

准分子激光轰击 Y-Ba-Cu-O 高温超 导靶的空间分辨光谱研究

范永昌 安承武 宁波 陆冬生 李再光

(华中理工大学 激光技术国家实验室, 武汉 430074)

提 要

采用 WP4-光学多道分析仪对准分子激光轰击 $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ 超导靶产生的等离子体辐射进行了空间分辨测量和研究。实验结果表明,在靶面的邻近区($d < 0.4\text{mm}$),等离子体辐射为较强的连续谱,并迭加有 Y、Ba 原子和 Y^+ 、 Ba^+ 离子基态电子跃迁的自吸收线。Y、Ba、Cu 原子和相应的一价离子以及金属氧化物分子激发态的发射谱线仅在距靶面为 0.4mm 以外的区域出现。光谱的测量结果支持靶面表层发生爆炸、出射分子簇团和固体微粒的激光烧蚀沉积动力学机制解释。

关键词: 激光烧蚀; 等离子体辐射; 空间分辨光谱测量。

一、引 言

随着高温超导薄膜制备技术研究的不断深入,准分子激光烧蚀沉积法 (excimer laser ablation deposition), 越来越引起人们的普遍重视^[1]。这种新型的薄膜制作技术不仅操作简单、沉积速度快,膜厚易于控制,而且当照射靶面的激光能量密度大于一定的阈值时,能够淀积出成份与靶材完全一致的薄膜^[2]。这就为多组元氧化物高温超导薄膜的制备带来了极大的方便。目前,人们采用这种方法已成功地在 $SrTiO_3$ 、 $ZrO_2:MgO$ 等多种基片上制备出了性能优良的高温超导薄膜^[3]。同时,还实现了无需镀后回火的原位、低温,外延生长高 T_c 和 J_c 超导薄膜的新工艺^[4~6]。

激光烧蚀沉积方法在超导薄膜制备中取得的成功极大地激发了人们研究和探索激光烧蚀沉积动力学机制及其薄膜外延生长机理的热情。这方面工作的开展将为优化制膜的实验条件而制备出性能更佳的超导薄膜提供直接依据。

本文在激光诱导等离子体发射光谱辨识工作的基础上^[7],采用 WP4-光学多道分析仪对激光轰击超导靶产生的等离子体辐射进行了空间分辨测量和研究。根据实验结果,对激光烧蚀沉积的动力学机制和保成分蒸镀的机理进行了讨论。

二、实验方法和结果

空间分辨光谱的测量在真实的激光制膜条件下进行,实验原理及设置如图 1 所示。聚焦后的准分子激光(Lambda Physik EGM 201, 波长 308nm , 脉宽 28ns , 单脉冲能量 400

