

基于四象限探测器的监视对准实验

王 兵, 王伟国, 郭汝海

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘 要: 激光束的空间稳定性是激光系统非常重要的指标, 要保持激光束的空间稳定性就必须先对激光束的指向进行监测。本文采用四象限设备作为 532 nm 半导体激光指向的监测设备, 它可以快速响应光斑的中心位置。实验测量了激光束自身的漂移抖动量, 然后利用转台和透镜组合标定了 3 个角度的指向误差。实验结果表明, 激光束的漂移抖动最大值为 3.6", 指向的综合误差平均在 6"左右。本实验结果可以为后续加入快速反射镜的指向稳定系统提供必要的的数据支持。

关键词: 四象限探测器; 对准监视; 指向稳定

中图分类号: TN366 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112812.0037

Alignment Experimental Analysis based on Four Quadrant Detector

WANG Bin, WANG Wei-guo, GUO Ru-hai

(State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Spatial stability is an important property of laser beam for laser systems. Before maintaining the pointing stability, the direction of laser beam must be monitored. The four quadrant detector as pointing monitor device was used for 532 nm semiconductor laser, which could obtain the center position of laser spot quickly. In the experiment, the amount of shift and jitter for laser beam was measured. Then the combination of rotating stage and lens was used to measure the alignment error for three angles. The results show that the top amount of shift and jitter is 3.6", and the average of combined pointing error is around 6". These data can provide the support for the spatial stability system which needs feedback system with fast steering mirrors.

Keywords: four quadrant detector; alignment monitor; pointing stability

*基金项目: 吉林省自然科学基金项目 (201115123)

1 引言

光束的空间指向稳定对于一个激光系统来说是影响性能的关键技术^[1]。一个理想的激光系统应该既能保持其指向也能保证光束总是沿着系统的光轴,这样激光束才能有效地发射出去。然而,一个实际激光系统的指向稳定性受到很多因素的限制,比较常见的有:(1)激光器内工作介质的温度变化;(2)激光器平台的振动;(3)激光束传输光路中光学元件的变化等。上述因素会造成激光束的指向在位置和方向上随时产生变化,对于要求指向严格的激光系统,如激光微纳加工系统、激光通讯系统都必须加入指向对准装置才能保证系统的性能^[2-3]。这样的系统通常采用以下方法:首先由探测器得到激光束的位置和指向信号,然后通过一个控制元件(在激光系统中一般为快速反射镜)把光束快速转向到正确的对准方向上。因此,研究四象限探测器的对准误差就具有非常现实的意义。

不同于以往四象限探测器的研究^[4-6],本文所采用的四象限探测器为基于图形化的 Labview 开发,利用其强大的测试分析与显示功能,可以将原始数据转化为我们关心的光斑中心坐标。

同时,使用四象限探测器必须对其对准误差进行分析,因为它直接影响探测器的检测精度。目前对四象限探测器的对准误差的研究多为理论研究,还缺乏真实的实验数据支持。本文试图通过转台加透镜的组合对四象限探测器的对准误差进行标定,给出整个实验的分析过程,该研究结果将为后续指向稳定装置提供必要的信号参数。

2 实验

2.1 四象限的工作原理

四象限探测器是象限探测器的一种,它利用光刻技术将一个圆形或方形的敏感面窗口分割成4个面积相等、形状相同、位置对称的区域,其原理示意图和实物如图1所示。可见光与近红外波段的激

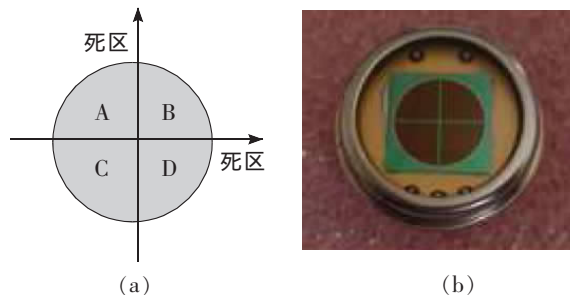


图1 四象限探测器:(a)原理示意图,(b)实物图
光主要使用 Si 四象限探测器,它的相应波长为 400~1 100 nm。

图1中所示的探测器各个象限之间的间隔称为死区,工艺上要求做得很窄。当激光束入射到四象限探测器的光敏面上时,落在4个象限的光能量可以转换为光电流,我们用 A、B、C、D 来定义4个象限的光电流大小,则光束的质心(即重心)可以由下式计算:

