

## {110}<110> 집합조직을 가지는 YBCO 박막 선재용 Ag Substrate 개발

### Development of {110}<110> Textured Ag Substrate for YBCO Coated Conductors

임준형<sup>1</sup>, 김정호<sup>1</sup>, 지봉기<sup>2</sup>, 장석현<sup>1</sup>, 김규태<sup>1</sup>, 주진호<sup>1,a</sup>, 김찬중<sup>2</sup>, 홍계원<sup>3</sup>  
(Jun Hyung Lim<sup>1</sup>, Jung Ho Kim<sup>1</sup>, Bong Ki Ji<sup>2</sup>, Seok Hern Jang<sup>1</sup>, Kyu Tae Kim<sup>1</sup>, Jin Ho Joo<sup>1,a</sup>,  
Chan Joong Kim<sup>2</sup>, and Gye Won Hong<sup>3</sup>)

#### Abstract

We fabricated textured Ag substrates for YBCO coated conductor and evaluated the effects of annealing temperature on microstructural evolution, texture formation, and surface morphology. Ag ingot, as an initial specimen, was prepared by plasma arc melting(PAM). Subsequently, the ingot was cold rolled to 100 μm thick tape and annealed at temperatures of 600-800°C. The texture and surface morphology of the substrate were characterized by pole-figure and atomic force microscopy(AFM) profile, respectively.

It was observed that a strong {110}<110> texture was formed after annealing and its symmetry improved as annealing temperature increased. The full-width at half-maximum(FWHM) of {110}<110> pole was as sharp as 10° for the substrate annealed at 800°C. On the other hand, it was found that the thermal grooving and faceting became remarkable as annealing temperature increased : root-mean-square(RMS) roughness of the substrate annealed at 800°C was 39.2 nm. The substrate of strong texture and smooth surface, fabricated in our study, is considered to be suitable for use as a substrate for the epitaxial deposition of superconductor film.

**Key Words** : Texture, Annealing, Thermal grooving, Substrate, YBCO coated conductor

#### 1. 서론

YBCO 선재는 고자장 하에서 임계전류밀도의 감소가 BSCCO 선재에 비해 작으므로 전력 기기로서의 응용이 용이하다. 높은 임계전류밀도를 갖는 YBCO 박막선재를 제조하기 위해서는 ab 면으로 양측 배향된 substrate에 중간층이나 초전도층을 epitaxial

하게 증착하기 때문에 IBAD(ion beam assisted deposition)[1], ISD(inclined substrate deposition) [2] 그리고 RABiTS(rolling assisted biaxially textured substrate)[3,4]와 같은 다양한 방법으로 장선재료의 연구가 진행되고 있다. 위에 나열한 방법들 중, 나결정 금속을 냉간압연과 재결정 열처리를 통해 배향성을 가지게 하는 RABiTS 법은 상압에서 진행되며 상대적으로 다른 공정법에 비해 경제적이다. 최근에는 YBCO 박막 선재에서 임계전류밀도가 1 MA/cm<sup>2</sup>(at 77 K, 0 T)이상의 선재제조가 가능하다는 연구 결과가 보고 되고 있다[4,5].

Substrate로 적용하기 위해서는 단일 집합조직을 형성하여야 하며, 증착 물질과의 격자상수의 불일치도와 열팽창계수 등의 차이가 작아야 한다. 이

1 : 성균관대학교 신소재공학과  
(경기도 수원시 장안구 천천동 300,  
Fax : 031-290-7371

a : Corresponding Author : jinho@skku.edu)

2 : 한국원자력연구소 원자력재료기술개발팀

3 : 한국산업기술대학교 전기공학과

2003년 4월 1일 접수, 2003년 7월 15일 1차 심사완료,  
2003년 8월 20일 최종 심사완료

런 요구 조건을 만족시키는 급속으로는 강한 집합 조직을 가지는 Ni와 Ni계 합금이 광범위하게 사용되어지고 있다. 그러나 강자성의 특성을 제어하기 어렵고 초전도 상과의 화학적 불안정성 등의 단점으로 인해 많은 중간층을 증착하여야 하는 단점이 있다[6,7].

