

## LD 侧泵 Nd : YAP 连续红外激光器

钱金宁, 刘涛, 孙桂侠, 李嘉强, 张晓卫, 张志忠

(核工业理化工程研究院, 激光技术研究所, 天津 300180)

**摘要:**报道了激光二极管(LD)五阵列侧面泵浦 Nd : YAP 平平腔结构的 1342 nm 波长固体激光器实验研究。在 LD 泵浦功率为 700 W 时, 获得了 132.2 W 的平行于晶体 c 轴线偏振的连续 1342 nm 输出光, 光光转换效率为 19%, 斜效率为 29%, 1 h 功率抖动优于 0.73%。测量了输出激光的峰值波长和线宽, 输出激光线宽半高宽为 10 GHz。

**关键词:**LD 侧泵; Nd : YAP; 连续 1342 nm 红外光; 平平腔

**中图分类号:**TN 248.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.09.11

## Diode-side-pumped Nd : YAP high power cw laser

QIAN Jin-ning, LIU Tao, SUN Gui-xia, LI Jia-qiang, ZHANG Xiao-wei, ZHANG Zhi-zhong

(Research Institute of Laser Technology, Research Institute of Physical and Chemical Engineering of Nuclear Industry, Tianjin 300180, China)

**Abstract:** A linearly polarized CW diode-side-pumped Nd : YAP laser at 1342 nm is reported. Performances of the laser with different output couplers were studied, and a c-axis polarized laser with the cw output power of 132.2 W was obtained with a pumping power of 700 W. Slope efficiency of 29% and optical conversion efficiency of 19% were obtained, and the laser linewidth is about 10GHz, the laser power stability is better than 0.73% for one hour.

**Key words:** diode-side-pumped; Nd : YAP; 1342nm cw laser; plane laser resonator

### 1 引言

1342 nm 波段的激光由于具有在光纤传输中损耗低、近零色散、并且水对该波段激光的吸收较大等特点, 在光纤通讯、视频显示、激光彩色全息、激光美容及医疗、科学研究等领域有着广泛的应用前景<sup>[1-7]</sup>, 同时还可倍频做成红光激光器, 因此 1342 nm 波段的固体激光器日益受到人们的重视。凌铭在文献[7]中采用双氩灯泵浦 Nd : YAP 获得了 195 W 的连续 1342 nm 输出光。朱海永等<sup>[1]</sup>人用 LD 侧面泵浦 Nd : YAP 晶体获得了 121 W 的连续 1342 nm 输出光。

本文介绍了 LD 五阵列侧面泵浦 Nd : YAP 平平腔结构的 1342 nm 波长固体激光器实验研究。在平均 LD 泵浦功率为 700 W 时, 获得了 132.2 W 的红外连续输出光, 光光转换效率为 19%, 斜效率为 29%, 一小时功率抖动优于 0.73%。测量了输出激光的光谱特性——峰值波长和线宽, 输出激光线宽约为 10 GHz。

### 2 实验结构设计

图 1 为 LD 侧面泵浦 Nd : YAP 激光器的实验装置图。激光谐振腔采用平平腔型, 由平面全反镜  $M_1$  和平面输出镜  $M_2$  组成, 为了获得不同的腔长与激光器稳定性及输出功率的关系, 两镜分别置于一维导轨上。全反镜  $M_1$  对 1342 nm 高反, 而对 1079 nm 透过率大于 95%。输出耦合镜镀对 1342 nm 激光半反射膜。

激光棒采用捷克 CRYTUR 公司的 Nd : YAP 晶体棒, 在掺杂浓度的选择上, 因为掺杂浓度高, 吸收效率高, 反转粒子数就高, 激光器的效率也高, 但浓度太高时, 会出现激光猝灭现象, 激光器的效率反而降低<sup>[7]</sup>。综合考虑, 选用掺杂浓度为 0.9at% 的

作者简介: 钱金宁(1966-), 女, 研究员, 大学本科, 主要从事激光技术研究。

收稿日期: 2013-02-18; 修订日期: 2013-03-05

Nd : YAP晶体棒, b 向切割,  $\phi 5 \times 100$  mm。为了抑制 1079 nm 波长光在晶体内的自激振荡而获得 1342 nm 的波长,对 Nd : YAP 晶体的两端面镀有对波长 1342 nm 和 1079 nm 激光增透膜,通过腔镜镀膜形成 1342 nm 振荡输出。

