

LD 侧泵全固态 Nd:YAG/KTP 高功率连续绿光激光器

徐海萍¹, 徐海燕², 陈浩伟³, 陆宝乐³, 王思原³, 白晋涛³

(1. 电子工程学院 501 室, 安徽 合肥 230037; 2. 西北机电工程研究所, 陕西 咸阳 712099;

3. 西北大学物理学系, 光子学与光子技术研究所, 陕西 西安 710069)

摘要:报道了 LD 侧泵全固态 Nd:YAG/KTP 高功率连续绿光激光器。泵浦组件为中科院半导体所生产的 808 nm 半导体激光器(LD)组件,由 9 个 20 W 的激光二极管组成(呈三角形等间距分布),最大泵浦功率为 180 W。在平凹直腔的腔型结构下,当 LD 连续抽运 $\phi 3 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ Nd:YAG 激光棒时,分别选用不同长度的 KTP 倍频晶体,实现了 II 类临界相位匹配腔内倍频,最终在泵浦电流 22.5 A 时,获得了最大功率为 21.3 W 的连续、稳定 532 nm 激光输出,输出不稳定度优于 2%,光-光(1064 ~ 532 nm)转换效率为 42.6%。

关键词:LD 侧面泵浦;绿光激光器;Nd:YAG 晶体;KTP 晶体;内腔倍频

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

LD-pumped all-solid-state high-power Nd:YAG/KTP CW green laser

XU Hai-ping¹, XU Hai-yan², CHEN Hao-wei³, LU Bao-le³, WANG Si-yuan³, BAI Jin-tao³

(1. 501 Lab. of Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;

2. Northwest Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Xianyang 712099, China;

3. Department of Physics, Institute of Photonics & Photo-Technology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: LD side-pumped all-solid-state high-power Nd:YAG/KTP green laser is reported. The LD pump module at 808 nm provided by the institute of semiconductor, CAS is composed of nine 20 W laser diode arrays, which has maximum pump power of 180 W. When the $\phi 3 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ Nd:YAG rod is pumped, using different length of KTP crystal (type II critical phase-matching) respectively, the highest power of 21.3 W CW green laser is obtained with 22.5 A pumping current, the power instability is better than 2% and optical-optical (1064 ~ 532 nm) conversion efficiency is 42.6%.

Key words: diode-side-pumped; green laser; Nd:YAG crystal; KTP crystal; intracavity frequency-doubling

1 引言

近年来,LD 泵浦的全固态激光器因其效率高、寿命长、结构紧凑、频率稳定、光束质量好等优点倍受关注,发展极为迅速。而 LD 抽运的大功率全固态绿光激光器更是当前比较前沿的研究课题,其可以取代氩离子激光器^[1],可用于飞秒激光器的泵浦源^[2],也可做全固态光参量泵浦光源^[3],另外在工业、医疗、军事等领域也有着非常广泛的应用。

20 世纪末,国外 LD 端面泵浦腔内倍频固体激光器的研究进展迅速,最引人注目的是由美国 Spectra-Physics Lasers 公司和 Coherent 公司相继开发成

功的 LD 双端泵浦 Nd:YVO₄, LBO 腔内倍频、最大输出功率已达 10 W 的绿光全固化激光器^[4]。2000 年 Susumu Konno 等采用双棒 L 型腔,获得了 138 W 的绿光输出^[5]。到目前为止,美国准连续绿光输出已达 300 多瓦,国际上报道的最高数据为美国利弗莫尔实验室的 315 W (采用 KTP 和 LBO 腔内倍频)^[6]。近年来,国内的全固态绿光激光器也有了

作者简介:徐海萍(1981-),女,硕士,主要从事全固态激光器研究。E-mail:xhp_2002.ok@163.com

收稿日期:2009-05-20;**修订日期:**2009-07-08

快速的发展。1997年,中科院物理研究所获得了5.25 W连续绿光激光输出,光-光转换效率为24.8%^[7]。2000年,中科院物理所与山东师范大学用LD双向抽运Nd:YVO₄晶体,KTP腔内倍频的大功率绿光激光器,获得最大连续波绿光输出8.8 W,光-光转换效率达31.5%^[2]。在LD侧面泵浦大功率绿光激光器研究方面,天津大学、华北光电技术研究所、中科院物理所、成都九院都已研制出百瓦级准连续绿光激光器。其中,2005年,固体激光技术国家重点实验室在Z型腔上实现了绿光功率为120 W的输出^[8]。2006年,华北光电技术研究所报道了绿光平均功率达138 W的声光调Q内腔倍频全固态Nd:YAG绿光激光器^[9]。2006年5月,西北大学光子学与光电子技术研究所报道了平均功率达185.21 W的Nd:YAG准连续绿光激光器^[10]。

我们采用808 nm最大功率为180 W的全固态Nd:YAG泵浦组件,II类临界相位匹配KTP晶体,在平凹直腔的腔型结构下进行腔内倍频,最终在泵浦电流22.5 A时,获得了21.3 W的532 nm连续绿光激光输出,输出不稳定度优于2%,光-光(1064~532 nm)转换效率达42.6%。

