

## IBAD-MgO 기판 위 다양한 완충층들의 비교 연구

## Comparative study of various buffer layers on IBAD-MgO template

고경필<sup>1</sup>, 장기선<sup>1</sup>, 유상임<sup>2,\*</sup>, 오상수<sup>3</sup>, 고락길<sup>3</sup>, 문승현<sup>4</sup>, 김호겸<sup>4</sup>K. P. Ko<sup>1</sup>, K. S. Jang<sup>1</sup>, S. I. Yoo<sup>2,\*</sup>, S. S. Oh<sup>3</sup>,  
R. K. Ko<sup>3</sup>, S. H. Moon<sup>4</sup>, and H. K. Kim<sup>4</sup>

**Abstract:** On highly-textured IBAD-MgO templates, we have tried to find proper buffer layers among various candidate materials, including LaMnO<sub>3</sub> (LMO), La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (LZO), LaAlO<sub>3</sub> (LAO), LaGaO<sub>3</sub> (LGO), NdGaO<sub>3</sub> (NGO), and BaZrO<sub>3</sub> (BZO). All buffer layers were deposited on the IBAD-MgO templates by KrF pulsed laser deposition(PLD). LAO layer showed an amorphous phase. LZO, LGO, and NGO layers showed polycrystalline growth. Only LMO and BZO layers exhibited *c*-axis oriented biaxially textured films. Optimally processed LMO buffer layer at deposition temperature of 750°C and *P*O<sub>2</sub> of 100 mTorr exhibited  $\Delta\phi$  value of  $\sim 5.2^\circ$  and RMS roughness of 5.6 nm. Interestingly, BZO buffer layers with  $\Delta\phi$  values of  $\sim 6^\circ$  could be routinely produced over a wide PLD processing condition.

**Key Words:** IBAD-MgO, PLD, buffer layer, LMO, BZO.

## 1. 서 론

높은 임계전류 특성을 지닌 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7- $\delta$</sub> (YBCO) 선재(coated conductor)가 2세대 고온 초전도 선재로서 주목받기 시작한 이후로, 현재까지 다양한 증착방법에 의하여 초전도 장선재 개발이 국내외적으로 활발하게 이루어져 오고 있다. 이러한 YBCO 선재의 임계전류 특성은 YBCO 박막의 결정 배향성에 크게 좌우되며 이에 따라 결정 배향성이 우수한 YBCO 박막 성장을 위하여 높은 이축 배향성을 지닌 기판이 요구된다[1]. 이러한 결정 배향성을 갖는 초전도 장선재용 기판을 제작하는 기술로서는 주로 Rolling-assisted bi-axially textured substrates (RABITS) 공정[2]과 Ion-beam assisted deposition (IBAD) 기술[3,4]로 크게 두 가지로 나뉘어 연구가 진행되어 왔다. 이러한 장선재용 기판 제조 기술들은 모두 이축 배향성이 우수한 YBCO 박막 선재 제작을 위하여 최소한 한 개 이상의 완충층(buffer layer)을 필요로 한다. 이러한 완충층은 초전도

박막과 기판 사이에 위치하면서 기저면 성분들의 확산 방지, 화학적 안정성, 열적 안정성, 그리고 구조적인 양립성 등의 역할을 하게 된다[5]. 특히, IBAD 기판위에서의 완충층 연구가 현재까지 활발하게 진행되었으며, IBAD-YSZ 위에서의 CeO<sub>2</sub>[6] 또는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[7], IBAD-GZO 위에서의 CeO<sub>2</sub>[8], 그리고 IBAD-MgO 위에서의 SrTiO<sub>3</sub>[5,9], SrRuO<sub>3</sub>[10,11], 및 LaMnO<sub>3</sub> (LMO)[12,13] 등을 완충층으로 사용하여 성장된 YBCO 박막들에서 우수한 결과들을 보여주었다.

