

文章编号: 1001-3806(2003)04-0331-03

高功率端面泵浦腔内倍频瓦级绿光激光器

赵致民¹ 李 隆^{1,2} 田 丰³ 李 春^{1,4} 白晋涛¹

(¹西北大学光子学与光子技术研究所光电子技术省级重点开放实验室, 西安, 710069)

(²西安交通大学电子与信息工程学院, 西安, 710049)

(³长安大学基础部, 西安, 710064) (⁴陕西能源职业技术学院, 咸阳, 712000)

摘要: 为实现大功率稳定的 532nm 绿色激光输出, 通过采用 4 镜 Z 型腔结构, 激光二极管双端面泵浦 Nd:YVO₄ 晶体, LBO 晶体 I 类角度匹配、腔内倍频的方法, 在双端总的抽运光功率约为 26W 时, 成功地获得了 4.2W 稳定的基模绿光输出, 光-光转换效率达到 17.6%。更重要的是所使用的全部分子器件均国产化, 表明有能力将瓦级全固态绿光激光器进行商品化。

关键词: 固体激光器; 绿光激光器; 倍频; LBO

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

High power end pumped intracavity frequency doubling Watt-level green laser

Zhao Zhimin¹, Li Long^{1,2}, Tian Feng³, Li Chun^{1,4}, Bai Jintao¹

(¹ Provincial Key Laboratory of Photoelectronic Technology, Institute of Photonics & Photonic Technology, Northwest University, Xi'an, 710069)

(² School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049)

(³ Department of Foundation, Chang'an University, Xi'an, 710064)

(⁴ Shanxi Energy Vocational and Technological College, Xianyang, 712000)

Abstract: In order to realize the powerful and stable output of 532nm green laser, 4.2W of CW TEM₀₀ output at 532nm was successfully obtained by means of four mirror Z cavity resonant structure, LD end pumped Nd:YVO₄ and LBO intracavity doubling with I-type angle match. When the total pumping power of double ends LD is 26W, the optical-optical conversion efficiency is 17.6%. The most important thing is all instruments used are made in our country, which indicates that we have the ability of producing W-level all solid state green laser in commercial.

Key words: solid state laser; green laser; frequency doubling; LBO

引 言

激光二极管(LD)激光器泵浦技术在近几年日趋成熟,使得固体激光器重新焕发出勃勃生机。激光二极管泵浦的全固态激光器具有体积小、效率高、稳定性好和寿命长等优点,在科研、医疗、通讯和大屏幕彩色显示等领域有着广阔的应用前景并且有很大的市场潜力。

最近几年在国内利用激光二极管泵浦掺钕的 YAG 和 YVO₄ 激光器经非线性晶体倍频产生绿光激光器的研究成为热点。研究方向可以分为 3 类: 大功率全固态瓦级绿光激光器^[1~5]、极力获得较稳

定的单频绿光激光器^[6~9]、向微型化小型化发展^[10~12]。

为了实现大功率绿光激光器的国产化、商品化,本文中报道的激光器全部采用国产元件。

1 腔型的选取与设计

采用端面泵浦的方式,泵浦光可被有效地耦合进入激活介质的 TEM₀₀ 模体积内,易于实现泵浦光与振荡光的空间模式匹配,从而大大地提高激光器的转换效率^[13]。折叠腔与直腔式结构相比具有模参数调整灵活以及腔内有效空间大,在腔内倍频可以有效地降低阈值,产生比较细的光腰,提高泵浦光的利用率,激光光束质量好,易于获得基模光斑,光光的转换效率高^[14]。为了减少单端高功率泵浦造成的增益介质吸收不均匀,可采用双端泵浦 4 镜折叠腔结构。

