# MOCVD 공정으로 IBAD 템플릿 위에 제조된 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 박막

## $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ films fabricated on IBAD templates by MOCVD process

전병혁*, 최준규**, 김호진***, 김찬중*

Byung-Hyuk Jun*, Jun-Kyu Choi**, Ho-Jin Kim*** and Chan-Joong Kim*

**Abstract**: Deposition condition of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) films on moving IBAD templates ($CeO_2$ /IBAD-YSZ/SS) was studied in a hot-wall type metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) process using single liquid source. The reel velocity was 40 cm/hr and the source mole ratios of $Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ were 1:2.3:3.1 and 1:2.1:2.9. Two different types of IBAD templates with thin $CeO_2$ and thick $CeO_2$ layers were used. The YBCO films were successfully deposited at the deposition temperatures of 780~890℃; the a-axis growth was observed together with the c-axis growth up to 830℃, while the c-axis growth became dominant above 830℃. The top surface of the c-axis film was fairly dense and included a small amount of the a-axis growth, although the peaks of the a-axis grains were not observed in XRD pattern. The YBCO film deposited on IBAD template with thin $CeO_2$ layer showed low critical current of 2.5 A/cm-width, while the YBCO film deposited on IBAD template with thick $CeO_2$ layer showed higher critical current of 50 A/cm-width. This result indicates that thick $CeO_2$ layer is thermally more stable than thin $CeO_2$ layer at the high deposition temperature of the MOCVD process.

**Key Words**: single liquid source MOCVD, YBCO film, IBAD template, $CeO_2$ layer.

## 1. 서 론

$YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) 화합물을 사용하여 고온 초전도 (High temperature superconductor, HTS) coated conductors를 개발하려는 연구가 많이 진행되고 있다[1,2]. YBCO coated conductor의 주된 장점은 고 자장하에서 높은 임계 전류 밀도 ($J_c$), 기계적 flexibility 그리고 낮은 AC loss 등이다. YBCO coated conductors 연구의 주된 목표는 YBCO의 pinning properties를 활용하여 고 자장하에서도 작동이 가능한 초전도 선재를 제작하는 것이다. 그러기 위해서는 몇가지 문제를 해결해야 한다. YBCO는 intergranular weak link로 인하여 입계에서의 전류 흐름이 용이하지 않다. 높은 임계 전류 밀도 값을 갖기 위해서는 grain boundary misorientation 각이 수 도 이하로 작아져야 한다. c-축으로 일축 정렬된(uniaxially aligned) YBCO 박막은 다결정 기판위에 쉽게 성장이 되지만 a-b 축으로 어긋난 입계의 존재로 인하여 우수한 초전도체 성질을 얻을 수 없다. 따라서 c-축 뿐만 아니라 a-b 축으로도 정렬된 이축 정렬된(biaxially aligned) YBCO 막의 제조가 필수적이다. 즉 높은 임계 전류 밀도를 갖는 YBCO coated conductors의 주된 포인트는 어떻게 유연한 금속 모재를 사용하여 c-축 및 a-b 축 모두 배향된 집합 조직을 갖는 구조를 실현하느냐 하는 것이다.

YBCO coated conductors를 만드는 대표적인 방법들로 다음 세 가지가 있다. 1) 다결정 금속 모재 위에 인위적인 textured 버퍼층을 입히고 그 위에 YBCO를 진공 기상 상태에서 증착, 2) textured 된 금속 모재 위에 완충층을 입히고, 그 위에 YBCO를 기상 상태에서 증착, 3) 1) 또는 2)에서와 같은 금속 모재 위에 YBCO 층을 비 진공 화학 공정으로 증착하는 방법들이 있다. 1)의 경우, 중간 버퍼층의 제작에는 ion beam asisted deposition(IBAD)[2,3]와 modified biased sputtering(MBS) 그리고 inclined substrate deposition(ISD) 방법들이 이용된다. 이중 IBAD법을 이용한 버퍼층이 대표적이다. 2)의 방법은 금속 모재를 압연, 재 결정화를 통하여 texture를 갖게 하는 방법으로 rolling assisted biaxially textured substrates (RABiTS)[1]으로 불리운다. 위 두가지 방법 모두 이축 정렬된 중간층의 제조법으로 그 위에 YBCO를 증착하는 방법으로는 metal organic chemical vapor deposition(MOCVD) pulse laser deposition(PLD), co-evaporation 법 등이 사용되고 있다. 3)의 경우, 비 진공 공정으로는 liquid-phase epitaxy(LPE)와 metal-organic deposition(MOD)가 있다. 본 논문에서는 1) 방법으로서 stainless steel(SS) 금속 모재 위에 IBAD - yttria-stabilized zirconia(YSZ) 버퍼층을 갖는 템플릿을 사용하여 그 위에 MOCVD 법으로 YBCO 박막을 제조하였다.