이에 따라 본 연구진에서는 최근에 연속 reel-to-reel 공정하에서 장선의 IBAD-MgO 테입을 제작하는데 성공하였다[14]. 또한, 제작된 IBAD-MgO 기판위에서 완충층으로서 이용된 LMO 층에 대한 PLD 공정변수를 최적화하였으며 IBAD-MgO 기판과 LMO 사이의 결정 배향성에 대한 상호 관계를 보고한 바 있다[15]. 최근에는, 또 다른 완충층으로 MgO ( $a = 4.211\text{\AA}$ )와의 격자 불일치도(lattice misfit)가 약 0.4% 미만으로 매우 작은 BaZrO<sub>3</sub> (BZO)를 선택하였고, PLD 공정 변수에 따른 결정성, 이축 배향성 및 표면 거칠기 변화에 대한 연구를 보고하였으며[16], 현재 BZO에 대한 최적화 연구가 마무리 진행 중에 있다. 하지만, 아직까지 IBAD-MgO 기판에 대한 최적의 완충층에 대한 연구가 체계적으로 보고되지 않은 점을 감안하여, 본 연구진에서는 완충층 후보군으로서 다양한 산화물들을 선별하였다. 이렇게 선정된 완충층 후보군으로는 La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (LZO), LaAlO<sub>3</sub> (LAO), LaGaO<sub>3</sub> (LGO), NdGaO<sub>3</sub> (NGO)이며, 모두 MgO와의 격자 불일치도가 10% 미만인 물질들이다. 이 중에서 LZO의 경우에는 미국 Oak Ridge 국립 연구소의 Chirayil 등이 sol-gel 공정에 의해 RABITS 위에서 *c*-축 배향성을 갖는 완충층으로 성장됨을 보고한 바 있다[17]. 따라서, 본 논문에서는 이러한 완충층 후보군들에 대한 비교 연구를 위하여 IBAD-MgO 기판위에서 PLD 공정 변수에 따라 성장된 완충층의 *c*-축 배향성 여부를 판별코자 하였으며, 이 중에서 에피택셜하게 성장된 완충층들에 대한 결정 배향성 및 표면 거칠기 등의 특성에 대하여 보고하고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 총 6종류(LMO, LZO, LAO, LGO, NGO, 및 BZO)의 재료를 대상으로 선택하였다. PLD용 2인치 타겟들은 모두 고상 반응에 의해 제작되었다. 본 실험에 사용된 모든 기판들은 장선의 IBAD-MgO 테입으로부터 작은 크기들로 잘라 사용하였다. 약 6.5 도의 면내 배향성(in-plane texture)과 4.5 nm의 표면 거칠기를 지닌 IBAD-MgO 기판위에서 KrF 엑시머 레이

