

文章编号: 1001-4322(2010)02-0365-04

# 薄膜-泡沫复合平面调制靶的制备\*

尹 强, 朱方华, 周 兰, 张淑洋, 张 林

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 利用浇注法制备了具有正弦波调制图纹的溴代聚苯乙烯薄膜,并在此基础上将低密度聚-4-甲基-1-戊烯(PMP)泡沫溶胶浇注在薄膜调制图纹的表面,从而得到了薄膜-泡沫复合平面调制靶样品。较为详细的讨论了具有正弦波调制图纹的复合平面调制靶的制备方法并通过台阶仪、显微镜观测了薄膜表面条纹的起伏以及薄膜-泡沫截面的复合情况,实验结果发现,采用此种方法得到的复合平面调制靶样品,其薄膜厚度、泡沫密度易于控制,薄膜、泡沫调制界面清晰,易于微靶的加工与装配。

**关键词:** 调制图纹; 薄膜-泡沫复合; 平面调制靶; 浇注

**中图分类号:** TL639

**文献标志码:** A

**doi:** 10.3788/HPLPB2010202.0365

瑞利-泰勒(R-T)流体力学不稳定性是激光驱动和 X 射线驱动内爆理论以及实验中的一个重要研究课题,也是制约惯性约束聚变(ICF)实验点火成功与否的重要因素之一<sup>[1-4]</sup>。R-T 不稳定性主要发生在以下两个过程中:在驱动加速过程中,靶丸表面或驱动光束的不均匀性引起了烧蚀面微扰的增长;在减速过程中,推进层与燃料层的界面变得不稳定,靶丸内表面的不均匀性或导通现象引起了微扰的增长。为了达到点火条件,必须将 R-T 不稳定性导致的靶丸内外表面的不均匀性增长控制在允许的范围内。研究证明,通过在有机薄膜或低密度泡沫上人为引入面密度扰动可以模拟靶丸表面的不完整性,通过测量激光对靶烧蚀过程中靶密度扰动的时空分布非线性增长,可估算 R-T 不稳定性的大小。关于调制薄膜制备的方法国内目前仅有数篇报道<sup>[5-8]</sup>,但有关薄膜-泡沫复合调制靶的制备还未见相关文献报道。本文在前期研究基础之上,利用浇注法制备了具有正弦波调制图纹的溴掺杂聚苯乙烯薄膜,然后在具有调制图纹的薄膜表面浇注低密度 CH 泡沫溶胶,最后采用真空溶剂脱出的方法,初步得到 ICF 物理实验要求的薄膜-低密度泡沫复合平面调制靶样品。

## 1 制备方法

### 1.1 调制模版的制备

采用天然金刚石刀具,对紫铜或铝进行端面车削。工件采用真空负压夹持,通过喷雾冷却方式对工件进行冷却,通过切屑抽取装置将切屑抽出,避免切屑在工件表面的二次切削而损伤已加工工件表面。机床坐标系遵循右手螺旋定则<sup>[9]</sup>。实验中采用 Form Talysurf series 2 型触针式轮廓仪对工件进行表面轮廓测量。测量时,触针直接在工件表面移动,随轮廓的起伏而起伏,得到表面轮廓的信息。

### 1.2 调制薄膜的制备

利用浇注法制备具有一定周期和振幅的调制薄膜,其具体过程如下:配制一定浓度的溴代聚苯乙烯(Br-PS)溶液,将溶液浇注在具有调制图纹的调制模版表面,保持模具的水平并在室温下使溶剂挥发,待溶剂完全挥发后脱膜得到具有调制图纹的 Br-PS 薄膜。薄膜的厚度可根据 Br-PS 材料密度、膜具体积计算后得到。

### 1.3 薄膜-泡沫复合调制样品制备

利用热诱导倒相法制备聚-4-甲基-1-戊烯(PMP)泡沫<sup>[10]</sup>,在泡沫溶胶完全冷却前浇注在具有调制图纹的薄膜表面,待溶胶完全冷却后,采用切削或机械加工的方法得到所需要的尺寸与规格,利用真空脱出泡沫体系的溶剂,最终得到符合物理实验需求的薄膜-低密度泡沫复合平面调制靶样品。