MOCVD 법에 의한 박막의 증착은 장비의 단순함과 빠른 증착 속도 그리고 기판의 모양과 크기에 큰 구애를 받지 않는다는 점등이 장점으로 알려져 있다. 반도체 공정과 같은 산업체에서 이미 입증된 바와 같이, 화학 증착법에는 많은 장점을 갖고 있지만 장비와 증착이 되는 물질에 따라 문제점이 발생하기도 한다. YBCO 화학 증착의 경우, 각 원소의 MO 소스 물질로는 모두가 2,2,6,6-tetramethyl-3,5-heptanedionate (tmhd) 계열의 고체 소스를 사용한다. 그런데 예전의 고체 소스를 각각 증발시켜 증착을 하는 경우, 재현성이 좋지 않은 결과를 보였다. 이것은 주로 $Ba(tmhd)_2$에 의한 것으로 소스 자체가 불안정하고 증발이 어렵기 때문이다. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 용매에 고체

* 정 회 원:한국원자력연구소 원자력재료기술개발부
** 비 회 원:한국원자력연구소 원자력재료기술개발부
*** 학생회원:성균관대 신소재공학과 & 원자력연구소
원고접수:2004년 7월 2일
심사완료:2004년 8월 4일

소스들을 함께 녹인 용액을 이용하여 실험의 재현성을 높이는 방법을 채택하였다. MOCVD 법을 이용한 YBCO 박막의 제조가 세계적으로 많지는 않지만 일본, 미국, 유럽 등의 일부 기관에서 연구되고 있다[4-7]. 일본의 경우는 non-textured Ag 기판위에 YBCO 장선재를 제조하고 있으며 미국과 유럽의 경우는 IBAD 또는 RABiTS 템플릿 위에 선재를 제조하고 있다. 미국 IGC-superpower사의 경우 IBAD 버퍼층 모재를 사용하여 MOCVD 법으로 1m급에서 100 A/cm-width 이상의 임계 전류를 보이고 있다. 이들은 모두가 고체 소스를 용매에 녹이는 방식을 채택하고 있으며 단결정 및 템플릿등에 YBCO 박막을 제조하였는데 반응 챔버로의 용매의 유입 여부가 차이점으로 들 수 있다.

본 연구에서는 양질의 YBCO 박막 제조를 위하여 용매가 반응 챔버로 들어가지 않는 hot-wall 형태의 MOCVD 시스템을 이용하여 공정 변수를 확립하고자 하였다. (100) $SrTiO_3$ 단결정 기판을 이용하여 확립된 공정 변수를 바탕으로 이송되는 IBAD 템플릿 위에 YBCO 박막의 증착을 시도하였다. 증착 온도에 따른 상 분석, 표면 및 조성 분석을 행하였고 템플릿 종류에 따른 임계 전류 특성을 비교함으로써 금속 기판내 버퍼층의 중요성을 언급하고자 하였다.

## 2. 실험방법

Fig. 1은 3-zone furnace를 이용하여 제작한 hot-wall 형태의 MOCVD 시스템의 개략도를 보여 주고 있다. 이 시스템은 소스 증발 및 공급을 위한 reel-to-reel 챔버와 박막 증착을 위한 반응 챔버로 구성된다. 반응 챔버에는 기판 이송을 위한 reel-to-reel 챔버가 부착되어 있으며 열처리된 stainless steel 테이프 위에 단선재 템플릿을 Ag paste로 고정시켜 40 cm/hr의 속도로 움직여가며 증착 실험을 행하였다.

단일 액체 원료는 tetrahydrofuran (THF) 용매에 유기 금속 고체 소스를 녹여 만든다. YBCO 증착을 위한 유기 금속 고체 소스로는 $Y(tmhd)_3$, $Ba(tmhd)_2$ 그리고 $Cu(tmhd)_2$가 사용된다. 고체 소스는 수분과 산소에 민감함으로 glove box에서 작업을 해야 하는데 그 안에서 고체 소스들을 정해진 조성 몰 비율로 THF 50 ml에 녹인 후, 유리 섬유 테이프를 넣어 용액이 유리 섬유에 흡수되도록 만든다. 이와 같이 만들어진 섬유 테이프를 원료 공급 reel-to-reel 챔버에 장착시킨 후 진공을 뽑으면서 섬유 테이프를 이동시켜가며 우선 용매 THF를 날려버린다. (반응 챔버와 소스 릴 챔버 사이의 운반 라인에 그림에서와 같이 고온용 차단 밸브가 있으므로 용매 휘발시 반응 챔버의 오염은 없다) 그 다음, 증발 부위를 300℃로 가열하고 반응 챔버로 가는 라인을 320℃로 맞추어 15 cm/min의 일정 선 속도로 테이프를 이송시키면 테이프에 붙어있던 고체 소스의 증발이 일어나 고순도 Ar carrier 가스와 함께 반응 챔버로 들어가게 된다. 이때 운반 라인 중간 부근에 T 자 형태로 산소 라인과 만나 반응 챔버에 함께 들어가 화학 반응이 일어나게 된다.

