

文章编号: 1001-3806(2013)03-0281-03

非平面环形激光器的大范围调谐技术研究

邓珠峰, 王云祥*, 邱琪, 梁旭

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 为了实现窄线宽非平面环形 Nd:YAG 激光器的大范围压电和温度调谐, 采用对粘接在激光晶体上的薄压电陶瓷片施加高压驱动信号, 并大范围控制激光晶体温度的方法, 获得压电调谐范围达到 210MHz, 调谐带宽大于 90kHz, 压电调谐系数大于 1MHz/V; 当控制激光晶体温度在 10°C 到 47°C 范围内变化时, 输出激光在 8GHz 范围内可连续调谐, 总的调谐范围达到 61GHz。结果表明, 高频压电调谐时拍频展宽形状发生改变的主要原因是压电驱动信号失真。结合压电调谐和温度调谐的各自优点, 激光频率调谐实验取得了良好效果。

关键词: 激光器; 激光调谐; 压电调谐; 温度调谐

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.03.002

Study on high-range frequency tuning technology for nonplanar ring laser

DENG Zhu-feng, WANG Yun-xiang, QIU Qi, LIANG Xu

(School of Opto-Electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In order to realize high-range piezoelectric (PZT) frequency tuning and temperature frequency tuning of a narrow line width Nd:YAG nonplanar ring laser, applying high voltage modulation signals on a thin PZT affixed to a monolithic laser crystal and changing the temperature of the laser crystal on a large scale, the tuning range is up to 210MHz, the response bandwidth is larger than 90kHz and the PZT tuning coefficient is more than 1MHz/V. When the temperature of the laser crystal is changed from 10°C to 47°C, the laser frequency can be tuned continuously by 8GHz between the mode-hops covering an overall frequency tuning range of 61GHz. The experimental results show that the distortion of the beat signal in high frequency tuning is caused by the distortion of the PZT driving signal. With the advantages of PZT tuning and temperature tuning, good results of laser frequency tuning were obtained in the experiments.

Key words: lasers; laser frequency tuning; piezoelectric frequency tuning; temperature frequency tuning

引言

单块非平面环形 Nd:YAG 激光器具有线宽窄、噪声低、单频输出功率高、可调谐等优点, 在相干光通信、相干激光雷达、光学测量等方面有着广泛应用^[1-4]。单块非平面环形 (non-planar ring oscillator, NPRO) 激光器诞生以来, 其输出激光的高稳定性使其成为窄线宽单频固体激光器中的典型代表^[5-6]。随后, 国内外学者对 NPRO 激光器进行了调谐技术研究。目前, NPRO 激光器的调谐方式主要有压电调谐

和温度调谐^[7-8]: 压电调谐响应速度快, 但调谐范围小; 温度调谐范围大, 但响应速度慢。KANE 和 CHENG 等人采用压电调谐方式在 Nd:YAG NPRO 激光器上实现了 100MHz 的调谐范围, 响应时间为 15 μ s^[9]。国内中国计量科学研究院 ZANG 等人利用压电调谐得到了大于 10MHz 的调谐范围^[10]。在温度调谐方面, 北京理工大学的 ZHAO 等人在 Nd:YAG NPRO 激光器上获得了 14GHz 的调谐范围^[11]。

本文中测试了单频 Nd:YAG NPRO 激光器的线宽, 对其开展了压电和温度调谐技术研究。获得的压电调谐范围大于 200MHz, 响应带宽大于 90kHz, 温度调谐范围大于 61GHz。

1 Nd:YAG NPRO 激光器线宽测试

单块非平面环形 Nd:YAG 晶体如图 1 所示, 其中晶体尺寸为 13mm × 12mm × 3mm。输入抽运波长

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (ZYGX2010J059)

作者简介: 邓珠峰 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事固体激光器方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: wangyunxiang@uestc.edu.cn