<sup>1</sup>학생회원 : 서울대학교 재료공학부

<sup>2</sup>정회원 : 서울대학교 재료공학부 교수

<sup>3</sup>정회원 : 한국전기연구원 초전도재료연구그룹

<sup>4</sup>정회원 : (주)서남

\*교신저자 : siyoo@snu.ac.kr

원고접수 : 2008년 08월 21일

심사완료 : 2008년 09월 22일

게재확정 : 2008년 09월 22일

이저(Lambda Physik,  $\lambda=248$  nm)를 사용하여 위의 다양한 산화물 박막들을 제작하였다. LMO(자세한 증착 조건은 참고문헌 [15]에 서술됨.)를 제외한 나머지 완충층들을 위한 PLD 증착 조건 중에서 에너지 밀도, 레이저 반복 주파수, 증착 시간, 그리고 타겟과 기판간 거리는 모두  $2 \text{ J/cm}^2$ , 10Hz, 10 min, 그리고 6cm로 각각 고정하였다. 그리고, 본 연구진에서 이전에 보고된 BZO[16]를 제외한 나머지 LMO, LZO, LAO, LGO, NGO 물질들에 대한 증착 온도는  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  그리고 분압은  $100 \text{ mTorr}$ 였다. 모든 산화물 박막들의 상분석과 결정 배향성은 X-ray 회절 (XRD, Bruker D8 Discover)을 통하여 분석되었으며, 표면 거칠기는 atomic force microscopy (AFM)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 각각의 완충층 물질들의 결정구조, 격자상수, MgO와의 격자 불일치도 및 XRD에 의한 IBAD-MgO기판 위 에피택셜 성장 여부를 Table I에 나열하였다. Table 1에서 볼 수 있듯이,  $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$  계열의 pyrochlore 구조를 갖는 LZO를 제외하고 나머지 LMO, LAO, LGO, NGO 및 BZO는 모두  $\text{ABO}_3$  화합물로서 YBCO와 동일한 perovskite 구조를 가지고 있다. 이러한 완충층들은 IBAD-MgO 기판의 가장 상단부에 위치하는 homoepi-MgO층 위에서 증착이 될 때 밑에 위치하는 MgO와의 격자 불일치도가 완충층의 결정 배향성에 매우 중요한 변수가 될 수 있다. Table 1에 보면 BZO가 MgO와 비교하여 가장 작은 0.4%의 격자 불일치도를 보이고 있으며, LAO가 가장 큰 9.9%의 격자 불일치도를 보이고 있다. 본 연구진에서 선정한 LZO, LAO, LGO, NGO 물질들이 모두 대략 8~10% 범위에서 MgO와의 격자 불일치도가 큰 편에 속하지만 이미 7.6%의 격자 불일치도를 갖는 LMO가 본 연구진의 선행 연구[15]에서 IBAD-MgO 위에 증착될 때 모든 PLD 증착 조건에서 매우 높은 c-축 배향성을 보였다. 또한, 완충층위에 성장되는 초전도상과의 격자 불일치도를 고려할 때 본 연구진에서 추후에 초전도층으로 증착 예정인  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (GdBCO)상과 LZO, LAO, LGO, 및 NGO는 모두 3% 이내의 격자 불일치도를 가지고 있는 물질들이다. 하지만, 이러한 특성들을 지닌 LZO, LAO, LGO, 및 NGO들은 Table 1의 결과에서 볼 수 있듯이 IBAD-MgO 기판위에서 예상과는 다르게 모두 다결정(polycrystal) 또는 비정질(amorphous) 성장을 보였다.

Table 1. Various buffer materials : structure, lattice parameter, lattice misfit with MgO, and results for crystallinity.

| Buffer materials                   | Structure               | Lattice parameter (Å) | Lattice misfit with MgO (a=4.211 Å) | Results                |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| $\text{LaMnO}_3$                   | Orthorhombic perovskite | 3.889                 | 7.6%                                | epitaxial growth       |
| $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ | Cubic pyrochlore        | 3.814                 | 9.4%                                | polycrystalline growth |
| $\text{LaAlO}_3$                   | Orthorhombic perovskite | 3.792                 | 9.9%                                | amorphous film         |
| $\text{LaGaO}_3$                   | Orthorhombic perovskite | 3.877                 | 7.9%                                | polycrystalline growth |
| $\text{NdGaO}_3$                   | Orthorhombic perovskite | 3.84                  | 8.8%                                | polycrystalline growth |
| $\text{BaZrO}_3$                   | Cubic perovskite        | 4.193                 | 0.4%                                | epitaxial growth       |

