

Fabrication of a 18cm long YBCO coated conductor using a cylindrical tape holder in a double chamber co-evaporation system

이중 챔버를 가진 동시증발 시스템 내에서 실린더 홀더를 이용한 18cm 길이의 YBCO coated conductor의 제작

Sanghyun Oh, Kookchae Jung and Dojun Youm

오상현, 정국채, 염도준

Physics Department, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 305-701,
Taejon, Korea

대전광역시 유성구 구성동 373-1, 한국과학기술원 물리학과

We fabricated 18cm YBCO coated conductor comprising a YBCO superconducting film and $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{CeO}_2$ buffer films deposited on a biaxially textured Ni tape. For those film fabrications, we developed a new method, the cylindrical holder in a double chamber. This is alternative to the reel-to-reel method which is commonly tried to fabricate a long YBCO coated tape. We will discuss about the superconducting properties of the 18cm long YBCO coated tapes.

1. 서론

양축 정렬된 니켈 테이프 위에 $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{CeO}_2$ 완충층과 YBCO 초전도 박막으로 이루어진 YBCO coated conductor는 여러 가지 중요한 응용가능성으로 인해 많은 관심을 끌어 왔다.[1-2] 이 시스템의 임계전류밀도는 77K에서 강한 자기장 내에서 기존의 Ag sheathed BSCCO 테이프에 비해 월등하다. 최근에 보고된 HgSCCO 박막은 외부 자기장 하에서 YBCO와 대등한 임계전류를 보여주고 있지만, 제작공정이 매우 복잡한 문제가 있다. 따라서, 현재까지 알려진 바로는 YBCO coated conductor가 현실적인 조건을 가장 잘 만족시키는 초전도 테이프라고 할 수 있다. 니켈 테이프는 RABiTS라고 불리는 압연과 열처리 공정으로 쉽게 정렬시킬 수 있다. 짧은 니켈 시료 위에 정렬된 완충층과 YBCO층을 성장시키는 방

법은 잘 알려져 있다. 그러나, 긴 YBCO coated conductor의 제작은 아직 보고되지 않고 있다. 그것은 짧은 시료를 제작하기 위해 사용되었던 성장기술이 그대로 긴 시료제작에 적용되기 쉽지 않기 때문이다. 이 논문에서 우리는 현재 YBCO coated conductor를 제작하기 위해 널리 시도되고 있는 reel-to-reel 방법[3]이 가진 문제점을 지적하고, 새로운 방법으로 이중챔버 내에서 실린더 홀더를 이용하는 방법과 이를 이용한 18cm 길이의 YBCO coated conductor 제작을 보고한다.

2. 실험 방법

reel-to-reel 방법에서는, 증발과 증착된 원자와 산소와의 반응이 같은 chamber내에서 일어난다. YBCO의 구성원자들이 YBCO를 이루는 데 필요한 산소분압은 5mTorr 정도이다. 기판온도는 650

