

연속 연료공급식 MOCVD법으로 증착시킨 YBCO 박막의 증착조건

Deposition condition of YBCO films by continuous source supplying MOCVD method

김호진****, 주진호***, 최준규**, 진병혁*, 김찬중*

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

Abstract: YBa₂Cu₃O_{7-x} (YBCO) films were deposited on MgO(100) and SrTiO₃(100) single crystal substrates by cold-wall type MOCVD method using continuous source supplying system. Under the deposition temperature of 740~760°C, c-axis oriented YBCO films were obtained. In case of the YBCO films deposited on MgO(100) single crystal substrate, the critical temperature (T_c) was under 81 K regardless of the deposition conditions, whereas T_c of the YBCO films deposited on SrTiO₃(100) single crystal substrate was 83~84 K. The critical current (I_c) of the YBCO film deposited on SrTiO₃(100) single crystal substrate for 30 min was 49 A/cm-width and the critical current density (J_c) was 0.82 MA/cm² to film thickness of 0.6 μm. I_c increased to 84.4 A/cm-width as the deposition time increased to 50 min, but J_c decreased to 0.53 MA/cm² to film thickness of 1.8 μm.

Key Words: MOCVD, YBCO film, critical current, critical current density, critical temperature

1. 서 론

YBCO 고온 초전도체는 임계전류밀도가 높고 외부 자기장에 대한 저항성이 높기 때문에 전력기에 응용이 가능하다. 제 2세대 초전도 선재인 박막선재가 개발됨에 따라 실용화하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-4]. 최근에는 PLD(plused laser deposition)를 이용하여 수 내지 수십 미터급 정도의 장선재가 제조되었다[5-7]. YBCO 초전도 박막 선재가 실용화되기 위해서는 선재제조 공정의 경제성을 확보해야 한다. 박막공정에서 경제성을 확보하기 위해서는 박막의 증착속도를 높여야 한다. MOCVD(metal-organic chemical vapor deposition)방법은 증착속도가 빠르고 대면적 증착이 가능하기 때문에 경제성 있는 공정으로 주목받고 있다.

화학증착법(CVD)을 이용한 YBCO 박막 연구는 1988년 Berry, A. D.와 Gaskill, K. D.[8] 등에 의해 처음 연구된 이후로 많은 연구가 이루어져 왔다[9-15].

CVD를 이용한 YBCO 박막은 유기 화합물을 원료로 사용하며, 기판까지 이동하는 유기원료의 균일성을 유지하기 위해 다양한 장치 및 원료들이 개발되어져 왔다. 특히 유기 원료 중에서도 Ba은 공기 중의 수분과 잘 반응하여 증착 반응에 있어 불안정한 원인을 제공하고 있어 박막성질 저하의 원인이 된다[16,17]. 어떤 경우에는 원료 물질의 기화속도 차이에 따라 증착층의 조성이 초기 원료조성보다 많거나(Ba-rich composition) 적게(Ba-deficient composition)된다.

일반적으로 유기금속을 기화시키는 방법으로는 고상 기화법과 액상기화법이 가장 많이 사용되고 있다. 전자는 금속이나 세라믹 용기에 금속유기물을 정량하여 넣은 후 적당 온도로 가열하여 유기물을 분해시켜 금속기가 기체상으로 휘발되게 하는 방법이고, 후자는 유기물을 용매에 녹여 함께 휘발시키는 방법이다. 초기에 많이 사용되어진 고상 기화법의 경우, 고체유기물의 종류에 따라 기화되는 온도가 달라 여러 개의 원료들을 사용해야 하는 화합물에서는 휘발되는 양상이 서로 달라진다. 이런 이유로 원하는 조성을 얻는데 많은 어려움을 가지고 있으며 재현성에도 많은 문제점을 내포하고 있다. 반면 용매를 사용하는 액상 기화법은 용매와 함께 미세분사펌프와 같은 장치 등을 통해 일정량의 원료를 지속적으로 분사시켜 원활하게 공급할 수 있지만, 용매에 포함되어진 탄소성분이 CO, CO₂ 등의 불순가스 상으로 배출되어 박막의 특성에 좋지 않은 영향을 미치게 된다[18-20].