반면에 Ag는 초전도 상과 화학적으로 안정하여 중간층의 증착이 필요하지 않는 장점이 있으며, Budai 그룹이 Ag substrate 위에 YBCO층을 성공적으로 증착한 이후 새로운 substrate 재료로서 인식되고 있다[8,9]. Ag는 낮은 적층 결합에너지를 갖는 FCC계 급속이다. 그러므로 나결정 Ni에 비해 Ag는 강한 단일 집합조직을 형성시키는 것이 어렵다. 앞선 연구들에 의하면 압연과 재결정 열처리 공정을 통해서 일반적으로 혼재된 {110}<uvw> 집합조직이 형성된다고 보고 되었다. 최근에 여러 연구 그룹에서 유사한 공정으로 제조한 Ag substrate에서 {110}<112>, {110}<110>, {100}<001>와 같은 각각 상이한 단일 집합조직이 형성되어 결과가 서로 다르게 나타났나[10-14]. 또한 압연 조건과 열처리 조건이 집합조직과 미세조직, 표면 조도에 미치는 영향에 대한 연구가 체계적으로 이루어지지 않고 있다.

그러므로 본 연구에서는 열처리 조건과 집합조직, 결정립의 형상, 표면 조도 간의 상관관계를 살펴보았다. 초기 시편은 plasma arc melting(PAM) 공정으로 제조하였으며 압연과 600-800℃ 범위에서의 열처리 공정을 통하여 substrate를 제조한 후, 열기계적 공정에 의해 미세 조직과 집합조직의 형성 정도를 연구하였다.

## 2. 실험 방법

봉재 형태의 초기 시편 제조를 위해 chip 형태의 순도 99.9% Ag를 plasma arc furnace를 이용하여  $1 \times 10^3$  torr의 감압 분위기에서 용융시켰다. 냉각 동안의 columnar나 dendrite 주조 조직의 형성을 억제하기 위하여 본 실험실에서 제조한 냉각 시스템을 이용하여 급랭하였다. 제조된 Ag 봉은 2-roll 압연기를 이용하여 냉간 압연하였으며 균일한 변형을 유도하기 위해 양방향 인장력을 가하였다. 이때 압연 속도는 15 rpm으로 유지하였고 단계별 감소율 10% 이하로 제어하였으며 최종 감소율 99.2%로 압연하였다. 냉간 압연된 tape 형태의 Ag substrate는 2 cm로 절단하여 tube 로에서 600℃에서 800℃까지 다양한 온도 범위에서 유지시간 30분, 승온, 냉각속도 100℃/h로 재결정 열처리를

하였다. 이때 시편의 표면 산화를 억제하기 위해  $1 \times 10^3$  torr의 감압 분위기로 재결정 열처리를 진행하였다.

열기계적 공정에 의해 제조된 Ag substrate의 미세조직 분석을 위해 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, XL-30, ESEM-FEG)을 이용하여 관찰하였으며 표면 조도는 AFM(atomic force microscopy)을 이용하여 측정하였다. 집합조직은 X-선 goniometer(BRUKER-AXS, D5005)를 이용하여 극점도로 평가하였다. 파장이 1.788965 Å인 Co-ka1 선을 사용했으며, 시료의 크기는 1.0×1.0 mm<sup>2</sup>이고,  $\omega$ 는 0~75°,  $\phi$ 는 0~360° 범위에서 5° 간격으로 유지시간 1초로 하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 Ag 주조체에서 길이 방향의 단면 광학현미경 사진이다. 미세조직이 균일하며 용융 후 급냉한 시편은 냉각 동안 주조조직(columnar 또는 dendrite)의 형성과 결정립 성장이 억제되었음을 보여주는데 이는 용융 후 충분히 빠른 속도로 급냉한 결과로 판단된다. 일반적으로 주조체가 가지는 전형적인 columnar 조직이나 표면에서 중심부로 형성되는 dendrite 조직은 압연이나 열처리 동안 집합조직 형성을 방해하게 된다. 따라서 균일하고 미세한 등축정이 형성된 주조체는 substrate에서 강한 집합조직을 형성시키는데 적합할 것으로 사료된다.

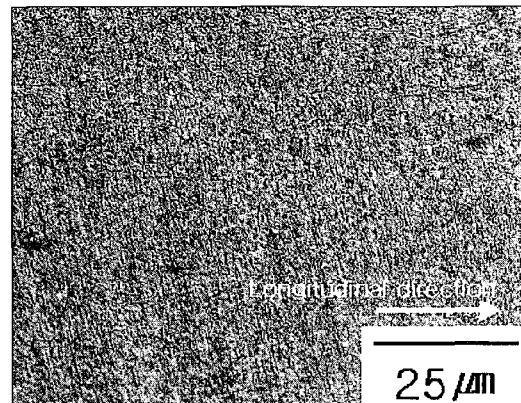


그림 1. Ag 초기 시편의 길이 방향 단면 SEM 미세조직.