作者简介: 赵致民,男,1977 年 7 月出生。硕士研究生。从事大功率固体激光器方面的研究工作。

收稿日期: 2002-12-09; 收到修改稿日期: 2003-02-10

要实现大功率瓦级能量的输出,构造腔型的每一结构都要细致考虑。首先考虑准直聚焦系统,要尽量减少在激光晶体的横截面内造成的泵浦不均匀性。采用两个平凸透镜组合的方式,先准直后聚焦,并且在两个平凸透镜中间放置了预先设计的光阑,有效地减少球差,消除对于横截面内造成的泵浦不均匀性。对于半导体泵浦全固态激光器要实现稳定高效率的输出激光,腔型的设计至关重要,要尽可能地降低腔内损耗。折叠腔是驻波腔,由于折叠反射镜一般工作在离轴位置而引入像散,因此,折叠腔又是像散腔。

椭圆高斯光束经过两个平凸透镜组成的准直与聚焦后,入射到激光晶体上,本身就具有一定的像散。因此,腔的设计应重点考虑如何控制像散椭圆高斯光束在折叠腔中的像散补偿问题。折叠腔的像散主要来源于光束在镀 1064nm 全反 808nm 高透的斜腔镜,以及弯月镜和凹面镜组成的腔镜。

腔内振荡光束的补偿原则就是凹面腔镜的像散,合理设计腔型,使得光束在整个腔中往返一次后,子午面和弧矢面上的光程差趋于 0,子午面和弧矢面的光斑大小尽量相等,从而尽可能地扩大谐振腔的稳定区工作范围。根据光在腔内往返一周的输出矩阵和达到稳定状态的自洽条件,以及对晶体热透镜的分析,对于双端泵浦双 Nd:YVO₄/LBO 折叠型腔内倍频的谐振腔提出整体设计。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,激光腔采用两个 LD 管双端面泵浦双通倍频方式,可以减小单端高功率泵浦所造成的激光晶体吸收不均匀。

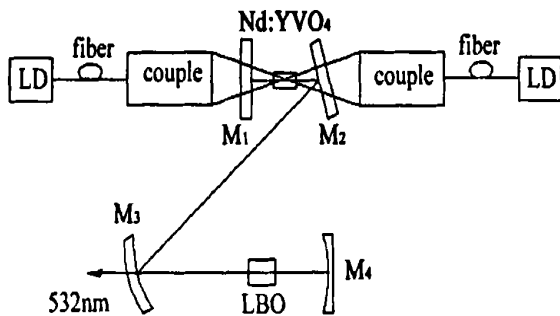


Fig. 1 The setup of end pumped Nd:YVO₄/LBO intracavity frequency doubling laser

泵浦源为中科院半导体研究所生产的 808nm 近红外激光器,最大输出激光功率 25W,激光中心波长 808nm,光谱半宽(FWHM) 5nm,输出光束数值孔径 $NA = 0.11$,光纤束直径 1.0mm,温度控制精

