

# 全固化单频 Nd:YVO<sub>4</sub> 环形激光器\*

张 靖 张宽收 王润林 郭蕊香 彭堃堃

(山西大学光电研究所 太原 030006)

**提要** 用激光二极管(LD)抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体,采用四镜环形腔,腔内放置 TGG 晶体和  $\lambda/2$  波片,组成光学单向器,利用 KTP 内腔倍频技术,实现稳定的单频绿光输出,最大单频绿光输出 40 mW,光-光转换效率为 6%。

**关键词** 全固化环形激光器,单频绿光,Nd:YVO<sub>4</sub>

## 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、参量振荡及压缩态光场产生等领域。为提高激光器的输出功率,改善抽运光束的空间特性仍然是一个重要参数。激光二极管(LD)输出光束为多模,光斑呈现窄长条形,为提高转换效率,必须对抽运光束在  $x, y$  方向进行不同的整形,在增益介质中实现与腔模最大的交叠。端面纵向抽运的二极管抽运固体激光器(Diode Pumped Solid Laser—DPSL)易于实现单横模输出,现已采用多种方法使该器件达到单纵模运转。例如用扭转模腔<sup>[1]</sup>、短腔谐振<sup>[2]</sup>、用标准具选模<sup>[3]</sup>、用具有高吸收系数的激光介质短程吸收抽运光<sup>[4]</sup>等。但只有利用环形谐振腔,通过在谐振腔中插入光学单向器使激光器单向运转,才可以实现精密的选模,从而达到理想的频率稳定性。本文设计出一套光束整形系统,使抽运光达到最佳空间分布。

## 2 实验装置和实验分析

### 2.1 光束整形系统

实验中整形系统由一自聚焦棒、两正交柱面镜及聚焦透镜组成,如图 1 所示。自聚焦透镜数值孔径  $N. A. = 0.6$ ,直径为 1.5 mm,长为 3 mm。在靠近 LD 一端为凸面,另一端为平面。自聚焦透镜一端的凸面是为了减小透镜的球差,增大收光角,从而增强自聚焦透镜的聚光能力,获得较小聚焦光斑尺寸。在自聚焦棒输出端面后约 1.3 mm 处有一会聚点。垂直  $y$  方向由  $34^\circ$  变为  $7^\circ$ ,水平  $x$  方向仍为  $12^\circ$ ,从中算出自聚焦棒  $y$  方向放大倍数为  $0.2 \times$ , $x$  方向为  $1 \times$ ,实现

\* 国家自然科学基金(No. 19674034)、山西省自然科学基金资助项目。

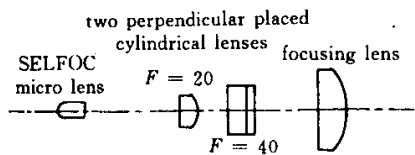


图1 端面抽运光的耦合系统

Fig.1 End-pump coupling system

了抽运光在  $x, y$  方向的不同放大率。两个正交放置的柱面镜焦距分别为 20 mm 和 40 mm, 将 LD 的输出激光整形为近似平行光, 光斑尺寸约为  $5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。聚焦透镜孔径为  $\phi 20 \text{ mm}$ , 焦距为 50 mm。

实验中使用了 SLI-CW 1 W 的 LD, 发光面为  $200 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ , 远场发散角  $\theta_{\parallel} = 12^\circ, \theta_{\perp} = 34^\circ$ 。通过测量得到抽运光束经过整形系统的发散角, 来估算出抽运光在增益介质中的光斑尺寸。在聚焦透镜前平行光束的光斑尺寸为  $5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ , 经过聚焦透镜抽运光发散角变为  $\theta_{\perp} = 2\arctan[3/(50 \times 2)] = 3.4^\circ, \theta_{\parallel} = 2\arctan[5/(50 \times 2)] = 5.7^\circ$ , 进入增益介质后变为  $2.3^\circ$  和  $3.8^\circ$ 。垂直方向发散角缩小了 10.2 倍, 垂直方向进入增益介质光斑增大为  $10.2 \mu\text{m}$ , 水平方向发散角缩小了 2 倍, 水平方向进入增益介质光斑为  $400 \mu\text{m}$ 。此估算没有考虑整形系统的像散。

## 2.2 内腔倍频

LD 端面抽运的 Nd:YVO<sub>4</sub> 环形激光器的装置如图 2 所示。M<sub>1</sub> 为平面输入耦合镜, 对  $1.064 \mu\text{m}$  高反,  $809 \text{ nm}$  减反,  $R_{1.064 \mu\text{m}} > 99.5\%, R_{809 \text{ nm}} < 5\%$ ; M<sub>2</sub> 为平面全反镜,  $R_{1.064 \mu\text{m}} > 99.5\%, R_{532 \text{ nm}} < 5\%$ ; M<sub>3}, M<sub>4</sub> 为曲面镜, M<sub>4</sub> 对  $1.064 \mu\text{m}$  高反, 反射率  $R_{1.064 \mu\text{m}} > 99.5\%$ , M<sub>3</sub> 对  $1.064 \mu\text{m}$  和  $532 \text{ nm}$  全反, 曲率半径分别为  $r_3 = 50 \text{ mm}, r_4$</sub>

