

激光二极管泵浦 Nd:LMA 激光器的连续波输出研究*

杨鸿儒 阎兴隆 王水才 任友来 常增虎

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

摘 要 报道用一个 3 W 激光二极管端面泵浦 Nd:LMA 激光器。实验采用三镜折迭像散补偿腔。在 1054 nm 波长, 激光器连续输出功率达 620 mW, 斜率效率为 50%, 光-光转换效率 20%。在 1083 nm 波长处, 激光器连续输出功率为 64 mW, 斜率效率为 6%, 光-光转换效率 2.1%。

关键词 二极管泵浦, 折迭腔, Nd:LMA 激光器。

1 引 言

激光二极管泵浦固体激光器具有体积小、效率高、稳定性好、寿命长等优点, 从而得到迅速发展和广泛应用。Nd:LMA 晶体由于其掺杂浓度高、上能级寿命长、荧光谱线宽, 特别适合于制成高储能的调 Q 器件和锁模超短脉冲激光器, 因而自从法国的 Kahn^[1]发明该晶体以来, 对该晶体的研究受到广泛重视^[2-4]。另外 Nd:LMA 晶体在 798 nm 处有一个强的宽吸收带, 非常适合用激光二极管泵浦。

本文报道用激光二极管端面泵浦的三镜折迭腔 Nd:LMA 激光器分别工作在 1054 nm 和 1083 nm 波长处的基模连续波输出特性。

2 连续 Nd:LMA 激光器的实验系统

2.1 泵浦系统

实验所用的泵浦源为美国 SDL 公司生产的 3 W 激光二极管(SDL-2342-P1)。调节温度使其输出波长为 798 nm 与 Nd:LMA 晶体的强吸收峰位置匹配。实验装置如图 1 所示。

泵浦系统由元件 L₁~L₃ 组成。L₁ 为高数值孔径(NA>0.5)复合透镜, 用于最大限度耦合激光二极管的输出; L₂ 是焦距为 35 mm 的柱面镜, 用于校正二极管输出的像散; L₃ 是聚焦透镜, 焦距为 25 mm。各元件均镀 800 nm 增透膜, 泵浦系统总的耦合效率为 80%。利用二维 CCD 测得该泵浦系统的光斑最小可聚焦到 130 μm×40 μm。为了能得到稳定基模的高效输出, 在晶体内泵浦光斑的尺寸应小于腔内基横模尺寸。

2.2 腔及晶体的设计

* 中国科学院西安光学精密机械研究所所长基金和瞬态光学技术国家重点实验室基金资助。

收稿日期: 1996 年 7 月 6 日; 收到修改稿日期: 1997 年 1 月 13 日

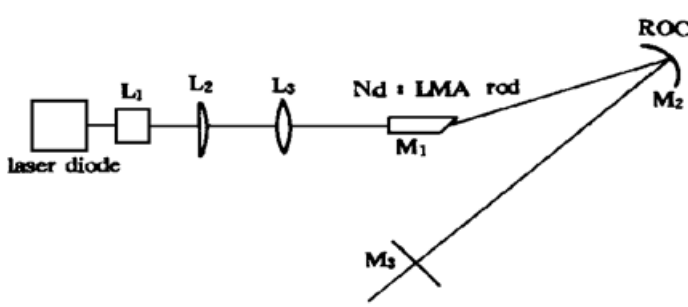


Fig. 1 Experimental setup of diode end-pumped Nd : LMA laser

实验使用的晶体掺杂浓度为 10 at%，尺寸 $\varnothing 5 \times 9$ mm。采用三镜折迭像散补偿腔。在图 1 中， M_1 为棒的平面端，镀双色膜，对 798 nm 泵浦光增透 ($T > 95\%$)，对激光波长高反 ($R > 99.9\%$)；棒的另一端切成布儒斯特角且镀增透膜。晶体沿 C 轴切割，有利于 σ 偏振吸收^[3]。激光介质的吸收系数为 2 cm^{-1} ，介质损耗为 0.019。用离轴工作的凹面镜 M_2 来补偿棒布儒斯特角引入的像散。补偿角为 5.6° 。凹面镜 M_2 的曲率半径 390 mm，增益介质到 M_2 的距离为 0.24 m，腔长 0.95 m。棒内基模腰斑为 $195 \mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$ 。 M_3 为楔形输出耦合镜。

补偿角为 5.6° 。凹面镜 M_2 的曲率半径 390 mm，增益介质到 M_2 的距离为 0.24 m，腔长 0.95 m。棒内基模腰斑为 $195 \mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$ 。 M_3 为楔形输出耦合镜。