Fig. 1. SEM micrograph of longitudinal cross section of Ag ingot.

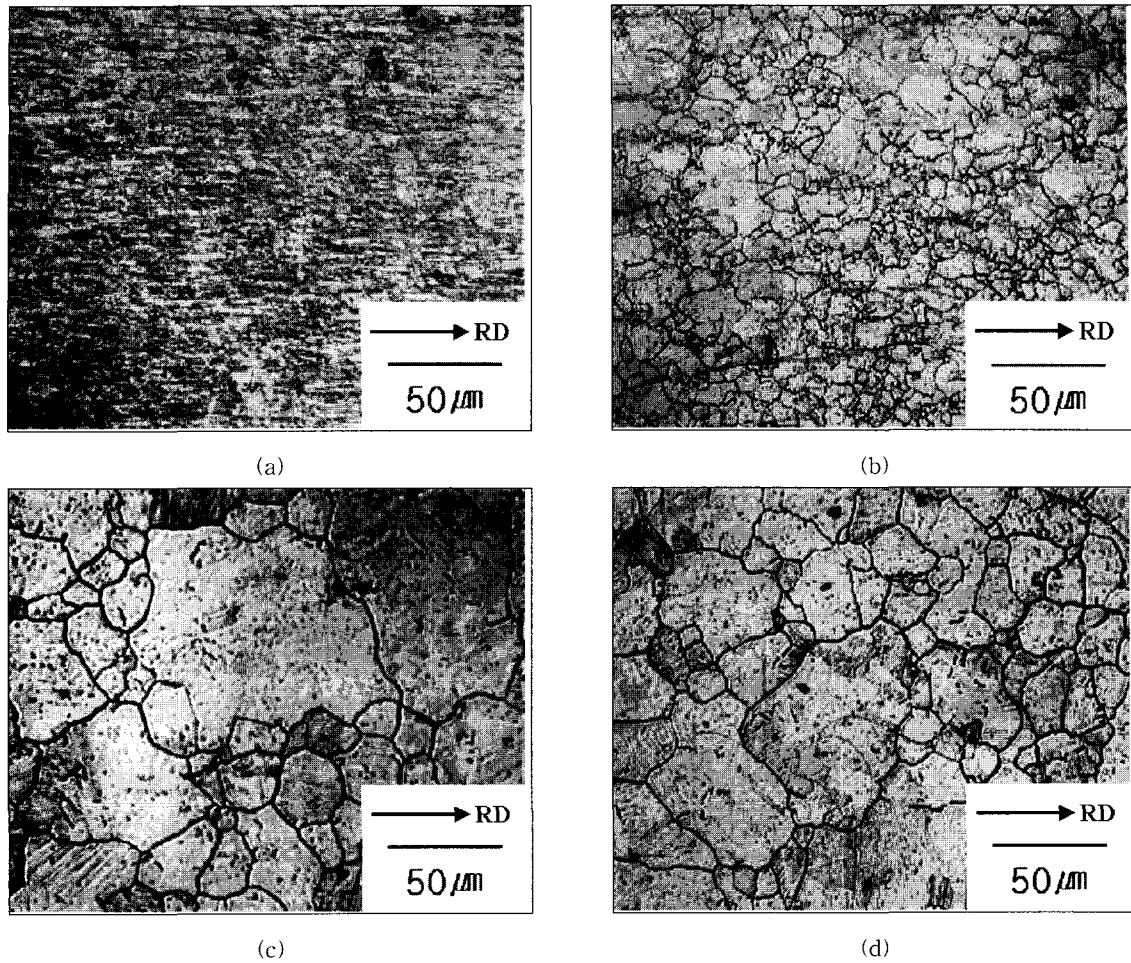


그림 2. (a) 압연한 시편, (b) 600°C, (c) 750°C, 그리고 (d) 800°C에서 재결정 열처리한 시편의 ab면에서의 미세조직.

Fig. 2. Optical micrographs of top view of (a) rolled substrate, and substrates annealed at (b) 600°C, (c) 750°C and (d) 800°C.