이러한 문제점을 해결하고자 CVD장치 설계와 관련된 많은 연구들이 시도되었다. 그 중에서 L. Klippe and G. Wahl[21]은 원료공급장치(precursor feeding system)을 적용하였다. 원료공급장치는 metal band로 공급되는 원료를 휘발시키는 장치로써 정량화한 고상 원료를 용매에 녹인 다음, 제조한 용액을 metal band 위에 고르게 분사시키는 solution feeding이다. 고르게 분사된 용액이 metal band를 60°C 정도로 가열된 부분을 지나가면서 용매만을 휘발시켜 배기부를 통해 제거시키고, metal band 위에 남아있는 고상 원료를 280~300°C의 기화온도로 가열하여 증착부로 원료를 휘발시킨다. 이러한 metal band를 사용한 원료공급장치는 YBCO 초전도 박막에도 적용되었으며, 탁월한 재현성과 원료공급 안정성이 보고되었다[9-12]. 특히 O. Stadel[9] 등은 YBCO 초전도 박막의 장선화를 위해 12μm/h의 증착속도를 나타내는 CVD 장비를 통해 10시간 이상을 안정적으로 공급하였다고 보고하였다.

본 실험에서는 metal band 대신 표면적이 넓고 고온에 잘 견디는 유리섬유를 선택하여 용매에 의한 탄소의 오염을 방지하였다. 또한 원료를 안정적으로 공급하는 belt식 화학 증착 장치를 사용하여, 용매를 제거함과 동시에 원료의 연속공급을 가능하게 하였다.

* 정 회 원 : 한국원자력연구소 원자력재료기술개발부
** 비 회 원 : 한국원자력연구소 원자력재료기술개발부
*** 정 회 원 : 성균관대 신소재공학과
**** 학생회원 : 성균관대 신소재공학과 & 원자력연구소
원고접수: 2004년 6월 28일
심사완료: 2004년 7월 29일

MOCVD를 통한 양질의 YBCO 초전도 박막을 얻기 위해서 증착조건이 박막에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 실험방법

원료물질은 큰 증기압을 갖는 Newchem Materials 사의 Y(thd)₃ (m.p.: 170~173°C), Ba(thd)₂ (m.p.: 195~200°C), 및 Cu(thd)₂ (m.p.: 198°C), (thd=2,2,6,6-tetramethyl-3,5-heptanedionato) 킬레이트 화합물을 사용하였고 공기와 불순물과의 접촉을 차단시키기 위해서 Ar 분위기 상태인 glove box 안에서 정량화하였다. 정량화한 원료물질은 50 ml THF(tetrahydrofuran, Aldrich사) 용매가 담긴 비이커에 집어넣어 녹였다. 유기원료가 완전히 녹은 것을 확인한 후, 30 m 정도의 길이의 유리섬유 테이프를 원료물질이 녹아있는 용액에 넣어 원료 용액이 유리섬유에 모두 스며들도록 하였다. 유리섬유가 용액에 충분히 적셔지면 밀폐시킨 뒤 glove box에서 꺼내어 Fig. 1의 MOCVD 장비의 원료 공급부에 장착시켰다.

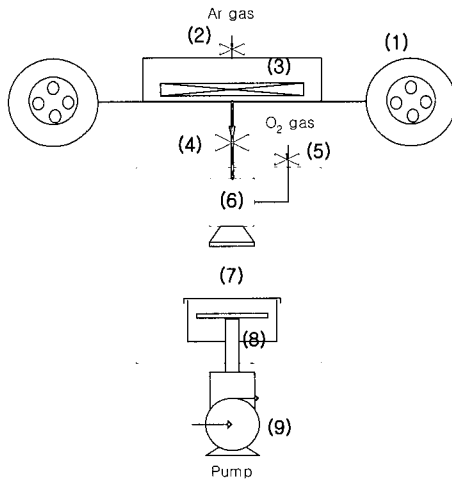


Fig. 1. Schematic drawing of continuous source supplying MOCVD apparatus : (1) reel-to-reel, (2) Ar gas line, (3) line heater, (4) needle valve, (5) O₂ gas line, (6) showerhead and mixer of sources and O₂ gas, (7) substrate holder(quartz), (8) halogen lamp, and (9) rotary pump.

