

ICF 分解实验中的平面调制靶

周 斌 王 珏 沈 军 杜保旗 赖珍荃 邓忠生 张会林 陈玲燕

(同济大学波耳固体物理研究所, 上海,200092)

摘 要 介绍采用多次电镀 Ni 图形转移工艺将激光干涉法获得的耦合在光刻胶表面的起伏图形进行复制以获得 Ni 基图形转移模板, 并进一步将表面起伏图形复制到聚苯乙烯薄膜的表面, 以获得具有表面起伏图形的平面调制靶。为提高图形转移的精度, 研究电镀图形转移工艺和聚苯乙烯薄膜图形复制工艺对表面起伏图形转移精度的影响, 以扫描电子显微镜对整个图形转移流程进行监控, 比较光刻胶表面图形, 一次、二次电镀转移图形和转移到聚苯乙烯上图形的形貌。

关键词 平面调制靶 电镀 图形转移 扫描电子显微镜

瑞利- 泰勒流体不稳定性是激光驱动和 X 射线驱动内爆理论和实验中一个重要研究课题^[1~5], 它是 ICF 实验中在靶物理和相互作用物理两方面迫切需要解决的问题之一。研究表明, 引起瑞利- 泰勒流体不稳定性的原因有多种, 靶丸表面的不完整性是其中之一, 美国利弗莫尔实验室的 Thomas Dittrich^[6] 经实验研究证明当靶丸表面粗糙度增加时, 中子产额会减少并使聚变反应减少。如何进一步在理论和实验中明确瑞利- 泰勒流体不稳定性的作用是目前 ICF 实验中的一个关键问题。采用分解实验是一条可行途径, 通过在平面上人为引入面密度扰动可模拟由此产生的不稳定性, 因此具有表面起伏图形的平面调制靶的研制及其参数的精确测定就尤其重要。虽然利用平面调制靶进行的瑞利- 泰勒不稳定性的研究已经取得一系列结果, 而且已从二维空间调制模拟发展到三维空间调制模拟, 但关于平面调制靶的制备却很少有系统的报道。

我们曾报道^[7] 采用激光干涉法进行表面起伏平面图形的研制。本文进一步研究采用金属 Ni 电镀图形转移工艺将激光干涉工艺获得的耦合在光刻胶表面的起伏图形转移到 Ni 基衬底上, 获得具有表面起伏图形的金属 Ni 模具, 选用合适的聚合物薄膜, 采用热压工艺和我们称为“流延法”的工艺将金属模具上的表面起伏图形转移到聚合物薄膜上, 获得具有表面起伏图形的平面调制靶。

1 平面调制靶的制备

采用的实验方案是在有机膜上引进正弦表面起伏, 理论研究表明: 不同幅度的表面起伏影响不同的物理过程, 长波、中波和短波扰动分别影响压缩、壳裂和混合过程, 长波和中波的扰动可通过人为引进表面起伏图形来模拟。平面调制靶的制备由以下四部分组成:

1.1 表面调制图形的产生

* 国家863惯性约束聚变领域资助课题

1997年8月11日收到原稿, 1997年9月15日收到修改稿。

周斌, 1970年3月出生, 在职博士研究生

过去的实验结果表明^[7]，激光全息干涉技术是产生表面调制起伏图形的有效途径。采用双光束激光干涉，其光强分布为 $I=2 I_0 (1+ \cos \delta)$ ，其中， δ 为相干光到达观察屏时所产生的振幅的相差，光强随光程是余弦分布。当光强分布转化为空间几何分布时，可得到理想的表面正弦调制图形，图1是激光干涉法工艺流程。采用激光干涉法，通过选择合适的光刻胶，控制干涉光强度和曝光时间，目前已获得波长为几十 μm ，振幅 $0.2 \sim 3.5 \mu\text{m}$ 的表面起伏图形。