그림 2는 (a) 압연 시편, (b) 600°C, (c) 750°C 그리고 (d) 800°C로 열처리한 substrate의 ab면(top view)에서의 광학현미경 사진이다. 그림 2(a)는 압연 방향으로 평행하게 연신된 결정립과 변형띠가 관찰되며, 일반적으로 변형띠는 집합조직 형성에 있어 핵생성 부분으로 작용한다고 알려져 있다[16]. 이러한 관점에서 보았을 때 substrate에 있어 균일하고 압연 방향에 평행한 변형띠는 재결정 열처리 동안 균일하고 강한 집합조직이 형성되는데 유리하게 작용할 것이다. 그림 2(b)와 (c) 그리고 (d)는 열처리 후의 재결정된 미세조직을 보여주고 있다. 재결정 열처리 온도가 증가할수록 결정립의 크기는

증가하는 것을 알 수 있다. 평균 결정립 크기는 600°C와 750°C 그리고 800°C substrate에 있어 각각 8.6 μm, 18.4 μm 그리고 23.7 μm로 측정되었다. 또한 재결정 열처리 온도가 800°C인 substrate에서는 결정립 크기의 불균일도가 증가하였으며 annealing 쌍정이 관찰되었는데 이는 단일 집합조직 형성에 악영향을 미치는 것으로 사료된다[15].

재결정 열처리 온도와 집합조직 간의 상관관계를 살펴보기 위해 (a) 압연한 substrate와 (b) 600°C, (c) 750°C 그리고 (d) 800°C에서 재결정 열처리 한 substrate의 (111) XRD pole figure를 그림 3에 나타내었다. 전반적으로 모든 시편에서 pole의 대칭

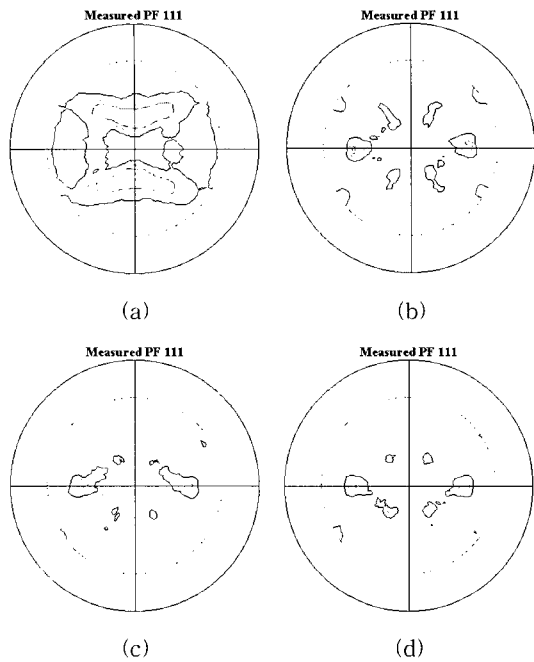


그림 3. (a) 압연한 시편, (b) 600°C, (c) 750°C 그리고 (d) 800°C에서 열처리한 시편의 (111) 극점도.

Fig. 3. (111) XRD pole-figures of (a) rolled substrate, and substrates annealed at (b) 600°C, (c) 750°C and (d) 800°C.

성이 우수하게 나타나며, 이는 압연 공정 시 시편에 일정한 인장력을 가하여 시편의 전 영역이 균일하게 변형된 결과로 판단된다. 압연한 substrate에서는 FCC 금속을 압연할 때 나타나는 전형적인 brass 변형 집합조직이 형성되었음을 관찰할 수 있다[16]. 그림 3 (b), (c) 그리고 (d)는 재결정 열처리 후의 극점도로서 {110}<110> 집합조직(major texture)이 강하게 나타나며 또한 극부영역에서 약한 {110}<112>집합조직(minor texture)이 혼재되어 있음을 알 수 있다. 600°C에서 열처리한 시편의 경우에는 압연 공정 동안 형성된 brass 변형 집합조직이 열처리 후에도 잔존함으로 인해 {110}<112> 집합조직이 잔류하는 것으로 판단되어 진다. 반면에 750°C에서 열처리한 시편의 경우에는 600°C에서 열처리한 시편에 비해 {110}<110> 집합조직이 강하게 발달하고 {110}<112> 집합조직은 상대적으로 약해짐을 알 수 있다. 열처리 온도가 증가할수록 {110}<110> 집합조직은 다른 집합조직에 비해 우세하게 발달함을 알 수 있었다[11,13].

