

## 초전도 박막선재용 IBAD-MgO 박막 증착

하홍수<sup>\*\*\*</sup>, 김호겸<sup>\*\*\*</sup>, 양주생<sup>\*</sup>, 고락길<sup>\*</sup>, 김호섭<sup>\*</sup>, 오상수<sup>\*</sup>, 송규정<sup>\*</sup>, 박찬<sup>\*\*\*\*</sup>, 유상임<sup>\*\*\*\*</sup>, 주진호<sup>\*\*</sup>, 문승현<sup>\*\*\*</sup>

한국전기연구원<sup>\*</sup>, 성균관대학교<sup>\*\*</sup>, (주)서남<sup>\*\*\*</sup>, 서울대학교<sup>\*\*\*\*</sup>

### Deposition of IBAD-MgO for superconducting coated conductor

Hong-Soo Ha<sup>\*\*\*</sup>, Hyo-Kyum Kim<sup>\*\*\*</sup>, Ju-Saeng Yang<sup>\*</sup>, Rock-Kil Ko<sup>\*</sup>, Ho-Sup Kim<sup>\*</sup>, Kyu-Jeong Song<sup>\*</sup>,

Sang-Soo Oh<sup>\*</sup>, Chan Park<sup>\*\*\*\*</sup>, Sang-Im Yoo<sup>\*\*\*\*</sup>, Jin-Ho Joo<sup>\*\*</sup>, Seong-Hyun Moon<sup>\*\*\*</sup>

KERI<sup>\*</sup>, SungKyunKwan Univ.<sup>\*\*</sup>, SuNAM<sup>\*\*\*</sup>, Seoul Univ.<sup>\*\*\*\*</sup>

**Abstract :** Ion beam assisted deposition (IBAD) technique was used to produce biaxially textured polycrystalline MgO thin films for high critical current YBCO coated conductor. Hastelloy tapes were continuously electropolished with very smooth surface for IBAD-MgO deposition. RMS roughness of Hastelloy tape values below 2 nm and local slope of less than 1°. After the polishing of the tape an amorphous Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are deposited. Biaxially textured MgO was deposited on amorphous layer by e-beam evaporation with a simultaneous bombardment of high energy ions. We had developed the RHEED to measure in-situ biaxial texture of film surface as thin as tens angstrom. And also ex-situ characterization of buffer layers was studied using XRD and SEM. The full-width at half maximum (FWHM) out of plane texture of IBAD-MgO template is 4°.

**Key Words :** IBAD-MgO, RHEED, coated conductor, texture

### 1. 서 론

고온초전도 선재는 지난 10여 년간 많은 연구개발이 이루어 졌으며 특히 박막증착 기술을 이용한 고성능 초전도 박막선재 제조 기술은 최근 많은 주목을 받고 있다.

초전도 결정립들간에 이루는 결정방향의 각도 차이를 줄여 이축배향 특성을 향상시킴으로서 단위면적당 전류 통전특성을 증가시키는 것이 초전도 박막선재의 특징이다.

초전도 박막 선재를 위해 사용되는 기판재는 주로 이축배향된 Ni 금속기판을 사용하는 것과 고강도 다결정 금속기판에 IBAD법을 이용하여 산화물 박막을 이축배향시킨 것이 있다. 고온초전도 선재의 경우 이축 배향 정도에 따라 초전도 특성이 크게 변화하며 IBAD기술은 이러한 이축배향특성을 높이기 위해 사용되는 우수한 기술이다. 특히 IBAD-MgO의 경우 단지 10 nm 두께만 증착하여도 우수한 이축배향 특성을 나타내는 장점이 있다[1]. 하지만 긴 선재에서도 우수한 이축 배향성을 나타내기 위해서는 최초 기판재의 거칠기가 매우 중요하다. 연속적으로 긴 금속 기판재의 거칠기를 낮추기 위하여 기계적인 연마 대신 전해연마법을 이용하였다.