금속 기판으로는 독일 ZFW산 IBAD 단선재 템플릿 (폭×길이 = 4×12 mm)을 사용하였는데 구조는 $CeO_2$/IBAD-YSZ/SS 로서 $CeO_2$ 두께에 따라 두가지 IBAD-1, IBAD-2로 분류하였다. 각각 $CeO_2$ 막의 두께가 상대적으로 얇고 두껍다는 차이가 있다. Table. 1에 증착 변수 및 조건을 명시하였으며 증착 온도를 변화시켜가며 YBCO 박막을 제조하였다. 각 증착된 박막은 500℃ 5시간, 450℃ 5시간동안 산소 어닐링을 통하여 상변화를 행하였다.

상 분석은 x-ray diffraction (XRD)를 이용하였으며 energy dispersion spectroscope (EDS) 시스템을 장착한 scanning electron microscope (SEM)를 이용하여 원소 조성비와 표면 및 단면 형상을 관찰하였다. 임계 온도 및 임계 전류는 4 단자법으로 측정하였다.

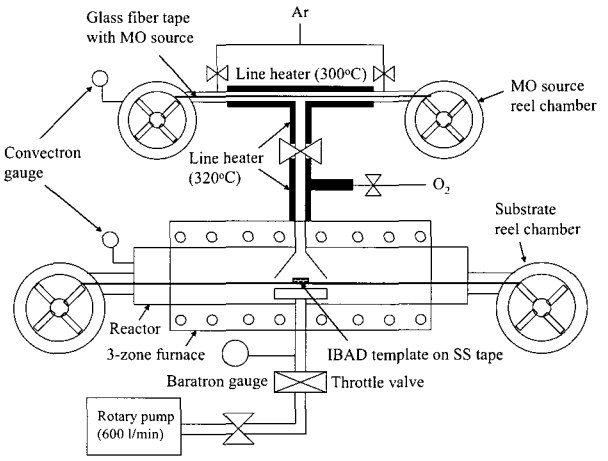


Fig. 1. Schematic diagram of reel-to-reel hot-wall MOCVD system.

Table 1. Variable vs. condition for YBCO film deposition.

| 변 수 | 조 건 |
|---|---|
| $Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ 원료 조성 몰비 | 1 : 2.3 : 3.1<br>1 : 2.1 : 2.9 |
| 증착 온도 (℃) | 780 - 890 |
| 증착 압력 (Torr) | 10 |
| 유기 금속 소스 테이프 선 속도 (cm/min) | 15 |
| 소스 증발부/운반부 온도 (℃) | 300/320 |
| 운반 Ar 유량 (sccm) | 800 |
| $O_2$ 유량 (sccm) | 800 |
| 기판 선 속도 (cm/hr) | 40 |
| 기판 | IBAD-1 템플릿,<br>IBAD-2 템플릿<br>(4×12 mm) |

## 3. 결과 및 고찰

기판이 지나가면서 증착이 일어나는 장선재 실험을 하기 앞서 증착 챔버의 증착 구간에서 어떻게 증착이 일어나는지 확인을 해볼 필요가 있으며 본 실험에서는 MgO 단결정 기판을 이용하여 증착 구간의 균일성을 확인해 보고자 하였다. 참고로 본 시스템의 반응관내의 온도 균일도는 10 cm 범위에서 ±2℃이다. Quartz holder 위에 MgO 단결정 (5×10 mm) 기판 10개를 전체 폭이 5 cm 가 되도록 폭 방향으로 나란히 붙이고

정지한 상태로 대표적인 증착 조건하에서 4분간 YBCO 증착 실험을 행하였다. 위에서나 비스듬히 보았을 때 박막은 전체적으로 광택이 나고 있음을 볼 수 있었다. 박막들의 XRD 패턴으로 부터 위치에 상관없이 모두 c-축 성장을 하고 있음을 볼 수 있다. 즉, 박막 성장은 약 5 cm 범위내에서 일어남을 알 수 있었으며 위치에 상관없이 생성되는 상은 동일함을 알 수 있었다. 차이점으로는 막 두께인데 가운데 부분이 가장자리보다 두껍게 증착됨을 알 수 있었다.

### 3.1. 증착 온도에 따른 XRD 패턴 및 SEM 형상

$Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.3:3.1의 원료 조성 몰비, 증착 압력 10 Torr, 소스 증발부/운반부 온도 = 300/320℃, 소스 선 속도 15 cm/min, $Ar/O_2$ 유량 = 800/800 sccm의 조건에서 증착 온도를 780, 810, 830, 860, 890 ℃로 변화시켜가며 40 cm/hr의 속도로 이송되는 IBAD-1 템플릿 위에 YBCO 박막을 증착하였다. 단선재 템플릿은 SS 테이프 위에 Ag paste로 붙여 사용하였다.

