

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0280-03

# 基于光栅取样的靶场激光参数诊断技术研究

彭志涛 孙志红 刘 华 徐隆波 傅学军 胡东霞 王 超 唐 军 夏彦文 元浩宇

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘要** 神光Ⅲ原型装置终端靶场采用大口径取样光栅对透射的 351 nm 激光取样进行脉冲波形测试, 由于取样光聚焦点光线不是等光程的, 该取样方式将导致时间波形的畸变。建立了光栅全口径取样后聚焦的三倍频激光脉冲波形叠加模型, 模型考虑了激光光束近场强度分布和近场各点到聚焦点的光程变化两个主要影响因素, 研究了取样脉冲波形的叠加特性, 给出了该测量技术的适用范围和测量精度。结果表明, 对于取样光束口径为 290 mm×290 mm, 取样焦距为 1380 mm, 取样角为 11.5°的基于光栅取样的脉冲波形测量系统, 只要被测激光脉宽大于 1 ns, 取样后脉冲波形原始波形一致, 没有展宽。实验标定结果表明, 神光Ⅲ原型装置采用光栅取样对靶场三倍频激光脉冲进行测量是可行的, 该技术目前已经应用于原型装置。

**关键词** 测量; 光栅; 叠加法; 高功率激光; 脉冲波形

中图分类号 TL632+.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s1.0280

## Research on Laser Temporal Profile Measurement By Beam Sampling Grating

Peng Zhitao Song Zhihong Liu Hua Xu Longbo Fu Xuejun Hu Dongxia  
Wang Chao Tang Jun Xia Yanwen Yuan Haoyu

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

**Abstract** Beam sampling by a fused-silica grating, which sampling the full-aperture beam, is focused on a diagnostics sensor to measure the laser pulse shape of technical integration lines of Shenguang-III. The optical path of sampling beam at focus spots is not equal, so the pulse shape is different from the original pulse. Research on laser temporal profile measurement by means of grating are reported. The model to reconstruct the pulse shape is developed to study the superposition of sampling pulse, and spatial uniformity and optical path are considered. Simulation indicated that sampling has only a small impact on the pulse shape of beam, which aperture is 290 mm×290 mm, pulse duration is more than 1 ns, focus length of sampling beam is 1380 mm, and the angle is 11.5°. The calibration results show that the diagnostic technology of sample with grating is feasible for laser measurement. The technology is a great success in the laser temporal diagnostic of technical integration lines of Shenguang-III.

**Key words** measurement; gratings; superposition method; high power laser; pulse waveform

## 1 引言

激光取样技术是影响激光参数测量精度和系统排布的首要因素。高功率激光系统目前所使用的取样器件包括取样镜、分束光栅、全息分束器、光纤等。各种取样方式对激光参数测量的影响各不相同并应用于不同的测试点。开展取样方式对激光参数测量精度的影响研究是非常重要的。光栅可用于大口径光束的取样, 并可作为谐波分离和聚焦器件。

在惯性约束聚变(ICF)系统的终端靶场子系统中, 在三倍频激光(351 nm)进入终端靶场之前, 需

要采用取样光栅(Beam sampling grating, BSG)将透射的三倍频光按一定比例取样进入三倍频诊断模块进行能量和时间脉冲波形的测试。该取样光栅是一种相位型的变周期光栅, 这种光栅结构能使取样光束从主光路中分离出来并聚焦光束取样光束的取样效率一般在 2%左右。

美国的 LLNL 实验室的 NIF 装置使用 BSG 取样技术完成了三倍频激光脉冲能量取样测量<sup>[1]</sup>, 三倍频时间脉冲取样采用终端光学组件三倍频晶体输出表面将部分三倍频激光反射回主放空间滤波器进

入主放诊断模块,最后完成时间波形的测量。在文献[2~4]可见三倍频诊断采用BSG一级衍射0.2%~0.5%取样,缩束进入诊断包之后进行脉冲能量诊断。精确诊断对于取样光束空间均匀性有一定的要求,全口径取样光空间不均匀性要求保证在~5%均方根(RMS)。基于BSG的三倍频脉冲时间测量技术研究讨论未见公开报道。国内关于BSG取样技术在高功率激光器终端光学组件中的应用研究工作才起步,只有BSG研制的相关文献报道<sup>[5,6]</sup>,没有开展BSG取样对测量方面的研究。在强激光技术领域,因高能量、高功率、高光强等特点,给激光参数诊断和测量带来新的挑战,为了适应高功率激光器的要求,需开展一些专用测试技术,从而推动强激光精密诊断技术的发展。

## 2 理论分析

原型装置三倍频参数诊断采用BSG取样方式,完成脉冲能量和时间波形的测量功能,351 nm激光经过BSG取样,再经打靶透镜聚焦后进行脉冲时间波形测量。图1是BSG取样光路图,取样前光束口径为290 mm×290 mm,取样焦距为1380 mm,取样角为11.5°。