℃에서 700℃사이이며, 최적온도는 산소분압과 밀접한 관계에 있다. 그러므로 산소 분압은 먼저 정확하게 조절되어야 하는 변수이다. 그러한 산소 분위기에서 원자의 평균자유행로는 수 cm이다. 그러므로 증발된 증기 중 Y, Ba, Cu 원자의 확산 속도는 다르고 따라서 증기가 5mTorr의 산소기체 내에서 공급된다면 균일하게 증착되는 면적은 수 cm에 불과하다. YBCO 박막의 성장속도는 상한과 하한이 있다. 만약 증착속도가 상한보다 빠르면, 결정구조는 orthorhombic이 아닌 cubic이 되며 따라서, 초전도상을 갖지 않는다. 성장속도의 상한과 균일하게 성장 가능한 증착영역이 좁기 때문에 수백 미터의 tape를 제작하는데 소요되는 시간은 한달 가까이 걸리게 된다. 이러한 사실은 대량생산에 있어서 치명적인 문제점으로 지적될 수 있을 것이다. 한편 YBCO 박막의 특성은 다음과 같은 이유로 쉽게 훼손될 수 있다. 성장속도의 하한에 의해 증착속도는 너무 느려서는 안된다. 그렇지 않으면 박막은 123상을 갖지 않게 된다. 그러나 Y과 Ba과 Cu의 비율이 1:2:3인 영역은 수 cm 크기 정도이므로 증착되고 있지 않은 영역을 증착영역으로부터 격리할 수 있는 장치가 필요하다. 이 경우 언제나 증기의 밀도가 작은 가장자리 영역이 있기 마련이다. 니켈 테이프는 그 영역을 연속적으로 지나기 때문에 증기밀도가 낮은 영역을 먼저 지나게 되고 거기에서 특성이 좋지 않은 YBCO 하부가 형성된다. 특성이 좋지 않은 YBCO 하부는 그 위에 성장하는 박막의 정렬을 방해한다. reel-to-reel 방법이 가진 이러한 문제들을 피하기 위해서 우리는 YBCO박막을 제작하는 새로운 방법을 개발하였다. 니켈 테이프의 전체 길이가 동시에 증착된다. 그러나 증발과 증착된 원자들의 산소와의 반응이 각각 다른 chamber 내에서 일어나고 기판이 이들 사이를 빠르게 왕복한다면 상황은 매우 다르다.[4](장치에 대한 상세한 설명은 ref. 5에 기술되어 있다.)

니켈 테이프는 압연 후 열처리하여 양축정렬된 18cm 테이프를 만든다. 이 실험에 사용된 18cm 길이의 니켈 테이프의 제작과정은 그간 알려졌던 짧은 시료에서와 비슷하다. 다만 긴 길이의 시료를 준비하기 위하여 압연시 휘어지지 않도록 주의해야 하고, 열처리시 전체 길이에서 온도가 균일하도록 해주어야 한다. 그후 회전하는 홀더를

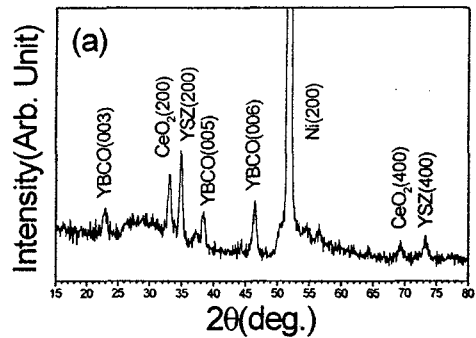


Fig. 1 X-ray θ - 2θ scan for the YBCO coated conductor.

이용하여 700℃에서 전자빔 증발법으로 정렬된 CeO₂/YSZ/CeO₂ 완충층을 제작한다. CeO₂/YSZ/CeO₂ 완충층을 성장시키기 위하여 회전하는 실린더 홀더를 제작하였다. 제작된 실린더 홀더는 chamber내에서 회전할 수 있도록 제작되었고, 기판온도를 올리기 위하여 4개의 할로젠 램프가 주위에서 가열할 수 있는 구조로 되어 있다. 각각의 박막의 두께는 200Å, 3000Å, 400Å이며 증착율은 약 0.5~1Å/sec. 였다.

YBCO 박막은 앞에서 기술한 대로 이중 chamber내에서 성장시켰으며 증착온도는 680℃이고 reaction chamber내의 산소분압은 5mTorr 였다. YBCO박막의 두께는 1000Å 였다.

제작된 YBCO/CeO₂/YSZ/CeO₂/Ni coated conductor는 X-선 회절(X-Ray Diffraction, XRD), 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)으로 특성을 관찰하였으며, 4단자법으로 온도-저항 특성과 dc방법으로 임계 전류밀도의 온도 의존성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 토의

압연과 그에 이은 열처리로 얻어진 니켈 테이프는 양끝 부분을 잘라서 결정 정렬성을 XRD pole figure와 θ - 2θ scan, ϕ -scan으로 확인하였다. 얻어진 니켈 테이프의 XRD 결과는 Fig. 1, 2와 같이 평면간 결정정렬(out-of-plane texture)과 평면상 결정정렬(in-plane texture)이 모두 이루어져 있음을 볼 수 있다.

