

Tripod polishing을 이용한 IBAD/RABiTS 기판의 TEM 분석

TEM analysis of IBAD/RABiTS substrates prepared by Tripod polishing

최순미*, 정준기**, 유상임***, 박찬***, 오상수#, 김철진##

Soon Mee Choi*, Jun-Ki Chung**, Sang Im Yoo***,
Chan Park***, Sang soo Oh#, and Cheol Jin Kim##

Abstract: Sample preparation plays a critical role in microstructure analysis using TEM. Although TEM specimen has been usually prepared by jet-polishing or Ar-ion beam milling technique, these methods could not be applied to YBCO CC which is composed of IBAD or RABiTS substrates, several buffer layers, and YBCO superconducting layer because of big difference in mechanical strengths between the metallic phase and oxide phases. To obtain useful cross-sectional information such as interface between the phases or second phases in YBCO CC, it is prerequisite to secure the large area of thin section in the cross-sectional direction. The superconducting layer or the buffer layers are relatively weak and fragile compared to the metallic substrate such as Ni-5wt%W RABiTS or Hastelloy-based IBAD, and preferential removal of weak ceramic phases during polishing steps makes specimen preparation almost impossible. Tripod polisher and small jig were home-made and employed to sample preparation. The polishing angle was maintained $<1^\circ$ throughout the polishing steps using 2 micrometers attached to the tripod plate. TEM specimens with large and thin area could be secured and used for RABiTS/IBAD substrate analyses. In some cases, additional Ar-beam ion milling with low beam current and impinging angle was used for less than 30 sec. to remove debris or polishing media attached to the specimens.

Key Words: TEM, YBCO, IBAD, RABiTS, Cross-Section, Tripod polisher.

1. 서 론

- * 학생회원 : 경상대 대학원 세라믹공학과 석사과정
 ** 정 회원 : 창원대 산업기술연구원 연구교수
 *** 정 회원 : 서울대 공대 재료공학부 부교수
 # 정 회원 : 한국전기연구원 책임연구원
 ## 정 회원 : 경상대 공대 세라믹공학과 교수
 원고접수 : 2006년 2월 3일
 심사완료 : 2006년 2월 27일

Coated Conductor(CC)의 기판은 제조 방법에 있어서 일반적으로 Ion Beam Assisted Deposition (IBAD) 혹은 Rolling Assisted Biaxially Textured Substrate (RABiTS)로 나누어진다[1-2]. IBAD는 집합 조직을 가지지 않은 금속 기판에 $30^\circ \sim 60^\circ$ 사이의 각도로 Ar-beam을 조사하면서 buffer layer를 형성시켜 기판을 배향화 시키는 방법이다. RABiTS는 니켈 붕을 냉간압연(cold-rolling)하고 서냉 열처리(annealing)하여 배향화시킨 기판이다. 이렇게 배향화된 Ni-tape에 PLD (Plused Laser Deposition), co-evaporation, MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition), MOD(Metalorganic Deposition)등의 방법으로 여러 가지 완충층과 초전도층을 증착한다. 이와 같이 형성된 다층 박막에서 각 박막층 사이의 계면 구조, 계면에서의 결합, 여러 증착층에 걸친 집합조직의 변화 등은 최종 초전도 선재의 물성에 크게 영향을 미치므로, 계면의 단면 관찰이 필요하다. 완충층 및 초전도층의 두께는 수 nm로부터 수백 nm로 물질에 따라서 각각 다르고, 각 층의 기계적 강도값도 차이가 나므로 단면관찰용 TEM시편을 제작하는 것이 쉽지 않다. 다층박막 형태의 초전도체를 투과전자현미경으로 관찰하기 위해서는 전자가 투과할 수 있도록 시편이 수백 nm 이하로 얇아야 하고, 시편을 취급하거나 관찰하는 동안 부서지지 않아야 한다. 그러므로 이와 같은 초전도 다층 박막 시편을 분석하고자 할 경우 시편 준비가 매우 큰 비중을 차지하게 된다.

TEM 시편의 제작 방법은 그 대상의 재료와 분석 목적에 따라 매우 다양하지만 화학적 연마(electropolishing, chemical etching, ion milling)와 기계적 연마(dimpling, mechanical polishing)으로 크게 나눌 수 있다.

