

文章编号: 0258-7025(2002)07-0577-03

全固化环形单频 Nd:YVO₄可调谐激光器

张靖, 马红亮, 王润林, 李凤琴, 谢常德, 彭坤
(山西大学光电研究所 教育部量子光学重点实验室, 山西太原 030006)

提要 分析了Nd:YVO₄激光晶体两平-平通光面自身的标准具效应对单频激光器调谐特性的影响。采用一通光面切成1°劈形的Nd:YVO₄晶体来消除自身的标准具效应,通过调节插入谐振腔内的标准具,使半导体激光器(LD)抽运Nd:YVO₄单频激光器的最大可调谐范围达到约100 GHz。

关键词 全固化激光器, 环形单频激光器, 可调谐激光器

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

All-solid-state Single-frequency Ring Nd:YVO₄ Tunable Lasers

ZHANG Jing, MA Hong-liang, WANG Run-lin, LI Feng-qin, XIE Chang-de, PENG Kun-chi
(Institute of Opto-electronic Research, Shanxi University, Key Laboratory of
Quantum Optics, Ministry of Education, Taiyuan 030006)

Abstract The influence of the etalon effect of the two plano-plano face Nd:YVO₄ crystal on the frequency tuning characteristics of single-frequency laser is investigated. Using the 1° wedged Nd:YVO₄ on one face and mode-selection property of the etalon inserted inside laser resonator, the precise frequency tuning of LD-pumped single-frequency ring Nd:YVO₄ laser has been demonstrated experimentally by means of adjusting the inclined angle of the etalon. The maximum tunable frequency range is about 100 GHz.

Key words all-solid-state laser, single-frequency ring laser, tunable laser

1 引言

以半导体激光器(LD)为抽运源的全固体化单频激光器,广泛应用于光谱、相干通信、激光雷达、引力波探测、二次谐波产生、参量振荡及压缩态光场产生等领域。当前由1064 nm激光倍频获得的532 nm波长,经碘分子稳频构成的全固化激光稳频系统已成为一种重要的光频标准^[1],因此具有低的频率噪声、窄线宽和一定调谐范围的输出波长为1064 nm的全固化单频激光器成为极具应用前景的激光源。目前获得单频可调谐1064 nm输出的方法很多,采用单块Nd:YAG非平面腔结构,通过控制晶体的温度获得最大可调谐范围约100 GHz^[2],采用Nd:YVO₄薄片腔结构,在130 K的温度变化中获得最大调谐范围约207 GHz^[3],这些激光器结构紧凑,

受外界干扰小,频率稳定,但在腔内不能插入其他光学元件,并且很难做到大功率输出。

文献[4]指出,在激光腔内插入标准具(Etalon)可以完成选模调谐。我们研制了LD抽运Nd:YVO₄单频激光器^[5],获得高达320 mW的1064 nm单频输出。本文主要讨论在激光谐振腔内插入一标准具进行选模调谐问题。分析了激光晶体两平-平通光面自身标准具作用,将Nd:YVO₄晶体一通光面切成1°的劈形来消除自身的标准具效应,通过单独调节腔内标准具完成频率调谐,所获得的调谐范围约100 GHz。

2 实验装置

全固化单频激光器采用我们自行研制和生产的

收稿日期: 2001-05-09; 收到修改稿日期: 2001-07-09

基金项目: 国家自然科学基金(No. 69977024, No. 69837010)和山西省青年科学基金资助项目。

作者简介: 张靖(1974-),男,副教授,主要从事激光与量子光学研究。E-mail: jzhang@yahoo.com

LD 抽运全固化单频环形 Nd:YVO₄ 激光器, 其结构如图 1 所示。实验中两台激光器抽运源分别为 1 W 和 2 W 的 LD 激光器, Nd:YVO₄ 晶体的掺钕浓度为 0.5 at.-%, 尺寸为 3 mm×3 mm×5 mm, 前后表面镀有 1064 nm/809 nm 双减反膜, Nd:YVO₄ 晶体分别为两通光面平-平和一通光面切成 1° 的劈形, 腔内放置的 TGG 晶体和 $\lambda/2$ 波片前后表面都对 1064 nm 减反, $\lambda/2$ 波片和 TGG 晶体组成光学单向器, Nd:YVO₄ 是各向异性晶体, 输出为线偏振光, 通过单向器强迫激光单向运转实现单频输出。腔内插入一倾斜度可调的标准具作为频率调谐元件。其中一台激光器在抽运功率为 0.9 W 时单频红外输出 170 mW, 另一台激光器在抽运功率为 1.8 W 时单频红外输出 320 mW。

