

LD 抽运 Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 连续波激光器的实验研究*

杨济民 刘杰** 何京良

(山东师范大学物理与电子科学学院, 济南 250014)

摘要 报道了一种半导体二极管(LD)抽运 Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 晶体,采用简单、结构紧凑的平-平腔设计,实现了 1.06 μm 连续波激光输出,在 8 W 的注入功率下,获得 3.25 W 的 1.06 μm 连续波激光输出,光-光转换效率为 41%,斜效率为 45%. KTP 腔内倍频实现了稳定的连续波 532 nm 绿光激光运转,当注入功率为 8 W 时,单向获得了 621 mW 的单模绿光输出.

关键词 Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 晶体;LD 抽运;1.06 μm 激光;532 nm 激光

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

近几年来,Nd:YVO₄ 和 Nd:GdVO₄ 等晶体由于较优良的激光特性已成为重要的激光介质,Nd:YVO₄ 有着较高的吸收系数和大的发射截面,特别适合于中小功率激光器,而 Nd:GdVO₄ 则沿<110>方向有较高的热导率,则更适用于大功率激光器,目前已被广泛应用于二极管抽运的激光器中^[1-7]. 最近,Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 作为一种新型晶体已经引起了人们的广泛关注,研究表明,它也有着较优良的激光性能^[8-11],尤其是其脉冲激光特性优于 Nd:YVO₄ 和 Nd:GdVO₄^[9,10],而且有着较好的热机械性能^[8],也是一个较理想的激光晶体,尽管如此,有关二极管抽运 Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 连续波激光特性研究的报道仍然很少^[11].

本文对 LD 抽运 Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ 连续波激光器进行了实验研究,采用简单紧凑的直线腔结构,实现了稳定的连续波 1.06 μm Nd:Gd_{0.12}Y_{0.88}VO₄ 激光运转,KTP 腔内倍频 532 nm 连续波激光输出,并分析了 Nd:Gd_{0.12}Y_{0.88}VO₄ 的激光特性.

1 LD 抽运 Nd:Gd_{0.12}Y_{0.88}VO₄ 1.06 μm 连续波激光器

实验装置如图 1. 泵浦源 LD 最大输出功率为 10 W,中心波长为 808 nm,光纤数值孔径为 0.12,输出光经聚焦耦合系统后注入激光晶体. 激光谐振腔采用简单的线型平-平腔设计,泵浦端腔镜 M₁(平镜)的前表面镀 808 nm 增透膜,后表面镀 808 nm 高透膜和 1.06 μm 高反膜(反射率大于 99%),输出镜 M₂(平镜)为 1.06 μm 输出镜,透过率分别为 10% 和 20%,晶体的两个表面都镀有 1.06 μm 增透

膜和 808 nm 增透膜以减少腔内损耗,Nd:Gd_{0.12}Y_{0.88}VO₄ 晶体沿 α 轴切割,Nd³⁺ 掺杂浓度为 0.5 at. %,晶体的尺寸为 3.5 × 3.5 × 6 mm³.

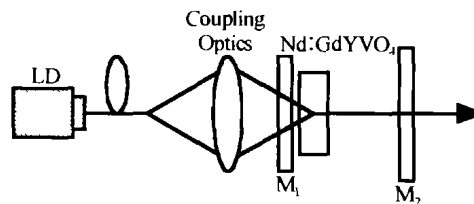


图 1 1.06 μm 连续波激光器装置图

Fig.1 Schematic design for 1.06 μm cw laser

根据激光二极管端面泵浦固体激光器的 TEM₀₀ 模抽运阈值条件,要求抽运光斑半径和激光光斑半径尽可能的小,以降低阈值,提高激光器的输出效率和斜效率^[12]. 实验中谐振腔的腔长被选为 70 mm 左右,抽运光斑半径约为 300 μm,在最大抽运功率 8 W 的情况下,晶体的热焦距约为 300 mm,比腔长大的多,故此时的热透镜效应并不明显. 利用 ABCD 定理,计算了激光晶体处的腔模半径大约在 410 ~ 255 μm 范围内随激光晶体的热焦距变化而变化.