얇은 박막의 단면을 관찰하기 위하여 Bravman & Schinclair(1984)는 dimpling과 ion milling을 조합하여 TEM 시편을 처음으로 제작하였으며 현재까지도 일반적인 시편의 경우에 많이 적용하고 있다[3]. 이 방법은 dimpler를 이용하여 시편의 중앙부분을 선택적으로 연마한 후 ion milling하여 전자가 투과할 수 있도록 엇칭하는 방법으로서 일반적으로 장시간 ion milling을 한다. 그러나 오랜 시간동안 ion milling을 하여 시편을 제작할 경우 Ar 가스 이온의 충돌에 의하여 발생하는 충격과 열에 의하여 전위 및 적층 결합 등의 결정결함이 발생하기도 하고 본래의 시편에 없었던 새로운 상이 만들어 지기도 한다. 또한 시편 및 ion miller의 시편홀더에 에칭된 원소들이 시편 표면에 다시 증착되는 오염 현상이 발생하기 때문에 화학적 조성의 정량 및 정석 분석에 크게 영향을 주기도 한다. 그리고 특정 원소나 상이 선택적으로 연마되어 복합재료나 불균질 재료에서 넓은 영역에 걸쳐 전자가 투과할 수 있도록 균일하게

연마할 수 없다. 금속과 세라믹이 함께 존재하는 박막의 경우 dimpling을 하면 세라믹은 취성때문에 깨지게 되고 금속부분은 연성이 크므로 연마보다는 휘게 되어 시편의 파괴가 발생한다. 다층박막으로 구성된 초전도 선재의 단면을 ion milling방법으로 연마 할 경우, 재질에 따라 부분적으로 연마되는 속도가 달라서 초전도층이나 완충층은 빠르게 연마가 되고 IBAD의 hastelloy와 같은 금속은 연마가 되지 않아 두께가 균일하고 평탄한 TEM 시편을 준비하기 어렵다. 또한 다층 박막의 시편의 경우 두께가 수십 nm 이하의 두께를 가지는 박막의 계면 부위를 정확하게 dimpling하는 것도 어려울 뿐만 아니라 성공적으로 시편을 제작하였다 하더라도 주요 관찰 부분인 박막/기판 경계는 극히 제한적인 영역에서만 전자가 투과할 수 있는 두께를 갖게 된다.

Focused Ion Beam(FIB)을 이용하는 방법은 관찰하고자 하는 부위를 정확히 제어할 수 있는 장점이 있지만 고가이고 시편 제작에 있어서 초기단계에는 다른 시편제작 방법과 마찬가지로 기계적인 연마과정이 필요하다[4]. 그러나 FIB로 제작한 시편의 크기는 매우 작아서 계면을 따라서 넓은 부위에서 관찰하는 것이 근본적으로 불가능하며, 고온초전도 선재와 같이 다층박막의 계면을 따라 넓은 영역에서 결함이나 2차상 혹은 집합조직의 전이 등을 관찰하는 것이 매우 어렵다.

기계적 강도값의 차이에 상관없이 넓은 부위에 걸쳐 전자비입이 투과할 수 있을 정도로 얇은 시편을 제작하기 위하여 Klepeis et al.(1989), Dawson et al.(1990)은 tripod라는 연마도구를 사용하여 TEM 시편을 기계적으로 연마하는 IBM East Fishkill방법을 개발하였다[5-6]. 이 방법은 삼각형의 한 꼭지점 위치에 시편을 장착하고 다른 두 꼭지점에는 마이크로미터를 장착하여 시편의 연마 단계에서 항상 일정한 각도를 유지하도록 한 것인데, 1mm 시편 두께에 대하여 수평방향으로는 약 50nm 이상의 비율로 변화하므로 매우 넓고 얇은 영역을 확보할 수 있다[7-8]. 일부 시편의 경우에는 연마과정에서 사용한 연마제나 연마과정 중에 발생한 흠집을 제거하기 위하여 ion-milling machine을 매우 짧은 시간동안 이용하기도 한다. 본 실험에서는 Y(Gd)BCO CC의 TEM 분석을 위하여 tripod polishing 방법으로 시편을 제작하고, RABiTS 기판 혹은 IBAD 기판으로 제조된 Y(Gd)BCO CC의 단면을 관찰 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편의 절단 및 접합 준비