원료 공급부는 reel-to-reel로 되었으며, 원료 용액이 적셔져 있는 유리섬유 테이프를 한쪽 reel에 감고는 rotary pump를 작동시켜 원료 공급부를 진공상태로 만들었다. 진공상태가 되면, 유리섬유 테이프를 감긴 reel쪽에서부터 반대편 reel쪽으로 이동시키면서 THF 용매를 휘발시켜 진공펌프를 통하여 외부로 배기시켰다. 위와 같은 과정의 공정을 두 번 더 반복하여 용매만을 휘발시켜 유리섬유 테이프에 원료물질만이 존재하도록 준비하였다. 원료 공급을 위해 Ar 가스를 700 sccm으로 흘려주며 전체압력을 10 torr로 유지하였다. 반응관 내의 압력이 안정되면 원료와 O₂를 150~550 sccm으로 공급하며 30분 동안 반응시켰다. 자세한 박막의 증착 조건은 Table. 1에 나타내었다. 박막 증착에 사용되는 기판으로는 MgO(100) 과 SrTiO₃(100) 단결정을 사용하였다. MgO 단결정은 YBCO 박막의 증착 조건을 확립하기 위해서 사용하였으며, 증착조건이 확립되면 SrTiO₃(100) 단결정을 사용하여 양질의 초전도

박막을 증착하여 초전도 특성을 측정하였다.

YBCO 박막의 결정구조를 알고자 Rigaku사의 X-ray diffractometer를 사용하였다. X-선의 회절분석은 35 kV, 15 mA에서 Cu-Kα(λ=1.5418Å) target을 사용하였고, X-선 회절 구간은(2θ) 5~60°이었다. 증착한 박막의 표면 미세조직과 증착두께는 SEM(Scanning electron microscopy)을 이용하여 분석하였다. 박막의 온도에 따른 저항을 측정하기 위해서 측정 부분에 실리콘 다이오드 온도센서(Lake Shore Co., model DT-470)를 설치하여 온도변화와 저항과의 관계를 DC-4 단자법을 이용하여 박막의 전기저항을 측정하였다. 또한 박막의 임계전류를 측정하기 위해 77 K 액체질소에서 4단자법을 이용하여 0.1 A 간격으로 전류를 증가시켜 전압의 변화를 측정하였다.

Table 1. Deposition parameters of YBCO film by MOCVD method.

| | |
|---|---|
| Heating Temperature of precursor materials | Y(thd) ₃ , Ba(thd) ₂ , Cu(thd) ₂ : 300°C |
| Source reel speed | 15 cm/min (0.023 g/min) |
| Deposition Temperature | 700-800°C |
| Flow rate of carrier gas (Ar) | 700 sccm |
| Flow rate of reactant gas (O ₂) | 150-550 sccm |
| Total pressure | 10 torr |
| Deposition time | 30-50 min |
| Substrates | MgO(100), SrTiO ₃ (100) single crystal |

3. 결과 및 고찰

3.1. MgO(100) 단결정을 사용한 YBCO 박막 증착

증착온도에 따른 YBCO 박막의 결정 성장 특성을 알아보고자 MgO(100) 단결정 기판 위에 박막을 증착시켰다. Fig. 2는 Y:Ba:Cu=1.0:2.1:2.7의 원료 조성비를 가진 YBCO 박막의 증착온도 변화에 따른 XRD 결과를 나타낸 것이다. 산소분압은 3.33 torr, 증착 시간은 30분으로 고정시켰으며, 노즐로부터 기판까지의 거리는 3 cm를 유지시켰다. 740~800°C의 모든 증착온도 구간에 대해 c-축으로 성장한 YBCO 박막을 얻었다. 그러나 800°C이상에서 증착한 박막의 경우에는 (00ℓ) 회절강도가 현저하게 줄어들었다. 740°C미만의 온도에서는 박막 표면의 색깔이 YBCO 박막의 전형적인 검정색이 아닌 붉은 빛을 나타내었으며, YBCO의 여러 회절면들이 혼합되어 있는 결과를 나타내었다. T. Morishirta[22]는 MOCVD 공정에서 c-축으로 성장하는 박막의 온도가 a-축으로 성장되는 YBCO박막의 증착온도보다 100°C 정도 높다고 보고하였다. 또한, Y. Yoshida 등[23]도 증착온도에 따라 a-축과 c-축으로 박막의 결정 방향이 변한다고 보고하였으며, T. Ushida 등[24]은 650~700°C의 온도영역에서 MOCVD법을 사용하여 증착시킨 YBCO 박막의 경우 a-축 방향으로 성장하고 그 이상의 온도에서는 c-축 성장이 일어난다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서도 위에서