2 实验装置

对于大功率激光器,选择了Nd:YAG激光晶体和KTP倍频晶体。Nd:YAG基质硬,光学质量好,热导率高,阈值较低,较适合于大功率激光器;KTP晶体光学性能优良,除了有大的有效非线性系数外,还有大的允许角、允许温度及小的走离角等优点,而且不潮解。另外,考虑到谐振腔结构的特点及复杂程度,选用了平凹直腔结构,从而实现了大功率绿光激光器。实验装置示意图如图1所示。

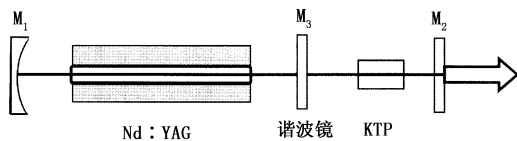


图1 LD侧泵全固态连续绿光激光器实验装置示意图

泵浦组件是由9个20 W的激光二极管组成,最大泵浦电流为22.5 A,总泵浦功率可达180 W。泵浦组件呈三角形等间距环绕在工作物质周围,如图2所示。Nd:YAG激光晶体棒尺寸为 $\phi 3 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$,掺Nd浓度为1.1%,侧面打毛,两端面磨平抛光。棒的两端面镀有1064 nm增透膜,倍频晶体KTP尺寸取 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$,两端镀有1064 nm和532 nm光的双色增透膜,采用II类临界相位匹配方式,匹配角度为 $\theta = 90^\circ, \varphi = 23.5^\circ$,晶体用铝箔包裹后放入水冷铝块中制冷。实验中对激光晶体和倍频晶体施行同步水冷,温度设定在22℃,控制精

度为 $\pm 0.1^\circ \text{C}$ 。

本实验采用平凹直腔,平凹全反镜, $R = 5 \text{ m}$,凹面镀有1064 nm高反膜($R > 99.5\%$),532 nm高反膜($R > 99\%$),平面输出镜一端面镀有1064 nm高反膜($R > 99.5\%$),532 nm高透膜($T > 95\%$),另一端面镀有532 nm增透膜,谐波镜镀有1064 nm高透膜和532 nm高反膜。

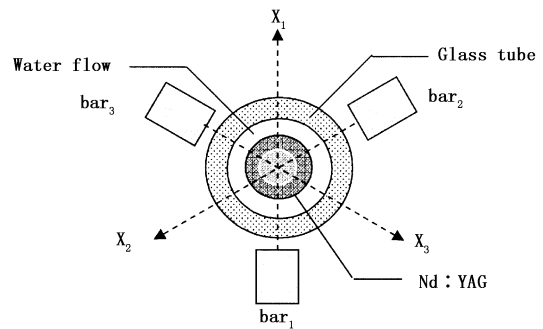


图2 LD侧泵组件结构示意图

3 实验结果与分析

通过对谐振腔参数进行优化设计,在驱动电流22.5 A时,1064 nm激光输出功率达最大50 W,阈值为10.3 A。图3为1064 nm激光输出功率与泵浦电流的对应关系。图4为半导体阵列输出功率与驱动电流的对应关系。在谐振腔内放置KTP晶体及谐波镜,当选择KTP分别为 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 和 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 时,倍频输出功率随泵浦电流的变化关系如图5所示。最终在选用 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 倍频晶体,当驱动电流为22.5 A时,绿光最高输出功率为21.3 W。此时,1064 nm输出为50 W,808 nm输出为180 W,所以1064~532 nm的转换效率为42.6%,808~532 nm的转换效率为11.8%。滤掉基频光波后,在输出功率9.7 W,14.5 W,21.3 W附近,对激光器的稳定性进行了测量,其不稳定度分别为1.01%,1.41%和1.26%,表明以上参数的腔结构较好的克服了“绿光问题”。图6为绿光输出光斑模式图。