다층 박막을 TEM 시편으로 준비하기 위해 초경합금으로 제작한 전용 cutter를 이용하여 시편을 5mm × 2mm 크기로 절단한다. 이 경우, 절단에 따라 시편의 절단 부위의 조직이 파손되므로 가능한 한 깨끗하게 절단하는 것이 중요하다. Ag 보호층이 증착된 시편은 Ag층을 제거하기 위하여 NH₄OH-H₂O₂ (1:1)의 용액에 넣어 Ag층을 제거한 뒤, 증류수를 이용하여 세척한다. 세척한 시편은 질소 가스를 이용하여 건조시킨 후, 오염을 방지하고 기계적 강도를 확보하기 위하여 시편을 샌드위치 형태로 접합시킨다.

IBAD/RABiTS와 같은 기판에 증착된 다층 박막 coated conductor는 그 두께가 수 μm로 얇기 때문에 TEM 시편을 준비하기 위해 기판의 양쪽에 0.7mm와 0.5mm 두께의 실리콘 단결정을 지지대로 붙여 기계적 강도를 확보한다. 시편과 지지대의 접합이 좋지 않으면 연마 도중 분리되므로 접합 부분은 적은 양의 접착제를

사용하여 얇고 기공 없이 접합시키는 것이 중요하다. 0.7mm와 0.5mm 두께의 실리콘 단결정을 시편 크기로 자르고 알콜이 담긴 비커에 넣어 초음파 세척기로 깨끗이 세척을 한 뒤 시편에서 박막이 증착된 부분에는 0.5mm 두께의 실리콘 단결정을 붙이고 박막기판의 아래쪽 부분에는 0.7mm 두께의 실리콘 단결정을 M-bond 610을 이용하여 접합시킨 다음 130℃의 온도에서 curing한다.

2.2 초기 연마

Pyrex 유리봉을 Fig.1(a)와 같은 small-jig에 수평으로 장착하고 경면 연마를 한 다음 crystal bond를 사용하여 시편을 붙이고 small-jig에 수평으로 장착한다. 그리고 600~2400 grit size의 SiC paper를 차례로 사용하여 앞 단계에서 만들어진 흠집을 순차적으로 제거하면서 시편의 두께가 2mm이하가 되도록 연마한다. 이어서 3μm, 1μm, 0.5μm diamond lapping film을 사용하여 시편의 두께가 약 1.5mm 정도가 되게까지 연마한 후, colloidal silica slurry(syton)를 이용하여 연마면에서 최종 연마를 하여 한 쪽 면을 경면으로 만든다[9]. 그리고 다시 시편을 뒤집어 600~1500 grit size의 SiC paper를 사용하여 시편의 두께가 200μm 정도까지 되게 연마한 다음 crystal bond를 제거하여 pyrex 유리봉에서 시편을 분리한다. 이 때 시편에 crystal bond가 남아 있을 경우, 시편을 tripod-jig에 부착 시킬 때 평면을 유지하기가 힘들고 그 부위에 집중적으로 하중을 받게 되면 tripod polishing하는 동안 시편에 손상을 줄 우려가 있으므로 crystal bond를 아세톤을 이용하여 완전히 제거하는 것이 중요하다.

2.3 Tripod 원리 및 연마

세 개의 발이 달린 tripod 연마기를 사용하면 시편의 두께를 매우 얇게 기계적으로 연마할 수 있다. Tripod는 Fig. 1(b)과 같이 두 개의 다리에는 Derlin 폴리머가 부착된 마이크로미터가 있고 나머지 한 다리에는 시편이 부착된 pyrex 유리봉을 장착한 것으로 높이를 조절하여 연마 시 경사각을 만들어준다. 그리고 연마 과정 중에 inverted microscopy를 이용하여 연마 과정을 확인한다.

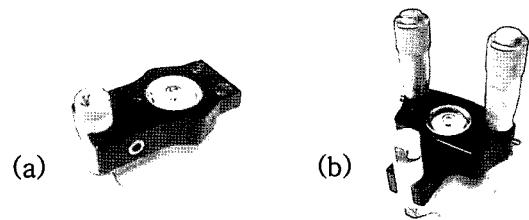


Fig. 1. (a)small jig and (b)Tripod polisher.