度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,工作温度范围(0~ 30) $^\circ\text{C}$,最大工作电流 2.4A。由于半导体激光器 LD 的输出光束发散较严重,自行设计与激光谐振腔之间的耦合系统,准直聚焦系统的焦距 $f = 30\text{mm}$,泵浦光聚焦光斑为 500 μm 左右。Nd:YVO₄ 晶体由福建物质结构研究所生产,掺 Nd³⁺ 浓度为 0.7at%,晶体尺寸为 3mm × 3mm × 8mm,采用 a 轴向切割,实现 π 形偏振。为了实现双端泵浦,两端均镀有对 810nm 和 1064nm 的双色增透膜。晶体对 810nm 光的吸收系数为 31.4 cm^{-1} ,对 1064nm 光的吸收系数为 0.02 cm^{-1} 。LBO 晶体的非线性系数与常用的 KTP 相比要小一些,但是光谱透明区和匹配范围都较宽,而且具有破坏阈值高和小离散角,可实现非临界相位匹配消除走离效应,是一种较优秀的非线性晶体。LBO 晶体由山东大学晶体所生长,尺寸为 4mm × 4mm × 8mm,两通光面镀 1064nm 和 532nm 双色增透膜。在实验中采用了 18 $^\circ\text{C}$ 恒温加角度调谐匹配的方式。为使 Nd:YVO₄ 晶体和 LBO 晶体达到与冷却紫铜块的良好热接触,晶体的侧面均匀涂有银粉,再使用铜皮紧裹,分别被置入精心设计的四周通有冷却水的铜块中;冷却器为北京四环科学仪器厂(军事医学科学院实验仪器厂)生产的恒温冷却水浴循环器,在 - 25 $^\circ\text{C}$ 到 150 $^\circ\text{C}$ 温度区间内稳定度可以保持在 0.1 $^\circ\text{C}$,可以严格地控制 Nd:YVO₄ 晶体和 LBO 晶体的恒温温度。M₁ 和 M₂ 是泵浦光耦合的平面镜,一面镀 808nm 增透膜,另一面镀 808nm 增透膜($T > 96\%$) 和 1064nm 高反膜($R = 99.8\%$)。M₃ 和 M₄ 都是凹面镜,其曲率半径分别为 150mm 和 50mm, M₃ 作为输出耦合端镜,在曲面镀有 1064nm HR 和 532nm HT,在凸面镀有 532nm AR。M₄ 镀有 1064nm HR 和 532nm HR。

3 腔型参数的确定

如图 2,设 Nd:YVO₄ 晶体到 M₃ 的距离为 $L_2 + L_3 = a$, M₃ 到 M₄ 的距离为 $L_4 + L_5 + L_{\text{LBO}} = b$ 。

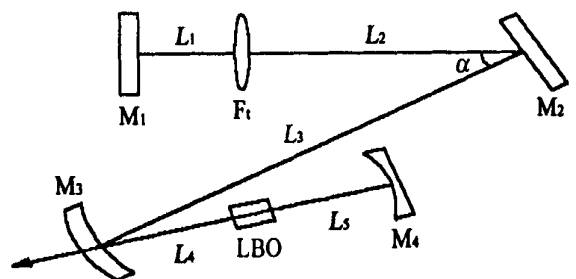


Fig. 2 The schematic diagram of end pumped Nd:YVO₄/LBO intracavity frequency doubling laser

由折叠腔理论,通过数值计算分别计算在谐振腔不同位置处子午面和弧矢面的光斑大小,两个面上的光斑大小尽量相等、并尽可能地扩大谐振腔的稳定区工作范围是腔结构参数的依据。计算的结果是: $a=320\text{mm}$, $b=125\text{mm}$, LBO 晶体距 M_3 的距离大约为 40mm , 这时 Nd:YVO₄ 晶体和 LBO 晶体上的光斑半径分别为 0.4mm , $38\mu\text{m}$ 。输出绿光的光斑大小由 M_3 曲率半径决定,约为 $100\mu\text{m}$ 。

调整半导体激光器的泵浦电流,使用 Spectral Physics 公司的 R14 能量计分别测定输出能量,再测量倍频绿光的能量。这样,每隔 10min 将此测量顺序重复一次,可以得到半导体激光器输入总能量与倍频绿光输出能量的曲线图,如图 3 所示。

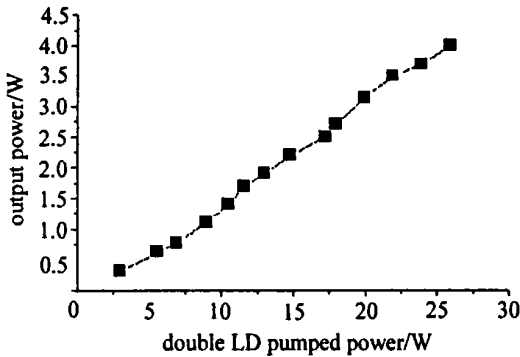


Fig. 3 The diagram of output power as a function of pump power

当双端总的泵浦光功率为 26W 时,实际腔内功率为 $26 \times 92\% = 23.9\text{W}$ (考虑到准直聚焦系统 92% 的传输效率),获得了 4.2W 的绿光输出,光光转换效率为 17.6% 。激光系统运行 1h ,输出绿光功率波动小于 2% ,表明以上参数的腔结构可较好地克服绿光问题。在国内 LBO 晶体使用角度调谐匹配的方式达到 4.2W 的稳定绿光输出还未见报道。更重要的是所使用的全部仪器均国产化,表明有能力将

