

文章编号: 1001-3806(2005)05-0555-03

色分离光栅对光束近场调制影响实验研究

王成程¹, 郑万国¹, 马 驰¹, 高福华², 田杨超³, 贾怀庭¹, 袁 静¹, 魏晓峰¹

(1. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 绵阳 621900 2 四川大学 物理系, 成都 610064 3 中国科学技术大学 国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

摘要: 介绍了一种用于惯性约束聚变研究的 CSG 衍射光栅研制情况, 衍射光栅的制作采用离子束刻蚀的方法, 光栅刻蚀面积为 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。利用星光 II 高功率固体激光装置实验平台对光路中插入衍射光栅后的光束近场调制变化进行了实验测试。实验结果表明, 在低功率密度条件下 ($0.005\text{GW}/\text{cm}^2$) 光路中插入 CSG 衍射光栅后, 光束近场调制没有明显的增加, 相对于光束本身的调制来说, 由光栅带来的调制为细微的小量调制。

关键词: 衍射光栅; 高功率固体激光驱动器; 色分离光栅; 光束近场调制; 功率密度

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

Experiment research of the effect of the color separating grating on the near field modulation of the beam

WANG Cheng-cheng¹, ZHENG Wan-guo¹, MA Chi¹, GAO Fu-hua², TIAN Yang-chao³,
JIA Huai-ting¹, YUAN Jing¹, WEI Xiaofeng¹

(1. Research Center of Laser Fusion CAEP, Mianyang 621900 China 2. Department of Physics Sichuan University, Chengdu 610064 China 3. National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China Hefei 230029, China)

Abstract The development of the color separating gratings (CSGs), used in the field of ICF, is introduced. The CSG's area is $80\text{mm} \times 80\text{mm}$. The change of beam near field percentage modulation is tested when the CSG is put in the optics system on the XGII laser facility. Experimental results show that no increase of beam near field percentage modulation is found when the CSG is put in the system under the low power density of $0.005\text{GW}/\text{cm}^2$.

Key words diffraction gratings; high power solid-state laser facility; color separation gratings; near field percentage modulation of the beam; power density

引 言

在大型固体激光驱动器的运行过程中, 由倍频器输出的激光束中既包含了打靶用的三倍频激光, 同时还包含了少量没有转换的基频光和二倍频激光, 在激光高通量、高功率密度条件下, 尽可能将有用的三倍频激光注入到靶点成为驱动器建造过程中关注的焦点问题之一。传统的谐波空间分离方法需要大口径光学元件具备高的损伤阈值, 而目前提高光学元件的损伤阈值已近加工极限, 成为限制输出高功率密度激光束的瓶颈问题之一。

近年来, 随着衍射光学技术研究的不断深入和发展^[1-5], 利用相位闪耀光栅原理制作成的衍射光学元

件是实现高通量、高纯度谐波分离的重要途径^[6-9], 目前已成为世界各惯性约束聚变 (inertial confinement fusion, ICF) 研究大国竞相开展的重要课题。由于衍射光学元件在制作过程中采用离子束刻蚀方法在基片表面上形成一定周期分布的微细条纹, 而这些条纹通常会对传输中的光束近场调制进行改变, 因此, 光路中加入衍射光学元件对光束近场调制的影响问题引起了科学家们的高度重视, 针对这一物理现象, 作者利用 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 的衍射光栅元件样片对光路中插入衍射光学元件后光束近场调制度的变化进行了实验测试, 实验结果具有一定的指导意义。

1 光栅样片基本结构

实验采用的光栅样片为单面刻蚀的 CSG 衍射光栅, 刻蚀面积为 $80\text{mm} \times 80\text{mm}$, 光栅周期 $90\mu\text{m}$ 。利用轮廓仪对 CSG 衍射光栅表面轮廓进行测试的结果如图 1 所示。

作者简介: 王成程 (1974-), 男, 助理研究员, 主要从事高功率固体激光技术研究。

Email: wchch_caep@sina.com.cn

收稿日期: 2004-07-22 收到修改稿日期: 2004-12-02

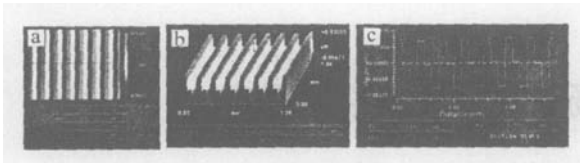


Fig 1 Schematic diagram of the CSG surface

a— schematic diagram for 2-D static of grating surface b— schematic diagram for 3-D static of grating surface c— schematic diagram of grating surface cross section

