

文章编号: 0258-7025(2001)11-0971-03

可调谐全固化折叠腔单频倍频 Nd:YVO₄激光器*

张 靖 雷宏香 王少凯 王润林 张宽收 谢常德
(山西大学光电研究所教育部量子光学重点实验室 太原 030006)

摘要 采用三镜折叠腔,使用 KTP 晶体进行内腔倍频,在激光谐振腔内插入标准具,利用标准具的选模调谐特性和激光晶体自身的标准具作用,设计并研制了 LD 抽运连续内腔倍频可调谐 Nd:YVO₄ 全固化激光器,实现了稳定的单频绿光输出,抽运功率 1.5 W 时最大单频绿光输出 40 mW,频率可调谐范围约 200 GHz。

关键词 单频激光器,折叠腔,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 and Intracavity-frequency-doubled Nd:YVO₄ Laser with Fold-cavity

ZHANG Jing LEI Hong-xiang WANG Shao-kai
WANG Run-lin ZHANG Kuan-shou XIE Chang-de
(Institute of Opto-electronic Research, Shanxi University,

Key Laboratory for Quantum Optics of Ministry of Education, Tianyuan 030006)

Abstract Using the mode-selection property of the etalon inserted inside the laser resonator a LD-pumped single-frequency and intracavity-frequency-doubled CW Nd:YVO₄/KTP laser with fold-cavity has been designed and experimentally studied. The maximum single-frequency green output power of about 40 mW was obtained at the LD pumping power of 1.5 W. The maximum tunable frequency range for green light is about 200 GHz.

Key words single-frequency lasers, fold cavity, tunable laser

1 引 言

全固化固体激光器具有高效率、长寿命、结构紧凑、频率稳定等优点。特别是全固化单频激光器,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、参量振荡及量子光学实验研究等领域。在驻波腔中进行内腔倍频,由于多纵模起振和和频过程使绿光输出产生较大的幅度起伏(称为绿光问题)^[1],一般激光器采用单纵模运转来消除“绿光问题”。为实现单纵模输出激光器通常采用环形腔单向运转,现可获得高达几瓦的绿光输出^[2,3],并有商品化的产品出售,但其结构复杂,插入的内腔元件较

多,调整困难而且成本较高。另一种方法是在驻波腔内插入标准具^[1]或利用双折射滤波^[4]实现单纵模运转,这种方法适用于对激光器要求小型化且功率不高的情况。

我们设计并研制了一种 LD 抽运 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器,采用三镜驻波折叠腔,腔内插入标准具,利用标准具的选模调谐作用及 Nd:YVO₄ 晶体自身的标准具效应,使激光器实现稳定的单纵模输出,最大可调谐范围约 200 GHz。

2 实验装置

LD 抽运的 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器如图 1 所示,抽运源是最大输出功率为 1.5 W 带光纤耦合输出的半导体激光器,光纤芯径为 200 μm,发散角

* 国家自然科学基金(No. 69977024, No. 69837010)和山西省自然科学基金资助项目。

收稿日期:2000-08-28;收到修改稿日期:2000-11-20

为 12°, 抽运光采用一传输效率为 90% 的准直聚焦系统, 将抽运光聚焦为 350 μm 左右的光斑。谐振腔采用三镜折叠腔, Nd:YVO₄ 晶体前端面镀 808 nm 增透膜和 1.064 μm 的高反膜作为抽运光的耦合镜, 另一面镀 1.064 μm 的增透膜, 晶体尺寸为 3 mm × 3 mm × 5 mm, 掺杂浓度为 0.5 at.-%, M₁ 是曲率半径为 100 mm 的平凹镜, 凹面镀有 1.064 μm 的高反膜和 532 nm 增透膜, 平面对 532 nm 高透, M₂ 是曲率半径为 50 mm 的凹面镜, 镀 1.064 μm 和 532 nm 双色高反膜, KTP 晶体采用 II 类角度匹配, 大小也为 3 mm × 3 mm × 5 mm, 两通光面皆镀有 1.064 μm 和 532 nm 双色增透膜。腔内插入一倾斜度可调的熔融石英玻璃(1 mm 厚的未镀膜白片)。

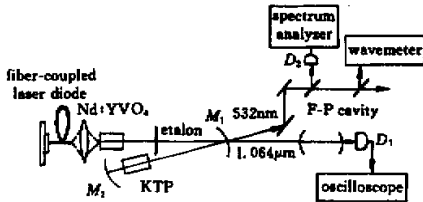


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of the experimental arrangement

因腔镜 M₁ 不是对 1.064 μm 百分之百地全反, 在沿 Nd:YVO₄ 晶体通光方向有 6 mW 的红外输出, 用扫描 F-P 共焦腔来监视其模式并由示波器记录, 沿 KTP 通光方向输出的 532 nm 绿光由波长计测量其输出波长, 并由一带宽为 0~20 MHz 的探测器 D₂ 及频谱分析仪(型号 HP8890L)测量输出激光的强度噪声。

