

# YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 涂层导体的外延生长和性能对 CeO<sub>2</sub> 缓冲层的依赖性<sup>\*</sup>

李美亚<sup>1)†</sup> 汪 晶<sup>1)</sup> 刘 军<sup>1)</sup> 于本方<sup>1)</sup> 郭冬云<sup>1)</sup> 赵兴中<sup>1)‡</sup>

1) 武汉大学物理科学与技术学院, 武汉 430072)

2) 武汉大学教育部声光材料与器件重点实验室, 武汉 430072)

(2007 年 8 月 20 日收到, 2007 年 11 月 2 日收到修改稿)

利用倾斜衬底沉积法在无织构的金属衬底上生长了 MgO 双轴织构的模板层, 在这一模板层上实现了 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 薄膜的外延生长. 在外延 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 薄膜前, 依次沉积了钇稳定的立方氧化锆和 CeO<sub>2</sub> 作为缓冲层. 利用 X 射线衍射  $2\theta$  扫描、 $\phi$  扫描、 $\Omega$  扫描和极图分析测定了这些膜的结构和双轴织构取向, 利用 Raman 光谱表征了其超导相的品质和取向特性. 利用扫描电镜和原子力显微镜观测了薄膜的表面形貌和粗糙度. 考察了不同厚度的 CeO<sub>2</sub> 层对 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 生长和性质的影响. 发现了 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 薄膜的外延生长和性能对 CeO<sub>2</sub> 的不同厚度具有显著而独特依赖性, 讨论了其可能的机理.

关键词: YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 镀膜导体, CeO<sub>2</sub> 缓冲层, 厚度依赖性, 外延生长

PACC: 6855, 7475, 6110, 7430F

## 1. 引 言

在金属衬底上沉积 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> (YBCO) 薄膜形成所谓的 YBCO 涂层导体在电力、电缆、发电机、电动机、变压器、强磁铁等领域具有巨大的应用前景, 吸引了不少科学家广泛的研究兴趣<sup>[1-4]</sup>. 为了传输高电流密度, YBCO 超导薄膜必须具有很好的织构以消除膜中大角度晶界的弱连接的影响<sup>[5]</sup>. 为在多晶金属基片上制备双轴织构或外延 YBCO 薄膜, 需首先在金属基片上制备双轴织构模板层或缓冲层. 为此人们作了大量努力研究在多晶金属衬底上生长双轴织构缓冲层从而外延生长 YBCO 薄膜的技术和机理.

近年来发展的倾斜衬底沉积法 (ISD) 是成功地用于在无织构的金属衬底上生长双轴织构模板层的多种技术方法之一<sup>[6,7]</sup>. ISD 是利用衬底相对于靶源束以一定的角度倾斜的技术制备双轴织构薄膜. 与离子束辅助沉积技术<sup>[8]</sup> 比较, ISD 可具有高达 600 nm/min 的沉积速率, 可最大限度地降低长带生

长所需的时间, 并且工艺设备简单, 不需要离子源, 不受金属衬底重晶化性质的影响, 容易实现规模化生产. 利用 ISD 在无织构的金属衬底上已成功地生长了双轴织构的 MgO 模板层, 在引入适当的缓冲层后, YBCO 薄膜可利用脉冲激光沉积法生长在这种模板层上<sup>[7]</sup>. 对 YBCO 薄膜, 要获得高临界电流密度 ( $J_c$ ), 双轴织构的取向性质是十分重要的. 在以前的研究中, 随缓冲层的不同, 在 MgO 模板层上生长的 YBCO 具有倾斜的或垂面的  $c$  轴取向<sup>[9]</sup>, 其超导特性也显著不同. 可见 YBCO 薄膜的生长和性质对缓冲层性质具有密切的依赖性. 为深入研究这种依赖性及其机理, 本文报道利用倾斜衬底沉积法在无织构的金属衬底上生长 MgO 模板层以及在这一模板层上具有不同 CeO<sub>2</sub> 缓冲层厚度的 YBCO 薄膜的外延生长和性质.

