

二极管直接抽运 Nd:LGS 激光器

王庆¹ 魏志义¹ 王兆华¹ 李德华¹ 张治国¹ 张怀金² 王继扬² 杨军红³ 麻云凤³

¹ 中国科学院物理研究所光物理重点实验室, 北京 100190

² 山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100; ³ 北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100192

摘要 利用 885 nm 激光二极管直接抽运 Nd:LGS 实现了 1.47 W 的 1.06 μm 激光输出, 光-光转换效率为 17.9%, 斜率效率为 21.4%, 光束质量因子 M^2 在 x 和 y 方向分别为 1.10 和 1.12。实验说明了 Nd:LGS 是一种优质的适于直接抽运的激光晶体。

关键词 激光器; 全固态激光器; 激光二极管直接抽运; Nd:LGS 晶体

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201340.0502005

Nd:LGS Laser Directly Pumped by Diode

Wang Qing¹ Wei Zhiyi¹ Wang Zhaohua¹ Li Dehua¹ Zhang Zhiguo¹

Zhang Huaijin² Wang Jiyang² Yang Junhong³ Ma Yunfeng³

¹ Key Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

² State Key Laboratory of Crystal Material, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China

³ Beijing GK Laser Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China

Abstract A 1.47 W 885 nm diode-pumped Nd:LGS laser at 1.06 μm is demonstrated by using a high quality Nd:LGS crystal. A corresponding optical-to-optical efficiency of 17.9%, the maximum slope efficiency of 21.4%, and a beam quality factor M^2 of 1.10 and 1.12 for x direction and y direction are obtained, respectively. The experimental results show that Nd:LGS is an excellent crystal for direct pumping.

Key words lasers; all-solid-state laser; direct diode pumping; Nd:LGS crystal

OCIS codes 140.3530; 140.3580; 140.5560

1 引言

近年来,随着激光二极管(LD)性能的不断改进,LD直接抽运晶体的全固态激光器受到了人们的广泛关注,成为高效率、低成本、实用化程度高的新一代固态激光光源,其中以掺钕晶体作为增益介质的激光器有着广泛应用前景。然而在利用传统的 808 nm 附近吸收带抽运增益晶体的激光器中,由于二极管抽运过程中无辐射跃迁的存在会产生大量的热,严重影响了激光能量的输出和输出光束的质量,严重制约了高功率全固态激光器的发展。抽运波长造成的量子亏损是影响晶体热效应的重要原因之

一,直接抽运技术可以减少晶体热效应给抽运光束质量带来的问题。

利用 885 nm 二极管直接将激活离子从基态抽运到激光上能级可以有效地减少无辐射跃迁过程带来的热量,从而获得较高质量的激光输出^[1~5]。但由于直接抽运技术对于 Nd 离子的吸收截面积很小,因此寻找一种适于二极管直接抽运的晶体也就显得十分重要,要求晶体在 885 nm 附近有较强的吸收,晶体有优良的激光性能。Nd:LGS($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$)就是这样一种优良的多功能激光增益晶体,它在 881.6 nm 处吸收系数为 1.37 cm^{-1} ,是在 809 nm 处吸收系数

收稿日期: 2012-12-01; 收到修改稿日期: 2013-02-01

基金项目: 国家 863 计划(2011AA030205)和国家自然科学基金(11174361,10874237)资助课题。

作者简介: 王庆(1985—),男,博士研究生,主要从事二极管抽运的新型全固态超快激光产生方面的研究。

E-mail: qingwang@iphy.ac.cn

导师简介: 魏志义(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事超强超短脉冲激光及新型全固态激光等方面的研究。

E-mail: zywei@iphy.ac.cn(通信联系人)

(3.77 cm^{-1})的36%，图1给出了Nd:LGS晶体的吸收光谱。Nd:LGS具有很高的激光破坏阈值，并且已经在808 nm抽运下实现了瓦级的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光输出^[6]，并被应用于光波导器件^[7]，证实了其优异的激光性能。本文利用885 nm二极管抽运Nd:LGS实现了1.47 W的高光束质量的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光输出。