$$X = \frac{(A+C)-(B+D)}{A+B+C+D} \quad (1)$$

$$Y = \frac{(A+B)-(C+D)}{A+B+C+D} \quad (2)$$

2.2 实验光路

实验光路示意图如图2所示。四象限的探测器尺寸为 11.6 mm,测量误差依赖于光斑中心相对于探测器原点的坐标及光斑半径,要想提高探测灵敏度就必须减小光斑半径,光斑半径过大会超出探测器的线性测量范围,而过小的光斑半径又会使探测器微弱信号放大电路的噪声难以消除,因此,综合以上因素,选择光斑半径为 4 mm。实验光路照片如图3所示。

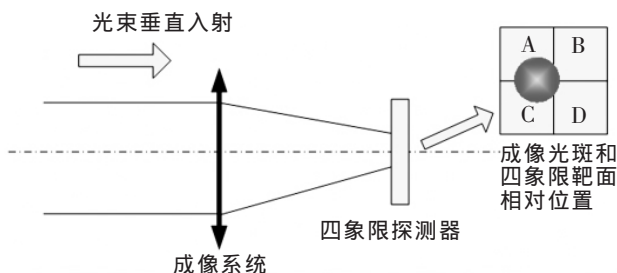


图2 指向误差的实验光路



图3 实验配置图

实验中采用了带旋转台的 532 nm 连续半导体激光器, 测量得到的平均功率为 300 mW, 由于四象限为弱光信号检测装置, 激光直接照射极易饱和, 所以在激光束达到探测器之前必须经过衰减, 实验中采用了 20:1 的绿光衰减片。

基于 Labview 图形化编程环境的光斑中心采集界面如图 4 所示。

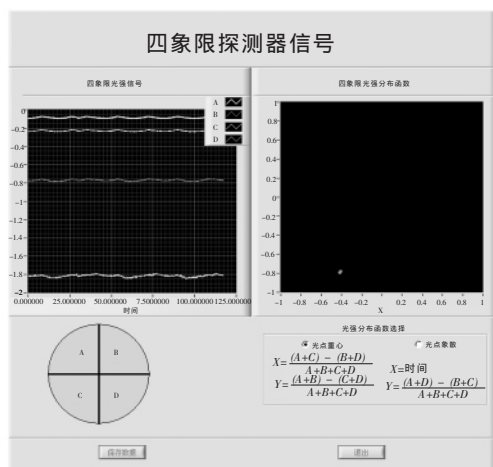


图4 光斑中心计算机图形显示界面

经过实验测试, 该光斑中心数据采集系统结构简单, 灵敏度高, 测量精度达到了 $0.1 \mu\text{m}$ 。

2.3 实验步骤

利用上述实验光路, 采取以下实验步骤对指向误差进行分析:

- (1) 在隔振光学平台上锁定激光器、衰减片、透镜和四象限之间的位置, 确保激光束照射在探测器的中心位置;
- (2) 先监视一段时间内的光斑漂移抖动量, 然后转动旋转台;

(3) 精确调节旋转台的偏转角度, 分别取整数 $2'$ 、 $4'$ 和 $6'$, 然后记录光斑中心数据, 并保存;

(4) 测量 3 组数据, 由于加入透镜装置, 需要采用高斯成像公式计算指向误差, 取 3 组平均值作为最终的指向误差值。

3 结果与讨论

3.1 光束漂移抖动的测量

激光器本身由于自身工作物质的温度变化, 造成指向的漂移抖动, 进行指向误差分析之前必须对激光器本身对指向误差的影响做一量化研究。实验测量了 75 ms 光斑中心漂移抖动随时间的变化曲线, 如图 5 所示。

