

Nd:LuYAG 混晶 1123 nm 被动调Q 激光器

刘杨 刘兆军 丛振华 徐晓东 徐军 门少杰 夏金宝 张飒飒

A diode pumped passively Q-switched Nd:LuYAG laser emitting at 1123 nm

Liu Yang Liu Zhao-Jun Cong Zhen-Hua Xu Xiao-Dong Xu Jun Men Shao-Jie Xia Jin-Bao Zhang Sa-Sa

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 174203 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.174203

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.174203>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I17>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

部分相干双曲余弦厄米高斯光束在非 Kolmogorov 大气湍流中的传输特性

Propagation properties of partially coherent Hermite-cosh-Gaussian beams in non-Kolmogorov turbulence

物理学报.2015, 64(3): 034208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.034208>

激光二极管双端直接抽运混合腔板条激光器

Laser diode double-end-direct-pumped slab laser with hybrid resonator

物理学报.2015, 64(1): 014203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.014203>

激光二极管抽运的高重频高平均功率 Nd:YAG 激光器

Laser diode pumped Nd:YAG laser with high repetition and high average power

物理学报.2014, 63(22): 224204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.224204>

激光脉冲前后沿相干叠加对多程放大的影响

Effect of laser coherent superposition in multi-pass amplification process

物理学报.2014, 63(18): 184205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.184205>

纳米硅上的弯曲表面效应及其特征发光

Curved surface effect and characteristic emission of silicon nanostructures

物理学报.2014, 63(3): 034201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.034201>

Nd:LuYAG混晶1123 nm被动调Q激光器*

刘杨¹⁾ 刘兆军¹⁾ 丛振华¹⁾ 徐晓东²⁾ 徐军²⁾ 门少杰¹⁾
夏金宝¹⁾ 张飒飒^{1)†}

1)(山东大学信息科学与工程学院, 山东省激光技术与应用重点实验室, 济南 250100)

2)(中国科学院上海硅酸盐研究所透明光功能重点实验室, 上海 200050)

(2015年2月9日收到; 2015年3月22日收到修改稿)

文章报道了一个二极管激光抽运的1123 nm被动调Q激光器. 激光晶体为混晶Nd:LuYAG, 饱和吸收体选为Cr⁴⁺:YAG晶体. 在连续运转情况下, 最高输出功率为2.77 W, 对应的光-光转换效率为29.53%. 调Q运转时, 在9.38 W吸收抽运功率下, 最高输出功率为0.94 W. 脉冲宽度整体在105 ns左右. 在最高吸收抽运功率下, 1123 nm激光的输出重复频率为9.40 kHz, 对应的单脉冲能量可达100 μJ, 高于目前报道的单晶Nd:YAG 1123 nm单脉冲能量, 证明其在能量存储方面较单晶Nd:YAG更具优势. 另外, 据我们所知, 这是关于混晶Nd:LuYAG 1123 nm输出的首次报道.

关键词: 1123 nm, 混晶Nd:LuYAG, 被动调Q, 二极管激光抽运

PACS: 42.55.-f, 42.55.Xi, 42.60.Gd

DOI: 10.7498/aps.64.174203

1 引言

Nd:YAG晶体是目前最适合二极管激光器抽运的一种激光晶体, 其在固体激光器中占据了不可替代的作用^[1-5]. 因此除了传统的单晶Nd:YAG, 研究者们还致力于其无序晶体的探索. 这种无序晶体也可称为混晶, 一般是由相同化合价或者半径的两个或者多个离子共同占据着同一个格位, 使其具有类玻璃化的无序结构的两种或多种晶体的混合物. 像单晶Nd:YAG一样, 其混晶同样具有高的热传导性、出色的物理和化学性质, 因此它们也被广泛应用于固体激光器中. 另外, 混晶还具有一些独特的性质, 如吸收带宽和荧光寿命都因为高度的不对称性而得到增加. 宽的吸收带宽可以降低激光器对抽运源温控元件的要求, 长的荧光寿命也被证明在调Q激光器中对于激光的输出有所改善. 1989年, Allik等证明混晶Nd:LuYAG比单晶Nd:YAG的输出效率更高, 这也是混晶Nd:LuYAG

被当作激光增益介质的首次报道^[6]. 2011年, Di等报道了Nd:GdYAG, Nd:LuYAG和Nd:GdLuAG三块混晶的连续1064 nm激光输出^[7]. 2013年他们又用Nd:LuYAG作为激光增益介质实现了稳定的锁模输出, 其脉宽可达6.6 ps^[8].

