

# 全固体化 Nd : YVO<sub>4</sub> 单频绿光激光器

张宽收 李瑞宁 谢常德 彭堃墀

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

杨华光 郑红 季阳阳

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

**提要** 采用“面对面”激光二极管泵浦 Nd : YVO<sub>4</sub> 和 KTP 内腔倍频, 获得单横模单纵模绿光输出。阈值泵浦功率为 12 mW, 实测的单端绿光最大单横模输出为 7.3 mW, 最大单纵模输出为 1.5 mW, 光-光转换效率为 1.9%。全固化系统设计小型紧凑, 运转可靠。

**关键词** “面对面”, 短程吸收, 单频运转, LD 泵浦绿光激光器

## 1 引言

近年来, 激光二极管(LD)泵浦固体激光器(DPL)得到迅猛发展<sup>[1]</sup>。其中, 经倍频实现绿光输出的 DPL 器件尤为引人注目。这种绿光相干光源小型、高效、运转可靠, 可广泛应用于科学研究、光学存储、光学测量、彩色显示及医疗等领域<sup>[2]</sup>。端面泵浦的 DPL 器件易于实现单横模输出, 现已采用多种方式使该器件达到单纵模运转, 如环型腔<sup>[3]</sup>、在驻波腔中插入四分之一波片或标准具<sup>[4]</sup>、短腔谐振<sup>[5]</sup>等。最为简单的途径是利用具有高吸收系数的激光介质短程吸收泵浦光, 在驻波腔中直接获取单纵模输出<sup>[6]</sup>。

本工作利用 Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体具有高吸收系数可短程吸收泵浦光的特点, 采用新的泵浦耦合方式, 设计出 LD 泵浦的全固化小型内腔倍频激光系统, 获得了高效、稳定的绿光输出。

## 2 基本原理

Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体为单轴晶体, 作为 LD 泵浦固体激光材料具有十分优良的性质。实验中使用的  $a$  切割( $\pi$  偏振) Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体, 掺 Nd ~ 2at%, 对泵浦光(809 nm)的吸收系数为 72.4 cm<sup>-1</sup>, 吸收厚度为 0.14 mm。

由于 Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体对泵浦光有很高的吸收系数, 与 Nd : YAG 相比大 10 倍, 晶体的厚度可缩小至 1/10, 即 1 mm。而且可短程有效地吸收泵浦光, 因此我们采用“面对面”端面泵浦方式, 即将激光晶体端面与 LD 发光面间隔缩小至 100  $\mu$ m 左右, 省去通常 DPL 器件所必需的光束整形和聚焦系统, 并可高效吸收泵浦光。理论分析表明, 对于端面泵浦方式, 有效泵浦截面越小, 则阈值泵浦功率越低, 能量转换效率越高。所以需要将 Nd : YVO<sub>4</sub> 晶体尽量靠近 LD 发光

面,减小有效泵浦截面。同时设计适当的谐振腔型,保证泵浦光截面和谐振腔的模体积达到最佳匹配,从而降低阈值泵浦功率,提高能量转换效率,有利于激光器基横模运转。

当端面泵浦输入面镀有耦合镜的激光介质时,所有腔模在镜面上有相同的节点,如果泵浦光被短程吸收,则在此范围内所有纵模接近相同的反转粒子数,具有最高受激发射截面的模式首先起振,抑制了其他模式的起振,从而在驻波腔下获得单纵模输出<sup>[6]</sup>。由于使激光器单纵模运转的原因是短程吸收而非短腔,因此可利用长腔而不在腔中插入选模元件而获取单纵模。这样就可以在腔内插入倍频晶体得到倍频单纵模输出。正是由于 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体有很高的吸收系数,可短程吸收泵浦光,我们利用上述方法端面 LD 泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体,经 KTP 晶体内腔倍频得到单纵模的绿光输出。