## 2. 实 验

实验用多晶 Ni 基合金片 (Hastelloy C-276) 经机械抛光后作为衬底. 在室温下利用倾斜衬底的电子

<sup>\*</sup> 教育部留学回国人员科研启动基金 (批准号: 2004-527) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: myli@whu.edu.cn

束蒸发沉积  $\text{MgO}$  模板层(图 1). 衬底以一定倾斜角安装在蒸发源上方的样品台上. 衬底法向相对于蒸发束方向的倾斜角  $\alpha$  为  $55^\circ$ . 沉积时在系统中引入氧气并保持氧压于  $2.6 \times 10^{-3}$  Pa. 石英晶体振荡监测器安装于衬底旁用于监测沉积速率和控制膜厚. 典型的 ISD  $\text{MgO}$  层的厚度为  $2 \mu\text{m}$ , 沉积速率为  $80\text{--}150 \text{ nm/min}$ . 为改善 ISD  $\text{MgO}$  层的表面质量, 在较高的温度下以零倾斜角沉积了一薄同质  $\text{MgO}$  外延层.

YBCO 薄膜则利用脉冲激光沉积法制备<sup>[10]</sup>. 衬底用银浆粘于可加热样品台上加热至所需的衬底温度( $T_s$ ). 在生长 YBCO 薄膜前, 利用这同一系统依次沉积了钇稳定的  $\text{ZrO}_2$ (YSZ) 约  $100 \text{ nm}$  和不同厚度的  $\text{CeO}_2$  缓冲层.  $\text{CeO}_2$  是具有优异性能的重要缓冲层材料<sup>[11-14]</sup>.  $\text{CeO}_2$  层的沉积时间分别为  $1.5, 3, 5, 10$  和  $15 \text{ min}$ , 对应的膜厚度分别为  $5, 10, 16.7, 33.4$  和  $50 \text{ nm}$ . 其厚度是由在一定时间内沉积的  $\text{CeO}_2$  层样品的高倍横截面扫描电镜图测算的.

样品的晶体结构和双轴织构是利用 X 射线衍射(XRD)  $2\theta$  扫描、 $\Omega$  扫描、 $\phi$  扫描和极图法测定的. 膜的平面内织构由 XRD  $\phi$  扫描表征, 而膜的平面外取向则由  $\Omega$  扫描和极图法测定. 利用扫描电镜和原子力显微镜分别观测了其形貌特征和表面粗糙度. 同时也用拉曼光谱来表征 YBCO 膜的织构和相纯度. 样品的超导临界转变温度  $T_c$  是利用互感法测定的, 而样品的临界电流密度  $J_c$  则是用标准四探针法(临界电场值  $1 \mu\text{V/cm}$ ) 在  $77 \text{ K}$  温度下测量得到的.

