

## Development of a new deposition system for a 12m long YBCO coated conductor

### 12m 길이의 YBCO 초전도선재 개발을 위한 새로운 증착방법

Byoungsu Lee, Hosup Kim and Dojun Youm

이병수, 김호섭, 염도준

*Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Yuseong,  
Taejeon, Korea 305-701*

대전광역시 유성구 구성동 373-1, 한국과학기술원 물리학과

To solve the problems in the present reel-to-reel deposition method, we have developed a new deposition system for a 12m long YBCO coated conductor. The system comprises two chambers, a reaction chamber and a evaporation chamber which are connected through window. A 12m long Ni tape textured by RABiTS was wound around a cylindrical sample holder of 20cm diameter. The cylinder was rotated in the reaction chamber during deposition of YBCO film by coevaporation. We'll describe the details of the performance of this system as well as the RABiTS process for a 12m long Ni tape.

#### 1. 서론(Introduction)

현재 reel to reel deposition 방법이 초전도테이프 제작에 이용되고 있는데 이는 여러 가지 문제점을 안고 있다. 첫째로 YBCO 합성과 증착이 동시에 이루어지므로 수 mTorr의 산소분압이 필요하고 이 때 원자들의 mean free path가 수 cm이므로 Y, Ba, Cu가 1:2:3이 유지되는 확산거리는 수 cm이다. 따라서 증착 크기는 수 cm에 불과하고 또한 증착속도는 cubic phase를 방지하기 위하여 너무 빠르게 할 수 없다. 이러한 조건은 결국 수백 m길이 테이프를 제작하는데 1개월 이상이 소요되는 필연적 요인이 된다. 둘째로, 증착시 1:2:3이 유지되는 확산 범위바깥에서 이루어지는 증착을 막는다고 해도 증착속도가 급격히 감소하는 영역이 발생하며 이 곳에서는 YBCO가 제대로 형성되지 않는다. 이러한 불량층은 YBCO박막의 가장 아래쪽에서 발생하므로 YBCO 특성을 훼손한다.

이 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 새로운 증착시스템을 연구하였다. 증착시스템은 두 개의 chamber로 구성되어 있으며, 하나는 evaporation chamber이고 하나는 reaction chamber이다. reaction chamber와 내부에서 회전하는 원통형 sample holder위에 12m 니켈 테이프가 감겨져 있고 evaporation chamber로 열린 window를 통하여 증착

된다. evaporation chamber의 진공도는 0.1 mTorr 이하이므로 1m이상 넓은 면적위에 균일하게 증착된다. 따라서 전 길이의 니켈 테이프 표면 위에 동시에 증착될 수 있으며 제작속도는 극히 빠르다. 모든 증착 및 반응은 테이프의 모든 위치, 모든 층에서 같은 조건으로 이루어지므로 불량층이 발생하지 않게 할 수 있다. 이 증착시스템은 완충층과 YBCO초전도물질을 in-situ로 증착할 수 있고 길이는 최대 12m까지 증착할 수 있고 증착에 사용되는 니켈테이프는 RABiTS방법[1,2]으로 제조하였다.

#### 2. 실험방법(Experimentals)

##### 2-1. 12m 니켈테이프의 준비과정

양측정렬된 12m의 니켈테이프를 얻기 위해서는 압연과 열처리의 과정이 필요하다. 니켈을 압연하여 열처리하여 그림 1과 같은 양측정렬된 니켈테이프를 얻었다.

##### 2-1-1. 압연

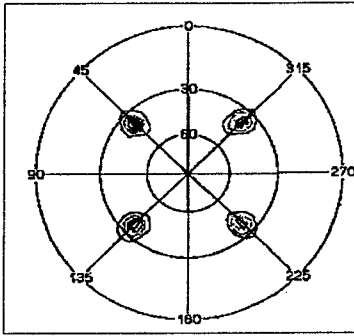
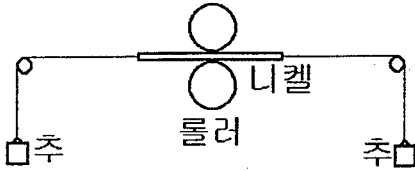