3 实验结果及分析

当标准具未插入腔内时, 在抽运功率为 1.5 W 的情况下获得最大单横模绿光输出为 70 mW, 用扫描 F-P 共焦腔记录的红外模式如图 2 (a) 所示, 可以看出腔内有多纵模起振。将标准具放入腔内, 调节它的倾斜角, 可得到约 40 mW 的单频绿光输出。腔内红外振荡模式如图 2 (b) 所示, 激光器为单纵模运转。用探测器 D₂ 和频谱仪来监视激光器在不同运转情况下的激光强度噪声, 进入探测器 D₂ 的光功率为 6 mW, 在测量完强度噪声后, 可用白光光源照射探测器, 在相同的 DC 光电流下获得散粒

噪声基准。单横模和单频绿光强度噪声如图 3 所示, 单横模绿光激光器的强度噪声在低频段 (~1 MHz) 比单频激光器噪声高约 30 dB。此外, 单横模绿光激光器在高频处存在不同频率绿光之间强的拍频信号(图 3, 没给出此频率段的噪声谱), 而单频激光器却自然消除了这种高频噪声。

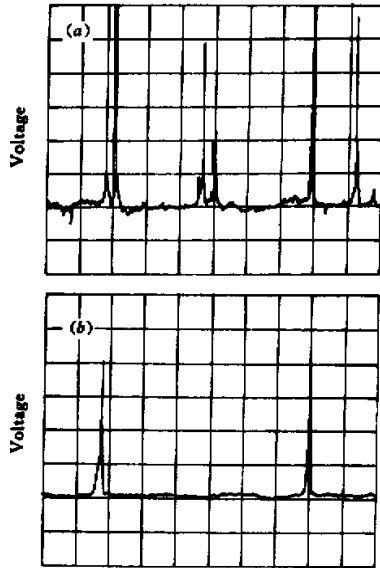


图 2 激光器的纵模结构

(a) 激光器 TEM₀₀ 运转; (b) 单纵模运转

Fig. 2 Longitudinal-mode structures of the laser with

(a) TEM₀₀ operation and (b) single-frequency operation

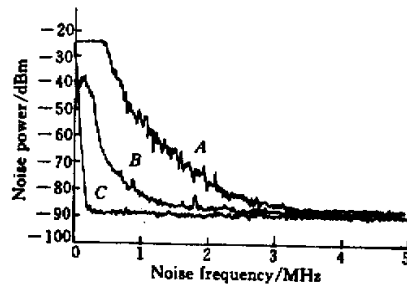


图 3 输出激光的强度噪声谱

A 为激光器 TEM₀₀ 运转, B 为单纵模运转, C 为散粒噪声基准

Fig. 3 Laser intensity noise spectra

A TEM₀₀ operation, B single-frequency operation,

C shot limit noise (SNL)

实验中选用 1 mm 厚的熔融石英玻璃作为标准具, 其自由光谱范围为 100 GHz, 标准具固定在可微

调倾斜角的固定支架上。图4给出不同倾斜角所对应的绿光输出波长,小黑方块为实验数据,曲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(文中都是指对1.064 μm调谐,相应的对绿光调谐为200 GHz)总会出现

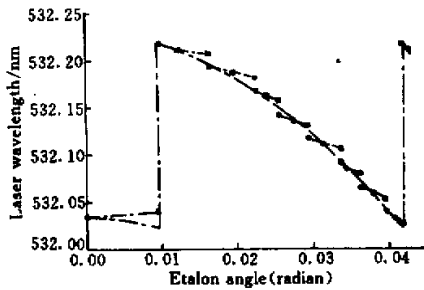


图4 标准具倾斜角对应的激光输出波长
小黑方块为实验数据

Fig. 4 Laser output wavelength versus the etalon angle
The dark squares are the experimental values

跳模现象并非连续可调。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6 GHz后跳跃到距7 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的尺寸为3 mm×3 mm×5 mm,折射率 $n = 2.165^{[3]}$,它的自由光谱范围为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13GHz

的周期性变化。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晶体的温度微调激光频率,最后再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。

4 结 论

设计并研制了全固化折叠腔Nd:YVO₄/KTP单频绿光激光器,通过调节内腔标准具、激光晶体温度及微调腔长完成了200 GHz的调谐范围,最高单频绿光输出功率约40 mW。

参 考 文 献

- 1 T. Beer. Large amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, 3(9):1175~1180
- 2 K. I. Martin, W. A. Clarkson, D. C. Hanna. 3W of single-frequency output at 532 nm by intracavity frequency doubling of a diode-bar-pumped Nd:YAG ring laser. *Opt. Lett.*, 1996, 21(12):875~877
- 3 P. J. Hardman, W. A. Clarkson, D. C. Hanna. High-power diode-bar-pumped intracavity-frequency-doubled Nd:YLF ring laser. *Opt. Comm.*, 1998, 156(1):49~52
- 4 M. Oak, S. Kubota. Stable intracavity doubling of orthogonal linearly polarized modes in diode-pumped Nd:YAG lasers. *Opt. Lett.*, 1988, 13(11):805~807
- 5 T. Taira, A. Mukai, Y. Nozawa *et al.*. Single-mode oscillation of laser-diode-pumped Nd:YVO₄ microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1991, 16(24):1955~1957