IBAD-MgO기판을 이용한 초전도 박막선재 제조시 IBAD-GZO 또는 IBAD-YSZ에 비해 다양한 박막층들로 구성된다. 확산방지, 초기 IBAD층의 성장을 용이하게 하는 역할, texturing 향상 등의 다양한 역할의 층들이 추가로 증착된다. 본 논문에서는 각각 층들을 증착하고 이들의 특성에 따른 IBAD-MgO 기판을 제조하였다.

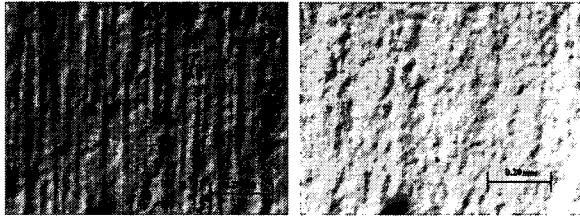
### 2. 실험

초전도박막선재용 IBAD-MgO기판을 제조하기 위하여 폭 10mm, 두께 0.1mm의 고강도 Hastelloy C276금속판재를 이용하였으며 금속판재의 표면을 매우 매끈하게 가공하기 위해 전해연마를 실시하였다. 전해연마는 일반적으로 사용되는 단극(unipolar)법을 이용할 경우 전극접촉부에서 스크래치 또는 오염이 발생하므로 이극(bipolar)법을 이용하였으며 연속적으로 고속 연마를 실시하였다[2]. 전해연마 조건으로는 연마시간, 전해액온도, 전해전류밀도, 전해액 등이 있으며 이 조건들을 적절히 조합하여 최소 거칠기를 가진 판재를 제조하고자 하였다. 연마 후 표면을 AFM, SEM 및 Nomarski 현미경을 이용하여 표면 거칠기와 형상을 분석하였다. 전해연마된 기판은 전자빔증발장치를 이용하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>박막을 비정질상으로 증착하였으며 이후 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>층을 비정질상으로 얇게 증착하였다. 증착된 기판은 다시 IBAD장치를 이용하여 이축배향된 IBAD-MgO 박막을 증착하였다. 이때 MgO층의 이축배향 특성을 확인하고자 장비에 장착되어 있는 RHEED(Reflection high energy electron diffraction)를 이용하여 spot 강도를 관찰하였다[3]. 이후 에피텍셜한 MgO 층을 증착하였으며 이때에도 최적 증착 조건 및 두께를 알아보기 위하여 RHEED를 관찰하였다. 증착된 기판은 이축배향 특성분석을 위해 XRD를 이용하였으며, 또한 SEM을 이용하여 단면 및 표면을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Hastelloy 기판을 12 m/h 속도로 고속 전해연마한 후 표면 거칠기를 AFM을 이용하여 측정하였다. 5 x 5 μm<sup>2</sup> 면적에서 2nm 이하의 양호한 RMS 거칠기를 나타내었으며 기

판길이 방향으로의 입계 및 스크래치에 의한 연속적인 경사도변화를 알아보기 위하여 Nomarski 현미경을 이용하였다. 그림 1.에서 전해연마가 불량한 스크래치 면과 양호한 전해연마 면을 확연히 구분할 수 있었다.



(a) 스크래치 잔존 표면 (b) 양호한 전해연마 표면

그림 1. 전해연마 후 Nomarski 현미경 관찰 사진.

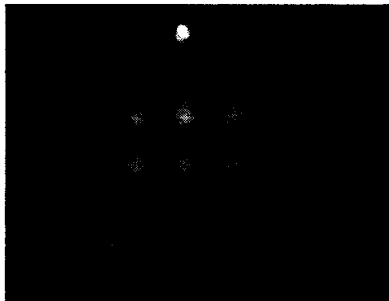
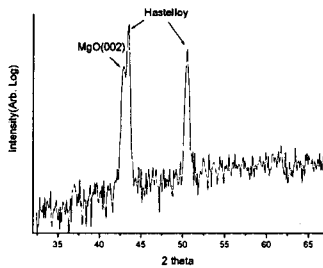
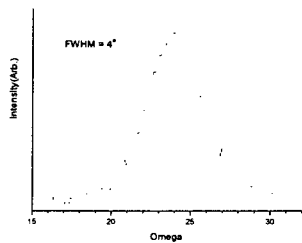


그림 2. IBAD-MgO의 RHEED 패턴.