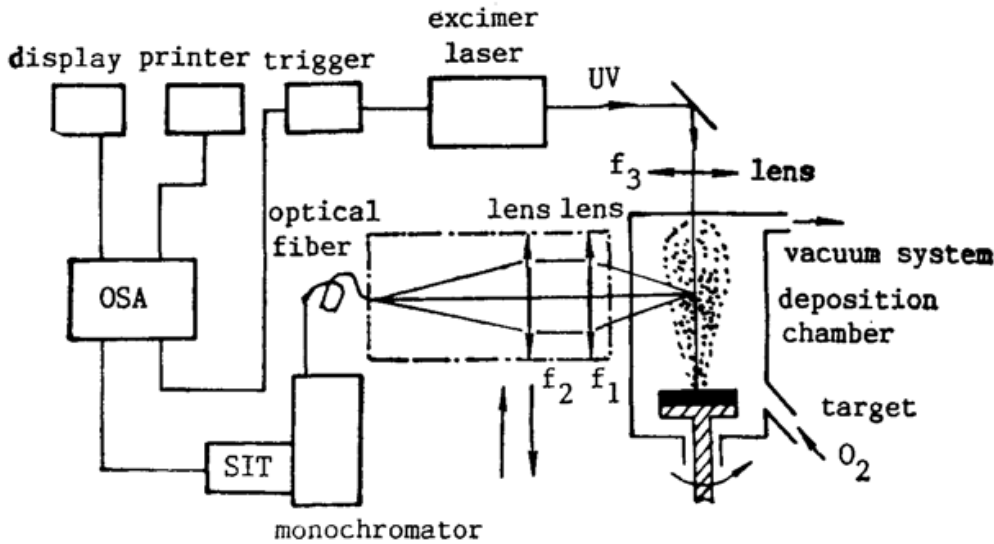


Fig. 1 Experiment arrangement

mJ, 频率 0~80 Hz 连续可调) 通过真空室的窗口照射在 $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ 超导靶面上, 在功率

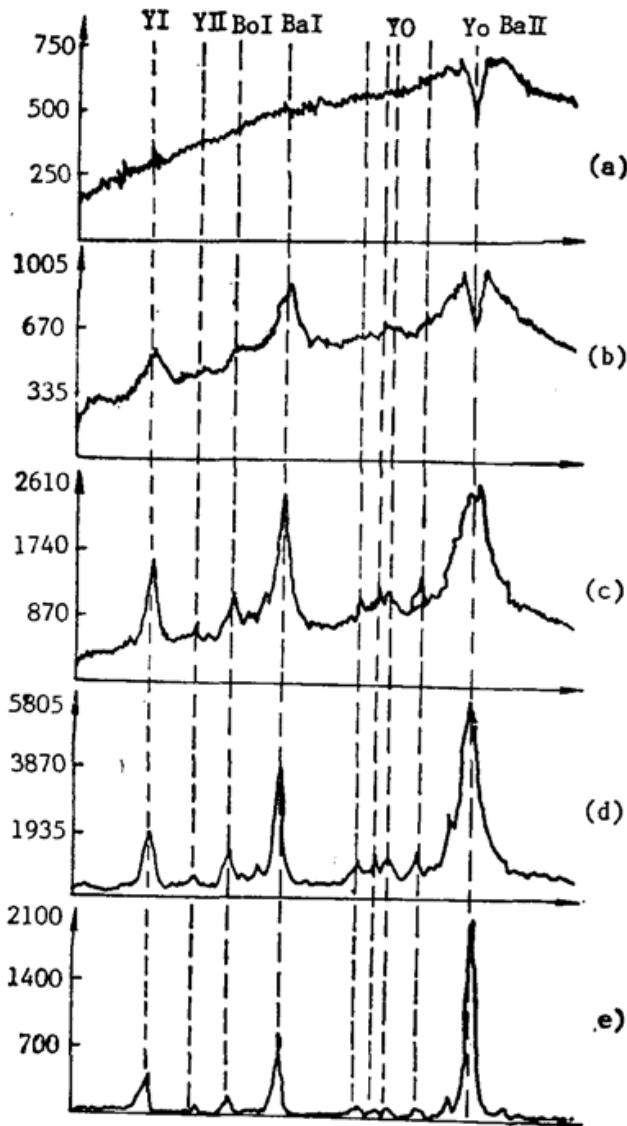


Fig. 2 Space-resolved spectra the range of wavelength 5500 Å~6300 Å. The distance between sampling position and target surface (a) 0.35 mm; (b) 0.45 mm; (c) 0.75 mm (d) 0.9 mm; (e) 15 mm

密度高达 $20 \times 10^8 W \cdot cm^{-2}$ 的强光作用下, 靶面表层物质喷溅出来, 形成沿着靶面法向方向沿伸的发光等离子体羽。在等离子体沿伸方向的不同位置对出射物质发光的波长和强度测量即可获得空间分辨光谱, 由此可推知粒子形态、密度、等离子体温度随空间置位的变化规律及其迁移特点。