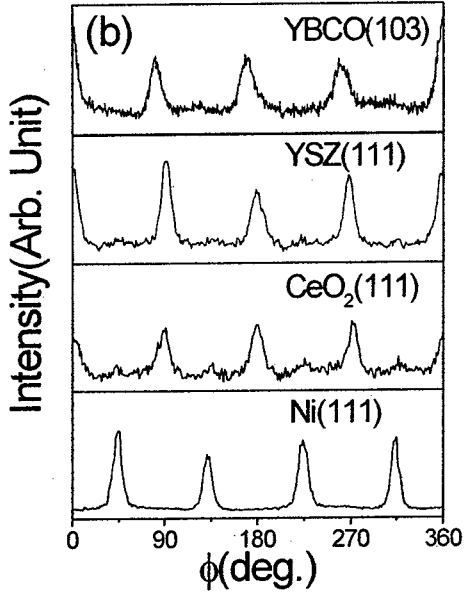


Fig. 2 X-ray ϕ -scan for the YBCO coated conductor.

Fig.3은 $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{CeO}_2$ 완충층의 표면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 그간 문제가 되어 왔던 완충층 표면의 미세균열 문제는 박막 두께를 최적의 값으로 선택하고 YSZ를 사용하여 다층 박막으로 성장시키므로써 미세균열 없는 완충층을 제작할 수 있었다. Fig. 4는 성장한 YBCO 박막의 온도-저항 특성을 4단자법으로 측정한 결과이다. 정상상태에서의 저항은 짧은 시료에서와는

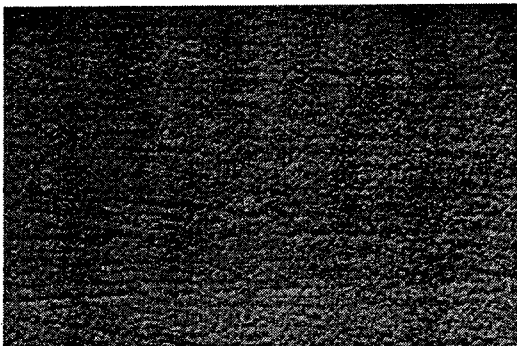


Fig. 3 SEM micrograph of $\text{CeO}_2/\text{YSZ}/\text{CeO}_2/\text{Ni}$. The film surface is smooth and crack-free.

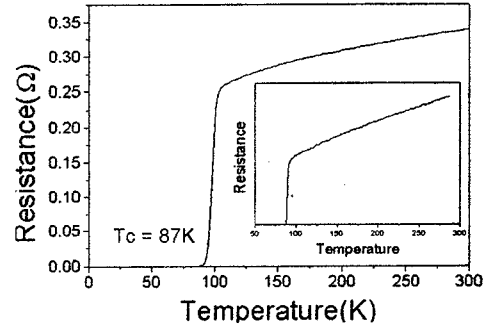


Fig. 4 Resistance vs. temperature curve for the YBCO coated conductor.

달리 온도가 내려감에 따라 완만하게 줄어드는 경향을 보이며 초전도 전이 직전에서의 저항값과 상온에서의 저항값간의 비($\rho_{100\text{K}}/\rho_{300\text{K}}$)가 짧은 시료에서의 값에 비해 큰데, 이는 긴 테이프가 불균일하기 때문으로 여겨진다. 양호한 부분을 1cm으로 절단 분리하여 측정한 온도-저항 특성은 inset에서 보인 것처럼 양호하다. 전체 길이의 초전도 임계온도는 87K였다. dc 방법으로 측정된 초전도 임계전류밀도는 온도에 대해 Fig.5와 같은 의존성을 보이며, 77K에서 $\sim 2 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 이다. 이것은 양호한 부분의 1cm 길이의 시료에 대해 측정된 값인 $5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 에 비해 작으며, 아직 결정성 등의 불균일성이 긴 시료에 있기 때문으로 보여지며, 적절한 조건을 선택하여 향상

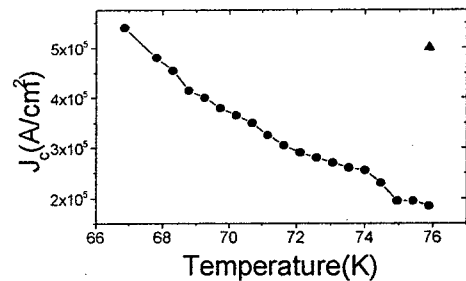


Fig. 5 Temperature dependence of the critical current density for the YBCO coated conductor. Solid circle indicates the critical current density for whole length and solid up triangle indicates the critical current density for 1cm long length of a high quality part.

