

Nd:YAG 微片激光器角漂移研究

邓 勇 张永芹* 杨玉萍

(南通大学机械工程学院, 江苏 南通 226019)

摘要 角漂移是微片激光器使用和优化设计的重要参数,但有关此类数据报道较少。基于四象限探测器和 LabVIEW 开发环境设计了一套测量激光器角漂移的测量系统。实现了对 Nd:YAG 微片激光器的角漂移的实时显示、读取和保存。测量了微片激光器激光指向角漂移的量级及变化规律,为微片激光器的使用和优化设计提供了理论依据。

关键词 激光器;角漂移;Nd:YAG;微片激光器

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.051404

Research on Angular Drift of Nd:YAG Microchip Lasers

Deng Yong Zhang Yongqin Yang Yuping

(School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China)

Abstract Angular drift is one of the most important parameters of the optimization of microchip lasers' design and application, but such drift data haven't been reported. A measurement system of angular drift based on the four-quadrant photodetector and the LabVIEW software platform is developed to realize the real-time operation to angular drift signal, including display, reading and recoding. This system realized the measurement of angular drift's order of magnitude and the variation regularity with pump power, provided the basic data for the optimization of microchip lasers' design and application.

Key words lasers; angular drift; Nd:YAG; microchip laser

OCIS codes 140.3425;140.3530

1 引言

微片激光器具有极高的光回馈敏感度,因而以微片激光器为光源的移频光回馈系统可实现对非配合目标(低反射率物体、透明物体等)的非接触式精密位移测量^[1]。但微片激光器的光束会因激光器本身受温度、环境振动和空气扰动等因素影响而产生角漂移^[2],这影响了激光器在非接触式精密位移测量中的测量精度,这是纳米级测量系统中所不容许的。调研文献发现,因 He-Ne 激光器应用较多,它的角漂得到了较为深入的研究,其角漂量级为 10^{-5} rad^[3]。但国内外研究 Nd:YAG 微片激光器的角漂移较少。本文使用四象限探测器及 LabVIEW 软件系统设计了一套实时采集激光指向角漂移(以下简称角漂移)的测量系统,并用 He-Ne 激光器做了相对标定,证明该测量方案是可行的。此系统也可用于测量其它类型的激光器的角漂移和横漂。

2 系统模型

2.1 系统结构

LD 抽运微片 Nd:YAG 微片激光器的结构如图1虚线框所示^[1]。本文用 Nd:YAG 晶体作为激光增益介质,采用平平腔结构,在晶体的两个端面直接镀高反膜构成谐振腔。激光晶体的厚度为 1 mm,直径 5 mm,在低抽运水平下可以获得单纵模输出。激光晶体的镀膜参数为:抽运端面镀双色膜,对 808 nm 波长增透,

收稿日期: 2011-12-20; 收到修改稿日期: 2012-01-03; 网络出版日期: 2012-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(60827006)资助课题。

作者简介: 邓 勇(1965—),男,高级工程师,主要从事测试技术及仪器等方面的研究。E-mail: dengy@ntu.edu.cn

* 通信联系人: E-mail: yongqin2010@126.com

透射比大于 96%，对 1064 nm 波长高反，反射率大于 99.8%；输出端面镀双色膜，对 808 nm 波长高反，反射率大于 95%，对 1064 nm 波长高反，反射率为 98%±1%。自聚焦透镜的参数如表 1 所示。

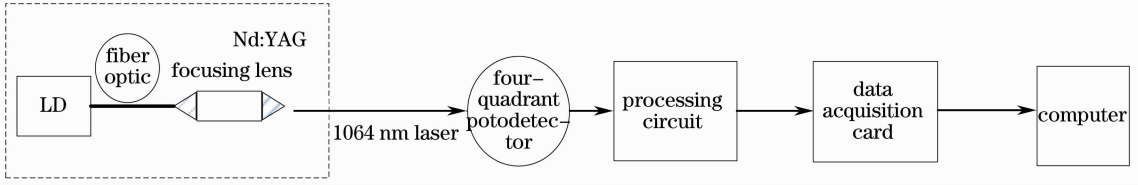


图 1 系统结构

Fig.1 System structure

LD 输出的 808 抽运光由光纤输出，经自聚焦透镜耦合，聚焦到 Nd:YAG 晶体内，激光晶体获得抽运能量后，输出波长 1064 nm 的红外激光。激光束照射到四象限光电探测器的光敏面上，得到一个尺寸大小一定的光斑，使得 4 个象限的光敏原件分别输出光信号，经后级处理电路通过采集卡将信号送入计算机再经 LabVIEW 软件处理获得角漂移。