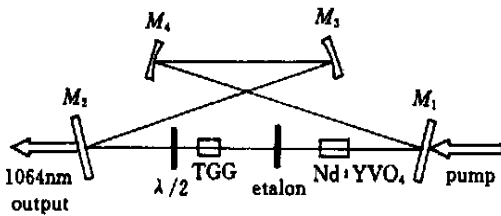


图 1 Nd:YVO₄ 单频激光器装置图

$M_1 \sim M_4$ 为环形谐振腔的腔镜;

Fig. 1 Configuration of Nd:YVO₄ ring laser

$M_1 \sim M_4$: mirrors of ring cavity;

TGG: terbium gallium garnet crystal

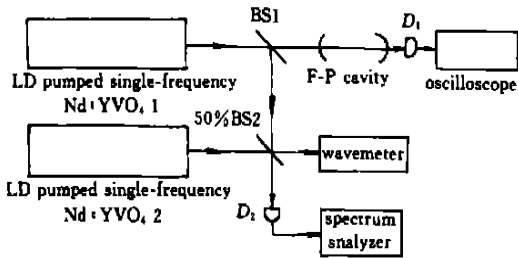


图 2 实验装置示意图

D_1, D_2 : 光电探测器; BS1: 分束器; BS2: 50% 分束器

Fig. 2 Schematic of the experimental arrangement

D_1, D_2 : photodetectors;

BS1: beamsplitter; BS2: 50% beamsplitter

实验装置如图 2 所示。激光器 1 输出的激光由分束镜 BS1 分为两束, 一束由扫描 F-P 共焦腔和探测器 D_1 监视其模式并由示波器记录。监视腔由两个曲率半径 $r = 50$ mm, 反射率 $R_{1.064} > 99.5\%$ 的凹面镜组成, 自由光谱范围为 1.5 GHz, 实测的精细度为 240。另一束与激光器 2 输出的激光经 50% 分

束镜 BS2 耦合拍频, 50% 分束镜输出的一束耦合光进入波长计, 以测量两台激光器的输出波长, 另一端口的输出光进入增益带宽为 0 ~ 500 MHz 的探测器 D_2 (型号为 Analog Modules 713A), 探测光电流送入频谱分析仪 (型号 HP8890L) 测量两台激光器输出激光的拍频信号。

3 实验结果及分析

由于激光器谐振腔内插入光学单向器, 使激光在腔内单向运转消除了空间烧孔效应, 即使在腔内不插入标准具情况下也能得到稳定的单频输出。扫描共焦 F-P 腔的频谱如图 3 所示, 可见激光器 1 输出激光的模式为单纵模。激光器 1 的腔长为 350 mm, 纵模间隔约为 850 MHz, 通过控制谐振腔镜上的压电陶瓷来精确调谐激光器的频率, 由于均匀加宽增益介质最邻近增益峰的模最先起振, 随着压电陶瓷上的电压增加, 激光输出频率从小到大周期性地变化, 变化大小为激光器的一个纵模间隔。



图 3 基波通过扫描 F-P 腔的频谱

Fig. 3 Spectrum of fundamental wave through the scanning F-P cavity

实验中选用 1 mm 厚的熔融石英玻璃作为标准具, 自由光谱范围为 100 GHz, 标准具固定在可微调倾斜角的固定支架上, 两通光面为平-平的 Nd:YVO₄ 晶体放入腔内。图 4 给出不同标准具倾斜角所对应的激光输出波长, 小黑方块为实验数据, 实线是由实验数据拟合出的频率调谐曲线。标准具在它的自由光谱区 100 GHz 内调谐时总会出现跳模现象并非真正意义上的连续可调。从图 4 看出激光频率随标准具的旋转角成阶跃性变化, 标准具连续调谐约 1 GHz 后跳跃到距 12 GHz 的下一频率处, 标准具的调谐特性呈周期性, 其周期约为 13 GHz, 这是由于增益介质 Nd:YVO₄ 晶体在腔内也有标准具的作用, Nd:YVO₄ 晶体的尺寸为 3 mm×3 mm×

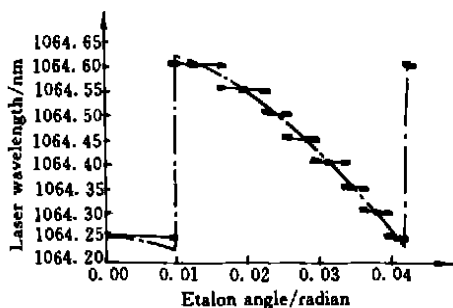


图 4 激光器输出波长随标准具倾斜角的变化关系
腔内采用平行平面 Nd:YVO₄ 晶体

Fig. 4 Laser output wavelength versus the etalon angle

The two plano-plano face Nd:YVO₄ crystal is placed in the cavity.