另外,与 Nd:YAG 晶体相比,Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体对泵浦光的有效吸收频带宽 10 倍以上,因此即使 LD 因热或气温变化导致波长漂移,输出依然稳定,而无须对 LD 进行温控。这样可使器件进一步小型化、实用化。

### 3 实验装置和结果

实验装置如图 1 所示。

用中国科学院半导体所生产的中心波长为 809 nm,功率为 400 mW 的 LD 作泵浦光源。输入耦合镜直接镀在 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体输入端面上,输出耦合镜曲率半径为 20.6 mm,谐振腔长 10 mm,为近半共焦结构。Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体尺寸为 3 mm×3 mm×1 mm,KTP 晶体尺寸为 6 mm×6 mm×5 mm。KTP 与 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体尽可能靠近。通过特殊的机械设计使 LD 与 Nd:YVO<sub>4</sub> 间隔仅为 150 μm,以保证有较高的泵浦效率。泵浦光在晶体输入面上的光斑大小为 250×260 μm<sup>2</sup>。

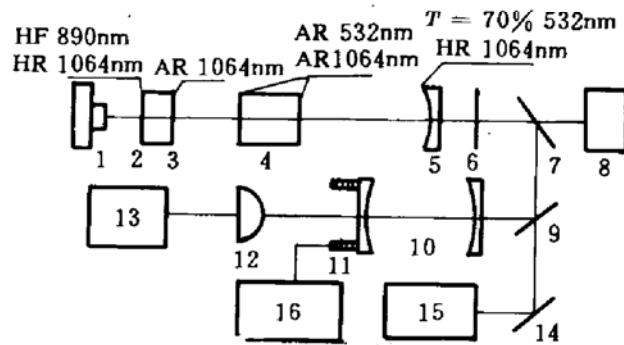


Fig. 1 Experimental setup

1—LD; 2—Input coupler; 3—Nd:YVO<sub>4</sub> crystal; 4—KTP crystal; 5—Output coupler; 6—Filter; 7,9,14—Beam splitter; 8—Power meter; 10—F-P confocal cavity; 11—PZT; 12—Detector; 13—Oscilloscope; 15—Monochromator; 16—Zigzag wave generator

实测的中心波长为 532 nm 的倍频光单端输出功率曲线如图 2 所示。阈值泵浦功率  $P_{th} = 12$  mW,在 380 mW 泵浦功率下,最大单横模输出功率  $P_{max} = 7.3$  mW,光-光转换效率  $\eta = 1.9\%$ 。

用针孔探测器一维扫描探测激光器倍频光输出的远场光强分布。探测器距激光器 2 m,针孔直径为 0.7 mm,扫描速度为 5 cm/s。当泵浦功率为 380 mW,实测单端倍频光输出功率为 7.3 mW 时得到的远场光强度分布如图 3 所示,表明倍频光输出为单横模。