그림 1. 니켈 압연장치의 개략도와 열처리 된 니켈테이프의 Ni(111) 극점도

먼저 두께가 3mm이고 순도가 99.9%인 니켈판을 폭이 10mm, 길이가 500mm가 되게 자른다. 니켈 속에 들어 있는 불순물이 고루 퍼지게 하여 전체적으로 균일성을 보장받기 위하여 니켈막대를 석영관에 넣고 1000도에서 5시간 이상 열처리한다. 열처리가 끝난 후에 그림 2와 같이 니켈막대를 롤러에 넣고 양 끝에 줄을 매달고 각 줄의 한쪽 끝에는 3kg 질량의 추를 매달아 방향을 잡아주고 팽팽하게 하여 120  $\mu$ m의 두께가 될 때 까지 압연한다.

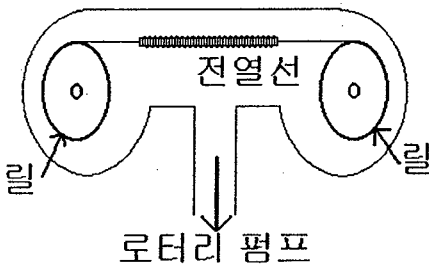


그림 2. 열처리장치 개략도

### 2-1-2 열처리

압연된 12m의 니켈테이프를 그림과 같이 진공 챔버속에 들어있는 한쪽릴에 감는다. 니켈 테이프는 수

mTorr에서 온도를 1000℃까지 천천히 올린다음 다른 한쪽 릴으로 천천히 감는다. 이때 감는 속도는 stepping motor로 조절할 수 있는데 1000℃에서 6시간정도 머무를 정도로 조절한다. 니켈 테이프의 열처리가 끝난 후 온도를 상온까지 내리는데 이 때 걸리는 시간은 24시간 이상이다.

## 2-2. 증착시스템의 세부구조

증착시스템은 evaporation chamber와 reaction chamber로 이루어져 있고 evaporation chamber에는 4개의 boat, e-beam 증발기, 증착속도 측정장치, 증착물질공급장치, 진공게이지가 들어있고 reaction chamber는 실린더형 holder, heater, thermocouple등이 들어있다.

전체적인 증착과정은 나선형으로 니켈 테이프가 감겨있는 실린더가 일정한 속도로 회전하고 evaporation chamber에서 증발된 물질이 니켈 테이프 위에 증착된다.

### 2-2-1. evaporation chamber

evaporation chamber에는 4개의 boat와 1개의 e-beam holder로 이루어져 있다. Mo, Ta, 스텐 등의 원소로 제조된 boat에 고전류를 흘려 heating하여 각각 Cu, Y, Ba들을 증발시킬 수 있다. 또한 e-beam 증발기로 CeO<sub>2</sub>, YSZ와 같은 완충층을 이루는 물질을 증발시킬 수 있다. evaporation chamber는 rotary pump와 diffusion pump를 직렬로 연결하여 진공을 유지하는데 진공도는 10<sup>-6</sup> torr 까지 유지한다. 이 chamber에는 이온게이지나 피라니게이지와 같은 진공측정장치가 있어 진공도를 측정할 수 있고 thickness monitor가 있어 증착물질의 증착두께를 측정할 수 있다. 초전도 물질을 두껍게 증착하기 위해서 필요한 증착물질 공급장치가 있다. 증착물질 공급장치는 증착물질을 알갱이 형태로 만든 다음 이를

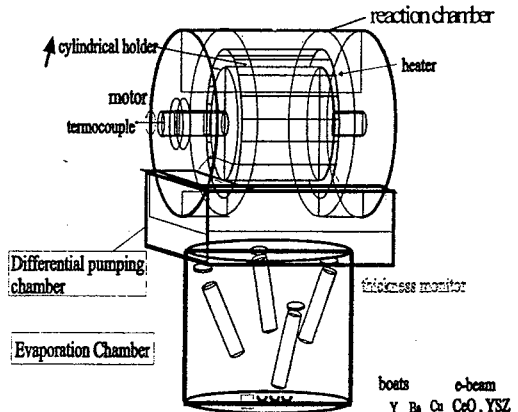


그림 3. YBCO 초전도선재를 제조하기 위한 새로운 증착시스템

boat위에 떨어뜨리는 형식으로 되어 있다.