Small-jig로 한쪽 면이 경면 연마된 시편을 pyrex 유리봉 면에 닿도록 Loctite 495 또는 손톱 접착제를 이용하여 pyrex 유리봉 앞쪽을 향하도록 부착한다. 그 다음 wedge 모양으로 연마되도록 마이크로미터를 조절하여 두 다리를 약 500μm 정도 높여 시편에 1° 미만의 경사각을 만들어 준다.

Fig. 2는 tripod에 경사각을 주었을 때의 모식도를 그린 것이다. 경사각을 θ 로 하고 높이를 L, 밑변을 Δl 로 두면 tangent 법칙으로 각 θ 를 구할 수 있다. 이 때 micrometer 한 바퀴 회전 시 높이가 500μm 변하므로 이 값이 Δl 이 된다. micrometer 한 바퀴 회전을 각 θ 를 구하면 다음과 같다.

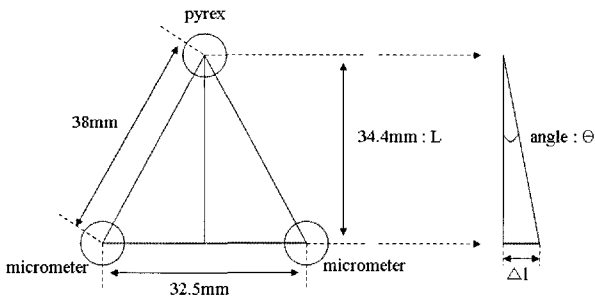


Fig. 2. Schematic drawing for the slant angle calculation of the tripod-polisher.

$$\tan\theta = \frac{\Delta l}{L} = \frac{0.5\text{mm}}{34.4\text{mm}} = 0.01453$$

$$\therefore \theta = 0.832^\circ$$

연마과정은 small jig를 이용한 순서와 같은 방법으로 행한다. Fig. 3에서 tripod 연마 과정을 inverted microscope로 확인한 것이다.

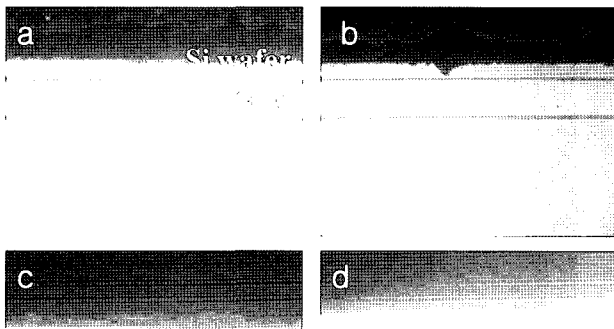


Fig. 3. Optical micrographs showing the polishing steps using (a) 3µm, (b) 1µm, (c) 0.5µm diamond lapping film, and (d) 0.02µm syton.

기판의 양쪽에 0.7mm와 0.5mm의 서로 다른 두께의 실리콘 단결정 기판을 지지대로서 부착한 것은 시편의 연마과정 중에 윗면과 아랫면의 구분을 쉽게 하기 위한 것이다. 실리콘은 연마과정에서 두께가 줄어들수록 색상이 검붉은 색에서 아주 밝은 노란색으로 변하므로, 연마 과정을 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 시편의 두께가 감소할수록 연마과정중의 작은 충격에도 시편이 쉽게 파손되므로 diamond lapping film으로 연마하는 과정에는 계면활성제를 증류수에 소량 첨가하여 파손을 방지한다. 또한 시편의 연마 방향은 SIC를 이용하여 연마할 때에는 시편의 아래쪽 면인 금속 기판이 먼저 닿게 하고, diamond lapping film과 syton을 이용하여 최종 연마를 할 때에는 YBCO 및 완충층이 먼저 닿는 방향으로 연마한다.