瓦级全固态绿光激光器进行商品化。

4 总 结

在用激光二极管双端泵浦全固态激光器的研究中,如何设计准直聚焦系统力争将泵浦源自身像散减为最小;激光器谐振腔的腔型的选择,以及如何消除折叠腔的像散,优化腔的参数都对于全固态激光器的功率影响至关重要。初步的探索,为进一步开展全固态大功率绿光激光器的产业化及商品化打下了基础。

参 考 文 献

- [1] 白晋涛,张振杰,武自录 *et al.* 光子学报,2000,29(11): 1053~1055.
- [2] He J L, Hou W, Zhang H L *et al.* Chin Phys Lett, 1998, 15(6): 418~419.
- [3] 何京良,侯 玮,张恒利 *et al.* 中国激光,2000,27(6): 481~484.
- [4] 侯 玮,张恒利,李 健 *et al.* 光学学报,2001,21(4): 437~439.
- [5] Liu J H, Wang Ch Q, Lu J H *et al.* Chin Phys Lett, 1999, 16(7): 508~509.
- [6] 曹红军,张学斌,孙一民 *et al.* 光学学报,1998,18(9): 1165~1169.
- [7] 王海波,马 艳,翟泽辉 *et al.* 中国激光,2002,29(2): 119~122.
- [8] 郑 权,赵 岭,檀慧明 *et al.* 激光与红外,2001,31(4): 208~209.
- [9] 张宽收,李瑞宁,谢常德 *et al.* 中国激光,1994,21(8): 617~620.
- [10] 霍轶杰,杨成伟. 光电子·激光,2000,11(5): 461~464.
- [11] 霍玉晶,何淑芳,段玉生 *et al.* 中国激光,2000,27(7): 586~588.
- [12] 巩马理. 激光技术,1997,21(1): 5~6.
- [13] Magni V. Appl Opt, 1986, 25(1): 107~117.
- [14] Agnesi A, Dellacqua S, Reali G C *et al.* Appl Opt, 1997, 36(3): 597~601.

• 简 讯 •

敬告作者

根据“美国工程信息公司(Ei)数据库”的要求,请作者在投稿时注意:

1. 为了方便联系,请提供确切的通信地址、单位名称、部门、电话、E mail 等信息。

2. 应加强对摘要的撰写!摘要 是文章的真实概要,应该全面、简要:减少背景类的知识介绍;不要用修辞语;不要有实验数据;不要出现方程、图、表、参考文献、特殊字符等。作者应组织好文章的主要概念并清楚、简要地表达出来,才能实现摘要应有的作用,传达重要的可检索信息。

一般的研究性论文其摘要必须包括被报道的研究项目的目的、使用方法、结果和结论,不应太短;也不要重复标题中已给出的内容;不要使用多余的词语,如“据报道……”,或“大量的研究表明”;摘要中不要写作者将来的打算。

对于文献综述,只需简要说明文章的内容,而不报道文章中使用的的方法及得出的结果。

对于发展现状综述,除了陈述文章的主题范围外,还要给出文章得出的结论。

3. 英文摘要相当重要!最好是中英文一致。原则是平铺直叙。

4. 英文版稿件中应有中文题目、作者姓名、单位、摘要、关键词、中图分类号。

投稿时请注明“投稿”字样!谢谢合作!

《激光技术》编辑部