

文章编号:1001-5078(2007)12-1262-03

LD 端泵全固化紫外激光器

张玉峰,王运谦,马莹,蒋冬,贾光辉,张世文
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘要:文章围绕全固态 355nm 紫外激光器进行了理论和实验研究,根据相位匹配原理,晶体相位匹配特点及其光学特性,选用了 LBO/LBO 晶体,三混频 LBO 晶体在输出面采用布儒斯特角切割,对于对 P 偏振方向的基频光和紫外光具有高透过性,同时起到分光作用,由于不用镀膜,明显地降低了紫外激光对于晶体的损伤。采用声光调 Q 技术,在 LD 单端泵功率为 27W,重复频率为 20kHz 时,获得了平均功率为 1.85W、脉宽为 11ns 的 355nm 紫外激光输出。

关键词:355nm 全固态激光器;倍频;三混频;声光调 Q

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

LD End Pumped All-Solid-State UV Lasers

ZHANG Yu-feng, WANG Yun-qian, MA Ying, JIA Guang-hui, ZHANG Shi-wen
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The theoretical and experimental researches all solid-state 355nm ultraviolet lasers are presented. Based on the principle of phase-matching and the optical characters of LBO crystal, two LBO crystals are selected, the third-harmonic crystal has a Brewster-cut dispersive output surface for separating the P-polarized fundamental and third-harmonic beams without introducing losses into the beam. Using the A-O Q-switch, for the end pumping power (810nm) 27W and the repetition rate 20kHz, we obtained 1.85W of 355nm ultraviolet laser output with the pulse width 11ns.

Key words: 355nm all-solid-state laser; double-frequency; triple-frequency; acoustic-optics Q-switching

1 引言

紫外激光在超高密度光驱、精密材料加工、紫外固化、光刻、光印刷、医疗、光谱分析和科学研究等领域有广泛的应用前景。而 LD 泵浦全固态紫外激光器作为新一代紫外激光光源,具有效率高、结构紧凑、光束质量好等优点而成为国内外研究的前沿课题。

国内对于固体紫外激光器已有了一定的理论和实验研究,但由于紫外激光抗损伤破坏等技术原因,适应市场需求的、成熟的高性能紫外激光器产品在国内并不多见。针对于目前市场上的需求,我们针对于大于 1W 的 355nm 的紫外激光器进行了专门的产品化设计和研究,成功生产出了一台样机,输出功率达 1.85W。

2 实验

2.1 基频激光器实验

设计中我们采用折叠腔结构,腔内倍频方式,结

合机械结构,光路设计我们将折叠腔结构进行改进,实验装置如图 1 所示。

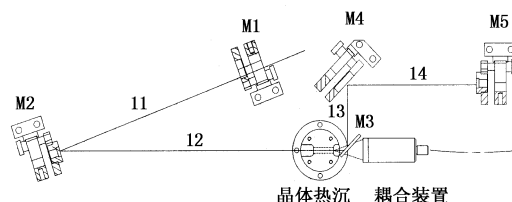


图 1 折叠腔激光器实验装置

实验中,我们采用 Nd:YVO₄ 晶体,尺寸为 3mm × 3mm × 15mm,掺杂浓度 0.3%,a 轴向切割。晶体周围包裹钢箔,放入有温控系统的恒温热沉中,热沉控温在 25℃,LD 输出的 810nm 的泵浦光耦合到激光晶体表面的光斑直径为 500μm。利用稳腔条件

作者简介:张玉峰(1976-),男,硕士,工程师,主要研究方向为固体激光技术。E-mail:zhangyufeng@lioet.com

收稿日期:2007-07-06;修订日期:2007-07-22

输出功率的变化测量热透镜值^[3-4]。测得不同功率注入下的热透镜值如图2所示。

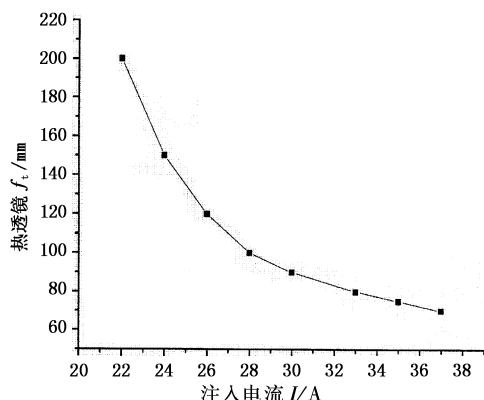


图2 热透镜 f_t 随注入功率的变化规律

由图2可以看出在注入电流大于20A(泵浦光功率12W)的情况下,晶体开始显示出明显的热透镜效应,在37A(泵浦光功率27.9W)的情况下,热透镜最小值为70mm。

选择图1中的参数如下:M1输出镜曲率半径为-600mm,透过率20%;M2折叠全反镜曲率半径为-200mm; l_1 为M1到M2的距离,长度为160mm; l_2 为M2到M3的距离,长度为200mm;M3为45°平面全反镜同时镀810nm增透膜;M4为45°平面全反镜; l_3 为M3到M4的距离,长度为50mm;M5为平面全反镜。