이는 집합조직 형성 시 온도가 상승함에 따라 {110}<110>를 가진 결정립이 주변에 소량 남아 있는 {110}<112>를 가진 결정립보다 우선 성장하여 이러한 현상이 발생하는 것으로 사료된다. 열처리 온도가 800°C까지 증가함에 따라 {110}<110> 집합조직의 (110)극의 대칭성은 더욱 향상되었고 또한 {110}<112> 집합조직도 약간 증가하는 경향을 보였다. {110}<112> 집합조직은 Ag에 있어서 annealing 쌍정이 발생함으로 인해 증가될 수 있으므로[11], 그림 1(d)에서 관찰된 annealing 쌍정의 형성과 연관이 있는 것으로 사료된다.

극점도로부터 (110) 극의 반가폭을 측정하였으며, 600°C에서 열처리한 substrate의 반가폭은 12.8°, 750°C 시편은 10.1° 그리고 800°C 시편은 10.8°로서 700-800°C에서 집합도의 정도가 더 우수하게 발달함을 알 수 있었다. 일반적으로 Ag는 압연과 재결정 열처리 공정을 통하여 다양한 {110}<uvw> 집합조직이 형성되는데 Wang 그룹[10]은 {110}<112>, Suo 그룹[11]은 {100}<001>, Wells 그룹[13]은 {110}<110> 집합조직이 형성되었음을 보고하였다. 본 연구에서는 {110}<110> 집합조직이 형성된 것으로 관찰되며 이는 Wells 그룹의 결과와 일치한다. 그러나 다양한 열기계적 공정 변수 제어를 통한 Ag 집합조직과 그 형성 기구에 관한 자세한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

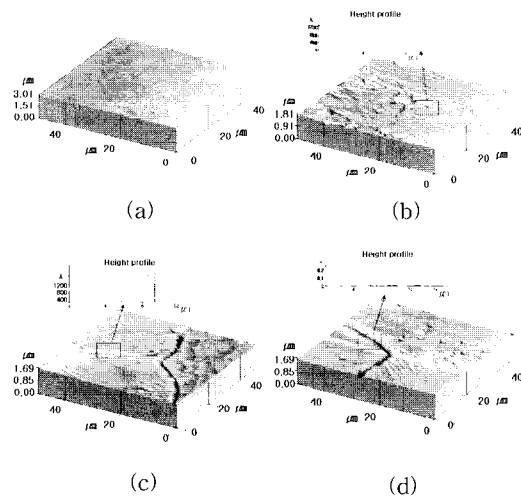


그림 4. (a) 압연한 시편, (b) 600°C, (c) 750°C 그리고 (d) 800°C에서 열처리한 시편의 표면조도.

Fig. 4. AFM profiles showing surface morphology of (a) rolled substrate, and substrates annealed at (b) 600°C, (c) 750°C and (d) 800°C.

그림 4는 substrate의  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  영역의 AFM (atomic force microscope) image이다. 그림 4 (a)는 재결정 열처리 전의 시편, (b-d)는 각각 재결정 열처리 온도  $600^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$ 인 시편의 표면을 나타내고 있다. 표면 조도의 상대적인 평가를 위해 (c)와 (d)의 substrate에서 결정립의 크기가 AFM 측정 범위와 유사한 경우 triple junction을 포함한 영역을 측정하였다. 표면 연마를 하지 않은 압연 substrate의 표면 조도는 RMS roughness가  $20.9 \text{ nm}$ 로 측정이 되었다. 이는 초기 압연 시 불순물의 혼입을 최소화하였고, 압연 풀의 표면이 미려하기 때문에 사료된다.  $600^\circ\text{C}$ ,  $750^\circ\text{C}$ , 그리고  $800^\circ\text{C}$ 에서 열처리한 substrate의 표면 조도는 각각  $48.0$ ,  $46.5$  그리고  $39.2 \text{ nm}$ 로 측정되었는데 이는 기존의 타 연구의 결과에 비해 우수한 표면 조도를 가지는 것으로 판단된다[11,15]. 재결정 열처리를 한 substrate의 경우 압연 substrate에 비해 약 2배정도 표면 조도가 증가하였는데 이는 열처리 동안 원자의 표면 확산에 의한 결정립의 thermal grooving 현상과 연관이 있는 것으로 사료된다.  $600^\circ\text{C}$ 의 substrate인 경우 RMS roughness가 높은 값을 갖는 이유는 결정립의 크기가 작아서 많은 결정립계(grain boundary)가 측정 영역에 포함되기 때문에 사료된다.  $800^\circ\text{C}$ 의 substrate인 경우에는 오히려 감소하는 결과를 보이는데 이는 결정립 성장으로 인하여 측정 범위에서 결정립계 영역이 감소하기 때문으로 판단된다.

