

DC reactive sputtering 증착법을 이용한 초전도테이프의 Y_2O_3 단일완충층 증착

김호섭, 고락길, 오상수, 김태형, 송규정, 하홍수, 양주생, 박유미
한국전기연구원

Y_2O_3 single buffer layer deposition using DC reactive sputtering for the superconducting coated conductor

Ho-Sup Kim, Rock-Kil Ko, Sang-Soo Oh, Tae-Hyung Kim,
Kyu-Jeong Song, Hong-Soo Ha, Ju-Saeng Yang, Yu-Mi Park
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract: Y_2O_3 film was directly deposited on Ni-3at%W substrate using DC reactive sputtering technique. Metallic Yttrium was used for DC sputtering target and water vapor was used for oxidizing the deposited metallic Yttrium atoms on the substrate. The window of the water vapor turned out to be broad. The minimum partial pressure of water vapor was determined by sufficient oxidation of the Y_2O_3 film, and the maximum partial pressure of water vapor was determined by the non-oxidation of the target surface. As the sputtering power was increased, The deposition rate increased without narrowing the window. The fabricated Y_2O_3 films showed good texture qualities and surface morphologies. The YBCO film deposited directly on the Y_2O_3 buffered Ni-3at%W substrate showed T_c , I_c (77 K, self field), and J_c (77 K, self field) of 89 K, 64 A/cm and 1.1 MA/cm², respectively.

Key Words : Y_2O_3 , DC reactive sputtering, YBCO, PLD

1. 서 론

양축 정렬된 금속기판을 이용한 고온초전도선재의 제작은 금속테이프의 재결정화 열처리, 완충층 증착, 초전도층 증착, 보호층 증착, lamination의 공정으로 이루어져 있다 [1]. 특히 완충층은 금속기판과 초전도층과의 격자상수 차이로 인한 응력을 완하시켜주며, 금속기판의 원자가 초전도층으로 침투하는 것을 막아주는 핵심적인 기능을 한다 [2]. 초전도선재 제조비용 중에 완충층이 차지하는 비용은 초전도층과 대동소이할 정도로 상당한 비중을 차지하고 있다. 완충층 제조비용을 줄이려는 노력은 완충층 구조의 간략화, 저렴한 증착법 개발 등의 방향으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 DC reactive sputtering의 증착법을 사용하였고, 기존 3층구조에서 벗어난 단일완충층 구조를 사용하였다.

DC reactive sputtering은 금속타겟의 사용, DC 플라즈마, 기판상에서 금속원자의 산화반응을 특징으로 하는 증착법이다. 이 증착법은 다음과 같은 장점이 있다.

첫째, 세라믹 타겟을 사용하지 않고 금속 타겟을 사용하므로 고속 증착이 가능하다. 현재 120nm/min의 증착률까지 가능하며 안정된 결정성장을 보이고 있다.

둘째, 금속타겟을 사용하므로 장시간의 사용에도 변질이 되지 않는다. 금속타겟은 전체가 균일한 금속이므로 장시간의 사용에도 균일한 증착조건을 보장하여 준다.

셋째, 증착률 및 가스분압이 상당히 안정되어 있다. 고정된 스퍼터링 출력하에서 장시간의 증착에도 증착률의 변화가 거의 없다.

넷째, 시스템 제작비가 저렴하다. DC sputtering을 사용하므로 고가의 controller가 필요하지 않고 간단하게 정의된 챔버를 사용하여 증착이 가능하다.

위의 장점들은 DC reactive sputtering 증착법의 산업화 적용에 가능성을 보여주며 타 증착법보다 우위를 점할 것으로 보인다.

2. 실험

2.1 실험장치

DC reactive sputtering 증착시스템은 다음과 같은 장치들로 구성되어 있다. 시스템 본체 양 옆에 Reel to Reel 테이프 이송장치, 반응가스로서 수증기를 흘려주기 위한 장치, DC 스퍼터링 장치, 기판을 가열하기 위한 할로겐 히터, 증착률을 측정하기 위한 Quartz Crystal Microbalance등으로 구성되어 있다. 기본적인 증착과정은 챔버 내 기판온도, 수증기 분압, 증착률 등이 평형상태로 안정화 되면 일정한 간격으로 dummy SS 테이프 사이에 연결되어 있는 기판을 각각 히터 중심부로 이동시켜 증착시킨다.

3. 결과 및 고찰

3-1 DC sputtering 조건

그림 1은 증착률과 반응가스 분압과의 관계를 보여주는 그래프이다. 사각형 라인에서 수증기 분압을 증가시키에 따라 증착률의 변화가 없다가 P_c 분압 이상에서 증착률이 급감한다. 급감하는 이유는 과도한 수증기 분압으로 인하여 금속타겟의 표면산화가 진행되기 때문이다[3]. 수증기

분압 P_b 이하의 범위에서는 금속기판에 증착된 타겟원자들이 충분히 산화반응하지 못하여 국소적으로 metallic phase가 형성되고 그림 2에서 볼 수 있듯이 $Y_2O_3(004)$ 외에 (222) 결정성장이 된다. 따라서 수증기 분압의 범위의 하한은 P_b 이며 상한은 P_c 가 된다. 삼각형 라인은 반응가스로서 산소를 사용할 때 증착률과 반응가스 분압과의 관계를 보여준다. 수증기와는 달리 낮은 산소분압(P_a)에서 증착률이 급감하기 시작한다. 따라서 산소를 사용하면 완전 산화된 세라믹상을 얻기가 힘들다. 원형 라인은 DC sputtering의 power를 129W로 낮춰 증착했을 때의 그래프이다. 수증기분압의 범위는 $P_e \sim P_f$ 로서 209W에 비하여 조금 감소했다.