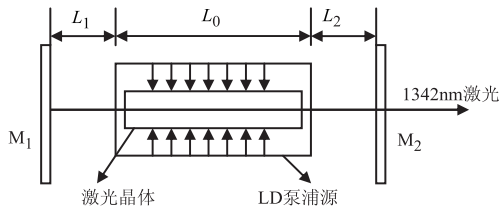


图1 平行平面腔 LD 侧泵激光器结构示意图

泵浦源采用自行设计的均布五阵列 LD 泵浦源——包括泵浦头、控制电源和水冷机三部分。泵浦头是由五个半导体阵列条按  $72^\circ$  均匀分布,直接耦合,不经光学聚焦系统,直接经玻璃套管冷却水传输到 Nd : YAP 晶体内,构成泵浦耦合系统,每组 LD 阵列的有效长度为 100 mm,功率 200 W,所以泵浦源的最高总功率为 1000 W,如图 2 所示。

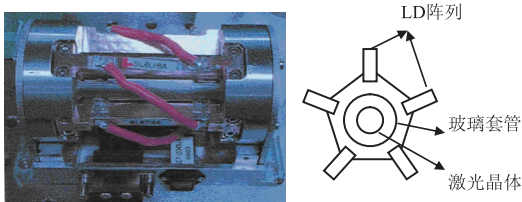


图2 五阵列 LD 模块及其横截面示意图

激光介质吸收泵浦光,一部分转化为振荡激光,另一部分变成热能沉积在晶体内部,形成激光晶体的热效应。激光晶体的热效应主要包括热透镜效应、热致双折射效应和热致退偏效应,它们是影响全固态激光器输出功率和光束质量的重要因素之一。实验测量激光晶体的热效应结果如图 3 所示,由实验结果可以看到,当泵浦功率由 330 W (17 A) 增加到 650 W (33 A) 时,热焦距由 240 mm 缩短到 90 mm,变化迅速。因此在激光器设计时要充分考虑到激光晶体的热效应。

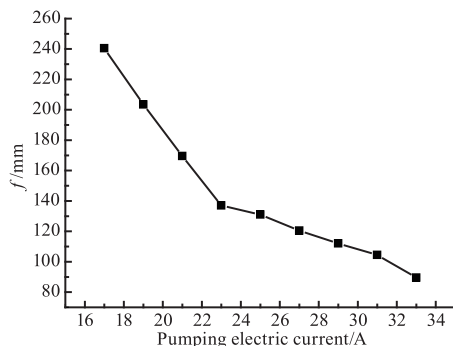


图3 Nd : YAP 晶体的热焦距与泵浦电流的关系

### 3 实验结果

根据激光理论,激光的输出功率对特定的透过率存在最大值。实验中分别采用不同透过率 ( $T = 4\%$ ,  $T = 10\%$ ) 的输出镜,腔长为 196 mm ( $L_1 = L_2 = 40$  mm) 对称型,得到输出功率与透过率之间的关系图,如图 4 所示。由图 4 中可以看到,采用了  $T = 4\%$  的输出镜,更容易得到比较高的输出功率,阈值降低。

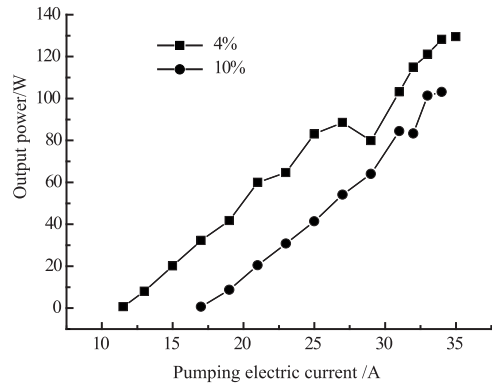


图4 不同输出镜透过率情况下,激光输出功率与泵浦电流的关系

当采用透过率为 4% 的输出镜时,得到激光最高输出功率达到 132.2 W,对应泵浦功率为 700 W,光光转换效率为 19%,斜效率为 29%。

由图 4 中可看出,对于透过率为 4% 的输出镜,激光功率随着泵浦电流上升,先是逐渐上升,到 27 ~ 29 A 附近有一个功率波动区域,然后再继续上升,在凹陷区域的泵浦电流下,激光器表现的很不稳定,随着泵浦电流增加,功率增幅很小,甚至小幅下降,功率上下起伏,同时,光斑也表现出时隐时现的不规则形状。为此,我们采用光谱仪对激光光谱进行监测,发现在此区域内出现了模式竞争。如图 5 所示。

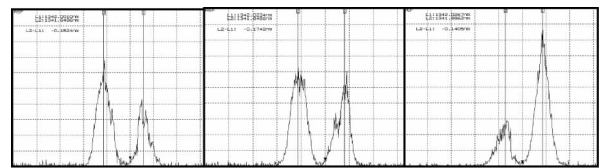


图5 激光器腔模竞争情况

图 6 中给出了输出镜透过率均为 4%,腔长分别为 196 mm ( $L_1 = L_2 = 40$  mm)、206 mm ( $L_1 = L_2 = 45$  mm)、216 mm ( $L_1 = L_2 = 50$  mm) 情况下,激光功率与泵浦电流之间的关系,由于激光晶体的热效应影响,腔长较长时,泵浦功率高时输出功率反而有所下降。

