

# YBCO 박막선재용 Ni 및 Ni 합금 기판의 집합도 분석

지봉기\*, 김민우\*, 김찬중\*

\* 한국원자력연구소 원자력재료 기술개발팀

## Development of textured Ni and Ni alloy(Ni-W and Ni-Cu) substrates for YBCO coated conductor

Bong Ki Ji\*, Min Woo Kim\*, Chan-Joong Kim\*

\* Nuclear Material Development Team, Korea Atomic Energy Research Institute

bkji@nature.skku.ac.kr

**Abstract** - We fabricated Ni and Ni alloy substrates for YBCO coated conductors. The Ni and Ni alloy substrate was fabricated by powder metallurgy technique and cold rolling.

The texture of substrates had a strong 4-fold symmetry and [111] || ND texture after annealing temperature of 1000°C. The measured full-width half-maximum (FWHM) of in-plane and out-of-plane was in the range of 6°-10°. The powder metallurgy technique is fabrication of the substrates for considered to be suitable for the application of YBCO coated conductors.

### 1. 서 론

높은 임계전류밀도의 박막선재를 제조하기 위해서는 ab면으로 양축 배향시킨 기판을 제조 후 epitaxial하게 초전도 박막을 증착시키거나 초전도 박막 증착 시 배향성을 인가시켜야한다. 이러한 방법들 중 대표적인 공정법은 Ion Beam Assisted Deposition (IBAD)[1], Inclined Substrate Deposition (ISD)[2], 그리고 Rolling Assisted Biaxially Textured Substrate (RABiTS)[3]가 있다. 그 중 다결정 금속을 냉간압압과 재결정 열처리를 통해 배향성을 가지게 하는 RABiTS 법은 상압에서 진행되며 상대적으로 다른 공정법에 비해 경제적이다.

Substrate로의 요구조건으로는 단일 집합조직을 형성하여야 하며, 증착 물질과의 격자상수의 불일치도가 작아야 한다. 이런 요구조건을 만족시키는 금속 중에 강한 집합조직을 가지는 Ni 이 광범위하게 사용되어지고 있으나 강자성이므로 YBCO 박막선재의 특성저하를 유발한다. 이를 극복하기 위해 여러 연구자들에 의해 Ni 합금이 개발 중에 있으나, 순수한 Ni에 합금 원소가 첨가되는 경우 치환형 고용체로 존재하는 경우가 대부분이므로 재결정 후 격자가 찌그러져

집합도가 떨어지는 단점이 있다. 순수한 Ni 기판의 집합도를 유지하는 Ni 합금은 강자성의 자기적 특성을 저하시며, 기계적 특성을 향상시키는 장점이 있다.

본 논문은 Ni 합금 기판을 분말야금법에 의해 성형체를 제조하였으며, 제조된 Ni 합금 기판의 집합도를 재결정 열처리 후 area detector를 이용하여 평가하였다.

### 2. 실험방법

Ni과 Ni 합금 기판은 99.99%의 순수한 Ni, W, Cu 분말 (200 mesh)를 사용하여 분말야금법에 의해 제조되었다. 초기 성형체는 조성비에 맞추어 잘 혼합된 분말을 실리콘 mold에 충전하고 200 MPa의 정수압을 가하여 길이 120 mm의 봉형 성형체를 제조하였다. 제조된 성형체의 밀도는 이론값의 약 60~65%였다. 성형체는 1100°C, 96%Ar-4%H<sub>2</sub>의 분위기에서 6시간 동안 소결하였다.

소결된 시편들은 2단 압연기를 통하여 얇은 tape 형태로 냉간압연되었고 균일변형을 유도하기 위해 단일축 인장응력을 시편에 가하였다. 기판의 최종 두께와 폭은 각각 100 μm와 10 mm였다. 재결정을 위한 열처리는 1000°C에서 30분 동안 행하였으며, 분위기와 가열, 냉각비율은 소결단계에서 사용된 것과 동일했다.

성형체의 밀도는 아르키메데스법에 의해 측정되었고, 집합도는 GADDS가 장착된 BRUKER D8를 사용해 pole-figure 분석에 의해 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

재결정 열처리 후 Ni 기판의 집합도를 구하였다. 그림 1은 1000°C에서 재결정 열처리한 Ni 기판의 (111), (200) pole-figure를 보여준

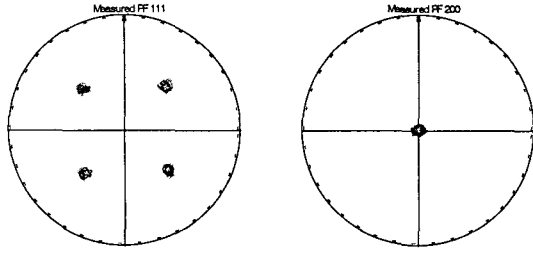


Fig. 1. (111) and (200) pole figures of the pure Ni substrates.

