

文章编号: 1001-3806(2002)06-0401-02

LD 光纤耦合端面泵浦 Nd:YVO₄/Cr⁴⁺ YAG 激光器

柳 强 巩马理 闫 平 贾维溥 崔瑞祯 王东生

(清华大学精密仪器与机械学系,北京,100084)

摘要: 根据 Siegman 的被动调 Q 判据, Nd:YVO₄ 晶体由于受激发射截面大、上能级寿命短, 很难获得被动调 Q 输出。利用 LD 光纤耦合端面泵浦 Nd:YVO₄ 晶体, 在泵浦功率 3.5W 时, 连续运转获得最大输出 1.4W, 相应的光光转换效率为 40%, 同时采用 Cr⁴⁺ YAG 可饱和吸收体, 成功地实现了 Nd:YVO₄ 被动调 Q 运转, 获得了脉宽 11.7ns, 重复频率 22kHz 调 Q 输出。

关键词: 被动调 Q; Cr⁴⁺ YAG; 端面泵浦

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Passive Q-switched Nd:YVO₄/Cr⁴⁺ YAG lasers pumped by a fiber coupled laser diode

Liu Qiang, Gong Mali, Yan Ping, Jia Weipu, Cui Ruizhen, Wang Dongsheng

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: On the basis of Siegman's criterion for good passive Q-switched, it is difficult to operate a diode-pumped, passive Q-switched Nd:YVO₄ laser with Cr⁴⁺ YAG as the saturable absorber. The main difficulties arise from the fact that a Nd:YVO₄ crystal has a high stimulated emission cross section. With a fiber coupled laser diode end pumping Nd:YVO₄ laser, 1.4W of CW output power has obtained under a pump level of 3.5W with optical conversion efficiency of 40%. The Q-switching operation of Nd:YVO₄ laser with Cr⁴⁺ YAG as the saturable absorber was demonstrated. Q-switched pulses duration is 11.7ns with pulse repetition rate of 22kHz.

Key words: passive Q-switch; Cr⁴⁺ YAG; end pump

引 言

在 LD 泵浦的众多激光增益介质中, Nd:YVO₄ 晶体与 Nd:YAG, Nd:YLF 等晶体相比, 具有泵浦吸收带宽、吸收系数大、受激发射截面大、输出线偏振等优点, 近年来, 引起人们极大关注。较宽的吸收带宽意味着输出功率受 LD 由于温度变化引起波长漂移的影响小, 大受激发射截面有利于低阈值运转, 线偏振输出有利于利用非线性晶体进行频率变换。目前, 关于 LD 泵浦 Nd:YVO₄ 晶体的研究主要集中在中小功率连续^[1]和腔内激光倍频方面^[2]。

被动调 Q 技术具有调 Q 效率高、结构紧凑、驱动简单等优点, 在中小功率激光器上已得到了广泛应用。特别是性能良好的可饱和吸收体 Cr⁴⁺ YAG 晶体常用来作为 Nd 掺杂激光的被动调 Q 材料。

作者简介: 柳 强, 男, 1971 年 6 月出生。博士后。主要从事二极管泵浦固体激光器与激光频率变换的研究。

收稿日期: 2002-03-26; 收到修改稿日期: 2002-04-18

而对于 LD 泵浦 CW 运转的 Nd:YVO₄ 激光器, 利用可饱和吸收体 Cr⁴⁺ YAG 获得调 Q 输出比较困难, 根据 Siegman 由被动调 Q 速率方程近似得到被动调 Q 判据^[3], 饱和吸收体的饱和吸收必须发生在激光介质增益饱和之前。这样, 受激发射截面小, 上能级寿命长的晶体(如 Nd:YAG, Yb:YAG, Nd:YLF)有利于储能, 更易获得被动调 Q 输出。相对而言, 受激发射截面大, 上能级寿命短的晶体(如 Nd:YVO₄)被动调 Q 较困难。尽管这样, Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 的 Nd:YVO₄ 激光运转也相继被实现了^[4~6]。

