

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0262-03

# 利用 CCD 近场仪提高高功率激光器三倍频最佳匹配角的调节可靠度

唐顺兴<sup>1</sup> 季来林<sup>2</sup> 欧阳小平<sup>1</sup> 黄奎喜<sup>1</sup> 朱宝强<sup>1</sup> 林尊琪<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理联合实验室, 上海 201800)  
<sup>2</sup>中国工程物理研究院上海激光等离子体研究所, 上海 201800)

**摘要** 介绍了高功率激光系统的谐波转换系统匹配角调节的离线-在线技术。研究了如何将 CCD 近场仪应用于离线调节三倍频最佳匹配角, 该方案与光能量判断和肉眼观察光强相比更可靠。实验结果表明三倍频最佳匹配角的调节精度达到 20", 能够满足工程应用的要求。

**关键词** 高功率激光; 三倍频; 近场; CCD

**中图分类号** O437.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s1.0262

## Improve the Adjusting Reliability of Optimum Matching Angular of the Frequency Tripling of High Power Laser by Laser Near Field CCD Diagnostic Device

Tang Shunxing<sup>1</sup> Ji Lailin<sup>2</sup> Ouyang Xiaoping<sup>1</sup> Huang Kuixi<sup>1</sup> Zhu Baoqiang<sup>1</sup> Lin Zunqi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Joint Laboratory for High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)  
<sup>2</sup>Shanghai Institute of Laser Plasmas, Chinese Academy of Engineering Physics, Shanghai 201800, China)

**Abstract** An online-offline program which is applied to find out the optimum matching angular of the frequency tripling of high power laser are intraduced in this paper. Comparing with determining the optimum matching angular by laser energy meter or naked eyes, the laser near field CCD diagnostic device is more reliable. The result shows that the adjusting precision of the optimum matching angular of the frequency tripling can reach 20", which can meet the requirement of engineering application.

**Key words** high power laser; frequency tripling; laser near field; CCD

### 1 引言

在惯性约束聚变(ICF)实验中,短波长激光打靶能够提高靶等离子体对激光能量的吸收,提高 X 光的转换效率,并抑制超热电子的产生<sup>[1]</sup>。获得短波长激光的最有效方法是采用谐波转换系统对高能基频激光进行三次谐波转换。其中如何提高宽带激光三次谐波转换效率和动态范围,改善三次谐波光束质量,避免三次谐波对晶体及膜层的破坏是人们主要关心的问题,并取得了一系列进展<sup>[2~5]</sup>。

目前采用钨玻璃激光器获得高能基频激光(波长 1053 nm),通过谐波转换系统可获得高能三倍频

短波长激光(波长 351 nm)。在晶体的调节中,如何使晶体工作在最佳匹配角是一个基本的又是最为重要的问题。实验室采用离线-在线技术,离线找到两块晶体的最佳匹配角,然后装配到主光路中。离线找晶体的最佳匹配角时,如何判断晶体调节到了最佳匹配位是一个关键问题。研究表明,CCD 近场仪可应用于离线调节三倍频最佳匹配角,该方案能满足调节精度要求,比以往用肉眼观察光强或者激光能量计测三倍频输出能量更加可靠。在神光 II 装置上开展了实验研究,匹配角调整精度达到 20",谐波转换效率达到 60%。

**作者简介:** 唐顺兴(1983-),男,博士研究生,主要从事高功率激光系统中非线性光学和光束质量诊断等方面的研究。

E-mail: apolababy@hotmail.com

**导师简介:** 林尊琪(1942-),男,中国科学院院士,研究员,主要从事高功率激光技术和激光等离子体等方面的研究。

E-mail: zqlin@mail.shcnc.ac.cn

## 2 谐波转换方案和晶体调整架的设计

图 1 描述了 II-II 类偏振失配谐波转换系统：选择入射激光偏振方向与晶体慢轴的夹角，使入射倍频晶体的 o 光 e 光比例为 2:1；通过倍频晶体时，一个  $1\omega$  的 o 光光子和一个  $1\omega$  的 e 光光子耦合产生一个  $2\omega$  的 e 光光子；由于三倍频晶体和倍频晶体主截面严格正交，未参与倍频的 o 光光子入射三倍频晶体时成为 e 光光子，而倍频产生的 e 光光子成为 o 光光子；倍频得到的  $2\omega$  的 o 光光子与剩下的  $1\omega$  的 e 光光子耦合产生  $3\omega$  的 e 光光子。

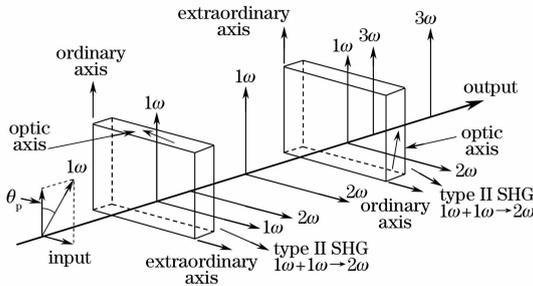


图 1 II-II 类三次谐波转换系统

Fig. 1 Type II-type II frequency tripling scheme

目前倍频和三倍频晶体采用一体化的机械调整结构，利用步进电机使固定在晶体调整架上的晶体绕竖直轴转动，将完成倍频晶体的调整，而绕水平轴转动将完成三倍频晶体的调整。考虑到基频光本身的指标漂移，发散及环境温度的涨落都将影响晶体的匹配，机械控制精度  $10 \mu\text{rad}$  能达到两块晶体的失配角都小于  $100 \mu\text{rad}$  的要求。

