

2G 고온초전도 선재용 Cu 안정화층 형성을 위한 진공 증착 공정 기초 연구

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

Preliminary Study on Vacuum-Based Cu Deposition for Stabilizing Layer of 2G HTS Tape

S.Y.Ko, M.H.Choi, D.J.Kim
R&D Center, MARU L&C

요약

본 논문에서는 2세대 고온초전도(2G HTS) 선재의 안정화층 형성을 위한 Cu 증착 공정의 기초 특성을 분석하였다. 기존 전해 도금 공정을 대체하기 위해 진공 기반 물리적 증착(PVD) 공정을 적용하였으며, 증발소스를 이용한 열증발 방식을 통해 reel-to-reel 공정을 구성하였다. 1차 테스트에서는 테이프 속도 1 m/min 및 3 m/min 조건에서 증착 특성을 평가하였다. 그 결과, 약 60~70 nm 수준의 Cu 박막 형성이 확인되었으며, 공정 중 테이프 온도는 166°C 이하로 유지되어 열적 손상이 발생하지 않음을 확인하였다. 본 연구는 HTS 선재용 친환경 Cu 증착 공정 개발의 기초 데이터를 제공한다.

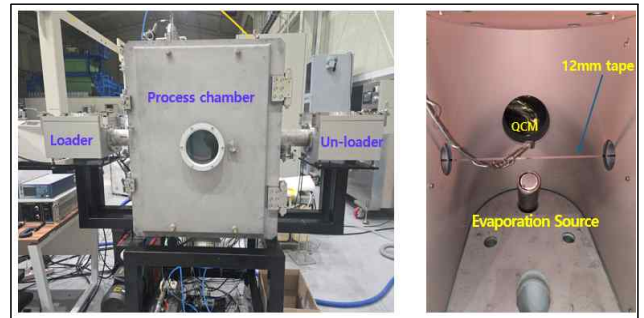
- Reel-to-reel 이송 시스템
- Evaporation Source (약 1540°C)
- QCM(증착률 측정)
- Rotary pump 및 터보 펌프

1. 서론

고온초전도(HTS) 선재는 차세대 전력기기 및 에너지 시스템에서 핵심 소재로 활용되고 있으며, 안정적인 전류 전달을 위해 Cu 안정화층 형성이 필수적이다.

기존의 Cu 전해도금 공정은 황산(H₂SO₄) 기반으로 환경 부담이 크며, 슬리핑된 테이프의 단면에서 접착 불량 및 박리 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라 진공 기반 물리적 증착(PVD) 공정이 대안으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 증발소스(Evaporation Source) 기반 Cu 증착 시스템을 구축하고, 1차 테스트를 통해 공정 가능성 및 기초 특성을 평가하였다한다.



[그림 1] Test system(L) & Inside of process chamber(R)

2. 공정 구성 및 실험 방법

2.1 증착 방식 선정

증발소스 기반 열증발 방식은 안정적인 증착률 제어와 높은 소스 효율, 진공 공정 적용의 용이성 등의 장점을 가지므로, 본 연구에서는 이 방식을 적용하였다.

2.2 실험 장비 구성

1차 테스트 장비는 다음과 같이 구성되었다.

- 진공 챔버 및 로더/언로더

2.3 공정조건

주요 공정 조건은 다음과 같다.

- Tape speed : 1 m/min, 3 m/min
- 증착률(QCM 기준) : 54~60 Å/sec
- 증착 구간 길이 : 약 30 cm
- 기판 : STS 및 HTS tape

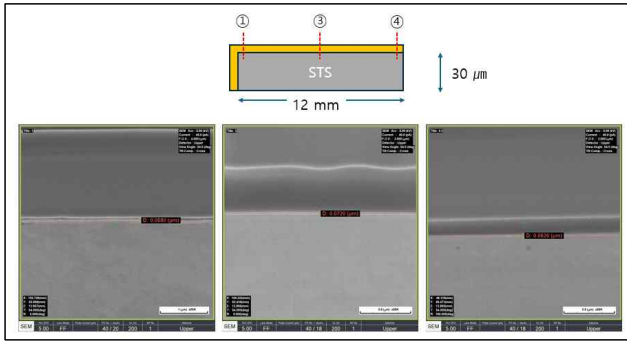
3. 실험 결과

3.1 증착 두께 결과

1m/min sample 테스트 결과, 실제 측정된 Cu 두께는 다음과 같다.

위치	두께
측정값 ①	68 nm
측정값 ③	72 nm
측정값 ④	63 nm

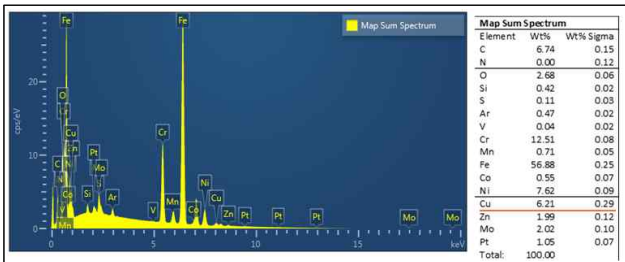
[표 1] 1차 테스트 증착 두께



[그림 2] Cross-sectional view of 1m/min sample

3 m/min 시편의 EDS 분석 결과, Cu 성분이 약 6.21 wt% 수준으로 검출되어 Cu 증착층의 형성이 확인되었다. 동시에 Fe, Ni, Cr 등의 성분이 검출되었으며, 이는 기판(STS)의 조성에 기인한 것으로 판단된다.

검출된 Cu 함량이 상대적으로 낮은 것은 박막 형태의 증착 특성에 따른 결과로 해석된다.



[그림 2] EDS analysis result of the Cu-deposited sample

3.2 온도 특성

공정 중 테이프 온도를 측정한 결과, 최대 온도는 166°C 이하로 나타났으며 색상 변화는 관찰되지 않았다. 이는 열 손상이 발생하지 않았음을 의미하며, 해당 공정 온도 조건이 HTS 테이프에 대해 안정적인 수준임을 확인하였다.

3.3 공정 해석

QCM 기준 증착률과 실제 테이프 상의 증착 두께 간에는 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 또한 실제 증착 영역 길이는 가정값보다 짧은 약 20 cm 이하로 추정된다. 아울러, 증착 두께의 균일도는 제한적인 수준으로 나타나 향후

공정 최적화를 통한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

4. 고찰

1차 테스트 결과, 증발소스 기반 Cu 증착 공정의 HTS 선재 적용 가능성을 확인하였으나, 다음과 같은 한계점이 확인되었다.

- 증착 두께가 예상 대비 부족
- 증착 영역 길이 불확실성
- 두께 균일도 확보 필요
- 분석 장비 한계로 일부 구간 측정 어려움

특히, reel-to-reel 공정에서는 증착 영역 길이 및 체류 시간이 주요 변수로 작용하는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 2G HTS 선재용 Cu 안정화층 형성을 위한 진공 증착 공정의 기초 실험을 수행하였다.

증발소스 기반 Cu 증착 공정을 구현하였으며, 약 60~70 nm 수준의 박막 형성을 확인하였다. 또한 공정 온도는 166°C 이하로 유지되어 열 손상이 발생하지 않는 안정적인 공정 조건을 확보하였다.

향후에는 증착 영역의 최적화 및 두께 증가를 위한 공정 개선이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 내부 시험 보고서, "Development of Cu Deposition Technology for 2G HTS's Stabilizing Layer Application," MARU L&C, 2025.