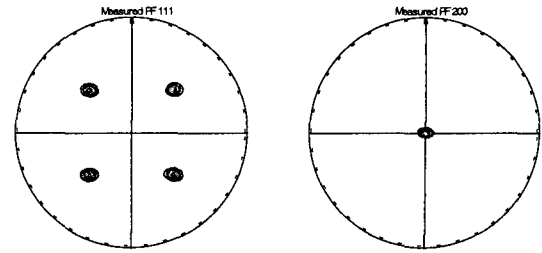


Fig. 3. (111) and (200) pole figures of the Ni-5%W substrates.

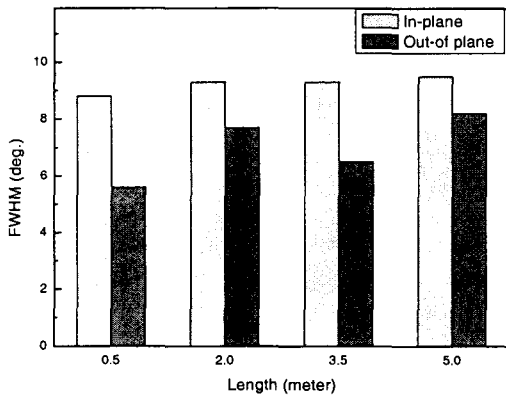


Fig. 2. FWHM of in-plane and out-of-plane of pure Ni substrate at each points.

다. 4 개의 (111) pole는 대칭성을 이루고 있으며,  $[111] \parallel ND$  집합조직은 명확하게 관찰되었다. 기판은 우수한 집합조직을 나타내었으며, 반가폭은 in-plane과 out-of-plane에서 각각 평균  $9.2^\circ$ ,  $7.0^\circ$ 로 측정되었다.

본 실험에서 사용한 냉간정수압은 성형체를 유체에 의해 균일한 압력으로 가압하므로 분말의 흐름(powder flow)이 향상되며 상대적으로 좁은 밀도구배(density gradient)를 가진다. 그러므로 냉간정수압으로 제조된 성형체는 밀도를 균일하게 가지며, 그 결과 압연과 재결정 열처리를 통해 기판의 집합도를 향상시키는데 도움을 주는 것으로 판단된다.

그림 2는 제조된 Ni 기판에서 길이에 따른 반가폭의 변화를 보여준다.  $1000^\circ\text{C}$ 의 재결정 온도에서 30분간 열처리한 5 m 기판은 0.5, 2.0, 3.5, 5.0 m의 위치에서 in-plane은 각각  $8.8^\circ$ ,  $9.3^\circ$ ,  $9.3^\circ$ ,  $9.5^\circ$ 로 측정되었으며, out-of-plane은  $5.6^\circ$ ,  $7.7^\circ$ ,  $6.5^\circ$ ,  $8.2^\circ$ 로 측정되었다. 측정된 반가폭은  $1\sim 2^\circ$  내외의 차이를 보이고 있어 기판의 집합도는 전체 길이에서 균일한 집합도를 가진 것으로 판단된다.

그림 3은  $1000^\circ\text{C}$ 에서 재결정 열처리한 Ni

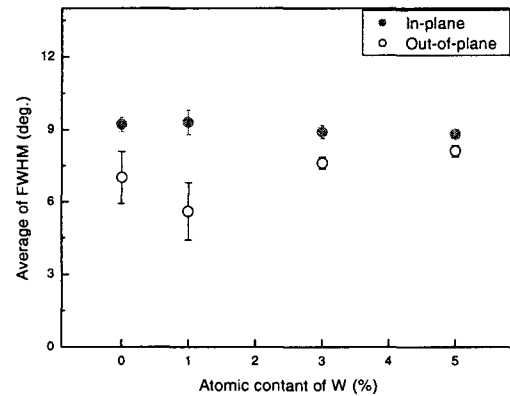


Fig. 4. FWHM of in-plane and out-of-plane as a function of W content in Ni-W alloy tapes.

-5%W 기판의 (111), (200) pole-figure를 보여준다. 4 개의 (111) pole은 대칭성을 이루고 있으며,  $[111] \parallel ND$  집합조직은 명확하게 관찰되었다. 기판은 우수한 집합조직을 나타내었으며, 반가폭은 in-plane과 out-of-plane에서 각각 평균  $8.8^\circ$ ,  $8.2^\circ$ 로 측정되었다.

그림 4는 제조된 Ni-W 기판에서 W 함량에 따른 반가폭의 변화를 보여준다.  $1000^\circ\text{C}$ 의 재결정 온도에서 30분간 열처리한 Ni-W 기판은 W의 함량이 1%, 2%, 3%로 변화에 따라 in-plane은 각각  $9.3^\circ$ ,  $8.93^\circ$ ,  $8.8^\circ$ 로 측정되었으며, out-of-plane은  $5.6^\circ$ ,  $7.6^\circ$ ,  $8.1^\circ$ 로 측정되었다. 측정된 반가폭은 W의 함량이 증가함에 따라 in-plane의 반가폭과 out-of-plane의 반가폭의 차이가 적어짐을 보이고 있다. 순수한 Ni 기판과 비교하여 in-plane에서는 소량의 반가폭 감소가 있었으나 out-of-plane에서는  $2.5^\circ$ 의 증가를 관찰할 수 있었다.