2 光束近场调制度测试实验原理

光束近场调制度实验测试光路如图 2 所示。利用

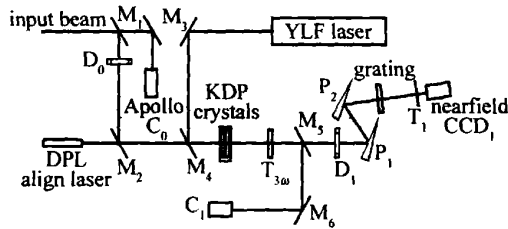


Fig 2 Schematic of the experimental setup

星光 II 激光装置主束 $\varnothing 70\text{mm}$ 级输出的激光束, 经过 $\varnothing 50\text{mm}$ 软边光阑取光后, 用反射镜导入“II + II 偏振失配方式”匹配的 KDP 晶体倍频器产生三倍频激光。由倍频器输出的三倍频激光、二倍频激光以及少量剩余基频光通过滤光片 $T_{3\omega}$ 后只剩下三倍频激光。三倍频激光经过取样反射镜 M_5 后进入激光能量计 C_1 , 用来监测实验过程中单发三倍频激光能量; 另一束光入射到 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 软边光阑 D_k , 光束取样臂板 P_1 , P_2 待测样品 CSG 光栅后入射到近场 CCD 相机中, 用来测量插入衍射光学元件后的光束近场。在实验过程中, 利用与打靶主激光精确耦合的 YLF 激光器作为模拟光源调整三倍频器的输出状态, 使之与打靶主激光偏振态相一致, 并将打靶光束精确对准 CCD 相机。实验测试采用相对测量原理, 先测量没有加入衍射光学元件 CSG 光栅时系统的光束近场分布, 得到系统初始光束近场调制情况 M_1 , 然后在相同条件下测量加入衍射光学元件 CSG 光栅时系统的光束近场分布, 得到系统光束近场调制情况 M_2 。实验过程中, 近场调制度定义为激光脉冲空间分布的峰值强度与光束口径内平均强度的比值, 见右式:

$$M = I_{\text{max}} / I_a \quad (1)$$

式中, M 表示待测的光束近场调制度, I_{max} 为 CCD 相机测得的激光脉冲空间分布的峰值强度值, I_a 为 CCD 相机测得的光束口径内平均强度值。也可以用光束通量对比度 C 来描述光束近场中在高强度激光束传输过程中引入的高频强度调制, 其定义为诊断取样区域内脉冲空间强度分布起伏的均方根值。

3 近场调制度变化实验

为了验证在实际使用距离条件下 ($2.0\text{cm} \sim$

3.0cm) CSG 衍射光栅对光束近场的影响, 并且与理论计算情况相互校核, 在距离光栅 2.0cm 处测试了光束口径局部近场调制度变化情况。实验测试光束口径: $10\text{mm} \times 10\text{mm}$, 为了消除硬边调制的影响, 对光束边缘进行了适当的软化处理。实验过程中的实验条件为: 星光 II $\varnothing 70\text{mm}$ 级输出激光能量为 $8\text{J} \sim 10\text{J}$, $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ 三倍频器输出三倍频激光能量为: $50\text{mJ} \sim 80\text{mJ}$ 光束脉宽: 600ps 。在上述实验条件下, 对光栅样品进行了实验研究, 实验结果如图 3~图 5 所示。

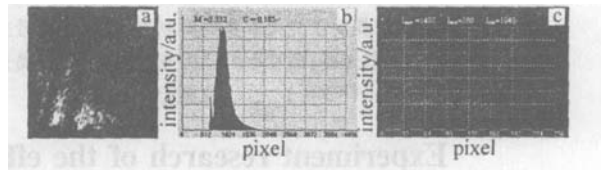


Fig 3 Beam near field distribution without grating
a— initialize beam near field b— analysis of beam near field percentage modulation in $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ area c— distribution of beam near field percentage modulation in horizontal direction

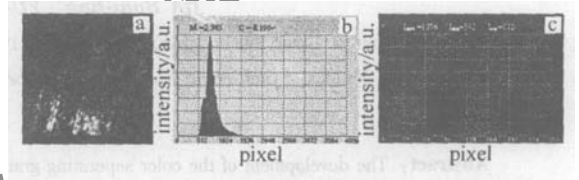


Fig 4 Beam near field distribution with grating in vertical direction
a— initialize beam near field b— analysis of beam near field percentage modulation in $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ area c— distribution of beam near field percentage modulation in horizontal direction

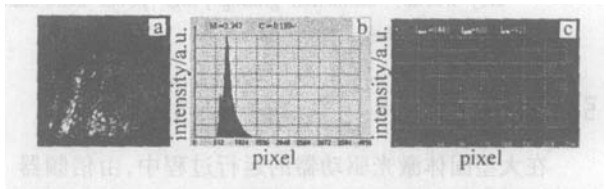


Fig 5 Beam near field distribution with grating in horizontal direction
a— initialize beam near field b— analysis of beam near field percentage modulation in $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ area c— distribution of beam near field percentage modulation in horizontal direction

在以上 3 个实验测试过程中, 对应星光 II 激光装置 $\varnothing 70\text{mm}$ 级输出能量、三倍频激光输出能量、相应的功率密度见表 1。

