

文章编号: 0253-2239(2003)01-50-03

激光二极管抽运掺钕钙铌镓石榴石 激光器的研究

马小涛 李瑞宁 来引娟 赵武丽
(山西大学电子信息系, 太原 030006)

徐观峰
(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 报道了连续激光器二极管(LD)端面抽运的 Nd: CNGG 非均匀加宽激光器。当吸收抽运功率为 675.5 mW 时, 最大 TEM₀₀ 模输出功率为 105.5 mW, 斜率效率为 21.2%, 光-光转换效率为 15.6%。随着抽运功率的增加, 三个中心波长实现振荡的次序为 1061.3 nm、1059.1 nm 和 1065.6 nm, 实现了三波长同时输出。

关键词: 激光物理; CNGG 晶体; 非均匀加宽; 激光二极管抽运

中图分类号: TN244; TN248.1 文献标识码: A

1 引 言

在大功率激光二极管抽运的固体激光器(DPL)中, 由于大功率激光二极管阵列和面阵具有很高的功率密度和较宽的光谱带宽, 因此希望激光晶体不仅仅具有优良的光学特性, 而且具有良好的机械特性和热特性, 还必须具有较宽的抽运吸收带。目前发展成熟的晶体中, Nd: YAG 各方面性能都很优越, 但抽运吸收带较窄, 与大功率激光二极管的光谱带宽较难匹配; Nd: YVO₄ 的吸收带比 Nd: YAG 宽, 但机械特性和热特性差, 不适于大功率激光二极管抽运的固体激光器; 钕玻璃虽然有很宽的抽运吸收带, 但机械性能和热特性更差, 无法连续大功率运转。近几年出现的 Yb: YAG 晶体具有上述晶体的全部优点, 但不足之处是准三能级系统, 需要更高的抽运功率密度, 因此寻找理想的激光晶体仍旧是大功率激光二极管抽运的固体激光器研究中的一个重要课题。钙铌镓石榴石晶体^[1-4] (简称 CNGG) 是探索中的一种新晶体, 虽然每一项指标都不很突出, 但兼具以上各种晶体的特点, 有很宽的吸收带, 在很宽的光谱范围内可以与大功率激光二极管匹配, 其很宽的增益线宽更适用于皮秒级超短脉冲激光器^[4]。

2 CNGG 晶体特性

CNGG 晶体属于立方晶系^[1,2], $I2_13-T^5$ 空间群结构, 晶体常量 $a = 12.5472$ 。两个 Ca²⁺ 和一个 Ga³⁺ 占据了三个 12b 位置, 另一个 12b 位置被 Ca²⁺ 按几率 0.865 占据, 使晶体中出现较多的空位; 一个 8a 位置被 Nb⁵⁺ 和 Ca²⁺ 分别按 0.9 和 0.1 的几率占据, 另一个 8a 位置被 Nb⁵⁺ 和 Ga³⁺ 分别按 0.71 和 0.29 的几率占据。

CNGG 晶体中可以掺 Cr³⁺、Nd³⁺、Tm³⁺ 和 Ho³⁺ 等杂质离子^[3]。Nd: CNGG 晶体导热率为 0.047 W/(cm·°C), 是 Nd: YAG 的三分之一, 接近 Nd: YVO₄ (0.05 W/(cm·°C))。由于 CNGG 晶体中 Nb⁵⁺、Ca²⁺、Ga³⁺ 离子排列的随机性, 掺杂 Nd³⁺ 离子的 CNGG 晶体与同属一个晶系的 Nd: YAG^[5,6] (空间群是 $Ia3d-O_h^{10}$) 相比, 吸收谱线大大加宽, 而荧光谱线出现非均匀加宽, 使得 Nd: CNGG 激光器表现出非均匀加宽特性。图 1 为 Nd: CNGG 晶体在 800 nm 波长附近的吸收光谱(a) 和 1000 nm 处的荧光光谱(b)。抽运吸收带中心吸收波长为 807 nm, 根据文献[3], 抽运吸收带宽(全峰半宽)约为 35 nm, 远大于 Nd: YAG 和 Nd: YVO₄; 由 $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ 跃迁所形成的荧光谱线宽度(全峰半宽)约为 14.7 nm, 远大于 Nd: YVO₄ (0.8 nm) 和 Nd: YAG (0.45 nm)^[7], 而接近钕玻璃。

E-mail: stephen.m@263.net

收稿日期: 2001-12-10; 收到修改稿日期: 2002-02-04

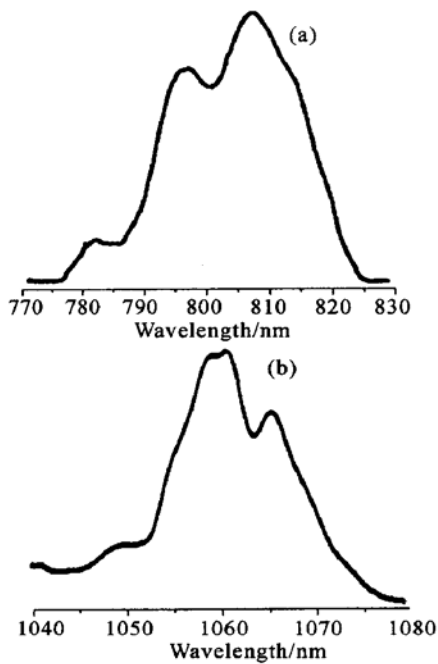


Fig.1 (a) Absorption spectrum and (b) Fluorescence spectrum in the 1000 nm region at room temperature