The dark squares are the experimental values and dash dot line is the theoretical curve

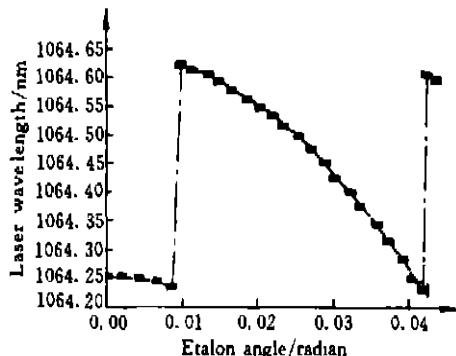


图 5 激光器输出波长随标准具倾斜角的变化关系
腔内采用 1° 劈形的 Nd:YVO₄ 晶体

Fig. 5 Laser output wavelength versus the etalon angle

The 1° wedged Nd:YVO₄ crystal is placed in the cavity

5 mm, 折射率 $n = 2.165^{[5]}$, 它的自由光谱范围约 13 GHz。正是 Nd:YVO₄ 晶体的标准具效应对激光增益曲线产生周期性的调制, 使标准具的调谐特性呈 13 GHz 的周期性变化。标准具和 Nd:YVO₄ 晶体透射曲线共同作用的激光增益曲线还决定了激光输出功率, 当调节标准具来调谐激光频率时将出现较大的功率起伏, 要在获得激光器频率调谐的同时得到稳定的激光输出功率, 必须使标准具的透射峰与 Nd:YVO₄ 晶体标准具的透射峰始终重合。当需把激光器准确地调谐到某一频率处时, 首先通过调节标准具来粗调激光频率, 然后调节 Nd:YVO₄ 晶体的倾斜角微调激光频率, 最后在通过腔镜上的压电陶瓷微调谐振腔长度, 达到精确连续调节激光输出频率的目的。从中看出由于 Nd:YVO₄ 晶体自身的标准具效应增加了激光器调谐复杂度。

为了简化激光器的调谐性能, 将 Nd:YVO₄ 晶体一通光面切成 1° 的劈形来消除自身的标准具效应, 调节标准具倾斜角, 标准具的调谐特性如图 5 所示, 小黑方块为实验数据。标准具在它的自由光谱区 100 GHz 内连续可调, 消除了 13 GHz 的阶跃周期性变化。

通过测定拍频信号显示激光器简单准确的调谐性能。图 6 给出了两台单频激光器的拍频信号, 在给定激光器 2 某一输出频率下, 首先通过调节激光器 1 的标准具粗调激光频率, 使激光器 1 的输出频率接近于激光器 2, 然后通过腔镜上的压电陶瓷精确调节激光腔长达到精确调谐激光频率的目的。

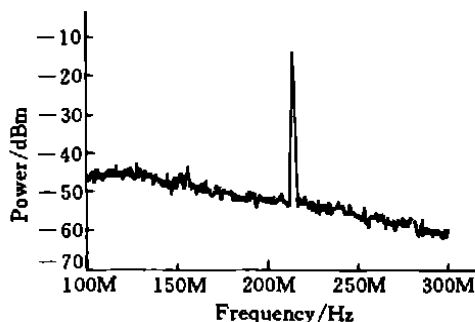


图 6 两台单频激光器 1 和 2 的拍频信号

Fig. 6 Beat note of two single-frequency lasers 1 and 2

的, 这样激光器 1 的输出频率可迅速调谐到激光器 2 的输出频率上, 产生小于 500 MHz 的拍频信号。

参 考 文 献

- 1 M. L. Eickhoff, J. L. Hall. Optical frequency standard at 532 nm [J]. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44** (2): 155~158
- 2 T. J. Kane, E. A. P. Cheng. Fast frequency tuning and phase locking of diode-pumped Nd:YAG ring lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(1): 970~972
- 3 T. Taira, A. Mukai, Y. Nozawa *et al.*. Single-mode oscillation of laser-diode-pumped Nd:YVO₄ microchip lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(24): 1955~1957
- 4 J. Harrison, A. Finch, J. H. Flint *et al.*. Broad-band rapid tuning of a single-frequency diode-pumped neodymium laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 1123~1130
- 5 Zhang Jing, Zhang Kuanshou, Wang Runlin *et al.*. All-solid-state Nd:YVO₄ ring laser of single-frequency operation [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(8): 694~696 (in Chinese)