각 substrate에 있어 결정립계의 폭과 깊이를 그림 4에 같이 나타내었다.  $600^\circ\text{C}$ 에서 열처리한 시편의 경우 평균적인 결정립계의 폭은  $1.76 \mu\text{m}$ , 깊이는  $0.083 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 이러한 값은 열처리 온도가 증가할수록 급격히 증가하는 양상을 보이는데,  $750^\circ\text{C}$ 의 시편은 폭과 깊이가 각각  $3.47 \mu\text{m}$ ,  $0.26 \mu\text{m}$  이었고,  $800^\circ\text{C}$ 이 시편인 경우에는  $4.48 \mu\text{m}$ ,  $0.27 \mu\text{m}$ 로 측정되어 thermal grooving이 급격히 발달함을 알 수 있다. 일반적으로 thermal grooving은 열처리 온도나 시간이 증가할수록 발달하는 것으로 알려져 있는데[11,15] 이러한 thermal grooving은 초전도나 중간층 증착 시 균일한 막 형성을 저해하고 또한 초전도 박막에 있어 weak-link로 작용하여 국부적인 임계전류밀도의 저하를 초래한다.

그림 5는 재결정 열처리 온도에 따른 (a) 결정립의 크기와 (b) 결정립계의 폭과 깊이를 image analyzer와 AFM profile을 사용하여 측정하였다.

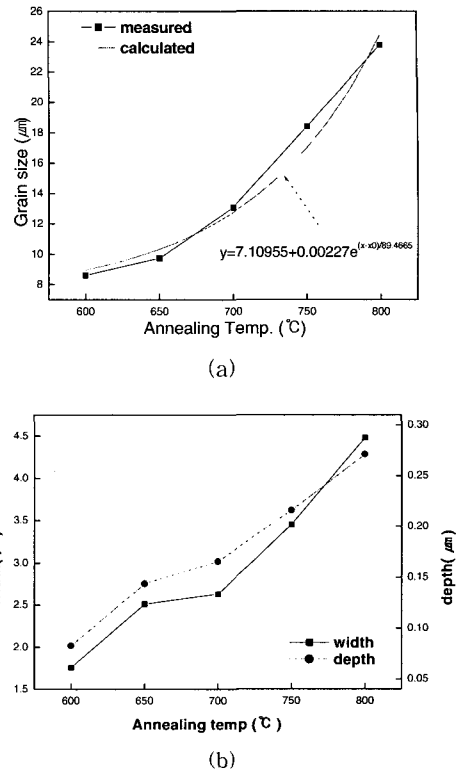


그림 5. 재결정 열처리 온도에 따른 (a) 결정립 크기와 (b) 결정립계의 폭과 너비의 관계.  
 Fig. 5. Variations of (a) grain size and (b) width and depth of grain boundary with annealing temperature.

그림 5(a)에서 결정립의 크기는 열처리 온도가 증가할수록 지수 함수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 그림 2의 미세조직 사진과도 일치하는 결과이며 측정값과 지수함수 곡선과의 유사성을 나타내었다. 그리고 그림 5(b)는 결정립계의 폭과 깊이의 변화를 나타내며 열처리 온도에 따라 폭과 깊이의 변화 정도가 유사하게 나타났다.  $650^\circ\text{C}$ 에서  $700^\circ\text{C}$ 의 구간에서 큰 변화가 나타나지 않았으나 전반적으로  $600\text{--}800^\circ\text{C}$ 의 온도 영역에서 결정립계의 폭과 깊이는 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그러므로 재결정 열처리 온도에 따른 원자의 확산이 결정립계의 이동과 thermal grooving의 주요 기구임을 간접적으로 알 수 있는 결과이나 이들의 열처리 온도 의존성의 정도는 각각 상이함을 알 수 있었다.

