

氧离子束辅助激光制备具有织构的 YBCO 薄膜*

王忠柯¹ 黄新堂^{1,2} 王又清¹ 王秋良¹ 陈清明¹

(1. 华中理工大学激光技术国家重点实验室 2. 华中师范大学)

摘 要 应用氧离子束辅助准分子脉冲激光沉积薄膜技术, 先在 NiCr 合金 (Hastelloy c-275) 基底上在室温下沉积具有平面织构的钇稳锆 (YSZ) 缓冲层薄膜, 再在 YSZ/NiCr 基底上在 750 ℃ 下制备具有平面织构和高临界电流密度的 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) 薄膜. YSZ 和 YBCO 薄膜都为 c-轴取向和平面织构的, YSZ(202) 和 YBCO(103) 的 X 射线扫描衍射峰的全宽半峰值分别为 18° 和 11°. YBCO 薄膜的临界温度和临界电流密度分别为 90K ($R=0$) 和 $7.9 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 零磁场).

关键词 准分子脉冲激光 YBCO 薄膜 高临界电流密度 NiCr 合金基底 织构

分类号 O511

文章编号 1005-3093(2000)05-0493-04

IN-PLANE ALIGNED $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) FILM PREPARED BY LASER ABLATION ONLY WITH O^+ ION BEAM ASSISTANCE

WANG Zhongke^{1**} HUANG Xintang^{1,2} WANG Youqing¹ WANG Qiuliang¹
CHEN Qingming¹

(1. State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074 2. Huazhong Pedagogic University)

ABSTRACT In-plane aligned $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) film was prepared on textured yttria-stabilized zirconia (YSZ) buffer layer deposited on NiCr alloy (Hastelloy c-275) tape by laser ablation only with O^+ ion beam assistance. The values of X-ray phi-scan full width at half-maximum (FWHM) for YSZ (202) and YBCO (103) are 18° and 11°, respectively. The critical temperature of YBCO film is 90K and critical current density is $7.9 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ at 77K and zero field.

KEY WORDS pulsed laser, YBCO film, high critical current density, NiCr alloy substrate, in-plane aligned structure

* 国家自然科学基金资助项目 59602004. 1999 年 11 月 22 日收到初稿; 2000 年 4 月 25 日收到修改稿.

本文联系人: 王忠柯, 武汉市 430074, 华中理工大学激光技术国家重点实验室

** To whom correspondence should be addressed

许多人用离子束辅助准分子脉冲激光沉积薄膜技术在 NiCr 合金基底上制备 YBCO 薄膜, 并研究了 YBCO 薄膜的物理性能^[1~3]. 普通 YBCO 薄膜中的大角晶界, 导致高温超导晶粒之间的弱连接, 使得临界电流密度很低^[4~7]. Y.Iijima 及其合作者^[1] 在 NiCr 合金基底材料上沉积一层 *c*-轴取向和 *a-b* 平面织构的 YSZ 缓冲层薄膜, 再在 YSZ/NiCr 基底上制备出了平面织构的 YBCO 薄膜, 临界电流密度为 $2.5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$. 为了使 YSZ 薄膜的取向生长, 使用 $\text{O}^+ + \text{Ar}^+$ 混合离子束, 能量为 300 eV ^[8]. A.Knierim 及其合作者使用的离子束能量为 300 eV ^[9], 超导的临界电流密度为 $1.3 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$. 按照 Sonnenberg 和 Ressler 的理论模型^[10,11], 薄膜越厚, 其取向性越好, 临界电流密度也越高. S.D.Wu 及其合作者在 YSZ/NiCr 上沉积了 *c*-轴取向和 *a-b* 平面织构的 CeO_2 薄膜, 以使 CeO_2 与 YBCO 的晶格常数更加匹配, 从而提高 YBCO 薄膜的织构状态和临界电流密度^[12].

为了制备 *c*-轴取向和 *a-b* 平面织构的 YSZ 薄膜, 辅助离子束的能量必须大于某一最小值^[13]. 辅助离子束或辅助电子束的溅射作用, 使 *c*-轴取向和 *a-b* 平面织构的晶粒增多, 薄膜的取向性质明显^[14]. 本文提出进一步增加辅助的 O^+ 离子束的能量, 制备出在 NiCr 合金基底上 *c*-轴取向和具有 *a-b* 平面织构的 YSZ 薄膜.