收稿日期: 2012-07-17; 收到修改稿日期: 2012-08-13

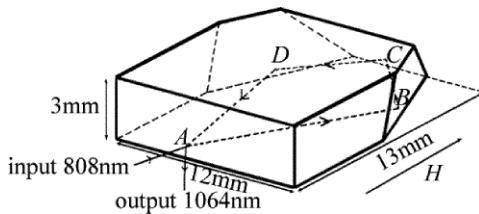


Fig. 1 Monolithic nonplanar ring Nd:YAG crystal

为 808nm,由 A 点沿 45° 角入射,激光经过环形腔内 B 点、C 点、D 点全反射后,由 A 点射出。其中,ABD 面和 BCD 面所成二面角为 45° 。由于 B 点、C 点、D 点对 s 光和 p 光具有不同的全内反射相移,利用外加磁场的法拉第旋光效应,以及输出耦合面上的 s 光和 p 光的反射系数的差异,使得环形腔两个传播方向的 4 个本征态产生损耗差,获得单向行波运转,故输出为单纵模 1064nm 激光。实验测得在 1.8W 抽运功率下,单频输出功率达到 750mW,光光转换效率 42%,斜率效率 54%。线宽测试采用延时自外差拍频法,将输出激光分为两路:一路经过相位调制器,调制信号为 10MHz 正弦波;另外一路经过 24km 光纤延时,将两路信号通过光纤耦合器输入到光电探测器。得到延时激光与调制光的边频的拍频信号功率谱如图 2 所示,激光线宽为频谱半峰全宽(full width at half maximum, FWHM)的一半,约为 1kHz。根据理论分析,测试误差小于 10%。

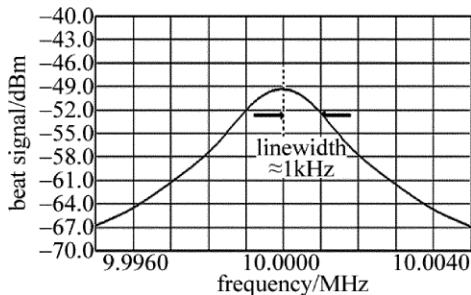


Fig. 2 Output linewidth of the single frequency laser is approximate 1kHz

2 调谐实验研究

2.1 大范围压电调谐实验

将 1 块尺寸为 $15\text{mm} \times 12\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 的压电陶瓷片粘接在激光晶体 1 的顶面上,并对压电陶瓷片施加压电调制信号,压电陶瓷迅速产生伸张和压缩。由于 Nd:YAG 晶体硬度较高,粘接在晶体上表面的压电陶瓷片无法自由振动,因而在晶体内部形成应力,导致晶体尺寸和折射率发生微小变化,进而改变输出激光频率。另一个激光晶体 2 输出激光作为参考光未进行调谐,将两台激光器的输出衰减后输入 2×2 光纤耦合器,在输出端连接 PIN 探测拍频

信号。实验采用 Anritsu 公司的 MS2752C 频谱仪测量拍频信号功率谱。

压电陶瓷 (piezoelectric, PZT) 驱动电路由信号发生器和功率放大器组成。信号发生器采用 Tektronix 公司的 AFG3252 函数信号发生器;功率放大芯片为 PB50,带宽为 160kHz,输出功率 30W,输出最大电流 2A。如图 3 所示,当施加电压信号峰峰值 $V_{pp} = 170\text{V}$ 、频率为 10kHz 压电调制信号时,拍频信号呈理想的“马鞍形”展宽,此时拍频展宽达到 210MHz,对应压电调谐系数为 1.2MHz/V 。测试了 1kHz ~ 100kHz 范围的压电调谐系数,如图 4 所示。从图中可以看到,调制频率在 90 kHz 以内时压电调谐系数变化在 20% 以内;频率在 90kHz 到 100kHz 时,由于调制频率接近晶体共振频率点,压电调谐系数迅速上升。实验中测得调谐激光器在压电调谐过程中输出功率变化小于 2%,激光线宽略有展宽,展宽幅度小于 10%。压电陶瓷不同粘接方式、晶体固定方式等都对压电调谐系数有很大影响,采用环氧树脂胶在晶体顶面粘接压电陶瓷,可以获得较大的压电调谐系数。