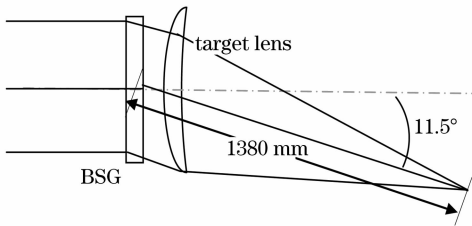


图1 BSG取样光路示意图

Fig.1 Scheme of beam sampling grating for TIL

当取样角很大时,在聚焦点,沿取样方向的光线不是等光程的,这种取样方式可能会造成时间波形的畸变。为此,对取样光沿取样方向光程进行了计算。

根据取样光路的几何关系(如图2),脉冲产生的时间延迟为衍射维近场坐标  $x$  的函数,即

$$D = \sqrt{L^2 + (h+x)^2}, \quad (1)$$

其中  $x \in [-a/2, a/2]$ 。

设BSG之前的时间波形函数为  $\delta(\tau)$ ,则在取样光焦点处得到的时间波形函数为

$$I(t) = \int_{-a/2}^{a/2} \delta \left[ \tau + \frac{\sqrt{L^2 + (h+x)^2}}{c} \right] dx \int_{-a/2}^{a/2} I(x, y) dy. \quad (2)$$

离散表达式为

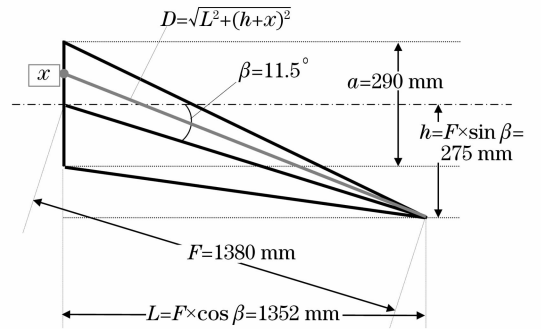
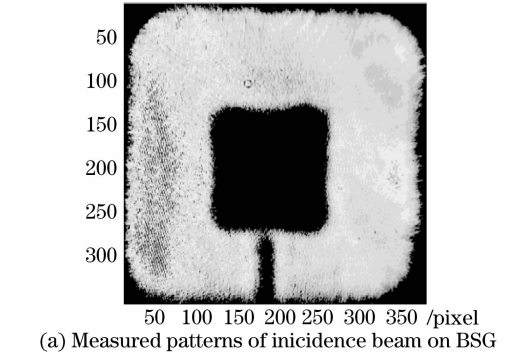


图2 BSG取样光路的几何关系

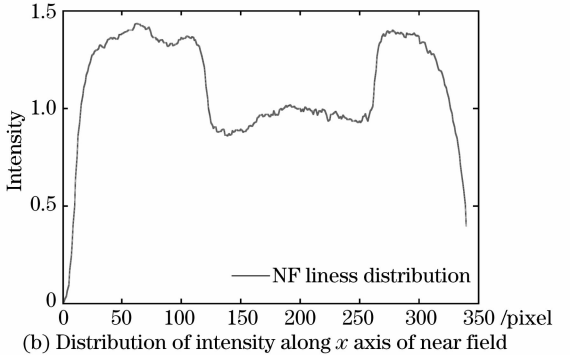
Fig.2 System optical path geometry for beam sampling grating

$$I(t) = \sum_i \left\{ \delta \left[ \tau + \frac{\sqrt{L^2 + (h+x_i)^2}}{c} \right] \sum_j I(i, j) \right\}. \quad (3)$$

为了简单起见,假定基频光时间波形服从高斯分布,假定三倍频过程对时间波形没有影响,假定在空间上时间波形是完全一致的。我们研究了原型取样光的脉冲波形变化情况,图3是原型装置典型的近场分布。



(a) Measured patterns of incidence beam on BSG



(b) Distribution of intensity along  $x$  axis of near field

图3 入射激光的近场分布

Fig.3 Distribution of incidence beam on BSG

对取样前后的脉冲波形进行模拟,计算时选择的脉冲参数:300 ps, 1 ns高斯或超高斯分布。图4(a)是300 ps脉冲取样前后的波形,从图上可以看出取样后脉冲的形状和原始波形一致,计算结果表明只展宽了40 ps。图4(b)是1 ns二阶超高斯脉冲取样前后的波

形,取样后脉冲的形状和原始波形一致,没有展宽。

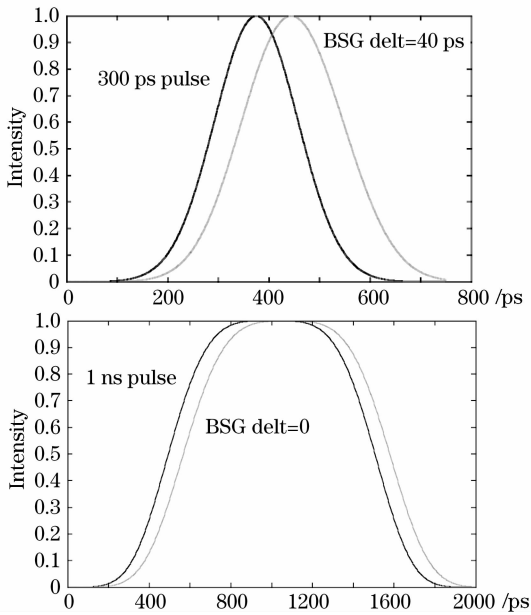


图 4 (a) 300 ps, (b) 1 ns 脉冲取样前后的波形

Fig. 4 (a) 300 ps, (b) 1 ns pulse shape of incident beam and pulse shape of sampling beam