Fig. 4은 tripod polishing으로 만든 이상적인 TEM

시편의 형태를 나타낸 것이다. TEM으로 관찰하려면 50nm이하의 두께를 가져야 한다. 따라서 연마를 완료했다더라도 시편 전체를 관찰할 수 없으며 얇은 부분만을 볼 수 있다. 위의 그림에서 전자비임이 투과할 수 있는 최대 두께를 50nm라고 가정을 했을 때, 시편의 끝부분으로부터 관찰이 가능한 거리 Y는 3.44µm에 이른다. 이 거리는 ion milling방법으로 시편을 제작하였을 때, 시편 중앙의 hole로부터 관찰이 가능한 영역이 대개 1µm이하인 것을 감안하면 매우 넓고 또한 Fig. 3과 같이 지면에 수직한 방향으로 시편 그리드의 구멍 직경 길이까지 관찰이 가능하다.

최종적인 TEM 관찰을 위해서는 직경 3.05mm의 copper single hole grid에 연마된 시편을 부착해야 한다. pyrex 유리봉에 부착된 시편을 먼저 분리하여 grid에 부착하면 핸들링이 어려울 뿐 아니라 시편이 파손될 위험성이 크다. 따라서 pyrex 유리봉에 부착되어 있는 시편위에 copper grid를 M-bond 610을 사용하여 붙인 다음 상온~130℃에서 충분히 curing시킨다. 그 다음 시편이 부착된 pyrex 유리봉을 아세톤이 담긴 비커에 넣어 시편이 붙은 grid를 분리시킨다.

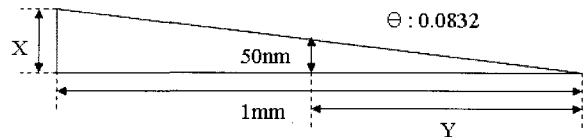


Fig. 4. Schematic shape of the TEM specimen after tripod-polishing.

2.4 TEM 관찰

Tripod polishing 방법으로 제작한 시편을 JEOL 2010에서 명시야상으로 관찰하였다.

RABiTS 시편은 Ni-5wt%W의 RABiTS 기판위에 YBCO / CeO₂ / YSZ / Y₂O₃ / Ni-W의 구조로 완충층 및 YBCO층을 한국전기연구원에서 제조한 것이고, IBAD 시편은 기판을 서울대학교에서 제작한 후 한국전기연구원에서 PLD를 이용하여 GdBCO / STO / Homo - epi - MgO / IBAD - MgO / Y₂O₃ / Al₂O₃ / Hastelloy의 구조로 제조한 것이다.

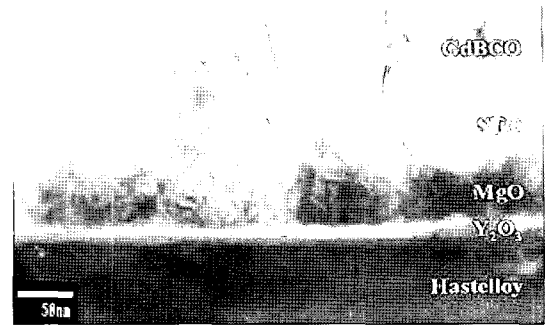
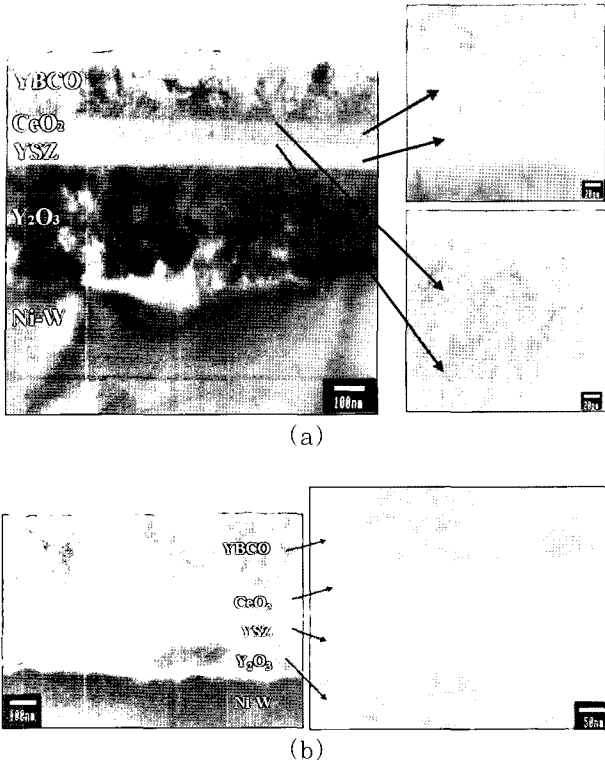
3. 결과 및 고찰

