

# 激光蒸发淀积高 $T_c$ 超导薄膜

景俊海

(西安电子科技大学物理系)

本文简要介绍激光蒸发淀积高 $T_c$ 超导薄膜技术的基本原理,主要工艺特点,各种激光器在制备高 $T_c$ 超导薄膜中的应用及所取得的重要成果。

激光蒸发淀积(Laser Evaporation Deposition, LEDE)就是大量的光子流直接注入到衬底附近的固态靶上,靶表面物质吸收激光能量,在其表面产生高温,高温引起靶表面物质蒸发,蒸发的物质凝聚在衬底上就形成了薄膜。

自Bednorz和Müller<sup>[1]</sup>发现新陶瓷材料以来,高 $T_c$ 超导器件的研究有了很大的发展。在器件制造中,超导薄膜的制备是最关键的。到目前为止,人们已经试验了许多方法如电子束蒸发<sup>[2]</sup>、分子束外延<sup>[3,4]</sup>、溅射<sup>[5,6]</sup>、激光蒸发淀积<sup>[7-10]</sup>等。其中,激光蒸发淀积(LEDE)由于其独特的优点而备受人们关注。其优点是工艺过程简单,淀积速率高,薄膜化学计量能准确控制,工艺重复性好,还可能实现超导薄膜的低温制造<sup>[9]</sup>。

## 一、淀积原理和工艺特点

如图1所示,块状靶与衬底放在真空度为 $10^{-6}$ — $10^{-3}$ Torr的真空室中,两者相距3—15cm(视所使用的激光器而定),激光器置于真空室之外,激光束透过一个窗口以一定的角度射到靶上。淀积可以在真空中或低压惰性气体或氧气中进行。为了提高薄膜的力学、化学和电学性能,在淀积的过程中要对衬底适当加热,为防止衬底与薄膜成分的互扩散,加热温度不宜过高。为了获得均匀的淀积薄膜,要使靶和衬底各自旋转或扫描<sup>[9]</sup>。

当激光作用于靶时,在靶上形成几千度的

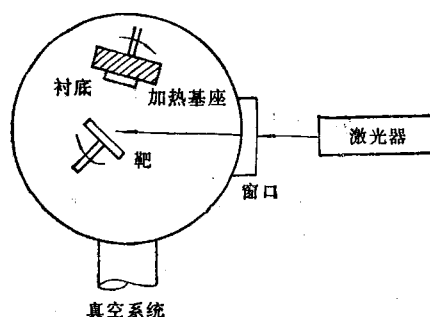


图1 激光蒸发淀积实验装置

高温,产生蒸发作用,使靶表面的物质蒸发为原子、离子和分子等粒子。光谱分析发现,蒸发的粒子中分子发射谱线和原子发射谱线强度比离子发射谱线强度要高<sup>[10]</sup>,因此在激光蒸发淀积过程中,更多的靶物质激发为分子和原子,也可能是分子或原子集团。Komuro等人<sup>[7]</sup>提出了一个激光蒸发淀积的堆聚模型(Cluster model)。该模型认为,由于激光照射靶的高温效应,则从照射的靶表面以靶物质“集团”的形式释放靶物质,然后这些物质“集团”堆聚到衬底上,就形成了薄膜。

在使用激光蒸发淀积(LEDE)技术制造高 $T_c$ 超导薄膜时,应使用恰好超过靶的蒸发阈值能量(由具体的超导材料体系决定)的激光器,一般超导体对准分子激光以及二倍频、三倍频掺钕YAG激光有相当高的吸收系数<sup>[7,12]</sup>,因此靶的蒸发阈值能量较低。一般情况下,在超过材料蒸发阈值能量的准分子激光和二倍频、三倍频掺钕YAG激光作用下,可完全实现靶物

质“集团”的堆聚，产生完全符合化学计量的超导薄膜<sup>[7,10,12,13]</sup>。对于红外波段的激光，超导体的吸收系数较小，靶的蒸发阈值能量较高<sup>[12]</sup>，因此用红外波段激光器蒸发靶物质时，要求激光器功率密度要高。功率密度小时，就不能完全实现靶物质“集团”在衬底上的堆聚，使薄膜的化学计量偏离靶的化学计量<sup>[11]</sup>。