表 1 自聚焦透镜参数

Table 1 Parameters of the self focusing lens

Parameters	Value
Numerical aperture	0.46
Aperture angle $2\theta / (^\circ)$	55
Center refractive index n_0	1.5990
Diameter D_G / mm	1.8
Length Z_G / mm^2	5.52
Constant of refractive-index distribution A_G / mm^2	0.111

2.2 四象限探测器及后续处理电路

四象限探测器是在同一块芯片上做 4 个探测器，且这 4 个探测器的参数基本相同，并分别称为 a, b, c, d 4 个象限^[4-6]。激光束的光斑打在四象限探测器上，如图 2 所示。光斑分布在 4 个象限内，所占面积分别为 S_a, S_b, S_c, S_d ，对应的 4 个象限产生阻抗电流 I_a, I_b, I_c, I_d 。

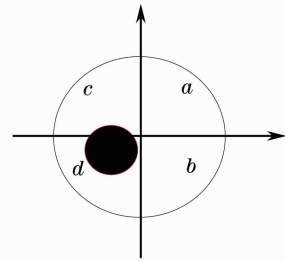


图 2 四象限探测器

Fig. 2 Four-quadrant photodetector

本文采用 ZF-Q36 型号的四象限探测器，它具有灵敏度高、稳定性好和定心准确等特性。由于其输出的信号为小电流，本文通过后级处理电路将其转换为电压信号以便于信号的后续处理。后级处理电路如图 3 所示，处理后对应的得到 4 路电压 U_a, U_b, U_c, U_d 。由 $(U_a + U_b) - (U_c + U_d)$ 的值确定光斑的横向位置，再由 $(U_a + U_c) - (U_b + U_d)$ 的值确定光斑的纵向位置。实验中采用的算法为

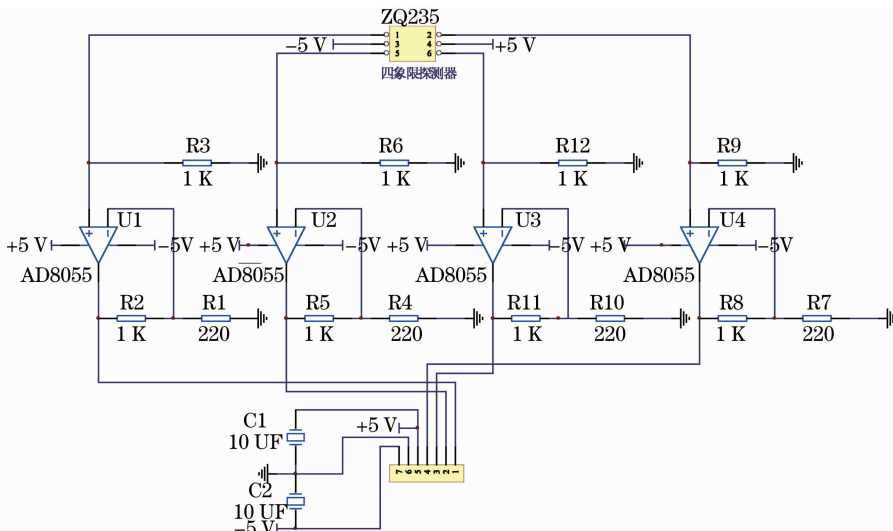


图 3 后级处理电路

Fig. 3 After-stage processing circuit

$$\begin{cases} \Delta X_n = k[(U_a + U_b) - (U_c + U_d)] \\ \Delta Y_n = k[(U_a + U_c) - (U_b + U_d)] \end{cases}, \quad (1)$$

式中 k 为比例系数,是系统标定的参数^[7]。系统标定的目的是将实验测得的电压值换算为对应的移动位移。系统标定前要反复调整四象限探测器的位置,使四象限探测器的光敏面与光束传播的方向垂直,以保证测量的精度。调整好只需手动调节光学平台改变光斑在四象限探测器光敏面上的位置,计算电压量与位移量的关系即可算得 k 。每次实验光电探测器的位置都会不同,所以每次实验都要对系统进行重新标定,以保证测量的精度。当光斑中心与四象限探测器的中心重合时, U_a, U_b, U_c, U_d 相等,因而 $\Delta X_n, \Delta Y_n$ 为零;当光斑中心与四象限探测器的中心不重合时 $\Delta X_n, \Delta Y_n$ 不为零。由 $\Delta X = (\Delta X_n - \Delta X_1), \Delta Y = (\Delta Y_n - \Delta Y_1)$ 分别算出 X, Y 方向的漂移量。根据几何关系可得角漂移量

$$\tan \theta_n = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{L}, \quad (2)$$