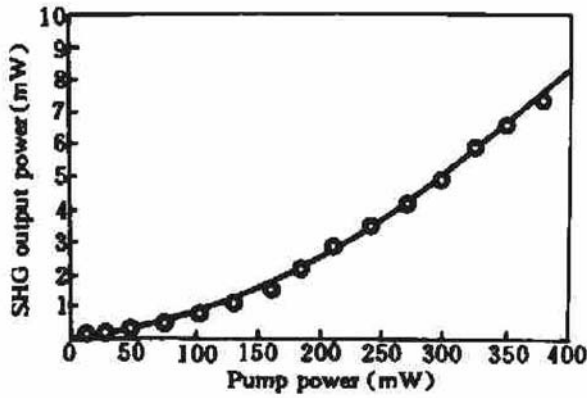


Fig. 2 SHG output versus pump power

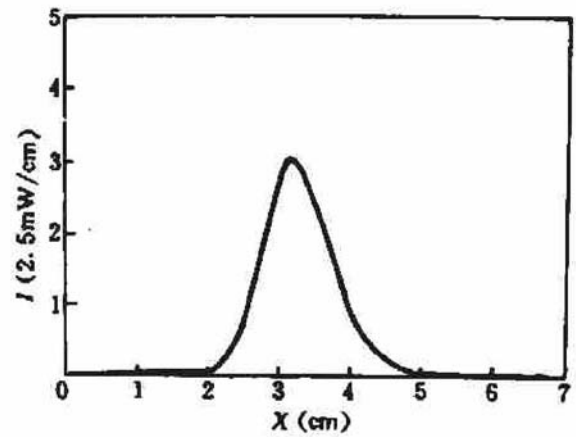


Fig. 3 Intensity profile of SHG output

用锯齿波扫描共焦 F-P 参考腔来监测激光器倍频光的纵模模式。共焦参考腔两腔镜的曲率半径均为 102 mm, 对 532 nm 的反射率分别为 99.5% 和 97%。共焦参考腔的自由光谱范围为 735 MHz, 实测精细度为 50。图 4 是泵浦功率为 160 mW, 实测绿光输出功率为 1.5 mW 时, 扫描共焦参考腔的透射峰在示波器上的照片, 表明在此泵浦功率下, 激光器倍频光输出仍为单纵模, 线宽为 40 MHz。

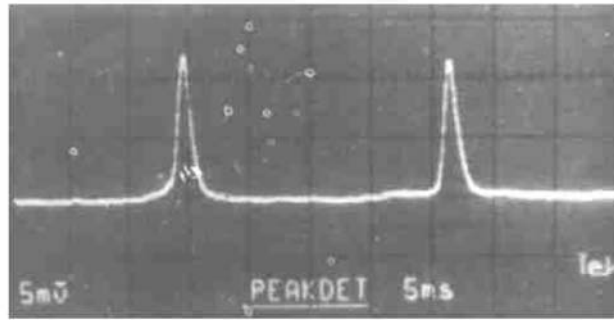


Fig. 4 Optical spectrum of single-frequency operation at 532 nm measured by using a scanning confocal interferometer with 735 MHz free spectral range

实验中, 继续增大泵浦功率由于有效吸收层加长将出现多模运转。

致谢 感谢西南技术物理所杨德利先生对晶体镀膜给予的协助。

### 参 考 文 献

- 1 R. L. Buyer. Diode Laser Pumped Solid-state Laser. *Science*, 1988, 239(2): 742~747
- 2 J. T. Lin. Doubled Jeopardy, the Blue-green Races New Plats. *Laser & Optonics*, 1990, (12): 34~40
- 3 T. J. Kane, R. L. Byer. Monolithic Unidirectional Single-mode Nd:YAG Ring Laser. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2): 65~67
- 4 K. Wallmeroyh, P. Peuser. High Power, CW Single-frequency, TEM<sub>00</sub>, Diode-laser-pumped Nd:YAG Laser. *Electr. Lett.*, 1988, (24): 1086
- 5 J. J. Zayhowski, Mooradicm. Single-frequency Microchip Nd Laser. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 24~26
- 6 G. J. Kintz, T. Baer. Single-frequency Operation in Solid-state Laser Material with Short Absorption Depths. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26(9): 1457~1459

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

Zhang Kanshou Li Ruining Xie Changde Peng Kunchi

(*Institute of Opto-Electronic Researches, Shanxi University, Taiyuan 030006*)

Yang Huaguang, Zheng Hong, Ji Yangyang

(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

**Abstract** By using a miniature cavity and KTP crystal, an efficient intracavity frequency doubled Nd : YVO<sub>4</sub> laser, "face to face" pumped by a laser diode has been established. The measured single-transversal TEM<sub>00</sub> mode and single-longitudinal-mode SHG maximum outputs are 7.3 mW and 1.5 mW respectively. The threshold pump power is 12 mW and a total optical conversion efficiency of 1.9% for the second harmonic generation has been obtained.

**Key words** "face to face", short absorption depth, single-frequency operation, LD pumped green laser