

고온 초전도체 버퍼층 형성을 위한 인라인 증착 시스템 설계

최만호, 고성용, 강민경, 반선규, 김동진
(주)마루엘앤씨
e-mail:cjw0322@marulnc.com

Design of In-Line Buffer Layer Deposition System for High Temperature Superconductor

M.H.Choi, S.Y.Ko, M.K.Kang, S.G.Ban, D.J.Kim
MARU L&C Co., Ltd.

요약

본 논문에서는 최근 에너지 효율 향상을 위해 초전도체의 중요성이 높아지고 있으며, 초전도체를 활용한 다양한 제품들의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이에 임계온도가 높고 성능이 우수한 고온 초전도체에 대한 관심이 높아지고 있다. 고온 초전도체는 금속테이프 선재 형태로 제작이 되며, 그 구조는 산화물 다층박막 형태의 버퍼층, 초전도막과 보호층으로 구성된다. 이 가운데 버퍼층을 구성하는 산화물 다층박막은 진공상태에서 연속공정을 통해 형성되어야 한다. 이에 본 논문에서는 선재 이송장치와 함께 고온 초전도체의 버퍼층 증착을 위한 인라인 버퍼층 증착 시스템을 설계하였다.

Recently, the importance of superconductors has been increasing to improve energy efficiency, and the development of various products using superconductors has been actively carried out. Accordingly, interest in high temperature superconductors with high critical temperature and excellent performance is increasing. The high temperature superconductor is fabricated on metal tape wire, and its structure is composed of a buffer layer in the form of an oxide multi-layer, a superconductive layer and a protective layer. Among them, a buffer layer must be deposited through a continuous process in a vacuum ambient. In this paper, an in-line buffer layer deposition system and wire transfer device is designed for high temperature superconductor's buffer layer formation.

1. 서론

온실가스 배출을 제한하여 지구 온난화를 방지하기 위해 전 세계는 지속적인 노력을 기울이고 있다. 우리나라 정부도 2020년 10월 국가비전으로 '2050 탄소중립'을 선언하고 후속 대응으로 '2050 탄소중립 시나리오' 수립을 추진한 바 있다.[1] 탄소중립의 5대 기본방향 중 하나인 에너지효율 향상은 국가 온실가스 감축을 위해 핵심 목표 달성을 위한 수단으로 활용하고 있다.

에너지 효율 향상 측면에서 초전도체(superconductor)는 매우 중요한 물질이다. 초전도체는 일정 온도(임계온도, T_c) 이하에서 전기저항이 0이 되어 전류가 손실 없이 계속 흐르는 초전도 현상을 보이는 물질 및 제품을 지칭한다. 초전도체는 임계온도에 따라 저온 초전도체와 고온 초전도체로 구분할 수 있는데, 일반적으로 저온 초전도체(LTS; Low temperature superconductor)는 금속 화합물로 구성되고, 고온 초전도체(HTS; High temperature superconductor)는 세라믹 화합물로 구성된다. 저온 초전도체는 선재로 가공하기

쉽고, 전류특성이 우수하지만 초전도성을 얻기 위해 액체헬륨을 이용하여 냉각하므로 냉각비용이 커서 가격이 상승하는 단점이 있다.

이에 반하여 고온 초전도체는 임계온도가 높아 액체질소를 이용한 냉각이 가능하므로 냉각비용을 낮출 수 있는 반면에 세라믹이기 때문에 제조공정이 어렵고 가격이 높은 단점이 있다. 고온 초전도 선재는 90K 이상의 임계온도와 임계전류 밀도, 강도 및 유연성이 보장되어야 하므로, 상대적으로 제조가 용이하고 대규모 생산이 가능한 Y-Ba-Cu-O(YBCO)계와 Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO)계 산화물을 이용한다.

고온 초전도 선재의 제조에는 금속기판 표면에 산화물 박막을 증착하는 도중에 이온빔을 주사하여 버퍼층 박막이 기판과 관계없이 독립적으로 2축 배향성을 갖게 하는 IBAD(Ion Beam Assisted Deposition)방법이 주로 적용된다.

본 논문에서는 금속 테이프 선재 형태의 초전도체의 제조를 위한 버퍼층 증착 시스템을 설계하고자 한다. 이 버퍼층 증착 시스템은 진공 분위기에서 릴투릴(Reel-to-reel) 연속공정에 의해 버퍼층이 형성될 수 있도록 연속적으로 연결된 인라인 시스템(In-line system)으로 구성되었다.

2. 초전도 선재에서 버퍼층 구조

초전도 선재는 Fig. 1과 같이 기판, 버퍼층, 초전도층 및 보호층으로 구성된다[2]. 기판의 재질은 주로 하스텔로이나 스텐인리스강이고 그 두께는 약 50 μ m이다. 버퍼층은 확산방지층, 씨드층, IBAD층, 호모에피층, 스트레인정합층 구성되며 총 두께는 약 1.0 μ m 내외이다.

▶ 확산 방지층은 산화알루미늄(Al_2O_3)과 같은 금속 산화물로 구성되어 있으며, 스퍼터링(sputtering)에 의해 막을 형성시킨다.

▶ 씨드(seed)층은 IBAD층에 결정핵생성 표면을 제공하며, 스퍼터링에 의해 막(Y_2O_3)을 형성시킨다.