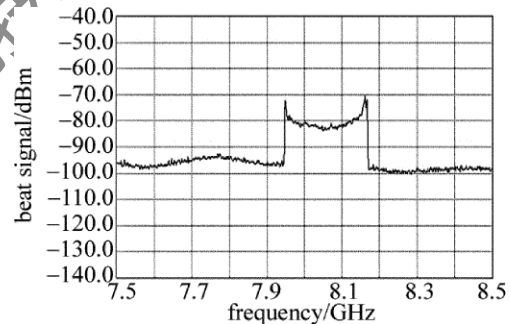


Fig. 3 Widened beat signal at 10kHz with 170V PZT driving amplitude

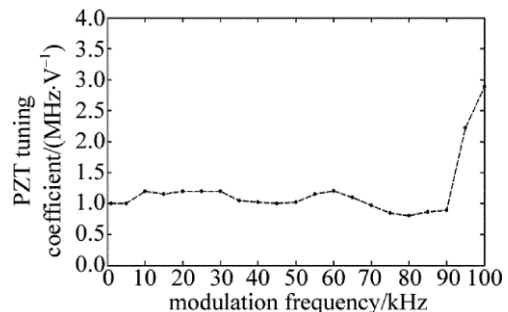


Fig. 4 PZT tuning coefficient versus the modulation frequency

施加压电调制信号时,压电陶瓷片产生的热量会使输出激光频率发生改变,这样会使得拍频中心频率发生移动。为了避免上述情况,需要对晶体进行高精度温度控制以保证输出激光频率的稳定性。在晶体下表面放置半导体制冷器 (thermoelectric cooler, TEC) 通过改变 TEC 电流,控制晶体温度,保证激光拍频信号在 10GHz 以内。

实验中发现,调制频率大于 50kHz 时,压电驱动信号失真会使得拍频展宽信号变形。图 5 所示为 60kHz 时示波器采集到的压电驱动信号,可以看到调制信号出现失真,幅度 $V_{PP} = 164V$ 。频谱仪上拍频信号(如图 6 所示)展宽超过 210MHz,拍频信号此时不再呈“马鞍形”,拍频中心出现起伏,可以看出信号失真对拍频展宽有很大影响。压电调制信号失真的主要原因是随着压电调制信号频率上升,压电陶瓷驱动功率也会随之上升,功率放大芯片 PB50 温度升高,驱动电路带宽减小,引起非线性放大。在给整个驱动电路降温后,压电驱动系统带宽上升,信号失真明显降低,拍频信号恢复“马鞍形”展宽。

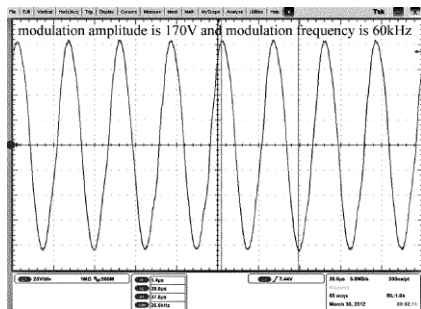


Fig. 5 Waveform of PZT driving signal at 60kHz

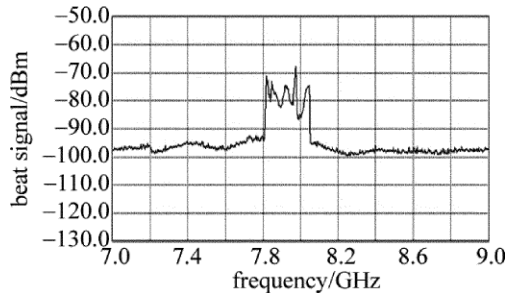


Fig. 6 Widened beat signal while modulation frequency is 60kHz

2.2 Nd:YAG 单频激光器温度调谐实验

Nd:YAG NPRO 激光器温度调谐的原理是通过改变晶体温度,使晶体尺寸和折射率发生微小变化,进而改变输出光频。通过改变 TEC 电流,使得晶体温度在 10℃ 至 47℃ 范围内变化。在温度调谐的过程中,测得输出光功率随温度变化小于 6%,激光线

