

文章编号: 0258-7025(2010)05-1172-04

RTP II 类临界相位匹配 542.7 nm 绿光激光器

李永亮 姜会林 张立中

(长春理工大学空间光电技术研究所, 吉林 长春 130022)

摘要 报道了 542.7 nm 连续输出的全固态倍频绿光激光器。采用三镜折叠腔结构,用 20 W 激光二极管(LD)抽运掺杂钕原子数分数为 0.2% 的 Nd:YVO₄ 晶体,选择长度为 10 mm 的 II 类临界相位匹配磷酸氧钛铷(RTP)晶体进行腔内倍频,获得了 542.7 nm 激光输出。当注入抽运功率为 19 W 时,倍频绿光激光最大输出达 2.4 W,光-光转换效率为 13%,绿光激光输出功率稳定度在 30 min 内优于 2.8%,光束质量因子 $M^2=1.22$ 。

关键词 激光器;542.7 nm 绿光激光器;临界相位匹配;RTP 晶体

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103705.1172

RTP Type-II Critical Phase-Matched 542.7 nm Green Laser

Li Yongliang Jiang Huilin Zhang Lizhong

(Space Photoelectric Technology Institute, Changchun University of Sciences and Technology,
Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract An all solid-state doubling frequency continuous-wave green laser at 542.7 nm is reported. By using a three-mirror folded cavity resonator and pumping the Nd:YVO₄ crystal whose doping Nd³⁺ concentration is 0.2% (atom fraction) with a 20 W output power laser diode (LD), a green laser at 542.7 nm is obtained by reasonably choosing a 10 mm long type II critical phase matching RbTi OPO₄ (RTP) crystal to intra-cavity doubling frequency. When the incident pump power is 19 W, the maximal output power is 2.4 W, the optical-optical conversion efficiency is up to 13%, the power stability in half an hour is better than $\pm 2.8\%$, and the M^2 factor is 1.22.

Key words lasers; 542.7 nm green laser; critical phase matching; RTP crystal

1 引 言

对激光二极管(LD)抽运掺钕离子激光器进行腔内倍频,是现代激光器研究发展的一个热点,也是新型激光器发展的重大方向之一。已有大量的文献对红、绿、蓝三色激光输出进行了报道^[1~3],在 20 世纪 80 年代末已形成新兴的激光器产品。这类激光器具有体积小、重量轻、携带方便、使用安全、转换效率高特点,在生物、医学、军事、天文、工业等高新技术领域具有广泛的应用前景。激光二极管端面抽运结构与横向抽运结构相比较,具有更强的抽运效率,使得使用一些相对较弱的跃迁谱线实现激光连续运转成为可能^[1~4]。Nd:YVO₄ 晶体作为一种优良的激光增益介质,其主要跃迁

谱线为 1064.3^[5,6],1342^[7] 和 914 nm^[8~10]。从晶格场的角度分析其光谱,发现在 Nd:YVO₄ 晶体中,⁴F_{3/2}-⁴I_{11/2} 能级之间的跃迁存在 5~6 个不同的发射带,它们对应的是同一组能级的不同斯塔克分裂子能级。因此,只要能够抑制增益较强的主要谱线的振荡,就可能在更丰富的波段获得激光输出^[11]。

本文报道了一种能获得 542.7 nm 激光连续输出的 LD 抽运全固态倍频绿光激光器。利用 LD 抽运 Nd:YVO₄ 晶体,采用 II 类临界相位匹配磷酸氧钛铷(RTP)晶体进行腔内倍频,获得了 542.7 nm 绿光激光输出。在 19 W 的抽运功率下,最大输出功率为 2.4 W,光-光转换效率高达 13%。

收稿日期: 2009-09-23; 收到修改稿日期: 2009-10-13

基金项目: 十一五兵器预研支撑基金(62301110109)资助课题。

作者简介: 李永亮(1973—),男,博士,副研究员,主要从事激光技术、全固态激光器、非线性光学频率变换技术等方面的研究。E-mail: liyongliang@cust.edu.cn

