속기판에 증착하였다. BZO는 산이나 알칼리에 반응하지 않아 화학적 내구성이 좋다. YBCO와의 격자정합성이 10%이하이며 Ni기판에 대해서는 17%정도로 비교적 격자정합성이 크나 다층박막 증착에서 YSZ를 완충층으로 사용시 YBCO/YSZ계면에 BaZrO<sub>3</sub>층이 생성되는데 이렇게 반응에 의해 생기는 2차상 자체를 완충층으로 사용하고자 하였다. STO는 YBCO와의 격자정합성(3%)이 아주 우수하여 단결정 기판으로 YBCO박막 성장에 많이 이용되어지고 있기에 금속 기판 위에 epitaxially 증착 될 수 있다면 단일완충층으로 사용될 수 있다.

## 2. 실험 방법

집합 조직화된 Ni 테이프에 펄스레이저 증착 방법으로 BZO, STO 산화물 박막을 증착하였다. 2축 배향된 Ni 기판은 silver paste를 이용하여 히터에 고정시켰다. 에너지원은 타겟면과 30°의 각도로 입사되는 KrF 엑시머 레이저(Lamda Physik LPX 220i, 248nm, focusing된 1 mm × 4 mm 크기의 레이저빔)를 사용하였다. (Fig. 1) 타겟과 기판 사이의 거리 65mm, 기판 온도 500~750°C, 레이저 에너지 밀도 1.5, 2 J/cm<sup>2</sup>를 이용하였다. 증착시 분위기는 P<sub>H<sub>2</sub>/Ar</sub> = 200mTorr의 환원분위기에서 50Å 두께로 seed층을 생성시키고, 그 이후에는 P<sub>H<sub>2</sub>/Ar</sub> = 200mTorr, P<sub>O<sub>2</sub></sub> = 1mTorr, P = 5×10<sup>-6</sup>Torr의 다른 조건에서 증착이 이루어졌다. 증착 두께는 Ni의 확산 방지를 위하여 300~500nm로 박막 성장하였다.

성장된 박막의 집합조직을 살펴보기 위하여 Bruker사의 D8 Discover XRD와 AXS HI-STAR area detector 로 이루어진 GADDS (General Area Detector Diffraction System)를 이용하여 X-선 회절분석을 행하였다. 표면 관찰은 Nikon광학 현미경을 이용하였다.

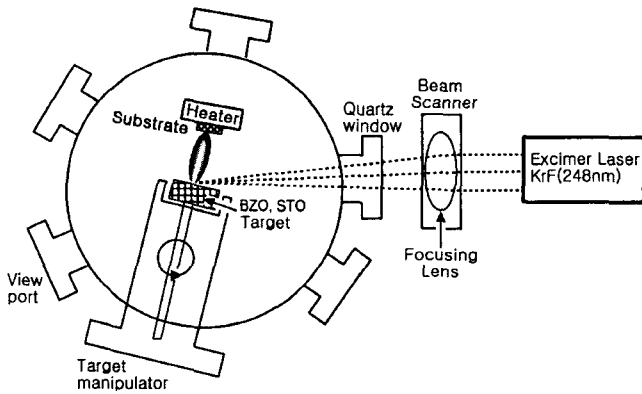


Fig. 1. Schematic diagram of PLD system.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. BaZrO<sub>3</sub>(BZO) 박막 성장

공급받은 Ni기판의 %cube가 99%이상으로 집합 조직이 잘 발달되어 있었다. BZO는 Ni기판과의 격자정합성이 크기에 이러한 정합성을 줄이고자 SOE(surface oxidation epitaxy) 방법으로 NiO층을 만들어서 박막 성장을 시도하기도 한다.[6] 본 실험에서는 이러한 표면에 산화층의 형성 없이 온도와 분위기 변수로만 박막 성장하였다. Fig. 2는 환원분위기에서 온도와 기판 종류

(Ni, Ni-W)에 따른 XRD 결과를 보여주고 있다. 600°C에서 Ni-W 기판에서는 BZO(110)피크가 관찰되었지만 700°C에서는 BZO가 (00)배향성만을 보여주고 있다. (00)배향된 시편에서 in-plane과 out-of plane 입자 배열성을 보기 위하여 omega 스캔과 phi 스캔시 FWHM(full width at half maximum) 값은 각각 3°, 9°로 epitaxy하게 성장되었음을 확인할 수 있었다. (Fig. 3) XRD 결과상으로는 적어도 700°C이상의 증착온도에서 (00)면으로의 박막성장이 일어남을 확인할 수 있었다.