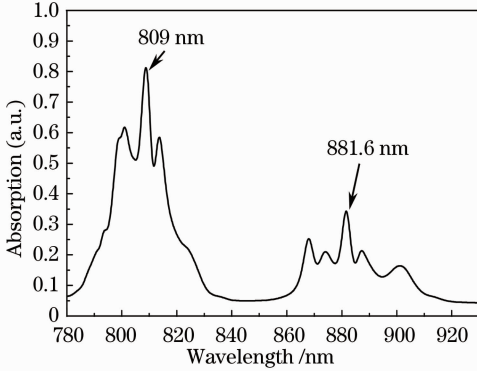


图1 Nd:LGS晶体的吸收光谱

Fig. 1 Absorption spectrum of Nd:LGS crystal

2 实验装置

研究了Nd:LGS晶体在885 nm直接抽运下的连续输出性能，实验装置如图2所示。实验中抽运源为数值孔径0.22、 $400\text{ }\mu\text{m}$ 光纤耦合输出、中心波长882 nm的二极管激光器。通过一个2:1的聚焦模块成像到Nd:LGS晶体内。激光谐振腔为平凹腔结构，平面镜为双色镜，对800~970 nm透射率大于95%，对1020~1200 nm反射率大于99.8%，输出镜的曲率半径(R_c)为80 mm，谐振腔的长度为22 mm，采用2%和6%两种不同的输出耦合率的输出耦合镜(OC)进行实验。增益晶体Nd:LGS的掺杂浓度为1% (粒子数分数)，切割方向为z向，尺寸为 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ ，晶体在1064 nm处的有效发射截面为 $3.7\times 10^{-20}\text{ cm}^2$ 。晶体两个同光面均被抛光并且镀有1064 nm(反射率 $R<0.1\%$)高反(HR)膜和808、885 nm波段($R<2\%$)的宽带增透(HT)膜。为了有效冷却晶体，将晶体用铜箔包裹后夹持在紫铜热沉上。实验过程中使用循环水系统对紫铜晶体夹冷

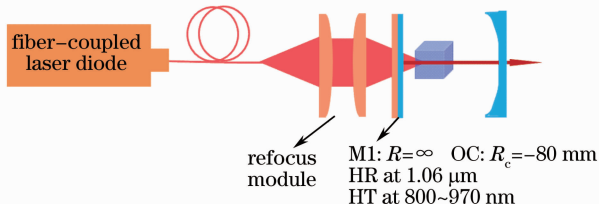


图2 Nd:LGS激光实验装置图

Fig. 2 Experimental setup of Nd:LGS laser

却，水温维持在 $12\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

3 实验结果与讨论

随着LD输出功率的增加，输出激光的波长会向长波方向漂移，由于Nd:LGS晶体直接抽运吸收带的主吸收峰在882 nm处，因此实验中将LD的温度控制在 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 以更好地与晶体的吸收峰重合，最大功率运转时输出光谱的中心波长约为883 nm，光谱宽度约为5 nm。

在8.2 W吸收抽运光功率下，最高得到了1.47 W的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光输出，光-光转换效率为17.9%，斜率效率为21.4%。输出功率随输入功率的变化曲线如图3所示，插图显示出在2%输出耦合率下实现1064.5 nm和1067.1 nm双波长输出，以及6%输出耦合率下1066.7 nm单波长输出。这是由于在2%的输出耦合率情况下1064 nm和1067 nm两个波长具有近似的激光阈值，在抽运光足够强且反转粒子数足够多，并且同时高于两个波长激光阈值的情况下，两个波长会同时输出并实现激光振荡；而在6%的输出耦合率情况下，1067 nm的阈值低于1064 nm的阈值，导致最终1067 nm竞争占据了优势，不再出现双波长输出。如图4所示，利用Spiricon公司的M2-200s-FW激光光束诊断仪测出在输出功率1.47 W时，光束质量因子 M^2 在x和y方向分别为1.10和1.12，而在808 nm抽运下同样的腔型输出1.5 W时 M^2 因子在x和y方向分别为1.72和1.78，体现出了直接抽运可以较好地减少热量对光束质量的影响。图4中插图给出了

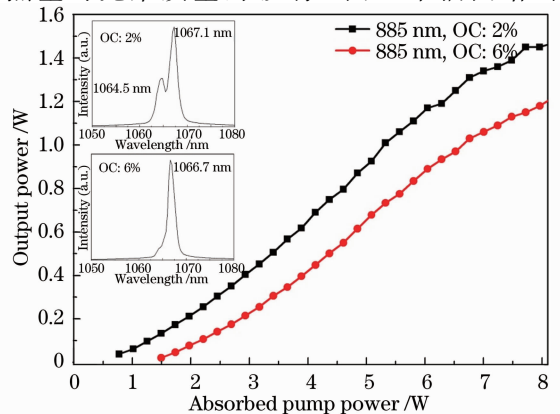


图3 直接抽运下，连续运转时的输入输出功率曲线，插图分别为不同输出耦合率下的激光光谱

Fig. 3 Output power versus absorbed pump power under CW running and direct pumping, the insets are laser spectra with different coupling efficiencies