3 实验结果与分析

在 1054 nm 波长处，输出镜最佳耦合率为 8%，连续激光阈值 1.8 W，最大输出功率 620mW，

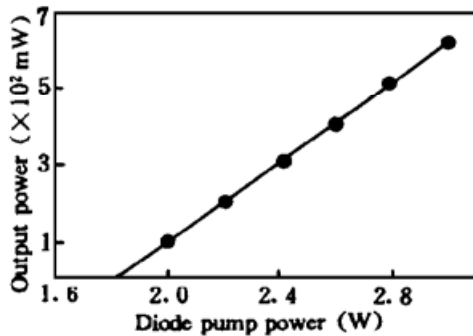


Fig. 2 Output power of Nd : LMA laser at 1054 nm versus pump power at 798 nm

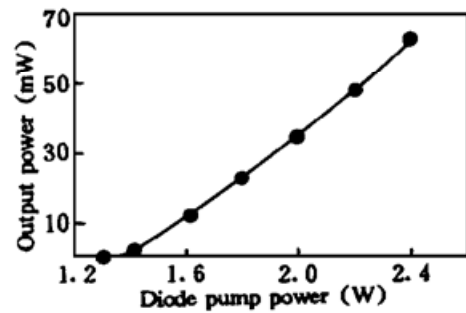


Fig. 3 Output power of Nd : LMA laser at 1083 nm versus pump power at 798 nm

斜效率 50%，光-光转换效率 20%。实验结果见图 2。为了获得 1083 nm 波长连续激光输出，输出耦合镜对 1054 nm 高透 ($T > 80$)，对 1083 nm 波长的最佳耦合率为 2%，以抑制 1054 nm 波长激光振荡，另外在腔内加入 1 mm 厚非镀膜的熔融石英标准具精确调谐使激光器工作在 1083 nm 波长。连续激光阈值 1.3 W，最大输出功率 64 mW，斜率效率 6%，光-光转换效率 2.1%。实验结果见图 3。利用激光烧蚀方法测量激光器输出的基模光斑，结果见图 4。用 1/2 米光栅光谱仪测得 1054 nm 和 1083 nm 输出激光线宽分别为 0.15 nm 和 0.04 nm。通过测量近场及远场光斑法测量光束发散角为 0.45 mrad。

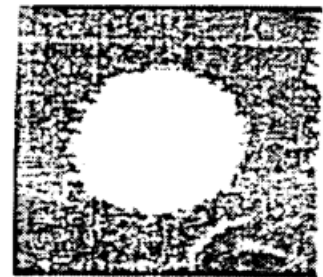


Fig. 4 Output pattern of fundamental mode

4 阈值泵浦功率

由文献[5]给出阈值泵浦功率的计算公式为：

$$P_{th} = \delta h\nu_p A / \eta_p 2\sigma\tau$$

式中， $h\nu_p$ 为泵浦光子能量， δ 为双程损耗， τ 为荧光寿命。A 为平均有效泵浦截面： $A =$

$(\pi/2)(\overline{w_i^2} + \overline{w_p^2})$, $\overline{w_p^2}$ 和 $\overline{w_i^2}$ 分别是泵浦光束和腔基模沿晶体长度方向的平均截面值。 η_p 为总泵浦效率: $\eta_p = \eta_c \eta_l \eta_q \eta_a f_b$, η_c 为泵浦系统效率, η_l 为双色膜端对纵向泵浦光的透过率, η_q 为量子效率, η_a 为固体介质吸收率, f_b 为上能级占据比。

在计算中取: $\sigma = 4 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\nu_p = 3.76 \times 10^{14} \text{ Hz}$, $\tau_1 = 310 \mu\text{s}$, $\eta_c = 0.8$, $\eta_l = 0.05$, $\eta_q = 1$, $\eta_a = 0.84$, $f_b = 0.427$ 。

对于 1054 nm 波长的连续激光, 双程损耗 δ 取 0.109, 计算得到的泵浦阈值功率为 1.78 W, 与实验得到的泵浦阈值功率基本符合。对于 1083 nm 波长的连续激光, 双程损耗 δ 取 0.078, 计算泵浦阈值功率为 1.25 W, 与实验得到的泵浦阈值功率相比偏低。原因是在理论计算中认为泵浦光束在介质中与振荡基模完全匹配, 实际上泵浦光束的相干性比较差, 焦斑处存在色散。另外为实现在 1083 nm 波长振荡, 在腔内引入选模标准具, 增加了腔内损耗。

结 论 采用高掺杂浓度的 Nd : LMA 晶体和三镜色散补偿腔, 分别实现了 1054 nm 和 1083 nm 波长的基模激光输出。当激光器工作在 1054 nm 波长时, 最大输出功率达 620 mW, 斜率效率为 50%, 光-光转换效率为 20%。当工作在 1083 nm 波长时, 激光器的输出功率为 64 mW, 斜率效率为 6%, 光-光转换效率 2.1%。

感谢陈国夫主任给予的大力支持。

参 考 文 献

- [1] A. Kahl, A. M. Lejus, M. Madsac *et al.*, Preparation, structure, optical and magnetic properties of lanthanide aluminate single crystals (LnMAl₁₁O₁₉). *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**(11) : 6864~ 6869
- [2] L. D. Schearer, M. Leduc, D. Vivien *et al.*, LNA : A new CW Nd laser tunable around 1.05 μm and 1.08 μm . *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, **22**(5) : 713~ 717
- [3] T. Y. Fan, M. R. Kokta, End-pumped Nd : LaF₃ and Nd : LaMgAl₁₁O₁₉ lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, **25**(8) : 1845~ 1849
- [4] 张秀荣, 张新民, 徐军等, 灯泵浦的 La_{1-x}MgNd_xAl₁₁O₁₉ 的激光特性. *中国激光*, 1992, **19**(7) : 496~ 498
- [5] 金振国, 陆江, 黄肇明等, 激光二极管泵浦 Nd : LMA 固体激光器. *激光杂志*, 1994, **15**(3) : 97~ 101

Study on CW Output of Diode Pumped Nd : LMA Laser

Yang Hongru Yan Xinglong Wang Shuicai
Ren Youlai Chang Zenghu

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

(Received 6 July 1996; revised 13 January 1997)

Abstract A 3 W diode end-pumped Nd : LMA laser operating at 1054 nm and 1083 nm, respectively, is reported. The output power of 620 mW with slope efficiency of 50% and total optical efficiency of 20% at 1054 nm and the output power of 64 mW with slope efficiency of 6% and total optical efficiency of 2.1% at 1083 nm are obtained by three-mirror folded astigmatism compensation cavity.

Key words LD pump, folded cavity, Nd : LMA laser.