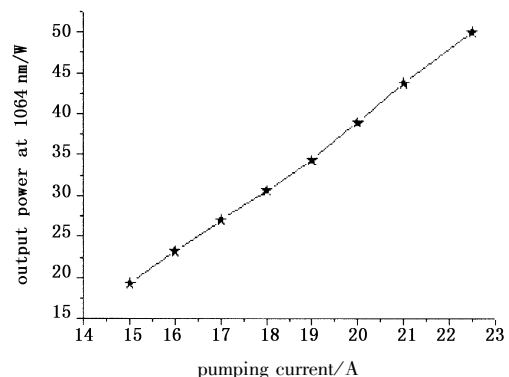


图3 1064 nm激光输出功率与LD泵浦电流的关系

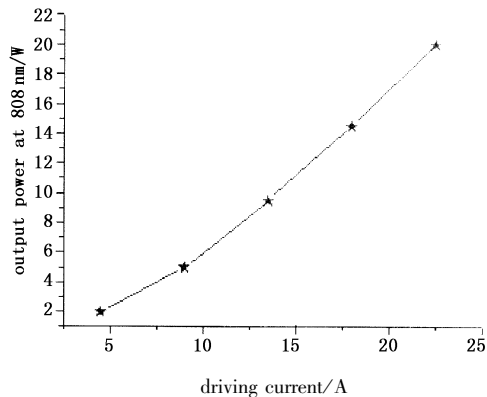


图4 半导体阵列输出功率与驱动电流的关系

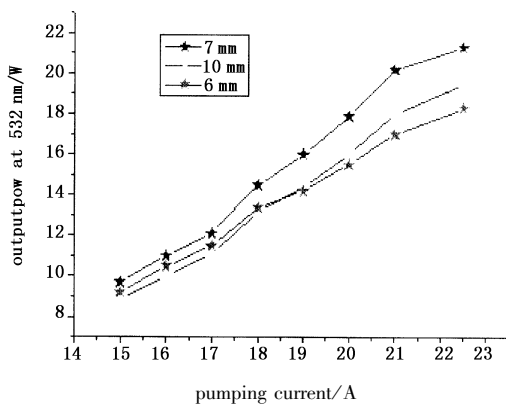


图5 KTP晶体长度不同时倍频输出功率随泵浦电流的变化关系

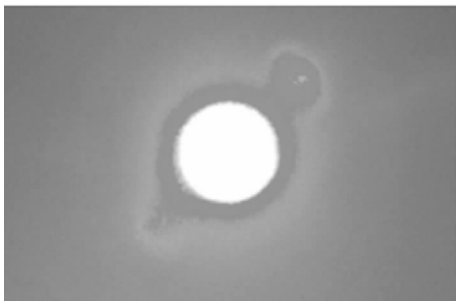


图6 光斑模式图

实验中,在谐振腔内加入谐波镜对绿光输出功率有很大影响,输出功率较小时,会造成功率下降,因为谐波镜的插入增大了腔内损耗,而输出功率较大时,加入谐波镜可以实现双通倍频,单端输出,所以功率大大提高。除此之外,KTP的长度会直接影响倍频效率的大小,倍频晶体过短不可能获得高的转换效率;过长则由于插入损耗的增加、倍频过程引起的非线性损耗的增加导致腔内基频光功率密度下降,所以通过比较,我们选取了 $4\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ KTP晶体,另外,在实验中一部分基波功率会被倍频晶体吸收,从而导致其温度升高,造成相位失配,所以除了加强水冷调节之外,还需要不断调节KTP晶体的角度使输出功率达到最佳。同时,为了减小

KTP晶体“灰线效应”的发生机率,还应有意扩大倍频晶体上的基模光斑半径以降低其上的激光功率密度。

4 结论

研究了最大功率为180 W的LD组件侧面泵浦Nd:YAG绿光激光器,选用Nd:YAG激光晶体及KTP倍频晶体,并对倍频晶体的长度进行了选择。通过对谐振腔参数进行优化设计,最终在平凹直腔结构下进行腔内倍频,获得了21.3 W的532 nm绿光激光输出,输出不稳定性优于2%,光-光(1064~532 nm)转换效率为42.6%。如今后在谐振腔中加入基频光偏振元件,或采用折叠腔实验,会获得更高的倍频效率及功率输出。

参考文献:

- [1] 何京良,冯宝华.全固态瓦级连续绿光激光器[J].物理,1997,9(26):557-558.
- [2] 何京良,侯玮,张恒利,等.LD抽运Nd:YVO₄腔内倍频连续波8.8 W绿光激光器[J].中国激光,2000,6(27):481-484.
- [3] U Stressner, A Peters, J Mlynek, et al. Single-frequency continuous-wave radiation from 0.77 to 1.73 μm generation by a green-pumped optic parametric oscillator with periodically poled LiTaO₃[J]. Opt. Lett, 1999, 24(22):1602.
- [4] Peach L A. Upbeat CLEO reflects industry confidence[J]. Laser Focus World, 1997, 33(7):13-15.
- [5] Susumu Konno, Tonno Kojima, Shuichi Fujikawa. Highly-brightness 138 W green laser based on an intracavity frequency-doubled diode-side-pumped Q-switched Nd:YAG laser[J]. Opt. Lett., 2000, 25(2):105-107.
- [6] Chang J J, Dragon E P, Bass I L. 315 W pumped-green generation with a diode-pumped Nd:YAG laser[C]. CLEO'98, 1998, San Francisco, CPD:222.
- [7] 何京良,王建明,侯玮,等.全固态连续波绿光激光器输出超过5 W[J].中国激光,1997,(25):212.
- [8] 姜东升,赵鸿,王建军,等.120 W的二极管泵浦Nd:YAG绿光激光器[J].强激光与粒子束,2005,(17):7-10.
- [9] 王暖让,王灿召,苑利钢,等.138 W窄脉宽全固态绿光激光器[J].中国激光,2006,8(33):1017-1020.
- [10] 白晋涛,任兆玉,白杨,等.185 W LD侧泵浦连续Nd:YAG/HGTR-KTP高功率绿光激光器[C].中国光学学会2006年学术大会论文摘要集,2006:214-215.