3 实验及讨论

实验装置如图 2 所示。谐振腔设计成平凹腔, 腔长 23 mm, 输出腔镜的曲率半径为 50 mm; 在 1062 nm 附近的透过率为 1%。CNGG 晶体的 Nd^{3+} 原子数分数为 0.025, 最大吸收系数为 6.97 cm^{-1} , 尺寸为 $\phi 5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, 一个端面对 1062 nm 增透, 反射率 $R \leq 0.2\%$, 另一端面镀双介质膜构成激光器的后腔镜, 对 1062 nm 高反, 反射率约为 99.7%, 同时对 807 nm 增透, 790~810 nm 范围的透过率约为 90%。抽运光源使用国产连续二极管激光器, 额定输出功率为 1 W 时中心波长为 804 nm, 通过直接耦合方式对 CNGG 晶体抽运, 通过改变激光二极管的工作温度来调节其波长。采用 WDG30 型光栅单色仪和 YEW3036X-Y 记录仪测量激光光谱。

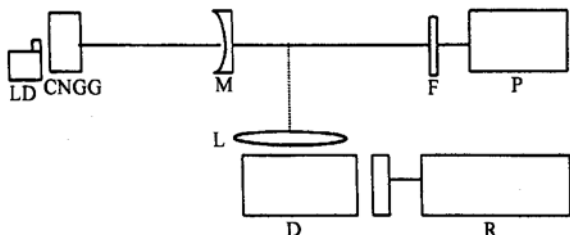


Fig. 2 A schematic diagram of CNGG laser. M: output mirror; P: power meter; L: convex lens; D: monochromator and PIN; R: x-y recorder; F: filter

如图 3 所示, 保持抽运波长 807 nm 不变, 当最大抽运功率为 1 W, 吸收抽运功率为 675.5 mW 时, 最大输出功率为 105.5 mW, 并推算出阈值为 200 mW, 斜率效率为 21.2%, 最大光-光转换效率为 15.6%。图 4 显示了抽运波长偏离中心对输出功率的影响。

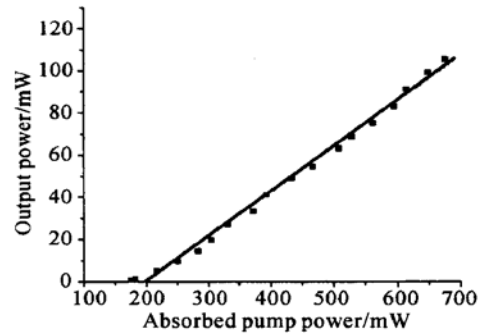


Fig. 3 Input-output characteristics at 807 nm pump wavelength

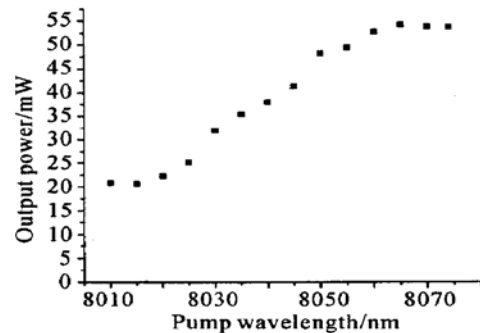


Fig. 4 Dependences of output power on pump wavelength with absorbed pump power of 506 mW

由于所使用的激光二极管波长偏短, 及温度控制仪的控温范围有限, 抽运波长只能在吸收带一侧变化, 但仍可以从 800 nm 调谐到 808 nm。保持抽运功率不变, 输出功率在吸收带边缘处下降约 60%。另外, 边缘处的阈值功率提高约 25%, 这一结果与钕玻璃^[7]相当。如果参考图 1 中的吸收谱, CNGG 激光器可利用的抽运波长范围约为 35nm, 这对于大功率激光二极管抽运是极为有利的。图 5 是激光输出的远场光强分布, 与 TEM_{00} 模的高斯分布基本上重合。

CNGG 与已知的非均匀加宽工作物质和均匀加宽工作物质的一个显著差别在于它可以在简单的谐振腔中实现多波长运转, 这将在一些需要多波长的研究中发挥重要作用。如图 6 所示, 随抽运功率增大, 在 1061.3 nm、1059.1 nm 和 1065.6 nm 处依次超过阈值, 最后三个波长同时振荡。显然, 三个波长的增益有所不同, 但抽运功率不变时, 三个波长的