2 理论分析

2.1 激光晶体

Nd:YVO₄ 晶体在 1050~1100 nm 波段的非偏振谱有 8 个荧光峰,某些荧光峰同时具有 π 和 σ 偏振分量,而另一些荧光峰则只具有其中一种偏振分量。图 1 是室温下 Nd:YVO₄ 晶体吸收截面光谱图,图 2 是室温下 Nd:YVO₄ 晶体在 ⁴F_{3/2} 和 ⁴I_{11/2} 两个能级之间的荧光光谱。从图 2 中可以看出,其中一组斯塔克分裂能级对应的就是 1085.4 nm 谱线。

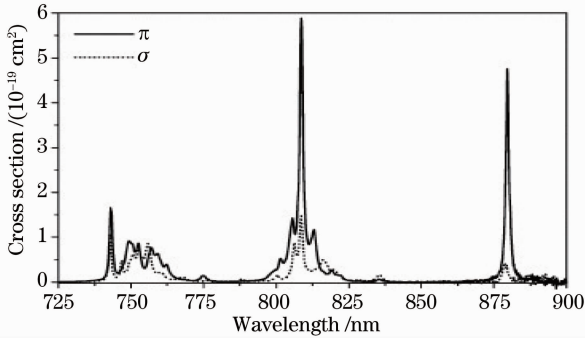


图 1 Nd:YVO₄ 晶体的吸收截面

Fig. 1 Absorbed cross section for Nd:YVO₄ crystal

表 1 列举了 Nd:YVO₄ 晶体主要荧光谱线的峰值波长及其偏振标志。

表 1 Nd:YVO₄ 主要荧光谱线峰值波长及其偏振标志

Table 1 Wavelength and polarization state of main fluorescence spectrum of Nd:YVO₄

Wavelength/ nm	1064.3	1085.4	1083.8
Polarization state	π and σ	π	σ

表 2 RTP,KTP,BIBO 和 LBO 晶体倍频参量的比较

Table 2 Comparison of the frequency-doubling parameters of RTP,KTP, BIBO and LBO crystals

Crystal	Phase matching type	$d_{\text{eff}}/(\text{pm}/\text{V})$	Accepted-angle / (mrad · cm)	Walk-off angle / (mrad)
RTP	1085(e)+1085(o)=542.7(e)	3.02	17.54	3.79
KTP	1085(o)+1085(e)=542.7(o)	3.85	5.30	11.20
BIBO	1085(e)+1085(e)=542.7(o)	2.88	2.67	22.71
LBO	1085(o)+1085(o)=542.7(e)	0.834	11.10	6.09

3 实验装置与结果

实验装置如图 3 所示。激光二极管最大输出功率为 20 W,中心发射波长为 808.3 nm。抽运光经过耦合光学系统的准直、扩束和聚焦以后注入 Nd:YVO₄ 晶体,其长度为 5 mm,掺杂钕原子数分数为 0.2%。Nd:YVO₄ 晶体左端面作为谐振腔的一个端镜,镀有 808 nm 减反(AR)膜和 1085 nm 高反(HR)膜,晶体的右端面镀有 1085.4 nm 减反膜。输出镜 M₁ 的凹面对 1064 nm 部分透射(其对