1 实验装置

光纤耦合端面抽运 Nd:YVO₄/Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 激光器如图 1 所示, Nd:YVO₄ 晶体抽运面镀 1064nm 高反, 808nm 高透膜, 晶体的掺杂浓度为 2%, 尺寸为 3mm × 3mm × 1mm, 向切割。Cr⁴⁺ YAG

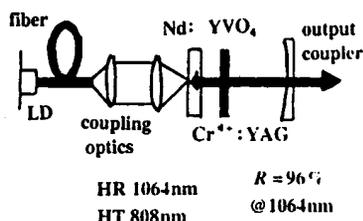


Fig. 1 Schematic diagram of a passively Q-switched Nd:YVO₄ laser with Cr⁴⁺:YAG

晶体的厚度为1mm,晶体的两面镀1064nm增透膜。Nd:YVO₄晶体采用了导热性很好的紫铜作为晶体的热沉,采用平凹腔结构,激光器腔长为50mm。抽运源为带尾纤输出的温控半导体激光器(由北京半导体所提供),光纤芯径为400μm,数值孔径NA为0.22,光学系统传输比为1:1,实验中精确调整LD的温度,使得其工作波长为808.7nm,与Nd:YVO₄晶体的吸收峰相匹配,同时调整LD输出的偏振态,保证Nd:YVO₄晶体的偏振吸收方向(向)占有最大的分量。利用美国Spiricon公司PC激光光束分析仪和M²-200光束传输分析仪以及New Focus公司快速响应探头配合示波器分别对激光强度分布、激光光束质量以及输出激光的脉冲特性进行了详细测量。

2 实验结果与讨论

2.1 连续运转

图2为LD泵浦的Nd:YVO₄连续运转结果,阈值为85mW,输出功率随着泵浦功率的呈线性增加,光光转换效率在

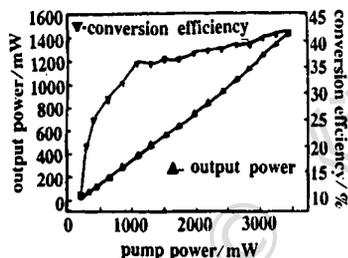


Fig. 2 Output power and conversion efficiency of CW laser versus pump power

泵浦初期上升得很快,泵浦功率超过1W以后呈饱和和趋势,在泵浦功率3.5W时,连续运转获得最大输出1.4W,相应的光光转换效率为40%,利用M²测试仪测得输出光束远场光斑呈高斯分布,说明了激光器工作在TEM₀₀模状态。在该实验中,转换效率没有文献[1]的高,主要是因为Nd:YVO₄的掺杂浓度高(2%),适合较小功率泵浦(1W左右),泵浦功率超过1W以后,图2显示出转换效率趋于饱和,掺杂浓度越高,晶体的热效应越明显,可能使激光器偏离最稳区,如果再增加泵浦功率,不仅导致转换效率饱和,甚至可能呈下降趋势。

2.2 调Q运转

Nd:YVO₄晶体由于受激发射截面大,上能级

寿命短,不利于储能,所以,利用Cr⁴⁺:YAG可饱和吸收体获得被动调Q输出比Nd:YAG困难,笔者利用初始透过率为70%的Cr⁴⁺:YAG晶体,成功地实现了Nd:YVO₄被动调Q运转。图3为脉冲重复频率和调Q脉冲宽度随泵浦功率的变化关系,随着泵浦功率的增加,调Q脉冲的重复频率线性增加,脉冲宽度线性变窄。这是因为泵浦功

