

半导体激光泵浦的 Nd:YVO₄ 激光器的 1.064 μm 高效率连续输出*

金天峰 袁恽谦** 缪同群 孟红祥 翁志成 宣明 崔敦杰

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

摘 要 报道了半导体激光端面泵浦的 Nd:YVO₄ 激光器获得线偏振的 1.064 μm 激光高效率连续稳定输出。在半导体激光功率为 1.5 W 时, 获得连续输出功率为 837 mW 的 TEM₀₀ 模, 激光器泵浦阈值功率为 140 mW, 斜率效率达 61.5%, 光-光转换效率达 56%, 电-光转换效率达 15%。

关键词 固体激光器, Nd:YVO₄, 半导体激光

a 轴切割的掺钕钒酸钇(Nd:YVO₄)晶体在 1.064 μm 波长处的有效受激发射截面为 $15.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 是 Nd:YAG 晶体 4 倍左右^[1,2]。与相同掺 Nd 浓度的 Nd:YAG 晶体相比, Nd:YVO₄ 在 808 nm 波段的吸收系数要高近 5 倍, 吸收带宽也较宽。因此 Nd:YVO₄ 晶体十分适合作为半导体激光泵浦的全固体激光器的激光介质。

最近的文献[3]报道了用钛宝石激光和半导体激光泵浦单片 Nd:YVO₄ 晶体分别获得 495 mW 和 310 mW 激光输出, 斜率效率分别为 57% 和 42%。本文研究了半导体激光端面泵浦的 Nd:YVO₄ 激光器, 得到了稳定的基横模(TEM₀₀) 1.064 μm 激光输出, 最大连续输出激光功率为 837 mW、斜率效率为 61%、光-光转换效率为 56% 的实验结果。同时也分析讨论了提高半导体激光泵浦 Nd:YVO₄ 激光器效率的技术途径。

1 Nd:YVO₄ 激光器的结构

半导体激光端面泵浦的 Nd:YVO₄ 固体激光器的结构如图 1 所示。实验所用的半导体激光器阵列 2 (SDL-2372-P1 型) 在 25 ℃ 时的中心波长为 810 nm, 光谱宽度为 2.5 nm, 阵列发光面为 $1 \times 200 \text{ μm}$ 。垂直于 P-N 结方向的光束发射角 $\theta_{\perp} = 32^\circ$ (FWHM), 平行于 P-N 结方向的光束发射角 $\theta_{\parallel} = 8^\circ$ 。半导体激光的电源珍有一路电流恒流控制和一路温度控制功能, 温控精度为 0.1 ℃。半导体激光发射的中心波长可以通过温控调节到 Nd:YVO₄ 晶体的 808.7 nm 吸收峰位置上。

为了充分实现泵浦光与激光腔的模式匹配, 获得高效率的激光输出, 设计一套半导体激光光束传输系统, 包括激光束的准直 3、圆化整形 4 和会聚 5 三部分。准直系统的焦距为 7

* 国家科委 863 高科技项目及国家自然科学基金课题。

** 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031。

收稿日期: 1995 年 2 月 12 日; 收到修改稿日期: 1995 年 7 月 17 日

Fig 1 Experiment setup of diode pumped Nd:YVO₄ laser: 1: diode laser driver temperature controller; 2: laser diode; 3: collimating lenses; 4: anamorphic prisms; 5: focusing lenses; 6: Nd:YVO₄ crystal and input mirror on it; 7: output mirror; 8: power meter

mm, 数值孔径 NA 为 0.56。光束圆化整形系统由双棱镜对构成。会聚系统采用双胶合透镜设计, 焦距 42 mm。半导体激光光束经过整套光学系统后在 Nd:YVO₄ 晶体内会聚成一个接近圆形的光斑。泵浦光束传输系统的各光学元件表面都镀有 808 nm 增透膜, 总的光学传输效率约为 86%。

激光谐振腔采用平凹腔结构。a 轴方向切割的 Nd:YVO₄ 晶体 6 的掺钕浓度为 1 at%, 晶体尺寸为 3×3×2.5 mm, 通光方向长度 2.5 mm。为了降低腔内损耗, 减少元件数量, 把 Nd:YVO₄ 晶体的一面抛光成曲率半径为 600 mm 的球面, 作为输入腔面。在该面上镀对 1.064 μm 高反(反射率为 99.9%), 而对 808 nm 高透(透过率为 96%)的双色激光膜。晶体的另一面为平面, 上面镀有对 1.064 μm 反射率小于 0.1% 的增透膜。Nd:YVO₄ 晶体固定在具有良好热接触的铜支座上, 以降低 Nd:YVO₄ 晶体由于吸收光引起的热效应的影响。输出腔片 7 为一镀膜平行平片。这些低损耗激光膜均是自行设计与研制的。Nd:YVO₄ 激光器的腔长为 45 mm, 腔内基模的束腰半径 $w_0 = 185 \mu\text{m}$ 。