对于折叠腔结构可以利用ABCD传输矩阵理论进行计算^[1-2],可以得到该实验装置激光晶体端面的基模光斑半径 ω_{end} 随热透镜 f_t 变化趋势如图3所示。

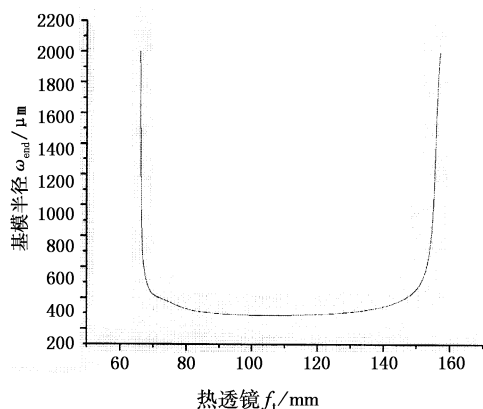


图3 激光晶体端面的基模半径 ω_{end} 随热透镜 f_t 变化趋势

可以看出谐振腔的稳区范围基本在 f_t 为70~150mm之间,激光输出功率如图4所示。

图4中可见,激光最高输出8W,激光输出功率在 $I=23\text{A}$ 附近有一明显拐点,该拐点说明谐振腔在

该注入下开始进入稳区。即 f_t 应基本在150mm左右。对应于图2,在 $I=24\text{A}$ 时 f_t 的测量值才为150mm,说明用稳腔条件测量的热透镜值偏小,真实热透镜效应没有测量值严重。

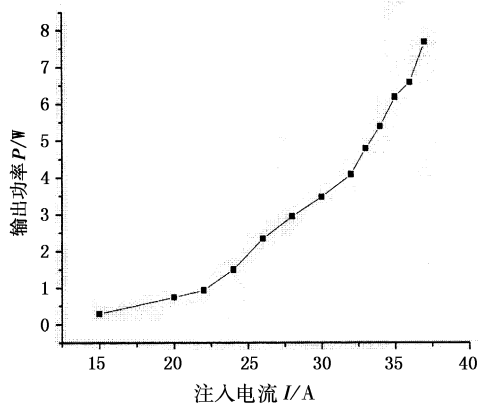


图4 激光输出功率

2.2 紫外激光器实验

图5是LD端面泵浦的声光调Q 355nm紫外激光器的实验布置示意图,其中三混频晶体采用布儒斯特角切割,用来提高抗紫外损伤,同时起到分光作用。

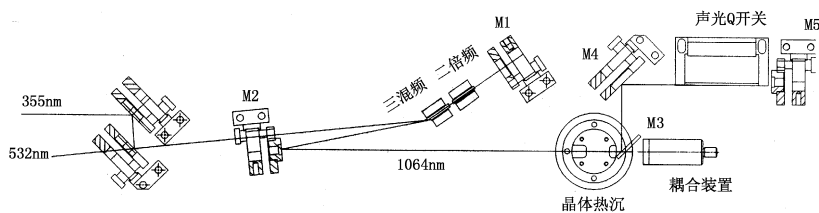


图5 355nm紫外激光器的实验布置示意图

谐振腔由M1,M2,M3,M4,M5构成,Nd:YVO₄晶体尺寸为3mm×3mm×15mm,a轴向切割,掺杂浓度为0.3%,激光棒一面镀810nm和1064nm双增透膜,一面镀1064nm增透膜,侧面包裹铜箔,置于热沉中,热沉控温在25℃,温控精度0.1℃声光Q开关采用传导冷却,工作频率40MHz,射频功率10W。倍频晶体LBO采用了Ⅰ类角度调谐相位匹配,尺寸为3mm×3mm×10mm,两通光面均镀有532nm和1064nm双色增透膜,混频晶体LBO采用了Ⅱ类角度调谐相位匹配尺寸为3mm×3mm×12mm,晶体一面为布儒斯特角切割,不镀膜,一面镀532nm和1064nm双色增透膜,它们均插入谐振腔内其相位匹配关系如图6所示。

因为LBO晶体折射率对温度变化非常敏感,因而精确的温度控制对高效和频和高的稳定性是非常重要的。实验中将LBO晶体用铜箔包裹后置于温控热沉中,温控精度0.1℃。倍频晶体LBO和和频晶体LBO均采用角度调节相位匹配方式,倍频晶体

LBO 在倍频时,产生的二次谐波的偏振方向与基频光的偏振方向垂直,即如果 $1.064\mu\text{m}$ 基频光的偏振方向处于“P”方向,则二次谐波 532nm 的偏振方向处于“S”方向,二次谐波与基频光在和频晶体 LBO 内,满足相位匹配条件时,发生和频效应,产生 355nm 的三次谐波。经过和频晶体后三次谐波的偏振方向与基频光的偏振方向相同,即如果 1064nm 基频光的偏振方向沿着“P”方向,二次谐波的偏振方向处于“S”方向,则三次谐波的偏振方向沿着“P”方向。