Fig. 2는 IBAD-1 템플릿 위에 증착 온도에 따른 YBCO 박막의 XRD 패턴 결과로 (산소 어닐링 전), 온도가 낮은 경우는 상 형성이 잘 되지 않고 a-축 배향으로 있다가 증착 온도가 올라감에 따라 c-축 배향으로 성장함을 볼 수 있다. 증착 온도 860℃에서 거의 완벽한 c-축 배향이 일어남을 볼 수 있다. 890℃의 증착 온도에서는 860℃와 거의 비슷하지만 45도 근처에 2차상 피크가 비교적 넓은 범위로 존재함을 볼 수 있다.

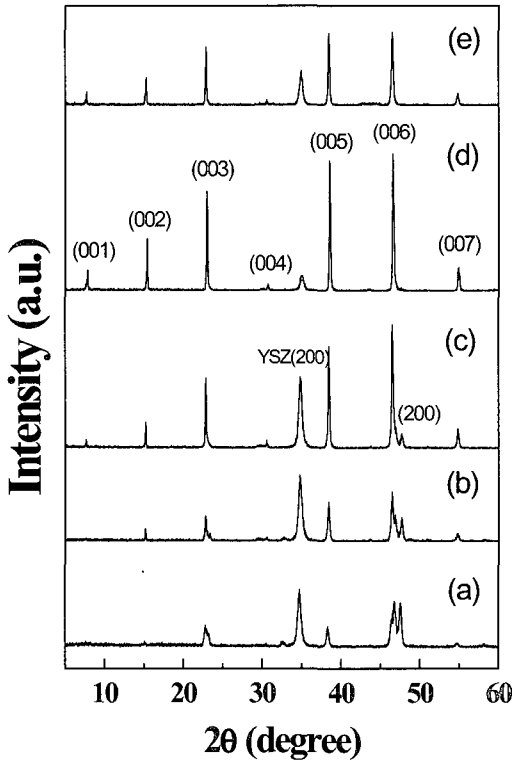


Fig. 2. XRD patterns of YBCO films deposited on transferred IBAD-1 templates of 40 cm/hr at different temperatures ; (a) 780℃, (b) 810℃, (c) 830℃, (d) 860℃, (e) 890℃. ($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.3:3.1)

Fig. 3은 40 cm/hr의 속도로 이송되는 IBAD-1 템플릿 위에 증착 온도 변화에 따른 YBCO 박막 SEM 표면 사진이다 (산소 어닐링 후, 배율 5,000배). 그림에서 보듯이 증착 온도가 810℃로 낮은 경우는 a-축 성장이 보이고 830℃ 증착 온도에서는 a-축과 c-축이 동시에 존재하며 c-축이 지배적으로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이것은 XRD 패턴에서도 이미 확인할 수 있었다. 표면의 수 마이크로미터 크기의 덩어리 형상은 CuO 2차상임을 EDS mapping 결과 확인되었다. 860℃의 증착 온도에서는 거의 c-축 배향의 표면을 볼 수 있고 매우 매끈하고 치밀한 박막임을 알 수 있다. 증착 온도가 890℃로 너무 높아지면 XRD 패턴상에서 약하게 보이는 2차상들이 생성되며 박막 표면 형상이 이상해짐을 볼 수 있다. 이들 현상은 앞서 실험한 $SrTiO_3$ 단결정 기판에서와 동일한 경향임을 알 수 있었다[8].

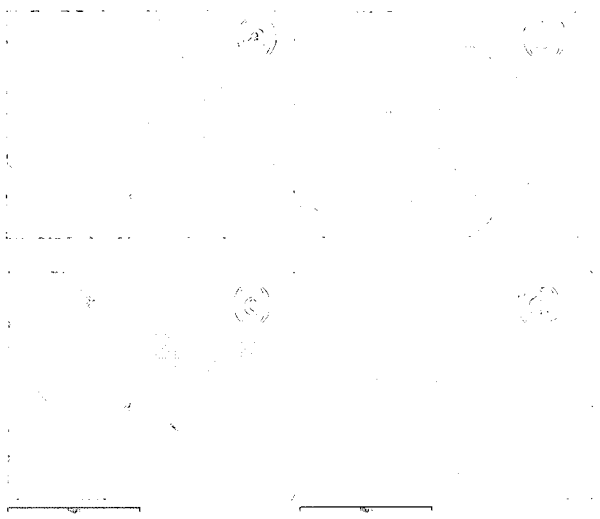

Fig. 3. SEM surface morphologies of YBCO films deposited on transferred IBAD-1 templates of 40 cm/hr at different temperatures. (scale bar length: 10 ㎛) : (a) 810℃, (b) 830℃, (c) 860℃, (d) 890℃ ($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.3:3.1)