实验中, 光谱的测量采用了 WP4-光学多道分析仪。其中硅靶摄像管探头具有 500 个单通道, 与像头相连的 BM25/25 多色仪配备 600 l/mm 光栅, 整机一次摄谱范围 800 \AA , 光谱分辨率接近 3 \AA 。为了获得足够的法向空间分辨, 实验中选用了组合双透镜采光系统, 使得距靶面 d 点附近出射粒子发出的光, 由双透镜集光系统成像于光导纤维的入射端面上。光纤的出射端对准 OSA 多色仪的入射狭缝。双透镜和光纤入射端作为一个整体固定在微调架上, 可平行地沿着靶面的法线方向自由移动, 以改变采光的空间位置。对于本实验采用的双透镜——光纤导光系统, $f_1=38 \text{ mm}$, $f_2=120 \text{ mm}$, 光纤芯径 10^{-2} mm , 其空间分辨优于 10^{-3} mm 。

图 2 所示为一组典型的空分分辨光谱图。测量结果表明: (1) 在靶面的邻近区域内 ($d < 0.4 \text{ mm}$) 出射物质的发光辐射为连续谱。从靶面 ($d=0$) 位置开始到 $d=0.4 \text{ mm}$ 附近, 连续谱逐渐加强, 并随之逐渐出现 Y、Ba、 Y^+ 、 Ba^+ 原

子和离子自吸收线。(2) Y、Ba、Cu 原子和相应的一价离子及其金属氧化物分子不同激发态的发射谱线仅在 $d > 0.4 \text{ mm}$ 以外的区域才开始相继出现, 并且其强度随着距离的增加迅速达到最大。其后距离进一步增加时, 强度缓慢减弱, 谱线逐渐变锐, 直到在 $d = 3 \text{ cm}$ 位置处, 仍可观测到某些谱线的存在。(3) Y、Ba、Cu 原子和相应离子以及金属氧化物分子激发发射谱线最大强度的空间位置基本相同, 在真空室内充入 200 mTorr 氧气的情况下, 最大光强的位置距离靶面约为 1.1 mm。图 3 即为 Y、Ba 原子及 Ba^+ 离子几条标识谱谱线强度随空间位置的变化曲线。实验还表明, 真空度提高时, 最大光强的位置远离靶面, 真空度降低时, 该位置接近靶面。

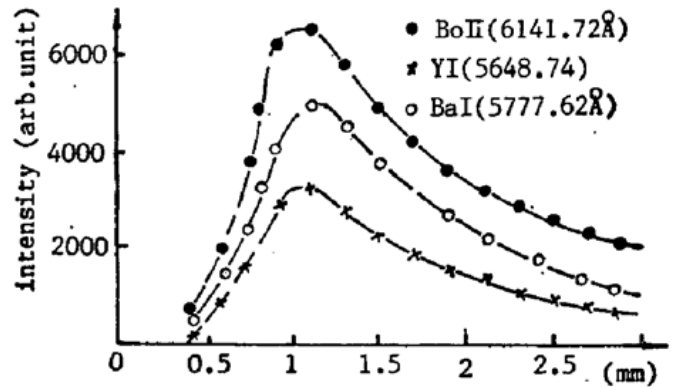


Fig. 3 Emission intensity plotted vs distance away from the target surface

三、讨 论

由激光轰击靶体出射发光粒子的空间分辨光谱测量结果可以看出, 在典型的制膜条件(充氧压 200 mTorr, 激光能量密度 4.5 J/cm^2)下, 靶面的邻近区域内 ($d < 0.4 \text{ mm}$) 形成了高密度的等离子体。由于存在着大量的热电子, 它们通过同原子、离子、分子簇团和固体微粒发生强烈碰撞的韧致辐射过程而发出较强的连续谱。由于原子和离子自吸收线的出现, 也表明在靶面的近区已存在一定数量的分离中性原子和离子。