率的增加导致了激光工作介质上能级反转粒子数密度增加,激光腔内的净增益系数变大,增益达到调Q阈值的时间变短,所以漂白可饱和吸收体的时间

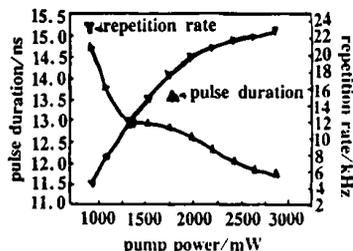


Fig. 3 Pulse duration and pulse repetition rate as a function of the pump power

率的增加导致了激光工作介质上能级反转粒子数密度增加,激光腔内的净增益系数变大,增益达到调Q阈值的时间变短,所以漂白可饱和吸收体的时间

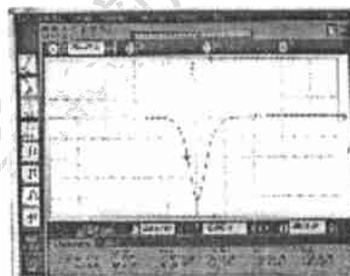


Fig. 4 Single Q-switched pulse waveforms of 13.4 ns

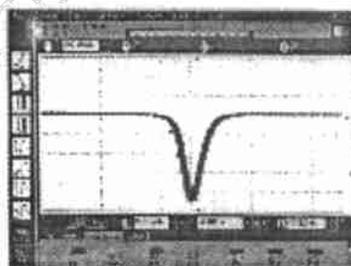


Fig. 5 5753 Q-switched pulse waveforms

间隔也相应的缩小,缩短了调Q周期,重复频率提高。同时,激光腔内的净增益系数变大,加快了腔内光子数的增长和上能级反转粒子数的衰减,导致调Q脉冲的建立和关闭过程越短,单脉冲的宽度变窄。在泵浦功率3.5W的条件下,获得了脉宽11.7ns,重复频率22kHz调Q输出。图4和图5为13.4ns调Q脉冲波形和5753个13.4ns调Q脉冲叠加结果,调Q脉冲的上升沿和下降沿比较对称,峰值功率和脉冲宽度的稳定性好于1%,比文献[6]中得到的脉冲宽度窄,重复频率低,稳定性也好。

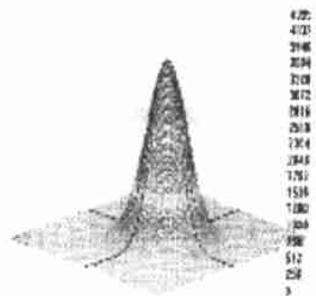


Fig. 6 Laser intensity distribution of the TEM₀₀ mode output

6 展望

纳米材料由于具有普通材料所不具备的优良特性,纳米材料的研究必将成为21世纪新材料发展的一个重要方向,激光方法则为纳米材料的制备和研究提供了一种崭新的方法和思路。激光法已合成制备了一系列尺寸小纯度高的纳米粉体,具有广泛的应用前景。随着工艺和理论不断完善,激光法在结构陶瓷材料、半导体材料、磁记录材料、吸波材料以及化学化工领域内的催化剂的研究和开发中,将会得到进一步的发展。今后,激光法制备纳米粉体技术必将随着其应用范围的进一步扩大,产率的提高和成本的降低,向产业化的方向发展。

参考文献

[1] 潘俊德. 国外金属热处理. 2001, 22(3): 1.
 [2] 刘筱薇, 仵海东. 热加工工艺, 2001(3): 55.
 [3] Pan Z W, Xie S S, Wang G *et al.* J Mater Science, 1999, 34: 3047.
 [4] 陈志远, 梁勇. 应用激光, 1999, 19(4): 174.
 [5] 王家金著. 激光加工技术. 北京: 中国计量出版社, 1992.
 [6] 张世伟, 巴德纯, 才庆魁 *et al.* 真空, 1998(1): 44.
 [7] 王卫乡, 刘颂豪, 梅宴标 *et al.* 应用激光, 1995, 15(1): 8.
 [8] 王金斌, 任志昂, 杨国伟. 开封大学学报, 2000, 14(1): 1.
 [9] 胡军辉, 吴润, 夏辉 *et al.* 激光技术, 2000, 24(6): 348.
 [10] 谢长生, 胡木林, 胡军辉 *et al.* 材料热处理学报, 2001, 22(1): 20.

