

2 μm Tm, Ho:YLF 微片激光器短期频率稳定度的检测

王振国 张云军 邵晓巍 鞠有伦 李玉峰 王月珠

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 利用光纤延时自拍法对液氮制冷的微片 Tm, Ho:YLF 输出近 2 μm 激光器的短期稳定度进行了测量研究。在激光器输出功率为 10 mW、激光的模式为单纵模时,测得了分别用 100 m, 200 m, 300 m, 400 m 和 500 m 光纤延时(延时时间约为 0.5~2.5 μs)情况下的短期不稳定度由 1.5 kHz 近似线性增加到 4.75 kHz,线性增长的斜率约为 1.48 kHz/ μs ,测量时示波器的傅里叶积分时间约为 40 ms。此稳定度的激光器已经达到了作为 2 μm 稳频激光器种子源的要求。

关键词 激光技术; 频率稳定度; 延迟自外差; 拍频

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Short-Term Frequency Stability Measurement of 2 μm Tm, Ho:YLF Microchip Laser

Wang Zhenguo Zhang Yunjun Shao Xiaowei Ju Youlun Li Yufeng Wang Yuezhu

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology,

Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Through using the self-beat of fiber delay method, we measured the short-term frequency stability of Tm, Ho:YLF microchip laser cooled by liquid nitrogen. When the single longitudinal mode output laser power is 10 mW and the delayed fiber length is 100 m, 200 m, 300 m, 400 m and 500 m (delayed time ranging from 0.5~2.5 μs), respectively, the short-term frequency stability linearly increase from 1.5~4.75 kHz, and the linear slope coefficient is 1.48 kHz/ μs . The oscilloscope's Fourier integral time is about 40 ms, when the stability is measured. The laser can be the signal source for 2 μm frequency stabilized laser.

Key words laser technique; frequency stability; delayed self-heterodyne; beat frequency

1 引 言

2 μm 处于人眼安全波段,发射机的成像雷达、相干多普勒风速监测雷达和大气水分差分吸收雷达是激光雷达研究的重点之一。雷达要求激光输出为单纵模、窄线宽,且具有很好的稳频特性。激光器的短期频率稳定度直接影响雷达的测量精度,所以 2 μm 激光输出短期稳定度测量具有非常重要的意义。在国外很早就用光外差的方法对激光的频率稳定度及线宽进行了研究。T. Okoshi 等^[1]首先提出了利用光外差法测量超窄激光线宽的方法。J. Izawa 等^[2]利用光纤延时自拍频法用 300 m 的光纤测量了延时 1.5 μs 时 Tm, Ho:YLF 激光器的短

期稳定度。C. Nagasawa 等^[3]研究了用光纤延迟自拍频的方法测量了 Tm, Ho:YLF 微片激光器短期频率稳定度。P. Laporta 等^[4]获得了 2.1 μm 低噪声、连续单频激光输出,其长期稳定度优于 32 kHz。G. Galzerano 等^[5]利用 CO₂ 吸收池得到 2.1 μm Tm, Ho:YAG 激光器在 1 s 积分时间内频率噪声稳定在 100 kHz。B. T. McGuckin 等^[6]在室温下将 2 μm To, Ho:YLF 激光器的短期频率稳定在 14 MHz。在国内早期主要采用固定参考频率的方法,比如吸收线^[7]或者法布里-珀罗(F-P)的中心频率^[8]等。2003 年,成向阳等^[9]对连续脉冲的 CO₂ 激光器的频率稳定度进行了测量,测得射频激励双通道波

作者简介: 王振国(1982—),男,黑龙江人,博士研究生,主要从事固体激光器方面的研究。

E-mail: wangzhenguo_82@163.com

导师简介: 鞠有伦(1967—),男,四川人,教授,博士生导师,主要从事固体激光器、光学参量振荡器等方面的研究。

E-mail: juy@hit.edu.cn

导 CO_2 激光器连续运转时的频率稳定度为 7.3608×10^{-9} ($\tau = 10\ \text{s}$), 脉冲频率稳定度为 7.781×10^{-8} ($\tau = 10\ \text{s}$)。

本文用光纤延时自拍法对液氮制冷的微片 Tm, Ho: YLF 输出近 $2\ \mu\text{m}$ 激光器的短期稳定度进行测量研究。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。种子源输出波长为