증착 온도의 변화에 따른 YBCO 박막의 EDS Cu/Ba 원자비를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 온도가 증가함에 따라 Cu/Ba 비는 감소함을 알 수 있다. 위의 Fig. 3의 SEM 표면 형상에서도 보듯이 낮은 증착 온도에서 관찰되는 CuO 2차상이 온도가 올라감에 따라 감소하게 되어 Cu/Ba 비가 감소함을 확인할 수 있다. 780℃에서는 Cu/Ba 원자비가 2를 넘었는데 증착 온도가 증가하면서 감소하여 최적의 860℃에서는 Cu/Ba 원자비는 1.45 정도로 정량인 1.5보다 조금 낮은 값을 보여주었다. Cu/Ba 비 1.5 이상에서 CuO의 존재로 초전도 성질이 좋아진다고 보고되고 있다[9,10]. 참고로 Ba/Y 원자비는 수 마이크로 미터 깊이를 들어가는 EDS 전자빔을 고려시 YBCO 박막층 아래의 YSZ 버퍼층의 Y과 겹침으로 인하여 그 비를 언급하기가 힘들다.

MgO, $SrTiO_3$ 단결정 기판을 사용하여 860℃증착 온도에서 40 cm/hr의 속도로 움직여 증착한 YBCO 박막을 단면 SEM으로 박막의 두께를 관찰한 결과, 약 1.2 ㎛를 나타내었다. IBAD 템플릿에 증착된 박막의 두께는 측정하지 못하였으나 비슷하리라 사료되며 비교적 빠른 증착 속도임을 알 수 있다.

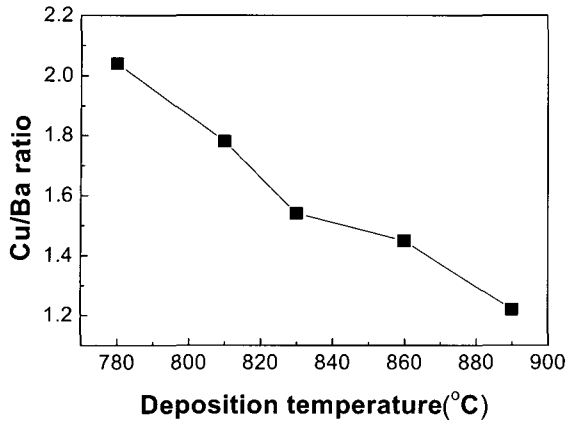


Fig. 4. EDS Cu/Ba atomic ratios at different deposition temperatures.
($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.3:3.1)

### 3.2. 템플릿 종류에 따른 임계 전류 특성

IBAD-1 템플릿을 사용하여 증착한 YBCO 박막의 경우 임계 전류 (Ic)를 측정한 결과, 앞서 행한 SrTiO3 단결정 기판과 동일 조건하에서 증착하였고 XRD 결과도 완벽한 c-축 배향을 보여주었으나 Ic 값은 낮게 나왔다. 한가지 예로 Y(tmhd)3:Ba(tmhd)2:Cu(tmhd)2 = 1:2.1:2.9의 원료 몰비, 증착 온도 860℃, 증착 압력 10 Torr, 소스 선 속도 15 cm/min, Ar/O2 유량 = 800/800 sccm, 기판 릴 속도 40 cm/hr의 조건에서 증착된 YBCO 박막의 경우는 Fig. 5와 같이 약 2.5 A/cm-width 의 낮은 값을 보이고 있다. 여기서 소스 몰비를 1:2.1:2.9로 하고 나머지는 동일한 조건에서 증착을 시도하였는데, 이 조성의 Cu/Ba 몰비는 3.1절 1:2.3:3.1 원료의 Cu/Ba 몰비와 서로 비슷하여 증착 온도에 따른 XRD 패턴, SEM 형상 그리고 EDS 조성등과 같은 증착 특성이 모두 비슷하였다. 임계 전류 측정은 제조된 YBCO 박막을 RF sputtering 법으로 Ag coating을 하여 산소 열처리를 행한 후 77K, 0T 하에서 1 A/sec 의 속도로 전류를 가하면서 전류-전압 (I-V) 커브를 얻었으며 임계 전류는 1 $\mu V$/cm 가 되는 지점을 기준으로 하였다. SrTiO3 단결정 기판에서는 높은 임계 전류 값을 갖으며 IBAD 템플릿에서도 가장 좋은 c-축 배향과 표면 형상을 보인 최적 증착 조건에서 상반된 결과를 보였는데 그 원인을 알아보고자 하였다.