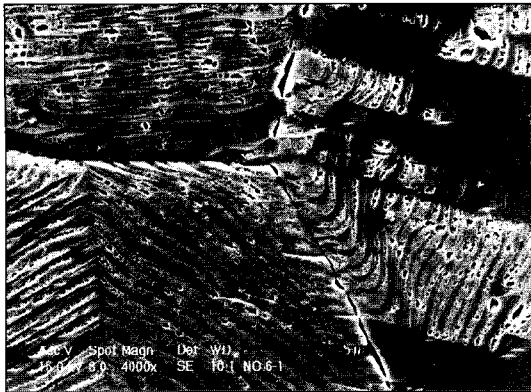


그림 6. 800°C에서 열처리한 시편의 facet과 쌍정의 SEM 미세조직.

Fig. 6. SEM micrograph showing the facet and twin on the substrate annealed at 800°C (magnification of 4,000).

그림 6은 800°C에서 재결정 열처리한 substrate의 표면에 있어 결정립의 내부에 facet과 annealing 쌍정이 나타난 것을 보여주고 있다. 이러한 facet의 형상은 여러 가지 원인에 의해 발생할 수 있는데 Stranski-Krastanov type 기구[17]와 연관이 있는 것으로 사료된다. 즉 내부의 Ag 원자들이 열처리 시 표면으로 이동하고 또한 폭발적으로 step이나 kink step과 결합하여 표면에 요철 등이 발생하는 기구에 의해 이러한 facet이 형성되는 것으로 추측된다. 표면에서 형성되는 thermal grooving이나 facet 그리고 annealing 쌍정 등과 같은 결합들은 앞서 언급하였듯이 초전도 박막의 강한 집합조직 형성을 저해하는 요인으로 작용할 것이다. 본 연구에서는 600°C부터 800°C까지 열처리 온도를 증가시키기에 따라 substrate의 집합조직은 발달하였으나 thermal grooving이나 facet과 같은 표면 결합들 또한 증가하였다. 초전도 박막용 substrate는 강한 집합조직, 우수한 표면 조도 등을 가져야 하기 때문에 700-800°C의 온도 범위에서 열처리 온도와 시간 공정변수를 세분화하여 최적 조건을 확립하여야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

열처리 온도 조건이 집합조직, 결정립의 형상, 표면 조도에 미치는 상관관계에 대한 연구를 하였다. 초기 시편은 plasma arc melting법으로 용융시

켰으며 급랭을 통하여 미세한 등축형상의 결정립을 형성시켰다. 그리고 연속적인 냉간압연을 하였으며 600°C-800°C범위에서 재결정 열처리를 행하였다. Pole-figure 분석 결과 pole의 대칭성이 우수하게 나타났으며 {110}<110>집합조직이 형성되었다. 재결정 열처리 온도가 증가함에 따라 {110}<110>집합조직이 향상되었으며 800°C에서 재결정 열처리한 시편에서 반가폭 10° 내외의 우수한 집합조직이 형성되었다.

AFM을 이용한 표면 조도의 측정을 통해 substrate의 표면 조도를 분석한 결과 미려한 표면을 가지는 것으로 판단되며 800°C시편에서 RMS roughness가 39.2 nm로 측정되었다. 그러나 열처리 온도가 증가할수록 thermal grooving과 faceting은 현저히 증가하는 것으로 나타났으며 800°C substrate에서는 결정립계의 폭과 깊이가 각각 4.48 μm, 0.271 μm로 측정되었다. Thermal grooving과 faceting의 존재는 중간층과 초전도박막의 균일한 증착을 저해하며 또한 weak-link로 작용하여 임계전류밀도의 감소를 초래할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제조된 Ag substrate는 기존의 연구 결과에 비해 반가폭 10° 내외의 강한 집합조직을 형성시켰으며 표면 조도도 우수하므로 초전도 박막용 substrate로의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] X. D. Wu, "Properties of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> thick films on flexible buffered metallic substrates", Appl. Phys. Lett., 67, p. 2397, 1995.
- [2] K. Hasegawa, "Biaxially aligned YBCO film tapes fabricated by all pulsed laser deposition", Appl. Supercond., 4, p. 487, 1996.
- [3] A. Goyal, "Fabrication of long range, biaxially textured high temperature superconducting tapes", Appl. Phys. Lett., 67, p. 1795, 1996.
- [4] A. Goyal, S. X. Ren, E. D. specht, D. M.