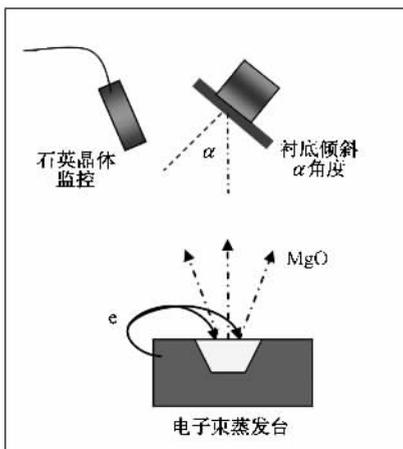


图 1 电子束蒸发倾斜衬底沉积法系统示意图

## 3. 结果和讨论

### 3.1. 双轴织构特征

XRD 极图和  $\phi$ -扫描测量是表征外延薄膜的双轴织构及取向关系的有效技术. 典型的  $\text{CeO}_2$  厚度为  $10 \text{ nm}$  的 YBCO 薄膜样品的  $\text{MgO}(002)$  和  $\text{YBCO}(005)$  面的二维极图分别示于图 2(a) 和 (b). 图 2(c) 和 (d) 则分别给出了对应于  $\text{MgO}(220)$  和  $\text{YBCO}(103)$  晶面的  $\phi$  扫描图. 在  $\text{MgO}(002)$  极图中的三个极峰的不对称角度分布显示了  $\text{MgO}(001)$  面相对于 HC 衬底表面的倾斜特征<sup>[9]</sup>, 并由此给出的倾斜角为  $32^\circ$ . 由于这种倾斜, 在其  $\text{MgO}(220)$  面的  $\phi$  扫描图中仅有两个衍射峰, 如图 2(c) 所示. 生长在  $\text{MgO}$  模板上的 YSZ 缓冲层的 YSZ(002) 面的极图和 YSZ(220) 面的  $\phi$  扫描图具有与上述  $\text{MgO}$  非常类似的峰位分布(图略), 由此揭示出 YSZ 在  $\text{MgO}$  上的正方对正方形的倾斜外延生长. 然而,  $\text{YBCO}(005)$  面的极图和  $\text{YBCO}(103)$  面的  $\phi$  扫描图分别显示出不同于  $\text{MgO}(002)$  面和  $\text{MgO}(220)$  面的峰位分布. 在  $\text{YBCO}(005)$  面的极图中仅在中心显示有一强的极峰, 表明 YBCO 薄膜具有  $c$  轴垂直于衬底表面的取向. 在  $\text{YBCO}(103)$  面的  $\phi$  扫描图中四个峰呈对称分布, 证实了其  $c$  轴垂直取向的特征, 也显示了其面内具有好的外延织构. 由于  $\text{CeO}_2$  薄膜层极图峰强度太弱, 难以显示极峰位分布, 在此未予给出. 对这些取向分布的更多的讨论见文献 [7, 9].

具有不同  $\text{CeO}_2$  厚度的 YBCO 薄膜的结构和取向是用 XRD  $2\theta$  扫描测定的, 如图 3. 具有不同  $\text{CeO}_2$  厚度的样品的 XRD 图具有不同的特征. 在没有  $\text{CeO}_2$  缓冲层的样品的 XRD 图上, 一系列的  $\text{YBCO}(00l)$  面衍射, 以及两个  $\text{YBCO}(h00)$  峰出现了, 表明这  $c$  轴取向膜是混杂有  $a$  轴取向的. 对  $\text{CeO}_2$  为  $5 \text{ nm}$  厚的样品, XRD 图上只有  $\text{YBCO}(00l)$  峰, 对应着全  $c$  轴取向. 随着  $\text{CeO}_2$  的厚度增至  $10 \text{ nm}$ , 样品的 XRD 图显示有强而尖锐的  $\text{YBCO}(00l)$  峰, 表明形成了高结晶质量的  $c$  轴取向的 YBCO 膜. 在此图上观测到  $\text{CeO}_2$  的  $(002)$  峰, 表明  $\text{CeO}_2$  层也是  $c$  轴取向的. 正如所预期的, 由于  $\text{MgO}$  和 YSZ 为  $c$  轴倾斜取向的原因, 在此常规  $2\theta$  扫描谱中未见它们的峰出现. 这类倾斜取向层的衍射峰可在特殊的倾斜 XRD  $2\theta$  扫描谱中观测到<sup>[9]</sup>. 随着  $\text{CeO}_2$  的厚度分别增加至  $16.7,$

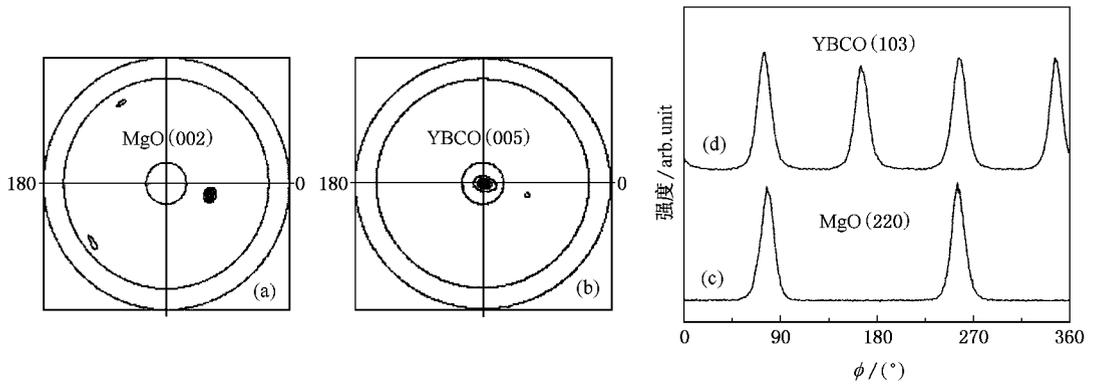


图 2 典型样品的(a)MgO(002)和(b)YBCO(005)晶面的 X 射线衍射极图及其对应的(c)MgO(220)和(d)YBCO(103)晶面的  $\phi$  扫描图

33.4 和 50 nm, 对应样品 XRD 图上的 YBCO(00l)系列峰随其厚度的增加而降低, 分别如图 3(d)(e)和(f)所示. 在图(f)中 YBCO(00l)的峰几乎不能见到, 表明 YBCO 薄膜峰的晶化极差. 这一极差的晶化可能是与原 CeO<sub>2</sub> 层的较差的晶化(如图中 CeO<sub>2</sub>(002)较弱的峰)有关.