885 nm 直接抽运下输出 1.47 W 时的 CCD 光斑图。

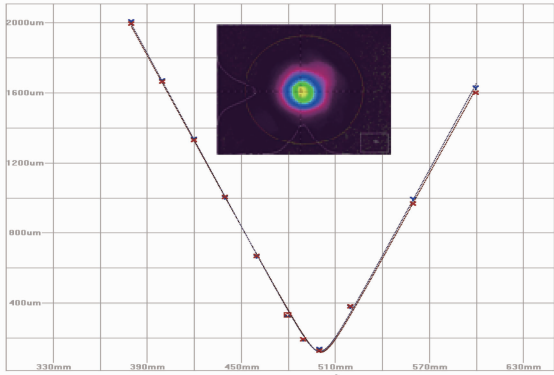


图 4 Nd:LGS 输出激光的 M^2 因子测量结果

Fig. 4 Measured beam quality factor M^2 of Nd:LGS laser

4 结 论

利用 882 nm 二极管激光器直接抽运掺杂浓度为 1% 的 Nd:LGS 晶体, 实现了 1.47 W 的 $1.06 \mu\text{m}$ 激光输出, 光-光转换效率为 17.9%, 斜率效率为 21.4% 在最高输出 1.47 W 时, 光束质量因子 M^2 在 x 和 y 方向分别为 1.10 和 1.12, 与 808 nm 抽运情况比较可见, 通过直接抽运方式有效地改善了输出激光的光束质量。实验说明了 Nd:LGS 是一种优质的适于直接抽运的激光晶体, 在激光放大等方面有着很好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Li Xudong, Yu Xin, Jin Fengwen *et al.*. Performance improvement of Nd:GdVO₄ laser under 879 nm direct pumping [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(12): 1629~1633
李旭东, 于欣, 金凤文等. 879 nm 直接抽运提高 Nd:GdVO₄ 激光器性能[J]. *中国激光*, 2007, **34**(12): 1629~1633
- 2 He Kunna, Wei Zhiyi, Zhang Zhiguo *et al.*. Overview on laser diode pumped solid-state laser with direct pumping scheme[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1679~1685
何坤娜, 魏志义, 张治国等. 全固态激光直接抽运技术的发展和研究现状[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1679~1685
- 3 Lu Bin, Yang Feng, Ma Nan *et al.*. 885 nm diode pumped Nd:YAG laser[J]. *Laser Technology*, 2008, **32**(6): 582~583
陆斌, 杨峰, 马楠等. 885 nm 抽运 Nd:YAG 激光器[J]. *激光技术*, 2008, **32**(6): 582~583
- 4 Zheng Yaohui, Wang Yajun, Peng Kunchi. Single-end pumping, single-frequency Nd:YVO₄/LBO laser with output power of 21.5 W[J]. *Chinese J. Lasers*, 2012, **39**(6): 0602011
郑耀辉, 王雅君, 彭堃堃. 输出功率为 21.5 W 的单端抽运 Nd:YVO₄/LBO 单频激光器[J]. *中国激光*, 2012, **39**(6): 0602011
- 5 Shi Yuxian, Lu Tielin, Feng Baohua *et al.*. Thermal effects analysis of Nd:CNGG 935 nm laser pumped by 885 nm and 808 nm diode lasers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2012, **39**(11): 1102004
施玉显, 卢铁林, 冯宝华等. 885 nm 和 808 nm LD 抽运 Nd:CNGG 935 nm 激光器热效应研究[J]. *中国激光*, 2012, **39**(11): 1102004
- 6 Yu Yonggui, Wang Jiyang, Zhang Huaijin *et al.*. Continuous wave and Q-switched laser output of laser-diode-end-pumped disordered Nd:LGS laser [J]. *Opt. Lett.*, 2009, **34**(4): 467~469
- 7 Ren Yingying, Tan Yang, Chen Feng *et al.*. Optical channel waveguides in Nd:LGS laser crystals produced by proton implantation[J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(15): 16258~16263

栏目编辑: 宋梅梅