一直以来, 1123 nm激光器因为其广泛的应用而备受研究者的青睐. 例如, 1123 nm激光器可以作为铽上转换光纤激光器的抽运源来得到蓝光的输出^[9,10]. 同样, 1123 nm激光也可以直接倍频得到黄光, 而黄光一直在医疗研究中起着重要作用. 另外, 1123 nm激光在遥感方面也有着广泛的应用. 从目前的研究来看, 通过Nd:YAG晶体⁴F_{3/2}能级到⁴I_{11/2}能级的斯塔克分裂来得到1123 nm激光的输出是一种比较有效的方法^[11-14]. 单晶Nd:YAG与其混晶无论是在化学性质还是物理性质上都有许多相同点, 因此我们有理由相信其混晶一样可以实现1123 nm激光输出. 但是, 据我们所知, 目前还没有关于其混晶的1123 nm激光器的报道.

在本文中, 我们得到了混晶Nd:LuYAG的连

* 国家自然科学基金(批准号: 11204160, 61378032, 61211120196)和山东省科技攻关项目(批准号: 2010GGX10137)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: sasazhang@sdu.edu.cn

续与被动调Q 1123 nm激光输出. 连续运转时, 最高输出功率为2.77 W, 对应的转换效率可达29.53%. 以Cr⁴⁺:YAG作为饱和吸收体进行调Q运转时, 最大功率为0.94 W, 单脉冲能量可达100 μJ. 此单脉冲能量高于已有的单晶Nd:YAG 1123 nm被动调Q的报道, 证明相对于单晶Nd:YAG, 混晶Nd:LuYAG在能量存储方面更有优势. 据我们所知, 这也是第一次关于混晶Nd:LuYAG的1123 nm输出报道.

2 实验装置

实验装置如图1所示, 为了获得高效的激光输出我们设计了一个35 mm长的平凹腔. 后腔镜M1是一个平凹镜, 曲率半径为300 mm. 在其输入面(平面)镀有对808 nm光的抗反膜, 在另一面(凹面)镀有对1123 nm光的高反膜. M2为输出镜, 是一个平镜. 在输出镜的选择上, 我们在保证了其对946 nm, 1064 nm, 1319 nm和1444 nm高透的情况下, 也关注了它对1112 nm和1116 nm的透过率. 因为1123 nm的产生原理是利用了⁴F_{3/2}能级到⁴I_{11/2}能级的斯塔克分裂, 所以实验中, 对1112 nm和1116 nm光的抑制也是一样重要的工作. 实验中M2对1123 nm光的透过率为2%, 低于其对1112 nm(5%)和1116 nm光(4%)的透过率. 所用抽运源为一个25 W的光纤耦合二极管激光器, 光纤的线芯直径为600 μm, 数值孔径为0.22, 激光通过耦合透镜耦合到激光增益介质上. 混晶Nd_{0.03}Gd_{0.495}Y_{2.475}Al₅O₁₂(Nd:LuYAG)尺寸为3 mm × 3 mm × 6 mm. 晶体用铜块包裹进行水冷. 饱和吸收体为一块尺寸为8 mm × 6 mm × 0.25 mm的Cr⁴⁺:YAG晶体, 其小信号透过率为97%. 实验中脉冲宽度和重复频率的测量是通过一台安捷伦数字示波器(DSO90804A)和一个光电探头完成. 光谱的测量是利用了一个宽谱的光谱分析仪(Yokogawa AQ 6315A, 350—1750 nm).

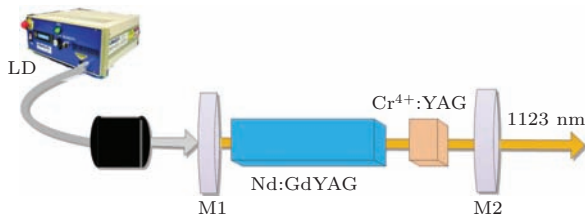


图1 实验装置图

Fig. 1. Schematic of experimental laser setup.