### 1.4 测量

调制图纹的起伏与薄膜厚度利用 Form Talysurf series 2 型触针式轮廓仪和科视达 KH-3000 型 3 维视频显微镜测量。

\* 收稿日期:2009-03-19; 修订日期:2009-08-28

基金项目:国家高技术发展计划项目

作者简介:尹 强(1977—),男,四川安县人,博士,助理研究员,主要从事 ICF 靶用聚合物薄膜制备研究;qyin839@sina.com。

## 2 结果与分析

### 2.1 薄膜厚度控制

调制靶对薄膜厚度具有较高的要求,其薄膜厚度根据物理实验需要可在  $10\sim 100\ \mu\text{m}$  之间变化并精确可控。通过精确控制溶液的体积和浓度,我们制备了一系列厚度在规定范围内的溴掺杂聚苯乙烯调制薄膜,其膜厚计算式为

$$t = \frac{V_{\text{sol}} C_{\text{Br-PS}}}{\pi r^2 \rho_{\text{Br-PS}}} \quad (1)$$

式中: $t$  为膜厚; $V_{\text{sol}}$  为溶液浇注的体积; $C_{\text{Br-PS}}$  为溶液的质量浓度(g/L); $\rho_{\text{Br-PS}}$  为溴代聚苯乙烯密度; $r$  为基片半径。

随着溶液的挥发,聚苯乙烯溶液倾向于在浇注的边缘部分累积从而形成一个突出部分。当基片大于  $4\ \text{cm}$  时,这种效应可以忽略不计,但是当半径只有  $1\sim 2\ \text{cm}$  时,除了通常的计算以外,还需要许多实验的判断和经验。在本文中,我们所采用溶液的质量浓度为  $5\ \text{g/L}$ ,溴代聚苯乙烯密度以聚苯乙烯密度近似( $0.95\ \text{g/cm}^3$ ),基片半径为  $5\ \text{cm}$ 。通过控制溶液浇注的体积得到不同厚度的薄膜,其理论与实测膜厚如图 1 所示。

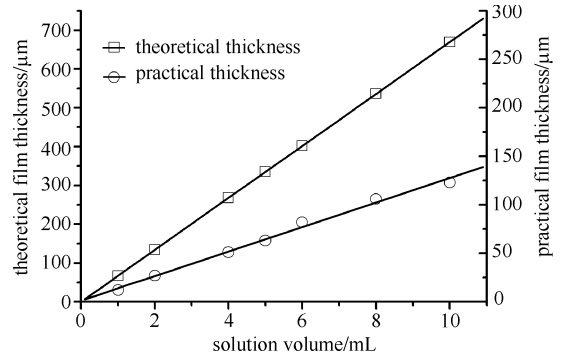


Fig. 1 Thickness of the film of the different solution volume

图 1 不同溶液体积下薄膜的厚度

从图 1 可以看出,薄膜的理论厚度与实测厚度相差较大,这可能是由以下两点造成的:(1)模版与模具之间存在一定的空隙从而影响了溶液体积的精确计算;(2)溴代聚苯乙烯和聚苯乙烯密度有一定差距。但另一方面,实测的薄膜厚度与加入溶液的体积基本呈线性关系,因此,在实验中我们可以根据加入的溶液体积较为精确地控制调制薄膜的厚度。

### 2.2 调制图纹的复制

与一般薄膜相比较,对于调制薄膜而言,模版上的调制图纹是否精确复制到聚合物薄膜上对于 ICF 实验的成败具有更为重要的现实意义。在本文中我们利用台阶仪精确测量了模版与薄膜表面调制图纹的起伏,结果如图 2 所示。