1.2 图形的电镀转移工艺

将激光干涉法获得的耦合在光刻胶表面的正弦起伏图形转移到金属基衬底上获得具有起伏图形的金属模板，是平面调制靶制备的一个重要环节。采用在光刻胶图形上电镀Ni层的工艺实现图形的转移，电镀Ni是实现图形转移的有效途径，该工艺流程为：在具有图形的光刻胶表面蒸镀一层几十 nm 的 Ag 导电膜作为电镀阴极，控制阴极电流密度和电镀时间，在 Ag 膜表面形成均匀的金属Ni层，脱下Ni层，获得具有转移图形的一次转移金属Ni模板；对一次转移获得的Ni模板进行表面钝化处理，再以它作为电镀阴极，再次电镀后脱下Ni层，获得二次转移的Ni模板。采用一次转移的模板可反复电镀获得多块二次转移模板，用二次转移模板作为平面调制靶制备的金属基热压模板和“流延法”制备薄膜的模板。图2是电镀Ni装置图。

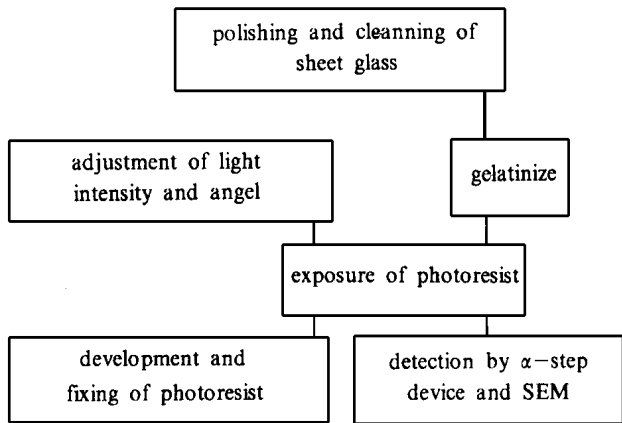


Fig.1 Technological process of laser interference method
图1 激光干涉法工艺流程

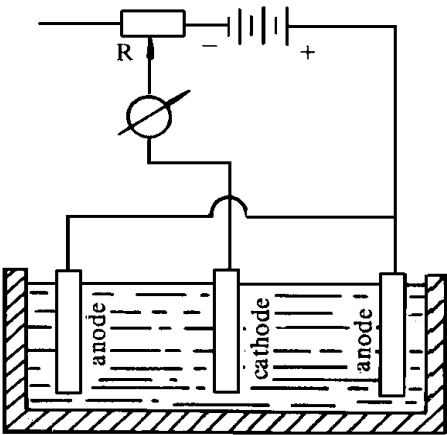


Fig.2 The experimental system of electroplate
图2 电镀Ni 装置图

1.3 有机膜上的调制图形复制

采用热压工艺和“流延法”将调制起伏图形转移到有机薄膜表面，研究有机薄膜的成膜工艺、热压工艺对有机膜表面图形复制的影响。

1.4 起伏图形的监测

采用扫描电子显微镜和台阶仪观察每个过程中起伏图形的形貌，监测整个工艺过程。测量用扫描电子显微镜为Leica - Cambridge S360，台阶仪为Tencor 公司的 α -step 100型。

2 讨 论

2.1 电镀工艺控制

为获得精确的表面起伏图形的转移，对金属Ni 电镀图形转移工艺进行研究，比较不同

电镀液对电镀Ni层结构的影响,选用氨基磺酸镍($\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)为镀液,采用氨基磺酸镍镀液可获得内应力接近于零的镀层^[8]。Ni阳极采用99.9%的含硫镍球,通过控制电镀液的pH值、电镀温度、阴极电流密度得到均匀性、致密性好的电镀Ni层。