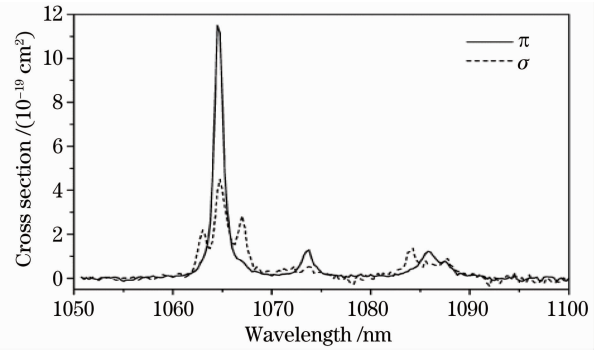


图 2 Nd:YVO₄ 晶体的受激发射截面

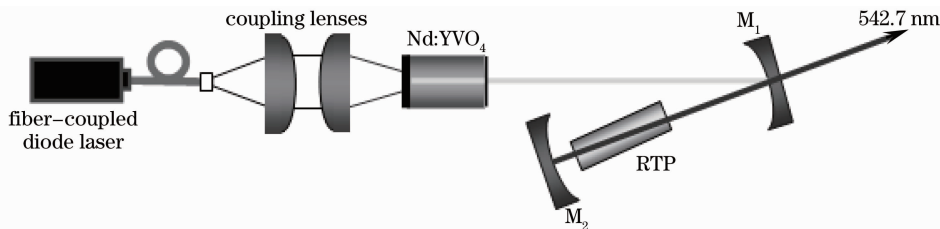
Fig. 2 Stimulated emission cross section for Nd:YVO₄ crystal

由表 1 可知,为了获得 1085.4 nm 的红外基频光,采用 π 偏振光激发,不仅有利于提高抽运光的吸收效率,而且有利于提高激光发射的效率。由图 2 可知,1085.4 nm 谱线的受激发射截面为 1064.3 nm 谱线的 1/6,可通过镀膜的手段来抑制 1064.3 nm 谱线从而达到选择 1085.4 nm 谱线的目的。

2.2 倍频晶体

目前可用于产生可见光的倍频晶体有磷酸氧钛钾(KTP)、三硼酸锂(LBO)、硼酸铋(BIBO)和 RTP 4 种,它们各有优缺点。利用非线性光学软件(SNLO)^[12],计算了这 4 种晶体对 1085.4 nm 激光倍频时的参量,结果如表 2 所示。从表 2 可以看到,RTP 的允许角最大,走离角最小,并且有效非线性系数适中,仅比 KTP 小,所以从整体上考虑选择 RTP 作为倍频晶体。

1064.3 nm 的透射率约为 20%)而对 1085.4 nm 高反(反射率在 99.9%),这样的透射损耗足以抑制 1064.3 nm 谱线的振荡,而不需要再加入附加损耗。输出镜的平面镀有 542.7 nm 减反膜,全反射镜 M₂ 对 1085.4 nm 和 542.7 nm 高反。LD 由半导体致冷器进行精确温控,使其发射中心波长与 Nd:YVO₄ 晶体的吸收峰相重合。整个谐振腔长度约为 100 mm。

图3 542.7 nm Nd:YVO₄/RTP 激光器实验原理图Fig. 3 Schematic diagram of 542.7 nm Nd:YVO₄/RTP laser

当抽运功率为 19 W 时,不放入 RTP 晶体,仔细调节各个元件,可以观察到微弱的红外输出,仔细调节输出镜和耦合光学系统,使红外光斑成圆形且实心。在谐振腔内插入 II 类临界相位匹配切割的 RTP 晶体($\theta=90^\circ$, $\varphi=35.8^\circ$), RTP 晶体的长度为 10 mm,两端都镀制基频光和倍频光的增透膜。仔细调节各个元件以及 RTP 晶体的角度,获得了输出功率为 2.4 W 的 542.7 nm 激光,其光-光转换效率高达 13%,输出功率稳定性优于 2.8%。图 4 为采用荷兰 Avantes 公司的 AvaSpec-2048FT 型光谱仪(光谱范围 200~1100 nm,波长分辨率 0.1 nm)测得的输出激光的光谱图,中心波长为 542.7 nm,线宽为 13 nm。