1 实 验 方 法

应用激光溅射沉积薄膜技术和能量为 500 eV 的辅助 O^+ 离子束制备 *c*-轴取向和 *a-b* 平面织构的 YSZ 薄膜. 为了控制辅助的 O^+ 离子束的活性, 在 O^+ 离子束的路径上加了一个发射电子的中和电极, 使得氧离子束能够还原为原子束, 减少对薄膜表面的伤害.

实验用的准分子激光器的工作气体为 XeCl , 输出激光脉冲宽度为 28 ns . NiCr 合金基片采用直径为 30 mm 的圆盘. 先用 $0.5 \mu\text{m}$ 的金刚石喷雾研磨剂抛光基片表面, 再分别用去离子水 - 乙醇 - 丙酮在超声清洗机中清洗, 最后用氮气吹干放进真空室使用.

激光沉积 YSZ 和 YBCO 薄膜的具体参数列于表 1. 用 X 射线衍射分析 YSZ 和 YBCO 陶瓷靶材的结构. 用 6JA 干涉显微镜测量薄膜的厚度. 用 X 射线 (XRD) 2θ 谱表征薄膜的 *c*-轴取向, 用 XRD ϕ 扫描谱表征 *a-b* 平面内织构的信息. YBCO 薄膜的 *R-T* 特性曲线和 *I-V* 特性曲线用标准的四端接线法测量, 测量样品为用激光刻蚀出的 YBCO 薄膜微桥 ($1000 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m} \times 1.5 \mu\text{m}$).

表 1 YSZ 和 YBCO 薄膜的沉积参数

Table 1 Deposition parameters for the YSZ and YBCO films

Deposition parameter	YSZ film	YBCO film
Laser wavelength/nm	308	308
Laser energy/ Jcm^{-2}	3	3
Gas pressure of background/Pa	5×10^{-3}	1
Gas pressure after adding work		
gas(O_2) of ion source/Pa	5×10^{-2}	25
Temperature of substrate/ °C	R.T.	750
Thickness of film/ μm	3.0	1.5

2 结果与讨论

YSZ 和 YBCO 陶瓷靶材的 XRD 实验结果表明二者的晶格之间存在合适的匹配关系. 由图 1 可见, YSZ 薄膜不但是 c -轴取向的, 而且是平面织构的. YSZ 薄膜 (202) 的 φ 扫描谱衍射峰的全宽半峰值 (FWHM) 为 18° . 可以预计在此基底上沉积的 YBCO 薄膜的 XRD φ 扫描谱的全宽半峰值应为 10° 左右, 而临界电流密度可达到约 10^6 A/cm^2 ^[6]. 这一结果表明, 在金属基底上用氧离子束辅助激光沉积 c -轴取向和在 a - b 平面内织构的 YSZ 薄膜是可行的, 辅助离子束沉积取向薄膜的基本原理是辅助离子束的溅射作用, 仅仅使某一些不易被溅射掉的取向晶粒保留下来在基底上形成薄膜, 使得离子束辅助沉积的薄膜在基底上形成取向生长. 图 2 表明, YBCO 薄膜是 c -轴取向和在 a - b 平面内织构的, YBCO 薄膜的各个晶粒的 a 轴或 b 轴的取向差别在 5° 左右, 大大降低了晶粒间的弱连接. 实验得到的 YBCO 薄膜的临界电流密度的预计值为约 10^6 A/cm^2 (77K, 0T)^[9], 实际测量值为 $7.9 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 0T).

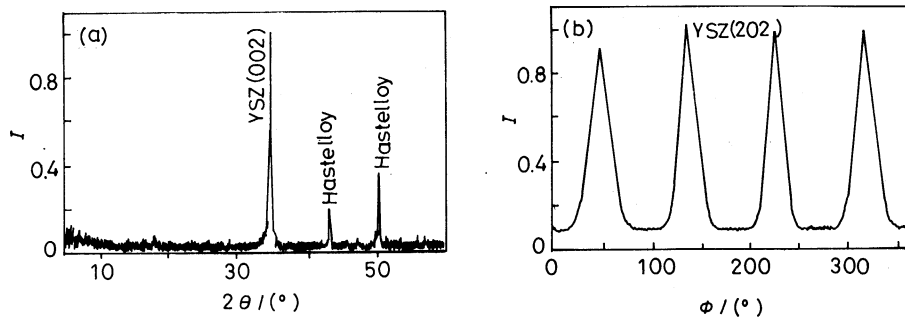


图 1 YSZ/NiCr 的 XRD 图 (a) 和 YSZ(202) 的 XRD φ 扫描图 (b)

Fig.1 XRD of YSZ/NiCr (a) and XRD φ scans of YSZ (202) (b)