的高质量 YBCO 外延薄膜已经形成. 而随着 CeO<sub>2</sub> 的厚度从 16.7 nm 增加至 50 nm, 这些衍射峰的强度随之显著降低, 并且其 FWHM 显著增加, 表明了 YBCO 膜面内织构有序度的显著降低, 最终形成膜面内的随机取向状态.

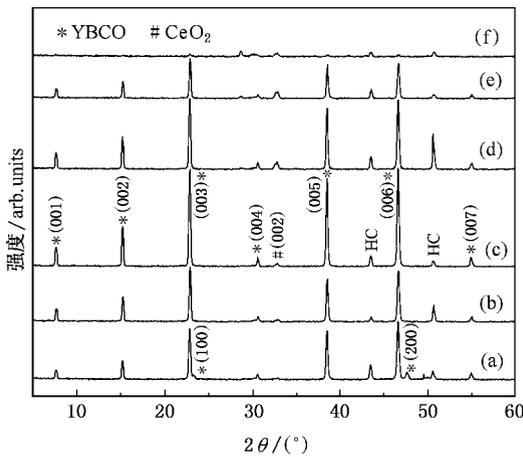


图 3 不同的 CeO<sub>2</sub> 厚度的 YBCO 样品的 XRD-2 $\theta$  衍射图 (a) 0 nm (b) 5 nm (c) 10 nm (d) 16.7 nm (e) 33.4 nm (f) 50 nm

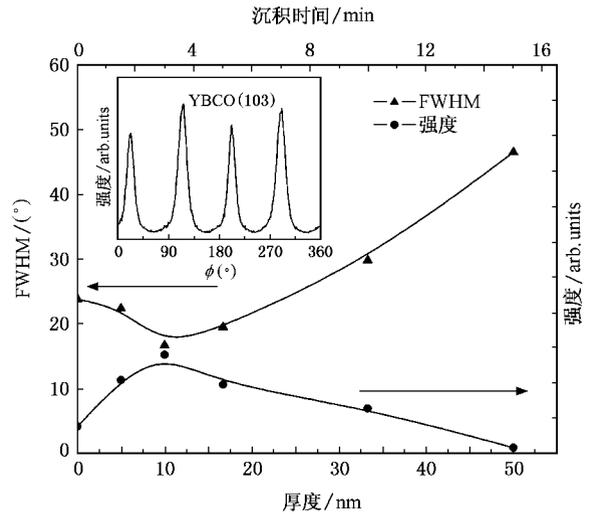


图 4 典型的 YBCO(103) 晶面的  $\phi$  扫描图(内插图)及其峰半高宽(FWHM)和峰强度随不同 CeO<sub>2</sub> 层厚度的变化曲线

这些样品的平面内织构是用 XRD  $\phi$  扫描测定的. 图 4 显示了样品的 YBCO(103) 面的 XRD  $\phi$  扫描图(插图)的峰强度和峰半高宽(FWHM)随 CeO<sub>2</sub> 层厚度变化的曲线特征. 由图可见, 对没有 CeO<sub>2</sub> 缓冲层的样品, YBCO(103) 面的  $\phi$  扫描图具有很低的强度和较大的 FWHM, 表明其平面内织构很差; 增加 CeO<sub>2</sub> 层的厚度使 YBCO 薄膜在面内取向有序度增加; 当 CeO<sub>2</sub> 厚度增至 10 nm 时, 其  $\phi$  扫描图具有最大的强度和最小的 FWHM, 表明具有最佳面内取向

平面外取向的变化由 YBCO(005) 面的 XRD  $\Omega$  扫描表征, 其半高宽(FWHM)随 CeO<sub>2</sub> 厚度的变化如图 5 所示. 由图可见, CeO<sub>2</sub> 为 10 nm 厚的样品的 YBCO(005) 峰具有很小的半高宽, 表明其 YBCO 的 c 轴取向具有小的发散度. 然而, 降低或增加 CeO<sub>2</sub> 的厚度, YBCO(005) 峰的半高宽随之增大, 表明 YBCO 膜 c 轴取向的发散度也随之增大. 值得一提的是, 没有 CeO<sub>2</sub> 缓冲层的样品的 YBCO 膜的 c 轴取向发散度也相对较小.