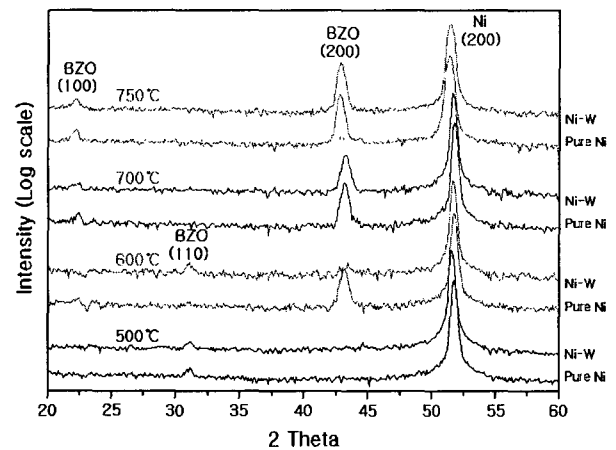


Fig. 2. Typical XRD  $\theta$ - $2\theta$  pattern for BZO buffer layer on biaxially textured Ni and Ni-W substrates.

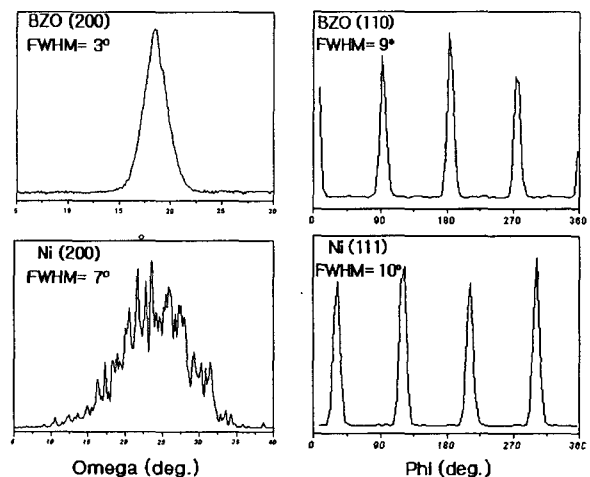


Fig. 3. Typical Omega and Phi scan for BZO buffer layer on biaxially textured pure Ni substrates.

광학 현미경으로 관찰한 BZO 완충층은 증착 분위기에 따라 표면의 색깔이 다르게 보였고 Ni 기판의 morphology를 따라 증착된 것으로 관찰되었다.

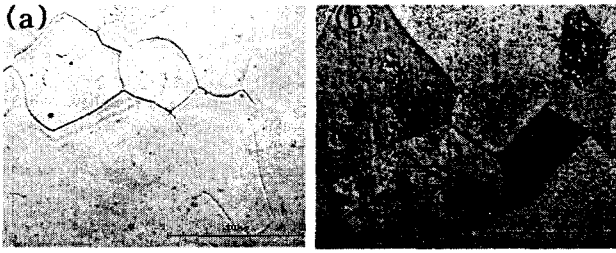


Fig. 4. Optical image for different deposition atmosphere : (a) only 4%H<sub>2</sub>+Ar and (b) P<sub>O<sub>2</sub></sub>=1mTorr.