3 实验结果与讨论

想要获得1123 nm光的单独输出, 首要的工作便是抑制其他可能波长的振荡. 在这其中输出镜的选择就显得尤为重要, 在本实验中, 我们选择的输出镜对946 nm, 1064 nm, 1319 nm和1444 nm的光都高透, 可以有效的抑制它们的振荡. 但是对与1112 nm和1116 nm我们不能通过镀膜的方式让它们与1123 nm具有明显的差异, 因为它们的波长太相近了. 实验中用到的输出镜对1112 nm和1116 nm光的透过率分别为5%和4%, 都高于1123 nm的2%, 因此在一定程度上抑制了1112 nm和1116 nm光的振荡. 为了确保输出的光为1123 nm, 我们首先观察了实验的输出光谱情况. 图2为在最高吸收抽运功率下, 我们测得的输出光谱图. 测量范围为1000 nm到1400 nm, 分辨率为2 nm. 很明显的, 图中只有1123 nm一个波长. 1112 nm和1116 nm在实验中未观察到, 我们分析有两个因素在其中发挥了重要作用. 第一便是输出镜的选择. 第二则是饱和吸收的缘故, Cr⁴⁺:YAG在1114 nm处有一个吸收峰, 因此其对1112 nm和1116 nm的损耗更大. 另外, 我们把扫描范围设为4 nm, 分辨率设为0.05 nm, 观察了激光输出的精细光谱图. 其中心波长为1122.8 nm, 线宽为0.3 nm.

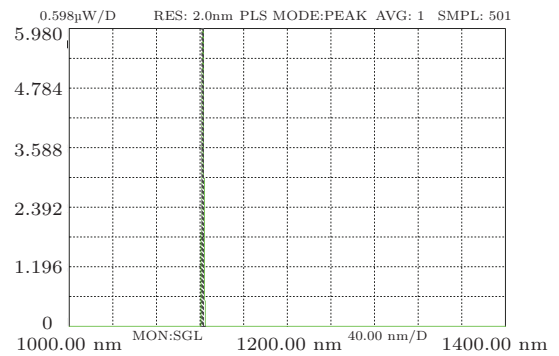


图2 Nd:LuYAG激光的输出光谱

Fig. 2. The output spectra of Nd:LuYAG laser.

随后我们测量了1123 nm激光的输出功率情况, 结果如图3所示. 因为Nd:LuYAG的钕离子掺杂浓度较低, 所以对抽运光的吸收不是很充分, 在图3中横坐标我们采用了吸收抽运功率. 吸收抽运功率的大小可以通过分别测量增益介质前后的功率值来计算得到. 在连续光运转的情况下, 1123 nm激光的阈值是1.77 W, 最大输出功率可达2.77

W, 此时对应的光-光转化效率为29.53%。如此高的转化效率证明混晶Nd:LuYAG像单晶Nd:YAG一样都非常适合二极管激光抽运。我们在腔内插入了一块Cr⁴⁺:YAG饱和吸收体来实现调Q运转, 其小信号透过率为97%。此时的振荡阈值为4.07 W, 最大输出功率为0.94 W。由于饱和吸收体的插入给激光器带来了额外的损耗, 所以调Q运转时的功率比连续运转时要低。

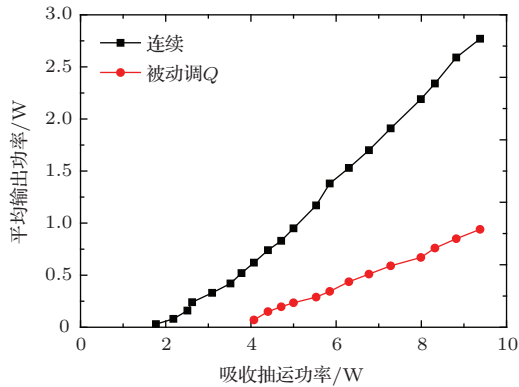


图3 1123 nm 激光的输出功率

Fig. 3. The output power of 1123 nm laser.

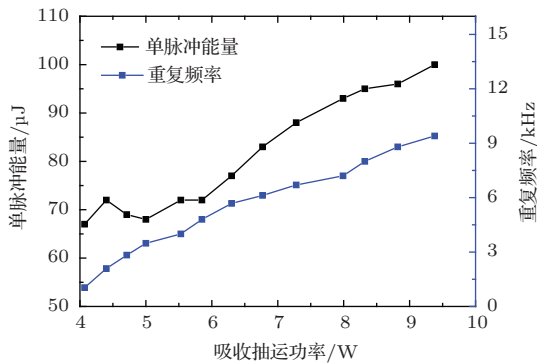


图4 1123 nm 激光的单脉冲能量和重复频率

Fig. 4. The single pulse energy and repetition rate of 1123 nm laser.