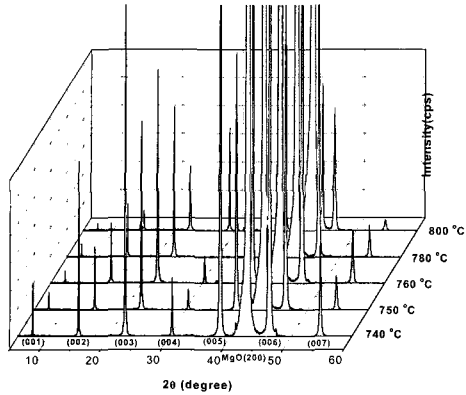


Fig. 2. XRD diffraction pattern of YBCO films deposited at various deposition temperatures, oxygen partial pressure of 3.33 torr and deposition time of 30 min.

보고한 결과와 일치하여 740~800°C의 모든 증착온도 구간에 대해 c-축으로 정렬된 YBCO 박막을 얻었다.

Fig. 3은 740~780°C의 증착온도 구간에 대한 박막 표면의 미세조직 사진을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 740°C에서 증착시킨 YBCO 박막은 부분적으로 미세한 기공들이 관찰되기는 하나 전반적으로 매우 조밀하면서 평평한 표면을 가진다. SEM-EDS mapping 분석을 통해 표면에는 1μm 미만의 CuO 상들이 표면 전체에 균일하게 분포하고 있음을 확인하였다. Fig. 3(b)는 750°C에서 증착시킨 박막 표면으로 740°C의 박막과 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 이 박막의 표면도 치밀한 표면과 미세 분산된 CuO 입자들로 이루어져 있다. Fig. 3(c)는 760°C에서 증착시킨 박막 표면으로 각진 형태의 YBCO 결정립들이 표면에 돌출해 있으며 입자들의 방위도 불규칙해 보인다. 입자들의 주변에는 미세하게 분산된 CuO 상들이 관찰된다. Fig. 3(d)는 780°C에서 증착시킨 박막의 표면으로 증착온도가 높아 결정 성장에 의한 조대 결정립들이 관찰된다. 이 시료에서는 CuO 상들이 관찰되지 않았다.

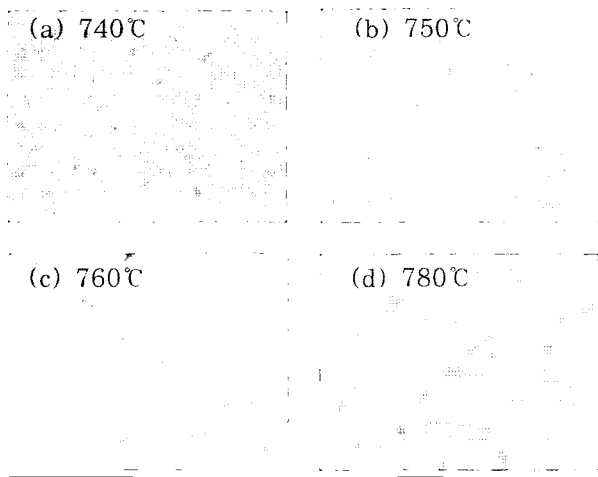


Fig. 3. Surface microstructure of the YBCO films on MgO(100) single crystal substrate deposited at various deposition temperatures.

증착온도에 따른 YBCO 박막의 증착두께를 알아보기 위해서 박막의 단면을 SEM 분석을 통해 측정하여

나타낸 것이 Fig. 4이다. 동일한 시간동안 박막을 증착시켰으며 740°C에서 증착한 박막은 0.6μm의 두께를 나타낸 반면, 800°C에서 증착시킨 박막은 1.4μm로 증착온도가 증가함에 따라 박막의 두께가 조금씩 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3에서 나타나듯이 증착온도가 증가함에 따라 결정립이 조대해지면서 두께도 함께 증가하고 있음을 보여준다. 이는 고온에서 물질이 동 및 박막성장이 가속화되기 때문으로 사료된다.

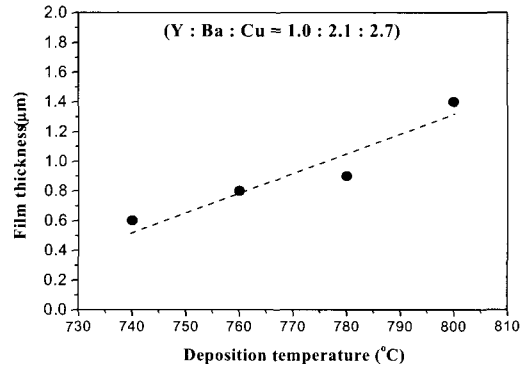


Fig. 4. Thickness of YBCO films as a function of deposition temperature.

