

100m 급 초전도선재 제조용 EDDC 증착시스템

김호섭, 하홍수, 오상수, 고락길, 양주생, 김태형, 송규정, 하동우, 박유미, 염도준*
한국전기연구원, 한국과학기술원*

EDDC deposition system for 100m long superconducting coated conductor

Ho-Sup Kim, Hong Soo Ha, Sang-Soo Oh, Rock-Kil Ko, Ju-Saeng Yang, Tae-Hyung Kim,
Kyu-Jeong Song, Dong-Woo Ha, Yu-Mi Park, Do-Jun Youm*
Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Advanced Institute Science and Technology*

Abstract : EDDC(Evaporation using Drum in Dual Chamber) deposition system was manufactured for 100m long superconducting coated conductor. It is composed of reaction chamber, evaporation chamber and differential chamber. The drum is located across the differential and exposed to both of the evaporation chamber and the reaction chamber, and the tape is wound on the drum. The elements of superconducting material are co-evaporated from respective element boats in the evaporation chamber and deposited on the drum and reacted with oxygen in the reaction chamber. This process repeats by rotating the drum. When the total pressure of the reaction chamber was 5 mTorr, that of the evaporation chamber was 5×10^{-5} Torr. This atmosphere can be achieved by means of differential pumping. There are four evaporator in the evaporation chamber. One is the radiation heating evaporator and the others are the high frequency induction evaporator. EDDC is one of promising methods for commercialization of superconducting coated conductor.

Key Words : EDDC, superconducting coated conductor, co-evaporation

이와 같은 장점으로 인하여 EDDC를 이용한 초전도선재의 제조는 초전도선재의 상용화에 상당한 가능성을 가지고 있다.

1. 서론

초전도의 실용화를 위해서는 저비용의 장선제조가 가능해야 한다. 보다 저렴한 생산비용과 빠른 제작 속도를 만족하면서 100m 장선을 제작을 담당할 co-evaporation 증착법을 이용한 EDDC 챔버를 개발하였다.

EDDC 증착법의 장점은 다음과 같다.

첫째, 제조공정의 in-situ화가 가능하다. 초전도선재 제조과정은 금속기판 재결정화 열처리, 환원열처리, 완충층 증착, 초전도층 증착, 보호층 증착, lamination으로 이루어져 있다. 현재 각 공정은 독립적인 챔버에서 이루어져 전체 제조속도와 제조단가에 상당히 불리하다. 그러나 EDDC는 6개의 공정 중 lamination을 제외한 5개 공정의 in-situ화를 가능케 한다.

둘째, 제조 속도가 상당히 빠르다. 동시에 전 길이에 걸쳐 증착되므로 제조 속도가 드럼의 크기에 비례하여 빠르다. 그러나 제조 속도를 높이기 위해서는 규모가 큰 증착시스템이 필요하다. 이런 단점을 보완하기 위해서는 reel to reel 방식과 드럼 방식을 접목한 가일층 진보된 챔버 연구가 이루어져야한다.

셋째, 초전도 특성의 균일성 측면에서 유리하다. EDDC는 동시에 전 길이에 걸쳐 증착되므로 축 방향으로 온도 및 산소분압의 균일성만 확보되면 균일한 초전도 특성을 보이는 초전도테이프를 제작할 수 있다. 단 축 방향으로 증착을 차이로 인하여 두께가 다를 수 있는데 이 문제점은 기술적으로 해결이 가능하다.

넷째, 금속성 재료 및 진공을 사용하므로 재료비가 적게 든다.

2. 구조 및 원리

EDDC 증착법은 Y 또는 Rare earth metal(RE), Ba, Cu 금속들을 각각 thermal evaporation 방법으로 증발 시키고 각 원소별로 증착률을 조절하여 성분비를 조절하는 증착법이다. EDDC 증착장치는 evaporation chamber, differential pumping chamber와 reaction chamber로 구성되어 있다.