图4为不同吸收抽运功率下, 1123 nm 激光的单脉冲能量和重复频率。像典型的被动调Q激光一样, 输出光的重复频率随着吸收抽运功率的增加而增加, 整体成线性关系。在9.38 W吸收抽运功率下, 重复频率为9.40 kHz, 此时对应的单脉冲能量为100 μJ。100 μJ的单脉冲能量大于目前单晶Nd:YAG报道的单脉冲能量, 证明在能量存储方面, 混晶Nd:LuYAG更具优势。整个实验过程中, 脉宽基本保持在105 ns左右, 如图5所示。图6为用示波器测量的在9.38 W吸收抽运功率下典型的输出光脉冲串。从图中可以看到, 1123 nm 脉冲的强度

有一定的波动。我们认为存在这种现象的原因主要有两个。第一个是所用的Cr⁴⁺:YAG小信号透过率为97%对于腔内功率密度的变化比较敏感, 而很多因素都可以引起腔内功率密度的变化, 如自发辐射, 抽运源输出功率的不稳定性等。第二个主要原因是所用Cr⁴⁺:YAG晶体没有进行水冷, 饱和吸收体温度的变化也可能会影响其调Q的运转。

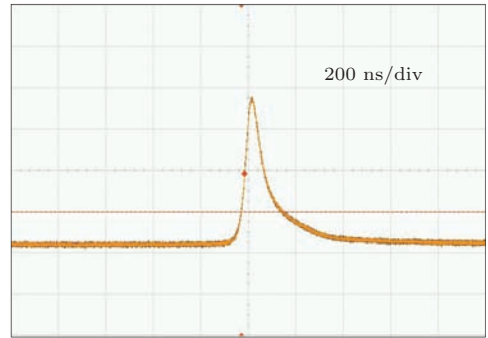


图5 1123 nm 激光的脉冲宽度

Fig. 5. Typical pulse width of 1123 nm laser.

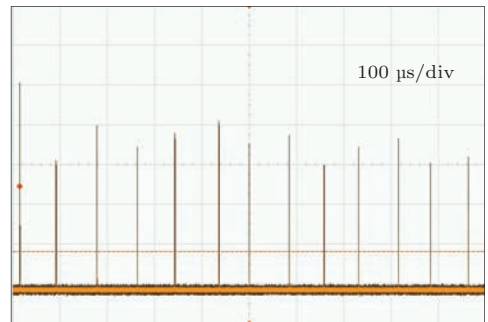


图6 在9.38 W吸收抽运功率下输出光的典型脉冲串

Fig. 6. Typical train of output pulses at 9.38 W absorbed pump power.

4 结 论

总而言之, 我们证明了混晶Nd:LuYAG也可以作为1123 nm输出的增益介质, 且比单晶Nd:YAG具有更高的储能能力。在连续运转时, 最高输出功率为2.77 W, 对应的效率为29.53%, 如此高的转换效率证明该晶体也十分适合二极管激光抽运。调Q运转时, 最高功率为0.94 W, 单脉冲能量可达100 μJ。脉冲宽度基本保持在105 ns左右。

参考文献

- [1] Zhang G, Zhu H Y, Huang C H, Li A H, Wei Y, Lin Y F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3909 (in Chinese) [张戈, 朱海永, 黄呈辉, 李爱红, 魏勇, 林燕凤 2009 物理学报 **58** 3909]