증착 온도에 따른 YBCO 초전도 박막의 초전도 전이온도를 측정하였으며, 그 결과가 Fig. 5이다. 740~760°C의 증착온도 구간에 대해 임계온도는 78.6~79.7 K로 나타났으며, 780°C에서 증착한 박막의 경우는 70.9 K로 임계온도가 더욱 낮았다. 800°C에서는 임계온도 값이 측정되지 못하였는데 이는 고온증착 시에 초전도 상뿐만 아니라 고온에서 생성되어지는 이차상들이 다량 존재하기 때문에 기인한 것으로 사료된다. MgO 단결정에서는 모든 증착조건에서 81 K 이상의 초전도 전이온도를 얻을 수 없었다. 이는 SEM-EDS mapping 분석을 통해 확인한 MgO 단결정 내의 CaO와 같은 불순물 때문으로 사료된다.

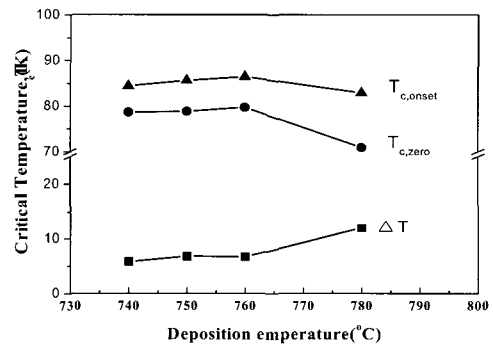


Fig. 5. T_{c,onset} and T_{c,zero} vs. deposition temperature of YBCO films on MgO(100) single crystal substrate deposited in P_{O2} = 3.33 torr for 30 min.

3.2. STO(100) 단결정을 사용한 YBCO 박막 증착

MgO(100) 단결정 기판을 통해 확인한 c-축으로 배향되는 증착조건과 미세조직 결과를 적용하여 초전도 특성을 알아보기 위해서 YBCO 초전도체와 격자불일치가 적은 고순도 SrTiO₃(100) 단결정을 기판으로 사용하였다. SEM-EDS mapping 분석한 결과 SrTiO₃(100) 단결정 기판에 성장시킨 YBCO 박막에서는 불순

물이 관찰되지 않았다. MgO단결정 기판을 통해 얻어진 증착 조건에서 SrTiO₃ 단결정 기판 위에 YBCO 초전도 박막을 증착시켰다. 증착온도가 740~780°C, 산소분압이 2.63 torr와 3.91 torr에서 MgO 기판에서와 동일하게 c-축으로 배향된 초전도 박막을 얻을 수 있었다. Fig. 6(a)는 MgO 기판에서 증착시킨 YBCO 박막을 통해 얻어진 증착조건으로 SrTiO₃ 단결정 위에 증착시킨 YBCO 박막의 XRD 결과이다. (00ℓ) 회절을 가진 c-축으로 배향된 YBCO 박막이 증착되었으며 MgO 단결정 위에 증착시킨 박막보다 회절강도가 상대적으로 높게 나타났다. Fig. 6(b)는 원료 조성비가 Y:Ba:Cu=1.0:2.1:2.7에서 30분간 증착시킨 박막의 저항-온도와 전압-전류 곡선이다. 88.8 K에서 초전도 전이가 시작되었으며 83.1 K에서 저항이 zero가 되었다. 시편의 길이가 1 cm이고 너비가 0.5 cm인 SrTiO₃(100) 단결정 시편 위에 760°C의 증착온도에서 30분 동안 배향한 YBCO 박막의 임계전류는 0 T 자장 하에서 49 A/cm-width이었으며, SEM 단면을 통해 관찰한 0.6 μm의 박막 두께를 통해 계산하였을 때 임계전류밀도는 0.82 MA/cm²이었다.