### 3.2. SrTiO<sub>3</sub>(STO) 박막 성장

STO박막은 BZO 박막 증착조건과 유사한 조건으로 증착되었다. STO박막의 XRD분석시 순수 Ni과 Ni-3%W합금의 기판에 따라 다른 경향을 보여주었다.(Fig. 5)

700°C, 750°C증착온도에서, 순수 Ni 기판 사용시 STO 박막은 기판과 수직인 방향인 (002) 방향으로 성장하였고 phi 스캔시 fwhm값은 ~10°로 나타났지만 Ni-W합금의 경우에는 STO(111)방향으로만 성장하였고 phi 스캔시 pole이 12개가 나타나 다결정으로 성장되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 Ni에 고용된 W의 석출로 인하여 Ni-W표면으로부터의 박막 성장이 제대로 이루어지지 않고 다결정 상으로 성장되어진 것으로 사료된다. W의 석출을 억제하기 위해서는 적절한 증착 온도와 다른 증착조건들을 변수로 두어 추가적인 실험이 요구되어진다.

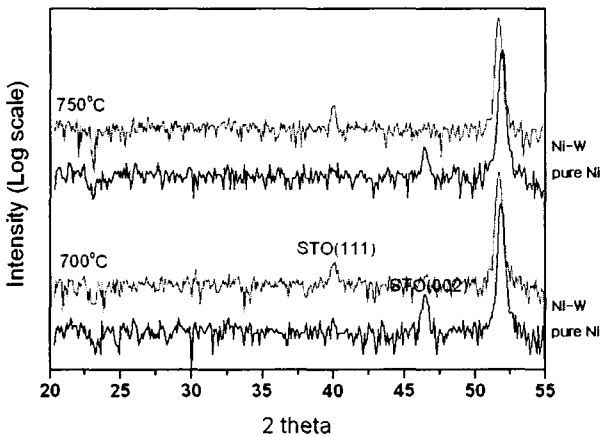


Fig. 5. Typical XRD  $\theta$ - $2\theta$  pattern for STO buffer layer on biaxially textured Ni and Ni-W substrates.

### 4. 결 론

YBCO coated conductor 적용을 위해 펄스 레이저 증착법으로 집합조직화된 Ni, Ni-W 기판위에 단일 완충층으로 BZO, STO 박막을 증착하였다. BZO 박막 증착의 경우에는 증착 분위기, 기판의 종류(순수 Ni, Ni-W합금)와는 무

관하게 700°C이상의 온도에서는 (001) 배향성만을 보여 주었다. STO 박막 증착시에는 기판 종류에 따라 방향성이 다르게 성장하였다. Ni-W 기판에서는 다결정으로 성장하였는데 이는 Ni에 고용된 W의 석출로 인한 것으로 사료되어 보다 적합한 증착온도 조건을 찾는 실험을 수행중이다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] D. P. Norton, A. Goyal, J. D. Budai, D. K. Christen, D. M. Kroeger, E. D. Specht, Q. He, B. Saffian, M. Paranthaman, C. E. Klabunde, D. F. Lee, B. C. Sales, and F. A. List, "Epitaxial YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> on biaxially Textured Nickel (001): An approach to superconducting tapes with high critical current density." , Science, 274, 755 (1996)
- [2] Y. Iijima, N. Tanabe, O. Kohno, and Y. Ikeno, "processing and transport characteristics of YBCO tape conductor formed by IBAD method." ,Appl. Phys. Lett. 60, 769 (1992)
- [3] K. Hasegawa, K. Fujino, H. Mukai, M. Konishi, K. Hayashi, K. Sato, S. Honjo, Y. Sato, H. Ishii, and Y. Iwata, " Biaxially aligned YBCO film tapes fabricated by all pulsed laser deposition." , Applied Superconductivity, 4, 487 (1996)
- [4] Rajiv K. Singh and D. Kumar, " Plused laser deposition and characterization of high T<sub>c</sub> YBCO superconducting film." , Mat. Sci. and Eng., 22, 113 (1998)
- [5] K. Char, M. S. Coclough, L. P. Lee, and G. Zaharchuk, "Extension of the bi-epitaxial Josephson junction process to various substrates" , Appl. Phys. Lett. Vol. 59, pp. 2177 (1991).
- [6] M. Kai a, T. Izumi a, K. Hasegawa a, Y. Tokunaga a, S. Asada a, Y. Nakamura a, T. Izumi a, T. Watanabe b, and Y. Shiohara, "nfluence of the second buffer layer for alignment of seed film on Ni tape with NiO buffer layer." ,Physica C, 378, 998 (2002)