3.1 RABiTS 기판의 TEM 관찰

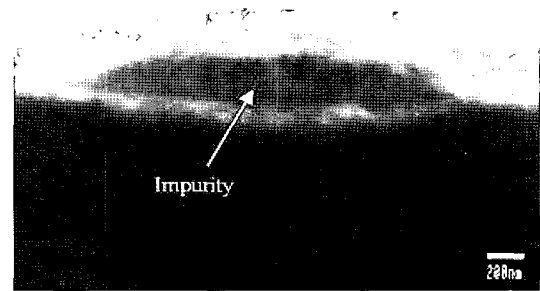
시편은 한국전기연구원에서 Ni-W 기판위에 DC-reactive sputtering방법으로 Y₂O₃와 YSZ를 올린 다음 PLD 방법으로 CeO₂와 YBCO 초전도층을 증착시킨 것이다.

Fig. 5 (a)는 완충층인 Y₂O₃, YSZ, CeO₂의 두께가 각각 400nm, 80nm, 70nm 정도이고 PLD 방법으로 YBCO를 3번을 증착한 시편으로서 Ic값이 약 100A정도의 특성을 지니고 있었다. SEM으로 먼저 관찰한 결과, YBCO층의 두께가 300nm정도였으나, 연마과정 중에 초전도층의 일부가 연마되었음을 볼 수 있다.

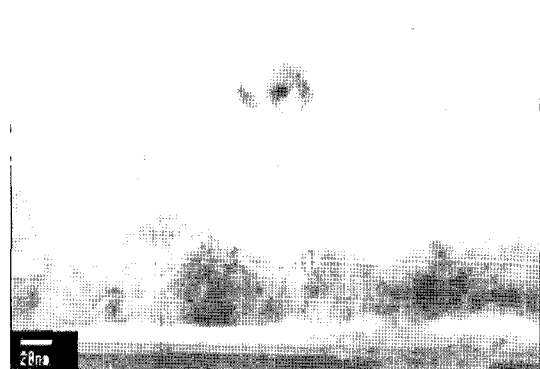
Fig. 5 (b)는 완충층인 Y₂O₃, YSZ 두께가 각각 100nm, CeO₂의 두께가 50nm 정도이고 PLD 방법으로



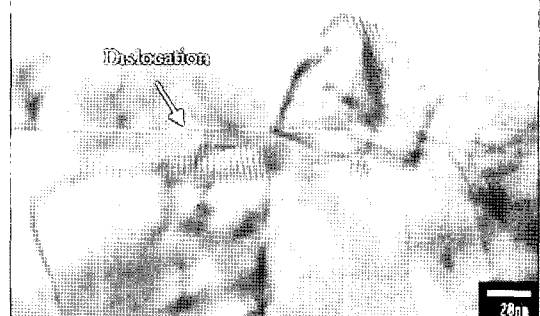
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5. Cross-section TEM bright field image of YBCO-CC on RABiTS substrate and the enlarged image of buffer layers and the interface showing dislocation bundles.

YBCO를 증착한 시편으로서 두께는 300nm로 I_c 값이 약 60A 정도의 특성을 지니고 있었다. Fig. 5의 확대된 부분에서 볼 수 있듯이 CeO_2 층은 기판에 수직방향으로 정렬된 grain을 형성하고 있었으며 각 완충층의 계면에는 정합성을 유지하지만 많은 전위들이 형성되어 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 IBAD 기판의 TEM 관찰

IBAD 기판은 전체적으로는 균일한 Homo epi-MgO/IBAD-MgO/ Y_2O_3/Al_2O_3 /Hastelloy 구조를 유지하고 있었으나 일부 영역에서는 Fig. 6의 (b)와 같이 두께 약 200nm, 폭 $1\mu m$ 정도로 큰 크기의 불순물들을 관찰할 수 있었다. 그 불순물 위로 GdBCO/STO의 층이 증착되어 있었는데, 이는 IBAD 기판을 제조한 기판과 GdBCO/STO의 층을 증착시킨 기판이 달랐으므로, 운송과정이나 취급과정 중에 불순물이 첨가된 것으로 추정된다. 또한 STO층의 (220) FWHM값은 18° 로 분석이 되었지만 TEM 사진상에서는 입자들의 방향이 Fig. 7과 같이 방향이 많은 차이를 보였고, SAD 패턴은 splitted spots으로 나타났다.