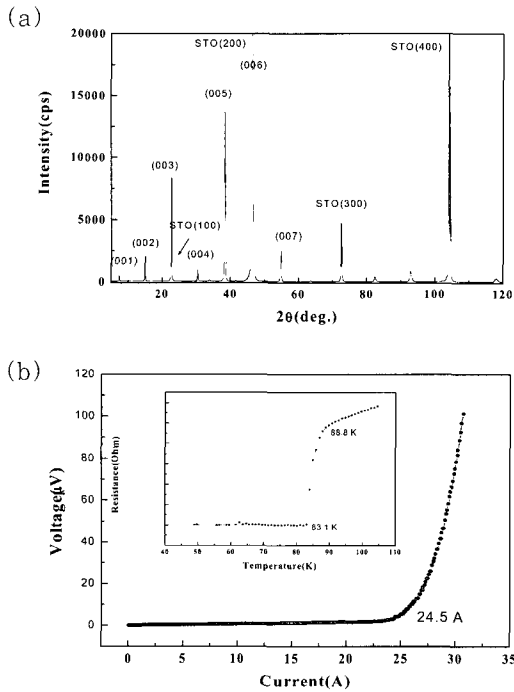


Fig. 6. (a)XRD pattern and (b)I-V curve of YBCO film deposited on the SrTiO₃(100) single crystal substrate deposited at T_d=760°C and P_{O₂}=3.33 torr for 30 min.

일반적으로 전류는 단면적에 비례하기 때문에 YBCO 박막의 두께가 증가함에 따라 흘릴 수 있는 전류의 양은 증가한다. Fig. 7은 증착시간을 50분으로 증가시켜 증착시킨 YBCO 박막의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)에서 보여주듯이 약한 (103) 회절면이 나타나지만 전체적으로 강한 c-축 결정성장을 이루고 있음을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 50분간 증착시킨 박막의 저항-온도와 전압-전류 곡선으로 87.2 K에서 초전도 전이가 시작되었으며 84.2 K에서 zero 저항을 나타내었다. SEM을 통해 측정된 박막의 두께는 1.8 μm이었으며 30분간 증착한 박막에 비해 두께가 현저하게 증가하였다. 또한 4단자법으로 측정된 임계전류는 0 T 자장 하

에서 84.4 A/cm-width 로써 두께가 증가함에 따라 전류값도 함께 증가하였다. 그러나 임계전류밀도를 계산해 보면 0.53 MA/cm²으로 30분간 증착한 박막보다 감소하였다. S. Matsuno 등[25]의 결과에 의하면 YBCO 박막의 두께가 증가할수록 임계전류밀도는 상대적으로 감소하였으며, 이는 c-축으로 성장하던 박막의 결정방위가 a-축으로 바뀌면서 임계전류가 크게 증가하지 못하기 때문으로 보고하였다. 본 실험에서도 50분간 증착시킨 박막의 경우, 박막의 단면을 살펴보면 0.9 μm까지는 매우 균질한 박막을 형성하고 있으나 그 이상의 두께에서는 불규칙한 결정립 형태를 나타내고 있었다. 따라서 임계전류밀도를 감소시키지 않으면서 보다 높은 임계전류를 흐르게 하기 위해서는 균질한 박막이 형성되면서 두께를 증가시키기 위한 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

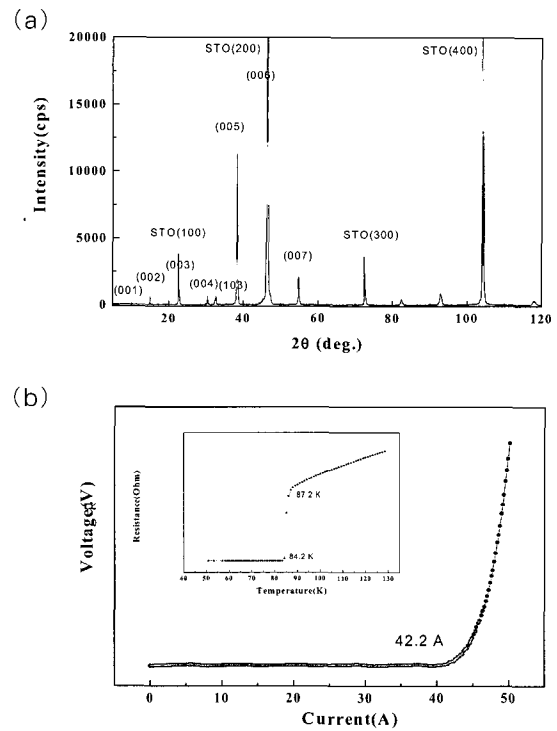


Fig. 7. (a)XRD pattern and (b)I-V curve of YBCO film deposited on the SrTiO₃(100) single crystal substrate deposited at T_d=760°C and P_{O₂}=3.33 torr for 50 min.