위와 동일 증착 조건하에 낮은 증착 온도인 780℃에서 IBAD-1 템플릿 위에 증착한 YBCO 박막의 임계 전류는 Fig. 6과 같이 대략 13 A/cm-width 의 상대적으로 최적 온도에서 증착한 결과 보다 높은 값을 보여주었다. 앞절 3.1에서 보았듯이 780℃ 증착 온도에서 박막의 상 생성은 거의 되지 않음에도 불구하고 임계 전류값은 더 높게 나왔다. 이 결과로 버퍼층으로 이루어진 템플릿의 경우, 버퍼층의 품질이 기판으로서의 문제점이 될 수 있다고 판단되었다.

독일 ZFW사에서 구매한 두 종류의 IBAD 템플릿의 버퍼층 구조는 모두 $CeO_2$/IBAD-YSZ/SS 인데, IBAD-1 템플릿의 경우 $CeO_2$ 막의 두께가 상당히 얇아 XRD 분석상에서 peak이 검출되지 않았다. 반면 IBAD-2 의 경우는 $CeO_2$ 층의 두께가 상대적으로 두꺼워 XRD peak 가 존재함을 볼 수 있다. (Fig. 7)

상대적으로 $CeO_2$가 두껍게 입혀진 IBAD-2 단선재

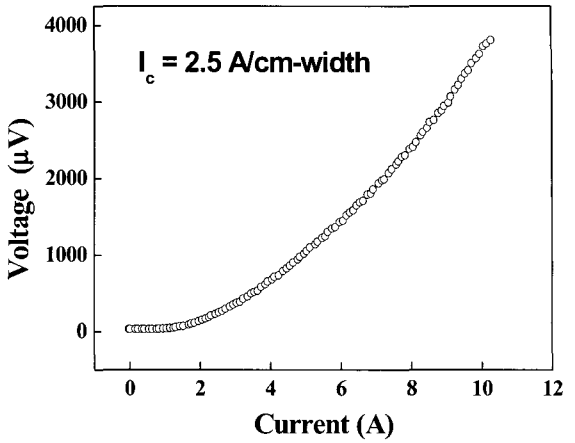


Fig. 5. I-V curve of YBCO film deposited on IBAD-1 template (4 mm width) at the deposition temperature of 860℃. ($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.1:2.9)

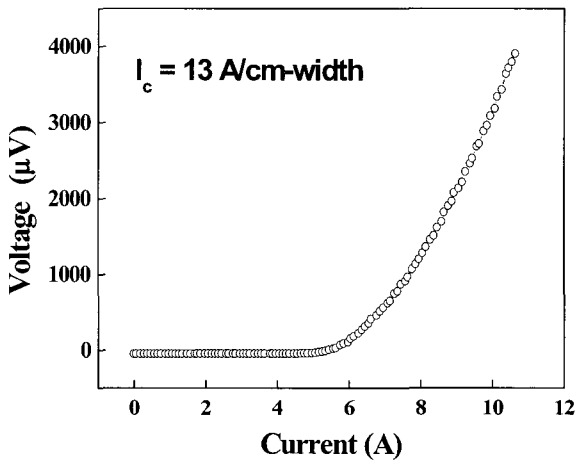


Fig. 6. I-V curve of YBCO film deposited on IBAD-1 template (4 mm width) at the deposition temperature of 780℃. ($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.1:2.9)

템플릿을 이용하여 검증 실험을 해 보았다. 원료 조성 몰비 1:2.1:2.9, 증착 압력 10 Torr, 소스 선 속도 15 cm/min, $Ar/O_2$ 유량 = 800/800 sccm의 조건에서 IBAD-2 템플릿을 사용하여 YBCO 박막을 증착한 후, 전류-전압 특성 결과를 Fig. 8에 나타내었는데 $I_c$는 50 A/cm-width 의 높은 값을 보여주었다. (여기서 측정된 IBAD-2 템플릿의 폭은 4 mm임) 이 박막의 임계 온도는 84K인 것으로 측정되었다. 같은 조성에서 같은 증착 조건에서 증착하였음에도 기판의 종류에 따라 다른 transport 결과를 나타내는 것으로부터 버퍼층의 역할과 중요성을 알 수 있게 되었다. 참고로 두 종류의 버퍼층 위에 증착된 YBCO 박막의 XRD 패턴들은 같은 증착 온도에서 동일하였고 표면 형상도 비슷하였다. 아직 밝혀지지는 않았지만 860℃의 높은 증착 온도로 인하여 버퍼층과 YBCO 박막의 계면에서 2차상이 생성될 가능성과 특정 원소가 초전도상 내로 확산하여 고용되어 초전도 성질을 저하시키는 것으로 사료된다. 한 예로 $CeO_2$ 박막은 YBCO와의 반응으로 계면