电镀液的温度应与镀液的浓度及所采用的电流密度相适应,在本实验的电镀Ni图形转移中,选用40~42℃为电镀液温度;镀液的pH值对镀层性能及电解液性能影响很大,pH值偏大或偏小都会影响Ni层质量,出现针孔,对氨基磺酸镍镀液一般pH值维持在3.8~4;电镀Ni的过程中阴极电流密度对阴极电流效率、沉积速率及镀层质量均有影响,阴极电流密度的范围与电镀液的组成、温度及搅拌条件有关。在电镀图形转移过程中,采用的阴极电流密度一般为几十 mA/cm^2 ,阴极电流密度太高,会导致烧焦或海绵状镀层,镀层的孔洞率也高;在电镀前对光刻胶表面图形的清洁处理是获得良好图形转移的保证。

2.2 表面调制图形的精确转移研究

电镀图形转移工艺对图形转移的要求是图形完整且图形尺寸准确,边缘整齐。采用电镀图形转移工艺对形成于光刻胶表面的正弦起伏图形的一次和二次电镀转移获得金属Ni基具有正弦起伏图形的模板。运用扫描电子显微镜对光刻胶上的图形(图3a)、经一次转移形成在Ni层上的图形(图3b)和二次转移获得的Ni模板上的图形(图3c)进行测量,以确定表面调制图形转移的精确性。

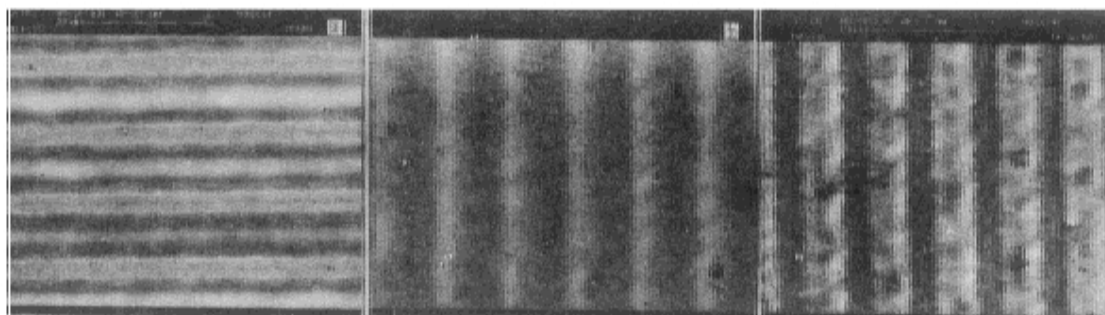


Fig.3 SEM of transfered figures ($\times 400$)

图3 复制图形的SEM测量($\times 400$)

从图3可见,电镀Ni图形转移工艺是良好的图形转移工艺。经过两次电镀转移后,表面起伏图形接近理想的正弦状。图3c显示,二次转移Ni模板的表面正弦起伏图形的波长约为 $56\mu\text{m}$,对二次转移Ni模板的台阶仪测量表明正弦图形的振幅约为 $3.6\mu\text{m}$ 。

图4a、b分别是一次转移Ni模板和二次转移Ni模板剖面的SEM图形(样品台偏转 60°),从图4可见,通过两次金属Ni电镀图形转移后,表面正弦起伏图形完整地获得复制,且图形复制过程中基本没有偏差。

2.3 聚苯乙烯薄膜上的图形复制

瑞利-泰靶不稳定性靶要求选用低 z 的膜材料,考虑材料的可加工性,以物化性能较稳定的聚苯乙烯作为膜材料。聚苯乙烯是以碳和氢两种轻元素组成,它是一种低 z 材料。采用热压工艺和“流延法”以电镀Ni二次转移图形为模板,在聚苯乙烯薄膜的表面形成起伏调制图形。