▶ IBAD층은 초전도층에 2축 배향을 제공하며, 박막의 면내·면외 둘 다에 결정축들을 따라 정렬된 결정질 배향을 갖는 2축 배향층이며, IBAD 방법을 이용하여 막(MgO)을 형성시킨다.

▶ 호모에피(homo-epi)층은 IBAD층의 2축 배향성을 향상시키는 역할을 하며, E-beam 증착으로 막(MgO)을 형성시킨다.

▶ 스트레인정합층은 IBAD층을 구성하는 산화마그네슘과 초전도층의 격자 부정합을 감소시키는 역할을 하며 스퍼터링에 의해 막($LaMnO_3$)을 형성시킨다.

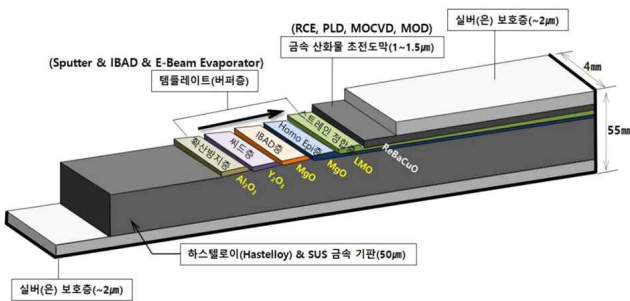


Fig. 1 Structure of HTS

3. 인라인 시스템 및 이송부 설계

3.1 인라인 시스템

고온 초전도체는 하스텔로이 금속테이프 라고 하는 기판 상부에 다층 금속 산화물 구조의 버퍼층을 형성하는 구조이며, 진공 챔버(선재 인출부-Al₂O₃-Y₂O₃-MgO-MgO-LaMnO₃-선재 회수부)들을 연속적으로 배치하여 인라인 시스템이 되도록 구성한다.

금속 테이프를 증착장비로 연결하는 이송부에서부터 증착이 완료되어 회수를 하는 회수부까지 각각의 개별 증착 챔버

들이 진공상태에서 연속공정이 가능하도록 릴-투-릴 방식으로 연결된 시스템으로 구성되도록 하였으며 전체 개념도를 Fig. 2에 나타내었다.

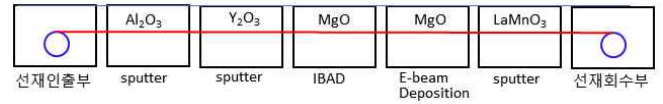


Fig. 2. In-Line System for Buffer Layer

3.2 선재 이송부

버퍼층(buffer layer)을 증착하기 위한 인라인 시스템 내부에는 많은 이송 및 정렬기구 등이 존재한다. Fig. 2와 같이 챔버 (1)에 반입된 선재는 챔버 내부에서 수회 반복 회전하는 동안 증착이 완료되어 챔버 (2)로 반출되며, 이어서 다음 챔버로 계속된다. 각 챔버들은 기구적인 조립 및 운영과정에서 발생하는 오차를 보정하여 선재를 정렬하기 위해서는 반출구와 반입구에서 선재의 반송방향을 조절할 수 있도록 가이드롤(guide roll)을 2조씩 설치하도록 구성하였다.

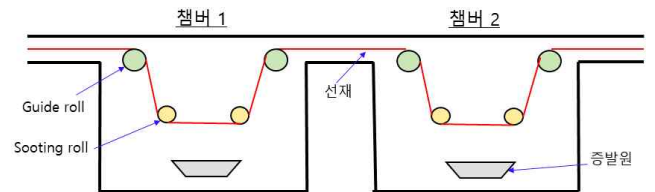


Fig. 3. Guide roll position inside the chamber

Fig. 4는 선재의 이동시 어긋남을 교정하는 정렬 유닛 (Alignment unit)을 나타냈으며, 조절나사 1을 이용하여 롤러의 좌·우 위치를 조절한 후 고정나사 1을 이용하여 고정하며, 조절나사 2를 이용하여 롤러의 상·하 위치와 좌·우 수평을 조절한 후 고정나사 2를 이용하여 고정한다. 이를 통해 선재가 롤러를 타고 지나갈 때 가이드와 마찰없이 반송 될 수 있도록 조절할 수 있다. 또한, 정렬 유닛을 통해 가이드 롤러의 위치와 상하좌우를 정교하게 조정가능하며, 이에 따른 선재의 반송방향을 정밀하게 조절할 수 있게 된다.

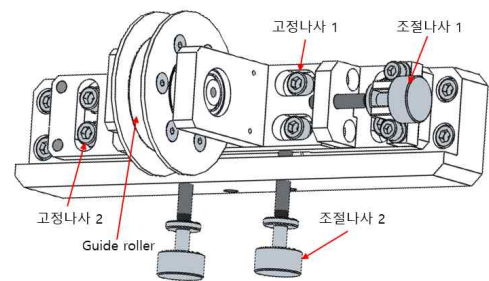


Fig. 4. Alignment unit for Superconductor

4. 향후계획

초전도체 버퍼층 제작을 위한 인라인 챔버와 내부 부품들의 조립이 진행중에 있으며, 장비 및 버퍼층의 성능평가가 계속 진행될 예정이다.

참고문헌

- [1] 대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)
- [2] 특허, 10-2312749, 초전도 선재 제조를 위한 플라즈마 보조 인라인 시스템