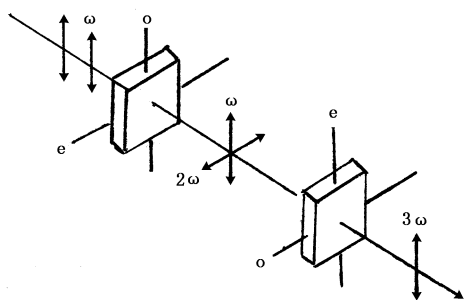


图6 LBO 晶体倍频(I类)、三混频(II类)光束偏振匹配情况

采用布儒斯特角的切割的 LBO 晶体,即避免了紫外激光对于膜面的损伤,同时起到分光作用,避免了在腔内介入分光镜带来的损耗和破坏。

2.2.1 倍频 532nm 绿光实验研究

将图5中 M1 换成 1064nm 和 532nm 双波长全反,将倍频晶体温控于最佳状态,打开声光 Q 调制,产生的 532nm 绿光经布儒斯特角折射输出,将滤光片改为 532nm 高反输出绿光。

在工作频率 40kHz 的情况下,测得绿光输出功率最大为 3.7W ,脉宽 15ns 。

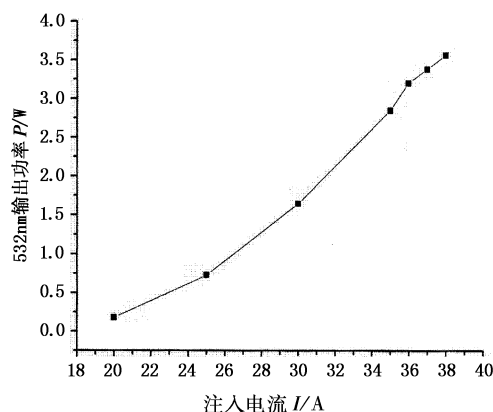


图7 工作频率 40kHz 的情况下 532nm 激光输出

绿光的输出值最大为 3.7W ,光光转换效率 51% ,由于在调 Q 情况下,虽然混频 LBO 温控不在最佳状态,但仍然会有部分基频和倍频光混频产生 355nm 激光输出,而且对于绿光通过 LBO 布儒斯特切割面有一定的损耗,因此实际绿光转换效率应该更高。

2.2.2 紫外激光实验研究

将 LBO 均温控于最佳状态,声光 Q 调制频率为 20kHz ,仔细调整激光器状态,获得了稳定的紫外激光输出,激光输出功率如图8所示,激光输出光斑如图9所示。

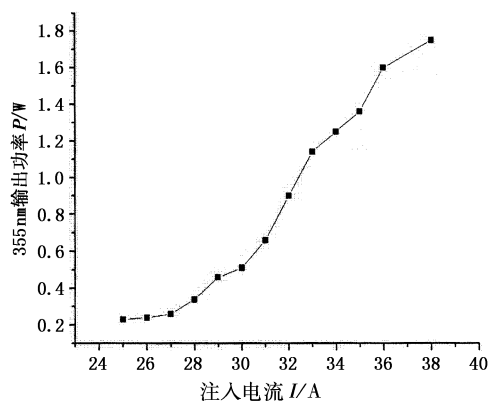


图8 20kHz 紫外激光输出

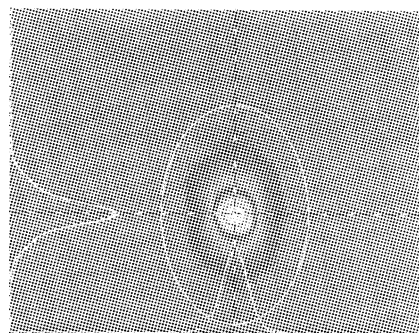


图9 20kHz 紫外激光输出光斑

紫外激光功率最大 1.85W ,相对于基频光转换效率为 25.7% ,相对于注入光功率转换效率 6.6% ,光斑略有横椭,光束质量 $M^2 < 2$,有待进一步改进,可以满足一般激光加工机使用要求。

3 结论

本文介绍了一种全固化紫外激光器的设计和分析。系统采用折叠腔的结构,使用了 LBO/LBO 进行了腔内倍频和混频,并利用布儒斯特角进行分光,有效地降低了紫外激光对于膜层的破坏。紫外激光功率最大 1.85W ,相对于基频光转换效率为 25.7% ,相对于注入光功率转换效率 6.6% ,可以满足一般激光加工机使用要求。

参考文献:

- [1] 工鹏飞,吕百达. 折叠腔腔参数对内腔倍频系统稳定性的影响[J]. 激光技术,2003,27(4):328-330.
- [2] 姜东升,赵鸿,王建军,等. 120W 的二极管泵浦 Nd:YAG 绿光激光器[J]. 强激光与粒子束,2005,17(s):7-9.
- [3] 张潮波,宋峰,等. 利用输出功率测量激光二极管端面抽运的固体激光器热透镜距[J]. 物理学报,2002,51(7):1517-1519.
- [4] 王登顺,李港,等. 利用稳腔条件测量 LD 端面泵浦激光晶体的热焦距[J]. 激光技术,2003,27(6):534-537.