Fig. 8은 Fig. 7과 같은 조건으로 실험한 것으로 Hastelloy위에 Ni이 고온에서 확산되는 것을 방지하기 위하여 Al_2O_3 가 증착되었고, 그 위에 IBAD-MgO와의 lattice match를 높이기 위해서 Y_2O_3 박막이 증착되었다. 이러한 Y_2O_3/Al_2O_3 /Hastelloy구조의 테이프를 기판으로 이용하여 IBAD 공정으로 MgO 박막이 증착되었다.

Fig. 9에서는 테이프의 길이방향으로 불연속적인 계면이 존재하였는데, 이는 제조과정 중에 형성된 것으로 추정된다.

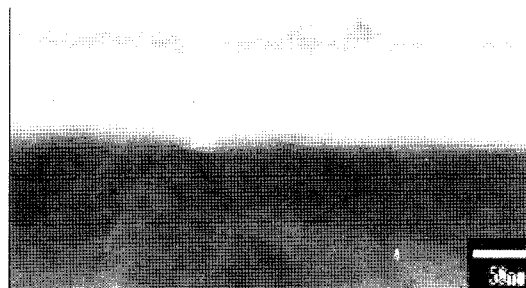
Fig. 6. Cross-section TEM bright field image of GdBCO-CC on IBAD substrate. a) general morphology, b) impurity phase on the Y_2O_3 buffer layer on which further buffer layer deposited, c) enlarged view of a), and d) dislocation along the grain boundary in the STO buffer layer.



Fig. 7. TEM bright field image of STO buffer layer region in IBAD specimen (at 500K mag.), showing relatively wide distribution of the crystallographic direction.



(a)

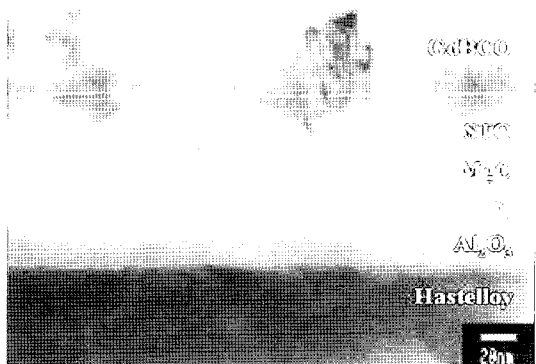


(b)

Fig. 9. Cross-section TEM bright field image of $Y_2O_3/Al_2O_3/Hastelloy$. (a) general morphology, (b) crack along the film thickness direction.



(a)



(b)

Fig. 8. Cross-section TEM bright field image of GdBCO-CC on IBAD substrate. (a) general morphology, (b) enlarged view of (a).

4. 결 론

서로 다른 기계적 강도를 가지는 다층박막으로 구성된 Y(Gd)BCO CC의 TEM분석을 위하여 tripod polishing을 이용하여 시편을 제작하였고, RABiTS 기판 혹은 IBAD기판으로 제조된 Y(Gd)BCO CC의 단면을 관찰하였다. Dimpling과 Ar-ion milling을 이용하는 관찰이 가능한 시편을 제조하기가 불가능하였으나, FIB를 이용하지 않고 tripod polishing만으로도 전자비임이 투과할 수 있는 얇은 영역을 충분히 얻을 수 있었다. IBAD시편에서는 Homo epi-MgO / IBAD-MgO / Y_2O_3 / Al_2O_3 / Hastelloy 층위에 불순물이 존재하고 그 위에 STO/GdBCO 층이 PLD방법에 의해서 증착된 것이 관찰되었다. 이러한 결함은 전체적으로 초전도 선재의 특성을 열화시키는 원인으로 작용할 것으로 추정된다. STEM을 이용한 2차상이나 불순물의 조성분석과 HREM을 이용한 계면의 분석은 현재 진행 중이다.