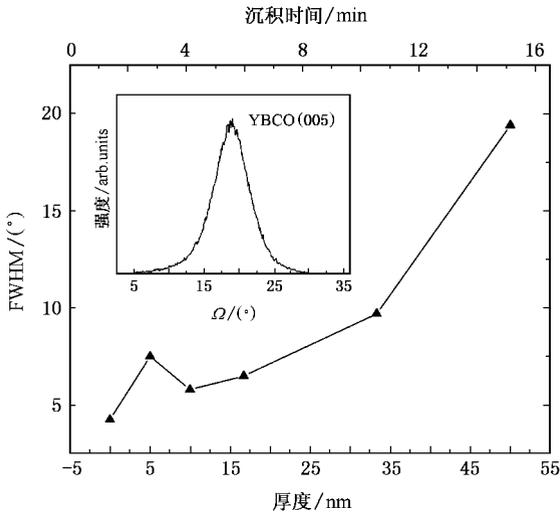


图 5 典型的 YBCO(005) 晶面的  $\Omega$  扫描图(内插图)及其峰半高宽(FWHM)随不同 CeO<sub>2</sub> 层厚度的变化曲线

### 3.2. 拉曼谱特征

如图 6 所示,拉曼谱也用于表征 YBCO 薄膜的质量.具有完全的 *c* 轴取向的理想化学组分比的 YBCO 膜在所测量的频谱范围内应仅显示有约 340 cm<sup>-1</sup> 的谱带.在 CeO<sub>2</sub> 层为 5 nm 厚的 YBCO 薄膜谱图中,在 340 cm<sup>-1</sup> 处观测到一强的拉曼吸收带,表明在膜中 *c* 轴取向度好.而谱中未见其他杂峰,表明其 YBCO 膜具有理想的化学计量比组分并无附属杂相.然而,在其他的 CeO<sub>2</sub> 厚度值的样品谱图中,均观测到对应约 506 cm<sup>-1</sup> 的吸收带,表明这些膜中存在一定程度的双轴织构的无序<sup>[15,16]</sup>.这再次确认了最佳的 CeO<sub>2</sub> 厚度对应为 10 nm,这也与 XRD 的分析

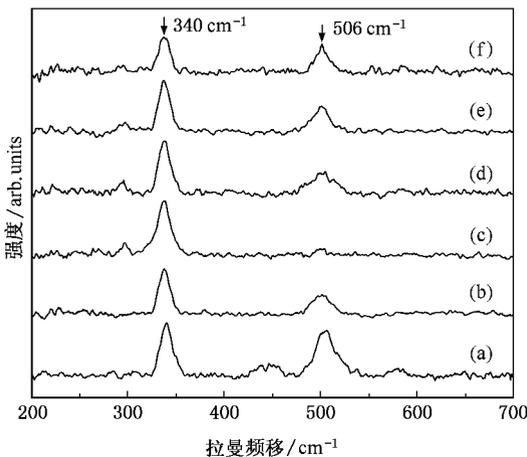


图 6 不同的 CeO<sub>2</sub> 厚度的 YBCO 样品的 Raman 谱 (a) 0 nm (b) 5 nm (c) 10 nm (d) 16.7 nm (e) 33.4 nm (f) 50 nm

结果相符.

### 3.3. 超导性质

YBCO 膜的超导性质示于图 7.在不同 CeO<sub>2</sub> 厚度的 YBCO 膜中观测到不同的 *T<sub>c</sub>* 和 *J<sub>c</sub>* 值.在对应为 10 nm 的最佳 CeO<sub>2</sub> 厚度的 YBCO 膜中,得到了 *T<sub>c</sub>* 和 *J<sub>c</sub>* 分别为 91 K 和 5.5 × 10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup> 的最高值.在没有 CeO<sub>2</sub> 缓冲层或其厚度低于或高于其最佳厚度的 YBCO 膜中,*T<sub>c</sub>* 和 *J<sub>c</sub>* 值均有显著降低.