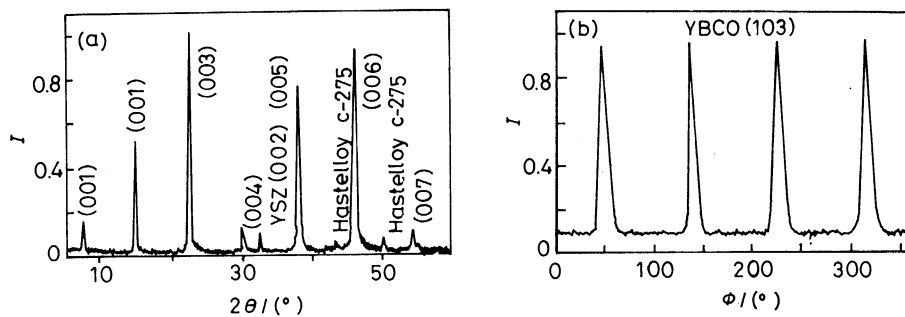


图 2 YBCO/YSZ/NiCr 的 XRD 图 (a) 和 YBCO(103) 的 XRD φ 扫描谱 (b)

Fig.2 XRD of YBCO/YSZ/NiCr (a) and XRD φ scans of YBCO (103) (b)

3 结 论

辅助离子束的能量和活性是影响辅助沉积薄膜的 c -轴取向和平面织构状态的主要因素. 用 O^+ 离子束作为辅助离子束的离子源, 只要提高 O^+ 离子束的能量和控制它的活性, 就可以在

NiCr 合金基底上用激光制备出 c -轴取向和平面织构的 YSZ 薄膜, 再在平面织构的 YSZ/NiCr 基底上用激光制备出 c -轴取向和平面织构的 YBCO 薄膜. 在 77K 和零场下, YBCO 薄膜的临界电流密度为 $7.9 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$.

参 考 文 献

- 1 Y.Iijima, M.Hosaka, N.Sadakata, T.Saitoh, O.Kohno, Appl.Phys.Lett., **71**, 2695(1997)
- 2 A.Goyal, D.P.Norton, J.D.Budai, M.Paranthaman, E.D.Specht, D.M.Kroeger, D.K.Cristen, Q.He, B.Saffian, F.A.List, D.F.Lee, P.M.Martin, C.E.Klabunde, E.Hartfield, V.K.Sikka, Appl.Phys.Lett., **69**, 1795(1990)
- 3 X.D.Wu, S.R.Foltyn, P.Arendt, J.Townsend, I.H.Campbell, P.Tiwari, Q.X.Willis, M.P.Maley, J.Y.Coulter, D.E.Peterson, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, **5**, 2001(1995)
- 4 D.Dimos, P.Chaudhari, J.Mannhart, F.K.LeGoues, Phys.Rev.Lett., **61**, 219(1988)
- 5 D.Dimos, P.Chaudhari, J.Mannhart, Phys.Rev., **41**, 4038(1990)
- 6 D.P.Norton, D.H.Lowndes, J.D.Budai, D.K.Christen, E.C.Jones, K.W.Lay, J.E.Tkaczyk, Appl.Phys.Lett., **57**, 1164(1990)
- 7 S.M.Garrison, N.Newman, B.F.Cole, K.Char, R.W.Barton, Appl.Phys.Lett., **58**, 2168(1991)
- 8 Y.Iijima, N.Tanabe, O.Kohno, Y.Ikeno, Appl.Phys.Lett., **60**, 769(1992)
- 9 A.Knierim, R.Auer, J.Geerk, G.Linker, O.Meyer, H.Reiner, R.Schneider, Appl.Phys.Lett., **70**, 661(1997)
- 10 N.Sonnenberg, A.S.Longo, M.J.Cima, B.P.Chang, K.G.Ressler, P.C.McIntyre, Y.P.Liu, J.Appl.Phys., **74**, 1027(1993)
- 11 K.G.Ressler, N.Sonnenberg, M.J.Cima, J.Am.Ceram.Soc., **80**, 2637(1997)
- 12 X.D.Wu, S.R.Foltyn, P.Arendt, J.Townsend, C.Adams, I.H.Campbell, P.Tiwari, J.Y.Coulter, D.E.Peterson, Appl.Phys.Lett., **65**, 1961(1994)
- 13 R.P.Reade, P.Berdahl, R.E.Russo, Appl.Phys.Lett., **61**, 2231(1992)
- 14 R.M.Bradley, J.M.E.Harper, D.A.Smith, J.Appl.Phys., **60**,4160(1986)