감사의 글

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

참고 문헌

[1] P.N.Arendt, S.R.Foltyn, L.Civale, R.F. Depaula, P.C.Dowden, J.R.Groves, T.G. Holesinger, Q.X.Jia, S.Kreiskott, L.Stan, I.Usov, H.Wang, J.Y.Coulter, "High critical current YBCO coated conductors based on IBAD MgO", Physica C, 412-414, 795-800, 2004.

[2] A.Goyal, D.F.Lee, F.A.List, E.D.Specht, R.Feenstra, M.Paranthaman, X.Cui, S.W.Lu, P.M.Martin, D.M.Kroeger, D.K.Christen, B.W.Kang, D.P.Norton, C.Park, D.T.Verebelyi, J.R.Thompson, R.K.Williams, T.Aytug, C.Cantoni, "Recent progress in the fabrication of high-Jc tapes by epitaxial deposition of YBCO on RABiTS", Physica C, 357-360, 903-913, 2001.

[3] Bravman JC, Schinclair R "Mechanical polishing to submicron thickness for extensive thin area in heterogeneous samples", J Electron Microscopy Technology 1, 53-57, 1984.

[4] T.Kato, T.Araki, T.Yuasa, Y.Iijima, T.Saitoh, T.Hirayama, Y.Yamada, I.Hirabayashi, "Microstructure of TFA-MOD superconductor film on metal tape", Physica C, 378-381, 1028-1032, 2002.

[5] J.P.Benedict, S.J.Klepeis, W.G.Vandygrift, R.Anderson, "A Methode for precision specimen preparation for both SEM and TEM analysis", EMSA bulletin 19.2, 74-79, 1989.

[6] D.D.Dawson-Elli, M.A.Turowski, T.F.Kelly, Y.W.Kim, N.A.Zreiba, Z.Mei, "Specimen preparation for transmission electron microscopy of materials", Mat Res Soc Symposium Proceedings 199, 75-84, 1990.

[7] Hao Li, L. Salamanca-Riba, "The concept of high angle wedge polishing and thickness monitoring in TEM sample preparation", Ultramicroscopy, 88, 171-178, 2001.

[8] J. Chen, D.G.Ivey, "Preparation of metallized GaN/sapphire cross sections for TEM analysis using wedge polishing", Micron, 33, 489-492, 2002.

[9] P.M. Voyles, J.L. Grazul, D.A. Muller, "Imaging individual atoms inside crystals with ADF-STEM", Ultramicroscopy 96, 251-273, 2003.

저자 소개



최순미(崔順美)

1982년 9월 30일생, 2005년 경상대 공대 세라믹공학과 졸업, 현재 동대학원 세라믹공학과 석사과정.



정준기(鄭俊基)

1969년 11월 29일생, 1995년 경상대 무기 재료공학과 졸업, 1997년 동 대학원 무기 재료공학과 졸업(공학석사), 2002년 동대학원 무기재료공학과 졸업(공학박사), 현재 창원대학교 산업기술연구원 연구교수.



유상임(劉相任)

1959년 10월 10일생, 1982년 서울대 대학원 무기재료공과 졸업, 1984년 동 대학원 무기재료공과 졸업(공학석사), 1992년 Iowa State University 졸업(공학박사), 현재 서울대 재료공학부 부교수.



박찬(朴燦)

1964년 4월 30일생, 1986년 서울대 대학원 무기재료공과 졸업, 1988년 서울대 대학원 무기재료공과 졸업(공학석사), 1996년 New York State College of Ceramics at Alfred University 졸업(공학박사), 현재 서울대 재료공학부 부교수.



오상수(吳詳秀)

1959년 11월 1일생, 1982년 경북대 금속공학과 학사졸업, 1989년 일본 Kyoto대학 재료공학과 졸업(공학석사), 1992년 일본 Kyoto대학 재료공학과 공학박사, 현재 한국전기연구원 책임연구원, 초전도 재료연구그룹 그룹장.



김철진(金哲珍)

1955년 5월 20일생, 1979년 서울대 대학원 무기재료공과 졸업, 1981년 서울대 대학원 무기재료공과 졸업(공학석사), 1991년 Case Western Reserve University 졸업(공학박사), 현재 경상대 세라믹공학과 교수.