4. 결 론

용매에 의한 탄소의 오염을 방지하고 원료를 안정적으로 공급하기 위하여 belt식 화학 증착 장치를 사용하였다. MOCVD를 통한 양질의 YBCO 박막의 초전도 특성을 얻기 위해서 증착조건이 박막에 미치는 영향을 알아보았다.

740~760°C인 증착온도에서 c-축으로 배향된 YBCO 박막이 증착되었다. 매우 조밀하면서 평평한 표면을 나타내었으며 부분적으로 미세한 기공들이 관찰되었다. 또한 1μm 미만의 CuO 상들이 표면 전체에 균일하게 분포하고 있음을 EDS mapping 분석을 통해 확인하였다. MgO(100) 단결정 위에 증착시킨 YBCO 박막의 경우에는 초전도 전이가 시작되는 온도가 85~88 K로 SrTiO₃와 크게 차이를 나타내지 않았으나, 초전도

전이가 완료되는 온도는 모든 증착조건에서 81 K 이하를 나타내었다. 반면 동일한 증착조건 하에서 SrTiO₃(100) 단결정 기판 위에 증착시킨 YBCO 초전도 박막에서는 83~84 K로 상대적으로 높게 나타났다.

SrTiO₃(100) 단결정 기판 위에서 30분간 증착시킨 박막의 임계전류는 49 A/cm-width 이었으며, SEM 단면을 통해 관찰한 0.6 μm의 박막 두께를 통해 계산 시 임계전류밀도는 0.82 MA/cm² 이었다. 또한 50분으로 증착시간을 증가시킨 박막의 경우에는 임계전류가 84.4 A/cm-width의 값으로 두께가 증가함에 따라 전류값도 함께 증가하였다. 그러나 임계전류밀도는 0.53 MA/cm²으로 30분간 증착한 박막보다 감소하였다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [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 YBa₂Cu₃O_x thick films on biaxially textured metals", *Appl. Phys. Lett.* 69-12 (1996) 1795.
- [2] David, P. Norton, Amit Goyal, John. D. Budai, David K. Christen, Donald M. Kroeger, Eliot D. Specht, Qing He, Bernd Saffian, M. Paranthaman, Charles E. Klaubunde, Dominic F. Lee, Brian C. Sales, Fred A. List, "Epitaxial YBa₂Cu₃O₇ on Biaxially Textured Nickel (001): An Approach to Superconducting Tapes with High Critical Current Density", *Science*, 274 (1996) 755.
- [3] Y. Iijima, N. Tanabe, O. Kohno, Y. Ikeno, "In-plane aligned YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films deposited on polycrystalline metallic substrates", *Appl. Phys. Lett.* 60-6 (1992) 769.
- [4] X. D. Wu, S. R. Foltyn, P. N. Arendt, W. R. Blumenthal, I. H. Campbell, J. D. Cotton, J. Y. Coutler, W. L. Hults, M. P. Maley, H. F. Safar, and J. L. Smith, "Properties of YBa₂Cu₃O_{7-y} thick films on flexible buffered metallic substrates", *Appl. Phys. Lett.*, 67 (1995) 2397.
- [5] E. D. Specht, F. A. List, D. F. Lee, K. L. More, A. Goyal, W. B. Robbins and D. O'Neill, "Uniform texture in meter-long YBa₂Cu₃O₇ tape", *Physica C*, 382 (2002) 342.
- [6] S. R. Foltyn, P. N. Arendt, R. F. DePaula, P. C. Dowden, J. Y. Coulter, J. R. Groves, L. N. Haussamen, L. P. Winston, Q. X. Jia and M. P. Maley, "Development of meter-long YBCO coated conductors produced by ion beam assisted deposition and pulsed laser deposition", *Physica C*, 341-348 (2000) 2305.
- [7] Kazuomi Kakimoto, Yasuhiro Iijima and Takashi Saitoh, "Fabrication of long-Y123 coated conductors by combination of IBAD and PLD", *Physica C*, 392-396 (2003) 783.
- [8] A. D. Berry, D. K. Gaskill, R. T. Holm, E. J. Cukauskas, R. Kaplan and R. L. Henry, "Formation of high T_c superconducting films by organometallic chemical vapor deposition", *Appl. Phys. Lett.* 52-20 (1988) 1743.
- [9] O. Stadel, J. Schmidt, G. Wahl, C. Jimenez, F. Weiss, M. Krellmann, D. Selbmann, N. V. Markov, S. V. Samoylenkov, O. Yu. Gorbenko and A. R. Kaul, "Continuous YBCO deposition onto moved tapes in liquid single source MOCVD systems", *Physica C*, 341-348 (2000) 2477.
- [10] G. Wahl, M. Pulver, W. Decker and L. Klippe, "CVD processes for coatings and surface modifications", *Surface and Coating Technology*, 100-101 (1998) 132.
- [11] 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 (2002) 652.
- [12] 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 (2002) 751.
- [13] S. Aoki, T. Yamaguchi, Y. Iijima, O. Kohno, S. Nagaya and T. Inoue, "Characteristics of high J_c Y-Ba-Cu-O tape on metal substrate prepared by chemical vapor deposition", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 3-1 (1993) 1691.
- [14] K. Onabe, H. Akata, K. Higashiyama, S. Nagaya and T. Saitoh, "Superconducting property of YBa₂Cu₃O_x films formed on silver substrates by continuous chemical vapor deposition technique", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 11-1 (2001) 3150.
- [15] Eko H. Sujiono, P. Arifin and M. Barmawi, "YBa₂Cu₃O_{7-s} thin films deposited by a vertical MOCVD reactor", *Materials Chemistry and Physics*, 73 (2002) 47.
- [16] B. Schulte, M. Maul, P. Häussler, W. Becker, M. Schmeiz, M. Steins and H. Adrian, "Compositional effects in Y_xBa_yCu_zO_{7-s} thin films prepared by metal-organic chemical vapour deposition", *J. of Alloys Comp.*, 195 (1993) 299.
- [17] R. Hiskes, S. A. Dicarolis, J. L. Young, S.S. Laderman, R.D. Jacowitz and R.C. Taber, "Single source metalorganic chemical vapor deposition of low microwave surface resistance YBa₂Cu₃O₇", *Appl. Phys. Lett.*, 59 (1991) 606.
- [18] W. Decker, Yu Erokin, O. Gorbenko, I. Graboy, A. Kaul, A. Nurnberg, M. Pulver, R. Stolle, and