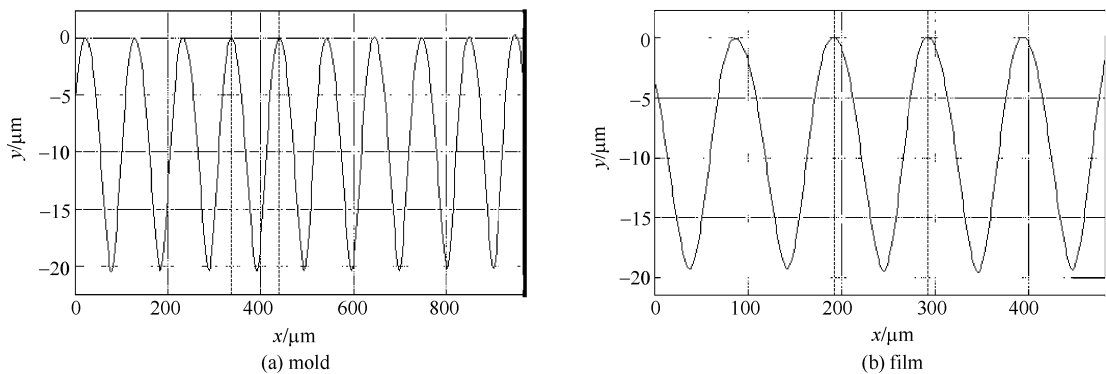


Fig. 2 Modulated pattern of the mold and film

图 2 模版与薄膜的调制图纹

通过比较发现,在模版上其振幅(波峰-波谷差)为  $20.375\ \mu\text{m}$ ,周期为  $103.6\ \mu\text{m}$ ;而薄膜上其振幅为  $19.415\ \mu\text{m}$ ,周期为  $100.6\ \mu\text{m}$ 。其振幅与周期虽然有一定收缩,但收缩幅度较小( $3\%\sim 5\%$ )。薄膜表面起伏图形接近理想的正弦状。因此,采用浇注法可将调制图纹完整地转移到 Br-PS 薄膜表面。

图 3 为薄膜和 Br-PS 调制薄膜在普通显微镜下的表面形貌,从图中可以清楚直观地观察到薄膜的表面起伏。调制图纹的复制能力较好。

### 2.3 调制薄膜-泡沫的复合

调制薄膜-泡沫复合材料主要用于流体力学不稳定性研究。由于所要求的泡沫密度较低、薄膜调制图纹上的周期与振幅较小,另外更为主要的是要求泡沫表面与薄膜的峰与谷都需要有良好的结合,因此需要将泡沫溶液直接倾倒在具有调制图纹的薄膜表面。与其它泡沫材料相比较,PMP 泡沫具有与薄膜结合紧密、易于加工

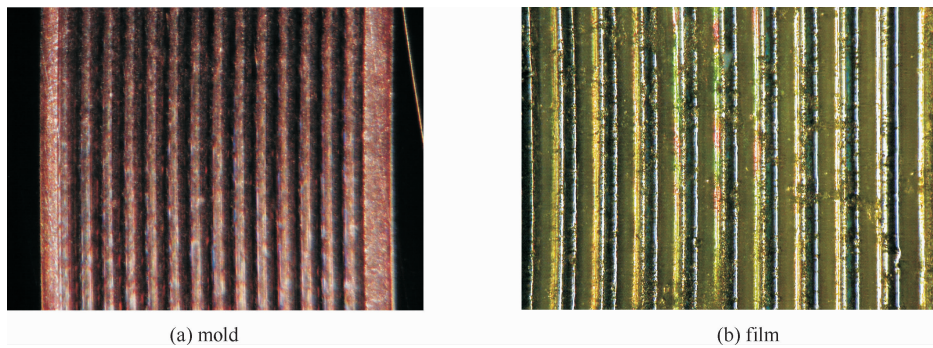


Fig. 3 Profile of the mold and film

图 3 模版和聚合物薄膜的表面形貌

成型等优点,因此我们将一定密度的 CH 泡沫溶胶浇注在具有调制图纹的薄膜表面,待溶胶完全冷却后,采用切削或机械加工的方法得到所需要的尺寸与规格,利用真空脱出泡沫体系的溶剂。图 4 为经过溶剂脱出后的薄膜-泡沫复合平面调制靶样品截面,从图 4 可以看出,在经过了浇注、真空脱出溶剂之后薄膜-泡沫仍能保持结合紧密,对薄膜并不会造成任何可察觉的损伤。

### 3 结 论

通过单点金刚石直接在铜或铝模版上加工得到了正弦波起伏的调制图纹,在此模版上利用浇注的方法制备了具有调制图纹的溴掺杂聚苯乙烯薄膜。在精确制备掺杂聚苯乙烯调制薄膜基础之上,将一定密度的 CH 泡沫溶胶浇注在具有调制图纹的薄膜表面,然后利用真空脱出泡沫体系的溶剂,最终得到薄膜-泡沫复合平面调制靶样品。与其它复合平面调制靶制备方法相比较,采用此种方法得到的复合平面调制靶薄膜厚度、泡沫密度易于控制,薄膜、泡沫调制界面清晰,并且易于微靶的加工与装配。该方法为平面调制靶的研制探索了新的研究路线。