- [2] Liu H, Yao J Q, Zheng F H, Lu Y, Wang P 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 230 (in Chinese) [刘欢, 姚建铨, 郑芳华, 路洋, 王鹏 2008 物理学报 **57** 230]
- [3] Wang C, Wei H, Wang J F, Jiang Y E, Fan W, Li X C 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 224204 (in Chinese) [汪超, 韦辉, 王江峰, 姜有恩, 范薇, 李学春 2014 物理学报 **63** 224204]
- [4] Wang Y Y, Xu D G, Liu C M, Wang W P, Yao J Q 2012 *Chin. Phys. B* **21** 94212
- [5] Xie S Y, Lu Y F, Ma Q L, Wang P Y, Shen Y, Zong N, Yang F, Bo Y, Peng Q J, Cui D F, Xu Z Y 2010 *Chin. Phys. B* **19** 64208
- [6] Allik T H, Hovis W W, Caffey D P, King V 1989 *Opt. Lett.* **14** 116
- [7] Di J Q, Xu X D, Li D Z, Wu F, Zhao Z W, Xu J, Tang D Y 2011 *Laser Phys.* **21** 1742
- [8] Di J Q, Xu X D, Tan W D, Zhang J, Tang D Y, Li D Z, Zhou D H, Wu F, Xu J 2013 *Laser Phys. Lett.* **10** 095801
- [9] Paschotta R, Moore N, Clarkson W A, Tropper A C, Hanna D C, Mázé G 1997 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **3** 1100
- [10] Booth I J, Archambault J L, Ventrudo B F 1996 *Opt. Lett.* **21** 348
- [11] Li P, Chen X H, Zhang H N, Ma B M, Wang Q P 2011 *Appl. Phys. Express* **4** 092702
- [12] Chen Y F, Lan Y P 2004 *Appl. Phys. B* **79** 29
- [13] Huang J Y, Liang H C, K W K W, Lai H C, Chen Y F, Huang K F 2007 *Appl. Opt.* **46** 239
- [14] Rääkkönen E, Kimmelma E O, Kaivola M, Buchter S C 2008 *Opt. Commun.* **281** 4088

A diode pumped passively Q-switched Nd:LuYAG laser emitting at 1123 nm*

Liu Yang¹⁾ Liu Zhao-Jun¹⁾ Cong Zhen-Hua¹⁾ Xu Xiao-Dong²⁾ Xu Jun²⁾ Men Shao-Jie¹⁾
Xia Jin-Bao¹⁾ Zhang Sa-Sa^{1)†}

1) (School of Information Science & Engineering and Shandong Provincial Key Laboratory of Laser Technology and Application, Shandong University, Jinan 250100, China)

2) (Key Laboratory of Transparent and Opto-functional Inorganic Materials, Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

(Received 9 February 2015; revised manuscript received 22 March 2015)

Abstract

A diode pumped passively Q-switched 1123 nm laser is reported in this paper; and a mixed crystal Nd:LuYAG is selected as the gain medium. A large number of excellent properties from Nd:YAG are obtained, and the mixed crystal Nd:LuYAG has been used widely in all-solid-state lasers. Besides, compared with Nd:YAG, the Nd:LuYAG has some other wonderful advantages. For example, both the absorption bands and the fluorescence line are broadened, resulting from the crystal strong inhomogeneity. Their wide absorption makes the Nd:LuYAG lasers' pump source not rigorous in their temperature control. And the broadened fluorescence line can generally improve the laser performance in Q-switched regimes. In this paper, a concave-plane configuration cavity with its length as long as 35 mm is designed to achieve high-efficiency laser output. The rear mirror is a concave mirror with a curvature radius of 300 mm, and the output coupler is a flat mirror with a transmission of 2% at 1123 nm, 5% at 1112 nm, 4% at 1116 nm, and has high transmissions at 1064, 1319 and 1444 nm respectively. A Cr⁴⁺:YAG crystal, with its initial transmission of 97%, is used as the saturable absorber. In the continuous wave operation, the maximum average output power can reach 2.77 W, with the corresponding optical-to-optical conversion efficiency of 29.53%. In Q-switched operation, the maximum average output power is 0.94 W at 9.38 W absorbed pump power. The repetition rate is 9.40 kHz, with the corresponding single pulse energy being 100 μ J. The high single-pulse energy explains that the Nd:LuYAG mixed crystal is better than Nd:YAG in high energy storage. Only one wavelength can be observed in our experiment. The center wavelength is 1122.7 nm and the line width is 0.03 nm. To the best of our knowledge, this is the first time to report the Nd:LuYAG mixed crystal laser emitting at 1123 nm.

Keywords: 1123 nm, Nd:LuYAG mixed crystal, passively Q-switched, diode pumping

PACS: 42.55.-f, 42.55.Xi, 42.60.Gd

DOI: 10.7498/aps.64.174203

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11204160, 61378032, 61211120196), and the Shandong province science and technology research projects, China (Grant No. 2010GGX10137).

† Corresponding author. E-mail: sasazhang@sdu.edu.cn