令人感到惊奇的是, 在靶面近区连续谱上观察到的自吸收线均是由原子和离子的基态向较低的高激发态跃迁所致, 而原子、离子和分子不同, 高激发态向其下各个低态的跃迁发射光谱线仅在 $d > 0.4 \text{ mm}$ 以外的区域才开始出现, 且几乎所有的谱线其强度均在相同的位置达到最大。这些空间分辨光谱特征与 Fukuma 等人^[8]的时间分辨光谱测量结果及其 Eryu 等人^[9]采用条纹照像机拍摄下的结果有着某种程度的吻合。

按照现行激光光子热能转换导致物质蒸发的热机制解释, 出射的原子、离子和分子的电激发态布居均满足玻尔兹曼分布规律。因此, 既然在靶面近区出现了较强的基态原子和离子的自吸收线, 就应同时观察到其它激发态原子、离子和分子的自吸收线及其发射谱线, 然而在实验中并未出现。据此作者认为激光烧蚀靶面产生的物质出射可能是靶面表层发生爆炸所致。在这种情况下, 最初离开靶面的物质其形态既不是原子和离子也不是分子, 而是粒度较大的分子簇团和固体微粒。出射的分子簇团和固体微粒在空间的迁移过程中, 由于相互强烈的碰撞和对光的再吸收作用, 使其雪崩式地分解成激发和离化的原子、分子和离子。在分解时各种粒子的数密度几乎同时达到最大, 因而表现出不同光谱线强度最大的位置相同。同时由于分子簇团和固体微粒不可能一脱离靶面就立刻分解, 所以不同激发态的发射谱线仅在距靶面一定距离之外方能出现。

靶面爆炸发射分子簇团和固体微粒的动力学机制不仅可以解释观察到的空间分辨光谱现象, 而且也可说明激光烧蚀保成分蒸镀的机理。当分子簇团和固体微粒的粒度较大时, 本

身就可能包含有单个甚至多个超导晶胞。靶体物质以这样的形态出射能够保持元素的相对浓度不变,从而易于淀积出成分配比与靶材一致的薄膜。另外,只有当照射靶面的激光能量密度较高时爆炸才可能发生,因此保成分蒸镀存在着一定的激光能量密度阈值

参 考 文 献

- [1] 范永昌;《激光技术》,1989, 13, No. 5 (Oct), 35.
- [2] 范永昌等;《科学通报》,1989, 34, No. 16, 1220.
- [3] D. Bauerle; *Appl. Phys.*, 1989, 48, No. 6 (Jun), 527~542.
- [4] S. Witanchchi *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 53, No. 3 (Jul), 234.
- [5] A. Inan *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 53, No. 10 (Sep), 908.
- [6] B. Roas *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 53, No. 16 (Oct), 1557.
- [7] 范永昌等;《量子电子学》,1990, 7, No. 1 (Jan), 14.
- [8] H. Fukumura *et al.*; *Japan. J. Appl. Phys.*, 1989, 28, No. 3 (Mar), L412.
- [9] O. Eryu *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, 54, No. 26 (Jun), 2716.

Space-resolved spectroscopy studies of excimer laser ablation of Y-Ba-Cu-O superconducting target

FAN YONGCHANG, AN CHENGWU, NIN BO, LU DONGSHENG AND LI ZAIGUANG

(National Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(Received 14 August 1990)

Abstract

Space-resolved luminescence spectra of excimer laser ablation of high T_c Y-Ba-Cu-O superconducting target was studied with WP4-optical multichannel analyzer. In the vicinity region of the target surface ($d < 0.35$ mm), a wide continuum spectrum with self-absorption lines due to the electronic transition from the ground states of Y, Ba and Y^+ , Ba^+ was observed. The excited state emission spectrum lines of atoms, ions and molecules were detected only at the distance larger than 0.35 mm. These experiment results support the dynamic explanation of explosion and ejecting molecular cluster or solid fragments on laser ablation.

Key words: laser ablation, plasma radiation, space-resolved spectra.