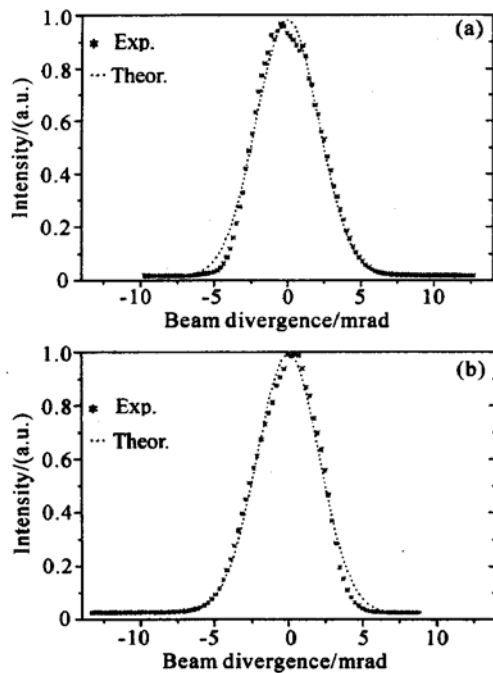


Fig. 5 Far-field intensity distribution of laser beam on (a) transverse and (b) longitudinal orientations

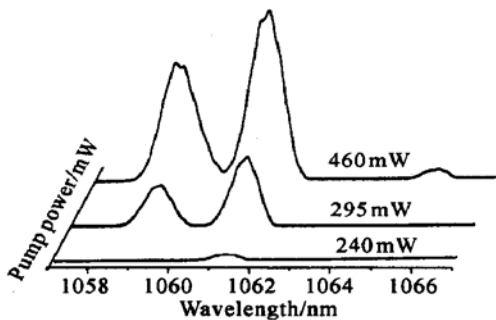


Fig. 6 Spectra of the laser outputs under different pump power

功率之比稳定,起伏约为 $\pm 1\%$ 。用钕玻璃的理论近似处理非均匀加宽工作物质^[8]的方法不能很好解释

CNGG 三波长同时运转现象。三波长运转原因可能与晶体中离子的随机分布有关,准确的解释有待进一步研究。

结论 我们对一块 Nd: CNGG 样品作了吸收光谱、荧光光谱以及激光二极管抽运的激光性能研究,在三个波长同时运转的状态下基模输出功率达 104 mW。若进一步改善晶体的光学质量并增大尺寸, CNGG 将是大功率激光二极管抽运的固体激光器和皮秒超短脉冲研究中的一个很有希望的晶体。

参 考 文 献

- 1 Ono Y, Shimamura K, Morii Y *et al.*. Structure analysis of a Ca-Nb-Ga garnet. *Physica (B)*, 1995, **213/214**(1): 420 ~ 422
- 2 Naito K, Yokotani A, Sasaki T *et al.*. Efficient laser diode-pumped neodymium-doped calcium-niobium-gallium garnet laser. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(36): 7387~ 7390
- 3 Shimamura K, Timoshechkin M, Sasaki T *et al.*. Growth and characterization of calcium niobium gallium garnet (Nd: CNGG) single crystals for laser applications. *J. Crystal Growth*, 1993, **128**(1~ 4): 1021~ 1024
- 4 Basiev T T, Es'kov N A, Karasik A Y *et al.*. Disordered garnet $\text{Ca}_3(\text{Nb, Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$ -prospective crystals for powerful ultrashort-pulse generation. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(3): 201~ 203
- 5 Kaminskii A A. *Laser Crystals* (激光晶体). Chen Changkang, Lin Zhongda Transl. Beijing: Science Press, 1981. 166~ 190 (in Chinese)
- 6 Koehn W. *Solid-State Laser Engineering*. 5th ed. Berlin: Springer Verlag, 1999. 48~ 64
- 7 Zhou Fuzheng, Zheng Guizheng, Shen Liqing *et al.*. Diode laser pumped Nd: glass laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1992, **12**(5), 385~ 389 (in Chinese)
- 8 Mermilliod N, Romero R, Chartier I *et al.*. Performance of various diode-pumped Nd: laser materials: Influence of inhomogeneous broadening. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1992, **28**(4): 1798~ 1186

Study on LD-Pumped Nd-Doped Ca-Nb-Ga Garnet Laser

Ma Xiaotao¹ Li Ruining¹ Lai Yinjuan¹ Zhao Wuli¹ Xu Guanfeng²

¹ Department of Electronics and Information Science, Shanxi University, Taiyuan 030006

² South-West Institute of Technical Physics, Chendu 610041

(Received 10 December 2001; revised 4 February 2002)

Abstract: An inhomogeneously broaden Nd: CNGG laser end-pumped by a CW laser diode was reported. At absorbed pump power of 675.5 mW. The maximum TEM₀₀-mode output power, slope efficiency and optical-to-optical conversion efficiency were 105.5 mW, 21.2% and 15.6%, respectively. It was shown that three wavelengths (1061.3 nm, 1059.1 nm and 1065.6 nm) reached thresholds orderly with increase of pump power, and simultaneous three-wave oscillation was obtained eventually.

Key words: laser physics; CNGG crystal; inhomogeneously broaden; LD-pumped