## 2-2-2. reaction chamber

reaction chamber에는 니켈 테이프를 나선형으로 감을 수 있는 반경 20cm가 되는 실린더가 들어있다. reaction chamber 아래부분에 window가 있고 evaporation chamber에서 증발된 물질이 window를 통과하여 증착된다. 실린더와 윈도우사이의 간격은 실린더의 높낮이를 조절할 수 있으며, 증착시 0.5mm간격을 유지한다. 실린더는 모터에 의해서 일정한 속도로 회전시킬 수 있고 회전속도도 조절할 수 있다. 실린더 주위에는 열선이 있어 실린더의 표면을 700°C까지 heating시킬 수 있다. 그리고 실린더표면의 여러위치에 thermocouple이 붙어 있어 각 위치의 온도를 측정할 수 있다. 실린더 및 증발장치에서 나오는 열을 흡수하기 위하여 시스템 표면 전체를 물로 냉각하고 있다. 특히 실린더 축을 지지하는 베어링을 냉각시키기 위하여 회전축 안으로 특수장치에 의하여 냉각수가 공급된다. YBCO 초전도 물질을 증착할 때 산소를 흘려주는 상황에서 reaction chamber는 5mtorr를 유지하여야 하지만 evaporation chamber는  $5 \times 10^{-4}$  torr를 유지하여야 한다. 이 때 산소의 evaporation chamber로의 흐름을 방지하기 위하여 실린더의 높낮이를 조절하여 실린더와 윈도우의 틈새를 미소하게 만들고 reaction chamber와 evaporation chamber사이에 중간단계의 공간을 두어 여기에 펌프를 연결하여 reaction chamber로부터 유입되는 산소를 differential pump로 외부로 배출한다. 완충층을 증착할때는 완전밀폐된 상황에서  $10^{-6}$  torr 이하의 진공도를 유지하여야 한다. 따라서 고용량의 diffusion pump와 rotary pump가 달려있고 액체질소로 cold trap할 수 있는 구조로 되어있다.

이러한 12m길이의 YBCO 테이프를 양호한 특성을 갖도록 제작하기 위하여 3가지의 주요 조건이 만족되어야 한다. 첫째는 니켈 texture가 모든 영역에 양호해야 한다. 둘째는 실린더 표면의 온도 분포가 5도 이내로 균일해야 한다. 셋째는 산소분압이 실린더 축 방향으로 일정하게 분포되어야 한다. 두 번째 조건을

위하여 여러개의 thermocouple이 회전하는 실린더 표면 위에 설치 되어 있다. 세 번째 조건을 위하여 산소의 공급과 실린더-윈도우 간격으로의 급격히 흐르는 산소의 흐름에서 발생하는 필연적인 산소압력 차이를 최소한으로 줄일 수 있도록 산소 흐름 공간을 설치하였다.

## 3. 결론

reel to reel 증착방법의 문제점을 보완하기 위하여 새로운 증착방법을 고안하였다. 이 시스템은 evaporation chamber와 reaction chamber 로 이루어져 있고 evaporation chamber에서 초전도물질을 구성하는 원소들을 동시에 증발시켜서 reaction chamber에서 회전하는 실린더에 나선형으로 감긴 테이프에 증착하는 방식으로 되어있다. 이 방법은 장선의 테이프위에 동시에 초전도물질을 성장시킬 수 있고 빠르고 균일하며 증착 가장자리가 없고 증착속도는 길이에 무관하다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부와 기초과학지원연구소(Korea Basic Institute)의 지원으로 이루어 졌습니다.

## 참고 문헌

- [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, Be Saffian, M. Paranthaman, Charles E. Klaubunde, Dominc F. Lee, Brian C. Sales and Fred A. List, Science 274, 755 (1996)