Fig. 1에는, IBAD-MgO 기판위에서  $750^\circ\text{C}$ 에서 증착된 LMO, LZO, LAO, LGO, 및 NGO 그리고  $650^\circ\text{C}$ 에서 증착된 BZO 박막들의 X-ray  $\theta$ - $2\theta$  분석결과를 보여주고 있다. 이미 Table 1에서 보인 것처럼, Fig. 1(a)에 보이는 LMO의 경우 적용된 모든 증착 온도에서 높은 (001) 배향성을 나타내었다[15]. Fig. 1(b)의 LZO는 다결정체인 벌크 타겟에서 보이는 (222) main peak이 그대로 증착된 박막에서도 우선 배향성(preferred orientation)으로 나타났으나 측정에 사용된 GADDS (general area detector diffraction system)를 통하여 관찰된 (222) 상의 회절 링 패턴을 통하여 다결정 성장을 알 수 있었다. 흥미롭게도, LAO는 그래프에는 나타나지는 않았지만  $650^\circ\text{C}$ 에서 증착된 시편과 마찬가지로 Fig. 1(c)에 보이는  $750^\circ\text{C}$ 에서 증착된 박막에서도 IBAD-MgO 기판 이외의 다른 회절 peak이 전혀 발견되지 않는 것으로 보아 LAO 박막이 비정질상으로 자란 것임을 확인할 수 있었다. 1990년대 후반부에 Carlson 등[18]은 이와 유사한 보고를 한 적이 있는데, 그들은 YSZ 단결정위에 LAO를 PLD법으로 증착한 결과 LAO가 비정질 성장을 보였으며, YSZ 단결정 위에 LAO와 격자 불일치도가 1% 미만인  $\text{CeO}_2$ 를 입히고 그 위에 증착된 LAO 박막 역시 비정질로 성장됨을 보고한 바 있다. Fig. 1(d)와 (e)에서 관찰되는 LGO와 NGO XRD 결과들을 보면 LGO와 NGO 각각의 단일 상에 의한 회절 패턴은 나타나지 않았으며,  $\text{La}_2\text{O}_3$ 와  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  상이 부분적으로 발견되어 증착된 단일상이 아니고 또한 다결정 박막을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 마지막으로, Fig. 1(e)에 나타난 BZO의 경우 역시 LMO와 마찬가지로  $610, 650, \text{ 및 } 690^\circ\text{C}$ 의 낮은 증착 온도에서도 c-축 배향성이 우수한 완충층으로 성장됨을 확인할 수 있었다[16]. 본 논문에는 기재하지 않았으나 추가적으로, 앞서 말한 LZO, LAO, LGO, 및 NGO 물질들에 대해서 MgO 결정성에 대한 보다 정확한 기준이 되는 MgO 단결정을 기판으로 사용하여 같은 PLD 증착 조건으로 성장시킨 결과 Fig. 1과 동일한 X-ray 결과들을 보여주었다.

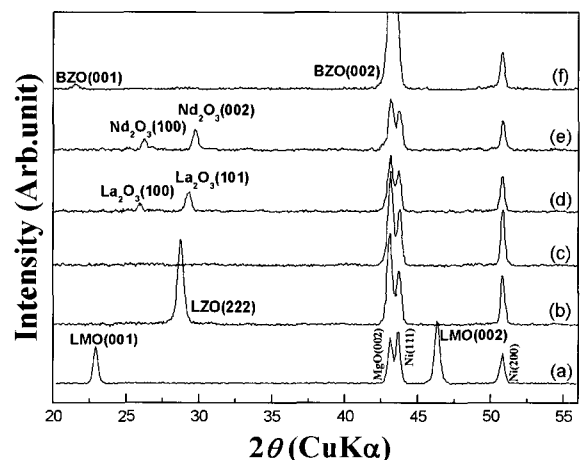


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of (a) LMO, (b) LZO, (c) LAO, (d) LGO, (e) NGO, and BZO films deposited on the IBAD-MgO template. For a comparison, those of (a) and (f) were also plotted from ref. [15] and [16], respectively.