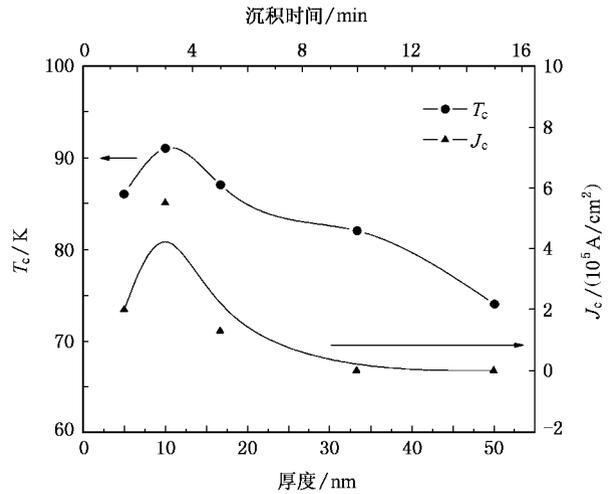


图 7 YBCO 样品的 *T<sub>c</sub>* 和 *J<sub>c</sub>* 值随不同 CeO<sub>2</sub> 层厚度的变化曲线

### 3.4. CeO<sub>2</sub> 厚度依赖性

上述结果表明 CeO<sub>2</sub> 缓冲层的厚度对 YBCO 薄膜的结构和电性能具有重要影响.直接生长在 YSZ 缓冲层上的 YBCO 薄膜,具有膜面外 *c* 轴取向和膜面内的随机取向,其超导性质很差;通过在 YSZ 和 YBCO 膜之间引入 CeO<sub>2</sub> 缓冲层可改善 YBCO 膜的性质,而且, YBCO 膜的结构和电性能对 CeO<sub>2</sub> 层厚度的变化十分敏感.发现具有最好的双轴织构和超导性质的 YBCO 薄膜的 CeO<sub>2</sub> 最佳厚度约为 10 nm.对 CeO<sub>2</sub> 层厚度大于或小于这一最佳厚度值的样品, YBCO 膜的结构和超导性质,均有不同程度的变坏.近年来其他研究人员也报道了类似的厚度依赖性<sup>[17,18]</sup>. Shi 等<sup>[19]</sup>发现在 YSZ 衬底上利用 PLD 制备的 CeO<sub>2</sub> 层的临界厚度为 10—100 nm,随沉积温度而变.Linker 等<sup>[20]</sup>揭示利用溅射的 CeO<sub>2</sub> 全面覆盖 r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 衬底的最小厚度为 8 nm.这意味着在我们研究中得到的最佳厚度 10 nm 可能是 CeO<sub>2</sub> 层完全覆盖 YSZ 层的临界厚度.图 8(a)显示了生长于 ISD

MgO 模板层上的 YSZ 层和  $\text{CeO}_2$  层(左上插图)的 SEM 像. 在图中可见 YSZ 膜层表面呈起源于下面 ISD MgO 模板层的屋顶瓦片状形貌<sup>[9]</sup>.

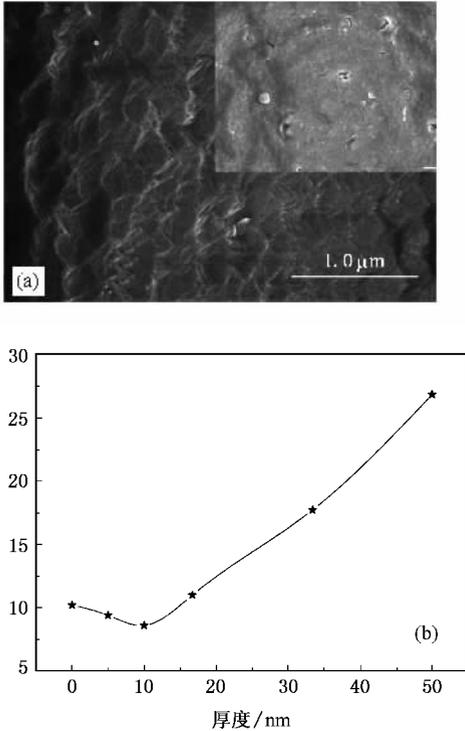


图 8 在 ISD MgO 模板层上外延沉积的 (a)YSZ 和其上的  $\text{CeO}_2$  (右上角插图)的 SEM 像及其 (b)表面粗糙度随不同  $\text{CeO}_2$  层厚度的变化曲线