Evaporation chamber는 초전도박막물질의 구성원소인 RE, Ba, Cu를 증발시키는 챔버이다. 각 물질은 고주파 유도 증발기와 저항 가열식 증발기를 이용하여 증발시킨다. 증발된 원자들이 기판표면에 다른 원자와의 충돌 없이 도달하기 위해서는 챔버의 진공도가 충분히 낮아야 한다. 즉 보트와 기판사이의 거리가 원자의 mean free path 보다 작아야 충돌 없이 도달할 수 있다. 이를 위하여 evaporation chamber는 큰 pumping power를 갖는 cryo pump에 의하여 진공이 $\sim 1 \times 10^{-5}$ Torr 이하로 유지된다. 드럼 축 방향으로 증착률의 차이를 줄이기 위해서는 드럼과 보트와의 거리를 충분히 두어야 한다. 거리를 충분히 두기 위해서는 챔버의 크기가 커지는 단점이 있으므로 축 방향으로 증착률이 10% 이내로 차이가 날 정도로 챔버를 설계 제작하였다. 드럼의 축 방향으로 증착률의 차이로 인한 두께의 차이는 존재하지만 각 원소별 증착률의 비는 일정하므로 결과적으로 초전도 특성 중 임계전류는 초전도 박막의 두께에 비례하는 값을 가지게 된다.

Reaction chamber는 evaporation chamber에서 증착된 금속혼합물이 산화하여 초전도 물질을 형성하는 챔버이다.

드럼은 reaction chamber와 evaporation chamber의 사이에 놓이게 되고 회전에 의하여 evaporation chamber에서 증착된 원자들이 reaction chamber의 공간으로 이동하게 된다. 이때 reaction chamber에서는 온도 $\sim 700^{\circ}\text{C}$, 5 mTorr의 산소분압을 유지하므로 금속성 원자들이 산소와 반응하여 초전도 상으로 변환하게 된다.

Differential pumping chamber는 EDDC에서 핵심적인 역할을 하는 챔버이다. EDDC에서 evaporation chamber는 10^{-5}Torr 이하, reaction chamber는 5mTorr이상의 기압을 유지하여야 한다. reaction chamber와 evaporation chamber 사이에 differential chamber를 두어 reaction chamber에서 흘러나온 산소 분자가 evaporation chamber로 흘러들어가기 전에 펌핑하여 외부로 방출시킴으로서 두 챔버사이의 기압차를 충분히 둘 수 있다. 또한 evaporation

chamber로 유입된 산소분자들은 고속 펌프에 의하여 외부로 배출됨으로써 챔버내 분압을 더욱 낮출 수 있다. 따라서 differential chamber의 펌핑능력 및 evaporation chamber의 펌핑능력이 두 챔버의 기압차이의 핵심변수이며 이를 위해서 differential chamber에서 1000liter/sec의 펌핑 능력을 가지는 터보펌프를 4개 사용하였으며 evaporation chamber에서는 13000liter/sec의 펌핑능력을 가지는 cryo-pump를 사용하였다. differential chamber에는 산소분압이 10^{-4}Torr 에서 수 mTorr를 유지하므로 산소에 강한 turbo pump를 사용하였다.

드럼에는 1cm폭 및 2mm 깊이를 가지는 홈이 나선형으로 파여 있다. 이 홈을 따라서 테이프가 감기게 된다. 홈 안에 테이프가 감기므로 안전하게 보호된다. 드럼은 할로겐히터 및 외부의 할로겐 히터에 의하여 동시에 가열된다. 온도를 높일 때 드럼의 열용량과 테이프의 열용량이 다르므로 테이프의 온도가 훨씬 빨리 상승하게 된다. 이 문제점을 해결하기 위하여 드럼 내부의 할로겐 히터와 외부의 할로겐 히터를 독립적으로 가열할 수 있도록 제작하였다. 드럼 내부의 할로겐 히터의 온도센서는 드럼의 온도를 측정할 수 있도록 드럼에 접촉시키고 외부 히터의 온도센서는 외부히터와 드럼 사이에 위치시켜 테이프의 온도에 근접한 온도를 측정할 수 있도록 하였다. 드럼의 회전에 의하여 테이프 각 부분은 온도와 기압이 변화하게 되는데 온도의 변화는 드럼의 회전속도를 높임으로서 줄일 수 있다. 회전속도를 높일수록 회전축 진공씰링에 문제를 일으킬 가능성이 있으므로 내구성 및 진공씰링이 우수한 자기유체 베어링을 사용하였다.