3 实验结果与分析

采用绝对辐射功率计 8 测定输入腔体的泵浦光功率和 1.064 μm 的激光输出功率。图 2 是实验测量的泵浦光在通过光束传输系统后的功率和半导体激光注入电流的关系曲线。在半导体激光的注入电流为 2.7 A 时, 泵浦光功率为 1.5 W, 这时半导体激光上的压降为 2.04 V, 即注入给半导体激光的电功率为 5.5 W。通过调节泵浦光的温度改变半导体激光的中心波长, 使它与 Nd:YVO₄ 晶体的吸收峰重合。测量出所用的 Nd:YVO₄ 晶体的 π 方向偏振的泵浦光的电吸收率 $\eta = 99.2\%$ 。采用透过率为 6%、12% 和 17% 的输出镜研究了 Nd:YVO₄ 激光器的激光输出功率与泵浦光功率之间的关系。采用 $T = 6\%$ 的耦合镜片, 在泵浦功率为 1.5 W 时, 得到激光输出 808 mW, 泵浦阈值 80 mW, 斜率效率 57%; 当采用 $T = 12\%$ 的输出镜片时, 在 1.5 W 泵浦下, 获得了连续 TEM₀₀ 模激光最大输出功率 837 mW, 激光泵浦阈值为 140 mW, 斜率效率为 61.5%, 如图 3 所示。激光输出是平行于 c 轴的线偏振光。

Fig 2 LD incident power versus driving current

Fig 3 Output power at 1.064 μm versus pump power at 808 nm

通过红外观察器可明显地看出激光输出远场光斑具有 TEM_{00} 模的空间分布。在距激光器 3 m 处用 $\Phi 150\ \mu\text{m}$ 针孔探测器通过光斑中心分别在水平、垂直方向进行一维扫描测量, 测出激光的光强分布有很好的 consistency, 如图 4 所示。表明输出激光是 TEM_{00} 模, 激光束远场发散角约为 2 mrad。另外用光截面测试系统(美国 Lasertest 公司)对输出光截面进行分析。在注入的泵浦功率

Fig. 4 Beam profile at 3 m from the output mirror

变化时, 激光输出都是 TEM_{00} 模。在泵浦功率为 950 mW, 激光输出 500 mW 时, 对 Nd:YVO₄ 激光器进行了 8 小时连续测量, 激光输出功率的稳定性每小时优于 1%。

结 论 通过设计高效率的泵浦光束传输耦合光学系统和激光谐振腔结构, 实现良好的泵浦光与激光基模的模式匹配, 采用具有低损耗的激光双色膜、减反膜和耦合镜, 选用低损耗的 Nd:YVO₄ 晶体减少腔内元件数目降低腔内损耗, 选择合适的输出耦合镜的透过率, 可以使半导体激光泵浦的 Nd:YVO₄ 固体激光器能够实现高效率基模激光输出。

用半导体激光泵浦 Nd:YVO₄ 激光器获得 837 mW 的 1.064 μm 激光 TEM_{00} 模稳定输出, 激光器的斜率效率高达 61.5%, 光-光转换效率达 56%, 电-光转换效率达 15%, 表明半导体激光泵浦的 Nd:YVO₄ 激光器是一种光束质量优良、输出稳定的高效率全固体激光器。

感谢郑红、杨华光、杭寅和李敢生同志的大力支持。

参 考 文 献

- [1] Perry Pappas Yaney, L. G. Deshzer, Spectroscopic studies and analysis of the states of Nd³⁺ in YVO₄ *J. Opt Soc Am.*, 1976, **66**(12)·1405~1414
- [2] N. P. Barnes *et al.*, Efficiency of Nd laser materials with laser diode pumping *IEEE. J. Quant Electron.*, 1990, **26**(3)·558~559
- [3] R. Scheps, J. F. Myers, G. Mizell, High-efficiency 1.06 μm output in a monolithic Nd:YVO₄ laser *Appl Opt*, 1994, **33**(24)·5546~5549

High Efficiency 1.064 μm Output in Diode Pumped Nd:YVO₄ Laser

Jin Tianfeng Yuan Yiqian* Miao Tongqun Meng Hongxiang
Weng Zhicheng Xuan Ming Chui Dunjie

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

(* Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

(Received 12 February 1995; revised 17 July 1995)

Abstract Laser diode end-pumped Nd:YVO₄ laser with high efficiency 1.064 μm laser output is reported. The CW laser output was TEM_{00} mode linear polarization. Up to 837 mW of output power was obtained with 1.5 W pumping power on Nd:YVO₄ crystal. Pumping threshold was 140 mW. The slope efficiency of the laser was 61.5% and total optical conversion efficiency was 56%. Electrical efficiency of 15% was obtained.

Key words solid state laser, Nd:YVO₄, diode pumped