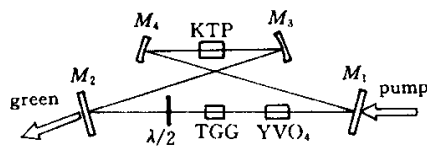


图2 内腔倍频 Nd:YVO<sub>4</sub> 环形激光器装置图

Fig.2 Experiment setup of Nd:YVO<sub>4</sub> ring laser of intracavity frequency doubling

$= 40 \text{ mm}$ ; Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的掺钕浓度为 0.5 at-%, 尺寸为  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ , 前后表面都镀有  $1.064 \mu\text{m}/809 \text{ nm}$  减反膜, 剩余反射率  $R_{1.064 \mu\text{m}} < 0.2\%, R_{809 \text{ nm}} < 5\%$ , 晶体置于 M<sub>1}, M<sub>2</sub> 之间的腰斑处。腔内放置 TGG 和  $\lambda/2$  波片, 构成光学单向器, 它们的前后表面都镀有  $1.064 \mu\text{m}$  减反膜, TGG 插入一个内径为  $\phi 3 \text{ mm}$ , 外径为  $\phi 15 \text{ mm}$ , 磁场强度约为 0.5 T 的磁铁中。按 II 类相位匹配方向切割的 KTP 倍频晶体, 尺寸为  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ , 前后表面都镀有  $1.064 \mu\text{m}$  减反膜。</sub>

Nd:YVO<sub>4</sub> 是单轴晶体, 其平行于光轴(即  $c$  轴)方向的激光发射截面是垂直于光轴方向的 4 倍<sup>[5]</sup>, 输出是平行于光轴的线偏振光。KTP 的快轴与 Nd:YVO<sub>4</sub> 的光轴成  $45^\circ$  角。KTP 是双轴晶体, 放在腔内对基波两个正交偏振模起位相延迟的作用, 因此必须控制 KTP 晶体的温度使它对基波充当一个全波片的作用, 以减小 KTP 晶体对基波退偏而引入的损耗。内腔倍频腔形设计上要使单向器引入损耗差大于非线性损耗。我们在设计 Nd:YVO<sub>4</sub>+KTP 环形腔时, 利用 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体  $c$  轴(光轴)方向的激发截面是  $a$  轴的 4 倍, 假设激发截面从  $c$  轴到  $a$  轴是线性变化的, 腔内  $\phi 3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  的 TGG 晶体对  $1.064 \mu\text{m}$  产生  $5^\circ$  的偏振旋转, 引入正反方向损耗差为 8.3%, 足以维持腔内单向运转。

## 2.3 实验结果

图 3 为绿光输出功率曲线, 绿光输出的抽运阈值为 270 mW, 当 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体端面处抽运功率为 730 mW 时, 最大单频绿光输出为 40 mW, 光-光转换效率为 6%。

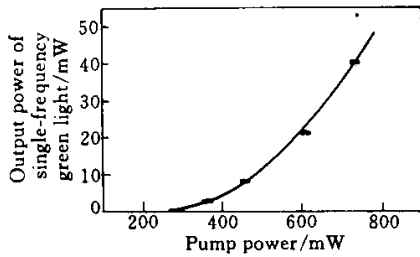


图 3 单频绿光随输入抽运功率的变化关系

Fig. 3 Output power of single-frequency green light versus pump power

### 参 考 文 献

- 1 K. Wallmeroth, P. Peuser. High power cw single-frequency TEM<sub>00</sub> diode-laser-pumped Nd:YAG laser. *Electr. Lett.*, 1988, **24**(17):1086~1088
- 2 J. J. Zayhowski, A. Mooradian. Frequency-modulated Nd:YAG microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(12):618~620
- 3 P. Nachman, J. Munch, R. Yee. Diode-pumped frequency-stable tunable continuous-wave Nd:glass laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, **26**(2):317~322
- 4 G. J. Kintz, T. Baer. Single-frequency operation in solid-state laser materials with short absorption depths. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, **26**(9):1457~1459
- 5 P. P. Yaney, L. G. Deshazer. Spectroscopic studies and analysis of the laser states of Nd<sup>3+</sup> in YVO<sub>4</sub>. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**(12):1405~1414
- 6 Zhang Kuanshou, Zhang Yun, Xie Changde *et al.*. All-solid-state out-of-plane Nd:YAG ring laser of single-frequency operation. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 1996, **16**(8):1041~1044 (in Chinese)

## All-solid-state Nd:YVO<sub>4</sub> Ring Laser of Single-frequency Operation

Zhang Jing Zhang Kuanshou Wang Runlin Guo Ruixiang Peng Kunchi  
*(Institute of Opto-Electronic Research, Shanxi University, Taiyuan 030006)*

**Abstract** The ring laser of diode laser pumped Nd:YVO<sub>4</sub> crystal has been obtained by an optic coupling system. Four mirrors ring resonator was adopted. The optic diode consists of a TGG crystal and a half-wave plate placed in cavity. With KTP crystal for intracavity frequency-doubling, the green light with maximum output power of 40 mW and the optical conversion efficiency of 6% was obtained.

**Key words** all-solid-state ring laser, single-frequency green light, Nd:YVO<sub>4</sub>