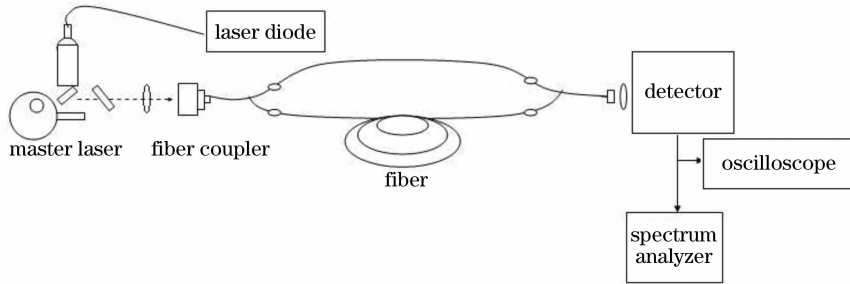


图1 稳定度测量实验装置图

Fig. 1 Experimental device of stability measurement

3 实验结果

种子源采用低温制冷下的 Tm, Ho: YLF 微片结构, 该激光器能够输出波长为 $2.067\ \mu\text{m}$ 的稳定单纵模激光。微片激光器在低功率运转时, 增益较大的纵模抑制其他模式, 可获得单纵模输出, 但是在抽运功率超过某一个范围时, 其他纵模达到阈值产生多纵模振荡, 图 2 为实验中微片激光器的输入功率与输出功率的关系。可知以增加损耗来获得更为稳定的单纵模输出, 所以最大输出单模功率要低于正常调节时的最大单模输出, 仅有 $25\ \text{mW}$ 。在输出功率为 $10\ \text{mW}$ 时, 得到单纵模模式如图 3 所示, PZT 为压电陶瓷, 法布里-珀罗标准具的自由光谱

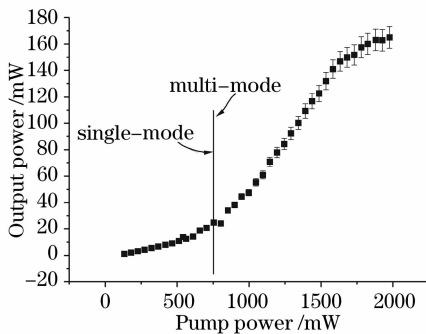


图2 输入功率与输出功率的关系

Fig. 2 Relationship between the output power and pump power

$2\ \mu\text{m}$ 的激光, 经透镜准直后进入耦合器, 使激光尽可能多地打到光纤中。再经光纤分束器把激光分为两束, 其中一束经一定长度的光纤延迟后与另一束光经光纤耦合器合束后, 打到探测器上, 其时域波形可通过示波器进行观察, 利用快速傅里叶变换可以得到信号的频域波形, 也可以利用频谱分析仪直接得到信号的频谱分布图。目前使用采样率较高的示波器进行观察, 利用其快速傅里叶变换功能进行时域和频域的变换。

区(FSR)为 $3.75\ \text{GHz}$ 。

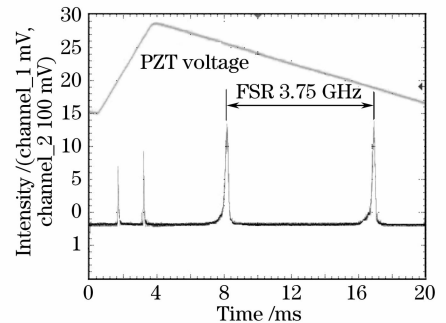


图3 微片激光器的 $2\ \mu\text{m}$ 单纵模输出

Fig. 3 $2\ \mu\text{m}$ longitudinal mode output of microchip laser

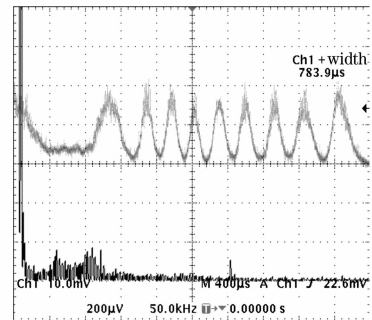


图4 $200\ \text{m}$ 光纤 $40\ \text{ms}$ 积分信号

Fig. 4 $40\ \text{ms}$ integral signal of $200\ \text{m}$ fiber

在积分时间 $40\ \text{ms}$, 光纤长度 $200\ \text{m}$ 时, 通过 InGaAs 探测器探测到最后输出的拍频信号如图 4

所示。分别采用了 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m 的光纤来测量输出光的频率稳定度, 得频率短期不稳定性分别为 1.5 kHz, 2.6 kHz, 3.25 kHz, 3.5 kHz, 4.75 kHz。频率稳定度随延迟时间的波动曲线如图 5 所示, 经线形拟合后, 频率的变化为 $1.48 \text{ kHz}/\mu\text{s}$ 。