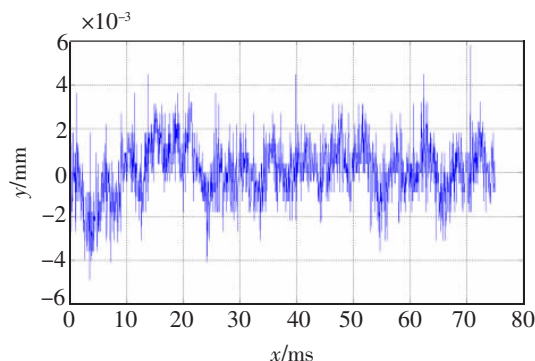


图5 激光束的漂移抖动

通过图 5 可以计算激光器的漂移抖动造成的指向误差最大值为 $3.6''$ 。

3.2 指向误差分析

表 1 给出了旋转台 3 个角度的测量值, 该数值为 1 s 时间内的平均值。

表1 3个角度下光斑中心的数据

偏转角	1	2	3
$2'$	0.094 2	0.095 8	0.093 6
$4'$	0.172 9	0.176 0	0.174 1
$6'$	0.287 0	0.278 3	0.266 2

实验中, 激光束经过衰减片和透镜后入射到四象限探测器上, 透镜在这里可以控制四象限探测器光敏面上的光斑尺寸。当激光器指向随转台转动 θ 时, 由高斯成像公式可以得到光斑中心偏离探测器中心的理论值, 计算公式为:

$$d = \frac{\tan\theta \times l \times (l_2 - l_1)}{l_1} \quad (3)$$

其中, $l_1 = \frac{l \times f}{l - f}$ 为像距, l 为激光器到透镜的距离, l_2

为透镜到四象限探测器的距离, f 为透镜焦距。通过表 1 实测值和公式 (3) 计算的理论值相比较, 得到四象限探测器的指向误差, 如表 2 所示。

从表 2 中可以看出, 该四象限探测器系统测量数值稳定, 指向误差最大达到了 $6.20''$ 。而且随着转台偏转角增大, 光斑中心距离探测器中心越远, 指

表2 指向误差

角度	1	2	3	平均值
2'	5.18"	5.27"	5.15"	5.20"
4'	5.73"	5.83"	5.77"	5.78"
6'	6.42"	6.23"	5.95"	6.20"

向误差也随之越大, 这和四象限本身的特性有关, 因为四象限在中心区域的线性响应度要好于边缘区域^[7]。

4 结 论

四象限探测器由于其成本低廉、易于开发, 已经广泛地应用于激光准直、激光自动跟踪和激光制导等系统中。本文采用基于 Labview 开发环境的四象限探测器对半导体绿光进行了指向误差的分析实验。实验结果表明, 该四象限探测器系统对于激光束的指向监测具有很高的精度, 指向误差最大为 $6.20''$, 但随着激光束偏转增大而增大。未来将加入快速反射镜, 利用监测到的指向数据开发一套成型的激光指向稳定装置。

参考文献

- [1] Kral L. Automatic beam alignment system for a pulsed infrared laser[J]. *Review of Science Instruments*, 2009, 80(1): 013102-1-013102-5.
- [2] 王狂飙. 激光制导武器的现状、关键技术与发展[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(5): 651-655.
- [3] 谭千里. 四象限探测器组件在激光制导技术中的应用[J]. *半导体光电*, 2005, 26(2): 155-157.
- [4] 林志琦, 李会杰, 郎永辉, 等. 用四象限光电探测器获得光斑参数[J]. *光学 精密工程*, 2009, 17(4): 764-770.
- [5] 张志峰, 余涛, 苏展, 等. 象光斑和四象限探测器象限面积大小关系的理论研究[J]. *光子技术*, 2005(3): 128-130.
- [6] 杨翠, 邹建, 刘得志. 四象限光电探测器定位误差分析[J]. *传感器与微系统*, 2009, 28(5): 49-51.
- [7] 匡萃方, 冯其波, 冯俊艳, 等. 四象限探测器用作激光准直的特性分析[J]. *光学技术*, 2004, 30(4): 387-389.

作者简介: 王兵 (1964-), 男, 吉林长春人, 学士, 研究员, 1986年于哈尔滨工业大学获得学士学位, 主要从事光电对抗方面的研究。E-mail: ylxas@sina.com