然而,在沉积了 10 nm 厚的  $\text{CeO}_2$  层后,YSZ 的表面完全被  $\text{CeO}_2$  层所覆盖,且其“屋顶瓦片状”表面形貌基本消失.有些研究表明  $\text{CeO}_2$  层的表面粗糙度是一个影响 YBCO 薄膜性质的重要因素<sup>[18-21]</sup>.由

AFM 测量得到的不同厚度的  $\text{CeO}_2$  层的表面粗糙度示于图 8(b).由图可见在  $\text{CeO}_2$  最佳厚度为 10 nm 时对应最小的表面粗糙度值.基于这些观测,我们初步将没有  $\text{CeO}_2$  层或厚度小于 10 nm 的 YBCO 膜的较差的结构和电性质归因于  $\text{CeO}_2$  层不能完全覆盖于 YSZ 表面,并可能在 YBCO 和 YSZ 界面产生  $\text{BaZrO}_3$  杂相<sup>[22]</sup>,从而对 YBCO 膜的外延生长、结构和电性质产生有害的影响.而当  $\text{CeO}_2$  厚度大于 10 nm 并不断增大时, $\text{CeO}_2$  可能逐渐形成较差的晶体结构及表面粗糙度增加,并影响 YBCO 薄膜在其上的外延生长.为更好地理解 YBCO 薄膜性质对  $\text{CeO}_2$  厚度的依赖性,有待于更多的工作.

## 4. 结 论

利用 PLD 在有 ISD MgO 模板层的金属衬底上,外延生长了双轴织构的 YBCO 薄膜.在 YBCO 薄膜与 MgO 模板层之间,生长了 YSZ 和不同厚度的  $\text{CeO}_2$  缓冲层.研究揭示了  $\text{CeO}_2$  层厚度对 YBCO 薄膜的结构和性质具有重要影响,其临界最佳厚度发现为 10 nm.在这一最佳厚度的  $\text{CeO}_2$  层上生长的 YBCO 薄膜具有最高的临界转变温度  $T_c$  和临界电流密度  $J_c$  值. $\text{CeO}_2$  层厚度偏离这一最佳厚度时,YBCO 结构和性能的降低,或可归因于过低的  $\text{CeO}_2$  厚度使  $\text{CeO}_2$  不能完全覆盖 YSZ 表面,产生有害的界面杂相,而过高的  $\text{CeO}_2$  厚度则可能使其结晶和取向性变差,表面粗糙度增加,这均不利于 YBCO 薄膜的外延生长.

[1] Norton D P, Goyal A, Budai J D, Christen D K, Kroeger D M, Specht E D, He Q, Saffian B, Paranthaman M, Klabunde C E, Lee D F, Sales B C, List F A 1996 *Science* **274** 755

[2] Chen M, Donzel L, Lakner M, Paul W 2004 *J. Europ. Cera. Soc.* **24** 1815

[3] Foltyn S R, Arendt P N, Jia Q X, Wang H, MacManus-Driscoll J L, Kreiskott S, DePaula R F, Stan L, Groves J R, Dowden P C 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 4519

[4] Balachandran U, Li M, Koritala R E, Fisher B L, Ma B 2002 *Physica C* **372-376** 869

[5] Knierim A, Auer R, Geerk J, Linker G, Meyer O, Reiner H, Schneider R 1997 *Appl. Phys.* **70** 66

[6] Bauer M, Semerad R, Kinder H 1999 *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **9** 1502

[7] Li M, Ma B, Koritala R E, Fisher B L, Venkataraman K, Maroni V A, Vlasko-Vlasov V, Berghuis P, Welp U, Gray K E, Balachandran U 2003 *Physica C* **387** 373

[8] Ma B, Li M, Fisher B L, Balachandran U 2002 *Supercond. Sci. Technol.* **15** 1083

[9] Li M Y, Ma B, Koritala R E, Fisher B L, Zhao X Z, Maroni V A, Dorris S E, Balachandran U 2004 *Solid State Communications* **131** 101