시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 불균일성의 요인은 두 가지로 생각된다. 첫째는 Ni texture의 불균일성이고 둘째는 YBCO 증착시 온도 혹은 산소 분압의 불균일성이다. 또 다른 문제점은 테이프의 초전도 특성이 시간에 대하여 급격히 불량해지는 성질이다. 특히 액체질소 온도에 도달했다가 다시 상온에 보관된 시료는 더욱 급격히 초전도성이 상실된다. 이러한 성질은 단결정 위에 형성된 YBCO film과는 전혀 다른 특성이자. 이러한 성질의 요인은 Ni 위에 제작된 YBCO film은 granular이므로 grain boundary를 통하여 H₂O, CO₂ 등의 침투로 인해 발생하는 것으로 보인다. Ag보호막을 시도하였으나 아직 좋은 결과를 얻지 못했다

4. 결론

양축 정렬된 니켈 테이프 위에 CeO₂/YSZ/CeO₂ 완충층을 가진 YBCO coated conductor를 제작하기 위하여 현재 널리 시도되는 reel-to-reel 방법의 단점을 보완하기 위하여 증발과 반응이 각기 다른 chamber내에서 일어나는 이중챔버를 이용하여 동시증발법으로 YBCO coated conductor를 실린더 모양의 홀더로 제작하는 방법을 고안하였다. 이 방법을 이용하여 18cm 길이의 YBCO coated conductor를 제작하였다. XRD 측정을 통해 제작된 YBCO coated conductor에서 기판과 완충층에서의 결정정렬성을 따라 YBCO가 잘 정렬되어 있음을 확인하였으며, 4단자법으로 측정된 초전도 임계온도는 87K였다. 임계전류밀도는 온도를 내림에 따라 증가함을 관찰할 수 있었으며, 77K에서의 임계전류밀도는 양호한 부분에서는 $\sim 5 \times 10^5$ A/cm²이었으나 18cm 전체에 대해서는 $\sim 2 \times 10^5$ A/cm²으로 작았다. 정상

상태에서 온도가 내려감에 따라 저항이 완만하게 감소하는 점이나 전체 임계전류밀도가 짧은 부분에 비해 작은 값을 보이는 것은 긴 시료의 불균일성에 의한 것이라고 생각되며, 이는 실험조건과 방법을 조절함으로써 향상시킬 수 있으리라고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 부분적으로 과학기술부와 기초과학지원연구소의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] A. Goyal, D. P. Norton, J. D. Budai, M. Paranthaman, E. D. Specht, D. M. Kroeger, D. K. Christen, Q. He, B. Saffian, F. A. List, D. F. Lee, P. M. Martin, C. E. Klaubunde, E. Harfield, and V. K. Sikka, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 12, 1795 (1996)
- [2] David. P. Norton, Amit Goyal, John. D. Budai, David K. Christen, Donald M. Kroeger, Eliot D. Specht, Qing He, Bernd Saffian, M. Paranthaman, Charles E. Klaubunde, Dominic F. Lee, Brian C. Sales, Fred A. List, *Science*, **274**, 755 (1996)
- [3] X. Cui, F. A. List, D. M. Kroeger, et al., *Physica C* **316** 27-33 (1999)
- [4] W. Prusseit, S. Corsepius, F. Baudenbacher, K. Hirata, P. Berberich, and H. Kinder, *Appl. Phys. Lett.* **61**, 1841 (1992)
- [5] Byoungsu Lee, Hosup Kim and Dojun Youm, "Development of a new deposition system for a 12m long YBCO coated conductor", proceeding of this conference.