이전 실험에서 IBAD-MgO 기판위에서 c-축으로 에피택셜 성장을 보인 LMO 완충층에 대해서  $750^\circ\text{C}$ 의 증착온도에서 산소 분압 변화에 따른 LMO층의 표면 거칠기를 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. SEM에

서도 확인된 조밀한 미세구조가 Fig. 2(a)에 보이는 50 mTorr의 낮은 분압에서 증착된 LMO 박막에서도 볼 수 있었는데 표면 거칠기는 5.5 nm를 나타내었다. 이후, Fig. 2(b)-(e)에서 보는 바와 같이 산소 분압이 100 mTorr에서 300 mTorr까지 점점 증가함에 따라 입자들의 돌출 성장(out-growth)이 두드러지게 되며 입자 수 및 크기 또한 조금씩 증가함을 관찰할 수 있다. 이에 따라 100, 150, 200, 그리고 300 mTorr로 분압이 증가함에 따라 측정된 각각의 표면 거칠기 역시 5.6, 5.8, 6.5, 그리고 8.5 nm로 점점 증가하는 결과를 보여주었다. 참고문헌 [16]에 따르면, 이 중에서 결정 배향성은 100 mTorr에서 가장 좋은 5.2 도의 면내 배향성을 보여주었다. 에피택셜 성장을 보여주었던 BZO 역시 모든 PLD 조건하에서 약 6 도의 면내 배향성을 일정하게 보여주었고, 650°C의 증착온도에서 다양한 분압에 따라 표면 거칠기가 달라졌으며 200 mTorr의 분압 조건에서 5.1 nm의 가장 평탄한 표면 거칠기를 보여주었다[16]. 이러한 BZO 완충층에 대해서 최종적으로 증착 시간에 따라 달라지는 BZO 두께에 대한 연구를 현재 시행 중에 있다. 또한, 본 연구에서 보고된 완충층 후보군들 이외에도 선정된 몇몇 기타 산화물들에 대한 추가적인 연구가 진행될 계획이며, 결정 배향성과 표면 거칠기 등 특성들이 최적화된 완충층 위에서 증착된 GdBCO의 초전도 특성을 통하여 IBAD-MgO 기판위에서 가장 효율적인 완충층을 판별해 나가는 비교연구가 뒷받침될 예정이다.

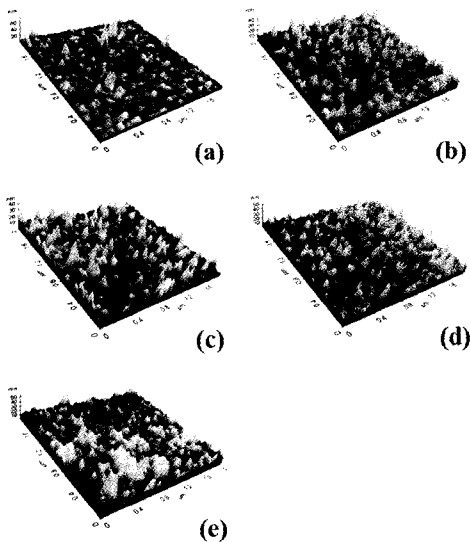


Fig. 2. AFM images of LMO buffer layers deposited at (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr, and (e) 300 mTorr.

#### 4. 결 론

본 연구에서는, IBAD-MgO 기판과 초전도층 사이에서 최적화된 완충층을 찾기 위한 선별 단계로서 LMO, LZO, LAO, LGO, NGO, BZO 와 같은 다양한 산화물들을 대상으로 PLD 공정에 의한 IBAD-MgO 기판 위 에피택셜 성장을 비교분석하여 완충층 가능성 여부를 판별하고자 하였다. 750°C에서 증착된 LAO 박막의 경우에는 IBAD-MgO 기판위에서 비정질 성장을 보인 반면, LZO, LGO, 및 NGO 박막들은 모두 다결정으로 성장하였다. 이전 연구를 통하여 이미 다양한

PLD 공정 변수 하에서도 매우 우수한 결정 배향성을 갖는다는 것이 확인된 LMO의 경우, 100 mTorr에서 300 mTorr까지 PLD 분압이 증가할수록 박막의 표면 입자가 돌출되고 크기가 증가하며 표면 거칠기가 각각 5.6 nm에서 8.5 nm까지 약간씩 나빠짐을 알 수 있었다. BZO 완충층은 이전 실험을 통하여 넓은 증착 온도 영역에서도 c-축 배향성과 면내 2축배향성이 약 6°로 우수하다는 사실을 확인하였다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