[10] Li M, Ma B, Koritala R E, Fisher B L, Maroni V A, Balachandran U 2003 *Supercond. Sci. Technol.* **16** 105

- [ 11 ] Wu X D ,Dye R C ,Muenchausen R E ,Foltyn S R ,Maley M ,Rollett A D ,Garcia A R ,Nogar N S 1991 *Appl. Phys. Lett.* **58** 2165
- [ 12 ] Liu Z ,Wang S F ,Zhao S Q ,Zhou Y L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5820 ( in Chinese ) [ 刘 震、王淑芳、赵嵩卿、周岳亮 2005 物理学报 **54** 5820 ]
- [ 13 ] Du X H ,Liu Z X ,Xie K ,Wang Y B ,Chu W Y 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 2025 ( in Chinese ) [ 杜新华、刘振祥、谢 侃、王燕斌、褚武扬 1998 物理学报 **47** 2025 ]
- [ 14 ] Li S Z ,Li M Y ,Xu W G ,Wei J H ,Zhao X Z 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1472 ( in Chinese ) [ 李少珍、李美亚、徐文广、魏建华、赵兴中 2006 物理学报 **55** 1472 ]
- [ 15 ] Ferraro J R ,Maroni V A 1990 *Appl. Spectrosc.* **44** 351
- [ 16 ] Gibson G ,Cohen L F ,Humphreys R G ,MacManus-Driscoll J L 2000 *Physica C* **333** 139
- [ 17 ] Mechin L ,Villegier J C ,Rolland G ,Laugier F 1996 *Physica C* **269** 124
- [ 18 ] Develos K D ,Kusunoki M ,Mukaida M ,Ohshima S 1999 *Physica C* **320** 21
- [ 19 ] Shi D Q ,Jonescu M ,Silver T M ,Dou S X 2003 *Physica C* **384** 475
- [ 20 ] Linker G ,Smithey R ,Geerk J ,Ratzel F ,Schneider R ,Zaitsev A 2005 *Thin Solid Films* **471** 320
- [ 21 ] Pomar A ,Coll M ,Cavallaro A ,Guzquez J ,Mestres N ,Sandiumenge F ,Puig T ,Obradors X 2006 *J. Mater. Res.* **21** 2176
- [ 22 ] Skofronick G L ,Carim A H ,Foltyn S R ,Muenchausen R E 1993 *J. Mater. Res.* **8** 2785

## Dependence of growth and property of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ coated conductors on the thickness of $\text{CeO}_2$ buffer layer<sup>\*</sup>

Li Mei-Ya<sup>1,2)†</sup> Wang Jing<sup>1)</sup> Liu Jun<sup>1)</sup> Yu Ben-Fang<sup>1)</sup> Guo Dong-Yun<sup>1)</sup> Zhao Xing-Zhong<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Physics ,Wuhan University ,Wuhan 430072 ,China )

<sup>2)</sup> Key Laboratory of Acoustic and Photonic Material and Device of the Ministry of Education ,Wuhan University ,Wuhan 430072 ,China )

( Received 20 August 2007 ; revised manuscript received 2 November 2007 )

### Abstract

Biaxially textured  $\text{MgO}$  templates were grown on un-textured metal substrates by inclined-substrate-deposition and  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  films were epitaxially grown on these substrates by pulsed laser deposition. Yttria-stabilized-zirconia and  $\text{CeO}_2$  were deposited in turn as buffer layers prior to  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  growth. The biaxial alignment features of the films were examined by X-ray diffraction  $2\theta$ -scan , pole-figure ,  $\phi$ -scan and rocking curve of  $\Omega$  angles. The Raman spectroscopy , scanning electron microscopy and atomic force microscopy were used to characterize the orientation order , morphology and surface roughness of the  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  films , respectively. The influence of the thickness of  $\text{CeO}_2$  on the properties of the  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  films were investigated and the significant and unique dependence of the properties of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  films on the thickness of  $\text{CeO}_2$  were revealed. The possible mechanisms for this dependence were discussed.

**Keywords :**  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ -coated conductors , cerium oxide , thickness effect , epitaxial growth

**PACC :** 6855 , 7475 , 6110 , 7430F

\* Project supported by the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars , State Education Ministry ( Grant No. 2004-527 ).

† Corresponding author. E-mail : myli@whu.edu.cn