- G. Wahl, Proc. E-MRS Meeting Strasbourg, (1993).
- [19] S. A. Degterov, Proc. Int. Workshop MSU-HTSCII, Moscow, (1991) 142.
- [20] F. Weiss, K. Fröhlich, R. Haase, M. Labeau, D. Selbmann, J. P. Senateur and O. Thomas, "Preparation of $YBa_2Cu_3O_7$ films by low pressure MOCVD using liquid solution sources", *J. of Dephysique IV*, (1993) 321.
- [21] Klippe L. and Wahl G., "Preparation of superconducting YBCO films on polycrystalline YSZ substrates by single-source MOCVD", *Ints. Phys. Conf. Ser.*, 148 (1995) 611.
- [22] T. Morishita, "Evaluation of a-axis oriented $YBa_2Cu_3O_y$ thin film", *Advances in Superconductivity*, 9 (1996) 1017.
- [23] Y. Yoshida, Y. Ito, H. Nagai, Y. Takai and I. Hirabayashi, "Preparation of a-axis oriented $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ films by metalorganic chemical vapor deposition using liquid sources", *Physica C*, 282-287 (1997) 595.
- [24] T. Ushida, K Higashiyama, I. Hirabayashi and S. Tanaka, "Preparation of selectivity controlled a-axis oriented YBCO films by laser MOCVD", *Supercond. Sci. Technol.*, 4 (1991) 445.
- [25] S. Matsuno, F. Uchikawa and S. Utsunomiya, "Metalorganic chemical vapor deposition using a single solution source for high J_c $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconducting films", *Appl. Phys. Lett.*, 60 (1992) 2427.

저 자 소 개



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



주진호(朱鎭皓)

1961년 12월 6일생. 1984년 성균관대학교 금속공학과 졸업. 1988년 웨인주립대 금속공학과 졸업(공학석사). 1993년 미국 일리노이 공대 금속공학과 졸업(공학박사). 현재 성균관대학교 금속재료공학부 부교수



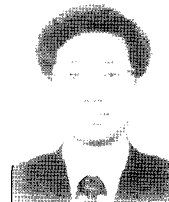
최준규(崔俊圭)

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



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.



김찬중(金瓚中)

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.