Table 1 Results of experiment

shot	$E_{\varnothing 70} / \text{J}$	$E_{3\omega} / \text{mJ}$	power density $/(\text{GW} \cdot \text{cm}^{-2})$	near field percentage modulation M	flux contrast C
1	8.4	58.0	0.005	2.332	0.185
2	8.1	60.7	0.005	2.345	0.196
3	8.2	60.7	0.005	2.247	0.189

4 实验结果讨论

通过对距离光栅 2.0cm 位置处进行的实验测试对比, 发现在现有的实验环境条件下 (功率密度条件为 $0.005\text{GW}/\text{cm}^2$), 光路中插入 CSG 衍射光栅后, 光

束近场调制度没有明显的变化。在光束近场图像中,由 CSG 光栅引入的调制增加主要是周期性分布的细微条纹,相对于光束本身的调制来说,由光栅带来的调制属于很细微的小量调制,没有明显的增加。在激光器的实际运行过程中,一般可以接受的光束调制增加为百分之几的量级,另外,人们更关心在高功率密度条件下,光路中加入衍射光学元件后光束近场的变化情况,这一物理问题还需要进一步深入研究。

感谢中物院激光聚变研究中心的陈波、刘华,星光 II 运行组的邓武、蒋东镇、徐冰、王方,光学元件检验组的蒋晓东、任寰等同志的大力支持。

参 考 文 献

- [1] BETT T H, SMITH I C. Diffractive beam samplers for large aperture beam diagnostics [J]. SPIE, 1999, 3492: 445~452.
[2] BRITTON J A. Low efficiency gratings for 3rd harmonic diagnostics

- application [J]. SPIE, 1997, 2633: 121~128.
[3] BRITTON J A, HERMAN S M, SUMMERS L. *Jetal Manufacture* optical performance and laser damage characteristics of diffractive optics for the national ignition facility [J]. SPIE, 1998, 3578: 337~340.
[4] DIXON S N, RUSHFORD M C, THOMAS I M *et al*. Color separation gratings for diverting the unconverted light away from the IF targets [J]. SPIE, 1996, 3047: 463~470.
[5] BARTON I M, BLAIR P, WADDIE A. *Jetal Beam-shaping* diffractive optical elements for high power solid-state laser systems [J]. SPIE, 1998, 3492: 437~444.
[6] TOUZET B, FLAMAND J, THEVENON A *et al*. Focusing transmission gratings for high energy lasers [J]. SPIE, 1998, 3492: 426~436.
[7] 柴立群, 杨李茗, 许乔. 用于 ICF 驱动器的取样光栅的矢量分析与计算 [J]. 强激光与粒子束, 2002, 14(2): 270~274.
[8] 王成程, 马驰, 郑万国 *et al*. 70mm × 70mm 取样光栅性能测试研究 [J]. 光学与光电技术, 2004, 2(5): 27~30.
[9] 袁静, 魏晓峰, 郭永康 *et al*. 用于 ICF 驱动器的色分离相位光栅的研究 [J]. 激光技术, 1999, 23(3): 168~172.

(上接第 542 页)

一种在微生物遗传育种领域中极有应用前景的新型诱变因子。通过做同工酶谱分析,可以证实。用 He-Ne 激光诱变酵母菌,可以获双乙酰生成量低的啤酒酵母,并且其遗传稳定性较好。He-Ne 激光不仅是酵母菌诱变育种的优良诱变剂,也可以广泛应用于细菌、霉菌、担子菌等微生物育种中,随着对激光诱变机理认识的不断深入,激光诱变会逐渐被科技工作者所使用,会出现更多更好的优良菌种,提高生产效率,使人们的生活得到大力改善。

参 考 文 献

- [1] 管敦仪. 啤酒工业手册(修订版) [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 373~376.
[2] 彭智辉, 林炜铁, 冯杰龙. 酶共催化降低啤酒中双乙酰含量的研究设想 [J]. 酿酒科技, 2001, 1: 66~67.

- [3] 胡卫红, 陈有为, 李绍兰 *et al*. CO₂ 激光辐照对酿酒酵母的诱变作用 [J]. 微生物学通报, 2000, 27(1): 36~38.
[4] 杜连祥. 工业微生物实验技术 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1992: 135~136.
[5] 李俊刚, 方善康. 激光诱变黑曲霉原生质体的研究 [J]. 微生物学通报, 1993, 20(1): 213~215.
[6] 赵斌, 何绍江. 微生物学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 64~72.
[7] 四院合编. 工业发酵分析 [M]. 北京: 轻工业出版社, 1986: 137.
[8] 胡卫红, 陈屹, 张云孙 *et al*. He-Ne 激光辐照酵母菌的生物效应 [J]. 应用激光, 2001, 21(1): 23~26.
[9] 鲍淑兰. 激光对酵母菌诱变效应的研究 [J]. 应用激光, 2000, 20(3): 134~144.
[10] 王立秋, 杨国忠, 陈风德. 激光诱变的生物学效应及其在动植物遗传育种上的应用 [J]. 激光生物学报, 1997, 6(2): 1097~1102.