## 3 离线寻找最佳匹配角的方法

相比在主光路中调整晶体确定最佳匹配角，离线标定调整技术既方便可行，又节约成本，具有明显的优势。因此，工程应用上一直采用离线调整、在线整体安装技术。

首先，离线安装晶体到调整架，使晶体慢轴与调整架一维转轴同轴，并确定两块晶体慢轴严格正交。而后，在离线最佳匹配角调整系统中找出最佳匹配位和晶体准直位之间的夹角并记录。最后，将晶体安装到主光路，用靶场模拟光确定晶体的准直位，然后根据记录数据运行步进电机，精确调整晶体到最佳匹配角。这样，能保证实现高效谐波转换。

对偏振失配方案小信号解<sup>[1]</sup>

$$I_{3\omega} = 144(K_d K_t L_d L_t c_{\mu 0})^2 I_{\omega}^3 \alpha^2 (1 - \alpha) \times (\sin^2 \psi_d / \psi_d^2) (\sin^2 \psi_t / \psi_t^2),$$

$K_d$  为倍频晶体中的波矢， $L_d$  为倍频晶体的厚度，

$\psi_d = \Delta K_d(\theta_d) \cdot L_d / 2$ 。三倍频的参量  $K_t, L_t, \psi_t$  的定义与倍频晶体类似， $\alpha$  为输入基频光在 o 光和 e 光能量之比。

以一定光强的抽运光入射晶体，由上式可以看出，当晶体达到最佳匹配角时，输出三倍频光强最大。通常采用肉眼观察或者光电探测器来判断三倍频光强最大值的位置。肉眼判断精度小，实验者的经验很重要；光电探测器有较高的精度，但是响应速度受限，而且考虑到激光束本身存在发散角，近场光斑不同位置不能同时达到最佳相位匹配，因此可靠性不高。

本文提出了一种利用 CCD 近场仪判断最佳匹配角的方法。基本原理如图 2 所示。

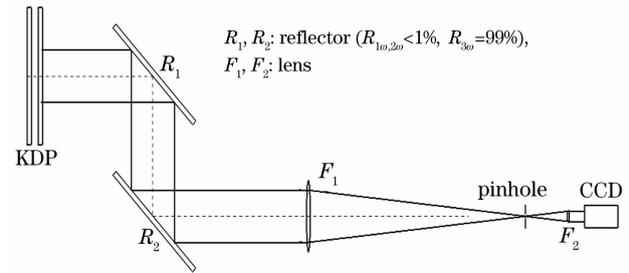


图 2 利用 CCD 近场仪提高调节三倍频最佳匹配角可靠度方案光路

Fig. 2 Optic arrangement of the scheme improving the adjusting reliability of optimum matching angular of the frequency tripling by laser near field CCD diagnostic device

CCD 近场仪利用 CCD 采集激光束某一截面上的光通量分布，具有响应灵敏、分辨率高的特点<sup>[6]</sup>。CCD 虽然不能直接测量出激光的能量，但是其每个像素读数和该像素上的激光能量通量严格成正比关系，因此可以间接反映激光束的能量分布。

先将晶体初略调到最佳匹配位附近，启动步进电机调节晶体的匹配角，每隔 10 步（每步对应  $2''$ ，10 步对应  $20''$ ）采集一幅，采集对应步进电机的步数的近场分布图像并记录。然后计算光束近场分布的中心位置，选取一定口径的中心区域进行数值求和，计算结果对应于该区域激光能量通量。描绘出“计算结果-步进电机步数”曲线，当晶体调整到最佳匹配位时，倍频效率达到最大，可以观察到一个峰值。

采用 CCD 近场仪，既具有响应速度快的优点，可以较快地完成多次测量取平均值，又能选取光束的中心区域，避免光束发散引入的误差，提高调整相位匹配角的精度；另一方面拓展了 CCD 近场仪的用途，节约了科研成本。

## 4 实验结果

实验使用 YLF 激光器调整晶体最佳匹配位,其工作波长为 1053 nm,能量约 300 mJ,脉宽 8~10 ns,扩束后准平行光束口径约 20 mm。利用 CCD 采集到对应不同步进步数的  $3\omega$  光近场分布见图 3。