- [1] D. Dimos, P. Chaudhari, and J. Mannhart, "Superconducting transport properties of grain boundaries in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  bicrystals" *Phys. Rev. B.*, 41, pp. 4038, 1990.
- [2] 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. Klabunde, E. Hartfield, and V. K. Sikka, "High critical current density superconducting tapes by epitaxial deposition of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  thick films on biaxially textured metals", *Appl. Phys. Lett.*, 69, pp. 1795, 1996.
- [3] Y. Iijima, N. Tanabe, O. Kohno, and Y. Ikeno, "In-plane aligned  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  thin films deposited on polycrystalline metallic substrates", *Appl. Phys. Lett.*, 60, pp. 769, 1992.
- [4] C. P. Wang, K. B. Do, M. R. Beasley, T. H. Geballe, and R. H. Hammond, "Deposition of in-plane textured MgO on amorphous  $\text{Si}_3\text{N}_4$  substrates by ion-beam-assisted deposition and comparisons with ion-beam-assisted-deposited yttria-stabilized-zirconia" *Appl. Phys. Lett.*, 71, pp. 2955, 1997.
- [5] H. Wang, S. R. Foltyn, P. N. Arendt, Q. X. Jia, J. L. MacManus-Driscoll, L. Stan, Y. Li, X. Zhang, and P. C. Dowden, "Microstructure of  $\text{SrTiO}_3$  buffer layers and its effects on superconducting properties of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  coated Conductors", *J. Mater. Res.*, 19, pp. 1869, 2004.
- [6] M. Li, B. Ma, R. E. Koritala, B. L. Fisher, K. Venkataraman, and U. Balachandran, "Pulsed laser deposition of YBCO thin films on IBAD - YSZ substrates", *Supercond. Sci. Technol.*, 16, pp. 105, 2003.
- [7] Y. Iijima, M. Kimura, T. Saitoh, K. Takeda, "Development of Y-123-coated conductors by IBAD process", *Physica C*, 335, pp. 15, 2000.
- [8] Y. Yamada, T. Muroga, H. Iwai, T. Izumi, Y. Shiohara, "Present status and perspective of

IBAD and PLD system in SRL and self-epitaxy in PLD-CeO<sub>2</sub> on IBAD seed layer", *Physica C*, 392-396, pp. 777, 2003.

[9] H. Wang, S. R. Foltyn, P. N. Arendt, Q. X. Jia, Y. Li, and X. Zhang, "Thickness effects of SrTiO<sub>3</sub> buffer layers on superconducting properties of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> coated conductors", *Physica C*, 433, pp. 43, 2005.

[10] Q. X. Jia, S. R. Foltyn, P. N. Arendt, J. R. Groves, T. G. Holesinger, M. E. Hawley, and P. Lu, "Role of SrRuO<sub>3</sub> buffer layers on the superconducting properties of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> films grown on polycrystalline metal alloy using a biaxially oriented MgO template", *Appl. Phys. Lett.*, 81, pp. 4571, 2002.

[11] S. R. Foltyn, P. N. Arendt, Q. X. Jia, H. Wang, J. L. MacManus-Driscoll, S. Kreiskott, R. F. DePaula, L. Stan, J. R. Groves, and P. C. Dowden, "Strongly coupled critical current density values achieved in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-s</sub> coated conductors with near-single-crystal texture", *Appl. Phys. Lett.*, 82, pp. 4519, 2003.

[12] M. P. Paranthaman, T. Aytug, S. Kang, R. Feenstra, J. D. Budai, D. K. Christen, P. N. Arendt, L. Stan, J. R. Groves, R. F. DePaula, S. R. Foltyn, and T. G. Holesinger, "Fabrication of High J<sub>c</sub> YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> Tapes Using the Newly Developed Lanthanum Manganate Single Buffer Layers", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 13, pp. 2481, 2003.