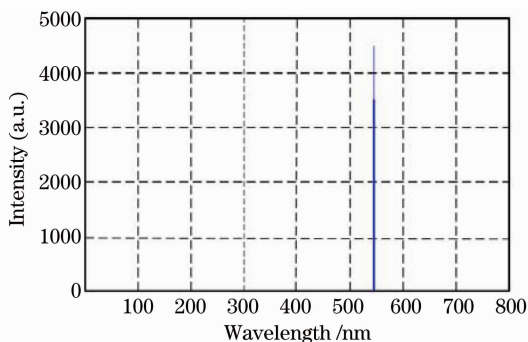


图4 542.7 nm 激光光谱图

Fig. 4 Laser spectrum of 542.7 nm laser

图 5 为 542.7 nm 激光输出功率与注入抽运功率的关系曲线。图 6 为 542.7 nm 激光的输出光斑轮廓图,从图中可以看出,激光器输出为 TEM₀₀ 模。

4 结 论

用 LD 抽运 Nd:YVO₄ 晶体,利用 II 类临界相位匹配 RTP 晶体进行腔内倍频,在 19 W 的抽运功率下获得了最大输出功率为 2.4 W 的 542.7 nm 绿光输出。实验结果表明,相比较 KTP, LBO, BIBO 这 3 种用于产生可见光的倍频晶体而言,采用 RTP 晶体腔内倍频 Nd:YVO₄ 基频光的方式是目前获得 542.7 nm 波长激光较有效的方法。

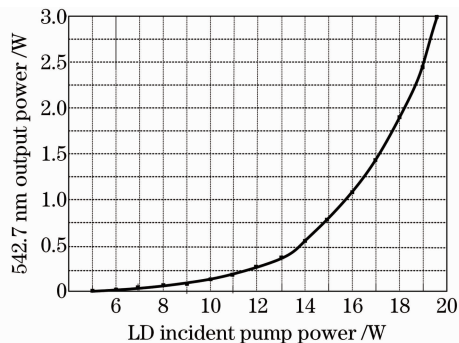


图5 542.7 nm 激光输出功率与抽运功率的关系曲线

Fig. 5 542.7 nm laser output power versus the LD incident pump power

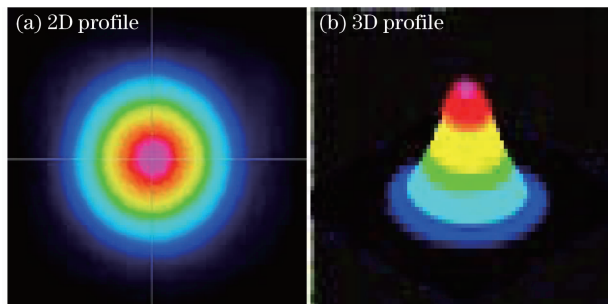


图6 542.7 nm 激光光斑轮廓图

Fig. 6 Beam profile distribution of 542.7 nm laser

参 考 文 献

- 1 J. T. Bai, G. F. Chen. Continuous-wave diode-laser end pumped Nd:YVO₄/KTP high-power solid-state green laser[J]. *Opt. & Laser Technol.*, 2002, **34**: 333~336
- 2 Z. P. Sun, R. N. Li, Y. Bi. Generation of 11.5 W coherent red lights by intra-cavity frequency doubling of a side pumped Nd:YAG laser in a 4 cm LBO [J]. *Opt. Commun.*, 2004, **241**: 167~172
- 3 Z. Quan, Z. Ling. Efficient blue laser generation at 473 nm by a BIBO crystal [J]. *Opt. & Laser Technol.*, 2004, **36** (6): 449~451
- 4 Li Jinmin. Development, trend and application of high average power diode pumped lasers [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2008, **45**(7): 16~30
李晋闽. 高平均功率全固态激光器发展现状、趋势及应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2008, **45**(7): 16~30
- 5 R. Zhou, B. G. Zhang, X. Ding *et al.*. Continuous-wave operation at 1386 nm in a diode-end-pumped Nd:YVO₄ laser[J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(15): 5818~5824
- 6 Y. F. Chen, M. L. Ku, K. W. Su. High-power efficient