用 Nd:Gd_{0.12}Y_{0.88}VO₄ 晶体作增益介质,腔长采用 70 mm,输出镜 M₂ 的透过率 T 分别为 10% 和 20%,测量了连续波 1.06 μm 激光输出特性. 图 2 给出了连续波激光输出功率随注入功率变化的关系. 由图可以看出,随着注入功率的增加,激光输出功率基本呈线性增加,没有出现饱和现象,热透镜效应不

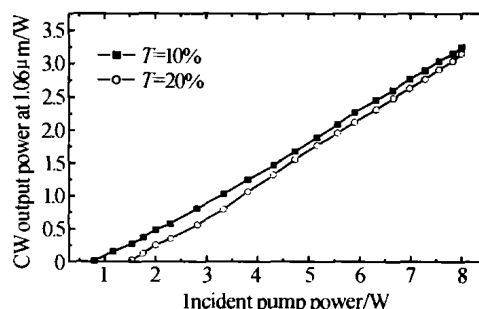


图 2 1.06 μm 激光输出功率随注入功率的变化曲线

Fig.2 Curve for output power versus incident pump power

*山东省自然科学基金重点项目(编号:Z2003A01)资助

** Tel:0531-6182614 Email:jieliu@sdu.edu.cn

收稿日期:2004-05-13

明显. 在 $T = 10\%$ 、 20% 的情况下, 在 8 W 的注入功率下分别获得了 3.25 W 和 3.15 W 的连续波 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光输出, 斜效率分别达 45% 和 48% , 光-光转换效率分别为 40.6% 和 39.4% , 晶体的阈值功率分别为 0.8 W 和 1.53 W . 在 $T = 20\%$ 的情况下, 激光的输出功率和转换效率在整个泵浦功率范围内都低于 $T = 10\%$ 时的情况.

2 LD 抽运 $\text{Nd}:\text{Gd}_{0.12}\text{Y}_{0.88}\text{VO}_4/\text{KTP}$ 腔内倍频 532 nm 连续波激光器

LD 抽运全固态激光器腔内倍频是获得可见光波段激光光源的一个有效途径. LD 抽运 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 、 $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ 腔内倍频绿光激光器已成功实现运转. 作为一个有良好发展前景的新晶体, LD 抽运 $\text{Nd}:\text{Gd}_{0.12}\text{Y}_{0.88}\text{VO}_4/\text{KTP}$ 腔内倍频同样也是获得绿光激光器的有效途径^[11]. KTP 有效非线性系数大, 匹配允许角和允许温度比较大而走离角相对较小, 而且不易潮解, 破坏阈值高, 由于具有这些优点而成为目前最常用的倍频晶体之一.

实验装置仍采用图 1 的直线腔结构, 输出镜 M_2 为半径 100 mm 的凹面镜, 镀有 $1.06\ \mu\text{m}$ 高反膜和 532 nm 增透膜. 从既要使腔稳定, 又要减小腔长以减小损耗的角度出发, 选取腔长仍为 70 mm . KTP 作为倍频晶体采用 II 类相位匹配 ($\theta = 90^\circ$, $\varphi = 23.4^\circ$, @ $1.06\ \mu\text{m}$), 尺寸为 $3 \times 3 \times 5\text{ mm}^3$, 两端镀有 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 532 nm 增透膜.

图 3 为绿光输出功率与抽运功率的关系曲线, 可以看出, 泵浦阈值功率为 0.28 W , 在 8 W 的注入功率下, 单向获得连续波绿光输出 621 mW , 未出现饱和现象. 如果考虑 M_1 面未镀 532 nm 高反膜, 故应有相等功率从 M_1 端输出, 故绿光总输出功率应为 $621\text{ mW} \times 2 = 1242\text{ mW}$, 光-光转换效率为 15.52% . 转换效率不太高的原因主要是受装置的限制直线腔腔长较大, 使得衍射损耗增大, 基频 ($1.06\ \mu\text{m}$) 光在 KTP 晶体上的光斑较大, 从而导致转换效率降低, 缩短腔长有望获得提高转换效率. 激光输出模式为 TEM_{00} 模. 在 200 s 内激光输出功率抖动小于 3% .

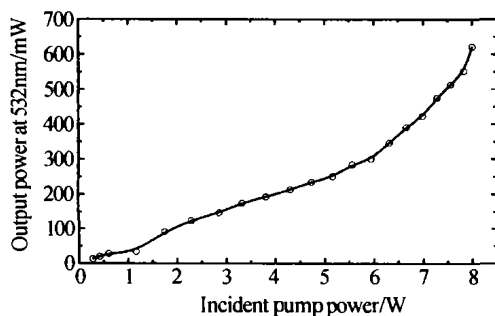


图 3 绿光输出功率随注入功率的变化曲线
Fig. 3 Curve for output power versus incident pump power

3 结论

实现了 LD 纵向端面抽运 $\text{Nd}:\text{Gd}_{0.12}\text{Y}_{0.88}\text{VO}_4$, 实现了稳定的连续波 $1.06\ \mu\text{m}$ $\text{Nd}:\text{Gd}_{0.12}\text{Y}_{0.88}\text{VO}_4$ 激光运转, 在 8 W 的注入功率下获得了 3.25 W 连续 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光输出, 斜效率达 45% , 光-光转换效率为 40.6% . KTP 腔内倍频实现了稳定的 532 nm 连续波单模绿色激光输出, 绿光最大单向输出 621 mW , 两端绿光输出总和 1242 mW , 光-光转换效率 15.52% . 由此可见, $\text{Nd}:\text{Gd}_{1-x}\text{Y}_x\text{VO}_4$ 作为一种新型晶体不但具有优良的脉冲激光性能, 而且作为连续波激光器的激光晶体也是一个较好的选择.