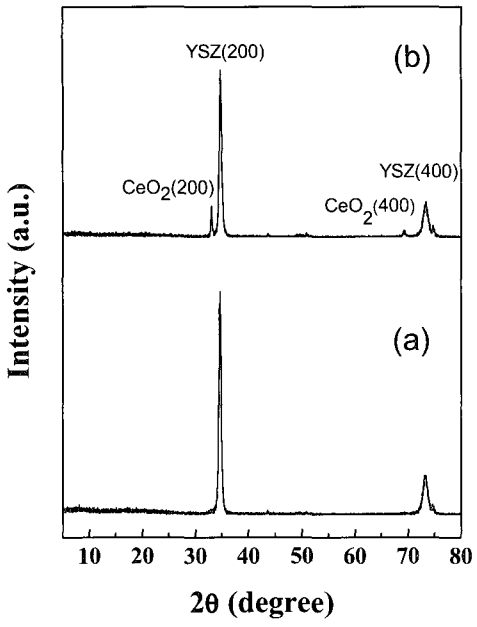


Fig. 7. XRD patterns of (a) IBAD-1 and (b) IBAD-2 templates.

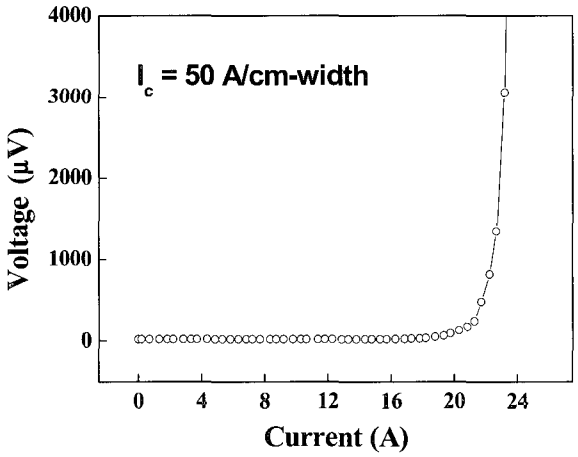


Fig. 8. I-V curve of YBCO film deposited on IBAD-2 template (4 mm width) at the deposition temperature of 860℃. ($Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.1:2.9)

에서 $BaCeO_3$가 생성되며 YSZ와는 $BaZrO_3$가 생성된다는 것은 잘 알려져 있다[12,13].

## 4. 결 론

단일 액상 원료를 사용한 hot-wall type MOCVD 법으로 IBAD 템플릿을 40 cm/hr의 속도로 이송시켜가며 YBCO 박막을 증착하였다. 원료 조성 몰비 $Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.3:3.1, 증착 압력 10 Torr, 소스 선 속도 15 cm/min, 소스 증발부/운반부 온도 = 300/320℃, $Ar/O_2$ 기체유량 = 800/800 sccm의 증착 조건하에서 증착 온도에 따른 실험을 행하였다. 그 중 860℃에서 증착한 박막이 가장 좋은 c-축 배향과 치밀한 표면을 보여 주었으며 그때 Cu/Ba 원자비는 약 1.45를 나타내었다.

템플릿 종류에 따라 최적의 증착 조건임에도 불구하고 다른 전기적 특성을 나타내었는데, YBCO 증착 특성이 위의 소스 몰비와 동일한 특성을 나타내는 $Y(tmhd)_3$:$Ba(tmhd)_2$:$Cu(tmhd)_2$ = 1:2.1:2.9 (그외 조건은 동일)의 몰비를 사용하여 이에 대한 원인을 알아내고자 하였다. IBAD 템플릿 맨 위의 버퍼층 $CeO_2$ 두께가 얇은 IBAD-1 의 경우 최적의 증착 온도로 알고 있는 860℃에서는 $I_c$ 값이 2.5 A/cm-width로 낮고 오히려 상 생성이 잘 이루어지지 않는 780℃ 에서 13 A/cm-width의 값을 보여주었다. 상대적으로 $CeO_2$ 박막 두께가 두꺼워 고온에서 안정적인 IBAD-2의 경우, 860℃의 증착 온도에서 50 A/cm-width 의 임계 전류를 나타내었다. 이로써 YBCO용 MOCVD 의 증착 온도가 고온인 것을 감안할 때, 금속 기판은 공정 온도에 적합한, 열적인 면에 있어서 안정적인 버퍼층이 필요하다는 사실을 알 수 있었다. MOCVD 법에 의한 빠른 증착 속도와 높은 재현성을 잘 이용하여 단선재 IBAD 템플릿에서 확립된 증착 조건을 바탕으로 장선재에도 동일하게 적용하여 차세대 coated conductor 개발에 응용될 수 있으리라 생각한다.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

[1] A. Goyal, D. P. Norton, J. D. Budai, M. Paranthaman, E. D. Specht, D. M. Kroeger, D. K. Christen, Q. He, B. Saffian, F. A. List, D. F. Lee, P. M. Martin, C. E. Klaubunde, E. Harfield, V. K.Sikka, "High critical current density superconducting tapes by epitaxial deposition of $YBa_2Cu_3O_x$ thick films on biaxially textured metals", Appl. Phys. Lett. 69 (12), pp.1795-1797, 1996.

