

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<sup>\*</sup>

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)

**提要** 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>[4]</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,发散角为 12°,抽运光采用一传输效率为 90%的准直聚焦系

\* 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

统,将抽运光聚焦为  $350\ \mu\text{m}$  左右的光斑。谐振腔采用三镜折叠腔,  $\text{Nd:YVO}_4$  晶体前端面镀  $808\ \text{nm}$  增透膜和  $1.064\ \mu\text{m}$  的高反膜作为抽运光的耦合镜,另一面镀  $1.064\ \mu\text{m}$  的增透膜,晶体尺寸为  $3\ \text{mm}\times 3\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}$ ,掺杂浓度为  $0.5\ \text{at.}\%$ ,  $M_1$  是曲率半径为  $100\ \text{mm}$  的平凹镜,凹面镀有  $1.064\ \mu\text{m}$  的高反膜和  $532\ \text{nm}$  增透膜,平面对  $532\ \text{nm}$  高透,  $M_2$  是曲率半径为  $50\ \text{mm}$  的凹面镜,镀  $1.064\ \mu\text{m}$  和  $532\ \text{nm}$  双色高反膜,  $\text{KTP}$  晶体采用 II 类角度匹配,大小也为  $3\ \text{mm}\times 3\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}$ ,两通光面皆镀有  $1.064\ \mu\text{m}$  和  $532\ \text{nm}$  双色增透膜。腔内插入一倾斜度可调的熔融石英玻璃 ( $1\ \text{mm}$  厚的未镀膜白片)。

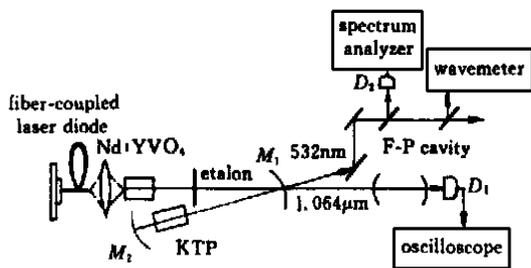


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of the experimental arrangement

因腔镜  $M_1$  不是对  $1.064\ \mu\text{m}$  百分之百地全反,在沿  $\text{Nd:YVO}_4$  晶体通光方向有  $6\ \text{mW}$  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  $\text{KTP}$  光方向输出的  $532\ \text{nm}$  绿光由波长计测量其输出波长,并由一带宽为  $0\sim 20\ \text{MHz}$  的探测器  $D_2$  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  $1.5\ \text{W}$  的情况下获得最大单横模绿光输出为  $70\ \text{mW}$ ,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  $40\ \text{mW}$  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  $D_2$  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  $D_2$  的光功率为  $6\ \text{mW}$ ,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( $\sim 1\ \text{MHz}$ )

比单频激光器噪声高约  $30\ \text{dB}$ 。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。

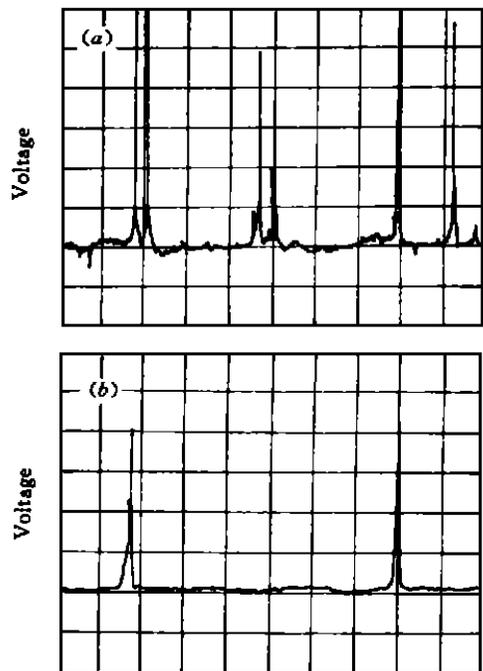


图 2 激光器的纵模结构

(a) 激光器  $\text{TEM}_{00}$  运转; (b) 单纵模运转

Fig. 2 Longitudinal-mode structures of the laser with (a)  $\text{TEM}_{00}$  operation and (b) single-frequency operation

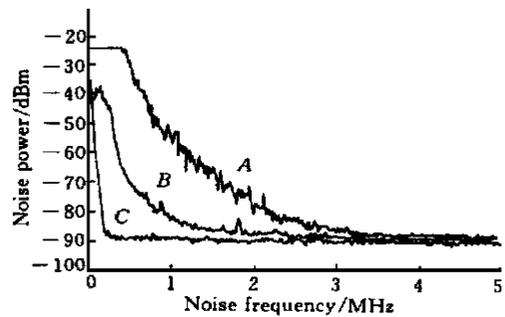


图 3 输出激光的强度噪声谱

A 为激光器  $\text{TEM}_{00}$  运转, B 为单纵模运转, C 为散粒噪声基准

Fig. 3 Laser intensity noise spectra  
A  $\text{TEM}_{00}$  operation, B single-frequency operation,  
C shot limit noise (SNL)

实验中选用  $1\ \text{mm}$  厚的熔融石英玻璃作为标准具,其自由光谱范围为  $100\ \text{GHz}$ ,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)总会出现跳

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。

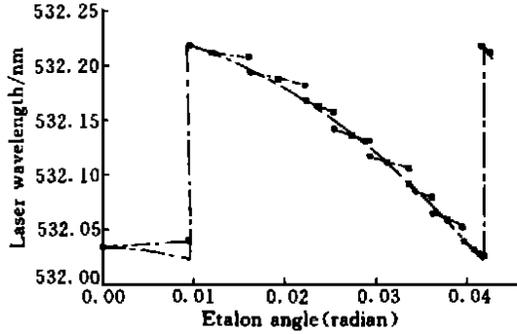


图 4 标准具倾斜角对应的激光输出波长  
小黑方块为实验数据

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

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  $n = 2.165^{[5]}$ ,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

### 参 考 文 献

- 1 T. Baer. 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