(a)  $\theta$ - $2\theta$  scan



(b)  $\omega$  scan

그림 3. epi-MgO 증착 후 X 선 회절 패턴.

전해연마된 Hastelloy기판에 e-beam 증착장치를 이용하여  $Al_2O_3$ 를 100nm 이상 두께로 증착하였다.  $Al_2O_3$ 는 700℃이상의 고온에서 초전도층 증착시 금속기판으로부터의 확산을 방지하기위한 목적이며 특히 입계로의 확산을 방지하

기위하여 비정질상으로 증착되었다. 또한 치밀한  $Al_2O_3$ 증착층이 요구되므로 증착시 이온빔을 조사하여 밀도향상을 꾀하였다. 이후 seed층으로 비정질상의  $Y_2O_3$ 층을 10nm 정도 증착한 후 XRD측정결과 Hastelloy peak 이외 다른 peak은 나타나지 않았으며 AFM 측정결과 Hastelloy와 거의 유사한 표면 거칠기를 나타내었다. 또한 SEM 관찰결과 표면이 매우 치밀함을 알 수 있었다.

$Y_2O_3$ 층 위에 IBAD-MgO층을 증착할 때 이온빔을 이용하여  $Y_2O_3$ 를 약간 에칭한 경우가 보다 양호한 MgO 이축배향 성장이 일어남을 알 수 있었다. 또한 Ar 이온 대분자비는 IBAD법에서 중요한 조건으로 본 장치에서는 0.5 정도의 높은 증착조건하에서 우수한 이축배향 특성을 나타냄을 알 수 있었다. In-situ로 이축배향특성 평가를 위해 RHEED를 관찰한 결과 그림 2.와 같이 이축배향시 나타나는 spot 패턴을 관찰할 수 있었으며 약 10 nm 근처까지 증착될수록 선명하였다. 따라서 알려진 바와 같이 IBAD-MgO층은 유효한 두께 있고 본 실험에서도 약 10nm 전후의 두께에서 최적의 RHEED 패턴을 나타내었다. 이후 약 700 ℃에서 epi-MgO층을 80nm 정도 증착하였을 때 보다 선명한 RHEED spot을 관찰 할 수 있었다. 증착완료 후 그림 3.과 같이 XRD를 측정하여 MgO(002)면이 성장하였음을 알 수 있었고 MgO(002)면의 XRD  $\omega$  scan(out of plane texture)결과 반가폭이 약 4°로 비교적 양호하였다.

#### 4. 결론

초전도 박막소재 제조를 위해 이축배향된 IBAD-MgO 박막을 제조하였으며 이축배향 특성을 RHEED 와 XRD를 이용하여 분석할 수 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] J.R. Groves, P.N. Arendt, S.R. Foltyn, Q.X. Jia, T.G. Holesinger, H. Kung, E.J. Peterson, R.F. Depaula, P.C. Dowden, L. Stan, L.A. Emmert, "High critical current density YBCO thick films using ion beam assisted deposition MgO bi-axially oriented template layers on nickel-based superalloy substrates", J. Mater. Res. v.16, p.2175, 2001
- [2] S. Kreiskott, P.N. Arendt, L.E. Bronisz, S.R. Foltyn, V. Matias "Continuous electropolishing of Hastelloy substrates for ion-beam assisted deposition of MgO", Supercond. Sci. Tech. v.16 p.613. 2003.
- [3] R.T. Brewer, H. Atwater, J.R. Groves and P.N. Arendt., "Reflection high-energy electron diffraction experimental analysis of polycrystalline MgO films with grain size and orientation distributions", J. App. Phys. v.93, p.205, 2003.