参考文献

- 1 He J L, Hou W, Zhang H L, et al. Continuous-wave output of 5.5 W at 532 nm by frequency doubling of an $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ laser. *Chin Phys Lett*, 1998, **15**(6): 418 ~ 419
- 2 李隆, 田丰, 赵致民, 等. LD 端面泵浦折叠腔 $\text{Nd}:\text{YVO}_4/\text{LBO}$ 激光器. 光子学报, 2004, **33**(4): 396 ~ 399
Li L, Tian F, Zhao Z M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(4): 396 ~ 399
- 3 Hou Xueyuan, Li Yufei, Sun Yuming, et al. LD pumped $\text{Nd}:\text{GdVO}_4/\text{KTP}$ intracavity-frequency-doubling laser. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 11 ~ 13
- 4 Liu J, Jia Y L, Yang J M, et al. Efficient diode-pumped passively Q -switched $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ lasers. *Chin Phys Lett*, 2002, **19**(12): 1808 ~ 1810
- 5 Liu J H, Shao Z S, Meng X L, et al. High-power cw $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ solid laser end-pumped by a diode-laser-array. *Opt Commun*, 1999, **164**: 199 ~ 202
- 6 Zhang H J, Liu J H, Wang J Y, et al. Characterization of laser crystal $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$. *J Opt Soc Am B*, 2002, **19**(1): 18 ~ 27
- 7 Shen D Y, Yang H R, Ueda K. Efficient and compact intracavity-frequency-doubled $\text{Nd}:\text{GdVO}_4/\text{KTP}$ laser end-pumped by a fiber-coupled laser diode. *Appl Phys B*, 2001, **72**: 263 ~ 266
- 8 Qin Lianjie, Meng Xianling, Cheng Ruifeng. Growth and properties of mixed crystal $\text{Nd}:\text{YGdVO}_4$. *Journal of Alloys and Compounds*, 2003, **354**(1-2): 259 ~ 262
- 9 Liu Junhai, Meng Xianlin, Weber Horst. Pulse energy enhancement in passively Q -switched operation with a class of $\text{Nd}:\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{VO}_4$ crystals. *Appl Phys Lett*, 2003, **83**(7): 1289 ~ 1291
- 10 Liu Junhai, Wang Zhengping, Meng Xianlin, et al. Improvement of passive Q -switching performance reached with a new Nd-doped mixed vanadate crystal $\text{Nd}:\text{Gd}_{0.64}\text{Y}_{0.36}\text{VO}_4$. *Opt Lett*, 2003, **28**(23): 2330 ~ 2332
- 11 Liu Jie, Peng Qianqian, Yang Jimin, et al. Diode-pumped $\text{Nd}:\text{Y}_2\text{Gd}_{1-x}\text{VO}_4$ crystal continuous-wave laser. *Chin Opt Lett*, 2004, **2**(1): 29 ~ 30

12 尚连聚. 端面抽运固体激光器的腔模匹配分析. 物理学报, 2003, 52(6):1408 ~ 1411

Shang L J. *Acta Physica Sinica*, 2003, 52(6):1408 ~ 1411

Experimental Study of Diode-pumped Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ Continuous Wave Laser

Yang Jimin, Liu Jie, He Jingliang

Shandong Normal University, College of Physics and Electronics, Jinan 250014

Received date:2004-05-13

Abstract A diode-pumped Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ continuous wave laser with the wavelength of 1.06 μm is reported. A very simple, compact flat-flat cavity was used. 3.25 W of output power at 1.06 μm was achieved at incident pump power of 8 W. The corresponding optical conversion efficiency of 41% and the average slope efficiency of 45% was obtained. The intracavity second harmonic generation (SHG) with an KTP crystal into the green spectral range at 532 nm were studied. 621 mW of single-ended cw green operation was obtained at 8 W of incident pump power.

Keywords Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄ crystal; Diode-pump; 1.06 μm laser; 532nm laser

Yang Jimin is an associated professor in College of Physics and Electronics, Shandong Normal University. His research interests include optoelectronics and electromunication.