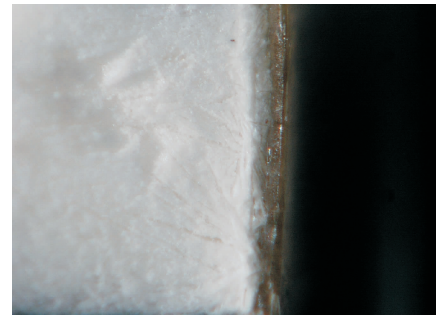


Fig. 4 Patterned film-foam composite planar Target

图 4 薄膜-泡沫复合平面调制靶样品

### 参考文献:

- [1] Glendinning S G, Cherfil S C, Colvin J, et al. Ablation front Rayleigh-Taylor growth experiments in spherically convergent geometry[R]. UCRL-JC-134966, 1999.
- [2] Marinak M M, Remington B A, Wallace R J, et al. Nonlinear Rayleigh-Taylor evolution of a three-dimensional multimode perturbation[J]. *Phys Rev Lett*, 1998, **80**(20):4426-4429.
- [3] Weir S T, Chandler E A, Goodwin B T. Rayleigh-Taylor instability experiments examining feed through growth in an incompressible convergent geometry[J]. *Phys Rev Lett*, 1998, **80**(17):3763-3766.
- [4] Hsing W W, Barnes C W, Beck J B, et al. Rayleigh-Taylor instability evolution in ablatively driven cylindrical implosions[J]. *Physics of Plasmas*, 1997, **4**(5):1832-1840.
- [5] 叶君建,周斌,徐翔,等. 侧照明实验用平面调制微靶的制备及参数测量[J]. 强激光与粒子束, 2006, **18**(9): 1511-1514. (Ye Junjian, Zhou Bin, Xu Xiang, et al. Fabrication and measurement of surface perturbation tiny targets in flank illumination experiment. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(9): 1511-1514)
- [6] 周斌,孙骐,黄耀东,等. ICF 分解实验中的平面调制靶和薄膜靶的研制[J]. 原子能科学技术, 2004, **38**(1):79-83. (Zhou Bin, Sun Qi, Huang Yaodong, et al. Development of surface perturbation target and thin silicon foil target used to research Rayleigh-Taylor instability in inertial confinement fusion experiment. *Atomic Energy Science and Technology*, 2004, **38**(1):79-83)
- [7] 陈建荣,王珏,陈玲燕,等. 平面调制靶的表面起伏图形研究[J]. 强激光与粒子束, 1996, **9**(4):616-622. (Chen Jianrong, Wang Jue, Chen Linyan, et al. Preparation of surface perturbation targets for inertial confinement fusion experiment. *High Power Laser and Particle Beams*, 1996, **9**(4): 616-622)
- [8] 陈建荣,王珏,陈玲燕,等. 用激光干涉法制备平面调制靶的表面起伏图研究[J]. 原子能科学技术, 1996, **30**(1): 25-30. (Chen Jianrong, Wang Jue, Chen Linyan, et al. Preparation of surface perturbation figures for targets by laser interference. *Atomic Energy Science and Technology*, 1996, **30**(1): 25-30)
- [9] 谢军,黄燕华,孙涛,等. 用 SPDT 技术制备正弦调制靶的表面起伏图形[J]. 原子能科学技术(已接收). (Xie Jun, Huang Yanhua, Sun Tao et al. Preparation of sine perturbation figures by SPDT technology. *Atomic Energy Science and Technology*(Accepted)
- [10] 王朝阳,毛英,罗炫,等. 制备低密度 pmp 泡沫中的热性能研究[J]. 强激光与粒子束, 2001, **13**(5): 595-598. (Wang Chaoyang, Mao

Ying, Luo Xuan, et al. Studies on thermodynamical properties in preparation of low-density pmp foams. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, **13**(5):595-598)

## Fabrication of patterned film-foam composite planar target

Yin Qiang, Zhu Fanghua, Zhou Lan, Zhang Shuyang, Zhang Lin

(*Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-987, Mianyang 621900, China*)

**Abstract:** The Br doped polystyrene film with the sine wave modulated pattern was fabricated and the composite planar target comprising patterned film and foam was also explored by casting the foam solution on the patterned film. Attempts to make composite planar target with sine wave pattern were be discussed and the profile was characterized by the Form Talysurf Series 2 and microscope. The target was intended for Rayleigh-Taylor instabilities. The study indicates that it is easy to controll the film thickness and foam density of the target and to fabricate and assemble the target.

**Key words:** modulated pattern; film-foam composite; planar target; casting