## 二、激光蒸发淀积在制备高 $T_c$ 超导薄膜中的应用

激光蒸发淀积 (LEDE) 技术由于其独特的优点，近几年在高  $T_c$  超导薄膜的制备方面显示了其巨大的威力。表 1 给出了激光蒸发淀积技

表 1 激光蒸发淀积超导薄膜的条件与结果

薄膜	背景/衬底	衬底温度 (°C)	激光器 ( $\lambda$ [nm])	激光能量 ( $J/cm^2$ )	淀积速率 ( $\text{\AA}/p$ )	$T_c(0)$ (K) $J_c$ ( $A/cm^2$ )	参考文献
Y-Ba-Cu-O	$O_2/ZrO_2$	400	ArF (193)	3	—	$T_c(0, SrTiO_3) \approx 85$ $T_c(0, ZrO_2, Al_2O_3) \approx 75$ $J_c(80, SrTiO_3) \approx 10^6$	Witanachchi 等人 <sup>[14]</sup>
	$O_2/(110)SrTiO_3$ $O_2/Al_2O_3$	780	KrF (248)	—	—	$T_c(0) = 92$	Fröhlingsdorf 等人 <sup>[15]</sup>
	$O_2/(100)SrTiO_3$	—	KrF (248)	3	1	$T_c(0) \approx 90$ $J_c(77) \approx 7 \times 10^5$	Desantolo 等人 <sup>[16]</sup>
	$O_2/(100), (110)SrTiO_3$ $O_2/ZrO_2$	720~750	XeCl (308)	4.5	4	$T_c(0, SrTiO_3) \approx 90$ $J_c(77, SrTiO_3) \approx 2.2 \times 10^6$ $T_c(0, ZrO_2) \approx 78$	Roas 等人 <sup>[17]</sup>
	$O_2/(100)SrTiO_3$	700	P-Nd:YAG (335)	3.2	—	$T_c(0) = 93$ $J_c(88) = 1.3 \times 10^6$	Koren 等人 <sup>[17]</sup>
	$O_2/NdGaO_3$ $O_2/LaGaO_3$ $O_2/(100)SrTiO_3$	—	P-Nd:YAG (532)	1.7	—	$T_c(0, NdGaO_3) \approx 92$ $T_c(0, LaGaO_3) \approx 92.5$ $T_c(0, SrTiO_3) = 93$ $J_c(77, NdGaO_3) \approx 10^6$ $J_c(66, LaGaO_3) \approx 10^6$ $J_c(80, SrTiO_3) \approx 10^6$	Koren 等人 <sup>[18]</sup>
	$O_2/(100), (110)SrTiO_3$	400	P-CO <sub>2</sub> (10600)	22	0.07	$T_c(0) \approx 86$ (薄膜中 Y 含量小)	Miura 等人 <sup>[19]</sup>
Tl-Ba-Ca-Cu-O 2:2:2:3	(100)MgO	—	P-Nd:YAG (532)	—	—	$T_c(0) \approx 110$ $J_c(77) \approx 10^6$	Liou 等人 <sup>[19]</sup>

术制备超导薄膜所用的激光器、激光能量密度、衬底材料，衬底温度，薄膜淀积速率，薄膜零电阻温度和临界电流密度。可以看出，许多较大功率激光器都可用于制备超导薄膜，但似乎 KrF, XeCl 准分子激光器和脉冲掺钕 YAG 激光器更好些。

总之，激光蒸发淀积 (LEDE) 技术用于制备超导薄膜，可使薄膜的制造在低温下进行，并获得了与靶几乎相同化学计量的薄膜，而且激光蒸发淀积 (LEDE) 的超导薄膜具有较高的  $T_c(0)$  和  $J_c$ 。随着激光蒸发淀积 (LEDE) 技

术的不断完善，对高  $T_c$  超导薄膜的研究会产生重要的影响。

- [1] J. G. Bednorz and K. A. Müller, *Z. Phys., B*, **64** (1986), 189.
- [2] D. K. Lathrop et al., *Appl. Phys. Lett.*, **51**(1987), 1554.
- [3] J. Kwo et al., *Phys. Rev. B*, **36**(1987), 4089.
- [4] C. Webb et al., *Appl. Phys. Lett.*, **51** (1987), 1191.
- [5] P. Chaudhari et al., *Phys. Rev. Lett.*, **58**(1987), 2684.
- [6] M. Naito et al., *J. Mater. Res.*, **2**(1987), 713.
- [7] S. Komuro et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**(1988), L 34.
- [8] T. Venkatesan et al., *Appl. Phys. Lett.*, **52**(1988),

(下转第 371 页)