[2] Y. Iijima, N. Tanabe, O. Kohno, Y. Ikeno, "In-plane aligned $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films deposited on polycrystalline metallic substrates", Appl. Phys. Lett. 60 (6), pp. 769-771, 1992.

[3] H.C. Freyhardt, J. Weismann, K. Heinemann, J.Hoffmann, J. Dzick, A. Usoskin, F. Garcia-Moreno, S. Sieves, "YBaCuO thick films on planar and curved technical substrates", IEEE Trans. Appl. Supercond. 7 (2), pp. 1426-1431, 1997.

[4] K. Onabe, T. Doi, N. Kashima, S. Nagaya, T. Saitoh, "Preparation of $YBa_2Cu_3O_x$ superconducting tape formed on silver substrate by chemical vapor deposition technique", Physica C, 378-381, pp. 907-910, 2002.

[5] V. Selvamanickam, H. G. Lee, Y. Li, X. Xiong, Y. Qiao, J. Reeves, Y. Xie, A. Knoll and K.

Lenseth, "Fabrication of 100 A class, 1 m long coated conductor tapes by metal organic chemical vapor deposition and pulsed laser deposition", Physica C, 392-396 (2), pp. 859-862, 2003.
[6] O. Stadel, J. Schmidt, G. Wahl, F. Weiss, D. Selbmann, J. Eickemeyer, O. Yu. Gorbenko, A. R. Kaul, C. Jimenez, "Continuous YBCO deposition by MOCVD for coated conductors", Physica C, 372-376, pp. 751-754, 2002.
[7] S. Donet, F. Weiss, J. P. Senateur, P. Chaudouet, A. Abrutis, A. Teiserskis, Z. Saltyte, D. Selbmann, J. Eickemeyer, O. Stadel, G. Wahl, C. Jimenez, U. Miller, "YBCO films on buffered Ni RABiT substrates by pulsed injection MOCVD", Physica C, 372-376, pp. 652-655, 2002.
[8] 전병혁, 최준규, 김호진, 김찬중, (100) $SrTiO_3$ 단결정 기판위에 단일 액상 원료 MOCVD 법에 의한 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 박막 제조, 한국초전도 저온공학회논문지, 2004.
[9] M. Doudkowsky, J. Santiso, S. Berton, A. Figueras, J. Bassas, "Barium incorporation in c-axis oriented YBCO thin films deposited by metalorganic chemical vapor deposition" Physica C, 288, pp. 1-9, 1997.
[10] J. Hudner, O. Thomas, E. Mossang, P. Chaudouet, F. Weiss, D. Boursier, J. P. Senateur, M. Ostling, and A. Gaskov, "Thin-film growth and compositional effects in $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ layers prepared by metalorganic chemical vapor deposition", J. Appl. Phys. 74 (7), pp. 4631-4641, 1993.
[11] Y. Q. Li, J. Zhao, C. S. Chern, P. Lu, B. Gallois, P. Norris, B. Kear and F. Cosandey, "Effects of composition on microstructure and superconducting properties of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films prepared by plasma enhanced metalorganic chemical vapor deposition", Physica C, 195, pp. 161-170, 1992.
[12] 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, pp. 1028-1032, 2002.
[13] D. M. Hwang, Q. Y. Ying, H. S. Kwok, "Interface between Y-Ba-Cu-O thin film and cubic zirconia substrate", Appl. Phys. Lett., 58 (21), pp. 2429-2431, 1991.

## 저 자 소 개

**전병혁(全炳赫)**
1970년 10월 17일생. 1993년 고려대학교 재료공학과 졸업, 1995년 한국과학기술원 전자재료공학과 졸업(공학석사), 1998년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사), 2000-2001년 일본 이화학연구소 (Post-Doc.), 현재 한국원자력연구소 선임연구원.

**최준규(崔俊圭)**
1970년 10월 20일생. 1997년 한밭대학교 화학공학과 졸업, 1999년 충남대학교 공업화학과 졸업(공학석사), 2003년 충남대학교 공업화학과 졸업(공학박사), 현재 한국원자력연구소 Post-Doc.

**김호진(金昊振)**
1971년 11월 25일생. 1999년 수원대학교 전자재료공학과 졸업, 2001년 성균관대학교 신소재공학과 졸업(공학석사), 현재 동대학원-한국원자력연구소 학연 박사과정.

**김찬중(金贊中)**
1958년 10월 26일생. 1983년 성균관대학교 금속공학과 졸업, 1986년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학석사), 1990년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사), 1992-1993년 미국 Notre Dame 대학 전기공학과 (Post-Doc.), 현재 한국원자력연구소 책임연구원.