- tunable Nd:GdVO₄ laser at 1083 nm[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(16): 2107~2109
- 7 Jia Fuqiang, Xue Qinghua, Zheng Quan. All-solid-state 556 nm yellow laser by LBO intracavity frequency doubling[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(8): 1017~1021
- 贾富强, 薛庆华, 郑 权. 全固态 LBO 腔内倍频 556 nm 黄光激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(8): 1017~1021
- 8 Feng Yan, Bi Yong, Zhang Hongbo. 20 W Nd:YAG all-solid-state green laser by extracavity frequency doubling[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(4): 469~471
- 冯 衍, 毕 勇, 张鸿博. 20 W 腔外倍频全固态 Nd:YAG 绿光激光器[J]. *光学学报*, 2003, **23**(4): 469~471
- 9 Dai Houmei, Bai Jintao. LD pumped Nd:YAG/KTP intracavity double frequency 16 W CW green laser[J]. *Laser Technology*, 2008, **32**(3): 312~313
- 戴厚梅, 白晋涛. LD 抽运 Nd:YAG/KTP 腔内倍频 16 W 连续波绿光激光器[J]. *激光技术*, 2008, **32**(3): 312~313
- 10 Shi Zhaohui, Fan Zhongwei, Wang Peifeng *et al.*. High efficiency continuous-wave laser-diode-end-pumped vanadate laser operating on 914 nm[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(3): 328~332
- 石朝辉, 樊仲维, 王培峰 等. 高效率连续波运转的激光二极管端面抽运 914 nm Nd:YVO₄ 激光器[J]. *中国激光*, 2008, **35**(3): 328~332
- 11 P. Zeller, P. Peuser. Efficient, multiwatt, continuous-wave laser operation on the ⁴F_{3/2} - ⁴I_{9/2} transitions of Nd:YVO₄ and Nd:YAG[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(1): 34~36
- 12 SNLO. Free software for modeling nonlinear frequency conversion processes in nonlinear crystals [CP/OL] [2005-05-21] <http://www.sandia.gov/imrl/X1118/xxtal.htm>

《中国激光》“激光分子影像诊断与治疗监控”专题 征 稿 启 事

随着光学成像技术、分子标记技术和基因组学/蛋白质组学的发展,激光分子影像已经成为光子学技术与生命科学和医学应用交叉的关键技术科学,发展十分迅猛。激光分子影像可在细胞和分子层面探索生命最小基本单元的功能、疾病发生发展的分子机理,可为疾病的早期诊断及其治疗进行无创、实时、靶向性的检测和监控提供有效手段;有望解决长期困扰人类健康与发展的重大关键难题,从而有效改善人类生存与生活质量。《中国激光》计划于 2010 年 10 月正刊(EI 核心收录)上推出“激光分子影像诊断与治疗监控”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“激光分子影像诊断与治疗监控”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该方面最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

光学分子成像的新技术与新方法:主要包括荧光分子成像技术(FRET、FRAP、FCS 等);光声成像(PAI);光学相干层析成像(OCT);激光散斑成像(LSI);微波热声成像(TAI);近红外光学漫射成像(DOT)以及太赫兹成像(THz)等。

光学分子探针与分子诊断:主要包括近红外高效光学分子探针;多模态复合纳米探针;蛋白质和多肽小分子光学探针;分子水平诊断光谱学研究(荧光、吸收、偏振和拉曼光谱等)以及基于纳米技术的高效基因检测、单分子识别等。

光学分子成像在疾病早期诊断和治疗监控中的应用:主要包括疾病早期诊断中的基础研究;肿瘤的光热、光化学治疗及其监控;低强度光子治疗技术及其机制;手术过程中的光学导航以及预后的无损伤光子学疗效评估与检测技术等。

特邀组稿专家:

邢 达 教授 华南师范大学

截稿日期: 2010 年 6 月 30 日

投稿方式以及格式:可通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“激光分子影像诊断与治疗监控”投稿),详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/zgjj.htm>。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马浙编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn; 电话: 021-69918427。