式中 L 为微片激光器距四象限探测器的距离。因为 θ_n 较小,所以

$$\theta_n = \tan \theta_n = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{L}. \quad (3)$$

2.3 数据采集及处理

本文采用美国 NI 公司的 USB-6211 数据采集卡将 4 路电压采集至计算机进行处理和显示。该数据采集卡是一款用于自动检测和配置的 USB 即插即用的高性能的数据采集卡,它拥有 16 通道 16 bit 的模拟输入,单通道最高采样率为 250 kS/s;4 路数字输入;4 路数字输出;2 路模拟输出(16 bit, 250 kS/s);32 bit 计数器。

LabVIEW 开发环境分为前面板和程序框图。前面板用来设置标定参数 k , 及测距 L , 通过 XY 图实时显示光斑的位置,并由 3 个波形图表分别显示总电压、光电探测器 4 个象限内的 4 路电压及角漂移量。程序框图实现数据的处理及保存等功能。图 4 为数据处理、保存程序框图。

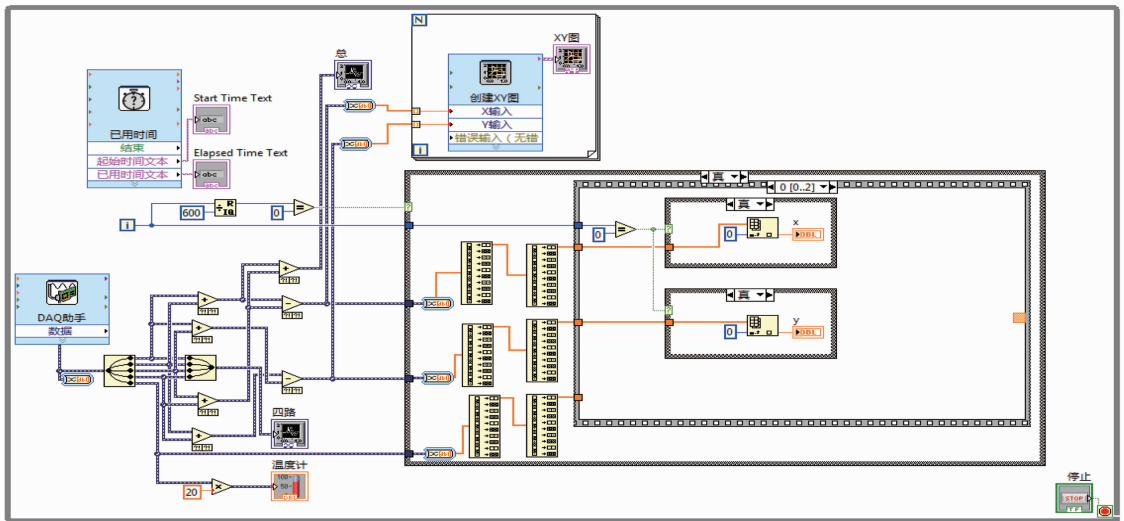


图 4 数据处理、保存程序框图

Fig. 4 Block diagram of data processing and preservation program

采用多通道、连续采集数据的方式,采样率为 1 kS/s。已知采集卡采集的数据是 16 bit,最大采集电压为 10 V,因此能够采集的模拟信号的最小步长为 $(1/2^{16}) \times 10 \approx 0.15$ mV,完全可以达到激光器输出光的功率变化的精度要求。