4. 결 론

100m 급 초전도선재 제조용 EDDC 증착시스템을 제작하였다. EDDC 시스템은 evaporation chamber, reaction chamber, differential chamber로 나누어져 있고 테이프형 기판을 감기 위한 드럼이 evaporation chamber와 reaction chamber에 노출되어 있다. 드럼의 회전에 의하여 증착과 반응이 반복적으로 일어난다. 본 증착시스템은 제조속도 및 제조단가가 우월하며 제조공정을 한 챔버에서 완료할 수 있는 장점을 지니고 있다.

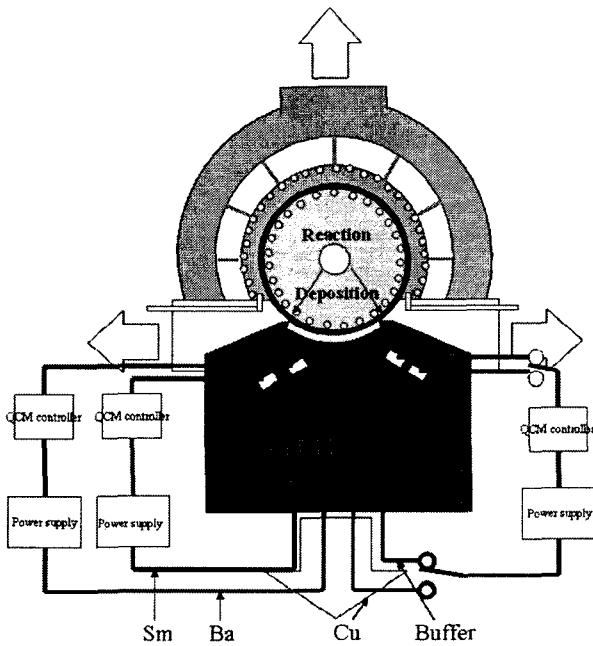
감사의 글

본 연구는 21세기프런티어 차세대초전도응용기술개발(CAST) 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] B S Lee et al, Supercond. Sci. Technol. Vol. 17, 580, 2004
- [2] K C Chung et al, Physica C, Vol. 390, 221, 2003
- [3] K C Chung et al, Physica C, Vol. 384, 291, 2003

(a)



(b)

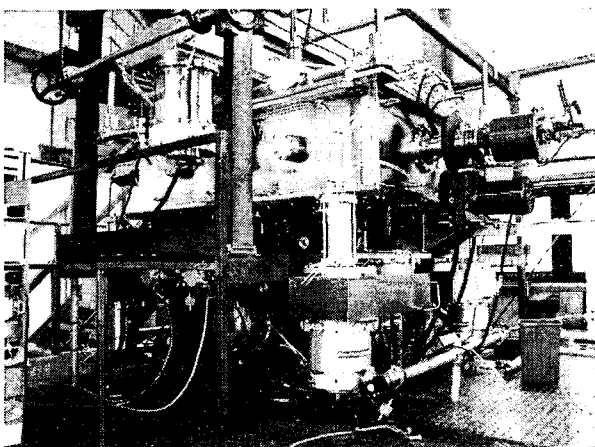


그림 1. EDDC 증착시스템-(a)개략도, (b)실제사진