- kroeger, R. feenstra, D. Norton, M. paranthaman, D. F. Lee, and D. K. Christen, "Texture formation and grain boundary networks in rolling assisted biaxially textured substrates and in epitaxial YBCO films on such substrates", *Micron*, 30, p. 463, 1999.
- [5] E. D. Specht, A. Goyal, D. F. Lee, F. A. List, D. M. kroeger, M. paranthaman, R. K. Williams, and D. K. Christen, "Cube-textured nickel substrates for high-temperature superconductors", *Supercond. Sci. Technol.*, 11, p. 945, 1998.
- [6] B. De Boer, T. G. Eickemeyer, N. Reger, L. Fernandez G. R., J. Ritcher, B. holzpfel, L. Schultz, W. Prusseit, and Berberich, "Cube textured nickel alloy tapes as substrates for  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  coated conductors", *Acta Mater.*, 49, p. 1421, 2001
- [7] D. P. Norton, C. Park, C. Prouteau, D. K. Christen, M. F. Chisholm, J. D. Budai, S. J. Pennycook, A. Goyal, E. Y. Sun, D. F. Lee, D. M. Kroeger, E. Specht, M. Paranthaman, and N. D. Browning, "Epitaxial  $YBa_2Cu_3O_7$  films on rolled-textured metals for high-temperature superconducting application", *Materials Science and Engineering*, B56, p. 86, 1998.
- [8] Budai J. D, Young R T, and Chao B S, "In-plane epitaxial alignment of  $Ba_2Cu_3O_{7-x}$  films grown on silver crystals and buffer layers", *Appl. Phys. Lett.*, 62, p. 1836, 1993.
- [9] Yusuke Niiori, Yasuji Yamada, Izumi Hirabayashi, Tetsuo Fujiwara, and Kazutoshiyama, "In-plane aligned  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  film on the MgO buffered Ag (100) substrate and {100}[001] cubic textured silver tape", *Physica C*, 301, p. 104, 1998.
- [10] Rongping Wang, Yueliang Zhou, Shaohua Pan, Meng He, Zhenghao Chen, and Guozhen Yang, "A new direct process to prepare  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  films on biaxially textured Ag {110}<211>", *Physica C*, 328, p. 37, 1999.
- [11] HongLi Suo, Jean-Yves Genoud, Michael Schindl, Eric Walker, Thomas Tybell, Francois Cl'eton, Meiling Zhou, and Rene Flukiger, "Stable {110}<112> textured Ag ribbons for biaxially - aligned  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ", *Supercond. Sci Technol.*, 13, p. 912, 2000.
- [12] T A Gladstone, J C Moore, B M Henry, S Speller, C J Salter, A J Wilkinson, and C R M Grovenor, "Control of texture in Ag and Ag-alloy substrates for superconducting tapes", *Supercond. Sci Technol.*, 13, p. 1399, 2000.
- [13] J. J. Wells, J. L. MacManus Driscoll, J. Y. Genoud, H. L. Suo, E. Walker, and R. Flukiger, "{110}<110> textured Ag ribbons for biaxially aligned  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  coated conductor tapes," *Supercond. Sci Technol.*, 13, p. 1390, 2000.
- [14] Danmin Liu, Meiling Zhou, Yancao Hu, and Tiejong Zuo, "A study on textured silver tapes used as substrates for YBCO high temperature superconductors", *Physica C*, 333, p. 235, 2000.
- [15] Jean-Yves Genoud, Hong Li Suo, Michael Schindl, Emilio Bellingeri, Thomas Tybell, Eric Walker, and Rene Flukiger, "Preparation of {110} textured Ag ribbons for biaxially aligned superconducting tapes", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 11, No. 1, p. 3371, 2001.
- [16] R. D. Doherty, D. A. Hughes, F. J. Humphreys, J. J. Jonas, D. Juul Jensen, M. E. Kassner, W. E. King, T. R. Mcnelley, H. J. Mcqueen, and A. D. Rollett, "Current issues in recrystallization", *Materials Science and Engineering A*, 238, p. 219, 1997.
- [17] Anton J. Nagy, G. Mestl, D. Herein, G. Weinberg, E. Kitzelmann, and R. Schlogl, "The correlation of subsurface oxygen diffusion with variations of silver morphology in the silver-oxygen system", *Journal of Catalysis*, 182, p. 417, 1999.