### 3 实验结果

由于离线无法获得大口径、短脉宽三倍频(351 nm)激光束,我们在原型装置上开展了 BSG 取样对三倍频时间波形影响的实验研究。将脉宽为 220 ps、能量为 150 J 基频光(1053 nm)入射到靶场终端光学组件进行谐波转换获得三倍频光输出,三倍频激光经过 BSG 取样进行脉冲波形测量。入射基频光光束口径为 290 mm×290 mm,功率密度为 0.7 GW/cm<sup>2</sup>。神光 III 原型装置上的研究表明,当基频光的功率密度低于 1 GW/cm<sup>2</sup> 时,理论上三倍频激光的波形和基频光基本一致,因此,将采用 BSG 取样的脉冲波形测量结果与基频光比对来验证其测量结果的准确性。图 5 和图 6 是装置打靶

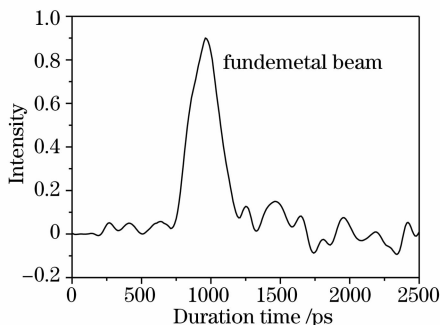


图 5 实验测得的基频光时间波形

Fig. 5 Pulse shape of fundamental beam

实验(发次编号 20070701, N1 路)时测得的三倍频前基频光脉冲波形和三倍频后 BSG 取样的三倍频激光脉冲时间波形,基频光脉宽为 220 ps;三倍频脉宽为 245 ps,和基频光脉宽相比,展宽了 25 ps,这和理论模拟的展宽量基本相同。

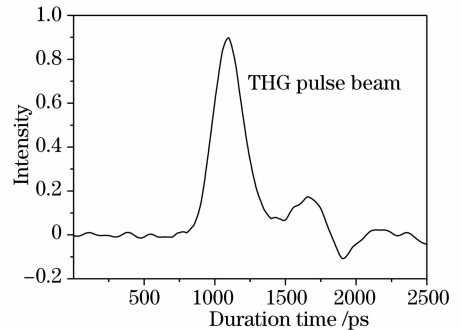


图 6 实验测得的 BSG 取样三倍频光波形

Fig. 6 THG pulse shape of sampling beam

### 4 结 论

初步的理论分析和模拟及实验结果可以看出,基于 BSG 的三倍频取样方式对原型装置三倍频时间脉冲波形的测量影响是有限的,对于纳秒或亚纳秒高斯脉冲,取样后脉冲的形状和脉宽的变化可以忽略;既使对 300 ps 的高斯脉冲,脉冲展宽只有 40 ps,实验结果也验证了这一点。研究表明,基于 BSG 的三倍频取样方式对纳秒激光脉冲时间波形测量是可行的。

### 参 考 文 献

- 1 P. J. Wegner, J. M. Auerbach, C. E. Barker. Frequency converter development of national ignition facility[P]. UCRC-JC-129725, 1998
- 2 E. S. Bliss, A. A. Grey, R. D. Kyker. Beam control and laser diagnostic systems[P]. UCRL-LR-105821-99-1, 79~97
- 3 R. A. Zacharias, N. R. Beer, E. S. Bliss. Alignment and wavefront control system of the national ignition facility[J]. *Opt. Eng.*, 2004, **43**(12): 2873~2884
- 4 S. Glenzer, O. Jones, D. R. Speck.  $3\omega$  power balance procedure on the NIF[P]. UCRL-ID-142777, 2001. 1~10
- 5 Chai Liqun, Yang Liming Xu Qiao. Vector theory analysis and numerical calculation for beam sampling grating used in ICF[J]. *High Power Laser & Particle Beams*, 2002, **14**(2): 270~274
- 6 柴立群,杨李铭,许乔. 用于 ICF 驱动器的取样光栅的矢量分析和计算[J]. *强激光与粒子束*, 2002, **14**(2): 270~274
- 7 Zhang Yixiao, Gao Fuhua, Yao Xin *et al.*. Fabrication of the combined color separation grating and beam sampling grating element applied in inertial confinement fusion driver[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11): 1461~1466
- 8 张怡霄,高福华,姚欣等. 用于惯性约束聚变驱动器的色分离光栅光束采样光栅集成元件的制作[J]. *中国激光*, 2006, **33**(11): 1461~1466