그림 5는  $1000^\circ\text{C}$ 에서 재결정 열처리한 Ni-15%Cu 기판의 (111), (200) pole-figure를 보여준다. 4 개의 (111) pole은 대칭성을 이루고 있으며,  $[111] \parallel ND$  집합조직은 명확하게 관찰되었다. 기판은 우수한 집합조직을 나타내었

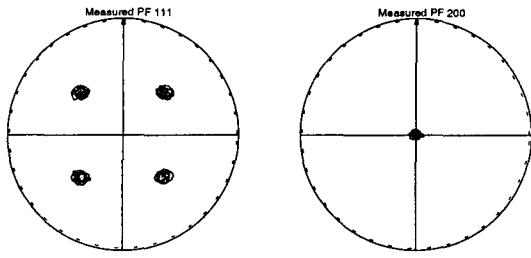


Fig. 5. (111) and (200) pole figures of the Ni-15%Cu substrates.

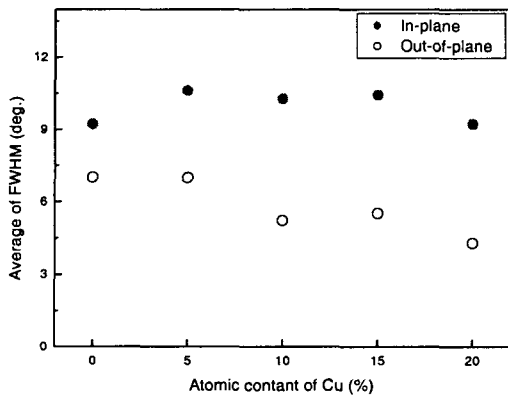


Fig. 6. FWHM of in-plane and out-of-plane as a function of Cu content in Ni-Cu alloy substrate.

며, 반가폭은 in-plane과 out-of-plane에서 각각 평균 10.4°, 5.5°로 측정되었다.

그림 6은 제조된 Ni-Cu 기판에서 Cu 함량에 따른 반가폭의 변화를 보여준다. 1000°C의 재결정 온도에서 30분간 열처리한 Ni-Cu 기판은 Cu의 함량이 5%, 10%, 15%, 20%로 변함에 따라 in-plane은 각각 10.6°, 10.3°, 10.4°, 9.2°로 측정되었으며, out-of-plane은 7.0°, 5.2°, 5.5°, 4.3°로 측정되었다. 측정된 반가폭은 Cu의 함량이 증가함에 따라 in-plane의 반가폭은 큰 변화를 보이지 않는 반면에 out-of-plane의 반가폭은 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

일반적으로 집합조직이 잘 발달된 기판이 대략 8°의 반가폭을 가진다는 것[4-5]을 고려하면 본 실험에서 제조된 Ni, Ni-W, Ni-Cu 합금은 강한 cube 집합조직을 가진 것으로 판단되며, 향후 완충층과 초전도 박막의 epitaxial한 증착에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 YBCO 박막선재용 Ni 및 Ni 합금 기판을 분말야금법으로 제조하였으며,

GADDS를 이용하여 집합도를 평가하였다. 제조된 Ni 및 Ni 합금 기판은 1000°C에서 30분 동안 열처리하였고, 집합도는 강한 4회전 대칭과 [111]||ND를 가졌다. Ni 합금의 경우 W과 Cu의 원소를 첨가하여도 집합도의 정도는 순수한 Ni에 비하여 큰 변화는 없었다. 또한, 본 연구에서 분말야금법에 의해 제조된 Ni 및 Ni 합금 기판은 강한 cube 집합조직을 가지므로 YBCO 박막선재의 증착에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

“본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다”

#### 참 고 문 헌

- [1] Yutaka Yamada, Tekemi Muroga, Hiroyuki Iwai, Teruo Izumi and Yuh Shiohara, "Present status and perspective of IBAD and PLD system in SRL and self-epitaxy in PLD-CeO<sub>2</sub> on IBAD seed layer", Physica C, 392-396, Part 2, pp. 777-782, 2003.
- [2] Y. Sato, K. Matsuo, Y. Takahashi, K. Muranaka, T. Taneda, K. Fujino, K. Ohmatsu and H. Takei, "Electrical properties of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> tapes fabricated by ISD method", Physica C 357-360, Part 2, pp. 971-974, 2001.
- [3] A. Goyal, J. D. Budai, D. M. Kroeger, D. P. Norton, E. D. Specht and D. K. Christen US patent No. 5,741,377, 1998.
- [4] V. Boffa, T. Petrison, S. Ceresara, L. Ciontea, F. Fabbri and P. Scardi, "Laser-ablation deposition of CeO<sub>2</sub> thin films on biaxially textured nickel substrates", Physica C, 312, pp. 202-212, 1999.
- [5] B. de Boer, J. Eickemeyer, N. Reger, L. Fernandez G.-R., J. Richter, B. Holzapfel, L. Schultz, W. Prusseit and P. Berberich, "Cube textured nickel alloy tapes as substrates for YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> coated conductors", Acta Materialia, 49, pp. 1421-1428, 2001.