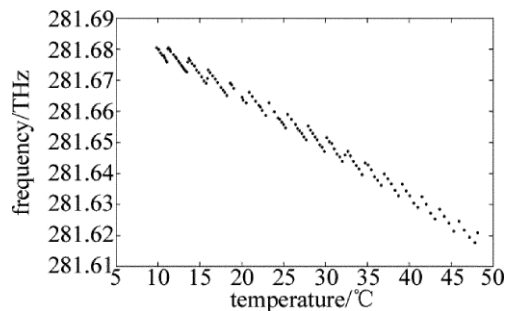


Fig. 7 Laser frequency versus crystal temperature

宽基本不变。通过光谱分析仪测量输出激光中心频率,实验结果如图 7 所示。在温度变化范围内共发生十几次跳模,测得在不跳模情况下,激光可以在约 8GHz 范围连续调谐,总的调谐范围达到 61GHz,温度调谐系数约为 $-3.6\text{GHz}/^\circ\text{C}$ 。

3 结论

研究了单块非平面环形 Nd:YAG 激光器的大范围调谐技术。压电调谐范围达到 210MHz,压电调谐系数达到 1MHz/V 以上,进一步加大压电陶瓷驱动电压幅度,拍频展宽可以继续加大。同时,不同压电陶瓷粘接方法和固定方式对调谐系数都有很大影响,压电调制驱动信号失真会使激光拍频信号展宽形状发生改变。获得温度调谐范围 61GHz,温度调谐系数为 $-3.6\text{GHz}/^\circ\text{C}$ 。该激光器调谐技术在相干光通信、激光雷达等方面都有着良好的应用前景。

参考文献

- [1] UEHARA N, UEDA K. Ultrahigh-frequency stabilization of a diode-pumped Nd:YAG laser with a high-power-acceptance photodetector [J]. *Optics Letters*, 1994, 19(10): 728-730.
- [2] ZHANG X Y, GAO M W, GAO Ch Q. Suppression of the intensity noise of monolithic non-planar ring oscillator laser [J]. *Optical Technique*, 2008, 34(5): 774-777 (in Chinese).
- [3] GAO Ch Q, GAO M W, LIN Zh F, et al. LD pumped monolithic non-planar ring resonator single frequency lasers [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, 36(7): 1704-1709 (in Chinese).
- [4] LIU X Sh, WANG Zh Y, YAN X, et al. 56J high energy lamp-pumped pulsed Nd:YAG solid-state laser [J]. *Laser Technology*, 2011, 35(2): 145-147 (in Chinese).
- [5] KANE T J, BYER R L. Monolithic, unidirectional single-mode Nd:YAG ring laser [J]. *Optics Letters*, 1985, 10(2): 65-67.
- [6] ZHU R, ZHOU J, LIU J Q, et al. Solid state tunable single-frequency laser based on non-planar ring oscillator [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2011, 38(11): 1102011 (in Chinese).
- [7] YANG S H, SUN W F, LI Zh, et al. Frequency tunable LD pumped non-planar ring cavity single frequency Nd:YAG laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(s1): 41-42 (in Chinese).
- [8] ZHENG Y H, LI F Q, ZHANG K Sh, et al. Progress of all-solid-state single-frequency lasers [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, 36(7): 1635-1642 (in Chinese).
- [9] KANE T J, CHENG E A P. Fast frequency tuning and phase locking of diode-pumped Nd:YAG ring lasers [J]. *Optics Letters*, 1988, 13(11): 970-972.
- [10] ZANG E J, CAO J P, LI Ch Y, et al. Experimental investigation of fast frequency tuning on monolithic semi-nonplanar ring lasers with PZT [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(8): 931-934 (in Chinese).
- [11] ZHAO Y, GAO Ch Q, CAO Y L, et al. Study on laser-diode-pumped 1319nm single frequency laser tuning and noise suppression [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(5): 466-468 (in Chinese).