[13] M. Paranthaman, T. Aytug, D. K. Christen, P. N. Arendt, S. R. Foltyn, J. R. Groves, L. Stan, R. F. DePaula, H. Wang, and T. G. Holesinger, "Growth of thick YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-s</sub> films carrying a critical current of over 230 A/cm on single LaMnO<sub>3</sub>-buffered ion-beam assisted deposition MgO substrates", *J. Mater. Res.*, 18, pp. 2055, 2003.

[14] K. P. Ko, H. S. Ha, H. K. Kim, K. K. Yu, R. K. Ko, S. H. Moon, S. S. Oh, C. Park, and S. I. Yoo, "Fabrication of highly textured IBAD-MgO template by continuous reel-to-reel process and its characterization", *Physica C*, 463-465, pp. 564, 2007.

[15] K. P. Ko, G. M. Shin, R. K. Ko, S. H. Moon, S. S. Oh, and S. I. Yoo, "Processing and characterization of LaMnO<sub>3</sub>-buffered layer on IBAD-MgO template", *Physica C*, 468, pp. 1597, 2008.

[16] K. P. Ko, R. K. Ko, S. Y. Lee, H. K. Kim, S. H. Moon, S. S. Oh, and S. I. Yoo, "GdBCO coated conductor on BaZrO<sub>3</sub>-buffered IBAD-MgO template", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, submitted.

[17] T. G. Chirayil, M. Paranthaman, D. B. Beach, D. F. Lee, A. Goyal, R. K. Williams, X. Cui, D. M. Kroeger, R. Feenstra, D. T. Verebelyi, D. K. Christen, "Epitaxial growth of La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> thin films on rolled Ni-substrates by sol-gel process for high T<sub>c</sub> superconducting tapes", *Physica C*, 336, pp. 63, 2000.

[18] C. M. Carlson, J. C. Price, P. A. Parilla, D. S.

Ginley, D. Nilas, R. D. Blaugher, A. Goyal, M. Paranthaman, D. M. Kroeger, D. K. Christen, "Laser-ablated epitaxial LaAlO<sub>3</sub> buffer layers on biaxially textured Ni substrates for superconducting tapes", *Physica C*, 304, pp. 82, 1998.

저 자 소 개



고경필(高景弼)

1976년 12월 15일생, 2003년 전남대 공대 금속공학과 졸업, 2003년 서울대 공과대학원 재료공학부 입학, 현재 동대학원 재료공학부 박사 과정.



장기선(張奇善)

1982년 3월 11일생, 2008년 한양대 공대 재료공학과 졸업, 2008 서울대 공과대학원 재료공학부 입학, 현재 동 대학원 재료공학부 석사 과정.



유상임(劉相任)

1959년 10월 10일생, 1987년 서울대 공대 무기재료공학과 졸업, 1984년 동 대학원 무기재료공학과 졸업(공학석사), 1992년 Iowa State University 졸업(공학박사), 현재 서울대 재료공학부 교수.



오상수(吳詳秀)

1959년 11월 1일생, 1982년 경북대 금속공학과 학사졸업, 1989년 일본Kyoto대학 재료공학과 졸업(공학석사), 1992년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 초전도재료연구그룹 그룹장.



고락길(高樂吉)

1972년 5월 1일생, 1995년 배재대 물리학과 졸업, 1997년 동 대학원 졸업(이학석사), 현재 한국전기연구원 선임 연구원.



문승현(文勝鉉)

1964년 9월 23일생, 1987년 서울대학교 물리학과 졸업, 1994년 동대학원 졸업(이학박사), 1994~2002년 LG전자기술원 책임연구원, 2002~2006년 서울대학교 재료공학부 계약 초빙교수, 2004~현재 주식회사 서남 대표이사.



김호겸(金護兼)

1978년 1월 18일생, 1990년 연암대학 전자공학과 졸업, 현재 (주) 서남 신소재 연구소 주임연구원.