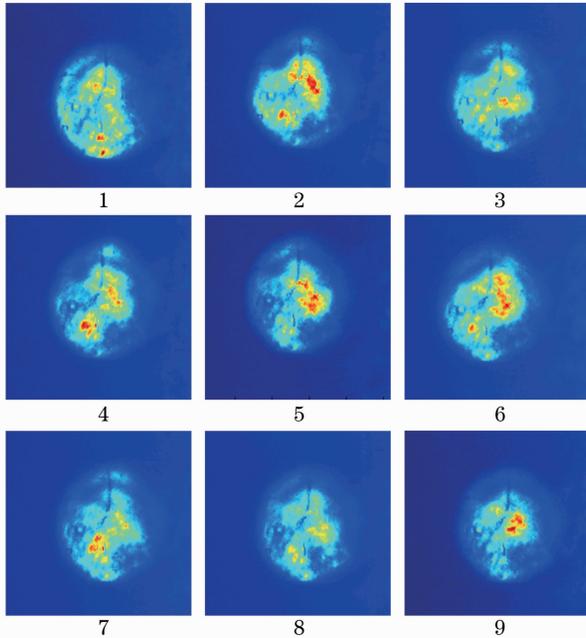


图 3 不同步进步数三倍频近场分布

Fig. 3 Near field at  $3\omega$  of different steps of stepping motor

表 1 中的数据在图 4 中用实心方块标明,从图 4 中拟合的曲线可以看到,在步进电机步数为 517 时,CCD 中心区域累积读数达到峰值,表明输出三倍频激光光强最强,此时对应晶体最佳匹配角。由于峰值两旁的数据点对应的步进步数同峰值都相差 10 步,对应  $20''$ ,所以可以认为失配角调节精度达到  $20''$ ,满足工程应用的要求。

表 1 CCD 采集的近场数据的处理结果

Table 1 Analysis of the near field data caught by CCD camera

| No. | Steps | Integral quantity / $10^5$ | No. | Steps | Integral quantity / $10^5$ |
|-----|-------|----------------------------|-----|-------|----------------------------|
| 1   | 457   | 5.74                       | 6   | 527   | 7.53                       |
| 2   | 487   | 8.07                       | 7   | 537   | 7.32                       |
| 3   | 497   | 8.16                       | 8   | 547   | 7.27                       |
| 4   | 507   | 8.29                       | 9   | 577   | 6.65                       |
| 5   | 517   | 9.66                       |     |       |                            |

通过肉眼观察判断最佳匹配位受实验人员的自身条件限制较大,根据经验和不同人肉眼分辨能力不同判断结果差异较大,分辨精度不如近场判断可靠;光能量判断法虽然比肉眼观察更加客观,但是激

光能量计在小能量测量时不如人眼敏感,另外受实验室现有激光能量计单次测量时间限制,光能量判断法工作效率较低,所以不采用该方案。

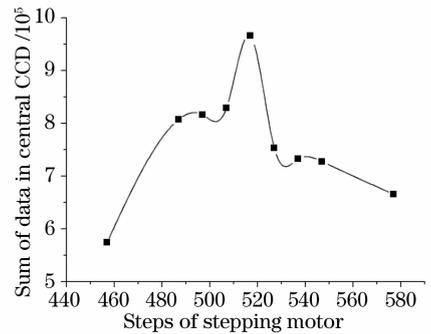


图 4 中心区域数值积分-步进电机步数曲线

Fig. 4 Central area data integral quantity versus the steps of stepping motor

## 5 结 论

介绍了高功率激光系统谐波转换系统的调节方法,分析了影响调节三倍频最佳匹配角精度的因素,理论分析结果表明利用 CCD 近场仪可以提高调节精度,比以往方案更具有可靠性。实验结果表明,CCD 近场仪调节三倍频最佳匹配角精度可以达到  $20''$ ,满足工程应用要求。在线安装调试工作,在线大能量实验谐波转换效率达到了 60%。如果改善入射基频光的光束质量可以进一步提高调节精度。

## 参 考 文 献

- 1 R. Stephen Craxton. High efficiency frequency tripling schemes for high-power Nd : glass lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **QE-17**(9): 1771~1781
- 2 Zhu Baoqiang, Zhan Tingyu, Gu Zhen *et al.*. Third harmonic generation of high-energy large-aperture one micro laser and its spatial beam property investigation[C]. *SPIE*, 2001, **4268**: 36~42
- 3 Wei Xiaofeng, Ma Chi, Yuan Jing *et al.*. Effect of phase ripples on the third harmonic generation[J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(9): 789~792  
魏晓峰, 马 驰, 袁 静 等. 位相扰动对三次谐波转换的影响[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(9): 789~792
- 4 Wang Tao, Zhan Tingyu, Zhu Heyuan *et al.*. Analysis of beam-quality degradation in nonlinear frequency conversion [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(5): 1101~1106
- 5 Zhao Huajun, Yang Liming, Feng Guoying *et al.*. The effect of third-order nonlinear interaction on high-efficiency third harmonic generation conversion [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(3): 387~391  
赵华君, 杨李茗, 冯国英 等. 三阶非线性效应对三次谐波振荡转换的影响[J]. *光学学报*, 2005, **25**(3): 387~391
- 6 Zhi Tingting, Huang Kuixi, Lin Zunqi *et al.*. Laser far field CCD diagnostic device[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 1997, **34**(4): 29~35  
支婷婷, 黄奎喜, 林尊琪 等. 激光远场 CCD 诊断仪[J]. *激光与光电子学进展*, 1997, **34**(4): 29~35