3 实验结果及误差分析

3.1 实验结果

本文以两组实验说明微片激光器角漂移的特性。实验时间为 6~12 h,测量角漂移的同时还实时采集了环境温度,以观察环境温度随时间的漂移情况。

同一抽运功率 P , 不同 L 下的实验数据如图 5 所示(图中 data1 为角漂移曲线, data2 为温度曲线, 以下同)。

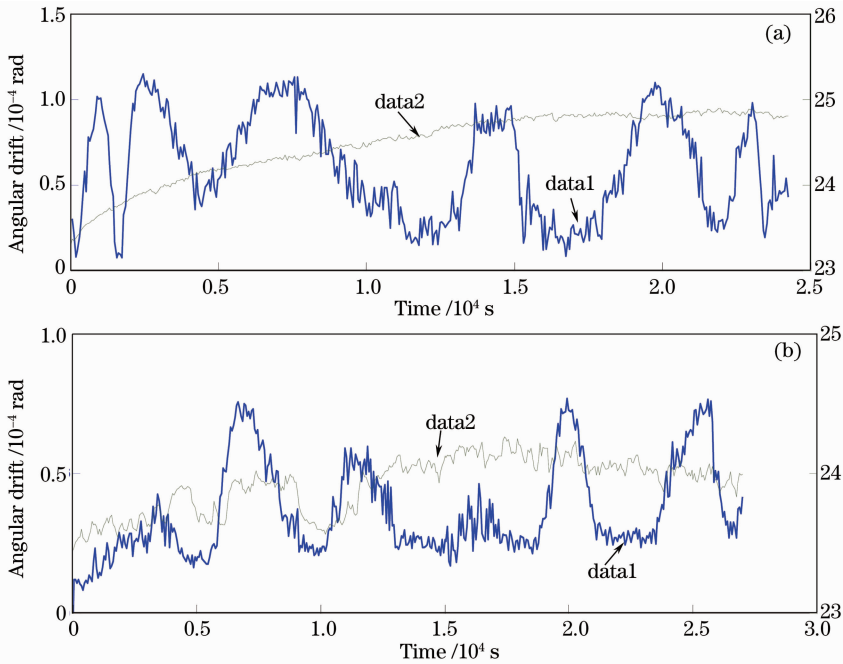


图 5 角漂移、温度曲线。(a) $L=85$ mm; (b) $L=235$ mm

Fig. 5 Curves of angular drift and temperature. (a) $L=85$ mm; (b) $L=235$ mm

实验的抽运功率 P 均为 54.7 mW, 其中图 5(a) 的 $L=85$ mm, 标定的参数 $k=0.34$; 图 5(b) 的 $L=235$ mm, 标定的参数 $k=0.45$ 。计算两次测得的角漂移的平均值和峰-峰值与平均值的比值的量级均为 10^{-5} (单位是 rad), 由此说明 Nd:YAG 微片激光器不存在横向漂移且角漂移的量级为 10^{-5} (rad)。

L 相同抽运功率 P 不同条件下的实验数据如图 6 所示。

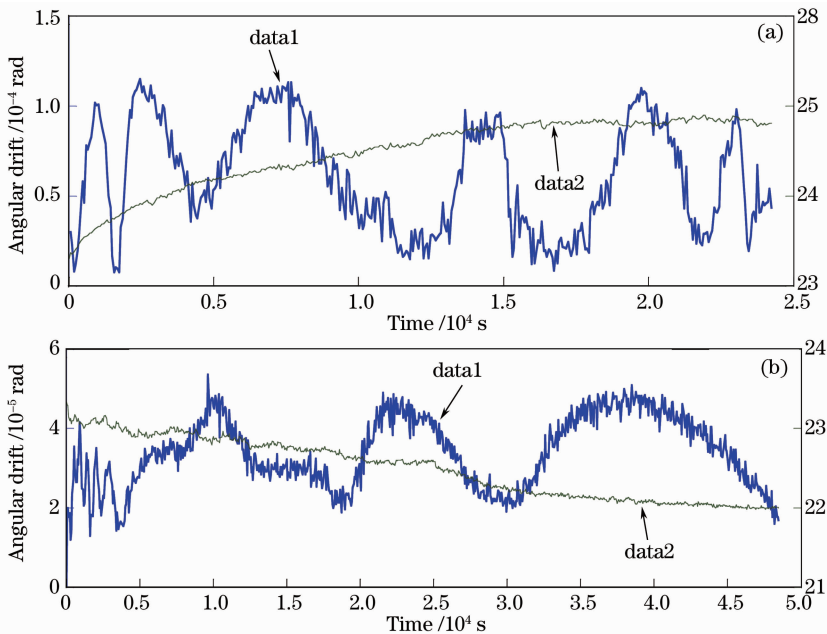


图 6 角漂移、温度曲线。(a) $P=54.7$ mW, (b) $P=75.84$ mW

Fig. 6 Curves of angular drift and temperature. (a) $P=54.7$ mW, (b) $P=75.84$ mW

实验中 L 均为 85 mm, 其中图 6(a) 的 $P=54.7$ mW, 标定的参数 $k=0.34$; 图 6(b) 的 $P=75.84$ mW, 标定的参数 $k=0.175$ 。分别计算两次实验角漂的平均值和峰-峰值与平均值的比值得 6.088240×10^{-5} rad, 3.4×10^{-5} rad, 1.76, 1.23。由此可得微片激光器角漂移的变化规律为: 随着 LD 抽运功率的增加微片激光