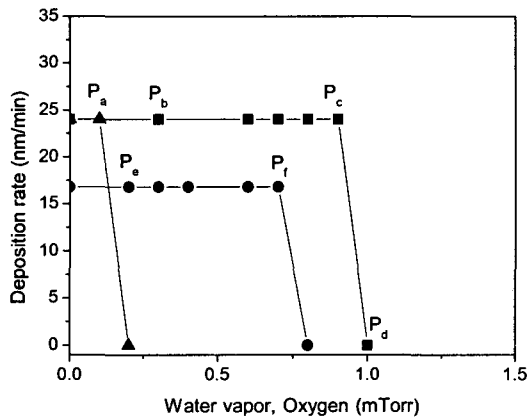


그림 1. 증착률과 반응가스 분압과의 관계 ((1) 사각형 라인; DC 스퍼터링 power: 209W, 반응가스: 수증기, (2) 삼각형 라인; DC 스퍼터링 power: 209W, 반응가스: 산소, (3) 원형 라인; DC 스퍼터링 power: 129W, 반응가스: 수증기

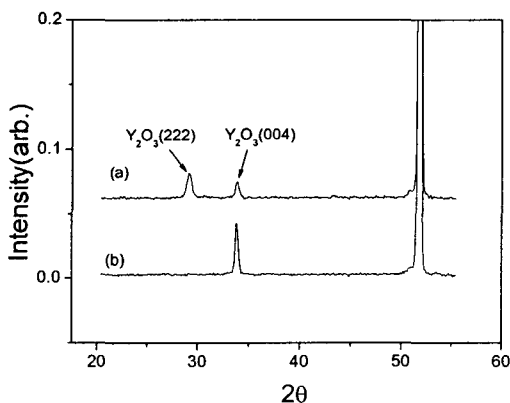


그림 2. XRD θ - 2θ -scan of Y_2O_3/NiW (T_s : 800°C, D.R.= 24 nm/min, (a) $P(H_2O)$: 0.2 mTorr, (b) $P(H_2O)$: 0.4 mTorr.

3-2 YBCO/ Y_2O_3 /NiW 구조의 초전도 특성

그림 3은 임계온도 및 임계전류를 보여주는 그래프이다.

증착된 YBCO 박막의 T_c , I_c (77 K, self field), J_c (77 K, self field) 는 각각 89 K, 64 A/cm, 1.1MA/cm²이었다.

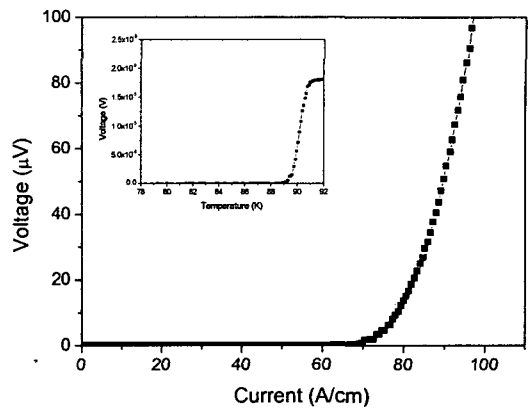


그림 3. YBCO(600nm)/ Y_2O_3 (300nm)/NiW의 (사편 크기: 20mm x 5mm) 초전도 특성 (삽입도: 온도 전압 관계 그래프)

4. 결론

DC reactive sputtering 증착법을 이용하여 Ni-3%W기판상에 Y_2O_3 단일원층을 증착하였다. DC reactive sputtering 증착법을 이용하여 고속증착하기 위해서는 금속타겟의 산화를 방지하여야 하며 기판 주위에 충분한 산화반응가스의 분압을 유지하여야 한다. 증착시 수증기 분압이 하한치 보다 낮을 경우 충분히 산화되지 못하고 상한치 보다 높은 경우 타겟의 산화로 인하여 증착률이 감소하였다. PLD 증착법을 이용하여 YBCO 초전도 박막을 증착하고 임계온도 및 임계전류밀도를 측정하였다. 임계온도는 임계온도 89K이었고 임계전류밀도는 1.1MA/cm²이었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] D. P. Norton, A. Goyal, J. D. Budai, D. K. Christen, D. M. Kroeger, E. D. Specht, Q. He, B. Saffian, M. Paranthman, C. E. Klabunde, D. F. Lee, B. C. Sales, F. A. List, Science 274 (1996) 755.
- [2] 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. Klabunde, E. Hartfield, V. K. Sikka, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 1795.
- [3] Nicolas Martin, Christophe Rousselot, Surface Coatings Technol. 110 (1998) 158.