为获得适当厚度和均匀性好的聚苯乙烯薄膜,研究采用旋转涂覆制备聚苯乙烯薄膜,控

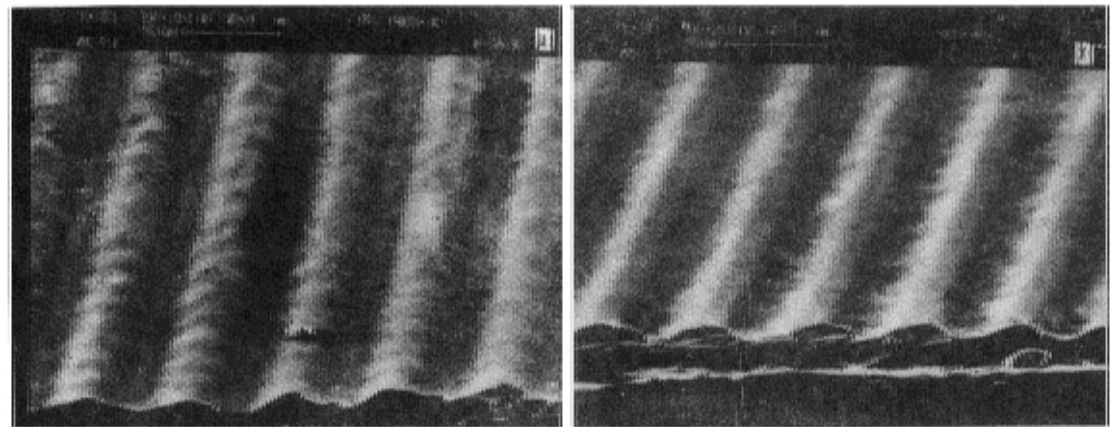


Fig4 SEM for cross section of Ni plate (×450)

图4 Ni 基模板剖面的SEM 测量(×450, 样品台偏转60°)

制聚苯乙烯溶液的浓度、旋转速度和旋转时间、选择合适脱膜剂达到控制成膜质量的目的。以氯仿(CHCl_3)为溶剂溶解聚苯乙烯颗粒, NaCl 作脱膜剂^[9], 在光学抛光玻璃表面蒸镀 NaCl 层, 在 NaCl 上旋转涂覆制备聚苯乙烯薄膜, 待氯仿挥发后, 在去离子水中经脱膜获得聚苯乙烯薄膜。

聚苯乙烯薄膜具有较好的热塑性, 采用热压工艺可将图形复制到薄膜表面。实验中使用小型油压机, 压力范围为 $0\sim 40\text{MPa}$, 工作台直径 90mm , 配备加热装置, 加热温度可达 300°C , 控制精度小于 1° 。采用二次转移 Ni 模板, 在旋转涂覆法制备的聚苯乙烯薄膜上通过控制热压的压力和温度来获得转移图形。SEM 测量表明, 采用热压法可将起伏图形完整地转移到聚苯乙烯薄膜的表面(见图5a)。

另外, 实验中还采用我们称为“流延法”的工艺在 Ni 模板表面直接形成聚苯乙烯薄膜。它是一种简单的薄膜制备工艺, 将聚苯乙烯- 氯仿溶液均匀流过 Ni 模板表面, 待氯仿溶剂挥发后, 刮下薄膜, 得到具有起伏图形的聚苯乙烯薄膜。图5b 为流延法获得图形的 SEM 照片。