器的角漂移变小。进一步实验发现增益介质的温度漂移及抽运功率的波动直接影响着激光器的角漂移,他们之间的变化规律有待做深入的实验研究。

3.2 误差分析

空气扰动、系统自身的噪声、背景光的影响等是产生实验误差的主要因素^[8,9]。由于是长时间检测,大气扰动对实验误差的影响是不可避免的。四象限光电探测器具有很高的探测灵敏度,故实验室内的背景光也可能带来实验误差。差动运算放大器的零漂和温漂对光电流的检测会有影响。虽然本系统采用 LabVIEW 软件处理数据以减小实验检测误差,但误差仍然存在,如何进一步减小误差将成为以后的研究方向。

4 结 论

基于四象限探测器及 LabVIEW 开发环境设计了一套实时采集激光器角漂移的测量系统,并对 Nd:YAG 微片激光器的角漂移进行了测量。本系统用 LabVIEW 编程代替电路实现数据的实时显示、读取、保存,便于参数的调整的同时提高了工作效率。实验测得 Nd:YAG 微片激光器的光束无横漂现象,角漂移为 10^{-5} 量级并且得到角漂移的变化规律为随着 LD 抽运功率的增加微片激光器的角漂移变小。这为使用和优化微片激光器设计提供了理论依据。实验结果表明此系统可以实现角漂移的测量,并且测量精度较高。

参 考 文 献

- 1 Ren Zhou. Microchip Nd:YAG laser feedback interferometer and its application[D]. Beijing: Tsinghua University, 2011
任舟. 微片 Nd:YAG 微片激光回馈干涉仪及应用[D]. 北京:清华大学, 2011
- 2 Zhao Weiqian, Tan Jiubin, Qiu Lirong *et al.*. Laser beam collimation method and technology in given beam direction[J]. *J. Optoelectron. & Laser*, 2004, **15**(1): 61~64
赵维谦, 谭久彬, 邱丽荣等. 激光光束特定方向准直方法与技术[J]. 光电子·激光, 2004, **15**(1): 61~64
- 3 Zhang Chunping, Zhang Guangyan, Gu Rong *et al.*. The internal-mirror He-Ne laser on the direction drift of laser beam [J]. *Chinese J. Lasers*, 1987, 08
张春平, 张光寅, 顾荣等. 内腔 He-Ne 激光器光束方向漂移的研究[J]. 中国激光, 1987, 08
- 4 Kuang Cuifang, Feng Qibo, Feng Junyan *et al.*. Analyzing characteristic of the four 2 quadrant detector applied to laser alignment[J]. *Opt. Tech.*, 2004, **30**(4): 387~389
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
- 5 Tan Qianli. The application of quadrant photo detector module on laser guidance technology[J]. *Semicond. Optoelectron.*, 2005, **26**(2): 155~157
谭千里. 四象限探测器组件在激光制导技术中得应用[J]. 半导体光电, 2005, **26**(2): 155~157
- 6 Wang Xiuqing, Xu De, Tan Min *et al.*. A novel alignment method based on the four-quadrant photo electric detector[J]. *Transducer & Microsyst. Technol.*, 2006, **25**(7): 11~14
王秀青, 徐德, 谭民等. 一种基于四象限光电探测器的对准新方法[J]. 传感器与微系统, 2006, **25**(7): 11~14
- 7 Huang Lu, Guo Honglian, Qu E *et al.*. Method for displacement calibration of four-quadrant photodetector in optical tweezers system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(10): 20~24
黄璐, 郭红莲, 屈娥等. 四象限探测器位移测量的标定方法[J]. 光学学报, 2011, **31**(10): 20~24
- 8 Liu Yunqing, Jiang Huilin, Tong Shoufeng. Study on stabilizational racking technology for atmospheric laser communication system[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(5): 129~136
刘云清, 姜会林, 佟首峰. 大气激光通信中稳定跟踪器件及算法研究[J]. 中国激光, 2011, **38**(5): 129~136
- 9 Hong Minfang, Shen Jianqi, Zhang Qiuchang *et al.*. Propagation of Gaussian beam through planar interface[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(7): 26~30
洪敏芳, 沈建琪, 张秋长等. 高斯光束垂直入射到不同折射率介质中的传播规律[J]. 中国激光, 2011, **38**(7): 26~30