

文章编号: 0258-7025(2001)11-0971-03

# 可调谐全固化折叠腔单频倍频 Nd:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub> 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:YVO<sub>4</sub>/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)<sup>[1]</sup>,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<sup>[2,3]</sup>,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<sup>[1]</sup>或利用双折射滤波<sup>[4]</sup>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:YVO<sub>4</sub>/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:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub>/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:YVO<sub>4</sub> 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.-%, M<sub>1</sub> 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, M<sub>2</sub> 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)。

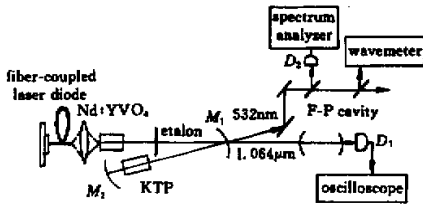


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of the experimental arrangement

因腔镜 M<sub>1</sub> 不是对 1.064 μm 百分之百地全反, 在沿 Nd:YVO<sub>4</sub> 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 D<sub>2</sub> 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 D<sub>2</sub> 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 D<sub>2</sub> 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。

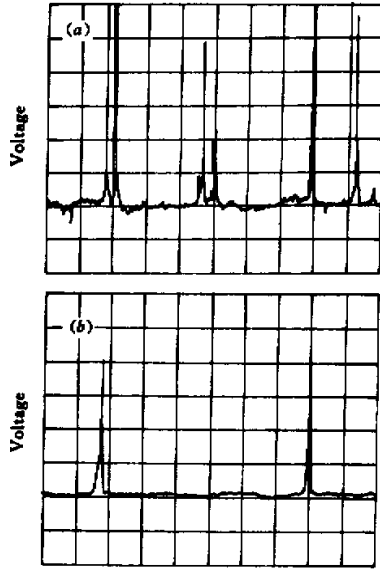


图 2 激光器的纵模结构

(a) 激光器 TEM<sub>00</sub> 运转; (b) 单纵模运转

Fig. 2 Longitudinal-mode structures of the laser with

(a) TEM<sub>00</sub> operation and (b) single-frequency operation

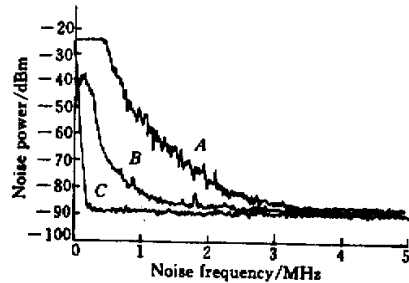


图 3 输出激光的强度噪声谱

A 为激光器 TEM<sub>00</sub> 运转, B 为单纵模运转, C 为散粒噪声基准

Fig. 3 Laser intensity noise spectra

A TEM<sub>00</sub> 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

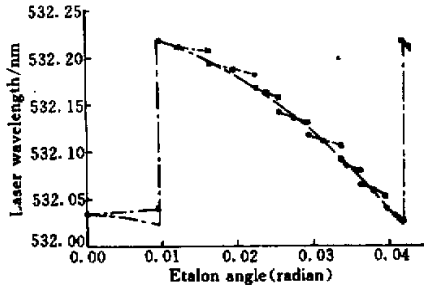


图4 标准具倾斜角对应的激光输出波长  
小黑方块为实验数据

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:YVO<sub>4</sub>晶体在腔内也有标准具的作用,Nd:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub>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:YVO<sub>4</sub>/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:YVO<sub>4</sub> microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1991, 16(24):1955~1957