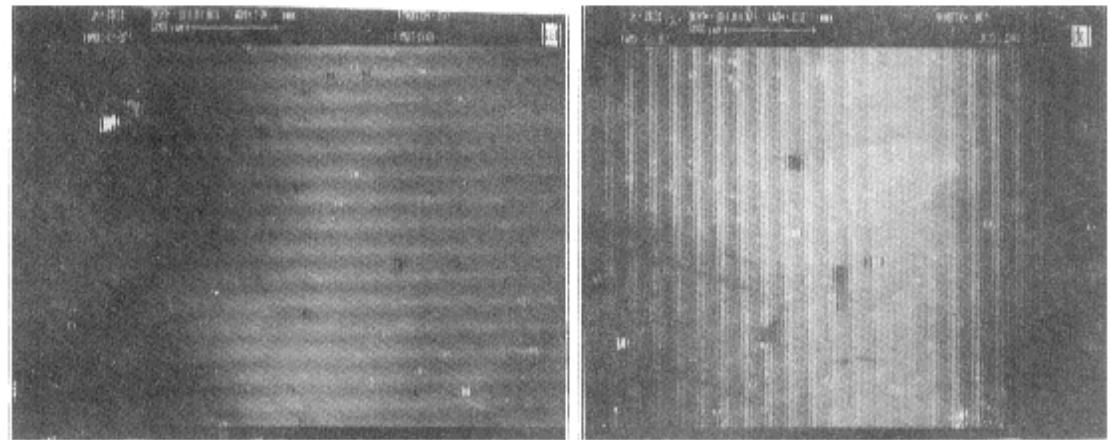


Fig.5 SEM of perturbation figures on polystyrene - film (×100)

图5 聚苯乙烯薄膜上的起伏图形的SEM 测量(×100)

3 结 语

通过电镀Ni 图形转移工艺将激光干涉法获得的耦合在光刻胶上调制图形转移至Ni 基金属模板上, 采用热压工艺和“流延法”成功地将Ni 模板上的调制起伏图形转移至聚苯乙烯薄膜的表面, 对电镀获得的一次、二次转移Ni 图形模板和聚苯乙烯薄膜表面图形的扫描电镜形貌观察表明, 由激光干涉法获得的表面起伏图形经过整个工艺流程后, 其形貌未遭到破坏, 仍具有较好的正弦起伏图形。采用此工艺流程, 目前我们已获得波长为几十~ 100 μm , 振幅在0.2 ~ 3.5 μm 的系列正弦调制图形模板, 为用于 ICF 分解实验中的平面调制靶的制备奠定了良好的基础。

参考文献

- 1 Emery M H et al *Phys Rev Lett* ,1996, 57(6):703
- 2 Aref Hassan et al *Phys Rev Lett* ,1989, 62(7):749
- 3 Mikaelian K O. *Phys Rev A* ,1989, 40(8):4801
- 4 Mikaelian K O. *Phys Rev A* ,1989, 42(8):4944
- 5 Remington B A et al *Phys Fluids* ,1992, B4(4):967
- 6 Dittrich T R, Hammel B A, Keane C J et al 强激光技术进展, 1995, 3(19):39
- 7 陈建荣, 王珏, 陈玲燕等 强激光与粒子束, 1996, 8(4):616
- 8 覃奇贤, 郭鹤桐, 刘淑兰等 电镀原理与工艺 天津: 天津科学技术出版社, 1993, 10:152
- 9 周斌, 王珏, 杜保旗等 原子能科学技术, 1996, 30(1):8

SURFACE PERTURBATION TARGET FOR THE RESOLVED EXPERIMENTS OF INERTIAL- CONFINEMENT FUSION EXPERIMENTS

Zhou Bin, Wang Jue, Shen Jun, Du Baoqi, Lai Zhenquan, Deng Zhongsheng
Zhang Huilin, and Chen Lingyan

Pohl Institute of Solid State Physics, Tongji University, Shanghai, 200092

ABSTRACT The surface perturbation target is an important experimental target for the resolved experiments of inertial - confinement fusion (ICF). In this paper, figure - transfer process by means of nickel - electroplate was adopted, through this process the sine perturbation figure which was prepared by laser interference was transferred and the Ni - plate with sine modulated perturbation figure was obtained. Further, thermal - press process was used to copy figure on the surface of polystyrene - film. To improve precision of figure - transfer process, Ni - electroplate process and thermal - press process were studied. The sine perturbation figure obtained through every process in figure - transfer were kept watch on by SEM.

KEY WORDS surface perturbation target, electroplate, figure - transfer, Scanning Electron Microscopy (SEM).