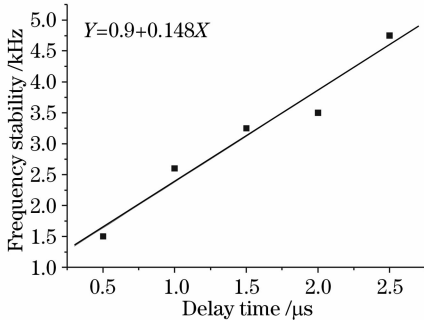


图 5 频率稳定度随延迟时间的波动

Fig. 5 Fluctuation of frequency stability with delay times

图 4 中上面的曲线为两路光同时入射到探测器表面, 获得的拍频信号; 下面的曲线为傅里叶变换后的信号。

4 结 论

利用光纤延时自拍法对低温制冷的 Tm, Ho: YLF 微片的输出近 $2 \mu\text{m}$ 激光进行了短期稳定度的实验测量。在单纵模输出功率为 10 mW 时, 光纤的延时长度分别取 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m (对应延时时间为 $0.5 \sim 2.5 \mu\text{s}$), 测得的短期稳定度由 1.5 kHz 近似线性增加到 4.75 kHz, 线性增长的斜率约为 $1.48 \text{ kHz}/\mu\text{s}$ 。对于 $2 \mu\text{m}$ 激光短

期稳定度的测量的瓶颈在于, 目前的通信光纤对 $2 \mu\text{m}$ 光的损耗很大, 很难测到长时间的延时信号, 所以提高激光与光纤分束器的耦合至关重要。

参 考 文 献

- 1 T. Okoshi, K. Kikuchi, A. Nakayama. Novel method for high resolution measurement of laser output spectrum[J]. *Electron. Lett.*, 1980, **16**(16): 630~631
- 2 J. Izawa, H. Nakajima, H. Hara. Comparison of lasing performance of Tm, Ho: YLF lasers by use of single and double cavities[J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(15): 2418~2421
- 3 C. Nagasawa, T. Suzuki, H. Nakajima *et al.*. Characteristics of single longitudinal mode oscillation of the $2 \mu\text{m}$ Tm, Ho: YLF microchip laser[J]. *Opt. Commun.*, 2001, **200**(1~6): 315~319
- 4 P. Laporta, M. Marano, L. Pallaro *et al.*. Amplitude and frequency stabilisation of a Tm, Ho: YAG laser for coherent lidar application at $2.1 \mu\text{m}$ [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2002, **37**(5): 447~457
- 5 G. Galzerano, M. Marano, P. Laporta *et al.*. Stabilization of a $2.1 \mu\text{m}$ diode-pumped Tm, Ho: YAG laser against linear transition of CO_2 [C]. *IEEE International Frequency Control Symposium*, 2003. 155~158
- 6 B. T. McGuckin, R. T. Menzies, C. Esproles. Tunable frequency stabilized diode laser-pumped Tm, Ho: YLiF₄ laser at room temperature[J]. *App. Opt.*, 1993, **32**(12): 306~307
- 7 Liu Yanghui, Li Xiaoyong, Bi Zhiyi *et al.*. Frequency-stability Nd: YVO₄ laser of third-harmonic iodine molecular[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**(23): 1784~1786
刘阳辉, 李小永, 毕志毅等. 三次谐波碘分子稳频 Nd: YVO₄ 激光器[J]. *科学通报*, 2002, **47**(23): 1784~1786
- 8 Zhang Jing, Zhang Kuanshou, Wang Runlin *et al.*. All-solid-state Nd: YVO₄ ring laser of single-frequency operation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(8): 694~696
张靖, 张宽收, 王润林等. 全固态单频 Nd: YVO₄ 环形激光器[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(8): 694~696
- 9 Cheng Xiangyang, Wang Qi, Tian Zhaoshuo *et al.*. CW and pulse CO_2 laser frequency stability measurement experiment[J]. *Laser Technology*, 2003, **27**(5): 484~485
成向阳, 王 骐, 田兆硕等. 连续和脉冲 CO_2 激光器频率稳定度的测量[J]. *激光技术*, 2003, **27**(5): 484~485