采用 NOVA II 功率计,对功率输出的稳定性进行监测,图 7 为泵浦电流为  $I = 34.3$  A 时,监测波长 1342 nm 激光功率 1h 内的抖动情况。期间最大功率 125.1 W 最小功率 123.4 W 平均功率 124.2 W,1 小时内的功率抖动最大小于 0.73%。

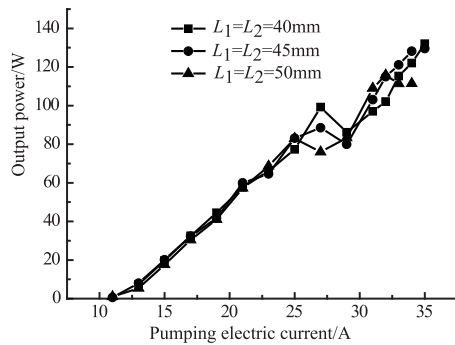


图 6 不同腔长下,激光功率与泵浦电流的关系

采用 YOKOGAWA 公司的 AQ6370C (600 ~ 1700 nm) 光纤光谱仪对输出激光的光谱特性进行了测量,中心波长为 1342 nm,全谱宽为 20 GHz 左右,半高宽在 10 GHz 左右。

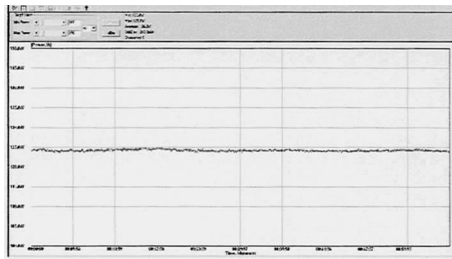


图 7 1342 nm 激光功率稳定性 1 h 监测

#### 4 结 论

本文采用 LD 五阵列侧面泵浦 Nd : YAP 平平腔的谐振腔结构,实验研究了连续 1342 nm 红外激光器。在平均抽运功率为 700 W 时,获得了 132.2 W 的红外连续输出光,光光转换效率为 19%,斜效率为 29%,1 h 功率抖动优于 0.73%。测量了输出激光的光谱特性——峰值波长和线宽,输出激光半高宽 10 GHz。

#### 参考文献:

[1] Zhu Haiyong, Zhang Ge. High-power CW diode-side-pumped Nd : YAP laser at 1341.4 nm [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2006, 18(9): 1413 - 1416. (in Chinese)

朱海永,张戈. 高功率连续侧面泵浦 1341.4 nm Nd : YAP 激光器 [J]. 强激光与粒子束, 2006, 18(9): 1413 - 1416.

[2] Zhang G, Shen H Y, Zeng R R, et al. The study of 1341.4 nm Nd : YAlO<sub>3</sub> laser intracavity frequency doubling by LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> [J]. Opt Commun, 2000, 183: 461 - 466.

[3] Bi Yong, Sun Zhipei, Li Ruining, et al. High power blue Nd : YAG laser by intracavity summing frequency [J]. Optics and Precision Engineering, 2005, 13(1): 16 - 21. (in Chinese)

毕勇,孙志培,李瑞宁,等. 高平均功率腔内和频蓝光 Nd : YAG 激光器 [J]. 光学精密工程, 2005, 13(1): 16 - 21.

[4] Luo Yu, Li Ying, Pan Qing, et al. High output and high stability extracavity-frequency-doubled Nd : YAP/KTP laser [J]. Acta Sinica Quantum Optica, 2004, 10(z1): 16. (in Chinese)

罗玉,李莹,潘庆,等. 高输出高稳定外腔谐振倍频 Nd : YAP/KTP 激光器 [J]. 量子光学学报, 2004, 10(增刊): 16.

[5] Chen Ming, Shen Hongyuan, Ye Qing, et al. The clinical study of treating hemangioma and vascular malformation in the otorhinolaryngeal and head neck area by means of 1341 nm Nd : YAP laser irradiation incision [J]. Chinese Journal of Ophthalmology and Otolaryngology, 2002, 06: 352 - 354, 357. (in Chinese)

陈明,沈鸿元,等. 1341 nm Nd : YAP 激光切除头颈部血管瘤和血管畸形的临床研究 [J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2002, 06: 352 - 354, 357.

[6] Zhou Y P, Zeng R R, Yu G F, et al. Laser action of Nd : YAlO<sub>3</sub> at 1300 nm [J]. J Appl Phys, 1991, 70(6): 3373 - 3374.

[7] Ling Ming. Researches of laser diode side-pumped Nd : YAP blue laser [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009, 12: 25. (in Chinese)

凌铭. 半导体侧面泵浦 Nd : YAP 蓝光激光器研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2009, 12: 25.