[11] 沈海章. 真空, 1998(5): 25.
 [12] Pan Zh W, Li H L, Zhang L T. J Mater Research, 1998, 13(7): 1996.
 [13] Oyama T, Iimura Y, Takeuchi K *et al.* J Mater Science, 1999, 34: 439.
 [14] Alexandrecu R, Morjan I, Borsella E *et al.* J Mater Research, 1991, 6(11): 2442.
 [15] 李亚利, 梁勇, 肖克沈 *et al.* 金属学报, 1995, 31(1): 21.
 [16] 张滨, 刘常, 国玉军 *et al.* 中国激光, 1999, A26(1): 93.
 [17] Cauchetier M, Croix O, Herlin N *et al.* J Am Ceram Soc, 1994, 77(4): 993.
 [18] Lowndes D H, Rouleau C M, Thundat T G *et al.* J Mater Research, 1999, 14(2): 359.
 [19] Suzuki M, Maniette Y, Nakata Y *et al.* J Am Ceram Soc, 1993, 76(5): 1195.
 [20] Fantoni R, Borsella E, Piccirillo S *et al.* J Mater Research, 1990, 5(1): 143.
 [21] Borsella E, Botti S, Fantoni R *et al.* J Mater Research, 1992, 7(8): 2257.
 [22] Li Y L, Liang Y, Zheng F *et al.* J Am Ceram Soc, 1994, 77(6): 1662.
 [23] 胡军辉, 吴润, 黄为 *et al.* 激光技术, 2000, 24(2): 99.
 [24] Subramanian R, Denney P E, Singh J *et al.* J Mater Science, 1998, 33: 3471.
 [25] 蔺恩惠, 李新勇, 郭跃华 *et al.* 无机材料学报, 1996, 11(1): 157.
 [26] 蔺恩惠, 李新勇, 张昌言. 应用激光, 1995, 15(1): 14.
 [27] 张炳春, 李梅, 王亚庆 *et al.* 材料研究学报, 1998, 12(6): 663.
 [28] 郑隽, 楼祺洪, 董景星 *et al.* 中国激光, 1995, A22(12): 942.

(上接第402页)

图6和图7为调Q脉冲的三维光强分布和调Q输出的 M^2 测试结果,可以看出激光光束的对称性和均匀性较好,说明了激光器工作在 TEM_{00} 基横模状态,纵向泵浦使得

泵浦光和激光模式容易相匹配,从而获得高质量激光输出。所测 M^2 在x方向和y方向的值: $M_x^2 = 1.17$, $M_y^2 = 1.27$;输出激光的x方向的束腰为 $218\mu\text{m}$, y方向的束腰为 $248\mu\text{m}$; x方向的发散角为 7.278mrad , y方向的发散角为 6.948mrad 。

3 结论

全固态被动调Q激光器由于结构紧凑、操作方便、价格低廉等优点,在高精度光学测量、光谱研究、

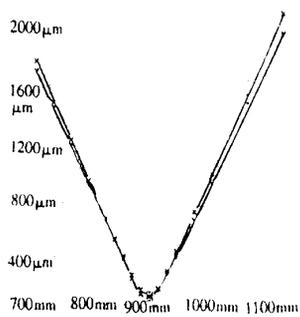


Fig. 7 Beam quality of the TEM_{00} mode output on M^2

激光雷达、空间光通讯、激光测距等科研和国防方面已显示出潜在的应用前景。特别是利用 Cr^{4+} YAG可饱和吸收体作为被动调Q元件,在以Nd YAG为工作介质的各种连续和脉冲激光特性进行了深入而广泛的研究。而Nd YVO₄晶体由于受激发射截面大,上能级寿命短,原理上是很难获得被动调Q输出。但通过研究,进一步表明:利用 Cr^{4+} YAG可饱和吸收体在全固态连续Nd YVO₄激光器不仅可以获得调Q输出,并且通过适当的增加泵浦功率,同时降低 Cr^{4+} YAG可饱和吸收体的初始透过率,可以获得脉宽和重复频率与在Nd YAG激光器上相类似的结果。

参考文献

[1] 李健, 何京良, 侯玮 *et al.* 光电子激光, 1999, 10(5): 395.
 [2] 何京良, 侯玮, 张横利 *et al.* 中国激光, 2000, 27(6): 481.
 [3] Siegman A E. Laser. CA: University Science, Mill Valley, 1986: 1024.
 [4] Chen Y F, Huang T M, Wang C L. Electron Lett, 1997, 33(22): 1880.
 [5] Chen Y F, Tsai S W. IEEE J Q E, 2001, 37(4): 292.
 [6] 王军民, 李瑞宁, 杨伟东 *et al.* 中国激光, 1996, 23(12): 1057.